



PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

Viceministerio
de Transportes

Dirección General
de Caminos y
Ferrocarriles



MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES



Edición Mayo de 2016



INDICE

PRESENTACION	7
GENERALIDADES	8
1.0 ORGANIZACION DEL MANUAL	8
1.1 CODIFICACIÓN.....	8
1.2 SIGLAS Y ABREVIATURAS.....	8
1.3 UNIDADES DE MEDIDA	9
1.4 GLOSARIO DE TÉRMINOS	10
SECCION N° 1 SUELOS.....	13
MTC E 101 MUESTREO DE SUELOS Y ROCAS	14
MTC E 102 MUESTREO POR PERFORACION CON BARRENOS HELICOIDALES (VASTAGO HUECO)	20
MTC E 103 REDUCCION DE MUESTRAS DE CAMPO A TAMAÑOS DE MUESTRAS DE ENSAYO	23
MTC E 104 CONSERVACION Y TRANSPORTE DE MUESTRAS DE SUELOS	28
MTC E 105 OBTENCION EN LABORATORIO DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS (CUARTEO).....	36
MTC E 106 PREPARACIÓN EN SECO DE MUESTRAS PARA EL ANALISIS GRANULOMETRICO Y DETERMINACION DE LAS CONSTANTES DEL SUELO	41
MTC E 107 ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO.....	44
MTC E 108 DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO	49
MTC E 109 ANALISIS GRANULOMETRICO POR MEDIO DEL HIDROMETRO	54
MTC E 110 DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS.....	67
MTC E 111 DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.).....	72
MTC E 112 DETERMINACION DE LOS FACTORES DE CONTRACCIÓN DE LOS SUELOS	75
MTC E 113 MÉTODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS DE SUELO MEDIANTE PICNOMETRO DE AGUA	80
MTC E 114 METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO	91
MTC E 115 COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)	105
MTC E 116 COMPACTACION DEL SUELO EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA ESTANDAR (PROCTOR ESTANDAR).....	119
MTC E 117 ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO INSITU MEDIANTE EL METODO DEL CONO DE ARENA.....	133
MTC E 118 MATERIA ORGANICA EN SUELOS (PERDIDA POR IGNICION)	143
MTC E 119 METODO DE ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR SPT	145
MTC E 120 MUESTREO CON TUBOS DE PAREDES DELGADAS	151
MTC E 121 COMPRESION NO CONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS	155
MTC E 122 CORTE EN SUELOS COHESIVOS (VELETA)	162
MTC E 123 CORTE DIRECTO (CONSOLIDADO DRENADO).....	167
MTC E 124 DENSIDAD EN EL SITIO – METODO NUCLEAR A PROFUNDIDAD REDUCIDA	175
MTC E 125 HUMEDAD DEL SUELO EN EL TERRENO. METODO NUCLEAR (PROFUNDIDAD REDUCIDA).....	182
MTC E 126 CONTENIDO DE HUMEDAD EN SUELOS METODO DEL CARBURO DE CALCIO	188
MTC E 127 MUESTREO DE SUELOS INALTERADOS (SUPERFICIALES)	192
MTC E 128 MODULO RESILIENTE DE SUELOS DE SUBRASANTE	201
MTC E 129 PH EN LOS SUELOS	223
MTC E 130 MEDICIONES DE LA PRESION DE POROS	225
MTC E 131 DETERMINACION DE PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE MEDIANTE COMPRESION TRIAXIAL	235
MTC E 132 CBR DE SUELOS (LABORATORIO)	248
MTC E 133 CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU)	257
MTC E 134 DETERMINACION DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS POR OXIDACION Y VIA HUMEDA.....	262
MTC E 135 DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE SUELOS	265
MTC E 136 DETERMINACION DEL VALOR DE RESITENCIA (R-VALUE) Y DE LA PRESION DE EXPANSION DE SUELOS COMPACTADOS.....	278
MTC E 137 DETERMINACION DE MATERIAL MAS FINO QUE EL TAMIZ 75 μ M (N° 200) EN SUELOS	287

SECCION N° 2 AGREGADOS	291
MTC E 201 MUESTREO PARA MATERIALES DE CONSTRUCCION	292
MTC E 202 CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ DE 75 µM (Nº 200) POR LAVADO	295
MTC E 203 PESO UNITARIO Y VACIOS DE LOS AGREGADOS	298
MTC E 204 ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS	303
MTC E 205 GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS	309
MTC E 206 PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS	312
MTC E 207. ABRASION LOS ANGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS GREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37,5 MM (1 ½")	315
MTC E 208 INDICE DE FORMA Y DE TEXTURA DE AGREGADOS	323
MTC E 209 DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO	329
MTC E 210. METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO	337
MTC E 211. PARTICULAS LIVIANAS EN LOS AGREGADOS	343
MTC E 212. ARCILLA EN TERRONES Y PARTICULAS DESMENUZABLES (FRIABLES) EN AGREGADOS	346
MTC E 213. METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR CUALITATIVAMENTE LAS IMPUREZAS ORGANICAS EN EL AGREGADO FINO PARA CONCRETO	349
MTC E 214. PRUEBA DE ENSAYO ESTANDAR PARA INDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO	351
MTC E 215. METODO DE ENSAYO PARA CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL DE LOS AGREGADOS POR SECADO	361
MTC E 216. ANALISIS GRANULOMETRICO DEL RELLENO MINERAL	364
MTC E 217. DETERMINACION DE LA REACTIVIDAD AGREGADO / ALCALI (METODO QUIMICO)	366
MTC E 218 DETERMINACION CUANTITATIVA DE LOS COMPUESTOS DE AZUFRE EN LOS AGREGADOS	372
MTC E 219 SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES	378
MTC E 220 ADHESIVIDAD DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS ARIDOS FINOS (PROCEDIMIENTO RIEDEL-WEBER)	380
MTC E 221 INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS	384
MTC E 222 ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO	389
MTC E 223 PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN AGREGADOS	391
SECCION N° 3 BITUMENES	395
MTC E 301 MUESTREO DE MATERIALES BITUMINOSOS	396
MTC E 302 SOLUBILIDAD DE MATERIALES ASFALTICOS EN TRICLOROETILENO	404
MTC E 303 PUNTOS DE INFLAMACION Y DE LLAMA (COPA ABIERTA) CLEVELAND	407
MTC E 304 PENETRACION DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS	414
MTC E 305 FLOTACION PARA MATERIALES BITUMINOSOS (FLOAT TEST)	419
MTC E 306 DUCTILIDAD DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS	422
MTC E 307 PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS (ANILLO Y BOLA)	426
MTC E 308 VISCOSIDAD DEL ASFALTO CON EL METODO DEL VISCOSIMETRO CAPILAR DE VACIO	431
MTC E 309 VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL DE ASFALTOS LIQUIDOS	437
MTC E 310 VISCOSIDAD CINEMATICA DE ASFALTOS	445
MTC E 311 PUNTO DE FRAGILIDAD FRAASS	457
MTC E 312 PUNTO DE INFLAMACION MEDIANTE LA COPA ABIERTA TAG	462
MTC E 313 DESTILACION DE ASFALTOS LIQUIDOS	468
MTC E 314 ENSAYO DE LA MANCHA (OLIENSIS) DE MATERIALES ASFALTICOS	474
MTC E 315 EFECTO DEL CALOR Y AIRE EN MATERIALES ASFALTICOS (ENSAYO DEL HORNO DE PELICULA DELGADA-TFOT)	478
MTC E 316 EFECTO DEL CALOR Y AIRE EN UNA PELÍCULA DE ASFALTO EN MOVIMIENTO (ENSAYO DEL HORNO DE PELICULA DELGADA RODANTE - RTFOT)	482
MTC E 317 PESO ESPECIFICO ALQUITRANES (METODO DEL DESPLAZAMIENTO)	489
MTC E 318 PESO ESPECIFICO Y PESO UNITARIO DE MATERIALES BITUMINOSOS	491
MTC E 319 ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO DE ASFALTOS MODIFICADOS	495
MTC E 320 RECUPERACION ELASTICA POR TORSION DE ASFALTOS MODIFICADOS	498
SECCION N° 4 EMULSIONES	501
MTC E 401 DESTILACION DE EMULSIONES ASFALTICAS	502
MTC E 402 AGUA EN EMULSIONES ASFALTICAS	506

MTC E 403	VISCOSIDAD SAYBOLT DE EMULSIONES ASFALTICAS	510
MTC E 404	SEDIMENTACION EN LAS EMULSIONES ASFALTICAS.....	515
MTC E 405	TAMIZADO DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS.....	517
MTC E 406	DEMULSIBILIDAD DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS.....	520
MTC E 407	CARGA DE LAS PARTICULAS DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS.....	522
MTC E 408	PH DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS	524
MTC E 409	CUBRIMIENTO Y RESISTENCIA AL DESPLAZAMIENTO POR EL AGUA DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS...	526
MTC E 410	ESTABILIDAD DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS (MEZCLA CON CEMENTO).....	530
MTC E 411	RESIDUO POR EVAPORACION DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS A 163 °C.....	532
MTC E 412	CUBRIMIENTO DE AGREGADO CON EMULSIONES ASFALTICAS	535
MTC E 413	MISCIBILIDAD CON AGUA DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS.....	537
MTC E 414	ADHESIVIDAD Y COHESIVIDAD CON EMULSIONES ASFALTICAS MEDIANTE LA PLACA VIALIT	540
MTC E 415	COEFICIENTE DE EMULSIBILIDAD DEL RELLENO MINERAL.....	546
MTC E 416	CONSISTENCIA CON EL CONO DE LAS LECHADAS ASFALTICAS.....	548
MTC E 417	ABRASION EN PISTA HUMEDA	551
MTC E 418	DETERMINACION DEL EXCESO DE ASFALTO EN MEZCLAS CON MAQUINA DE RUEDA CARGADA (LWT)	557
MTC E 419	METODO DE ENSAYO PARA CLASIFICAR LAS LECHADAS BITUMINOSAS POR MEDIDA DE TORSION, EN EL COHESIOMETRO, EN FUNCION DEL TIEMPO DE CURADO.....	561
SECCION N° 5 MEZCLAS BITUMINOSAS.....		566
MTC E 501	TOMA DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFALTICAS PARA PAVIMENTOS	567
MTC E 502	EXTRACCION CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS.....	570
MTC E 503	ANALISIS MECANICO DE LOS AGREGADOS EXTRAIDOS DE MEZCLAS ASFALTICAS	580
MTC E 504	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL.....	583
MTC E 505	PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS ...	594
MTC E 506	GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE Y PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS E MPLEANDO ESPECIMENES PARAFINADOS	596
MTC E 507	ESPESOR O ALTURA DE ESPECIMENES COMPACTADOS DE MEZCLAS DE PAVIMENTO ASFALTICO	600
MTC E 508	PESO ESPECIFICO TEORICO MAXIMO DE MEZCLAS ASFALTICAS PARA PAVIMENTOS.....	603
MTC E 509	DETERMINACION DEL GRADO DE COMPACTACION DE UNA MEZCLA BITUMINOSA	614
MTC E 510	DENSIDAD DEL HORMIGON BITUMINOSO IN SITU POR METODOS NUCLEARES.....	618
MTC E 511	CALCULO DEL PORCENTAJE DE ASFALTO QUE ABSORBE EL AGREGADO EN UNA MEZCLA DE PAVIMENTOS ASFALTICO	623
MTC E 512	HUMEDAD O DESTILADOS VOLATILES EN MEZCLAS ASFALTICAS PARA PAVIMENTOS	628
MTC E 513	RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE DE MEZCLAS ASFALTICAS.....	635
MTC E 514	PESO ESPECIFICO APARENTE Y PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS EMPLEANDO ESPECÍMENES SATURADOS CON SUPERFICIE SECA	641
MTC E 515	CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PERDIDA POR DESGASTE	644
MTC E 516	PERMEABILIDAD IN SITU DE PAVIMENTOS DRENANTES CON EL PERMEAMETRO LCS	646
MTC E 517	REVESTIMIENTO Y DESPRENDIMIENTO DE MEZCLAS AGREGADO – BITUMEN	649
MTC E 518	EFECTO DEL AGUA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS COMPACTADAS	653
MTC E 519	GRADO ESTIMADO DE CUBRIMIENTO DE PARTICULAS EN MEZCLAS AGREGADO – BITUMEN	656
MTC E 520	ADHERENCIA EN BANDEJA.....	658
MTC E 521	EFECTO DEL AGUA SOBRE AGREGADOS CON RECUBRIMIENTOS BITUMINOSOS USANDO AGUA HERVIDA.....	659
MTC E 522	RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD	661
SECCION N° 6 CEMENTOS Y AGLOMERADOS.....		667
MTC E 601	MUESTREO Y ACEPTACION DEL CEMENTO HIDRAULICO	668
MTC E 602	ANALISIS QUIMICO DEL CEMENTO HIDRAULICO (PORTLAND)	671
MTC E 603	EXPANSION DEL CEMENTO EN EL AUTOCLAVE	671
MTC E 604	FINURA DEL CEMENTO POR MEDIO DE LA MALLA N° 200.....	701
MTC E 605	CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO.....	702

MTC E 606	TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO PORTLAND (METODO DE VICAT)	705
MTC E 607	FRAGUA DEL CEMENTO HIDRÁULICO (AGUJAS DE GILLMORE).....	708
MTC E 608	FINURA DEL CEMENTO PORTLAND (TURBIDIMETRO).....	711
MTC E 609	COMPRESION DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRAULICO (CUBOS DE 50,8 MM)	723
MTC E 610	DENSIDAD DEL CEMENTO PORTLAND (FRASCO DE LE CHATELIER).....	728
MTC E 611	MEZCLA MECANICA DE PASTAS DE CEMENTO Y MORTEROS DE CONSISTENCIA PLÁSTICA	731
MTC E 612	CONTENIDO DE AIRE EN MORTEROS DE CEMENTO	734
MTC E 613	FINURA DEL CEMENTO PORTLAND METODO DEL APARATO BLAINE (PERMEABILIDAD)	738
MTC E 614	FALSO FRAGUADO DEL CEMENTO	745
MTC E 615	RESISTENCIA A LA TENSION DE MORTEROS DE CEMENTO.....	748
MTC E 616	FLUIDEZ DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRAULICO (MESA DE FLUJO)	753
MTC E 617	RESISTENCIA A LA FLEXION DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO	758
SECCION N° 7 CONCRETO.....		765
MTC E 701	TOMA DE MUESTRAS DE CONCRETO FRESCO.....	766
MTC E 702	ELABORACION Y CURADO DE ESPECÍMENES DE HORMIGON (CONCRETO) EN EL LABORATORIO	770
MTC E 703	REFRENTADO DE CILINDROS DE CONCRETO (CAPPING)	780
MTC E 704	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TESTIGOS CILÍNDRICOS	789
MTC E 705	ASENTAMIENTO DEL CONCRETO (SLUMP)	801
MTC E 706	CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO FRESCO METODO DE PRESION.....	804
MTC E 707	TOMA DE NUCLEOS Y VIGAS EN CONCRETOS ENDURECIDO	814
MTC E 708	ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA DE CILINDROS ESTÁNDARES DE CONCRETO	819
MTC E 709	RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGAS A LOS TERCIOS DEL TRAMO	823
MTC E 711	RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO METODO DE LA VIGA SIMPLE CARGADA EN EL PUNTO CENTRAL.....	828
MTC E 712	MEDIDA DE LA LONGITUD DE NUCLEOS DE CONCRETO (TESTIGOS EXTRAIDOS CON BROCAS)	832
MTC E 713	EXUDACION DEL CONCRETO.....	834
MTC E 714	PESO UNITARIO DE PRODUCCION (RENDIMIENTO) Y CONTENIDO DE AIRE (GRAVIMETRICO)	840
MTC E 715	FLUJO PLASTICO DEL CONCRETO A LA COMPRESION	845
MTC E 716	RESIDUO SOLIDO Y MATERIA ORGANICA (SOLIDOS VOLATILES).....	851
MTC E 717	MATERIA ORGANICA.....	853
MTC E 718	DETERMINACION DEL VALOR pH.....	855
MTC E 719	CONCENTRACION DEL IÓN SULFATO	858
MTC E 720	CONCENTRACION DEL IÓN CLORURO	861
MTC E 721	DETERMINACION DE ALCALIS COMO (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O).....	873
MTC E 722	CONTENIDO DE CEMENTO PORTLAND EN EL CONCRETO ENDURECIDO	874
MTC E 723	METODO DE ENSAYO PARA LA ELABORACION Y CURADO DE PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO EN OBRA	879
MTC E 724	METODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA DE MEZCLAS DE CONCRETO	882
MTC E 725	METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL NUMERO DE REBOTE DEL CONCRETO ENDURECIDO (ESCLEROMETRIA).....	884
MTC E 726	METODO PARA LA UTILIZACIÓN DE CABEZALES CON ALMOHADILLAS DE NEOPRENO EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO ENDURECIDO M2BC514	887
MTC E 727	METODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA ELABORACION, CURADO ACELERADO Y ENSAYO EN COMPRESION DE ESPECIMENES DE CONCRETO.....	895
MTC E 728	AGUA DE MEZCLA UTILIZADA EN LA PRODUCCION DE CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND. REQUISITOS.....	913
SECCION N° 8 METALICOS.....		920
MTC E 801	ENSAYOS DE TENSION DE MATERIAL METALICO (BARRAS Y ALAMBRES)	921
MTC E 802	ENSAYO DE TENSION EN TORONES PARA CABLES DE ACERO.....	929
MTC E 803	ENSAYO DE DOBLAMIENTO	931
MTC E 804	ENSAYO DE DUREZA BRINELL.....	935

SECCION N° 9 DRENAJE.....	937
MTC E 901 RESISTENCIA A LA ROTURA DE TUBOS DE CONCRETO Y GRES POR EL METODO DE LOS TRES APOYOS	938
MTC E 902 ENSAYO DE ABSORCION PARA TUBOS DE CONCRETO Y DE GRES	942
MTC E 903 ENSAYO DE INFILTRACION EN TUBERIAS	944
MTC E 904 ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN TUBERIA	945
MTC E 905 DETERMINACION DE LA RIGIDEZ EN TUBERIAS DE PVC	947
MTC E 906 PERMEABILIDAD DE SUELOS GRANULARES (CARGA CONSTANTE)	949
SECCION N° 10 MISCELANEOS	956
MTC E 1001 MEDIDA DE LA IRREGULARIDAD SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO MEDIANTE LA REGLA DE TRES METROS, ESTATICA O RODANTE	957
MTC E 1002 MEDIDA DE LA DEFLEXION DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN.....	962
MTC E 1003 FRICCION DE FUERZA LATERAL EN SUPERFICIES PAVIMENTADAS USANDO EL MU-METER.....	967
MTC E 1004 DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO EN EL PAVIMENTO CON PENDULO BRITANICO (TRRL).....	975
MTC E 1005 DETERMINACION DE LA TEXTURA SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO MEDIANTE ENSAYO DEL CÍRCULO DE ARENA	989
SECCION N° 11 ESTABILIZACIONES.....	993
MTC E 1101 PREPARACION EN EL LABORATORIO DE PROBETAS DE SUELO – CEMENTO.....	994
MTC E 1102 RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO).....	999
MTC E 1103 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO.....	1005
MTC E 1104 HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO COMPACTADAS.....	1009
MTC E 1105 DETERMINACION POR TITULACION DEL CONTENIDO DE CAL EN SUELOS	1014
MTC E 1106 PREPARACION EN EL LABORATORIO DE MEZCLAS DE SUELO-CAL EMPLEANDO UNA MEZCLADORA MECANICA.....	1022
MTC E 1107 CONTENIDO DE CAL DE MEZCLAS SUELO- CAL NO CURADAS.....	1024
MTC E 1108 RESISTENCIA DE MEZCLAS DE SUELO CAL	1028
MTC E 1109 ESTABILIZACION QUIMICA DE SUELOS - CARACTERIZACION DEL ESTABILIZADOR Y EVALUACION DE PROPIEDADES DE COMPORTAMIENTO DEL SUELO MEJORADO	1040
SECCION N° 12 PINTURAS	1048
MTC E 1201 DETERMINACION DE LA CONSISTENCIA DE PINTURAS CON EL VISCOSIMETRO STORMER.....	1049
MTC E 1203 DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE PINTURAS METODO DEL PICNOMETRO.....	1054
MTC E 1204 DETERMINACION DE LA FINURA DE DISPERSION.....	1057
MTC E 1206 DETERMINACION DE LA FLEXIBILIDAD MANDRIL CONICO	1060
MTC E 1207 DETERMINACION DEL CONTENIDO EN PIGMENTO METODO POR CENTRIFUGACION.....	1062
MTC E 1208 DETERMINACION DEL BRILLO ESPECULAR	1065
MTC E 1209 DETERMINACION DEL TIEMPO DE SECADO “NO PICK-UP”	1067
MTC E 1210 DETERMINACION DE LA DUREZA MEDIANTE LA PRUEBA DEL LAPIZ	1070
MTC E 1211 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL AGUA.....	1072
MTC E 1213 DETERMINACION DE LA ADHERENCIA MEDIANTE EL ENSAYO DE LA CINTA CORTE EN CUADRICULA.....	1074
MTC E 1214 DETERMINACION DE LA RELACION DE CONTRASTE (PODER CUBRIENTE)	1078
MTC E 1215 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL SANGRADO.....	1080
MTC E 1216 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN METODO TABER.....	1083
MTC E 1217 TOMA DE MUESTRAS PINTURAS, BARNICES Y MATERIAS PRIMAS PARA PINTURAS Y BARNICES	1086
MTC E 1226 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DE LOS RECUBRIMIENTOS ORGÁNICOS A LOS EFECTOS DE DEFORMACION ROPIDA (IMPACTO)	1093
MTC E 1228 DETERMINACION DE LA ADHERENCIA (RESISTENCIA A LA TRACCIÓN)	1096
MTC E 1230 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA ABRASION DE RECUBRIMIENTOS MEDIANTE LA CAIDA DE UN ABRASIVO.....	1110
MTC E 1231 DETERMINACION DEL TIEMPO SE SECADO, CURADO Y FORMACION DE PELICULA	1114
MTC E 1232 DETERMINACION DE LA ADHERENCIA MEDIANTE EL ENSAYO DE LA CINTA CORTE EN X.....	1118
MTC E 1234 DETERMINACION DE LA MATERIA NO VOLATIL EN VOLUMEN	1121



MTC E 1235	DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL CONGELAMIENTO – DESCONGELAMIENTO	1124
MTC E 1236	DETERMINACION DE LA MATERIA NO VOLATIL Y VOLATIL	1126
MTC E 1237	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE PIGMENTO MEDIANTE CALCINACION A BAJA TEMPERATURA	1128
MTC E 1238	DETERMINACION DEL COLOR Y EL FACTOR DE LUMINANCIA	1130
MTC E 1239	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE COMPUESTOS VOLATILES	1136
SECCION N° 13 ESFERAS Y MICROESFERAS DE VIDRIO		1140
MTC E 1301	ANALISIS GRANULOMETRICO	1141
MTC E 1302	DETERMINACION DEL INDICE DE REFRACCION	1143
MTC E 1304	DETERMINACION DE LA PRESENCIA DE UN TRATAMIENTO DE HIDROFUGACION	1145
MTC E 1305	DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE MASA	1148
MTC E 1306	DETERMINACION DE LA APARIENCIA Y DEFECTOS	1150
MTC E 1307	DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LOS ACIDOS	1153
MTC E 1308	DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL CLORURO DE CALCIO	1155
MTC E 1309	DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL SULFURO DE SODIO	1157
ANEXO N° 1 SISTEMAS DE CLASIFICACION DE LOS SUELOS		1159
ANEXO N° 2 CONTROL DE CALIDAD		1162
NORMA GENERAL		1264



PRESENTACION

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su calidad de órgano rector a nivel nacional en materia de transporte y tránsito terrestre, es la autoridad competente para dictar las normas correspondientes a la gestión de la infraestructura vial y fiscalizar su cumplimiento.

La Dirección General de Caminos y Ferrocarriles es el órgano de línea de ámbito nacional encargada de normar sobre la gestión de la infraestructura de caminos, puentes y ferrocarriles; así como, de fiscalizar su cumplimiento.

El "**Manual de Ensayo de Materiales**" forma parte de los Manuales de Carreteras establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado por D.S. N° 034-2008-MTC y constituye uno de los documentos técnicos de carácter normativo, que rige a nivel nacional y es de cumplimiento obligatorio por los órganos responsables de la gestión de la infraestructura vial de los tres niveles de gobierno: Nacional, Regional y Local.

El "**Manual de Ensayo de Materiales**" tiene por finalidad estandarizar el método y procedimientos, para la ejecución de los ensayos de laboratorio y de campo, de los materiales que se utilizan en los proyectos de infraestructura vial, con el objeto de asegurar que su comportamiento correspondan a los estándares de calidad propuestos en los estudios, para las obras y actividades de mantenimiento vial.

La presente versión del "**Manual de Ensayo de Materiales**" es la actualización del Manual de Ensayo de Materiales para Carreteras (EM. 2000), y está organizado en Secciones, que abarcan a los diferentes tipos de materiales y dentro de ellas, los ensayos correspondientes.

El "**Manual de Ensayo de Materiales**", toma en como referencia la normatividad de las instituciones técnicas reconocidas internacionalmente, tales como AASHTO, ASTM, Instituto del Asfalto ACI, NTP, entre otras.

Teniendo en consideración que como toda ciencia y técnica, la ingeniería vial se encuentra en permanente cambio e innovación, es necesario que el presente documento sea revisado y actualizado periódicamente por el órgano normativo de la infraestructura vial del MTC.

Lima, mayo de 2016

GENERALIDADES

1 Organización del Manual

El "Manual de Ensayo de Materiales" está organizado de la siguiente manera:

SECCIONES

- SECCIÓN N° 1. SUELOS
- SECCIÓN N° 2. AGREGADOS
- SECCIÓN N° 3. BITUMENES
- SECCIÓN N° 4. EMULSIONES
- SECCIÓN N° 5. MEZCLAS BITUMINOSAS
- SECCIÓN N° 6. CEMENTOS Y AGLOMERADOS
- SECCIÓN N° 7. CONCRETO HIDRAULICO
- SECCIÓN N° 8. METÁLICOS
- SECCIÓN N° 9. DRENAJE
- SECCIÓN N° 10. MISCELÁNEOS
- SECCIÓN N° 11. ESTABILIZADORES DE SUELOS
- SECCIÓN N° 12. PINTURAS
- SECCIÓN N° 13. MICROESFERAS DE VIDRIO

ANEXOS

- ANEXO N° 1 Sistema de clasificación de suelos
- ANEXO N° 2 Control de calidad

Cada Sección contiene los correspondientes procedimientos de muestreo y los ensayos de laboratorio y/o campo.

1.1 Codificación

La codificación del manual es de la siguiente manera:

MTC E : Código general en todas las secciones

101 a 1309 : Código de número correspondiente a cada sección

Ejemplos:

MTC E 720 : Concentración del Ión Cloruro

MTC E 1107 : Contenido de cal de mezclas suelo-cal no curadas

1.2 Siglas y abreviaturas

Las abreviaturas utilizadas en el "Manual de Ensayo de Materiales", representan lo que se indica a continuación:

AASHTO : American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte

ASTM : American Society for Testing and Materials ó Sociedad Americana para Ensayos y Materiales

ACI : American Concrete Institute o Instituto Americano del Concreto

NTP : Normas Técnicas Peruanas

IP : Índice Plástico

- LL : Limite Líquido
LP : Limite Plástico
CBR : California Bering Ratio (valor de la relación de soporte).
FWD : Falling Weight Deflectometer
SLUMP : Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (el SI en el Perú)
SI : Sistema Internacional de Unidades (Sistema Métrico Modernizado).
FHWA : Federal Highway Administration o Administración Federal de Carreteras.

1.3 Unidades de medida

Las unidades de medida utilizadas en este Manual y sus símbolos, corresponden al Sistema Legal de Unidades de Medida de Perú (SLUMP aprobada con la Ley 23560), que adopta a su vez las unidades del Sistema Internacional de Unidades (SI). Aquellas que no se encuentren incluidas en la lista siguiente, se definirán como lo establece el SLUMP o la norma ASTM E 380 "Standard Practice for Use of International System of Units (SI) (The Modernized Metric System)".

a. Unidades básicas

Símbolo	Unidad de Medida	Magnitud Física
m	metro	longitud
kg	kilogramo	masa
s	segundo	tiempo
km	kilometro	longitud
h	hora	tiempo

b. Unidades derivadas

Símbolo	Unidad de Medida	Nombre unidades
m ²	metro cuadrado	área
m ³	metro cúbico	volumen
kg/m ³	kilogramo por metro cúbico	densidad
m/s	metro por segundo	velocidad
km/h	Kilómetros por hora	velocidad

c. Otras unidades

Símbolo	Unidad de Medida	Magnitud Física
min	minuto	tiempo
d	día	tiempo
l	litro	volumen
t	tonelada métrica	masa
ha	hectárea	área

1.4 GLOSARIO DE TERMINOS

La definición de los términos usados en el presente documento corresponde al “Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial”, vigente. Así mismo, se incluye los siguientes términos que serán de uso exclusivo para el presente Manual:

ABRASION (pista húmeda (WTAT)): Procedimiento de ensayo para determinar las pérdidas de peso para muestra de lechada asfáltica al someterlo a desgaste.

ACEITE DE CARRETERA: Un aceite pesado de petróleo, generalmente del tipo de los asfaltos de curado lento (SC).

ADHESION: Resistencia al corte entre el suelo y otro material cuando la presión que se aplica externamente es cero.

ADHESIVIDAD: Grado de adherencia de los ligantes bituminosos a los áridos finos.

AGREGADO DE GRADACION FINA: Agregado cuya gradación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan estas últimas

AGREGADO DE GRADACION GRUESA: Agregado cuya gradación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan los tamaños gruesos.

AGREGADO DENSAMENTE GRADADO: Agregado con una distribución de tamaños de partícula tal que cuando es compactado, los vacíos que resultan entre las partículas, expresados como un porcentaje del espacio total ocupado, son relativamente pequeños.

AGUA ABSORBIDA: Agua que es retenida mecánicamente en el suelo o roca.

ALMACENAMIENTO (estabilidad al): Ensayo que sirve para determinar si ha habido un asentamiento en el almacenamiento de un asfalto modificado.

ANALISIS MECANICO: Sirve para determinar la granulometría en un material o la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños.

APARATO DE VICAT: Instrumento que sirva para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico.

APARATO A VAPOR: Se utiliza para determinar la estabilidad de volumen (método del agua hirviendo por el procedimiento de las “galletas”).

ASFALTO NATURAL: Asfalto que ocurre en la naturaleza y que ha sido derivado del petróleo por procesos naturales de evaporación de las fracciones volátiles, dejando así las fracciones asfálticas. Los asfaltos naturales de mayor importancia se encuentran en los depósitos de los lagos de Trinidad y Bermúdez. El asfalto de estas fuentes es comúnmente llamado asfalto de lago. En el Perú, existen importantes yacimientos de asfaltos naturales.

ASFALTOS DE ROCA: Roca porosa, tal como la arenisca o la caliza, que ha sido impregnada con asfalto natural mediante un proceso geológico.

BALANZA DE “MICHAELIS”: Equipo que se utiliza para el ensayo de tracción de testigo de montos de cemento, moldeados en moldes especiales que tienen forma de “ochos”.

BAÑO DE AGUA: Elemento (baño) provisto de termostato.

BLAINE (finura): Que corresponde a un material pulverulento, como un cemento y/o puzolana y que se expresa como área superficial en cm^2/gramo .

CAL- Oxido de calcio CaO: Adopta la denominación de cal rápida e hidratada, según su proceso de producción.

CANTABRO (ensayo): Procedimiento para determinar la pérdida por desgaste de una probeta de ensayo elaborado con mezcla asfáltica.

CARBURO DE CALCIO: Material utilizado en instrumentos destinados a medir el porcentaje (%) de humedad de suelos y materiales, en forma rápida y aproximada.

COMPRESION: Acción de comprimir un material aplicando una carga que puede ser axial, existiendo variantes en ensayos como: no confinada, triaxial y entre estos el ensayo consolidado no drenado; el ensayo drenado, el ensayo no consolidado no drenado y que sirven para medir el ángulo de fricción interna (ϕ) y la cohesión (C), cuyos valores se emplean en análisis de estabilidad en estructuras (fundaciones), cortes, taludes, muros de contención, etc.

COMPRESION NO CONFINADA: Procedimiento para determinar la resistencia al corte de un suelo.

CONSISTENCIA: Relativa facilidad con que el suelo puede fluir y deformarse.

CONSOLIDACION (ensayo): Es una prueba en la cual el espécimen está lateralmente confinado en una arcilla y es comprimido entre dos superficies porosas.

CONTRACCION (factores): Parámetros relativos a cambios de volumen de un suelo.

DRILL: Máquina o pieza de equipo diseñado para penetrar en la tierra o formación de roca.

DUREZA BRINELL: Ensayo para determinar la resistencia a la penetración de una esfera dura dentro de la superficie.

EXTRACCIÓN (cuantitativa) del asfalto: Sirve para determinar el porcentaje (%) de bitumen de una mezcla asfáltica.

FRAGILIDAD FRAAS: Ensayo que permite determinar el punto de fragilidad Fraas (temperatura).

FRASCO DE LE CHATELIER: Aparato que sirve para determinar el peso específico del cemento hidráulico.

HUMEDAD: Porcentaje de agua en suelo o material.

MODULO DE FINURA: Número empírico que se obtiene sumando los porcentajes retenidos en cada una de las mallas que se indican mas abajo y luego dividiendo el resultado entre 100.

MUESTREADORES: Instrumentos que permiten obtener muestras, existiendo: los muestradores de pistón y los de tubo abierto.

MU METER: Aparato similar a un remolque que se utiliza para determinar la fuerza en fracción lateral sobre superficies pavimentadas.

PICNOMETRO: Recipiente de vidrio, forma cilíndrica o cónica.

PIEZOMETRO: Aparato que mide la carga en un punto por debajo de la superficie.

POISE: Una unidad de centímetro-gramo-segundo de viscosidad absoluta, correspondiente a la viscosidad de un fluido en donde un esfuerzo de una dina por centímetro cuadrado es requerido para mantener una diferencia de velocidad de un centímetro por segundo entre dos planos paralelos del fluido, orientados en la dirección del flujo y separados por una distancia de un centímetro.

PUNTO DE INFLAMACIÓN: Temperatura a la cual los vapores de un material bituminoso producen ignición (inflamación) al contacto directo con una llama puede hacerse con la copa abierta TAG o copia abierta Cleveland.

POLIMER: Compuesta de moléculas de alto peso molecular, con cadenas ramificadas o interconectadas mediante grado polimerización.

RELACIONES HUMEDAD/DENSIDAD (Proctor): Humedad vs. P.U. de suelos compactados.

RELLENO MINERAL: Un producto mineral finamente dividido en donde más del 70 por ciento pasa el tamiz de 0.075 mm (#200). La caliza pulverizada constituye el relleno mineral fabricado más común. También se usan otros polvos de roca, cal hidratada, cemento Portland, y ciertos depósitos naturales de material fino.

REFRENTAR EL CONCRETO (los testigos): Acción de colocar una cubierta sobre los testigos antes de ser ensayados a la comprensión ("capping").



SECADOR: Aparato que seca los agregados y los calienta a la temperatura especificada.

SOLUBILIDAD: Medida de la pureza de un cemento asfáltico. La porción del cemento asfáltico que es soluble en un solvente específico tal como el tricloroetileno.

STOKE: Unidad de viscosidad cinemática, igual a la viscosidad de un fluido en poises dividida por la densidad del fluido en gramos por centímetro cúbico.

TESTIGO: Muestra cilíndrica de concreto hidráulico o de mezcla bituminosa.

TOLERANCIAS DE ENTREGA: Variaciones permisibles en las proporciones de asfalto y agregado que se descargan en el amasadero.

TURBIDIMETRO (de Wagner): Equipo que permite determinar la finura del cemento Portland en cm^2/g , tal como el aparato de Blaine (permeabilidad).

VACIOS: Espacios en una mezcla compactada rodeados de partículas cubiertas de asfalto.

VELETA: Instrumento para determinar la resistencia al corte de un suelo en campo o laboratorio.

VISCOSIMETRO SAYBOLT: Aparato que se utiliza para determinar la Viscosidad Saybolt



SECCION N° 1 SUELOS

MTC E 101

MUESTREO DE SUELOS Y ROCAS

1.0 OBJETO

- 1.1 Es el muestreo e investigación de suelos y rocas con base en procedimientos normales, mediante los cuales deben determinarse las condiciones de los suelos y rocas.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Establecer los procedimientos adecuados de muestreo de suelos y rocas, que permitirán la correlación de los respectivos datos con las propiedades del suelo, tales como plasticidad, permeabilidad, peso unitario, compresibilidad, resistencia y gradación; y de la roca, tales como resistencia, estratigrafía, estructura y morfología.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 420: Standard Guide to Site Characterization for Engineering Design and Construction Purposes

4.0 EQUIPOS MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPO

El equipo requerido para una investigación por debajo de la superficie, depende de varios factores, tales como el tipo de material a investigar, profundidad de exploración, naturaleza del terreno, y utilización de la información. Entre ellos se indica los siguientes:

- Barrenos manuales, excavadoras y palas, para depósitos superficiales de suelo hasta profundidades de 3 -15 pies (1-5 m).
- Equipos de percusión y lavado.
- Barrenos y taladros rotatorios motorizados, con formas adecuadas, muestreadores y tubos saca núcleos, para la investigación y muestreo tanto de rocas como de suelos.
- Aparatos geofísicos utilizados para la investigación sub superficial que pueden ser:
 - Instrumentos sísmicos, con recepción simple o múltiple mediante geófonos, de señales originadas por golpes de martillo, explosivos u otras fuentes de energía.
 - Aparato de resistividad de suelos, para medir la resistencia del suelo o roca al paso de una corriente continua o alterna.
 - Aparatos nucleares, para medir humedad y peso unitario de suelos o rocas.
 - Muestreadores de turba, para investigar áreas compuestas por suelos orgánicos.
- Herramientas manuales pequeñas, tales como llaves de tubo y palas, constituyen parte del equipo necesario. Para determinados suelos finos plásticos de la selva, los denominados "posteadores".
- Frascos de cierre hermético, para humedad de muestras (aproximadamente de 4 a 8 onzas) de capacidad, de vidrio, metal o plástico, que puedan sellarse; además, recipientes herméticos o bolsas de tejido cerrado, libres de material contaminante, de manera que no haya pérdida de partículas finas y que tengan una capacidad de por lo menos 16 kg (35 lb); también cajas apropiadas para muestras de núcleos de roca.
- Accesorios complementarios: Brújula, inclinómetro, nivel de mano, cámara fotográfica, estacas y cinta métrica.
- Instrumentos para medir asentamientos y movimientos del terreno in situ.

4.2 REACTIVOS

- Ácido clorhídrico normal diluido con gotero, para la determinación de carbonatos al identificar minerales en rocas y suelos.

5.0 MUESTRA

5.1 Deben obtenerse muestras representativas de suelo o roca, o de ambos, de cada material que sea necesario para la investigación. El tamaño y tipo de la muestra requerida, depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, y las limitaciones del equipo de ensayo a ser usado.

Nota 1. El tamaño de las muestras alteradas, en bruto, puede variar a criterio del responsable de la investigación, pero se sugiere las siguientes cantidades:

- Clasificación visual: 0,50 kg – 50 – 500 g.
- Análisis granulométrico y constantes de suelos no granulares: 0,50 a 2,5 kg.
- Ensayo de compactación y granulometría de suelo-agregado granular: 20 - 40 kg.
- Producción de agregados o ensayo de propiedades de agregados: 50 - 200 kg.

5.2 Debe identificarse cuidadosamente cada muestra con la respectiva perforación o calicata y con la profundidad a la cual fue tomada. Colóquese una identificación dentro del recipiente o bolsa, ciérrase en forma segura, protéjase del manejo rudo y márchese exteriormente con una identificación apropiada. Guárdense muestras para la determinación de la humedad natural en recipientes de cierre hermético para evitar pérdidas de la misma. Cuando el secado de muestras puede afectar la clasificación y los resultados de los ensayos, las muestras deben ser protegidas para la pérdida de humedad.

5.3 Deberá tomarse muestras de suelo y agua para determinar la acidez, el pH y el contenido de compuestos metálicos del material, cuando pueda esperarse que causen un cambio inaceptable en su medio ambiente. El tamaño de la muestra no deberá ser menor de 2,5 kg.

5.4 CLASIFICACION DEL MATERIAL

5.4.1 Las muestras para ensayos de suelos y rocas deberán enviarse al laboratorio para los ensayos de clasificación física y mecánica respectiva, de acuerdo con las instrucciones del especialista geotécnico.

5.4.2 Las muestras tomadas, deben servir como mínimo para realizar los siguientes ensayos de laboratorio:

- Análisis granulométrico por tamizado MTC E 107.
- Análisis granulométrico por hidrómetro MTC E 109
- Humedad natural MTC E 108
- Determinación del límite líquido MTC E 110
- Determinación del límite plástico MTC E 111
- Determinación del límite de contracción, si se encuentra alta actividad de los finos MTC E 112.
- Gravedad específica de los suelos MTC E 113.

5.4.3 Las muestras tomadas deben servir para la realización de los siguientes ensayos en construcción de terraplenes:

- Los mencionados en el numeral 5.4.2 que antecede.
- Relación humedad-densidad compactada a la energía Proctor Modificado MTC E 115.
- CBR de materiales compactados MTC E 132.
- Módulo Resiliente sobre muestras compactadas a la energía Proctor Modificado MTC E 128.
- Compresión triaxial no consolidada, no drenada (cu) y consolidada no drenada con medida de presión de poros (MTC E 131), para materiales compactados a la energía Proctor Modificado, que se van a utilizar en terraplenes mayores de 7,00 m de altura.
- Consolidación unidimensional para materiales compactados para las mismas condiciones del ensayo anterior.

5.4.4 Las muestras tomadas deben servir para la realización de los siguientes ensayos para subrasantes:

- Los mencionado en el numeral 5.4.2 que antecede.
- Relación humedad-densidad compactada a la energía de Proctor Modificado MTC E 115.
- CBR MTC E 132.

- Módulo Resiliente sobre muestras inalteradas MTC E 128.

Nota 2. Si se ha realizado la determinación de CBR in situ (MTC E 133) no se considerará necesario la ejecución de la prueba de laboratorio. Sólo se permitirá la prueba in situ cuando los suelos de subrasante tengan un tamaño máximo de 19,1mm (3/4”).

5.4.5 Las muestras para materiales granulares a utilizarse en capas de base y sub base, deben provenir de materiales procesados en planta o laboratorio, y servirán como mínimo para los siguientes ensayos:

- Los mencionados en el [numeral 5.4.2](#) que antecede, excepto el límite de contracción.
- Relación humedad-densidad compactada a la energía Proctor Modificado MTC E 115.
- CBR sobre muestras compactadas MTC E 132.
- Módulo Resiliente MTC E 128.
- Determinación de equivalente de arena MTC E 114.
- Peso unitario y vacíos MTC E 203.
- Gravedad específica y absorción de agregados finos y gruesos MTC E 205 y MTC E 206.
- Abrasión en la máquina de Los Ángeles MTC E 207.
- Durabilidad en sulfato de sodio y en sulfato de magnesio MTC E 209.
- Porcentaje de caras fracturadas en los agregados MTC E 210.
- Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados MTC E 221.
- Porcentaje de partículas livianas MTC E 211 (opcional).
- Arcilla en terrones y partículas desmenuzables MTC E 212.
- Contenido de Sales Totales MTC E 219.

5.4.6 Las muestras de los materiales a usarse en la evaluación de concretos hidráulicos que deben provenir de materiales procesados en planta o laboratorio, servirán como mínimo para los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico por tamizado MTC E 107.
- Cantidad de material fino que pasa el tamiz 200 MTC E 202.
- Peso unitario y vacío de los agregados MTC E 203.
- Gravedad específica y absorción de los agregados MTC E 205 y MTC E 206.
- Abrasión en la máquina de Los Ángeles MTC E 207.
- Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de Magnesio MTC E 209.
- Porcentaje de caras fracturadas MTC E 210.
- Partículas livianas en los agregados MTC E 211.
- Contenido de Sales MTC E 219.
- Arcilla de terrones y partículas desmenuzables MTC E 212.
- Impurezas orgánicas en el agregado fino MTC E 213.
- Índice de durabilidad en los agregados MTC E 214.
- Carbón y lignito en arenas MTC E 215.
- Determinación de la reactividad agregado / álcali MTC E 217.
- Determinación cuantitativa de los compuestos de azufre en los agregados MTC E 218.
- Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados MTC E 221.
- Equivalente de Arena MTC E 114.

5.4.7 Las muestras para los materiales pétreos a utilizarse en la elaboración de concretos asfálticos, deben provenir de materiales procesados en planta o laboratorio, y servirán como mínimo para la realización de los siguientes ensayos:

- Petrografía, difracción de rayos X y polaridad de agregados (evaluación de petrografos) (1).
- Análisis granulométrico por tamizado MTC E 107.
- Análisis por hidrómetro del relleno mineral (material que pasa la malla No. 200) MTC E 109 (1).
- Peso unitario y vacíos de los agregados MTC E 203.
- Gravedad específica y absorción de los agregados MTC E 205 y MTC E 206.
- Abrasión en la máquina de Los Ángeles MTC E 207.
- Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio MTC E 209.

- Porcentaje de caras fracturadas MTC E 210.
- Partículas livianas en los agregados MTC E 211. (1)
- Arcilla de terrones y partículas desmenuzables MTC E 212. (1)
- Impurezas orgánicas en el agregado fino MTC E 213. (1)
- Índice de durabilidad en los agregados MTC E 214. (1)
- Sales solubles MTC E 219. (1)
- Riedel Weber MTC E 220.
- Índice Plástico (por la malla Nº 40 y Nº 200).
- Equivalente de Arena MTC E 114.
- Adherencia agregado – bitumen MTC E 519.
- Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados MTC E 221.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Los procedimientos recomendados para el muestreo en el sitio, la identificación de muestras y los ensayos a realizar, son los siguientes:

- Calicatas y trincheras: Excavaciones a cielo abierto, hasta la profundidad deseada, tomando las precauciones necesarias para evitar el desprendimiento de material de las paredes que pueda afectar la seguridad del trabajador o contaminar la muestra que se espera obtener.
- Investigación y muestreo del suelo mediante barrenos y muestreadores: Procedimiento útil para la determinación del nivel freático. La profundidad con esta clase de barreno está limitada por las condiciones agua-suelo, las características del suelo y el equipo empleado.
- Ensayo de penetración estándar (SPT) y muestreo de suelos: Procedimiento para obtener muestras y medir la resistencia del suelo a la penetración de un muestreador normalizado, fundamentalmente para suelos no cohesivos, pudiendo ser usado en suelos cohesivos para recuperar muestras o para determinar un valor cualitativo de la resistencia.
- Método para muestreo de suelos con tubo de pared delgada, MTC E 120: Procedimiento para recobrar muestras de suelo relativamente inalteradas, adecuadas para ensayos de laboratorio.
- Ensayo de corte con veleta en suelo cohesivo, MTC E 122: Procedimiento para medir in situ la resistencia al corte de suelos cohesivos blandos, mediante la rotación de una veleta de cuatro hojas en un plano horizontal.

6.2 La investigación del suelo y roca comprenderá entre otros lo siguiente:

- Revisión de cualquier información disponible sobre la geología y la formación de la roca o del suelo, o de ambas, sobre las condiciones del nivel freático en el sitio y en las vecindades.
- Determinación del nivel freático y del material de fundación firme, bien sea roca o suelos de adecuada capacidad de soporte.
- Investigación en el sitio de los materiales superficiales y del subsuelo mediante perforaciones de percusión y lavado, rotación, barrenos manuales o mecánicos de espiral, calicatas y métodos geofísicos.
- Identificación del suelo y de los tipos de roca en el terreno con registros de la profundidad a la cual se presentan y de la localización de sus discontinuidades estructurales.
- Recuperación de muestras representativas inalteradas y remoldeadas para ensayos de caracterización del suelo o de la roca, y de los materiales para la construcción.
- Evaluación del comportamiento de instalaciones existentes en la vecindad inmediata del sitio propuesto, con respecto al material de fundación y el medio ambiente.
- Instrumentación en el sitio para medir movimientos por medio de inclinómetro, placa de asentamiento, etc.

6.3 DETERMINACION DEL PERFIL DE SUELOS

6.3.1 Un perfil detallado de suelos deberá desarrollarse únicamente donde la relación continua entre profundidades y datos de los diferentes tipos de suelo y roca, sea económicamente justificable para el proyecto en cuestión.

6.3.2 Pueden emplearse métodos geofísicos de exploración para complementar los datos de las perforaciones y afloramientos, y para interpolar entre los hoyos. Los métodos sísmicos y de

resistividad eléctrica, pueden resultar particularmente valiosos cuando las diferencias nítidas en las propiedades de materiales sub superficiales contiguas están indicadas.

El método de refracción sísmica es especialmente útil para determinar la profundidad a la cual se halla la roca o en sitios donde estratos sucesivamente más densos son encontrados.

El método de resistividad eléctrica es igualmente útil para determinar la profundidad de la roca, evaluando formaciones estratificadas donde un estrato más denso descansa sobre uno menos denso, y en la investigación de canteras de arena-grava o de otros materiales de préstamo.

Las investigaciones geofísicas pueden ser una guía útil para programar los sitios de perforaciones y calicatas. En lo que sea posible, la interpretación de estudios geofísicos deberá ser verificada por perforaciones o excavaciones de prueba.

- 6.3.3 La profundidad de las calicatas o perforaciones para carreteras, aeropuertos, o áreas de estacionamiento, deberá ser al menos de 1,5 m (5 pies) por debajo del nivel proyectado para la subrasante, pero circunstancias especiales pueden aumentar o disminuir esa profundidad. Los sondeos para estructuras o terraplenes deberán llevarse por debajo del nivel de influencia de la carga propuesta, determinado mediante un análisis superficial de transmisión de esfuerzos.

Donde el drenaje pueda ser afectado por materiales permeables, acuíferos o materiales impermeables que lo puedan obstaculizar, las perforaciones deberán prolongarse suficientemente dentro de estos materiales para determinar las propiedades hidrogeológicas y de ingeniería, relevantes para el diseño del proyecto.

En todas las zonas de préstamo, las perforaciones deberán ser suficientes en número y profundidad, para obtener las cantidades requeridas de material que cumpla los requerimientos de calidad especificada.

- 6.3.4 Los registros de perforaciones deberán incluir:

- Descripción de cada sitio o área investigada, con cada hueco, sondeo o calicata, localizado claramente (horizontal y verticalmente) con referencia a algún sistema establecido de coordenadas o a algún sitio permanente.
- Perfil estratigráfico de cada hueco, sondeo o calicata, o de una superficie de corte expuesta, en la cual se muestre claramente la descripción de campo y localización de cada material encontrado, mediante símbolos o palabras.
- Fotografías en colores de núcleos de roca, muestras de suelos y estratos expuestos, pueden ser de gran utilidad. Cada fotografía deberá identificarse con fecha y un número o símbolo específico, una fecha y escala de referencia.
- La identificación de todos los suelos deberá basarse en las presentes normas para la clasificación de los suelos y de los suelos-agregados para construcción de carreteras, en la norma sobre descripción mediante procedimientos manuales y visuales, o en la de identificación de rocas.
- Las áreas acuíferas, drenaje subterráneo y profundidad del nivel freático hallado en cada perforación, calicata o hueco.
- Los resultados de ensayos en sitio (in situ), donde se requieran, como los de penetración o los de veleta u otros ensayos para determinar propiedades de suelos o rocas.
- Porcentaje de recuperación de núcleos e Índice Calidad de Roca en perforaciones de núcleo.
- Representación gráfica de campo y laboratorio y su interpretación facilita el entendimiento y comprensión de condiciones superficiales.

6.4 PERFIL SUBSUPERFICIAL

- 6.4.1 Los perfiles del subsuelo se deben dibujar únicamente en base a perforaciones reales o datos de los cortes. La interpolación entre dichos sitios deberá hacerse con extremo cuidado y con la ayuda de toda la información geológica que se tenga disponible, anotando claramente que tal interpolación o continuidad asumida de estratos, es tentativa.

7.0 CALCULOS E INFORME


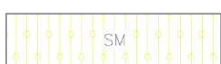










7.1 INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS




7.1.1 La extrapolación de datos en áreas locales no investigadas puede hacerse de manera tentativa, únicamente cuando se conozca que existe geológicamente una disposición sub superficial uniforme del suelo y de la roca siendo la interpretación de responsabilidad del especialista. Las propiedades de los suelos y rocas de proyectos importantes, no deberán predecirse solamente con base en la simple identificación o clasificación en el terreno, sino que deberán comprobarse mediante ensayos de laboratorio y de terreno. Las recomendaciones de diseño deben ser formuladas por especialistas en geotecnia o por ingenieros de carreteras familiarizados con los problemas comunes en dichas áreas.

ANEXO

SIMBOLOS GRAFICOS PARA SUELOS

Tanto en los perfiles como en los registros estratigráficos se deberán usar los símbolos que se muestran a continuación.

	Gravas bien graduadas mezcla, grava con poco o nada de materia fino, variación en tamaños granulares		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo
	Gravas mal granuladas, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino		Arenas arcillosas, mezcla de arena-arcillosa
	Gravas limosas mezclas de grava arena limosa		Limos orgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosa o limos arcillosos con ligera plasticidad
	Gravas arcillosas mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino		Limo orgánicos de plasticidad baja o mediano, arcillas gravas, arcillas arenosas, arenas limosas, arcillas magras
	Arenas bien graduadas, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaños intermedios		Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas, baja plasticidad
	Arenas mal graduadas con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedios		Limos inorgánicos suelos finos granosos o limosos micáceas o diatomáceas, limos elásticos

	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad, arcillas grasosas
	Arcillas orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limos orgánicas
	Turba, suelos considerablemente orgánicos

MTC E 102

MUESTREO POR PERFORACION CON BARRENOS HELICOIDALES (VASTAGO HUECO)

1.0 OBJETO

- 1.1 Es el muestreo de suelos mediante perforación con barrenos helicoidales o también conocido como vástago hueco. Puede aplicarse cuando se requieran muestras representativas o muestras in situ, o ambas, siempre que la formación del terreno sea de naturaleza consolidada, que permita tal tipo de perforación.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este ensayo tiene por finalidad obtener muestras representativas in situ mediante la utilización de barrenos helicoidales (vástago hueco), para la realización de los ensayos, análisis o investigaciones de laboratorio que requiera un proyecto.
- 2.2 Puede ser aplicado en lugar del revestimiento para el muestreo o para la toma de núcleos, o de ambos, en cualquier formación de naturaleza tal que permita la perforación con barreno, y cuando no se desee información alguna relacionada con resistencia al hincado, del revestimiento o del tubo guía.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 1452: Standard Practice for Soil Exploration and Sampling by Auger Borings.

4.0 EQUIPO

- 4.1 Barrenos con vástago hueco, fabricados de acero-carbono, de aleaciones de acero, o de ambos. Deberán clasificarse como pequeños, medianos y largos. Un dispositivo de barreno helicoidal con vástago hueco se muestra en la Figura 1.
- Tamaño mínimo. Los diámetros interiores deberán ser de 57,2 mm (2,25"), 82,6 mm (3,25") y 95,2 mm (3,75"). Son aceptables tamaños adicionales y mayores, con tal de que cumplan el requisito del párrafo siguiente para la luz libre del "muestreador."
 - La holgura del "muestreador" deberá ser tal, que ningún "muestreador" o tubos saca núcleos sea operado en, o a través de un barreno con vástago hueco, cuyo diámetro de dicho hueco sea menor del 108% del diámetro exterior del "muestreador".

El barreno con vástago hueco podrá avanzar y tomar núcleos, conducida por cualquier máquina de perforación que tenga suficiente fuerza de torsión y de hincado, para hacerla girar y forzar hasta la profundidad deseada, con tal de que la máquina esté equipada con los accesorios necesarios para tomar la muestra o el núcleo requerido.

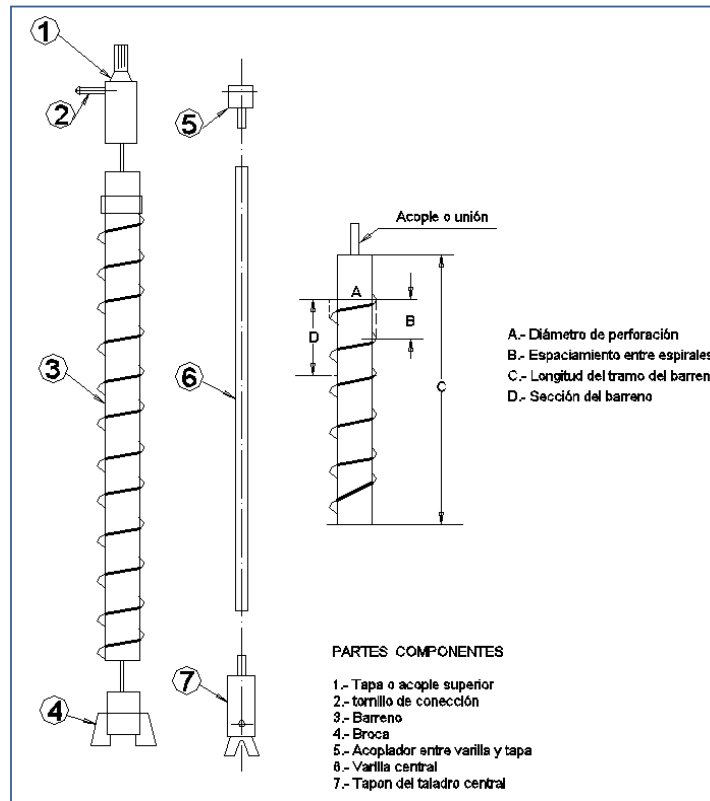


Figura 1. Barreno típico para perforaciones

5.0 MUESTRA

5.1 Según sean las características de los materiales a muestrear.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Procedimiento A

Hágase avanzar el barreno de vástago hueco con tapón, hasta la profundidad de muestreo deseada. Retírese el tapón, sacando las varillas centrales de perforación y reemplácese con las herramientas requeridas para el muestreo o toma de los núcleos. Bájese la herramienta de muestreo a través de la barrena con vástago hueco, y asíéntese sobre el material inalterado en el fondo de la perforación. Procédase con la operación de muestreo, mediante rotación, presión o hincamiento de acuerdo con el método normal o el autorizado, que rija el uso de la herramienta particular de muestreo. Retírese el "muestreador" cargado sacando las varillas centrales.

Reemplácese el "muestreador" con el tapón y retórnese al fondo del hueco. Hágase avanzar la barrena de vástago hueco hasta la siguiente profundidad a la que se va a muestrear. Repítase la secuencia para cada muestra deseada.

6.2 Procedimiento B

Hágase avanzar el barreno del vástago hueco con el tapón en su sitio, hasta la profundidad de muestreo deseada.

Retráigase el tapón, enrollando el cable en su carrete con el martillo y el tapón ensamblados. Sepárese el tapón del martillo y sustitúyase por el "muestreador" guía deseado. Con el cable, bájese dentro del hueco el martillo con el muestreador ajustado, hasta apoyarlo sobre el material inalterado expuesto en el fondo del hueco. Procédase con la operación de muestreo de acuerdo con el método normal o el aprobado que gobierne el empleo del "muestreador" y martillo.

Alíviese el "muestreador" cargado, sobrebarrenando hasta que la boca de la barrena se halle a la profundidad de la zapata del muestreador o descargándola hacia atrás. Recupérese el "muestreador" enrollando la línea de cable con el martillo y el "muestreador" ensamblados. Sepárese el "muestreador" del martillo y reemplácese por el tapón de la barrena, o en el caso de muestreo continuo, con otro "muestreador".

Bájese dentro del hueco el martillo con el tapón o con el "muestreador", y reiniciéese la perforación del barreno, o continúese el muestreo en la forma apropiada para el sistema que se esté efectuando, ya sea incremental o continuo. Repítase o continúese la secuencia hasta su terminación.

6.3 Procedimiento C

El barreno de vástago hueco puede emplearse sin tapón. Cuando se emplea así, puede esperarse que se forme un tapón de suelo, en la boca de la barrena. Raras veces este tapón excederá de 102 a 152 mm (4" a 6") de espesor. Normalmente, los muestreadores pueden presionarse o hincarse a través de este tapón. El tapón de suelo, sin embargo, llega a ser entonces la parte superior de la muestra. De acuerdo con esto, las muestras obtenidas así con la barrena de vástago hueco deben acuñarse con pedazos de barrenas y muestreadores de desecho.

El barreno con vástago hueco puede emplearse con el tubo central lleno de un líquido a presión constante positiva, cuando se trabaje sin el tapón. El líquido podrá ser agua o lodo de perforación, sobrecargado tanto como sea necesario, para evitar la entrada de material saturado a flujo libre, dentro de la barrena.

Deberá tenerse cuidado de evitar la expulsión de la muestra por exceso de presión o peso del líquido, dentro del tubo central. Normalmente, el líquido sobrecargado deberá introducirse dentro del barreno, únicamente por gravedad, y solamente cuando sea necesario para mantener el nivel dentro del tubo central del barreno por encima del nivel de agua. El muestreo dentro del barreno lleno de líquido, deberá efectuarse de la manera normal prescrita para usar el muestreador especial, en una perforación llena con líquido.

6.4 En el caso de que haya ingreso de suelos dentro del barreno, por pérdida de presión del líquido dentro del tubo central o por otra causa, deberá lavarse el tubo central de la misma manera que se indica para la limpieza del revestimiento. El muestreo deberá ejecutarse entonces, como se prescribe para el empleo del muestreador especial en agujeros llenos de líquido; sin embargo, el informe de perforación deberá indicar siempre que la pérdida de suelo ocurrió antes de efectuado el muestreo.

El flujo de material no cohesivo en el fondo de cualquier tipo de perforación, normalmente hace que se afloje el material a ese nivel o por debajo del fondo y por ello una muestra, o el valor N tomado, pueden no ser verdaderamente representativos de la condición inalterada del material.

El flujo de material no cohesivo en el fondo de cualquier tipo de perforación, normalmente hace que se afloje el material a ese nivel o por debajo del fondo y por ello una muestra, o el valor N tomado, pueden no ser verdaderamente representativos de la condición inalterada del material.

MTC E 103

REDUCCION DE MUESTRAS DE CAMPO A TAMAÑOS DE MUESTRAS DE ENSAYO

1.0 OBJETO

- 1.1 Es la reducción de las muestras obtenidas en el campo a los tamaños de muestras requeridas para los ensayos, empleando procedimientos que minimizan la variación en la medición de las características entre las muestras de ensayo y las muestras de campo.
- 1.2 La reducción de muestras se obtiene mediante los siguientes tres métodos:
 - Método A: Cuarteador mecánico
 - Método B: Cuarteo
 - Método C: Pilas cónicas (agregado fino húmedo)

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 La finalidad es el reducir las muestras obtenidas en el campo a las porciones requeridas para someterlas a ensayos. Las muestras más grandes tienden a ser más representativas de la muestra total.

Los métodos indicados tienen por finalidad reducir el tamaño de la muestra obtenida en el campo a tamaños convenientes para realizar varios ensayos a fin de describir el material y medir su calidad, de tal manera que la porción de muestra de ensayo más pequeña no deje de ser representativa de la muestra más grande y por lo tanto de la total suministrada. Los errores que se cometen en un seguimiento no cuidadoso de los métodos, conducirán a la obtención de muestras no representativas para su uso en ensayos posteriores.

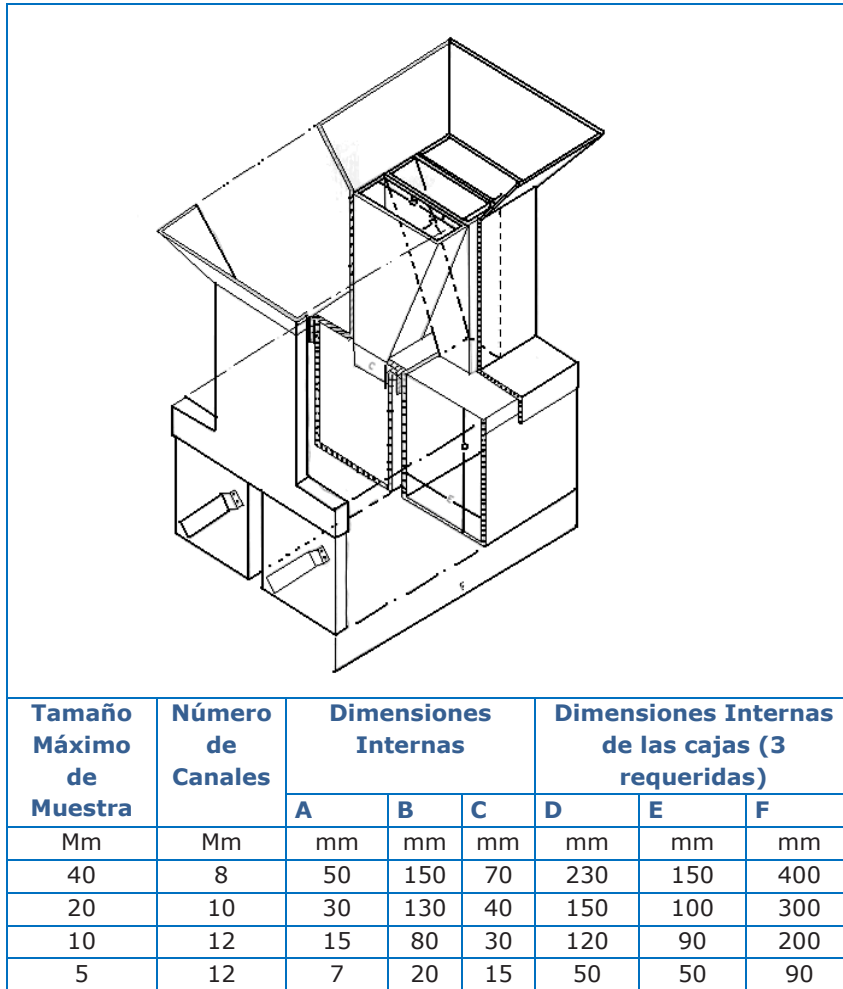
3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM C 702: Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size.

4.0 EQUIPO

4.1 METODO A: CUARTEADOR MECÁNICO

- 4.1.1 Divisor de muestras: Los divisores de muestras deberán tener un número par de cajuelas con planos inclinados de igual ancho, pero no menor que ocho para suelos gruesos, o veinte para suelos finos, con descargas alternativas a cada lado del divisor. El ancho mínimo de la cajuela debe ser aproximadamente 1,5 veces el diámetro de la partícula de mayor tamaño contenida en la muestra a ser dividida. El divisor debe estar equipado con dos recipientes para recibir las dos mitades de la muestra dividida. Asimismo, debe estar equipado con una tolva, la cual tiene un ancho igual o ligeramente menor que el ancho total de la cajuela, por la cual la muestra debe ser depositada a una velocidad controlada a las cajuelas. El equipo y sus accesorios deben ser diseñados para que la muestra fluya suavemente sin restricciones o pérdidas de material. Ver [Figura 1](#).


Figura 1. Cuarteador mecánico

4.2 METODO B: CUARTEO

4.2.1 El aparato consiste de un cucharón metálico, pala o badilejo y una lona para cubrir aproximadamente 2 m x 2,5 m. Ver [Figura 2](#).


Figura 2 Cuarteo.

4.3 METODO C: PILAS CONICAS (Agregado fino húmedo)

4.3.1 El equipo consiste de un cucharón metálico, pala o badilejo para mezclar y un muestreador (pequeño cucharón o pala). Ver [Figura 3](#)



Figura 3: Pilas cónicas

5.0 MUESTRA

La muestra de campo se toma de acuerdo con el método (MTC E101), o como lo establezca cada método de ensayo. Cuando se contempla solamente el ensayo de análisis granulométrico, el tamaño de la muestra de campo dada en MTC E 101 es usualmente adecuado. Cuando se van a realizar ensayos adicionales, el usuario deberá asegurar por sí mismo que el tamaño inicial de la muestra de campo sea adecuado para realizar todos los ensayos considerados.

5.1 SELECCION DEL METODO

5.1.1 Agregado fino

La muestra de campo de agregado fino que está seca o en condición de saturada superficialmente seca, se debe reducir de tamaño por medio de un cuarteador mecánico usando el Método A. Muestras de campo libres de humedad superficial se pueden reducir de tamaño por cuarteo de acuerdo al Método B o por tratamiento como una pequeña muestra conforme al Método C.

5.1.1.1 Si se desea utilizar el Método B ó C y la muestra de campo no tiene humedad libre sobre la superficie de las partículas, la muestra se debe humedecer para alcanzar esta condición, mezclarla bien y luego llevar a cabo la reducción de la muestra.

5.1.1.2 Si se desea utilizar el Método A y la muestra de campo tiene humedad libre sobre la superficie de las partículas, la muestra de campo se debe secar hasta la condición de superficie seca, usando temperaturas que no excedan aquellas especificadas para cualquiera de los ensayos contemplados y luego se procede a reducir la muestra. Alternativamente, si la humedad de la muestra de campo es muy grande, una división preliminar se debe realizar utilizando un cuarteador mecánico que tenga una abertura de 38 mm (1 ½ pulg) o más para reducir la muestra a no menos de 5 000 g, la porción así obtenida se seca y se reduce al tamaño de muestra de ensayo usando el Método A.

Nota 1. El método para determinar la condición de saturado superficialmente seco se describe en NTP 400.022. A manera de aproximación, si el agregado fino mantiene su forma, cuando se moldea con la mano, se puede considerar que posee dicha condición.

5.1.2 Agregado grueso y mezcla de agregados grueso y fino

La muestra se reduce usando un cuarteador mecánico de acuerdo con el Método A (método preferido) o por cuarteo usando el Método B. No se debe usar el Método C para agregado grueso o mezcla de agregado grueso y fino.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 METODO A: CUARTEADOR MECANICO

6.1.1 La muestra de campo se coloca en la tolva distribuyéndola uniformemente de extremo a extremo de tal manera que, aproximadamente igual cantidad fluya a través de cada cajuela. La razón a la cual la muestra se deposita en la tolva, es tal que se debe alcanzar un flujo libre a través de las cajuelas hasta los recipientes colocados abajo. La muestra de uno de los recipientes se reintroduce al aparato las veces que sea necesario para reducir el tamaño de la muestra a la cantidad especificada para el ensayo. La porción de muestra acumulada en el otro recipiente se debe reservar para otros ensayos.

6.1.2 La muestra de campo se coloca en la tolva distribuyéndola uniformemente de extremo a extremo de tal manera que, aproximadamente igual cantidad fluya a través de cada cajuela. La razón a la cual la muestra se deposita en la tolva, es tal que se debe alcanzar un flujo libre a través de las cajuelas hasta los recipientes colocados abajo. La muestra de uno de los recipientes se reintroduce al aparato las veces que sea necesario para reducir el tamaño de la muestra a la cantidad especificada para el ensayo. La porción de muestra acumulada en el otro recipiente se debe reservar para otros ensayos.

6.2 METODO B: CUARTEO

6.2.1 Se puede usar cualquiera de los procedimientos descritos en los dos numerales siguientes o una combinación de ambos.

6.2.1.1 Se coloca la muestra sobre una superficie dura, limpia y horizontal evitando cualquier pérdida de material o la adición de sustancias extrañas. Se mezcla bien la muestra hasta formar una pila en forma de cono; se mezcla de nuevo hasta formar un nuevo cono, repitiendo esta operación tres veces. Cada palada tomada de la base se deposita en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los lados del cono. Cuidadosamente se aplanar y extiende la pila cónica hasta darle base circular y espesor y diámetro uniforme presionando hacia abajo con la cuchara de la pala, de tal manera que cada cuarto del sector contenga el material original. El diámetro debe ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor. Se procede luego a dividir diametralmente el material en cuatro partes iguales, de las cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino limpiando luego con cepillo o escoba los espacios libres. Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente y se repite la operación hasta obtener la cantidad de muestra requerida, tal como se aprecia en la Figura 2.

6.2.1.2 Como una alternativa al procedimiento anterior, cuando la superficie no es uniforme, la muestra de campo se coloca sobre una lona sobre la cual se homogeniza la muestra original por paleo. Se puede operar también, mezclando el material mediante la elevación alternativa de las esquinas de la lona tirando hacia la muestra, como si se tratara de doblar la lona diagonalmente haciendo rodar al material. En cualquiera de los casos se procede a aplanar y extender la pila como en [6.2.1.1](#) y luego dividirlo, o si la superficie bajo la lona es irregular, se coloca debajo de la lona en el centro de la muestra una varilla que al levantar sus extremos divide la muestra en dos partes iguales.

Doblando las esquinas de la lona se saca la varilla y se coloca nuevamente debajo del centro de la lona en ángulo recto a la primera división y levantando ambos extremos de la varilla se divide la muestra en cuatro partes iguales. Se descartan dos cuartos de muestra diagonalmente opuestos y cuidadosamente se limpia los filos de la lona.

Sucesivamente se mezcla y cuarteo el material remanente hasta reducir la muestra a la cantidad deseada, tal como se aprecia en la [Figura 3](#).

6.3 METODO C: PILAS CONICAS (Agregado fino húmedo)

6.3.1 Se coloca la muestra de campo de agregado fino húmedo sobre una superficie limpia y nivelada para evitar cualquier pérdida de material o la adición de sustancias extrañas. Se mezcla el material completamente por volteo repitiendo la operación hasta tres veces. En la última



operación cada palada se deposita en la parte superior del cono de modo que el material caiga uniformemente por los lados del cono. Si se desea la pila cónica puede ser aplanada hasta un espesor y diámetro uniforme presionando hacia abajo con la cuchara de la pala de tal forma que cada cuarto de sector resultante contenga el material original. Se obtiene la muestra para cada ensayo seleccionando al azar por lo menos cinco porciones de material localizados de la pequeña pila cónica usando el equipo descrito en 4.3.1.

7.0 PRECISION Y DISPERSION

7.1 Puesto que la presente norma no proporciona resultados numéricos, la determinación de la precisión no es posible. Sin embargo, si no se siguen cuidadosamente los procedimientos descritos pueden resultar muestras distorsionadas para ser usadas en ensayos subsecuentes.

MTC E 104

CONSERVACION Y TRANSPORTE DE MUESTRAS DE SUELOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el procedimiento para la conservación de las muestras inmediatamente después de obtenidas en el terreno, así como para su transporte y manejo.
- 1.2 En todos los casos, el objeto primordial es el de preservar las condiciones propias de cada muestra.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El empleo de los diferentes métodos que se describirán, depende del tipo de muestras obtenidas, del tipo de ensayo y de las propiedades de ingeniería requeridas, de la fragilidad y sensibilidad del suelo, y de las condiciones climáticas.
- 2.2 Los métodos aquí desarrollados fueron inicialmente para muestras de suelo que han de ensayarse para obtener las propiedades de ingeniería; sin embargo, ellos también pueden aplicarse a muestras de suelo o de otros materiales, para otros fines.
- 2.3 Los diferentes métodos se distribuyen en cuatro grupos, así:
 - Grupo A. Muestras que requieren únicamente identificación visual.
 - Grupo B. Muestras que necesitan únicamente ensayos de contenidos de humedad y clasificación; de peso unitario y peso específico; el perfil de la perforación; y muestras, en bruto que serán remoldeadas o compactadas en especímenes para someterlas a ensayos de presión y porcentaje de hinchamiento, consolidación, permeabilidad, resistencia al corte, CBR, etc.
 - Grupo C. Muestras inalteradas, formadas naturalmente o preparadas en el campo para determinaciones de peso unitario; o para compresión y porcentaje de hinchamiento, consolidación, ensayos de permeabilidad y de resistencia al corte, con y sin medidas de esfuerzo-deformación y de cambios de volumen, hasta incluir ensayos dinámicos y cíclicos.
 - Grupo D. Muestras frágil o altamente sensible, para las cuales se requieren los ensayos del Grupo C.
- 2.4 El método de conservación y transporte de muestras de suelos, que se vaya a emplear, deberá fijarse en las especificaciones del proyecto o definirse por parte de la entidad responsable.
- 2.5 Es de responsabilidad de quien utilice esta norma, consultar y establecer medidas de seguridad y sanidad apropiadas y determinar la posibilidad de aplicar limitaciones reglamentarias antes de su empleo.
- 2.6 Instrucciones especiales, descripciones y marcas en las cajas (advertencias), deben incluirse en cualquier muestra que pueda contener materiales radiactivos, tóxicos o con contaminantes.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D4220 - 95(2007) SOILS. Standard Practices for Preserving and Transporting Soil Samples

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

El tipo de materiales y de recipientes requeridos, depende de las condiciones y requerimientos enunciados para los grupos A a D del numeral 6.3 y también del clima, del medio de transporte y de la distancia.

- 4.1 Parafina para sellado, puede ser: cera microcristalina, cera de abejas, o una combinación de las mismas.
- 4.2 Discos de metal, de alrededor de 2 mm (1/16") de espesor y con un diámetro ligeramente menor que el diámetro interno del tubo, muestreador o anillo, y para utilizarlos conjuntamente con parafina, tapas y cinta, o ambos.
- 4.3 Discos de madera, encerados previamente, de 25 mm (1") de espesor y con un diámetro ligeramente menor que el diámetro interior del muestreador o el del tubo.

- 4.4 Cinta, ya sea plástica a prueba de agua, adhesiva de fricción, o de pegar tubos.
- 4.5 Estopa de algodón, para emplear con parafina en capas alternadas.
- 4.6 Tapas, ya sean plásticas, de caucho o de metal, para colocar en los extremos de los tubos de pared delgada, muestreadores con anillos, junto con cinta o parafina.
- 4.7 Selladores, empleados para sellar los extremos de la muestra, dentro de los tubos de pared delgada.

Nota 1. Se prefieren empacadores de plástico dilatables. Los empacadores dilatables metálicos sellan igualmente bien; sin embargo, en almacenamientos a largo plazo, pueden causar problemas de corrosión.

- 4.8 Frascos, de boca ancha, con tapa y anillo de caucho o tapa con un papel sellante, y de un tamaño adecuado para recibir fácilmente la muestra, comúnmente de 250 mL, 500 mL y 1000 mL.
- 4.9 Bolsas, ya sean plásticas, de yute, fibra, lona, etc.
- 4.10 Material para amortiguar contra vibraciones y choques.
- 4.11 Aislamiento, ya sea polietileno expandido, burbujas plásticas o del tipo de espuma, que resista cambios de temperatura perjudiciales para el suelo.
- 4.12 Cajas, para el transporte de muestras de bloque cúbico y elaboradas con tablas de 13 a 19 mm ($\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ ") de espesor.
- 4.13 Cajas cilíndricas, un poco más largas que los tubos de pared delgada.
- 4.14 Containeres o cajas, para transporte, de construcción apropiada para protección contra choques y vibraciones.

Nota 2. Deben observarse las limitaciones de dimensiones de embalaje y peso para el transporte comercial.

- 4.15 Para la identificación. Incluir los elementos necesarios, tales como rótulos y marcadores para identificar adecuadamente la (s) muestra (s).

5.0 MUESTRA

- 5.1 Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices se puede efectuar sin previo lavado.
- 5.2 Prepárese una muestra para el ensayo como se describe en la preparación de muestras para análisis granulométrico (MTC E 106), la cual estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayaran por separado.
- 5.3 El peso del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, como se indica en el modo operativo MTC E 106, será suficiente para las cantidades requeridas para el análisis mecánico, como sigue:
 - 5.3.1 Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la Tabla 1:

Tabla 1

Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porción (g)
9,5 (3/8")	5 00
19,6 (3/4")	1 000
25,7 (1")	2 000
37,5 (1 1/2")	3 000
50,0 (2")	4 000
75,0 (3")	5 000

- 5.3.2 El tamaño de la porción que pasa tamiz de 4,760 mm (Nº 4) será aproximadamente de 115 g para suelos arenosos y de 65 g para suelos arcillosos y limosos.
- 5.4 En el modo operativo MTC E 106 se dan indicaciones para la pesada del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, así como para la separación del suelo sobre el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) por medio del tamizado en seco, y para el lavado y pesado de las fracciones lavadas y secadas retenidas en dicho tamiz. De estos dos pesos, los porcentajes, retenido y que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4), pueden calcularse de acuerdo con el numeral [5.4.1](#).
- 5.4.1 Se puede tener una comprobación de los pesos, así como de la completa pulverización de los terrones, pesando la porción de muestra que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) y agregándole este valor al peso de la porción de muestra lavada y secada en el horno, retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4).

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Para todas las muestras. Identifíquense apropiadamente las muestras con membretes, rótulos y marcas, antes de transportarlos, en la siguiente forma:
- Nombre o número de la obra, o ambos.
 - Fecha del muestreo.
 - Muestra/número y localización de la calicata.
 - Profundidad o elevación, o ambas.
 - Orientación de la muestra.
 - Instrucciones para transporte especial o manejo en el laboratorio, o ambas, incluida la forma como debe quedar colocada la muestra y
 - Datos del ensayo de penetración SPT si son aplicables.
- 6.2 Grupo A
- Transpórtense muestras en cualquier clase de caja mediante cualquier medio de transporte disponible. Si es comercial, el recipiente sólo necesita cumplir con las exigencias mínimas de la agencia transportadora y con los restantes requisitos para asegurarse contra la pérdida de la muestra.
- 6.3 Grupo B
- Estas muestras deberán conservarse y transportarse en recipientes sellados a prueba de humedad, todos los cuales deberán ser de espesor y resistencia suficientes para evitar su rotura. Los recipientes o empaques pueden ser bolsas plásticas, frascos de vidrio o de plástico (suponiendo que sean a prueba de agua), tubos de pared delgada, y anillos. Las muestras cúbicas y cilíndricas pueden envolverse en membranas plásticas adecuadas, en papel de aluminio, o ambas (Véase Nota 3) y cubrirse con varias capas de parafina, o sellarse con varias capas de estopa paño impermeable y parafina.
 - Estas muestras pueden enviarse mediante cualquier medio disponible de transporte. Pueden remitirse como fueron preparadas o colocarse en recipientes más grandes, como costales, cajas de cartón o de madera, o barriles.

Nota 3. Algunos suelos pueden perforar el papel de aluminio, debido a corrosión. En tales casos, evítese entonces el contacto directo.

- Bolsas plásticas. Deberán colocarse tan ajustadamente como sea necesario alrededor de la muestra, expulsando todo el aire posible. El plástico deberá ser lo suficiente grueso, para evitar escapes.
- Frascos de vidrio o de plástico. Si las tapas de los frascos no están selladas con anillos de caucho o con papel parafinado, las tapas deberán sellarse con parafina o con cinta aislante.
- Tubos de pared delgada.
 - a) Cubiertas ensanchables. El método preferido para sellar los extremos de las muestras dentro de los tubos es con cubiertas plásticas que pueden dilatarse.
 - b) Para un sellamiento a corto plazo, la parafina es aceptable; a largo plazo (más de 3 días), deben emplearse ceras micro-cristalinas o combinadas con 15% de cera de abejas o resinas para una mejor adherencia a la pared del tubo y para reducir la contracción. Varias capas delgadas de parafina son mejores que una capa gruesa. El espesor mínimo final deberá ser de 10 mm. (0,4").
 - c) Tapas de los extremos. Las tapas en los extremos, de metal, de caucho o de plástico, deberán sellarse con cinta. Para almacenamiento a largo plazo (más de 3 días), deberán también parafinarse, aplicando dos o más capas.
 - d) Estopa de algodón y parafina. Capas que se alternan (un mínimo de dos de cada una) de estopa y parafina, pueden emplearse para sellar cada extremo del tubo y para estabilizar la muestra.

Nota 4. Cuando sea necesario, deberán colocarse separadores o material adecuado, antes de sellar los extremos del tubo, para proporcionar el confinamiento debido.

- Alineadores o camisas delgadas de anillos: véanse los literales c) y d) anteriores.
- Muestras expuestas
 - a) Las muestras cilíndricas, cúbicas u otras muestras envueltas en plástico, como polietileno y polipropileno u hojas delgadas de papel de estaño o aluminio, etc., deberán protegerse posteriormente con un mínimo de tres capas de parafina.
 - b) Las muestras cilíndricas y cubos envueltos en estopa y parafina, deberán sellarse con un mínimo de tres capas colocadas alternadamente.
 - c) Las muestras en cajas de cartón deben empacarse en tal forma, que la parafina pueda vaciarse completamente alrededor de la muestra. Generalmente, deberán envolverse las muestras en plástico o en papel de estaño o de aluminio, antes de parafinarse.

6.4 Grupo C

- Estas muestras deben preservarse y sellarse en empaques como se indica en 6.3. Adicionalmente, deberán protegerse contra choques, vibraciones y cambios de temperatura.
- Las muestras transportadas por el personal del muestreo o del laboratorio, o en la cabina de un vehículo automotor, necesitan colocarse solamente en cajas de cartón o en empaques similares, dentro de los cuales las muestras selladas encajen ajustadamente, evitando golpes, volcamientos, caídas, etc.
- Para los demás métodos de transporte de muestras, incluyendo buses, encomiendas, camiones, barcos, aviones, etc., será necesario colocar las muestras selladas en cajas de madera, de metal, o de otro tipo adecuado, que proporcionen amortiguación o aislamiento.
- El material de amortiguación (aserrín, caucho, polietileno, espuma de uretano o material elástico similar) deberá sujetar completamente cada muestra. La amortiguación entre las muestras y las paredes de las cajas deberá tener un espesor mínimo de 25 mm (1"). Un espesor mínimo de 50 mm (2") deberá proporcionarse sobre el piso de la caja.
- Cuando sea necesario, las muestras deberán remitirse en la misma posición como fueron tomadas. Por otra parte, pueden proporcionarse condiciones especiales, tales como drenaje controlado o confinamiento suficiente del suelo, o una combinación de éstas.

6.5 Grupo D

- Deberán cumplir los requerimientos del grupo C más los siguientes:
Las muestras deberán manipularse manteniendo la misma orientación con que fueron muestreadas, inclusive durante el transporte, mediante marcas adecuadas sobre la caja de embarque.
- Para todos los medios de transporte privado o comercial, el carguío, transporte y descargue de las cajas, deberán supervisarse en cuanto sea posible por una persona apta (ingeniero de suelos, inspector, laboratorista o persona designada por la dirección del proyecto).

6.6 Cajas. Véanse las figuras 1 a 5 para cajas típicas; la Figura 3 se refiere a barriles metálicos. Las siguientes características deben incluirse en el diseño de la caja para los grupos C y D.

- Debe poderse volver a usar.
- Debe construirse en tal forma que la muestra pueda conservarse en todo momento, en la misma posición que cuando se hizo el muestreo.
- Deberá incluirse suficiente material de amortiguación y, o, aislar los tubos de los efectos adversos de vibración y choque.
- Deberá incluirse suficiente material aislante para evitar excesivos cambios de temperatura.
- Cajas de madera:

Es preferible la madera al metal. Puede emplearse lámina exterior que tenga un espesor de 13 a 19 mm ($\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ "). La tapa deberá ir con bisagras y cerrada con picaportes, y asegurada con tornillos.

Para protección contra variaciones excesivas de temperatura, toda la caja deberá forrarse con un aislamiento de espesor mínimo de 50 mm (2").

- Cajas metálicas:

Las cajas metálicas para despachos deberán tener incorporado material de amortiguación y aislante. Alternativamente, el efecto de amortiguación podrá lograrse con un sistema de suspensión de resorte o mediante cualquier otro medio que proporcione protección similar. Pueden emplearse también cajas construidas con material de fibra de plástico o cartón reforzado.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME

7.1.1 Los datos obtenidos en el campo deberán registrarse e incluirán lo siguiente:

- Nombre o número de la obra, o ambos.
- Fecha (s) del muestreo.
- Muestra / número (s) del sondeo y sitio (s).
- Profundidad (es) o elevación (es), o ambos.
- Orientación de la muestra.
- Posición del nivel freático, si lo hubiera.
- Método de muestreo y datos del ensayo de penetración, si fueren aplicables.
- Dimensiones de la muestra.
- Descripción del suelo (basado en la identificación visual de los suelos).
- Nombres del inspector / cuadrilla, ingeniero de suelos, jefe del proyecto, etc.
- Condiciones climáticas.
- Observaciones, generales.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 Esta norma únicamente proporciona información general y cualitativa, por lo cual no es aplicable una proposición general de precisión.

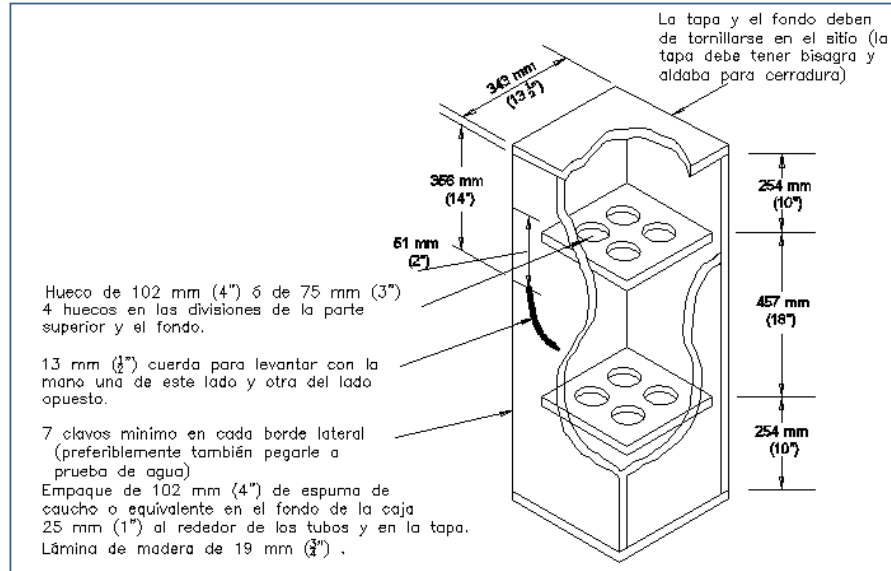


Figura 1. Caja para el transporte de tubos de pared delgada

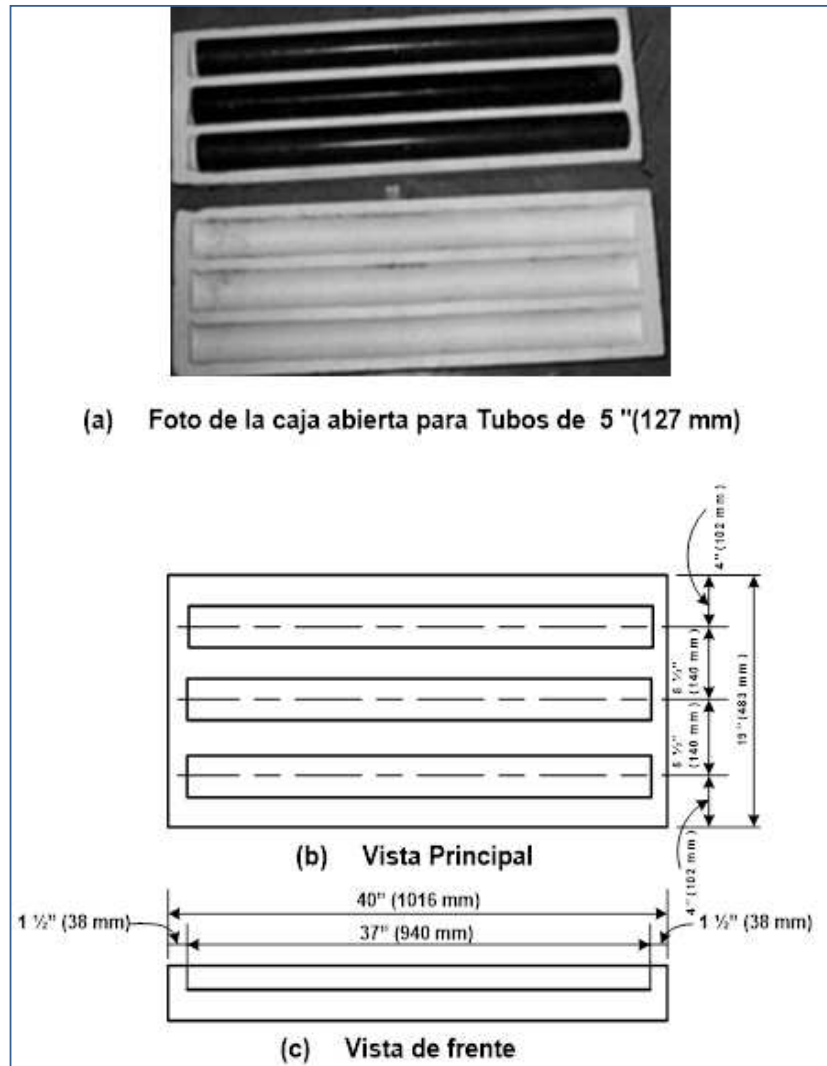


Figura 2. Caja abierta para tubos de pared delgada

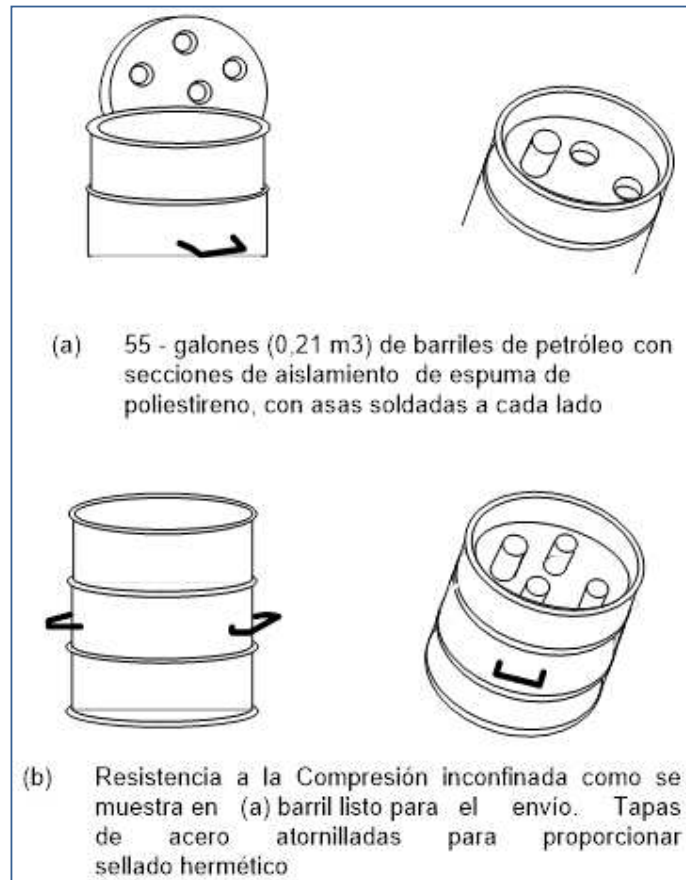


Figura 3. Barriles metálicos para transportar tubos de pared delgada

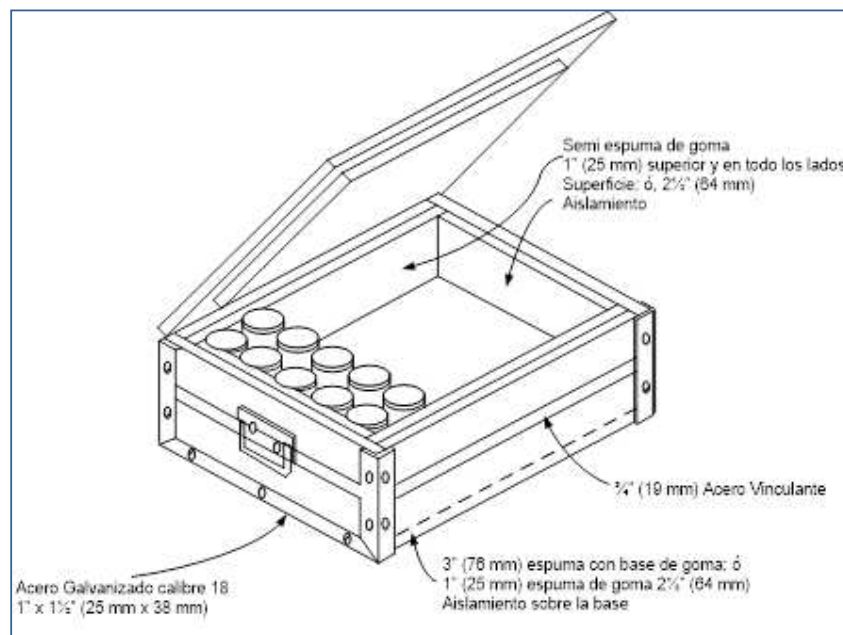


Figura 4. Caja para el transporte de tubos cortos

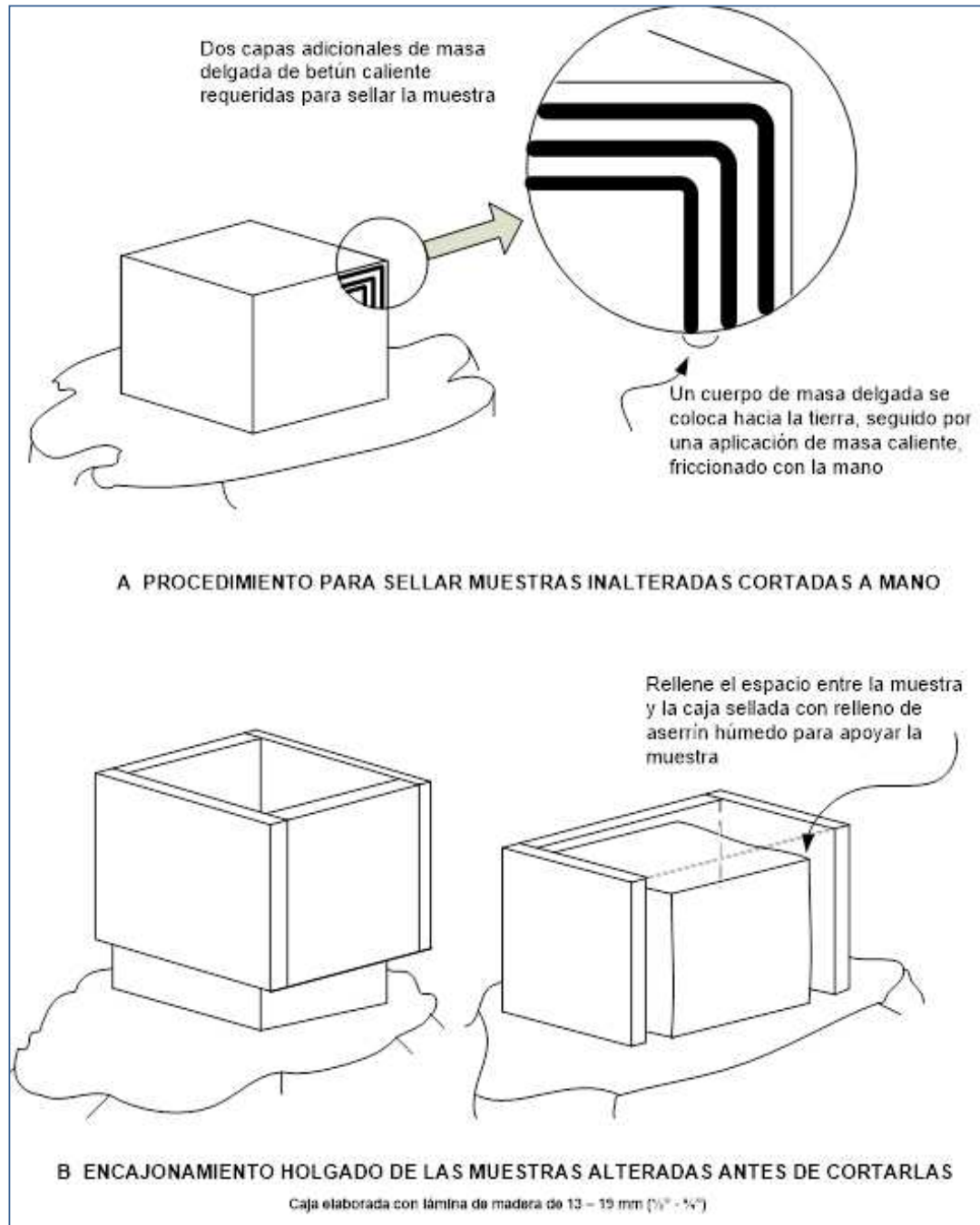


Figura 5. Preparación y empaque de una muestra en bloque

MTC E 105

OBTENCION EN LABORATORIO DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS (CUARTEO)

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer los procedimientos para obtener en laboratorio la muestra necesaria para realizar los ensayos, de forma que sea representativa de la muestra total recibida.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Con este procedimiento, del total de la muestra, se obtiene una muestra representativa necesaria para la ejecución de los ensayos a realizar.
- 2.2 El presente método de ensayo no proporciona resultados numéricos. Sin embargo si no se sigue cuidadosamente los procedimientos aquí descritos, pueden obtenerse muestras distorsionadas para ser usadas en ensayos subsecuentes.
- 2.3 Este método de ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.089: SUELOS. Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo)

4.0 EQUIPOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Tamices, que cumplan con la NTP 350.001. Los siguientes son requeridos:

- A Tamiz 4,750 mm (Nº 4)
- B Tamiz 2,000 mm (Nº 10)
- C Tamiz 0,425 mm (Nº 40)

- 4.1.2 Mortero, con su mazo cubierto de caucho en la parte inferior.

- 4.1.3 Cuarteador o aparato para la separación de las muestras. En la Figura 1 se describe y muestra un diseño del aparato que puede utilizarse.

- 4.1.4 Lona, para cubrir aproximadamente 2 m x 2,5 m.

- 4.1.5 Pala, cucharón metálico o badilejo para manejar el material.

- 4.1.6 Varilla metálica, de longitud apropiada.

5.0 MUESTRA

- 5.1 La muestra de suelo; tal como fue recibida, se seca al aire colocándola en forma extendida sobre una superficie plana horizontal.

- 5.2 Se desmenuza el material, deshaciendo los terrones utilizando el mortero.

- 5.3 Como regla general no se debe realizar el sacado en horno, porque puede influir en los resultados.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 METODO A. CUARTEO MECANICO

- 6.1.1 La muestra de campo se vierte en la tolva, y se distribuye uniformemente de extremo a extremo, de manera que, aproximadamente, igual cantidad fluya libremente a través de cada cajuela a los recipientes colocados debajo (Figura 2).

- 6.1.2 La muestra depositada en uno de los recipientes se reintroduce al aparato las veces que sea necesario para reducir su tamaño a la cantidad especificada en el ensayo.

- 6.1.3 La porción de muestra acumulada en el otro recipiente se debe reservar para otros ensayos.

6.2 METODO B. CUARTEO MANUAL

6.2.1 Se puede usar cualquiera de los procedimientos descritos en [6.2.2](#) y [6.2.3](#) o una combinación de ambos.

6.2.2 Se coloca la muestra sobre una superficie dura, limpia y horizontal evitando cualquier pérdida de material o la adición de sustancias extrañas.

Se mezcla bien hasta formar una pila en forma de cono, repitiendo esta operación cuatro veces. Cada palada tomada de la base se deposita en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los lados del mismo.

Cuidadosamente se aplanan y extiende la pila cónica hasta darle una base circular, espesor y diámetro uniforme, presionando hacia abajo con la cuchara de la pala, de tal manera que cada cuarteo del sector contenga el material original. El diámetro debe ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor.

Se procede luego a dividir diametralmente el material en cuatro partes iguales, de las cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino limpiando luego con cepillo o escoba los espacios libres. Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente y se repite la operación hasta obtener la cantidad de muestra requerida (Figura 3).

6.2.3 Como una alternativa al procedimiento 6.2.2 cuando la superficie no es uniforme, la muestra de campo se coloca sobre una lona sobre la cual se homogenizada muestra original por paleo, como se ha descrito en 6.2.2. Se puede operar también, mezclando el material mediante la elevación alternativas de las esquinas de la lona tirando hacia la muestra, como si se tratara de doblar la lona diagonalmente haciendo rodar el material.

En cualquiera de los casos se procede a aplanar y extender la pila como en [6.2.2](#) y luego a dividirla o, si la superficie debajo de la lona es irregular, se coloca debajo de ésta y en el centro de la muestra una varilla que al levantar sus extremos la divide en dos partes iguales. Doblando las esquinas de la lona se saca la varilla y se coloca nuevamente debajo del centro de la lona en ángulo recto a la primera división y levantando ambos extremos de la varilla se divide la muestra en cuatro partes iguales.

Se descartan dos cuartos de muestra diagonalmente opuestos y cuidadosamente se limpian los finos de la lona.

Sucesivamente se mezcla y cuarteo el material remanente hasta reducir la muestra a la cantidad deseada (Figura 4).

6.3 Cuando la cantidad de muestra es apropiada para ello, puede operarse encima de una mesa con una paleta o cuchara pequeñas, siguiendo un criterio análogo al descrito en [6.2.2](#).

6.4 División de una muestra en dos fracciones por medio de un tamiz.

6.4.1 Se pasa la muestra por el tamiz de que se trate. Se disgregan los terrones que aún quedan sin desmenuzarse en la fracción retenida y se tamiza de nuevo, reuniendo lo que pase con la misma fracción del primer tamizado. Se repite esta operación cuantas veces sea necesario hasta dejar el material retenido limpio de finos.

6.4.1.1 En los casos difíciles resulta útil subdividir lo retenido mediante tamices, en dos o tres partes, con objeto de facilitar la disgregación con el mazo de caucho.

6.4.2 En general cuando se tamice una muestra representativa (ya cuarteada) para obtener otra fracción más fina también representativa, se ha de tamizar hasta terminar la operación con toda la muestra. Aunque se obtenga antes la cantidad de muestra necesaria para los ensayos a realizar, debe seguirse el tamizado hasta el final.

APENDICE A

CUARTEADORES O DIVISORES MECÁNICOS DE MUESTRAS

Los cuarteadores o divisores mecánicos de muestras son aparatos diseñados para dividir la muestra original en partes representativas y reducir su tamaño a cantidades apropiadas para los ensayos.

Los divisores deben estar equipados con una tolva por la cual la muestra se deposita a las cajuelas.

Cada divisor debe tener un número par de cajuelas con planos inclinados de igual ancho, pero no menor de ocho para suelos gruesos o veinte para suelos finos. El ancho mínimo de la cajuela debe ser de 1,5 veces el diámetro de la partícula de mayor tamaño contenida en la muestra a ser dividida. Asimismo debe estar equipado con dos recipientes para recibir las mitades de la muestra dividida.

El ancho de la tolva debe ser igual o ligeramente menor que el ancho total de la cajuela.

El equipo y sus accesorios deben ser diseñados para que la muestra fluya suavemente sin restricciones o pérdida de material.

La Figura 1 muestra un gráfico referencial de un aparato divisor mecánico.

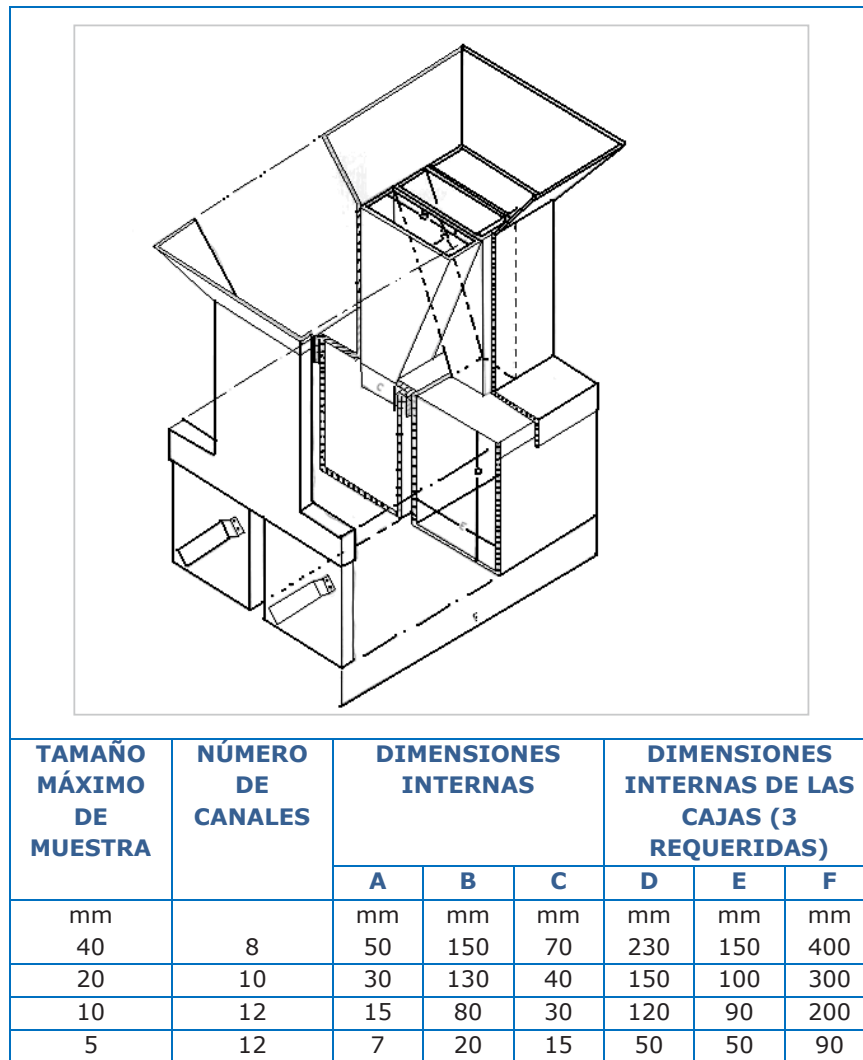


Figura 1: Aparato divisor de muestras gráfico referencial

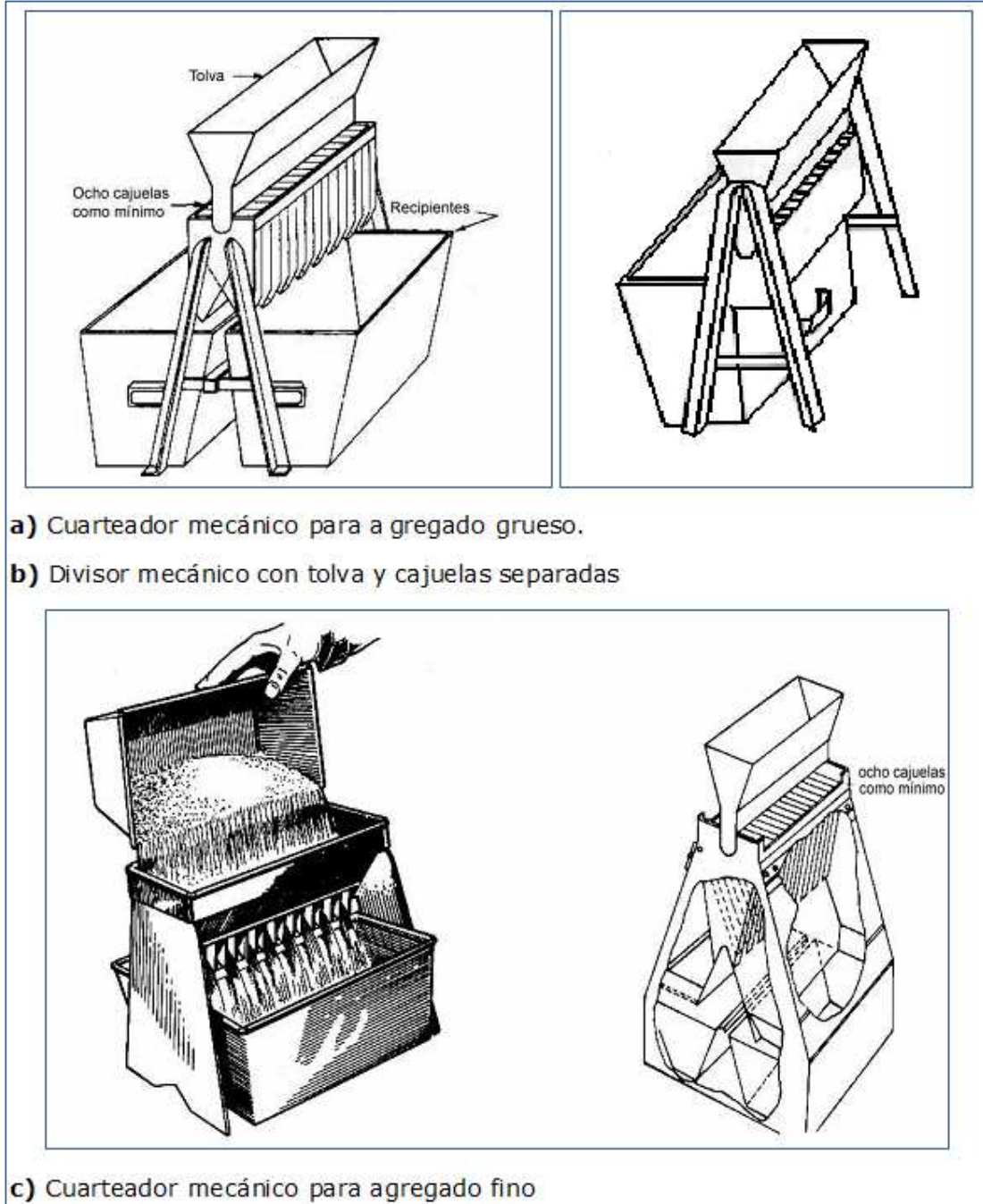


Figura 2: Divisores mecánicos de muestras y cuarteo superficie limpia y nivelada.

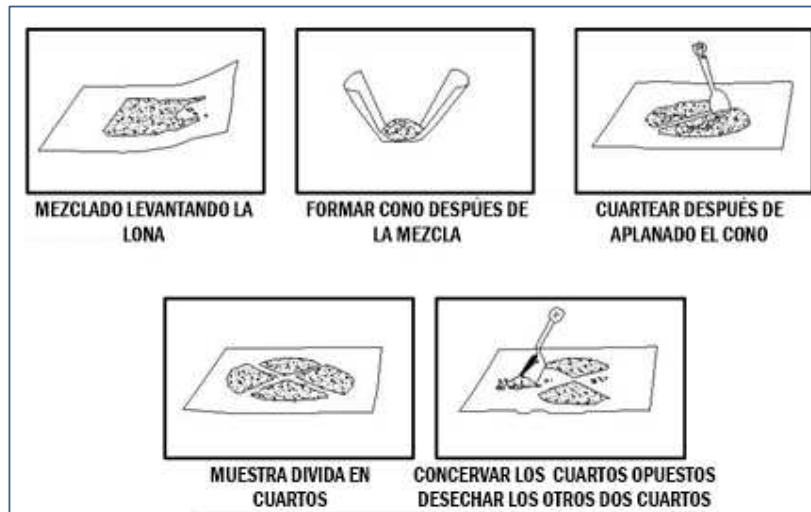


Figura 3: Cuarteo sobre lona.

MTC E 106**PREPARACION EN SECO DE MUESTRAS PARA EL ANALISIS GRANULOMETRICO Y DETERMINACION DE LAS CONSTANTES DEL SUELO****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer el procedimiento para la preparación en seco de las muestras tal como se reciben del campo y que se utilizan para el ensayo de análisis granulométrico y determinar las constantes del suelo.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Con este procedimiento, las muestras recibidas del campo se preparan en seco para realizar el ensayo de análisis granulométrico y determinar las constantes del suelo.
- 2.2 Este Método de Ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 421: Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle – Size Analysis and Determination of Soil Constants.

4.0 EQUIPOS

- 4.1 EQUIPOS
- 4.1.1 Balanzas de capacidad conveniente y con aproximación de 0,1 g.
- 4.1.2 Mortero, con mazo cubierto de caucho, adecuado para desmenuzar los terrones de suelo.
- 4.1.3 Tamices, que cumplan con la NTP 350.001. Los siguientes son requeridos:
A. Tamiz 4,750 mm (Nº 4); B. Tamiz 2,000 mm (Nº 10); C. Tamiz 0,425 mm (Nº 40)
- 4.1.4 Cuarteador mecánico de suelos que cumplan con la MTC E 105 – 2013. Este aparato es de uso optativo.

5.0 MUESTRA

- 5.1 La muestra de suelo, tal como se recibe del campo, se debe exponer al aire en un cuarto temperado, hasta su secado total. Los terrones de suelo se desmenuzan utilizando el mortero. La muestra representativa se constituye con la cantidad necesaria para utilizarla en los ensayos y se obtiene por cuarteo manual o mecánico, de acuerdo a MTC E 105 de este Manual.
- 5.2 Cantidad de muestra
- 5.2.1 **Ensayo de análisis granulométrico.**- En suelos arenosos, la cantidad mínima de muestra requerida debe ser de 115 g de material que pase o no por el tamiz Nº 10 (2,000 mm), en suelos limosos o arcillosos, esta cantidad mínima debe ser 65 g.
- 5.2.1.1 Para el análisis granulométrico la cantidad de muestra necesaria, depende de la proporción entre finos y gruesos que pase o no por el tamiz Nº 10 (2,000 mm) y del tamaño máximo del material con el objeto de que sea una cantidad suficiente para poder considerarla representativa. A continuación se dan algunos valores que pueden servir de orientación:

Tamaño máximo		Cantidad mínima retenida en el tamiz (Nº 10) 2,00 mm
Nominales	Redondeados	
9,5 mm (3/8")	10 mm	500 g
19,0 mm (3/4")	20 mm	1000 g
25,4 mm (1")	25 mm	2000 g
38,0 mm (1.1/2")	40 mm	3000 g
50,8 mm (2")	50 mm	4000 g
76,2 mm (3")	80 mm	5000 g

- 5.2.2 **Determinación de las constantes de los suelos.-** Las cantidades requeridas para estos ensayos debe pasar el tamiz N° 40 (425 mm) y debe ser igual a 210 g distribuidos de la siguiente forma:

Ensayo	Cantidad en gramos
Límite Líquido	100
Límite Plástico	15
Límite de Contracción	30
Ensayos de Verificación	65

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACION DE LA MUESTRA

- 6.1.1 Se pesa la porción de muestra secada al aire y se anota este valor como el peso de la muestra total no corregido por humedad higroscópica.
- 6.1.2 La muestra se pasa luego a través de un tamiz N° 10 (2,00 mm).
- 6.1.3 La porción retenida se desmenuza utilizando el mortero con su mazo recubierto de caucho hasta lograr la separación de las partículas procediéndose luego a tamizar esta porción a través del tamiz N° 10 (2,00 mm).
- 6.1.4 La porción retenida en este segundo tamizado, se lava para eliminar el material fino, se seca y se pesa anotándose este valor como el peso del material grueso. Esta porción de material grueso se pasa a través del tamiz N° 4 (4,75 mm), y se anota el peso retenido.
- 6.2 **Muestra de ensayo para el análisis granulométrico.-** Las fracciones de material que pasan el tamiz N° 10 (2,00 mm) en las operaciones descritas en 6.1.2 y 6.1.3 se mezclan completamente y por el método del cuarteo, manual o mecánico, según el método de ensayo MTC E 105 – 2013, se separan aproximadamente 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos limosos o arcillosos.
- 6.3 **Muestras de ensayo para determinar las constantes del suelo.-** La porción remanente de material que pasa el tamiz N° 10 (2,00 mm) se separa en dos partes utilizando el tamiz N° 40 (425 mm). El material, retenido se descarta y la fracción que pasa se usa para las determinaciones de las constantes de los suelos. Durante el ensayo debe mantenerse la temperatura de la muestra a $25 \pm 0,2$ °C.

ANEXO

PREPARACION DE MUESTRAS HUMEDAS DE SUELO PARA ANALISIS GRANULOMETRICO Y DETERMINACION DE LAS CONSTANTES FISICAS

1.0 OBJETIVO

- 1.1 Este procedimiento se aplica para la preparación de muestras de suelo con la humedad con que son recibidas del campo, para el análisis granulométrico y para la determinación de las constantes físicas del suelo.
- 1.2 El método "A" se ha desarrollado para el secado de las muestras de campo a una temperatura que no exceda de 60 °C, haciendo inicialmente la separación a la humedad de la muestra, sobre el tamiz N° 10 (2,00 mm) o el tamiz N° 40 (425 mm) o de ambos, si así se requiere, y después secándola a una temperatura que no supere los 60 °C. El método "B" estipula que la muestra se mantendrá a una humedad igual o mayor del contenido natural de agua.

El procedimiento que deba emplearse deberá estar indicado en la especificación del material que se va a ensayar. Si esto no está definido, aplíquense los requisitos del método "B".

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El método "A" se emplea para preparar muestras de suelos, para ensayos de plasticidad y análisis granulométrico, cuando las partículas de grano grueso de la muestra son blandas y fácilmente pulverizables, o cuando las partículas finas son muy cohesivas y ofrecen resistencia a desprenderse de las partículas gruesas.
- 2.2 Algunos suelos en su estado natural se secan y puede que al ser secados, sus características cambien considerablemente. Si se desean la gradación y características de plasticidad en el estado natural de éstos suelos, los mismos serán conducidos al laboratorio en recipientes sellados y procesados de acuerdo con el método "B" indicado abajo.
- 2.3 Los valores del límite líquido y del índice de plasticidad obtenidos de muestras con su humedad natural generalmente, pero no siempre, son iguales o algo mayores que los valores determinados de muestras semejantes de suelos secos. En el caso de los suelos orgánicos de grano fino, hay una caída brusca en la plasticidad, debido al proceso de secado en horno.

MTC E 107**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO****1.0 OBJETO**

1.1 Determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

2.1 Este Modo Operativo describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (Nº 200).

2.2 Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

3.1 ASTM D 422: Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES**4.1 EQUIPOS**

4.1.1 Dos balanzas. Una con sensibilidad de 0,01 g para pesar material que pase el tamiz de 4,760 mm (Nº 4). Otra con sensibilidad de 0,1% del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4).

4.1.2 Estufa. Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de 110 ± 5 °C.

4.2 MATERIALES

4.2.2 Tamices de malla cuadrada. Incluyen los siguientes:

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 10	2,000
Nº 20	0,840
Nº 40	0,425
Nº 60	0,260
Nº 140	0,106
Nº 200	0,075

Se puede usar, como alternativa, una serie de tamices que, al dibujar la gradación, dé una separación uniforme entre los puntos del gráfico; esta serie estará integrada por los siguientes tamices de malla cuadrada:

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
1 1/2"	38,100
3/4"	19,000
3/8"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 8	2,360
Nº 16	1,100
Nº 30	0,590
Nº 50	0,297
Nº 100	0,149
Nº 200	0,075

4.2.3 Envases. Adecuados para el manejo y secado de las muestras.

4.2.4 Cepillo y brocha. Para limpiar las mallas de los tamices.

5.0 MUESTRA

5.1 Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices se puede efectuar sin previo lavado.

5.2 Prepárese una muestra para el ensayo como se describe en la preparación de muestras para análisis granulométrico (MTC E 106), la cual estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayaran por separado.

5.3 El peso del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, como se indica en el modo operativo MTC E 106, será suficiente para las cantidades requeridas para el análisis mecánico, como sigue:

5.3.1 Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la Tabla 1:

Tabla 1

Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porción (g)
9,5 (3/8")	500
19,6 (3/4")	1000
25,7 (1")	2000
37,5 (1 1/2")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

5.3.2 El tamaño de la porción que pasa tamiz de 4,760 mm (Nº 4) será aproximadamente de 115 g para suelos arenosos y de 65 g para suelos arcillosos y limosos.

5.4 En el modo operativo MTC E 106 se dan indicaciones para la pesada del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, así como para la separación del suelo sobre el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) por medio del tamizado en seco, y para el lavado y pesado de las fracciones lavadas y secadas retenidas en dicho tamiz. De estos dos pesos, los porcentajes, retenido y que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4), pueden calcularse de acuerdo con el numeral [4.1.1](#).

5.4.1 Se puede tener una comprobación de los pesos, así como de la completa pulverización de los terrones, pesando la porción de muestra que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) y agregándole este valor al peso de la porción de muestra lavada y secada en el horno, retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4).

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 ANÁLISIS POR MEDIO DE TAMIZADO DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN EL TAMIZ DE 4,760 mm (Nº 4).

6.1.1 Sepárese la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) en una serie de fracciones usando los tamices de:

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
Nº 4	4,760

O los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra, o de las especificaciones para el material que se ensaya.

- 6.1.2 En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuándo no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas apresadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz.

Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente, el resultado se puede verificar usando el método manual.

- 6.1.3 Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0,1 %. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso, inicial de la muestra no debe diferir en más de 1 %.

6.2 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA FRACCION FINA

- 6.2.1 El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4), se hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y según la información requerida.

- 6.2.2 Los materiales arenosos que contengan muy poco limo y arcilla, cuyos terrones en estado seco se desintegren con facilidad, se podrán tamizar en seco.

- 6.2.3 Los materiales limo-arcillosos, cuyos terrones en estado seco no rompan con facilidad, se procesarán por la vía húmeda.

- 6.2.4 Si se requiere la curva granulométrica completa incluyendo la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0,074 mm (Nº 200), la gradación de ésta se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios. Ver Modo Operativo MTC E 109-2009.

- 6.2.5 Se puede utilizar procedimientos simplificados para la determinación del contenido de partículas menores de un cierto tamaño, según se requiera.

- 6.2.6 La fracción de tamaño mayor que el tamiz de 0,074 mm (Nº 200), se analizará por tamizado en seco, lavando la muestra previamente sobre el tamiz de 0,074 mm (Nº 200).

- 6.2.7 Procedimiento para el análisis granulométrico por lavado sobre el tamiz de 0,074 mm (Nº 200).

- 6.2.8 Se separan mediante cuarteo, 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos arcillosos y limosos, pesándolos con exactitud de 0,01 g.

- 6.2.9 Humedad higroscópica. Se pesa una porción de 10 a 15 g de los cuarteos anteriores y se seca en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C. Se pesan de nuevo y se anotan los pesos.

- 6.2.10 Se coloca la muestra en un recipiente apropiado, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrones se ablanden.

- 6.2.11 Se lava a continuación la muestra sobre el tamiz de 0,074 mm (Nº 200), con abundante agua, evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula de las retenidas en él.

6.2.12 Se recoge lo retenido en un recipiente, se seca en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C y se pesa.

6.2.13 Se tamiza en seco siguiendo el procedimiento indicado en las secciones [6.1.2](#) y [6.1.3](#).

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Valores de análisis de tamizado para la porción retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº4):

7.1.1.1 Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4), dividiendo el peso que pasa dicho tamiz por el del suelo originalmente tomado y se multiplica el resultado por 100. Para obtener el peso de la porción retenida en el mismo tamiz, réstese del peso original, el peso del pasante por el tamiz de 4,760 mm (Nº 4).

7.1.1.2 Para comprobar el material que pasa por el tamiz de 9,52 mm (3/8”), se agrega al peso total del suelo que pasa por el tamiz de 4,760 mm (Nº4), el peso de la fracción que pasa el tamiz de 9,52 mm (3/8”) y que queda retenida en el de 4,760 mm (Nº4). Para los demás tamices continúese el cálculo de la misma manera.

7.1.1.3 Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide el peso total que pasa entre el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.

7.1.2 Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4):

7.1.2.1 Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0,074 mm (Nº 200) de la siguiente forma:

$$\% \text{ Pasa } 0,074 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Retenido en el Tamiz de } 0,074}{\text{Peso Total}} \times 100$$

7.1.2.2 Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido en el Tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

7.1.2.3 Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100 % los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

7.1.2.4 Porcentaje de humedad higroscópica. La humedad higroscópica como la pérdida de peso de una muestra secada al aire cuando se seca posteriormente al horno, expresada como un porcentaje del peso de la muestra secada al horno. Se determina de la manera siguiente:

$$\% \text{ Humedad Higroscópica} = \frac{W - W_1}{W_1} \times 100$$

Donde:

W = Peso de suelo secado al aire
W₁ = Peso de suelo secado en el horno

7.2 INFORME

7.2.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

- El tamaño máximo de las partículas contenidas en la muestra.
- Los porcentajes retenidos y los que pasan, para cada uno de los tamices utilizados.
- Toda información que se juzgue de interés.

Los resultados se presentarán: (1) en forma tabulada, o (2) en forma gráfica, siendo esta última forma la indicada cada vez que el análisis comprende un ensayo completo de sedimentación.



Las pequeñas diferencias resultantes en el empate de las curvas obtenidas por tamizado y por sedimento, respectivamente, se corregirán en forma gráfica.

7.2.2 Los siguientes errores posibles producirán determinaciones imprecisas en un análisis granulométrico por tamizado.

- a) Aglomeraciones de partículas que no han sido completamente disgregadas. Si el material contiene partículas finas plásticas, la muestra debe ser disgregada antes del tamizado.
- b) Tamices sobrecargados. Este es el error más común y más serio asociado con el análisis por tamizado y tenderá a indicar que el material ensayado es más grueso de lo que en realidad es. Para evitar eso, las muestras muy grandes deben ser tamizadas en varias porciones y las porciones retenidas en cada tamiz se juntarán luego para realizar la pesada.
- c) Los tamices han sido agitados por un período demasiado corto o con movimientos horizontales o rotacionales inadecuados. Los tamices deben agitarse de manera que las partículas sean expuestas a las aberturas del tamiz con varias orientaciones y así tengan mayor oportunidad de pasar a través de él.
- d) La malla de los tamices está rota o deformada; los tamices deben ser frecuentemente inspeccionados para asegurar que no tienen aberturas más grandes que la especificada.
- e) Pérdidas de material al sacar el retenido de cada tamiz.
- f) Errores en las pesadas y en los cálculos.

MTC E 108

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.
- 2.2 Este Modo Operativo determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a 110 ± 5 °C*. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua.

Nota 1. (*) El secado en horno siguiendo en método (a 110 ° C) no da resultados confiables cuando el suelo contiene yeso u otros minerales que contienen gran cantidad de agua de hidratación o cuando el suelos contiene cantidades significativas de material orgánico. Se pueden obtener valores confiables del contenido de humedad para los suelos, secándose en un horno a una temperatura de 60 °C o en un desecador a temperatura ambiente.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 2216: Standard Test Method of Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock.

4.0 EQUIPOS y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Horno de secado.- Horno de secado termostáticamente controlado, de preferencia uno del tipo tiro forzado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- 4.1.2 Balanzas.- De capacidad conveniente y con las siguientes aproximaciones:
De 0,01 g para muestras de menos de 200 g
De 0,1 g para muestras de más de 200 g.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Recipientes.- Recipientes apropiados fabricados de material resistente a la corrosión, y al cambio de peso cuando es sometido a enfriamiento o calentamiento continuo, exposición a materiales de pH variable, y a limpieza.

Nota 2. Los recipientes y sus tapas deben ser herméticos a fin de evitar pérdida de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para prevenir la absorción de humedad de la atmósfera después del secado y antes de la pesada final. Se usa un recipiente para cada determinación.

- 4.2.2 Desecador (opcional).- Un desecador de tamaño apropiado que contenga sílica gel o fosfato de calcio anhidro. Es preferible usar un desecante cuyos cambios de color indiquen la necesidad de su restitución (Ver [Sección 6.3.5](#) del presente ensayo).

Nota 3. El sulfato de calcio anhidro se vende bajo el nombre comercial Drier hite.

- 4.2.3 Utensilios para manipulación de recipientes.- Se requiere el uso de guantes, tenazas, o un sujetador apropiado para mover y manipular los recipientes calientes después de que se hayan secado.
- 4.2.4 Otros utensilios.- Se requieren el empleo de cuchillos, espátulas, cucharas, lona para cuarteo, divisores de muestras, etc.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Las muestras serán preservadas y transportadas de acuerdo a la Norma ASTM D 4220-89 (Practices for Preserving and Transporting Soil Sample), Grupos de suelos B, C ó D. Las muestras que se almacenen antes de ser ensayadas se mantendrán en contenedores herméticos no corrosibles a una temperatura entre aproximadamente 3 y 30 °C y en un área que prevenga el contacto directo con la luz solar. Las muestras alteradas se almacenarán en recipientes de tal manera que se prevenga ó minimice la condensación de humedad en el interior del contenedor.
- 5.2 La determinación del contenido de humedad se realizará tan pronto como sea posible después del muestreo, especialmente si se utilizan contenedores corrosibles: (tales como: tubos de acero de pared delgada, latas de pintura, etc.) ó bolsas plásticas.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 ESPECIMEN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Para los contenidos de humedad que se determinan en conjunción con algún otro método ASTM, se empleará la cantidad especificada en dicho método si alguna fuera proporcionada.
- 6.1.2 La cantidad mínima de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total, si no se toma la muestra total, será de acuerdo a lo siguiente:

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados	
		a ± 0,1%	a ± 1%
2 mm o menos	2,00 mm (Nº 10)	20 g	20 g *
4,75 mm	4,760 mm (Nº 4)	100 g	20 g *
9,5 mm	9,525 mm (3/8")	500 g	50 g
19,0 mm	19,050 mm (3/4")	2,5 kg	250 g
37,5 mm	38,1 mm (1 1/2")	10 kg	1 kg
75,0 mm	76,200 mm (3")	50 kg	5 kg

Nota.- * Se usará no menos de 20 g para que sea representativa.

Si se usa toda la muestra, ésta no tiene que cumplir los requisitos mínimos dados en la tabla anterior. En el reporte se indicará que se usó la muestra completa.

- 6.1.3 El uso de un espécimen de ensayo menor que el mínimo indicado en 6.1.2 requiere discreción aunque pudiera ser adecuado para los propósitos del ensayo. En el reporte de resultados deberá anotarse algún espécimen usado que no haya cumplido con estos requisitos.
- 6.1.4 Cuando se trabaje con una muestra pequeña (menos de 200 g) que contenga partículas de grava relativamente grandes no es apropiado incluirlas en la muestra de ensayo. Sin embargo en el reporte de resultados se mencionará y anotará el material descartado.
- 6.1.5 Para aquellas muestras que consistan íntegramente de roca intacta, el espécimen mínimo tendrá un peso de 500 g. Porciones de muestra representativas pueden partirse en partículas más pequeñas, dependiendo del tamaño de la muestra, del contenedor y la balanza utilizada y para facilitar el secado a peso constante.
- ### 6.2 SELECCION DEL ESPECIMEN DE ENSAYO
- 6.2.1 Cuando el espécimen de ensayo es una porción de una mayor cantidad de material, el espécimen seleccionado será representativo de la condición de humedad de la cantidad total de material. La forma en que se seleccione el espécimen de ensayo depende del propósito y aplicación del ensayo, el tipo de material que se ensaya, la condición de humedad, y el tipo de muestra (de otro ensayo, en bolsa, en bloque, y las demás).

- 6.2.2 Para muestras alteradas tales como las desbastadas, en bolsa, y otras, el espécimen de ensayo se obtiene por uno de los siguientes métodos (listados en orden de preferencia):
- Si el material puede ser manipulado sin pérdida significativa de humedad, el material debe mezclarse y luego reducirse al tamaño requerido por cuarteo o por división.
 - Si el material no puede ser mezclado y/o dividido, deberá formarse una pila de material, mezclándolo tanto como sea posible. Tomar por lo menos cinco porciones de material en ubicaciones aleatorias usando un tubo de muestreo, lampa, cuchara, frotacho ó alguna herramienta similar apropiada para el tamaño de partícula máxima presente en el material. Todas las porciones se combinarán para formar el espécimen de ensayo.
 - Si no es posible apilar el material, se tomarán tantas porciones como sea posible en ubicaciones aleatorias que representarán mejor la condición de humedad. Todas las porciones se combinarán para formar el espécimen de ensayo.
- 6.2.3 En muestras intactas tales como: bloques, tubos, muestreadores divididos y otros, el espécimen de ensayo se obtendrá por uno de los siguientes métodos dependiendo del propósito y potencial uso de la muestra.
- Se desbastará cuidadosamente por lo menos 3 mm de material de la superficie exterior de la muestra para ver si el material está estratificado y para remover el material que esté más seco o más húmedo que la porción principal de la muestra. Luego se desbastará por lo menos 5 mm., o un espesor igual al tamaño máximo de partícula presente, de toda la superficie expuesta o del intervalo que esté siendo ensayado.
 - Se cortará la muestra por la mitad. Si el material está estratificado se procederá de acuerdo a lo indicado en 6.2.3.c. Luego se desbastará cuidadosamente por lo menos 5 mm, o un espesor igual del tamaño máximo de partícula presente, de la superficie expuesta de una mitad o el intervalo ensayado. Deberá evitarse el material de los bordes que pueda encontrarse más húmedo o más seco que la porción principal de la muestra.

Nota 4. El cambio de humedad en suelos sin cohesión puede requerir que se muestre la sección completa. Si el material está estratificado (o se encuentra más de un tipo de material), se seleccionará un espécimen promedio, o especímenes individuales, o ambos. Los especímenes deben ser identificados apropiadamente en formatos, en cuanto a su ubicación, o lo que ellos representen.

6.3 PROCEDIMIENTO

- 6.3.1 Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco (y su tapa si es usada).
- 6.3.2 Seleccionar especímenes de ensayo representativos de acuerdo a la [sección 6.2](#) de este ensayo.
- 6.3.3 Colocar el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Determinar el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza (véase 4.1.2 de este ensayo) seleccionada de acuerdo al peso del espécimen. Registrar este valor.

Nota 5. Para prevenir la mezcla de especímenes y la obtención de resultados incorrectos, todos los contenedores, y tapas si se usan, deberían ser enumerados y deberían registrarse los números de los contenedores en los formatos del laboratorio. Los números de las tapas deberán ser consistentes con los de los contenedores para evitar confusiones.

Nota 6. Para acelerar el secado en horno de grandes especímenes de ensayo, ellos deberían ser colocados en contenedores que tengan una gran área superficial (tales como ollas) y el material debería ser fragmentado en agregados más pequeños.

- 6.3.4 Remover la tapa (si se usó) y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. Secar el material hasta alcanzar una masa constante. Mantener el secado en el horno a 110 ± 5 °C a menos que se especifique otra temperatura. El tiempo requerido para mantener peso constante variará dependiendo del tipo de material, tamaño de espécimen, tipo de horno y capacidad, y otros factores. La influencia de estos factores generalmente puede ser establecida por un buen juicio, y experiencia con los materiales que sean ensayados y los aparatos que sean empleados.

Nota 7. En la mayoría de los casos, el secado de un espécimen de ensayo durante toda la noche (de 12 a 16 horas) es suficiente. En los casos en los que hay duda sobre lo adecuado de un método de secado, deberá continuarse con el secado hasta que el cambio de peso después de dos períodos sucesivos (mayores de 1 hora) de secado sea insignificante (menos del 0,1 %). Los especímenes de arena pueden ser secados a peso constante en un período de 4 horas, cuando se use un horno de tiro forzado.

Nota 8. Desde que algunos materiales secos pueden absorber humedad de especímenes húmedos, deberán retirarse los especímenes secos antes de colocar especímenes húmedos en el mismo horno. Sin embargo, esto no sería aplicable si los especímenes secados previamente permanecieran en el horno por un período de tiempo adicional de 16 horas.

6.3.5 Luego que el material se haya secado a peso constante, se removerá el contenedor del horno (y se le colocará la tapa si se usó). Se permitirá el enfriamiento del material y del contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado cómodamente con las manos y la operación del balance no se afecte por corrientes de convección y/o esté siendo calentado. Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza usada en [6.3.3](#) de este ensayo. Registrar este valor. Las tapas de los contenedores se usarán si se presume que el espécimen está absorbiendo humedad del aire antes de la determinación de su peso seco.

Nota 9. Colocar las muestras en un desecador es más aceptable en lugar de usar las tapas herméticas ya que reduce considerablemente la absorción de la humedad de la atmósfera durante el enfriamiento especialmente en los contenedores sin tapa.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1. CALCULOS

7.1.1 Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde:

- W = es el contenido de humedad, (%)
- M_{CWS} = es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos
- M_{CS} = es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos
- M_C = es el peso del contenedor, en gramos
- M_w = es el peso del agua, en gramos
- M_s = es el peso de las partículas sólidas, en gramos

7.3 INFORME

7.3.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

- a) La identificación de la muestra (material) ensayada, tal como el número de la perforación, número de muestra, número de ensayo, número de contenedor, etc.
- b) El contenido de agua del espécimen con aproximación al 1 % ó al 0,1 %, como sea apropiado dependiendo de la mínima muestra usada. Si se usa este método conjuntamente con algún otro método, el contenido de agua del espécimen deberá reportarse al valor requerido por el método de ensayo para el cual se determinó el contenido de humedad.
- c) Indicar si el espécimen de ensayo tenía un peso menor que el indicado en [6.1.2](#) de este ensayo.
- d) Indicar si el espécimen de ensayo contenía más de un tipo de material (estratificado, etc.).
- e) Indicar el método de secado si es diferente del secado en horno a 110 ± 5 °C.
- f) Indicar si se excluyó algún material del espécimen de ensayo.



8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Repetibilidad: El coeficiente de variación de un operador simple se encontró en 2,7 %. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos conducidos apropiadamente por el mismo operador con el mismo equipo, no deberían ser considerados con sospecha si difieren en menos del 7,8 % de su media.
- 8.2 Reproducibilidad: El coeficiente de variación multilaboratorio se encontró en 5,0 %. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos conducidos por diferentes operadores usando equipos diferentes no deberán ser considerados con sospecha a menos que difieran en más del 14 ,0 % de su media.

MTC E 109

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO

1.0 OBJETO

El análisis hidrométrico se basa en la ley de Stokes. Se asume que la ley de Stokes puede ser aplicada a una masa de suelo dispersado, con partículas de varias formas y tamaños. El hidrómetro se usa para determinar el porcentaje de partículas de suelos dispersados, que permanecen en suspensión en un determinado tiempo. Para ensayos de rutina con fines de clasificación, el análisis con hidrómetro se aplica a partículas de suelos que pasan el tamiz de 2,00 mm (Nº 10).

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

2.1 Este ensayo tiene por finalidad, determinar en laboratorio o en campo, el porcentaje de partículas mas finas de un determinado suelo, que pase el tamiz de 74 μm (Nº 200).

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

3.1 ASTM D 422: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils

4.0 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

4.1 EQUIPOS

4.1.1 Tres (3) balanzas, de sensibilidades 0,01 g; 0,1 g y 1 g.

4.1.2 Tamices, de 2,0 mm (Nº 10) y de 74 μm (Nº 200).

4.1.3 Tamizador mecánico.

4.1.4 Aparato agitador, mecánico o neumático, con su vaso (figuras 1 y 2).

4.1.5 Hidrómetro. Graduado para leer, de acuerdo con la escala que tenga grabada, el peso específico de la suspensión o los gramos por litro de suspensión. En el primer caso, la escala tiene valores de peso específico que van de 0,995 a 1,038 y estará calibrado para leer 1,00 en agua destilada a 20 °C. Este Hidrómetro se identifica como 151 H. En el otro caso la escala tiene valores de gramos de suelo por litro (g/L) que van de -5 a +60. Se identifica como 152 H y está calibrado para el supuesto que el agua destilada tiene gravedad específica de 1,00 a 20 °C y que el suelo en suspensión tiene un peso específico de 2,65. Las dimensiones de estos hidrómetros son las mismas; sólo varían las escalas (véase Figura 4).

4.1.6 Cilindro de vidrio, para sedimentación de unos 457 mm (18") de alto y 63,5 mm (2,5") de diámetro y marcado para un volumen de 1000 mL a 20 °C.

4.1.7 Termómetro de inmersión, con apreciación de 0,5 °C.

4.1.8 Cronómetro o reloj.

4.1.9 Estufa, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta 110 ± 5 °C.

4.2 MATERIALES

4.2.1 Plancha de calentamiento.

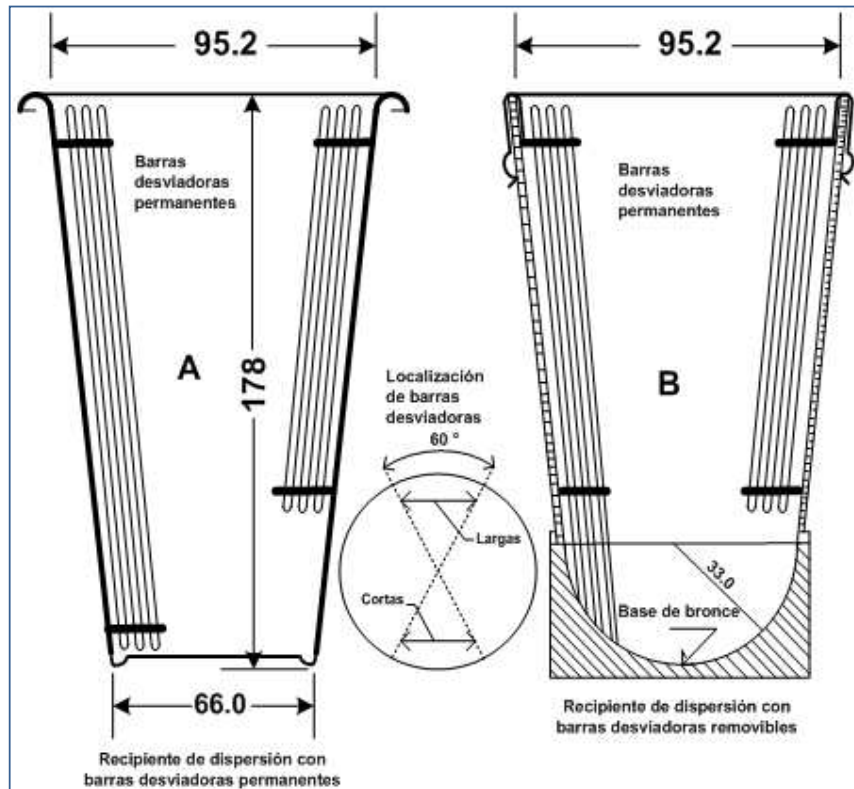


Figura 1: Detalle vaso del Aparato agitador

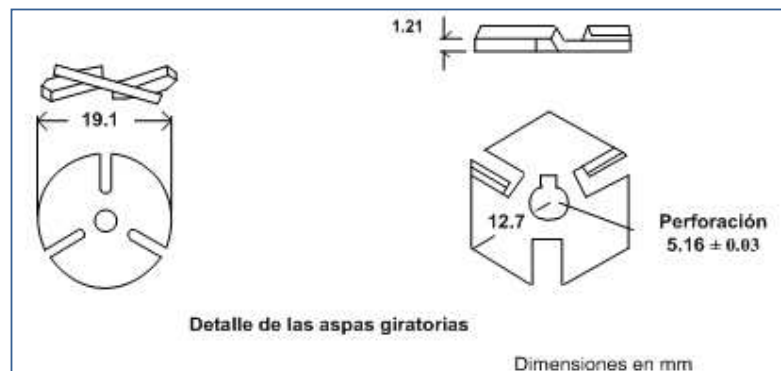


Figura 2: Detalle del Aparato agitador

4.2.2 Utensilios de uso general. Envases apropiados para el manejo y secado de las muestras y un par de guantes de asbesto o caucho.

4.3 REACTIVOS

4.3.1 Agente dispersante. Una solución de hexametáfosfato de sodio; se usará en agua destilada o desmineralizada en proporción de 40 g de hexametáfosfato de sodio por litro de solución.

Las soluciones de esta sal deberán ser preparadas frecuentemente (al menos una vez al mes) o ajustar su pH de 8 a 9 por medio de carbonato de sodio. Las botellas que contienen soluciones deberán tener la fecha de preparación marcada.

4.3.2 Agua. Toda agua utilizada deberá ser destilada o desmineralizada. El agua para el ensayo con hidrómetro deberá llevarse hasta la temperatura que prevalecerá durante el ensayo; así, si el cilindro de sedimentación se va a colocar en baño de agua, la temperatura del agua destilada o desmineralizada que va a utilizarse se llevará a la temperatura de dicho baño. Si el cilindro de sedimentación se coloca a la temperatura ambiente del laboratorio, el agua deberá tener dicha

temperatura. La temperatura normal de ensayo es la de 20 °C. Sin embargo, variaciones de temperatura pequeñas, no implicarán el uso de las correcciones previstas.

CALIBRACION DEL HIDROMETRO

El hidrómetro debe ser calibrado para determinar su profundidad efectiva en términos de lecturas de hidrómetro (véase Figura 4). Si se dispone de un hidrómetro tipo 151-H o 152-H, la profundidad efectiva puede ser obtenida de la Tabla 1. Si el hidrómetro disponible es de otro tipo, procédase a su calibración de acuerdo con los pasos siguientes:

- 4.3.3 Determinése el volumen del bulbo del hidrómetro (VB). Este puede ser determinado utilizando uno de los métodos siguientes:

Midiendo el volumen de agua desplazada. Llénese con agua destilada o desmineralizada un cilindro graduado de 1000 mL de capacidad hasta aproximadamente 900 mL, obsérvese y anótese la lectura del nivel del agua, El agua debe estar aproximadamente a 20 °C. Introdúzcase el hidrómetro y anótese la nueva lectura. La diferencia entre estas dos lecturas es igual al volumen del bulbo más la parte del vástago que está sumergida. El error debido a la inclusión del volumen del vástago es tan pequeño que puede ser despreciado para efectos prácticos.

Determinación del volumen a partir del peso del hidrómetro. Pésese el hidrómetro con una aproximación de 0,01 g. Debido a que el peso específico del hidrómetro es aproximadamente igual a la unidad, el peso del hidrómetro en gramos es equivalente a su volumen en centímetros cúbicos. Este volumen incluye el volumen del bulbo y del vástago. El error debido a la inclusión del volumen del vástago es despreciable.

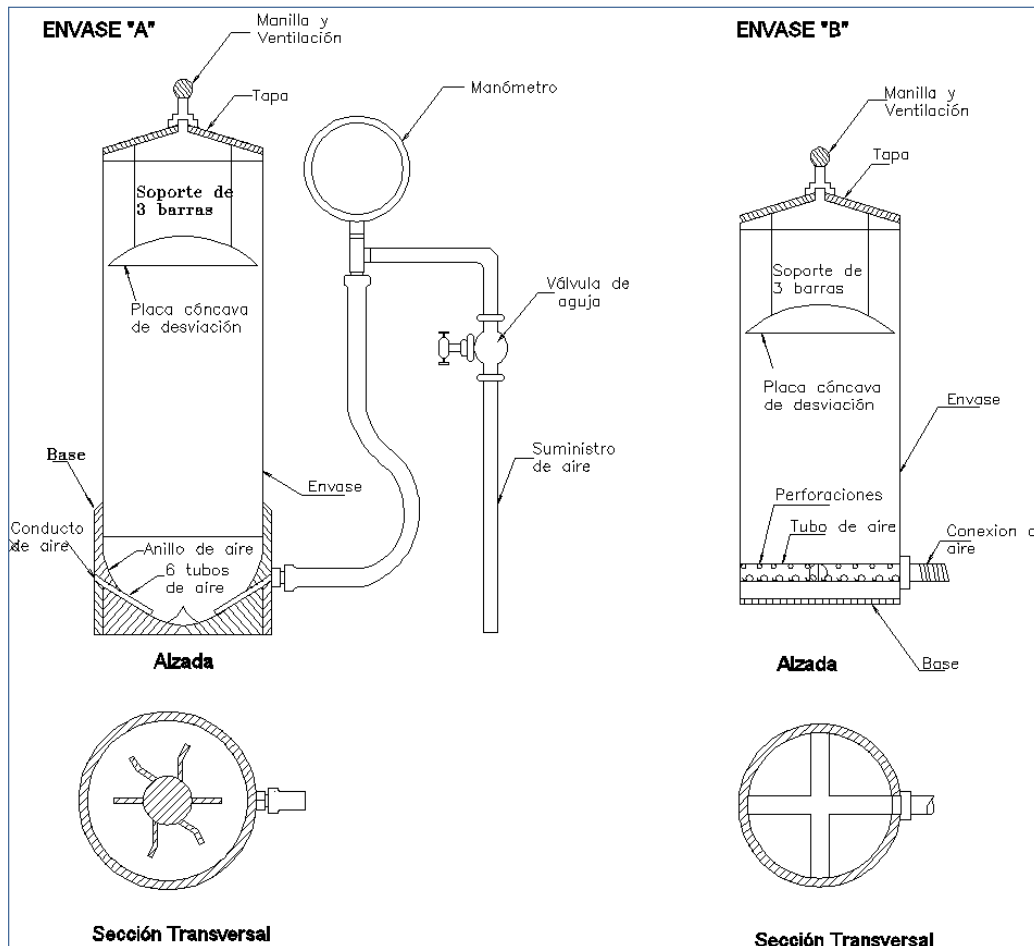


Figura 3: Detalle del Aparato Agitador de inyección de Aire

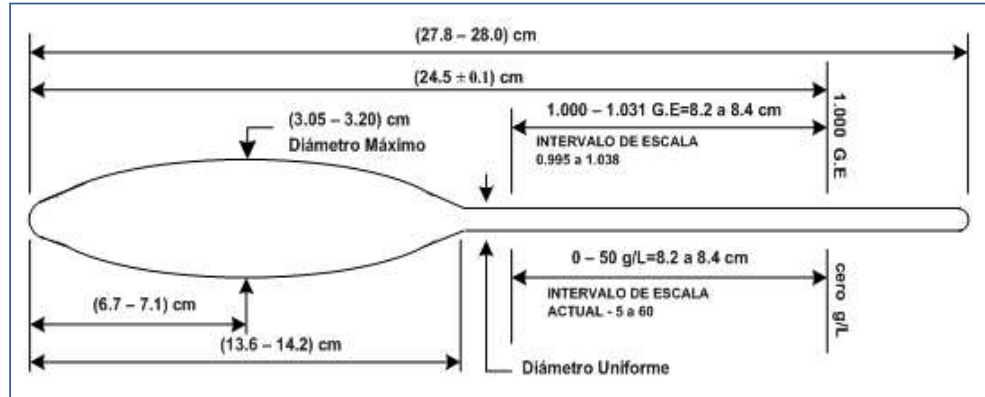


Figura 4: Hidrómetro

La escala de gravedad específica debe calibrarse para leer 1,000 a 20°C y debe extenderse para una capacidad de lectura desde 0,995 hasta 1,038, la escala gramos por litro debe extenderse desde - 5 g/L, con respecto al cero (1,000 de gravedad específica) hasta 60 g/L. El bulbo debe ser simétrico por encima y por debajo del diámetro medio y debe soplar dentro de un molde para garantizar uniformidad del producto.

- El diámetro del vástago puede variar para ajustar la longitud de la escala que se pacifique pero debe ser de diámetro uniforme de extremo a extremo.

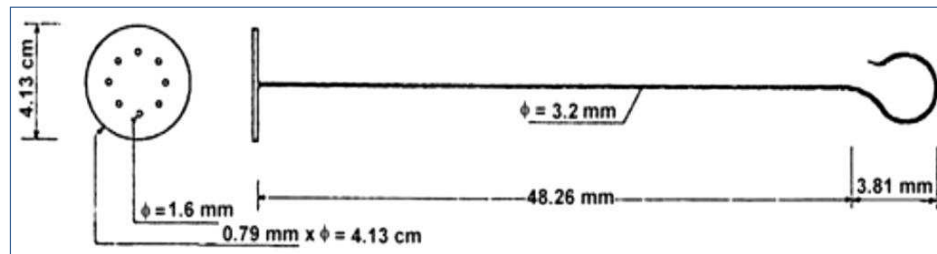


Figura 5: Agitador manual para el análisis por hidrómetro

Tabla 1

Valores de la Profundidad efectiva basados en hidrómetro y cilindro de sedimentación de dimensiones especificadas

Hidrómetro 151 H			Hidrómetro 152 H		
Lectura del hidrómetro * R' + Cm	Profundidad efectiva L (Cm)	Lectura del hidrómetro * R' + Cm	Profundidad efectiva L (cm)	Lectura del hidrómetro * R' + Cm	Profundidad efectiva L (cm)
1,000	16,3	0	16,3	-	-
1,001	16,0	1	16,1	31	11,2
1,002	15,8	2	16,0	32	11,1
1,003	15,5	3	15,8	33	10,9
1,004	15,2	4	15,6	34	10,7
1,005	15,0	5	15,5	35	10,6
1,006	14,7	6	15,3	36	10,4
1,007	14,4	7	15,2	37	10,2
1,008	14,2	8	15,0	38	10,1
1,009	13,9	9	14,8	39	9,9
1,010	13,7	10	14,7	40	9,7
1,011	13,4	11	14,5	41	9,6
1,012	13,1	12	14,3	42	9,4
1,013	12,9	13	14,2	43	9,2
1,014	12,6	14	14,0	44	9,1

Hidrómetro 151 H			Hidrómetro 152 H		
Lectura del hidrómetro * R' + Cm	Profundidad efectiva L (Cm)	Lectura del hidrómetro * R' + Cm	Profundidad efectiva L (cm)	Lectura del hidrómetro * R' + Cm	Profundidad efectiva L (cm)
1,015	12,3	15	13,8	45	8,9
1,016	12,1	16	13,7	46	8,8
1,017	11,8	17	13,5	47	8,6
1,018	11,5	18	13,3	48	8,4
1,019	11,3	19	13,2	49	8,3
1,020	11,0	20	13,0	50	8,1
1,021	10,8	21	12,9	51	7,9
1,022	10,5	22	12,7	52	7,8
1,023	10,2	23	12,5	53	7,6
1,024	10,0	24	12,4	54	7,4
1,025	9,7	25	12,2	55	7,3
1,026	9,4	26	12,0	56	7,1
1,027	9,2	27	11,9	57	7
1,028	8,9	28	11,7	58	6,8
1,029	8,6	29	11,5	59	6,6
1,030	8,4	30	11,4	60	6,5
1,031		8,1		*Lectura del hidrómetro corregida por Menisco	
1,032	7,8				
1,033	7,6				
1,034	7,3				
1,035	7,0				
1,036	6,8				
1,037	6,5				
1,038	6,2				

- 4.3.4 Determinése el área A del cilindro graduado midiendo la distancia que existe entre dos marcas de graduación. El área A es igual al volumen incluido entre las dos graduaciones dividido entre la distancia medida.
- 4.3.5 Mídase y anótese la distancia desde la marca de calibración inferior en el vástago del hidrómetro hasta cada una de las marcas de calibración principales (R).
- 4.3.6 Mídase y anótese la distancia desde el cuello del bulbo hasta la marca de calibración inferior. La distancia H correspondiente a cada lectura R, es igual a la suma de las dos distancias medidas en los pasos **4.3.4** y **4.3.5** de este ensayo.
- 4.3.7 Mídase la distancia desde el cuello hasta la punta inferior del bulbo. La distancia h/2 localiza el centro del volumen de un bulbo simétrico. Si el bulbo utilizado no es simétrico, el centro del volumen se puede determinar con suficiente aproximación proyectando la forma del bulbo sobre una hoja de papel y localizando el centro de gravedad del área proyectada.
- 4.3.8 Determinése las profundidades efectivas L, correspondientes a cada una de las marcas de calibración principales R empleando la fórmula:

$$L = H_R + \frac{1}{2} \left(h - \frac{V_B}{A} \right)$$

Donde:

- L = Profundidades efectivas.
- H_R = Distancias correspondientes a las lecturas R.
- h = Distancia desde el cuello hasta la punta inferior del bulbo.
- V_B = Volumen del bulbo.
- A = Área del cilindro graduado.

4.3.9 Constrúyase una curva que exprese la relación entre R y L, como se muestra en la Figura 6. Esta relación es esencialmente una línea recta para los hidrómetros simétricos.

5.0 MUESTRA

5.1 PREPARACION DE LA MUESTRA

5.1.1 El tamaño aproximado de la muestra que se debe usar para el análisis por el hidrómetro varía con el tipo de suelo que va a ser ensayado. La cantidad requerida para suelos arenosos es de 75 a 100 g y para limos y arcillas de 50 a 60 g (peso seco). El peso exacto de la muestra en suspensión puede ser determinado antes o después del ensayo. Sin embargo el secado al horno de algunas arcillas antes del ensayo puede causar cambios permanentes en los tamaños de granos aparentes; las muestras de estos suelos deben ser conservadas con su contenido de humedad natural, y ensayadas sin ser secadas al horno.

5.1.2 El peso se determina mediante la siguiente fórmula:

$$W_s = \frac{\text{Peso del Suelo Humedo}}{1 + \frac{\text{Humedad (w)}}{100}}$$

Donde la humedad (w) se determinará usando una porción de muestra que no vaya a ser ensayada. (Norma MTC E 128).

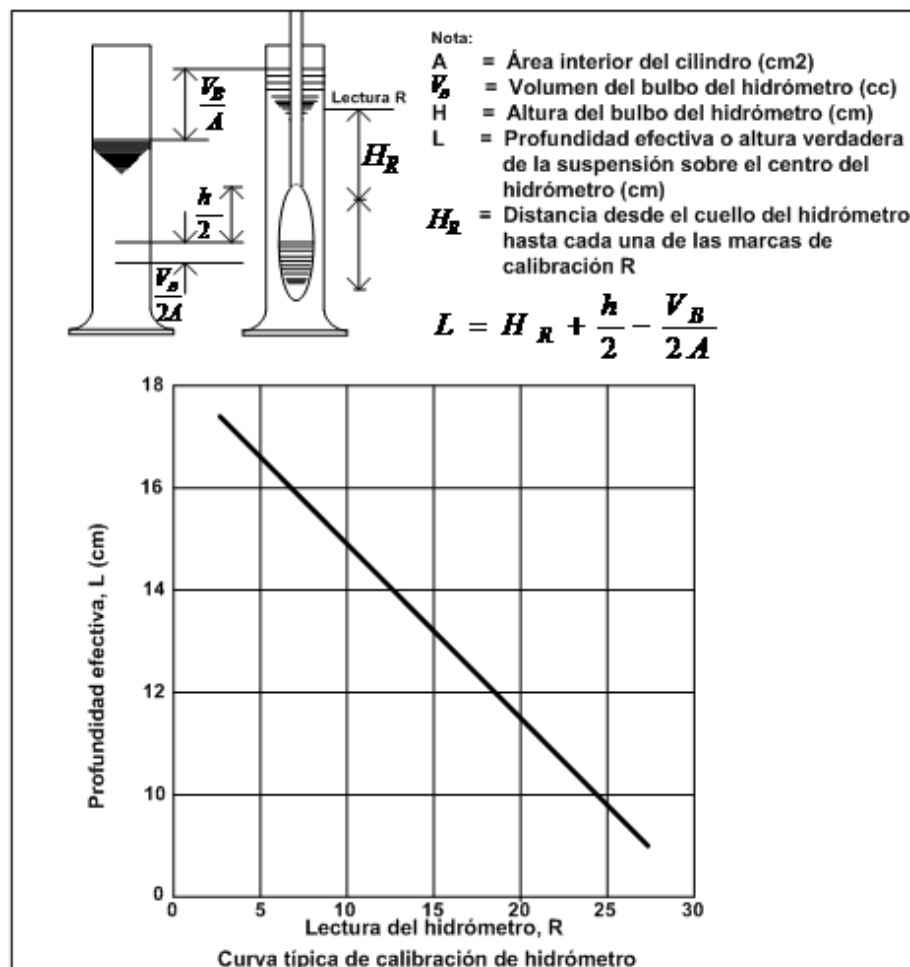


Figura 6: Determinación de la profundidad efectiva de la suspensión sobre el centro del bulbo del hidrómetro

6.0 PROCEDIMIENTO

El procedimiento consistirá de los siguientes pasos:

- 6.1 Anótese en el formato toda la información existente para identificar la muestra, como por ejemplo: obra, número de la muestra y otros datos pertinentes.
- 6.2 Determínese la corrección por defloculante y punto cero, Cd, y la corrección por menisco, Cm, a menos que ya sean conocidas (ver aparte [6.12](#) y [6.14](#) de este ensayo).

Anótese toda esta información en el formato.

- 6.3 Determínese el peso específico de los sólidos, Gs (E 113).
- 6.4 Si el peso secado al horno se va a obtener al principio del ensayo, séquese la muestra al horno, déjese enfriar y pésese con una aproximación de 0,1 g, anótese en el formato el valor obtenido. Colóquese la muestra en una cápsula de 250 mL previamente identificada con un número, agréguese agua destilada o desmineralizada hasta que la muestra quede totalmente sumergida. Colóquese el agente dispersante en este momento: 125 mL de solución de hexametáfosfato de sodio (40 g/L).

Déjese la muestra en remojo por una noche hasta que los terrones de suelo se hayan desintegrado. Suelos altamente orgánicos requieren un tratamiento especial, y puede ser necesario oxidar la materia orgánica antes del ensayo. La oxidación puede ser llevada a cabo mezclando la muestra con una solución, al 30%, de peróxido de hidrógeno; esta solución oxidará toda la materia orgánica. Si el suelo contiene poca cantidad de materia orgánica, el tratamiento con peróxido de hidrógeno no es necesario.

- 6.5 Transfírase la muestra con agua, de la cápsula a un vaso de dispersión (figuras 1 y 2), lavando cualquier residuo que quede en la cápsula con agua destilada o desmineralizada. Agréguese agua al vaso de dispersión si es necesario, hasta que la superficie de ésta quede de 50 a 80 mm por debajo de la boca del vaso; si el vaso contiene demasiada agua, ésta se derramará durante el mezclado. Colóquese el vaso de dispersión en el aparato agitador durante un minuto.
 - Para lograr la dispersión se puede emplear también aire a presión en lugar del método mecánico del agitador. En este caso, se coloca un manómetro entre el vaso y la válvula de control, la cual se abre inicialmente para obtener una presión de 0,07 kg/cm² (1 psi). Se transfiere la lechada de suelo-agua de la cazuela al vaso de dispersión, lavando con agua destilada el remanente de la cazuela, y rellenando si es necesario, con más agua destilada hasta el volumen de 250 mL. Se tapa el vaso y se abre la válvula de control hasta obtener una presión de 1,4 kg/cm² (20 psi). La dispersión se hará de acuerdo con la siguiente tabla:

Índice de plasticidad del suelo	Período de dispersión min.
Menor del 5%	5
Del 6% a 20%	10
Mayor del 20%	15

Los suelos que contienen altos porcentajes de mica se dispersarán durante un (1) minuto.

- 6.6 Se transfiere la suspensión a un cilindro de sedimentación de 1000 mL. La suspensión debe ser llevada a la temperatura que se espera prevalecerá en el laboratorio durante el ensayo.
- 6.7 Un minuto antes de comenzar el ensayo, tómesese el cilindro de sedimentación y tapándolo con la mano o con un tapón adecuado, agítase la suspensión vigorosamente durante varios segundos, con el objeto de remover los sedimentos del fondo y lograr una suspensión uniforme. Continúese agitando hasta completar un minuto volteando el cilindro hacia arriba y hacia abajo alternativamente. Algunas veces es necesario aflojar los sedimentos del fondo del cilindro, mediante un agitador de vidrio antes de proceder a agitar la lechada. Se deben ejecutar sesenta (60) giros durante ese minuto.

Alternativamente, la suspensión puede ser agitada antes de proceder al ensayo mediante un agitador manual, semejante al que se muestra en el esquema de la Figura 3. Moviendo dicho

agitador hacia arriba y hacia abajo, a través de la suspensión, se consigue una distribución uniforme de las partículas de suelo. Este proceso evita también la acumulación de sedimentos en la base y en las paredes del cilindro graduado.

- 6.8 Al terminar el minuto de agitación, colóquese el cilindro sobre una mesa.

Póngase en marcha el cronómetro. Si hay espuma presente, remuévala tocándola ligeramente con un pedazo de papel absorbente. Introdúzcase lentamente el hidrómetro en la suspensión. Se debe tener mucho cuidado cuando se introduce y cuando se extrae, para evitar perturbar la suspensión.

- 6.9 Obsérvense y anótense las dos primeras lecturas de hidrómetro, al minuto, y a los dos minutos después de haber colocado el cilindro sobre la mesa. Estas lecturas deben realizarse en el tope del menisco. Inmediatamente después de realizar la lectura de los 2 minutos, extráigase cuidadosamente el hidrómetro de la suspensión y colóquese en un cilindro graduado con agua limpia. Si el hidrómetro se deja mucho tiempo en la suspensión, parte del material que se está asentando se puede adherir al bulbo, causando errores en las lecturas. Luego, introdúzcase nuevamente el hidrómetro y realícense lecturas a los 5; 15; 30; 60; 120; 250 y 1 440 minutos. Todas estas lecturas deben realizarse en el tope del menisco formado alrededor del vástago. Inmediatamente después de cada una de estas lecturas, extráigase el hidrómetro cuidadosamente de la suspensión y colóquese en el cilindro graduado con agua limpia.

- 6.10 Después de realizar la lectura de hidrómetro de los 2 minutos y después de cada lectura siguiente, colóquese un termómetro en la suspensión, mídase la temperatura y anótese en la planilla con una aproximación de 0,5 °C. Los cambios de temperatura de la suspensión durante el ensayo afectan los resultados. Las variaciones en la temperatura deben ser minimizadas colocando el cilindro lejos de fuentes de calor tales como hornos, rayos de sol o ventanas abiertas. Una forma conveniente de controlar los efectos de la temperatura, es colocar el cilindro graduado que contiene la suspensión en un baño de agua.

- 6.11 Si el peso de la muestra se va a determinar al final del ensayo, lávese cuidadosamente toda la suspensión transfiriéndola a una cápsula de evaporación. Séquese el material al horno, déjese enfriar y determínese el peso de la muestra. El peso seco de la muestra de suelo empleada se obtendrá restándole a este valor el peso seco del agente defloculante empleado.

CORRECCION DE LAS LECTURAS DEL HIDROMETRO

- 6.12 Antes de proceder con los cálculos, las lecturas de hidrómetro deberán ser corregidas por menisco, por temperatura, por defloculante y punto cero.

- 6.13 Corrección por menisco (Cm). Los hidrómetros se calibran para leer correctamente a la altura de la superficie del líquido. La suspensión de suelo no es transparente y no es posible leer directamente a la superficie del líquido; por lo tanto, la lectura del hidrómetro se debe realizar en la parte superior del menisco. La corrección por menisco es constante para un hidrómetro dado, y se determina introduciendo el hidrómetro en agua destilada o desmineralizada y observando la altura a la cual el menisco se levanta por encima de la superficie del agua. Valores corrientes de Cm son:

Hidrómetro tipo 151 H: $C_m = 0,6 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$

Hidrómetro tipo 152 H: $C_m = 1,0 \text{ g/litro}$.

- 6.14 Corrección por temperatura (Ct). A cada una de las lecturas de hidrómetro se debe aplicar también un factor de corrección por temperatura, el cual debe sumarse algebraicamente a cada lectura. Este factor puede ser positivo o negativo, dependiendo de la temperatura de la suspensión en el momento de realizar cada lectura. Obténgase el valor del factor de corrección por temperatura para cada lectura de hidrómetro empleando la Tabla 2 y anótense estos valores en su planilla.

- 6.15 Corrección por agente de dispersión y por desplazamiento del punto cero (Cd).

- Los granos de suelos muy finos en suspensión tienden normalmente a flocular y se adhieren de tal forma que suelen precipitarse juntos. Por lo tanto, es necesario añadir a las muestras un agente de disgregación para evitar la floculación durante el ensayo. Los agentes defloculantes siguientes han sido utilizados satisfactoriamente para la mayoría de los suelos:

Tabla 2
Valores de Ct para la corrección por temperatura de las lecturas del hidrómetro

Temp. C	Ct	
	Hidrómetro graduado en	
	Densidad (gr/cm ³) x 10 ³	Concentración (gr/litro)*
10	-1,3	-2,0
11	-1,2	-1,9
12	-1,1	-1,8
13	-1,0	-1,6
14	-0,9	-1,4
15	-0,8	-1,2
16	-0,6	-1,0
17	-0,5	-0,8
18	-0,3	-0,5
19	-0,2	-0,3
20	0,0	0,0
21	0,2	0,3
22	0,4	0,6
23	0,6	0,9
24	0,8	1,3
25	1,0	1,7
26	1,3	2,0
27	1,5	2,4
28	1,8	2,9
29	2,0	3,3
30	2,3	3,7

Peso específico del sólido en suspensión: $G = 2,55$

Para hidrómetro tipo 1 52-H busque Ct en la columna de la derecha (gr/litro).

Para hidrómetro tipo 1 51-H busque Ct en la columna de la izquierda

$$\{(g / cm) \times 10^3\}$$

Los valores tabulados fueron calculados por la expresión:

$$Ct = [\gamma W_{20} - \gamma W_t - \alpha (T - 20)] \times 10^3 \text{ g/cm}^3$$

$$Ct = [\gamma W_{20} - \gamma W_t - \alpha (T - 20)] \times \frac{2,65}{1,65} 10^3 \text{ g/cm}^3$$

Donde:

- T = Temperatura de la suspensión en °C
- γW_{20} = Peso unitario del agua a 20 °C
- γW_t = Peso unitario del agua a T °C
- α = Coeficiente de dilatación volumétrica del hidrómetro ($\alpha = 2,5 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$)

Agente defloculante	Fórmula
Hexametáfosfato de sodio	NaPO ₃ ó (NaPO ₃) ₆

- La adición de un agente defloculante produce aumento en la densidad del líquido y obliga a realizar una corrección a la lectura del hidrómetro observado. Así mismo, como la escala de cada hidrómetro ha sido graduada para registrar una lectura cero o lectura inicial a una temperatura base, que generalmente es 20 °C, existirá un desplazamiento del punto cero, y las lecturas de hidrómetro observadas también deberán corregirse por este factor.
- La corrección por defloculante se determina generalmente en conjunto con la corrección por punto cero; por ello se les denomina "corrección por defloculante y punto cero".

- El procedimiento para determinar la corrección por defloculante y punto cero consistirá en los pasos siguientes:

Se selecciona un cilindro graduado de 1000 mL de capacidad y se llena con agua destilada o desmineralizada con una cantidad de defloculante igual a la que se empleará en el ensayo. Si en el ensayo no se va a utilizar defloculante, llénese el cilindro sólo con agua destilada o desmineralizada. En este caso la corrección será solamente por punto cero. Realícese, en la parte superior del menisco, la lectura del hidrómetro e introdúzcase a continuación un termómetro para medir la temperatura de la solución. Calcúlese la corrección por defloculante y punto cero (C_d) mediante la fórmula:

$$C_d = \tau' + C_m \pm C_t$$

Donde:

- τ' = Lectura del hidrómetro, en agua con defloculante únicamente
- C_m = Corrección por menisco
- C_t = Corrección por temperatura, sumada algebraicamente.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Lectura de hidrómetro corregida. Calcúlense las lecturas de hidrómetro corregidas por menisco (R) sumándole a cada lectura de hidrómetro no corregida (R'), la corrección por menisco C_m , o sea:

$$R = R' + C_m$$

Anótense en la planilla los valores de R obtenidos.

- 7.1.2 Cálculo del diámetro de las partículas (D). Determinése el diámetro de las partículas correspondientes a cada lectura de hidrómetro empleando el nomograma de la Figura 7. En este nomograma, la escala (R) correspondiente a las profundidades efectivas (L) (véase Tabla 1), se elaborará empleando la curva de calibración correspondiente al hidrómetro que se va a emplear en el ensayo (Figura 6). La secuencia de los pasos a seguir para calcular el diámetro de las partículas (D) mediante el nomograma de la Figura 7, se indica esquemáticamente en la parte inferior derecha de dicha figura.

El diámetro de las partículas de suelo en suspensión en el momento de realizar cada lectura de hidrómetro se puede calcular también con la fórmula siguiente:

$$D \text{ (mm)} = K \sqrt{(L / t)}$$

Donde:

- L = Profundidad efectiva en cm
- t = Tiempo transcurrido en min.

$$K = \sqrt{\frac{30 \times \mu / g}{\tau_S - \tau_W}}$$

Donde:

- g = Aceleración gravitacional = 980,7 cm/s²
- μ = Coeficiente de viscosidad del agua en Poises
- τ_S = Peso unitario de los sólidos del suelo en gr/cm³
- τ_W = Peso unitario del agua destilada, a la temperatura T , en g/cm³.

Los valores de K están tabulados en la Tabla 3, en función del peso específico y la temperatura.

- 7.1.3 Cálculo del porcentaje más fino. Para calcular el porcentaje de partículas de diámetro más fino que el correspondiente a una lectura de hidrómetro dada, utilice la fórmulas siguientes:

Para hidrómetros 151 H

$$\text{Porcentaje más fino} = \frac{G_s}{G_s - 1} \times \frac{100}{W_o} \times (R - Cd \pm Ct)$$

Para hidrómetros 152 H

$$\text{Porcentaje más fino} = \frac{100 \times a}{W_o} \times (R - Cd \pm Ct)$$

Donde:

- G_s = Peso específico de los sólidos (modo operativo MTC E 205)
- W_o = Peso de la muestra de suelo secado al horno que se empleó para el análisis del hidrómetro.
- (R - Cd + Ct) = Lectura de hidrómetro corregida por menisco menos corrección por defloculante y punto cero, más (sumada algebraicamente) corrección por temperatura.
- a = Factor de corrección por peso específico (véase Tabla 4).

Anótese todos los valores obtenidos en su planilla. El factor Ct puede ser positivo o negativo dependiendo de la temperatura de la suspensión en el momento de realizar la lectura. Úsese la fórmula (R - Cd + Ct) dependiendo si Ct es positivo o negativo.

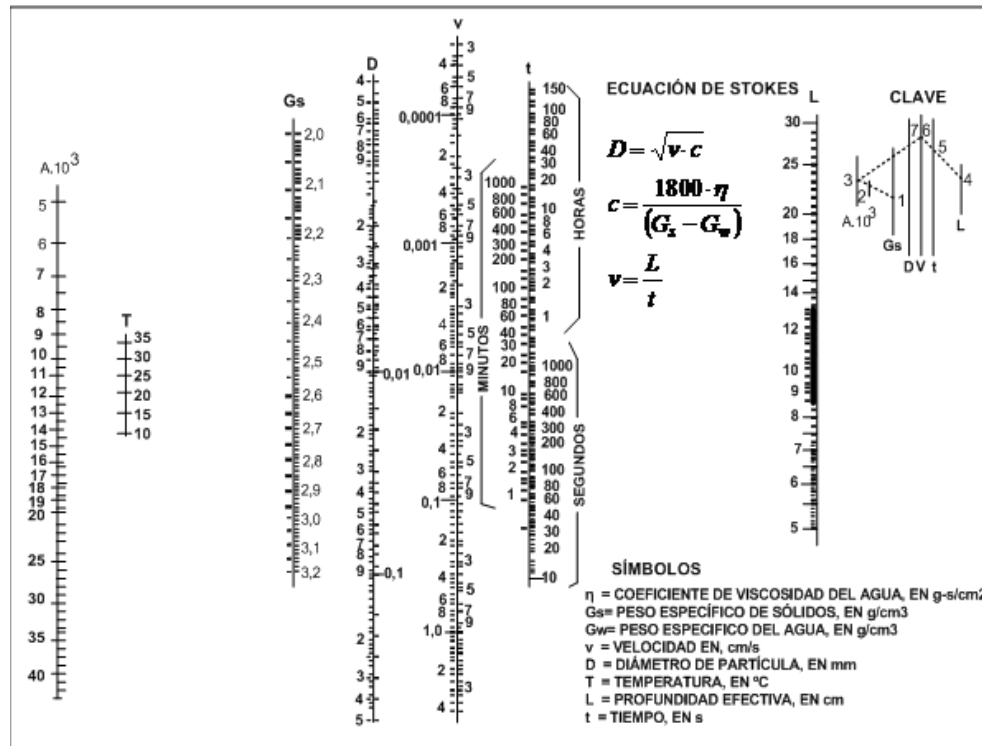


Figura 7: Nomograma para el cálculo del diámetro de partículas

OBSERVACIONES

7.1.4 Los siguientes errores posibles causarían determinaciones imprecisas en un análisis granulométrico por hidrómetro.

- Suelo secado al horno antes del ensayo. Excepto para el caso de suelos inorgánicos de resistencia seca baja, el secado al horno puede causar cambios permanentes en el tamaño de las partículas.

- Agente dispersante no satisfactorio o en cantidad insuficiente. Siempre y cuando se vayan a ensayar suelos nuevos o no usuales, es necesario realizar tanteos para determinar el tipo y la cantidad de compuesto químico que producirá la dispersión y de floculación más efectivas.

Tabla 3**Valores de K para el cálculo del diámetro de partículas en el análisis hidrométrico**

Tem	Peso específico de las partículas del suelo								
	2,45	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80	2,85
10	0,01659	0,01631	0,01604	0,1583	0,1555	0,01532	0,01510	0,01488	0,01468
11	0,01636	0,01608	0,01582	0,01557	0,01533	0,01511	0,01489	0,01468	0,01448
12	0,01613	0,01586	0,01560	0,01535	0,01512	0,01490	0,01468	0,01448	0,01428
13	0,01591	0,01565	0,01539	0,01515	0,01492	0,01470	0,01449	0,01428	0,01409
14	0,01571	0,01544	0,01519	0,01495	0,01474	0,01451	0,01430	0,01410	0,01391
15	0,01551	0,01525	0,01500	0,01476	0,01454	0,01432	0,01412	0,01392	0,01373
16	0,01530	0,01505	0,01481	0,01457	0,01435	0,01414	0,01394	0,01374	0,01356
17	0,01521	0,01486	0,01462	0,01439	0,01417	0,01396	0,01376	0,01356	0,01338
18	0,01492	0,01467	0,01443	0,01421	0,01399	0,01378	0,01359	0,01339	0,01321
19	0,01437	0,01449	0,01425	0,01403	0,01382	0,01361	0,01342	0,01323	0,01305
20	0,01456	0,01431	0,01408	0,01386	0,01365	0,01344	0,01325	0,01307	0,01289
21	0,01438	0,01414	0,01391	0,01369	0,01348	0,01328	0,01309	0,01291	0,01273
22	0,01421	0,01397	0,01374	0,01353	0,01332	0,01312	0,01294	0,01276	0,01258
23	0,01404	0,01381	0,01358	0,01337	0,01317	0,01297	0,01279	0,01261	0,01243
24	0,01388	0,01365	0,01342	0,01321	0,01301	0,01282	0,01264	0,01246	0,01229
25	0,01372	0,01349	0,01327	0,01306	0,01286	0,01267	0,01249	0,01232	0,01215
26	0,01357	0,01334	0,01312	0,01291	0,01272	0,01253	0,01235	0,01219	0,01201
27	0,01342	0,01319	0,01297	0,01277	0,01258	0,01239	0,01221	0,01204	0,01188
28	0,01327	0,01304	0,01283	0,01264	0,01244	0,01225	0,01208	0,01191	0,01175
29	0,01312	0,01290	0,01269	0,01249	0,01230	0,01212	0,01195	0,01178	0,01162
30	0,01298	0,01276	0,01256	0,01236	0,01217	0,01199	0,01182	0,01165	0,01149

- Dispersión incompleta del suelo en la suspensión. Agitación insuficiente de la suspensión en el cilindro al comienzo del ensayo.

Demasiado suelo en suspensión. Los resultados del análisis hidrométrico serán afectados si el tamaño de la muestra excede las cantidades recomendadas.

Los valores tabulados fueron calculados por la expresión:

$$K = \sqrt{\frac{30 \mu}{980 (G - 1) \gamma_w}}$$

Donde:

- μ = viscosidad dinámica del agua en Poises
- G = peso específico de las partículas de suelo.
- γ_w = peso unitario del agua (gr/cm^3)

Tabla 4
Valores del coeficiente de corrección para distintos pesos específicos de las partículas del suelo

Peso Específico	Coeficiente "a"	Peso Específico	Coeficiente "a"	Peso Específico	Coeficiente "a"
2,45	1,05	2,60	1,01	2,75	0,98
2,50	1,03	2,65	1,00	2,80	0,97
2,55	1,02	2,70	0,99	2,85	0,96

Perturbación de la suspensión cuando se introduce o se remueve el hidrómetro. Tal perturbación es muy corriente que ocurra cuando el hidrómetro se extrae rápido después de una lectura.

El hidrómetro no está suficientemente limpio. La presencia de polvo o grasa en el vástago del hidrómetro puede impedir el desarrollo de un menisco uniforme.

Calentamiento no uniforme de la suspensión. Variación excesiva de la temperatura de la suspensión durante el ensayo.

Pérdida de material después del ensayo. Si el peso del suelo secado al horno se obtiene después del ensayo, toda la suspensión debe ser lavada cuidadosamente del cilindro.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 El criterio para aceptar la aceptación de los resultados de los ensayos de límite líquido obtenido por este método de ensayo.

8.2 DISPERSION

8.2.1 Exactitud: No existe un valor de referencia aceptable para este método de ensayo; la exactitud no puede ser determinada.

MTC E 110

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo.

Discusión: Se considera que la resistencia al corte no drenada del suelo en el límite líquido es de 2 kPa (0,28 psi).

- 1.2 El valor calculado deberá aproximarse al centésimo.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos véase anexos de clasificación de este manual. (SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción (véase especificación ASTM D1241). El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte
- 2.2 Los límites líquido y plástico de un suelo pueden utilizar con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que $2\mu\text{m}$ para determinar su número de actividad
- 2.3 Frecuentemente se utilizan tres métodos para evaluar las características de intemperización de materiales compuestos por arcilla-lutita. Cuando se someten a ciclos repetidos de humedecimiento y secado, los límites de estos materiales tienden a incrementarse. La magnitud del incremento se considera ser una medida de la susceptibilidad de la lutitas a la intemperización.
- 2.4 El límite líquido de un suelo que contiene cantidades significativas de materia orgánica decrece dramáticamente cuando el suelo es secado al horno antes de ser ensayado. La comparación del límite líquido de una muestra antes y después del secado al horno puede por consiguiente ser usada como una medida cualitativa del contenido de materia orgánica de un suelo

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Recipiente para Almacenaje. Una vasija de porcelana de 115 mm (4 1/2") de diámetro aproximadamente.

- 4.1.3 Aparato del límite líquido (o de Casagrande).

De operación manual. Es un aparato consistente en una taza de bronce con sus aditamentos, construido de acuerdo con las dimensiones señaladas en la Figura 1.

De operación mecánica. Es un aparato equipado con motor para producir la altura y el número de golpes. Figura 1. El aparato debe dar los mismos valores para el límite líquido que los obtenidos con el aparato de operación manual.

- 4.1.4 Acanalador. Conforme con las dimensiones críticas indicadas en la figura 1.

- 4.1.5 Calibrador. Ya sea incorporado al ranurador o separado, de acuerdo con la dimensión crítica "d" mostrada en la Figura 1, y puede ser, si fuere separada, una barra de metal de $10,00 \pm 0,2$ mm ($0,394 \pm 0,008$ ") de espesor y de 50 mm (2") de largo, aproximadamente.
- 4.1.6 Recipientes o Pesa Filtros. De material resistente a la corrosión, y cuya masa no cambie con repetidos calentamientos y enfriamientos. Deben tener tapas que cierren bien, sin costuras, para evitar las pérdidas de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para evitar la absorción de humedad de la atmósfera tras el secado y antes de la pesada final.
- 4.1.7 Balanza. Una balanza con sensibilidad de 0,01 g.
- 4.1.8 Estufa. Termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ para secar la muestra.
- 4.2 MATERIALES
- 4.2.1 Espátula. De hoja flexible de unos 75 a 100 mm (3"- 4") de longitud y 20 mm ($\frac{3}{4}$ "") de ancho aproximadamente.
- 4.3 INSUMOS
- 4.3.1 Pureza del agua: Cuando este método de ensayo sea referida agua destilada, puede emplearse agua destilada o agua desmineralizada.

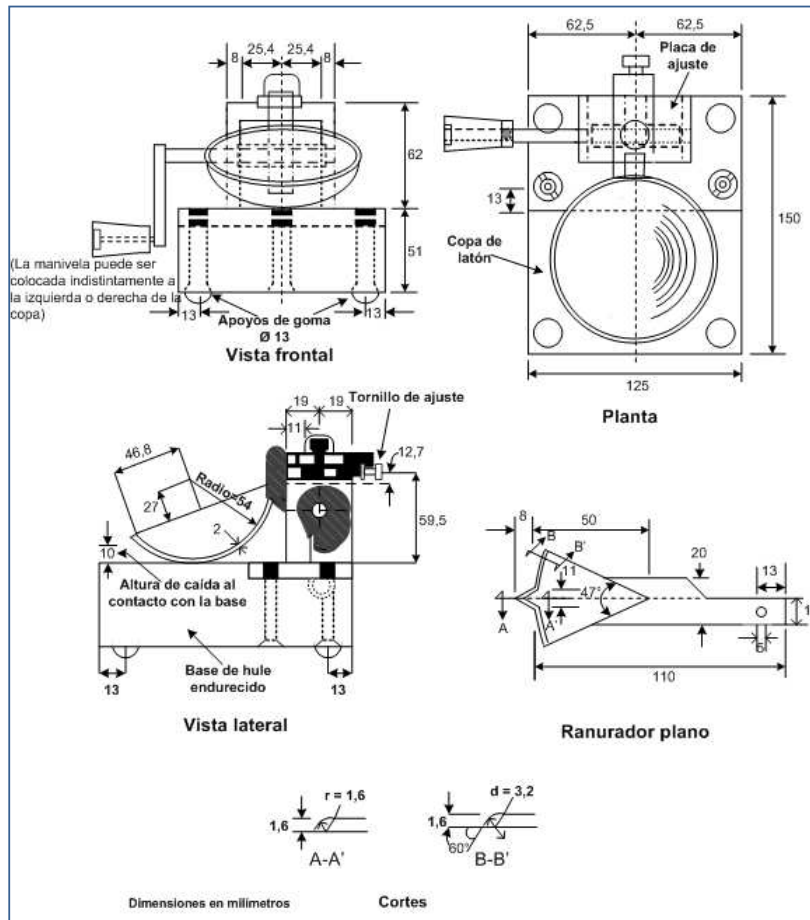
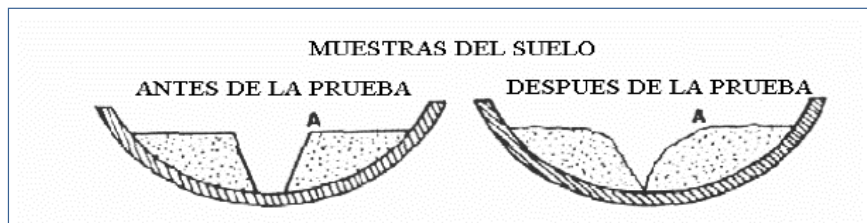
5.0 MUESTRA

- 5.1 Se obtiene una porción representativa de la muestra total suficiente para proporcionar 150 g a 200 g de material pasante del tamiz $425 \mu\text{m}$ (Nº 40). Las muestras que fluyen libremente pueden ser reducidas por los métodos de cuarteo o división de muestras. Las muestras cohesivas deben ser mezcladas totalmente en un recipiente con una espátula, o cuchara y se obtendrá una porción representativa de la masa total extrayéndola dos veces con la cuchara.

6.0 PROCEDIMIENTO

Multipunto

- 6.1 Colocar una porción del suelo preparado, en la copa del dispositivo de límite líquido en el punto en que la copa descansa sobre la base, presionándola, y esparciéndola en la copa hasta una profundidad de aproximadamente 10 mm en su punto más profundo, formando una superficie aproximadamente horizontal. Tener cuidado en no dejar burbujas de aire atrapadas en la pasta con el menor número de pasadas de espátula como sea posible. Mantener el suelo no usado en el plato de mezclado. Cubrir el plato de mezclado con un paño húmedo (o por otro medio) para retener la humedad en la muestra.


Figura 1: Aparato manual para límite líquido


- 6.1 Utilizando el acanalador, dividir la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa. Cuando se corte la ranura, mantener el acanalador contra la superficie de la copa y trazar un arco, manteniendo la corriente perpendicular a la superficie de la copa en todo su movimiento. En los suelos en los que no se puede hacer la ranura en una sola pasada sin desgarrar el suelo, cortar la ranura con varias pasadas del acanalador. Como alternativa, puede cortarse la ranura a dimensiones ligeramente menores que las requeridas, con una espátula y usar la del acanalador las dimensiones finales de la ranura.
 - 6.2 Verificar que no existen restos de suelo por debajo de la copa. Levantar y soltar la copa girando el manubrio a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo estén en contacto en la base de la ranura una longitud de 13 mm (1/2 pulg).
- Nota1.** Se recomienda el uso de una regla graduada para verificar que la ranura se cerró en 13 mm (1/2 pulg).
- 6.3 Verificar que no se haya producido el cierre prematuro de la ranura debido a burbujas de aire, observando que ambos lados de la ranura se hayan desplazado en conjunto aproximadamente con

la misma forma. Si una burbuja hubiera causado el cierre prematuro de la ranura, formar nuevamente el suelo en la copa, añadiendo una pequeña cantidad de suelo para compensar la pérdida en la operación de ranuración y repetir de 6.1 a 6.3 a un contenido más elevado. Si luego de varias pruebas a contenidos de humedad sucesivamente más altos, la pasta de suelo se sigue deslizando en la copa o si el número de golpes necesarios para cerrar la ranura es siempre menor de 25, se registrará que el límite no pudo determinarse, y se reportará al suelo como no plástico sin realizar el ensayo de límite plástico.

- 6.4 Registrar el número de golpes, N , necesario para cerrar la ranura. Tomar una tajada de suelo de aproximadamente de ancho de la espátula, extendiéndola de extremo a extremo de la torta de suelo en ángulos rectos a la ranura e incluyendo la porción de la ranura en la cual el suelo se deslizó en conjunto, colocarlo en un recipiente de peso conocido, y cubrirlo.
- 6.5 Regresar el suelo remanente en la copa al plato de mezclado. Lavar y secar la copa y el acanalador y fijar la copa nuevamente a su soporte como preparación para la siguiente prueba.
- 6.6 Mezclar nuevamente todo el espécimen de suelo en el plato de mezclado añadiéndole agua destilada para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura. Repetir de 6.1 a 6.6 para al menos dos pruebas adicionales produciendo números de golpes sucesivamente más bajos para cerrar la ranura. Una de estas pruebas se realizará para un cierre que requiera de 25 a 35 golpes, una para un cierre entre 20 y 30 golpes, y una prueba para un cierre que requiera de 15 a 25 golpes.
- 6.7 Determinar el contenido de humedad, W^n , del espécimen de suelo de cada prueba de acuerdo al método de ensayo NTP 339.127. Los pesos iniciales deben determinarse inmediatamente después de terminar el ensayo. Si el ensayo se interrumpe por más de 15 minutos, el espécimen ya obtenido debe pesarse en el momento de la interrupción.

Un punto

- 6.8 El ensayo se efectúa en la misma

7.0 CALCULOS

(Multipunto)

- 7.1 Representar la relación entre el contenido de humedad, W^n , y el número de golpes correspondientes, N , de la copa sobre un gráfico semilogarítmico con el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. Trazar la mejor línea recta que pase por los tres puntos o más puntos graficados.
- 7.2 Tomar el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo. El método gráfico puede sustituir los métodos de ajuste para encontrar una línea recta con los datos, para encontrar el límite líquido.

(Un punto)

- 7.3 Determinar el límite líquido para cada espécimen para contenido de humedad usando una de las siguientes ecuaciones:

$$LL = W^n \left(\frac{N}{25} \right)^{0,121} \quad \text{o} \quad LL = kW^n$$

Donde:

- | | | |
|-------|---|--|
| N | = | Números de golpes requeridos para cerrar la ranura para el contenido de humedad, |
| W^n | = | Contenido de humedad del suelo, |
| K | = | factor dado en la tabla A.1 |

Tabla A -1

N (Numero de golpes)	K (Factor para límite líquido)
20	0,974
21	0,979
22	0,985
23	0,990
24	0,995
25	1,000
26	1,005
27	1,009
28	1,014
29	1,018
30	1,022

Tabla 1
Tabla de estimados de precisión.

Índice de precisión y tipo de ensayo	Desviación Estándar	Rango Aceptable de dos resultados
Precisión de un operador simple		
Límite Líquido	0,8	2,4
Precisión Multilaboratorio		
Límite Líquido	3,5	9,9

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 El criterio para aceptar la aceptación de los resultados de los ensayos de límite líquido obtenido por este método de ensayo.

8.2 DISPERSION

- 8.2.1 Exactitud: No existe un valor de referencia aceptable para este método de ensayo; la exactitud no puede ser determinada.

MTC E 111**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen
- 2.2 Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos (véase anexos de clasificación SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción (véase especificación ASTM D1241). El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.
- 2.3 Los plásticos de un suelo pueden utilizar con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que $2\mu\text{m}$ para determinar su número de actividad

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Espátula, de hoja flexible, de unos 75 a 100 mm (3" – 4") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.
- 4.1.2 Recipiente para Almacenaje, de porcelana o similar, de 115 mm (4 1/2") de diámetro.
- 4.1.3 Balanza, con aproximación a 0,01 g.
- 4.1.4 Horno o Estufa, termostáticamente controlado regulable a 110 ± 5 °C.
- 4.1.5 Tamiz, de 426 μm (N° 40).
- 4.1.6 Agua destilada.
- 4.1.7 Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades.
- 4.1.8 Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Si se quiere determinar sólo el L.P., se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 426 μm (N° 40), preparado para el ensayo de límite líquido. Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de 1,5 g a 2,0 g de dicha esfera como muestra para el ensayo.
- 5.2 El secado previo del material en horno o estufa, o al aire, puede cambiar (en general, disminuir), el límite plástico de un suelo con material orgánico, pero este cambio puede ser poco importante.
- 5.3 Si se requieren el límite líquido y el límite plástico, se toma una muestra de unos 15 g de la porción de suelo humedecida y amasada, preparada de acuerdo con la Norma MTC E 110 (determinación del límite líquido de los suelos). La muestra debe tomarse en una etapa del proceso de amasado

en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla. Si el ensayo se ejecuta después de realizar el del límite líquido y en dicho intervalo la muestra se ha secado, se añade más agua.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.
- 6.2 Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3,2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer una elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.

El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo: En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños.

- 6.3 Porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determina la humedad de acuerdo con la norma MTC E 108.
- 6.4 Se repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado en 6.1, 6.2 y 6.3.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

Calcular el promedio de dos contenidos de humedad. Repetir el ensayo si la diferencia entre los dos contenidos de humedad es mayor que el rango aceptable para los dos resultados listados en la tabla 1 para la precisión de un operador.

Tabla 1
Tabla de estimados de precisión.

Índice de precisión y tipo de ensayo	Desviación Estándar	Rango Aceptable de dos resultados
Precisión de un operador simple		
Límite Plástico	0,9	2,6
Precisión Multilaboratorio		
Límite Plástico	3,7	10,6

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula así:

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

7.2 CALCULOS DE INDICE DE PLASTICIDAD

Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Donde:

L.L. = Límite Líquido
P.L. = Límite Plástico
L.L. y L.P., son números enteros

- Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).
- Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (no plástico).



8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados de los ensayos de Límite Plástico obtenidos por este método de ensayo se da en la Tabla N° 1.

8.2 DISPERSION

8.2.1 Exactitud: No existe un valor de referencia aceptable para este método de ensayo; la exactitud no puede ser determinada.

MTC E 112

DETERMINACION DE LOS FACTORES DE CONTRACCION DE LOS SUELOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer procedimientos para la determinación de los factores de contracción de suelos, mediante el Método del Mercurio.
- 1.2 Este método de prueba proporciona un procedimiento para la obtención de los datos que son usados para calcular el límite de contracción y la relación de contracción.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método usa mercurio que es una sustancia peligrosa. El método de prueba ASTM D4943 no usa mercurio y es una alternativa aceptable para este procedimiento.
- 2.2 Los límites líquido, plástico y de contracción son a menudo definidos como los límites Atterberg, Sus respectivos contenidos de humedad distinguen las fronteras de los varios estados de consistencia de suelos cohesivos.
- 2.3 Este método se efectúa solo en aquella porción de un suelo que pase el tamiz 425 μm (Nº 40). La contribución relativa de esta porción de suelo debe ser considerada cuando se use este método para evaluar las propiedades del suelo como un todo.
- 2.4 Los factores de contracción cubiertos en este ensayo pueden determinarse únicamente en suelos básicamente finos (cohesivos), los cuales exhiban una resistencia en seco cuando son secados en aire.
- 2.5 Se supone normalmente que el término límite de contracción, expresado como un porcentaje del contenido de agua, representa la cantidad de agua necesaria para llenar los vacíos de un suelo cohesivo dado, cuando se halle en su relación de vacíos más baja, obtenido ese valor por secamiento (generalmente en el horno). Así, el concepto del límite de contracción puede emplearse para evaluar el potencial de contracción o sea la posibilidad de que se desarrollen grietas en obras que incluyen suelos cohesivos o ambos.
- 2.6 Los datos obtenidos con este método de prueba pueden ser usados para calcular la contracción con suelos cohesivos y la contracción lineal.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.140: SUELOS. Determinación de los factores de contracción de suelos mediante el método de mercurio.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Plato de evaporación, de porcelana, de 140 mm (4 1/2") y de 150 mm (6") de diámetro, aproximadamente.
- 4.1.2 Balanza, con sensibilidad de 0,1 g y conforme a los requerimientos de balanzas de la clase GP2 en la especificación ASTM D4753.
- 4.1.3 Plato para contracción o cápsula, de porcelana o de metal monel (aleación de níquel y cobre) con una base plana y de 44 mm (1 3/4 ") de diámetro y 12 mm (1/2") de altura.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Espátula, de 76 mm (3") de longitud y con 20 mm (3/4 ") de ancho.
- 4.2.2 Escantillón, de acero de 150 mm (6") o más de longitud.
- 4.2.3 Recipiente de vidrio, con 57 mm (2 1/4") de diámetro y 31 mm (1 1/4") de altura, con bordes lisos y nivelados.

- 4.2.4 Placa de vidrio, con tres patas metálicas salientes para sumergir la muestra de suelo en mercurio.
- 4.2.5 Placa de vidrio, Una placa plana de vidrio lo suficiente grande para cubrir la copa de vidrio.
- 4.2.6 Probeta graduada de vidrio, teniendo una capacidad de 25 mL y graduada cada 0,2 mL.
- 4.2.7 Recipiente poco profundo, de alrededor de 20x20x5 cm (8x8x2 pulg.) de profundidad, no metálica (preferiblemente de vidrio) para contener derrames accidentales de mercurio.
- 4.3 INSUMOS
- 4.3.1 Mercurio, suficiente para llenar el recipiente de vidrio, hasta que rebose.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Se obtiene una porción representativa de la muestra total suficiente para proporcionar 150 g a 200 g de material pasante del tamiz 425 μm (Nº 40). Las muestras que fluyen libremente pueden ser reducidas por los métodos de cuarteo o división de muestras.

Las muestras cohesivas deben ser mezcladas totalmente en un recipiente con ambas espátulas, o cuchara y se obtendrá una representativa de la masa extrayéndola dos veces con la cuchara.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Coloque el suelo en el plato de evaporación y mezcle completamente con agua destilada. La cantidad de agua añadida deberá producir al suelo una consistencia ligeramente superior al límite (método de prueba NTP 339.129) basado en inspección visual. Esta consistencia no corresponde a una pasta aguda pero fluirá de manera suficiente para expulsar las burbujas de aire cuando se efectúe la acción de ligero golpeteo. Es deseable usar el mínimo contenido posible de agua. Esto tiene importancia para suelos muy plásticos, de manera que no se rajen durante el proceso de secado.
- 6.2 Cubra el interior del plato de contracción con una capa delgada de petróleo gelatinoso, grasa de silicona, o lubricante similar para prevenir la adhesión del suelo al plato. Determine y registre la masa en gramos del plato vacío (M_T).
- 6.3 Coloque el plato de contracción en el recipiente poco profundo para coger cualquier derrame de mercurio. Llene el plato de contracción para rebosar con mercurio. Remueva el exceso de mercurio presionando firmemente la placa de vidrio sobre la parte superior del plato de contracción observe que no haya aire empotrado entre la placa y el mercurio y si lo hay, rellene el plato y repita el proceso. Determine el volumen de mercurio contenido en el plato de contracción ya sea por medio de la probeta de vidrio o dividiendo la masa retenida de mercurio entre la densidad de masa de mercurio (igual a 13,55 g/cm³). Registre este volumen en centímetros cúbicos de la torta de suelo húmedo. (V).

Nota 1. Precaución.- El mercurio es una sustancia riesgosa la cual puede causar efectos serios a la salud debido a la prolongada inhalación del vapor o contacto con la piel.

Nota 2. No es necesario medir el volumen del plato de contracción (torta de suelo húmeda) durante cada prueba. El valor de una medición previa puede ser usado dado que fue obtenido como lo especificado en 6.3 y el plato de contracción es apropiadamente identificado y mantenido en buena condición física.

- 6.4 Coloque una cantidad del suelo húmedo igual a alrededor de un tercio del volumen del plato en el centro, y haga que el suelo fluya a los bordes golpeando ligeramente el plato sobre una superficie firme amortiguada por varias capas de papel secante o material similar. Añada una cantidad de suelo aproximadamente igual a la primera porción y golpee ligeramente el plato hasta que el suelo esté completamente compactado y todo el aire atrapado en la masa haya sido removido de la superficie. Añada más suelo y continúe el suave golpeteo hasta que el plato esté completamente lleno y el exceso de suelo rebose sobre el borde. Corte el exceso de suelo con un escantillón, y elimine todo el suelo adherido al exterior del plato. Inmediatamente después del llenado y cortado, determine y registre la masa en gramos, del plato y suelo húmedo. (M_w).

- 6.5 Permita que la torta de suelo se seque al aire hasta que su color varíe desde oscuro a claro. Seque al horno la torta de suelo de una masa constante a 110 ± 5 °C. Si la torta de suelo es rajada o ha sido roto en pieza, retorne a 10,1 y prepare otra torta de suelo usando un menor contenido de agua. Determine y registre la masa en g de plato y suelo seco, (M_D).
- 6.6 Determine el volumen de la torta de suelo seco removiendo la torta desde el plato de contracción y sumergiéndola en la copa de vidrio lleno de mercurio en la siguiente manera.
- 6.6.1 Coloque la copa de mercurio en el recipiente de poca profundidad para coger cualquier rebose de mercurio. Llene la copa de mercurio para sobrellenarla con mercurio. Remueva el exceso de mercurio presionando la placa de vidrio con las tres puntas (Figura 1) firmemente sobre la parte superior de la copa. Observe que no haya aire entrampado entre la placa y mercurio y si hay, rellene el plato y repita el proceso. Cuidadosamente elimine el mercurio que puede haberse adherido al exterior de la copa.
- 6.6.2 Coloque el plato de evaporación en el recipiente de poca profundidad para coger cualquier rebose de mercurio. Coloque la copa llenada con mercurio en el plato de evaporación y haga reposar la torta de suelo sobre la superficie de mercurio (éste flotará).

Usando la placa de vidrio con las tres puntas presione la torta debajo del mercurio y presione la placa firmemente sobre la parte superior de la copa para expulsar cualquier exceso del mercurio. Observe que no haya aire entrampado entre la placa y el mercurio y si lo hay repita el proceso iniciándose desde (6.6.1). Mida el volumen del mercurio desplazado dentro del plato de evaporación ya sea por medio de la probeta graduada o dividiendo la masa medida de mercurio entre la densidad de masa del mercurio. Registre el volumen en cm^3 (pies cúbicos) de la torta de suelo seco, (V_0).

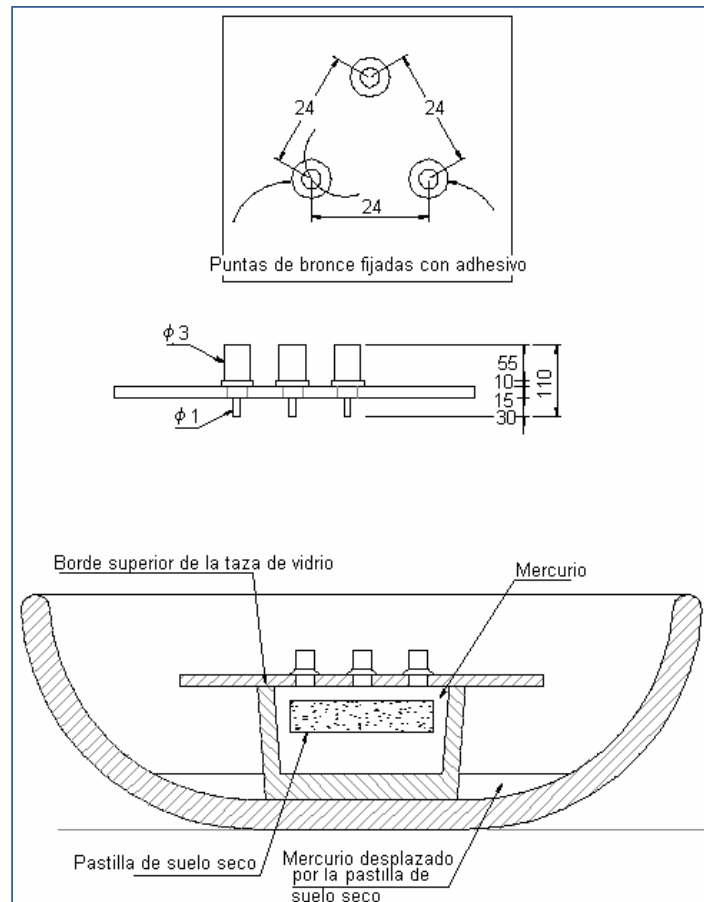


Figura 1: Aparato para determinar el cambio volumétrico de suelos



7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Calcule la masa de suelo húmedo inicial como:

$$M = M_w - M_T$$

7.1.2 Calcule la masa de suelo seco como:

$$M_o = M_D - M_T$$

7.1.3 Calcule el contenido inicial de agua como un porcentaje de la masa seca como:

$$w = \frac{(M - M_o)}{M_o} \times 100$$

7.1.4 Calcule el límite de contracción como un contenido de agua del suelo como un porcentaje de la masa seca como:

$$SL = w - \frac{(V - V_o) \cdot \rho_w}{M_o} \times 100$$

Donde

ρ_w = densidad aproximada del agua igual a 1,0 g/cm³ (62,4 lb/pie³) V y V_o son definidos en la sección de procedimientos.

7.1.5 Calcule la relación de contracción R, a partir de los datos obtenidos en la determinación volumétrica por la siguiente ecuación.

$$R = \frac{M_o}{V_o \times \rho_w}$$

7.2 INFORME

7.2.1 Reporte la siguiente información:

7.2.1.1 Identificación de datos y descripción visual de la muestra.

7.2.1.2 Valor del contenido inicial de agua al número entero más cercano y omitiendo la designación de porcentaje.

7.2.1.3 Valor del límite de contracción al número entero más cercano y omitiendo la designación de porcentaje.

7.2.1.4 Valor de la relación de contracción con aproximación de 0,01.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

Error Sistemático.- No hay valor de referencia aceptable para este método de prueba, por lo tanto, el error sistemático no puede ser determinado.

8.1 PRECISION

8.1.1 La tabla 1 presenta estimaciones de precisión basadas en resultados del programa de perfeccionamiento de muestreo del laboratorio de materiales de referencia (AMRL) AASHTO, de pruebas efectuadas en las Muestras 103 y 104. Estas muestras fueron clasificadas como un material CL teniendo 59,4 % de finos, un límite líquido de 33 y un límite plástico de 18.

8.1.2 La columna denominada "Margen aceptable de dos resultados" cuantifica la diferencia máxima esperada entre dos mediciones en muestras del mismo material bajo las condiciones especificadas en la primera columna. Estos valores solo se aplican a suelos los cuales sean similares a la Muestra 103 y 104.

Nota 3. Las cifras dadas en la columna 3 son las desviaciones estándar que han sido encontradas apropiadas para los resultados de prueba descritos en la columna 1. Las cifras dadas en las columnas 4 son los límites que no deberán ser excedidos por la diferencia entre dos pruebas apropiadamente efectuadas.

Nota 4. Los criterios para la asignación de valores de desviación estándar para suelos altamente plásticos ó no cohesivos no están disponible en la actualidad.

TABLA 1

Tabla de Estimación de precisión

Índice de materia y tipo	Valor promedio	Desviación estándar	Margen aceptable de los resultados
Operador Simple			
Límite de contracción	16	0,6	1,8
Relación de contracción	1,90	0,04	1,13
Multilaboratorio			
Límite de contracción	16	1,7	4,8
Relación de contracción	1,90	0,07	0,19

MTC E 113

METODO DE ENSAYO ESTENDAR PARA LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE SOLIDOS DE SUELO MEDIANTE PICNOMETRO DE AGUA

1.0 OBJETO

1.1 Este método de ensayo cubre la determinación de la gravedad específica de sólidos de suelo que pasan el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) mediante un picnómetro de agua. Cuando el suelo contiene partículas más grandes que la malla de 4,75 mm, el Método de Ensayo MTC E 206 podrá ser usado para los sólidos de suelo retenidos en el tamiz de 4,75 mm y este método de ensayo podrá ser usado para los sólidos de suelo que pasen el tamiz de 4,75 mm.

1.2 Los sólidos de suelo para estos métodos de ensayo no incluyen sólidos los cuales puedan ser alterados por estos métodos, contaminados con una sustancia que prohíba el uso de estos métodos, o que son sólidos de suelo altamente orgánicos, tales como materias fibrosas flotando en el agua.

Nota 1. El uso del método de ensayo D 5550 puede ser usado para determinar la gravedad específica de los sólidos de suelo que contengan material que se disuelva rápidamente en el agua o que flote en ella, o donde sea impráctico el uso de agua.

1.3 Dos métodos para la determinación de la gravedad específica son provistos. El método a ser usado podrá ser especificado por la autoridad pertinente, excepto cuando se trate del ensayo de los tipos de sólido listados en 1.3.1.

1.3.1 Método A – Procedimiento para especímenes húmedos, descrito en 6.2.2. Este procedimiento es el método preferido. Para sólidos orgánicos; altamente plásticos, sólidos de granulometría fina; sólidos tropicales; y sólidos que contengan halloysite, el Método A podrá ser usado.

1.3.2 Método B – Procedimiento para especímenes secados al horno, descrito en 6.2.3.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

2.1 La gravedad específica de los sólidos de suelo es usado en el cálculo de las relaciones de fase de suelos, tales como relación de vacíos y grado de saturación.

2.2 La gravedad específica de sólidos de suelo es usado para calcular la densidad de los sólidos de suelo. Esto se logra multiplicando su gravedad específica por la densidad de agua (a una temperatura apropiada)

2.3 El término de sólidos de suelo es típicamente asumido a representar partículas minerales formadas naturalmente o suelo como partículas que no son solubles rápidamente en el agua. Por lo tanto, La gravedad específica de sólidos de suelo conteniendo material extraño, tal como cemento, limo, y como un material soluble en el agua, tal como cloruro de sodio, y suelos conteniendo material con una gravedad específica menor que el de él, típicamente requiere de un tratamiento especial (ver Nota 1) o una definición calificada de su gravedad específica.

2.4 Las balanzas, tamaños de picnómetro, y masas de espécimen son establecidos para obtener resultados de ensayo con tres dígitos significantes.

Nota 2. La calidad del resultado producido por estos métodos de ensayo es dependiente de la competencia del personal entrenado para ello, y de la idoneidad del equipamiento y sus facilidades de uso. Las agencias que consideran el criterio de la Práctica D 3740 son generalmente considerados capaces de competencia y de ensayos, muestreos, inspecciones, etc. Objetivos. Los usuarios de estos métodos de ensayo son precavidos que la conformidad con la Práctica D 3740 no asegura por sí misma la obtención de resultados confiables. Los resultados confiables dependen de varios factores; la Práctica D 3740 provee formas de evaluación de algunos de esos factores.

2.5 Todos los valores observados y calculados se conformarán según la guía por dígitos significantes y redondeados según lo establecido en la Práctica D 6026.

- 2.5.1 Los procedimientos usados para especificar cómo los datos son colectados, registrados y calculados en esta norma estándar son los mismos que los de la industria estándar. En adición, ellos son representativos de los dígitos significantes que generalmente deberían ser empleados. Los procedimientos usados no consideran variación de material, proporcionado para la obtención de datos, estudios para propósitos especiales, o alguna de las consideraciones para los objetivos del usuario; y es práctica común incrementar o reducir los dígitos significantes de los datos reportados a ser conmensurados con estas consideraciones. Está más allá de los alcances de estos métodos de ensayo el considerar dígitos significantes usados en los métodos de análisis para diseños de ingeniería.
- 2.5.2 Unidades – Los valores indicados en el SI son los considerados como estándar. No se incluyen otros sistemas de unidades en estos métodos de ensayo.
- 2.6 Esta norma no pretende dirigir nada en cuanto a seguridad se refiere, ni nada asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma el establecer la seguridad apropiada y las prácticas saludables de la misma, así como determinar la aplicabilidad de limitaciones reguladoras previas a su uso.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.131 SUELOS. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas de un suelo.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Picnómetro – El agua del picnómetro podrá estar ya sea en un matraz taponado, matraz de yodo taponado, o un matraz volumétrico con una capacidad mínima de 250 mL, el volumen del picnómetro debe ser de 2 a 3 veces más grande que el volumen de la mezcla suelo-agua usada durante el desairado de la porción del ensayo.

- 4.1.1.1 El matraz taponado mecánicamente determina el volumen. El matraz de yodo taponado tiene un collar acampanado que permite al tapón estar colocado a un ángulo durante el equilibrio termal y previene que el agua se desborde por los costados del matraz cuando el tapón está instalado. El humedecimiento del exterior del matraz no es deseado porque crea cambios en el equilibrio termal. Cuando se usa un matraz taponado, asegurarse de que el tapón está propiamente etiquetado como correspondiente al matraz.

- 4.1.2 Balanza – Que cumpla los requerimientos de la especificación D 4753, clase GP1. Esta balanza tiene una precisión de lectura de 0,01g y una capacidad de al menos 2000 g.

- 4.1.3 Horno de Secado – Un horno termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ en toda la cámara de secado. Estos requerimientos usualmente necesitan el uso de un horno a presión de aire.

- 4.1.4 Secador – Una cabina secadora o una jarra secadora grande de tamaño apropiado conteniendo sílica gel o sulfato de calcio anhídrido.

Nota 3. Es preferible usar un desecante que cambie de color para indicar cuándo se necesita reconstitución.

- 4.1.5 Aparato para remover el aire atrapado – Para remover el aire atrapado (proceso de desairado), use uno de los siguientes:

- Plato para calentar o un Mechero Bunsen, capaz de mantener una temperatura adecuada para hervir el agua.
- Sistema de vacío – una bomba de vacío o aspirador de agua, capaz de producir un vacío parcial de 100mm de mercurio (Hg) o una menor presión absoluta.

Nota 4. Un vacío parcial de 100 mm de Hg de presión absoluta es aproximadamente equivalente a una lectura de 660 mm (26 pulg) de Hg en un manómetro de vacío a nivel del mar.

- 4.1.6 Contenedor aislado – Un refrigerador de Styrofoam y su cubierta o un contenedor equivalente que pueda tener entre tres y seis picnómetros además de un vaso picudo, una botella de agua, y un termómetro. Esto es requerido para mantener una temperatura ambiente controlada donde los cambios serán uniformes y graduales.
- 4.1.7 Picnómetro con tubo relleno de orificios de ventilación laterales (opcional) – Un mecanismo que asista en la adición de agua desairada al picnómetro sin disturbar la mezcla de suelo-agua. El mecanismo puede ser fabricado como sigue. Taponar un tubo de plástico de un diámetro de ¼ a ⅜ de pulgada en uno de los extremos y cortar dos pequeños orificios (ranuras) justo sobre el tapón. Los orificios deberían ser perpendiculares al eje del tubo y diametralmente opuestos. Conectar una válvula al otro extremo del tubo y hacer funcionar una línea a la válvula desde un abastecedor de agua desairada.
- 4.1.8 Máquina mezcladora (opcional) – una máquina mezcladora con paletas o alabes fabricados en la base del contenedor de mezcla.
- 4.1.9 Equipamiento misceláneo, tales como una computadora o una calculadora (opcional), platos de especímenes, y guantes de aislamiento.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Termómetro – Un termómetro capaz de medir un rango de temperatura dentro del cual el ensayo está siendo realizado, legible con una aproximación de 0,1°C y una profundidad de inmersión que varíe entre los 25 y 80 mm. Los termómetros de inmersión completa no podrán ser usados. Ya sea un termómetro de mercurio o un termómetro digital con un rango de -1 a 57°C cumplirán los propósitos generales de precisión requeridos.
- 4.2.2 Embudo – Un embudo de superficie lisa no corrosiva con un pico que se extienda pasando la marca de calibración del matraz volumétrico o un tapón de cierre en los matraces taponados. El diámetro del pico del embudo debe ser lo suficientemente grande para que permita el paso de los sólidos de suelo.
- 4.2.3 Tamiz – Nº 4 (4,75m) conforme a los requerimientos de la especificación E 11.

4.3 REACTIVOS

- 4.3.1 Pureza del agua – Agua destilada es usada en este método de ensayo. Esta agua puede ser comprada y está disponible en la mayoría de las tiendas de abarrotes; de aquí en adelante, el agua destilada será referida solo como agua.

5.0 MUESTRA

- 5.1 El espécimen de ensayo puede ser suelo húmedo o secado al horno y podrá ser representativo de los sólidos de suelo que pasen la malla U.S. Estándar Nº 4 en el total de la muestra. La Tabla 1 da guías en cuanto a masas de suelo seco versus tipo de suelo y tamaño de picnómetro.
- 5.2 Dos importantes factores concernientes a la cantidad total de sólidos de suelo que estén siendo ensayados son los siguientes. Primero, la masa de los sólidos de suelo divididos por su peso específico tendrán cuatro dígitos significantes. Segundo, la mezcla de los sólidos de suelo y agua es una pasta aguada no un fluido altamente viscoso (pintura espesa) durante el proceso de desairado.

TABLA 1.
Masa redondeada para el Espécimen de Ensayo

Tipo de suelo	Masa de espécimen seco (g) cuando se usa un Picnómetro de 250 mL	Masa de espécimen seco (g) cuando se usa un Picnómetro de 500 mL
SP, SP-SM	60 ± 10	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Limo o arcilla	35 ± 5	50 ± 10

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACION DEL ENSAYO

- 6.1.1 Determinar la masa del picnómetro limpio y seco con una aproximación de 0,01g (típicamente 5 dígitos significantes). Repita esta determinación cinco veces. Una balanza debería ser usada para todas las mediciones de masa. Determinar y registrar el promedio y la desviación estándar. La desviación estándar podrá ser menor o igual que 0,02g. Si es mayor, probar con mediciones adicionales o usar una balanza más estable o precisa.
- 6.1.2 Llenar el picnómetro con agua desairada por encima o debajo de la marca de calibración dependiendo del tipo de picnómetro y la preferencia del laboratorio para añadir o remover agua.
 - 6.1.2.1 Se recomienda que el agua sea removida para llevar el nivel de agua a la marca de calibración. El método de remoción reduce los cambios de alteración del equilibrio termal por reducción del número de veces que el contenedor aislado es abierto.
 - 6.1.2.2 El agua debe estar desairada para asegurar que no hayan burbujas de aire en el agua. El agua puede ser desairada ya sea mediante ebullición, vacío, combinación de vacío y calentamiento, o un mecanismo de desairado. Esta agua desairada no debería ser usada hasta que se haya equilibrado la temperatura del cuarto. También, esta agua podrá ser añadida al picnómetro siguiendo las guías dadas en 6.2.7.
- 6.1.3 Más de seis picnómetros pueden ser calibrados concurrentemente en cada contenedor aislado. Poner el picnómetro(s) dentro del contenedor aislado y cubierto junto con el termómetro (en un vaso picudo de agua), tapón(es) (si un picnómetro taponado está siendo usado), y agua desairada en una botella junto con ya sea un gotero o una pipeta. Dejar el picnómetro(s) llegar al equilibrio termal (por al menos 3 horas). La temperatura de equilibrio debería estar dentro de 4°C de la temperatura del cuarto y entre 15 y 30°C.
- 6.1.4 Mover el contenedor aislado cerca de la balanza o viceversa. Abrir el contenedor y remover un picnómetro. Solo la corona del picnómetro podrá ser tocada para prevenir el calentamiento por manipuleo cambiando el equilibrio termal. Trabajar ya sea en el contenedor o colocar el picnómetro en un bloque aislado (Styrofoam) mientras se realice los ajustes en el nivel del agua.
 - 6.1.4.1 Si se usa un matraz volumétrico como picnómetro, ajustar el agua a la marca de calibración, con la parte inferior del nivel de los meniscos en la marca. Si el agua tiene que ser añadida usar el agua termalmente equilibrada del contenedor aislado. Si el agua tiene que ser removida, usar un pequeño tubo de succión o una toalla de papel. Revisar y remover cualquier glóbulo de agua en el alma del picnómetro o en el exterior del matraz. Medir y registrar la masa del picnómetro y agua con una aproximación al 0,01g.
 - 6.1.4.2 Si un matraz taponado es usado, colocar el tapón en la botella, entonces remover el exceso de agua usando un gotero. Secar la punta o corona usando una toalla de papel. Estar seguro de que el exterior del matraz está seco por completo. Medir y registrar la masa del picnómetro y el agua con una aproximación al 0,01g.
- 6.1.5 Medir y registrar la temperatura del agua con una aproximación de 0,1°C usando el termómetro que ha estado equilibrado termalmente en el contenedor aislado. Inserte el termómetro a una profundidad de inmersión apropiada (ver 4.1.4). Regresar el picnómetro al contenedor aislado. Repetir las mediciones para todos los picnómetros en el contenedor.
- 6.1.6 Reajustar el nivel de agua en cada picnómetro para preparar la siguiente calibración y dejar que los picnómetros se equilibren termalmente (por al menos 3 horas). Repetir el procedimiento para obtener cinco mediciones independientes en cada picnómetro. Las temperaturas no necesitan ajustarse a ningún rango de temperatura en particular.
- 6.1.7 Usando cada uno de estos cinco puntos de dato, calcular el volumen calibrado de cada picnómetro, V_p , usando la siguiente ecuación:

$$V_p = \frac{(M_{pw,c} - M_p)}{\rho_{w,c}} \quad (1)$$

Donde:

- $M_{pw,c}$ = la masa del picnómetro y agua a la temperatura de calibración, g,
- M_p = la masa promedio del picnómetro a la calibración, g, y
- $\rho_{w,c}$ = la densidad de masa del agua a la temperatura de calibración g/mL, (Tabla 2)

6.1.8 Calcular el promedio y la desviación estándar de los cinco volúmenes determinados. La desviación estándar podrá ser menor o igual a 0,05 mL (redondeado a 2 decimales). Si la desviación estándar es mayor que 0,05 mL, el procedimiento de calibración tiene mucha variabilidad y no guiará a determinaciones de peso específico precisas. Evaluar áreas de posible refinamiento (ajustar el volumen con la marca de calibración, lograr un mejor equilibrio de temperatura, medición de la temperatura, método de desairado o cambiar los matraces taponados) y revisar el procedimiento hasta que la desviación estándar sea menor o igual que 0,05 mL.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

6.2.1 Masa del picnómetro – Usando la misma balanza usada para calibrar el picnómetro, verificar que la masa del picnómetro está entre 0,06 g de la masa promedio calibrada. Si no lo está, re calibrar la masa seca del picnómetro.

6.2.2 Método A – Procedimiento para especímenes húmedos:

6.2.2.1 Determinar el contenido de agua de una porción de muestra de acuerdo con el Método de ensayo D 2216. Usando este contenido de agua, calcular el rango de masas húmedas para el peso específico del espécimen de acuerdo con 5.1. De la muestra, obtener un espécimen dentro de este rango. No muestrear para obtener una masa exacta predeterminada.

6.2.2.2 Disperse el suelo usando un mezclador o mecanismo equivalente para dispersar el suelo. Añadir al suelo alrededor de 100 mL de agua. El volumen mínimo de pasta aguada que puede ser preparado para este equipamiento requerirá típicamente el uso de un picnómetro de 500 mL.

6.2.2.3 Usando el embudo, verter la pasta aguada en el picnómetro. Enjuagar cualquier partícula de suelo remanente en el embudo dentro del picnómetro usando un spray de lavado en una botella a presión.

6.2.2.4 Proceder como se describe en 6.2.4 de este ensayo.

TABLA 2
Densidad del agua y Coeficiente de temperatura (K) para Varias Temperaturas^A

Temperatura (°C)	Densidad (g/mL) ^B	Coefficiente Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/mL) ^B	Coefficiente Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/mL) ^B	Coefficiente Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/mL) ^B	Coefficiente Temperatura (K)
15,0	0,99910	1,00090	16,0	0,99895	1,00074	17,0	0,99878	1,00057	18,0	0,99860	1,00039
15,1	0,99909	1,00088	16,1	0,99893	1,00072	17,1	0,99876	1,00055	18,1	0,99858	1,00037
15,2	0,99907	1,00087	16,2	0,99891	1,00071	17,2	0,99874	1,00054	18,2	0,99856	1,00035
15,3	0,99906	1,00085	16,3	0,99890	1,00069	17,3	0,99872	1,00052	18,3	0,99854	1,00034
15,4	0,99904	1,00084	16,4	0,99888	1,00067	17,4	0,99871	1,00050	18,4	0,99852	1,00032
15,5	0,99902	1,00082	16,5	0,99886	1,00066	17,5	0,99869	1,00048	18,5	0,99850	1,00030
15,6	0,99901	1,00080	16,6	0,99885	1,00064	17,6	0,99867	1,00047	18,6	0,99848	1,00028
15,7	0,99899	1,00079	16,7	0,99883	1,00062	17,7	0,99865	1,00045	18,7	0,99847	1,00026
15,8	0,99898	1,00077	16,8	0,99881	1,00061	17,8	0,99863	1,00043	18,8	0,99845	1,00024
15,9	0,99896	1,00076	16,9	0,99879	1,00059	17,9	0,99862	1,00041	18,9	0,99843	1,00022
19,0	0,99841	1,00020	20,0	0,99821	1,00000	21,0	0,99799	0,99979	22,0	0,99777	0,99957
19,1	0,99839	1,00018	20,1	0,99819	0,99998	21,1	0,99797	0,99977	22,1	0,99775	0,99954
19,2	0,99837	1,00016	20,2	0,99816	0,99996	21,2	0,99795	0,99974	22,2	0,99773	0,99952
19,3	0,99835	1,00014	20,3	0,99814	0,99994	21,3	0,99793	0,99972	22,3	0,99770	0,99950
19,4	0,99833	1,00012	20,4	0,99812	0,99992	21,4	0,99791	0,99970	22,4	0,99768	0,99947
19,5	0,99831	1,00010	20,5	0,99810	0,99990	21,5	0,99789	0,99968	22,5	0,99766	0,99945
19,6	0,99829	1,00008	20,6	0,99808	0,99987	21,6	0,99786	0,99966	22,6	0,99764	0,99943
19,7	0,99827	1,00006	20,7	0,99806	0,99985	21,7	0,99784	0,99963	22,7	0,99761	0,99940
19,8	0,99825	1,00004	20,8	0,99804	0,99983	21,8	0,99782	0,99961	22,8	0,99759	0,99938
19,9	0,99823	1,00002	20,9	0,99802	0,99981	21,9	0,99780	0,99959	22,9	0,99756	0,99936
23,0	0,99754	0,99933	24,0	0,99730	0,99909	25,0	0,99705	0,99884	26,0	0,99679	0,99858
23,1	0,99752	0,99931	24,1	0,99727	0,99907	25,1	0,99702	0,99881	26,1	0,99676	0,99855
23,2	0,99749	0,99929	24,2	0,99725	0,99904	25,2	0,99700	0,99879	26,2	0,99673	0,99852
23,3	0,99747	0,99926	24,3	0,99723	0,99902	25,3	0,99697	0,99876	26,3	0,99671	0,99850
23,4	0,99745	0,99924	24,4	0,99720	0,99899	25,4	0,99694	0,99874	26,4	0,99668	0,99847
23,5	0,99742	0,99921	24,5	0,99717	0,99897	25,5	0,99692	0,99871	26,5	0,99665	0,99844
23,6	0,99740	0,99919	24,6	0,99715	0,99894	25,6	0,99689	0,99868	26,6	0,99663	0,99842
23,7	0,99737	0,99917	24,7	0,99712	0,99892	25,7	0,99687	0,99866	26,7	0,99660	0,99839
23,8	0,99735	0,99914	24,8	0,99710	0,99889	25,8	0,99684	0,99863	26,8	0,99657	0,99836
23,9	0,99732	0,99912	24,9	0,99707	0,99887	25,9	0,99681	0,99860	26,9	0,99654	0,99833
27,0	0,99652	0,99831	28,0	0,99624	0,99803	29,0	0,99595	0,99774	30,0	0,99565	0,99744
27,1	0,99649	0,99828	28,1	0,99621	0,99800	29,1	0,99592	0,99771	30,1	0,99562	0,99741
27,2	0,99646	0,99825	28,2	0,99618	0,99797	29,2	0,99589	0,99768	30,2	0,99559	0,99738
27,3	0,99643	0,99822	28,3	0,99615	0,99794	29,3	0,99586	0,99765	30,3	0,99556	0,99735
27,4	0,99641	0,99820	28,4	0,99612	0,99791	29,4	0,99583	0,99762	30,4	0,99553	0,99732
27,5	0,99638	0,99817	28,5	0,99609	0,99788	29,5	0,99580	0,99759	30,5	0,99550	0,99729
27,6	0,99635	0,99814	28,6	0,99607	0,99785	29,6	0,99577	0,99756	30,6	0,99547	0,99726
27,7	0,99632	0,99811	28,7	0,99604	0,99783	29,7	0,99574	0,99753	30,7	0,99544	0,99723
27,8	0,99629	0,99808	28,8	0,99601	0,99780	29,8	0,99571	0,99750	30,8	0,99541	0,99720
27,9	0,99627	0,99806	28,9	0,99598	0,99777	29,9	0,99568	0,99747	30,9	0,99538	0,99716

6.2.3 Método B – Procedimiento para especímenes secados al horno:

6.2.3.1 Secar el espécimen hasta una masa constante en un horno manteniéndose a $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Desmenuzar algunos terrones de suelo usando un mortero y mano. Si el suelo no se dispersara fácilmente después del secado o ha cambiado su composición, use el Método de Ensayo A.

6.2.3.2 Colocar el embudo en el picnómetro. El pico del embudo debe extenderse pasando la marca de calibración o sello del tapón. Vierta directamente los sólidos de suelo en el embudo. Enjuagar cualquier partícula de suelo remanente en el embudo dentro del picnómetro usando un spray de lavado en una botella a presión.

6.2.4 Preparando la pasta aguada de suelo – Añada agua hasta que el nivel del agua esté entre $\frac{1}{3}$ y $\frac{1}{2}$ de la profundidad del cuerpo principal del picnómetro. Agite el agua hasta que la pasta aguada se forme. Enjuagar cualquier suelo adherido al picnómetro en la pasta.

6.2.4.1 Si la pasta aguada no está formada pero si una pasta viscosa, use un picnómetro teniendo un volumen mayor. Ver 5.1 de este ensayo.

Nota 5. Para algunos suelos conteniendo una fracción significativa de material orgánico, el kerosén es un mejor agente de humedecimiento que el agua y puede ser usado en lugar del agua destilada para los especímenes secados al horno. Si el kerosén es usado, el aire entrampado debería ser solo removido mediante el uso de un aspirador. El kerosén es un líquido inflamable que debería ser usado con extremada precaución.

- 6.2.5 Desairando la pasta aguada de suelo – El aire entrampado en la pasta de aguada de suelo puede ser removido usando ya sea calor (ebullición), vacío o calor y vacío combinados.
- 6.2.5.1 Cuando se usa solo el calor (ebullición), use una duración de lámenos 2 horas después de que la mezcla suelo – agua llegue a hervir completamente. Use solo suficiente calor para lograr que la pasta aguada hierva. Agite la pasta aguada como una necesidad de prevenir que alguna partícula de suelo esté pegada o secada en el vidrio por encima de la superficie de la pasta aguada.
- 6.2.5.2 Si solo el vacío es usado, el picnómetro debe ser continuamente agitado bajo un vacío de al menos 2 horas. Continuamente agitado significa que los sólidos de suelos limo / arcillosos permanecerán en suspensión, y que la pasta aguada esté en constante movimiento. El vacío debe permanecer relativamente constante y ser lo suficiente para causar burbujeo al inicio del proceso de desairado.
- 6.2.5.3 Si la combinación de vacío y calor es usada, los picnómetros pueden ser colocados en un baño de agua templada (no más de 40°C) mientras se aplique el vacío. El nivel de agua en el baño debería estar ligeramente por debajo del nivel de agua en el picnómetro, si el vidrio del picnómetro se calienta, el suelo se pegará y secará típicamente al vidrio. La duración del vacío y el calor deben ser de al menos 1 hora después de iniciada la ebullición. Durante el proceso, la pasta aguada debería ser agitada como una necesidad de mantener la ebullición y prevenir que el suelo se seque en el picnómetro.
- 6.2.6 Llenado del picnómetro con agua – llene el picnómetro con agua desairada (ver 6.1.2.2 de este ensayo) introduciendo el agua a través de una pieza de tubo de diámetro pequeño con su extremo puesto justo debajo de la superficie de la pasta aguada en el picnómetro o usando el tubo de llenado del picnómetro. Si el tubo de llenado del picnómetro es usado, llene el tubo con agua, y cierre la válvula, coloque el tubo tal que los hoyos de drenaje estén justo en la superficie de la pasta aguada. Abrir la válvula ligeramente para permitir que el agua fluya sobre la superficie de la pasta aguada. Al desarrollarse la capa de agua limpia, subir el tubo e incrementar la velocidad de flujo. Si el agua añadida se torna nublosa, no añada agua sobre la marca de calibración o en el área del sello del tapón. Añada el agua remanente el siguiente día.
- 6.2.6.1 Si usa el matraz de yodo taponado, llene el matraz, tal que la base del tapón esté sumergida en agua. Entonces apoye el tapón en ángulo en el cuello acampanado para prevenir aire entrampado debajo del tapón. Si usa un matraz volumétrico o taponado, llene el matraz por encima o por debajo de la marca de calibración dependiendo de la preferencia.
- 6.2.7 Si el calor ha sido usado, deje el espécimen enfriar hasta aproximadamente la temperatura del cuarto.
- 6.2.8 Equilibrio termal – Ponga el picnómetro(s) en el contenedor aislado. El termómetro (en un vaso picudo de agua), y algo de agua desairada en una botella junto con ya sea un gotero o una pipeta que debería también ser colocada en el contenedor aislado. Deje este ítem en el contenedor cerrado toda la noche para lograr el equilibrio termal.
- 6.2.9 Determinación de la masa del picnómetro – Si el contenedor aislado no está posicionado cerca de una balanza, mover el contenedor aislado cerca de la balanza o viceversa. Abra el contenedor y saque el picnómetro. Solo toque la punta o la corona del picnómetro porque el calor de las manos puede cambiar el equilibrio termal. Coloque el picnómetro en un bloque aislado (Styrofoam o un equivalente).
- 6.2.9.1 Si usa un matraz volumétrico, ajuste el agua a la marca de calibración siguiendo el procedimiento en 6.1.4.1 de este ensayo.

- 6.2.9.2 Si el matraz taponado es usado, coloque el tapón en la botella mientras remueve el exceso de agua usando un gotero. Seque la corona usando un papel toalla. Estar seguro de que el exterior del matraz esté seco.
- 6.2.10 Mida y registre la masa del picnómetro, suelo, y agua con una aproximación de 0,01g usando la misma balanza usada para la calibración del picnómetro.
- 6.2.11 Determinación de la temperatura del picnómetro – Mida y registre la temperatura de la mezcla pastosa aguada de suelo agua con una aproximación de 0,1°C usando el termómetro y el método usado durante la calibración en 6.1.5. Esta es la temperatura de ensayo, Tt.
- 6.2.12 Masa del suelo seco – determine la masa de una tara o paltillo con una aproximación de 0,01g. Transfiera el suelo pastoso aguado a la tara o paltillo. Es imperativo que todo el suelo sea transferido. El agua puede ser añadida. Secar el espécimen hasta una masa constante en un horno manteniéndolo a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ y enfriarlo en un secador. Si la tara puede ser sellada de manera que el suelo no pueda absorber humedad durante el enfriamiento, un secador no será necesario. Mida la masa seca de los sólidos de suelo con la tara con una aproximación de 0,01 g usando la balanza designada, calcule y registre la masa de los sólidos de suelo secos con una aproximación de 0,01 g.

Nota 6. Este método ha sido probado para proveer más consistencia, repitiendo resultados que determinen la masa seca previa al ensayo. Esto es lo más probable debido a la pérdida de sólidos de suelo durante la fase de de-airado del ensayo.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcule la masa del picnómetro y agua a la temperatura de ensayo como sigue:

$$M_{pw,t} = M_p + (V_p \times \rho_{w,t}) \quad (2)$$

Donde:

- $M_{pw,t}$ = masa del picnómetro y agua a la temperatura de ensayo (Tt), g,
 M_p = masa promedio calibrada del picnómetro seco, g,
 V_p = el volumen promedio calibrado del picnómetro, mL, y
 $\rho_{w,t}$ = la densidad del agua a la temperatura de ensayo (Tt), g/mL de la Tabla 2.

- 7.1.2 Calcule el peso específico de los sólidos de suelo a la temperatura de ensayo, G_t como sigue:

$$G_t = \frac{\rho_s}{\rho_{w,t}} = \frac{M_s}{(M_{pw,t} - M_s)} \quad (3)$$

Donde:

- ρ_s = La densidad del sólidos de suelo Mg/m^3 o g/cm^3 ,
 $\rho_{w,t}$ = la densidad del agua a la temperatura de ensayo (Tt), de la Tabla 2, g/mL o g/cm^3 .
 M_s = la masa de los sólidos de suelo secadas al horno (g), y
 $M_{pws,t}$ = la masa del picnómetro, agua, y sólidos de suelo a la temperatura de ensayo, (Tt), g.

- 7.1.3 Calcule la gravedad específica de los sólidos de suelo a la a 20°C como sigue:

$$G_{20^\circ\text{C}} = K \times G_t \quad (4)$$

Donde:

- K = el coeficiente de temperatura dado en la Tabla 2.

- 7.1.4 Para sólidos de suelo conteniendo partículas más grandes que el tamiz de 4,75mm (Nº4) para el cual el Método de Ensayo ASTM C 127 fue usado para determinar el peso específico de estas

partículas, calcule un peso específico promedio. El método de ensayo ASTM C 127 requiere que el ensayo sea realizado a $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ y no requiere que el dato de peso específico sea corregido a 20°C . Use 7.1.3 para corregir esta medición a 20°C . Use la siguiente ecuación para calcular el peso específico promedio:

$$G_{avg@20^{\circ}\text{C}} = \frac{1}{\frac{R}{100 \cdot G_{1@20^{\circ}\text{C}}} + \frac{P}{100 \cdot G_{2@20^{\circ}\text{C}}}} \quad (5)$$

Donde:

- R = Porcentaje de suelo retenido en la malla 4,75mm
- P = Porcentaje de suelo que pasa la malla 4,75mm
- G_{1@20°C} = Peso específico de suelos retenido en el tamiz 4,75mm como fue determinado por el método de ensayo ASTM C 127, corregido a 20°C.
- G_{2@20°C} = Peso específico de suelos que pasan el tamiz 4,75mm como fue determinado por estos métodos de ensayo (ecuación 4).

7.2 INFORME

7.2.1 El método usado para especificar como los datos son registrados en las hojas de datos de ensayo o formularios, como los dados debajo, es la forma industrial estándar, y son representativos de los dígitos significantes que deberían estar contenidos. Estos requerimientos no consideran variación de material in situ, uso de los datos, estudios de especial propósito, o algunas consideraciones para los objetivos del usuario. Es práctica común incrementar o reducir dígitos significantes de los datos reportados conmensurados con estas consideraciones. Esta más allá de los alcances de esta norma considerar dígitos significantes usados en los métodos de análisis para diseño de ingeniería.

7.2.2 Reportar como mínimo la siguiente información (data):

- 7.2.2.1 Identificación del suelo que está siendo ensayado, tal como número de perforación o sondeo, número de muestra, profundidad, y número de ensayo.
- 7.2.2.2 Clasificación visual del suelo que está siendo ensayado (grupo, nombre y símbolo en acuerdo con la práctica ASTM D 2487).
- 7.2.2.3 Porcentaje de partículas de suelo pasando la malla 4,75mm (Nº4).
- 7.2.2.4 Si algún suelo o material fue excluido del espécimen de ensayo, describir el material excluido.
- 7.2.2.5 Método usado (Método A o B).
- 7.2.2.6 Todas las medidas de masa (con aproximación al 0,01g).
- 7.2.2.7 Temperatura de ensayo (con aproximación al 0,1°C).
- 7.2.2.8 Peso específico a 20°C (G, G_s, G_{20°C}) con una aproximación de 0,01. Si se desea, valores próximos a 0,001 pueden ser registrados.
- 7.2.2.9 Peso específico promedio a 20°C (G_{ave} o G_{avg@20°C}) con aproximación a 0,01, si es aplicable.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados obtenidos por estos métodos de ensayo en un rango de tipos de suelo usando el Método A (excepto el suelo que fue secado al aire) es dado en las Tablas 3 y 4. Estas estimaciones de precisión están basadas en los resultados del programa interlaboratorios dirigido por los Suelos de referencia y Programa de Ensayos de la ASTM. En este programa, algunos laboratorios realizaron tres ensayos replicados para cada tipo de suelo (ensayo de laboratorio triplicado), mientras otros laboratorios realizaron un solo ensayo por tipo de suelo (ensayo de laboratorio individual). Una descripción de los suelos ensayados es dada en 8.1.4 de este ensayo. La precisión estima que puede variar con el tipo de suelo y método usado (Método A

o B). El criterio y juicio es requerido cuando se apliquen estas estimaciones para otro suelo o método.

8.1.1 La data en la Tabla 3 está basada en tres ensayos replicados realizados para cada ensayo de laboratorio triplicado encada tipo de suelo. La desviación del operador individual y multilaboratorio muestra en la Tabla 3, Columna 4 que fueron obtenidos en acuerdo con la Práctica ASTM E 691, la cual recomienda para cada ensayo de laboratorio la realización de un mínimo de tres ensayos replicados. Los resultados de dos ensayos propiamente dirigidos y realizados por el mismo operador en el mismo material, usando el mismo equipamiento, y en el mismo periodo de tiempo más corto práctico no debería diferir en más de los límites d2s de un operador individual que se muestran en la Tabla 3, Columna 5. Para la definición de d2s ver pie de nota C en la Tabla 3. Los resultados de dos ensayos propiamente dirigidos realizados por diferentes operadores y en diferentes días no deberían diferir en más de los límites d2s multilaboratorios mostrados en la Tabla 3, Columna 5.

TABLA 3
Sumario de los resultados de ensayo para ensayos de laboratorio triplicados
(Peso específico)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Tipo de suelo	Número de Ensayos de lab. triplicados	Valor promedio ^A	Desviación estándar ^B	Rango de dos resultados Aceptable ^C
Resultados multilaboratorio (dentro de repetición de laboratorio)				
CH	14	2,717	0,009	0,03
CL	13	2,670	0,006	0,02
ML	14	2,725	0,006	0,02
SP	14	2,658	0,006	0,02
Resultados multilaboratorio (entre reproducibilidad de laboratorio)				
CH	14	2,717	0,028	0,08
CL	13	2,670	0,022	0,06
ML	14	2,725	0,022	0,06
SP	14	2,658	0,008	0,02

^A El número de dígitos significantes y lugares decimales presentados son representativos del ingreso de datos. En concordancia con la Práctica ASTM D 6026, la desviación estándar y rango aceptable de resultados no pueden tener más lugares decimales que los datos de ingreso.

^B La desviación estándar es calculada en concordancia a la Práctica ASTM E 691 y está referida como el límite 1s.

^C El rango aceptable de dos resultados está referido como el límite d2s. Es calculado como $1.960\sqrt{2} - 1s$, como es definido por la Práctica ASTM E 177. La diferencia entre dos ensayos propiamente dirigidos no debería exceder este límite. El número de datos significantes / lugares decimales presentados es igual a los prescritos por estos métodos de ensayo o Práctica ASTM D 6026 en adición, el valor presentado puede tener el mismo número de lugares decimales que la desviación estándar, aun cuando ese resultado tenga más dígitos significantes que la desviación estándar.

TABLA 4
Sumario de los resultados de ensayos individuales de cada laboratorio
(Peso específico)^A

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Tipo de suelo	Número de ensayos de laboratorio.	Valor promedio	Desviación estándar	Rango de dos resultados aceptable
Resultados multilaboratorio (ensayos individuales realizados por cada laboratorio)				
CH	18	2,715	0,027	0,08
CL	18	2,673	0,018	0,05
ML	18	2,726	0,022	0,06
SP	18	2,66	0,007	0,02

^A Ver notas de pie en la Tabla 3.

- 8.1.2 En los Suelos de Referencia y Programa de Ensayos ASTM, varios de los laboratorios realizados solo son de un ensayo individual. Esta práctica es común en el diseño y construcción industrial. Los datos en la Tabla 4 están basados en el primer resultado de ensayo de los ensayos de laboratorio triplicados y los resultados de un ensayo de otros laboratorios. Los resultados de dos ensayos propiamente dirigidos realizados en dos laboratorios y por diferentes operadores usando diferentes equipamientos y en diferentes días no deberían variar en más de los límites d_{2s} mostrados en la Tabla 4, Columna 5. Los resultados en las Tablas 3 y 4 no son similares porque la obtención de datos son diferentes.
- 8.1.3 La Tabla 3 presenta una interpretación rigurosa de los datos de ensayo triplicados en acuerdo con la Práctica ASTM E 691 de laboratorios precalificados. La Tabla 4 es derivada de los datos de ensayo que representan práctica común.
- 8.1.4 Tipo de suelo – Basados en los resultados de ensayo multilaboratorio, el suelo usado en el programa es descrito debajo en acuerdo con la Práctica ASTM D 2487. En adición, el nombre local del suelo es dado también.
- CH – Arcilla grasa, CH, 99% de finos, LL = 60, IP = 39, marrón grisáceo, suelo que ha sido secado al aire y pulverizado. Nombre local – Vicksburg Buckshot Clay
- CL – Arcilla pobre, CL, 89% de finos, LL = 33, IP = 13, gris, suelo que ha sido secado al aire y pulverizado. Nombre local – Annapolis Clay
- ML – Limo, ML, 99% de finos, LL = 27, IP = 4, marrón claro, suelo que ha sido secado al aire y pulverizado. Nombre local – Vicksburg Silt
- SP – Arena pobremente graduada, SP, 20% de arena gruesa, 48% de arena media, 30% de arena fina, 2% de finos, marrón amarillento, suelo que ha sido secado al aire y pulverizado. Nombre local – Frederick sand
- 8.1.5 Tendencias – No hay valores referentes aceptables para este método de ensayo, por lo tanto, las tendencias no pueden ser determinadas.

MTC E 114

METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO

1.0 OBJETO

- 1.1 Este método de ensayo se propone servir como una prueba de correlación rápida de campo. El propósito de este método es indicar, bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de suelos arcillosos o finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz N°4 (4,75mm). El término "equivalente de arena", expresa el concepto de que la mayor parte de los suelos granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, arena y generalmente arcillas o finos plásticos y polvo, indeseables.

Nota 1. Algunos realizan la prueba sobre material con un tamaño máximo más pequeño que el tamiz N°4 (4,75mm). Esto se hace para evitar que se atrapen los finos arcillosos o plásticos y el polvo en las partículas comprendidas entre los tamices N°4 a 8 (4,75mm a 2,36 mm). El ensayo de materiales con tamaño máximo más pequeño, puede disminuir los resultados numéricos de la prueba.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método de ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, fineza, y carácter del material arcilloso presente en el espécimen de ensayo.
- 2.2 Se puede especificar un valor mínimo del equivalente de arena para limitar la cantidad permisible de finos arcillosos en los agregados.
- 2.3 Este método de ensayo provee un método rápido de campo para determinar cambios en la calidad de los agregados durante la producción o colocación.

INTERFERENCIAS

- 2.4 Mantener la temperatura de la solución trabajada a $22 \pm 3^\circ\text{C}$ durante la ejecución de esta prueba.

Nota 2. Si las condiciones de campo impiden el mantenimiento del rango de temperatura, se deben remitir muestras de referencia frecuentes a un laboratorio donde sea posible el control apropiado de la temperatura. Esto también es posible para establecer correcciones de la temperatura para cada material que está siendo ensayado donde no es posible control apropiado de la temperatura. Sin embargo, no se utilizara una corrección general para diferentes materiales, incluso dentro de un rango estrecho de valores de sus equivalentes arena. Las muestras que cumplen los requerimientos mínimos del equivalente de arena trabajando a una temperatura de solución por debajo del rango, no necesitan a la prueba referida.

- 2.5 Realizar la prueba en un lugar libre de vibraciones. La vibración excesiva puede causar que el material suspendido se asiente a una tasa mayor de lo normal.
- 2.6 No exponer los cilindros plásticos a la luz del sol directamente más de lo necesario.
- 2.7 Ocasionalmente puede ser necesario remover los hongos de la solución de cloruro de calcio en el contenedor y del interior del tubo flexible y tubo irrigador. Estos hongos pueden verse fácilmente como una sustancia delgada en la solución, o como un molde creciente en el interior del contenedor.
- 2.7.1 Para remover este crecimiento, se prepara una solución diluyente de hipoclorito de sodio con una cantidad igual.
- 2.7.2 Después de descartar la solución contaminada, llenar el contenedor de la solución con el solvente limpiador preparado; permitir que alrededor de 1 L del solvente limpiador, fluya a través del dispositivo del sifón y del tubo irrigador al extremo final del tubo, para cortar el flujo del solvente, manteniéndolo dentro del tubo. Rellene el contenedor y permita que permanezca durante toda la noche.

- 2.7.3 Después de remojar, permita que el solvente limpiador fluya a través del ensamblaje del sifón y tubo irrigador
- 2.7.4 Remover el ensamblaje del sifón del contenedor de la solución y enjuagar ambos con agua clara. El tubo irrigador y el ensamblaje del sifón pueden enjuagarse fácilmente conectando una manguera entre el extremo del tubo irrigador y el grifo de agua y circulando agua fresca a través del tubo.
- 2.8 Ocasionalmente los agujeros en el extremo del tubo irrigador pueden obstruirse por una partícula de arena. Si la obstrucción no puede ser liberada por cualquier otro método, use un alfiler u otro objeto punzante para forzarlo hacia fuera, teniendo mucho cuidado de no agrandar el tamaño de la abertura.
- 2.9 La solución de trabajo que tiene más de dos semanas de antigüedad deberá ser eliminada.
- 2.10 La mezcla y el almacenamiento del contenedor(es) para las soluciones, deberán ser totalmente enjuagadas antes de mezclar una tanda fresca de solución.
- 2.11 No se deberá añadir una solución fresca a una vieja, independientemente de su edad.
- 2.12 Unidades de Medición:
- 2.12.1 Con respecto a los tamaños de los tamices y al tamaño de los agregados como ha sido determinado por el uso de los tamices de ensayo, se muestran los valores en unidades centímetros-gramo; sin embargo, la designación estándar del tamiz mostrada entre paréntesis es el valor estándar como ha sido establecido en la especificación ASTM E 11.
- 2.12.2 Con respecto a la masa, los valores mostrados en unidades SI son considerados como estándar.
- 2.12.3 Con respecto a otras unidades de medida, los valores establecidos en unidades centímetro-gramo son considerados como estándar.
- 2.13 Esta norma no pretende resolver todos los problemas de seguridad, si hubiera alguno, asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer practicas apropiadas de seguridad y de salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias, previo a su empleo

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1. NTP 339.146:2000: Suelos. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Un cilindro graduado, transparente de plástico acrílico, tapón de jebe, tubo irrigador, dispositivo de pesado de pie y ensamblaje del sifón, confortantes de las especificaciones respectivas y las dimensiones mostradas en la Fig. 1. Véase Anexo A.1 para aparatos alternativos.
- 4.1.2 Horno, de suficiente tamaño, y capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- 4.1.3 Agitador mecánico para equivalente de arena, diseñado para sostener el cilindro plástico graduado requerido, en una posición horizontal mientras está siendo sujeto a un movimiento recíprocante paralelo a su longitud y teniendo una trayectoria de $203,2 \pm 1,0$ mm ($8 \pm 0,04$ pulg) y operando a 175 ± 2 rpm. En la Fig. 2 se muestra un aparato típico El agitador deberá ser asegurado a una montura firme y nivelada.

Nota 3. El movimiento de las partes del agitador mecánico deberá estar provisto con una reja de seguridad para la protección del operador.

- 4.1.4 Agitador de operación manual para equivalente de arena, (Opcional), como se muestra en la Fig. 3, capaz de producir un movimiento oscilante, a una tasa de 100 ciclos completos en 45 ± 5 s, con una longitud de trayectoria asistida manualmente, de 127 ± 5 mm ($5 \pm 0,2$ pulg). El dispositivo deberá estar diseñado para sostener el cilindro gradado requerido en una posición horizontal mientras está siendo sujeta a un movimiento recíprocante paralelo a su longitud. El agitador deberá

ser asegurado a una montura nivelada y firme. Si sólo se van a correr unos pocos ensayos, el agitador puede ser sostenido a mano o sobre una montura firme a nivel.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Lata de medición: Una lata cilíndrica de aproximadamente 57mm (2¼ pulg) de diámetro, con una capacidad de 85 ± 5 mL.
- 4.2.2 Tamiz N°4 (4,75mm) conforme con los requerimientos de la Especificación ASTM E 11.
- 4.2.3 Embudo, de boca ancha, para transferir los especímenes de ensayo dentro del cilindro graduado.
- 4.2.4 Botellas, dos de 3,8 L (1,0 gal) para almacenar el stock de la solución y la solución de trabajo.
- 4.2.5 Platillo plano, para mezclar.
- 4.2.6 Reloj, con lecturas en minutos y segundos
- 4.2.7 Papel filtro, Watman N°2V o equivalente

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Stock de Solución: Se van a requerir los siguientes materiales:
 - a. Cloruro cálcico Anhidro, 454g (1,00 lb) de grado técnico
 - b. Glicerina USP, 2050g (1 640 mL).
 - c. Formaldehído, (40 volumen % solución) 47g (45 mL).
 - d. Disolver los 454 g (1,00 lb) de cloruro en 1,9 L (0,5 gal) de agua destilada. Enfriar a la temperatura ambiente y filtra a través de un papel filtro. Añadir 2050 g de glicerina y 47 g de formaldehído a la solución filtrada, mezclar bien, y diluir a 3,8 L (1,0 gal).
- 4.3.2 Solución de trabajo de cloruro cálcico: Preparar la solución de trabajo de cloruro cálcico diluyendo en agua una medida (85 ± 5 mL) total del stock de la solución de cloruro cálcico para 3,8 L (1,0 gal). Usar agua destilada o desmineralizada para la preparación normal de la solución de trabajo. Sin embargo, si se determina que el agua local es de tal pureza que no afecta a los resultados de los ensayos, es permitido usarla en lugar del agua destilada o desmineralizada, excepto caso de disputa.

Nota 4. El efecto del agua local en los resultados de la prueba de equivalente de arena se puede determinar comparando los resultados de tres pruebas de equivalente de arena, usando agua destilada, con los resultados de tres pruebas de equivalente de arena usando agua local. Los seis especímenes de ensayo requeridos para esta comparación serán preparados a partir de la muestra de material y secados al horno como se prescribe en este método de ensayo.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Muestrear el material a ser ensayado en concordancia con ASTM D 75.
- 5.2. Mezclar completamente la muestra y reducirla si es necesario, usando los procedimientos aplicable en NTP 339.089.
- 5.3 Obtener como mínimo 1500 g de material pasante el tamiz N°4 (4,75mm) de la siguiente manera:
 - a. Separar la muestra en el tamiz N°4(4,75mm) por medio de un movimiento lateral y vertical del tamiz, acompañado por una acción chocante, de tal manera que se mantenga a la muestra moviéndose continuamente sobre la superficie del tamiz. Continuar el tamizado hasta que no más del 1% en peso del residuo pase el tamiz durante 1 min. La operación de tamizado puede ser realizada a mano o mediante un aparato mecánico. Cuando se está determinado, todo el tamizado mecánico, usar el método manual descrito mas arriba, usando una capa simple de material sobre el tamiz.

- b. Desmenuzar cualquier grumo de material en la fracción gruesa que pase el tamiz N°4 (4,75mm). Se puede usar un mortero y un pisón cubierto de jebe o cualquier otro medio que no cause apreciable degradación del agregado.
 - c. Remover cualquier capa de finos adheridos a los agregados gruesos. Esos finos se pueden remover secando superficialmente el agregado grueso y refregando luego con las manos sobre un recipiente plano.
 - d. Añadir el material pasante del tamiz obtenido en 5.3.b y 5.3.c de este ensayo para separar la porción fina de la muestra.
- 5.4 Preparar especímenes de ensayo del material pasante la porción del tamiz N°4 (4,75mm) de la muestra por cualquiera de los procedimientos descritos en 6.1.1 o 6.1.2 de este ensayo.

Nota 5. Los experimentos muestran que cuando la cantidad de material que siendo reducido por cuarteo decrece, también decrece la seguridad de obtener muestras representativas. Por esta razón, es imperativo que se ejerza extremo cuidado cuando se preparan los especímenes de ensayo.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACION DEL ENSAYO

6.1.1 Preparación de la muestra de ensayo, Procedimiento A:

- 6.1.1.1 Si fuera necesario, verter el material para evitar la segregación o pérdida de finos durante las operaciones de cuarteo. Tener cuidado al añadir humedad a la muestra para mantener un condición libre de flujo de material.
- 6.1.1.2 Usando el recipiente de medida, tomar cuatro de estas medidas de la muestra. Cada vez que una medida llena del material es recogida de la muestra, golpee el extremo inferior de la medida sobre una mesa de madera u otra superficie dura por lo menos cuatro veces y sacúdala ligeramente para producir una medida de material consolidado a nivel o ligeramente redondeado sobre el extremo.
- 6.1.1.3 Determinar y registrar la cantidad de material contenido en esas cuatro medidas por peso o por volumen en un cilindro plástico seco.
- 6.1.1.4 Retornar el material a la muestra y proceder a cuartear la muestra usando el procedimiento aplicable en NTP 339.089 y haciendo los ajustes necesarios para obtener el peso o volumen predeterminado. Cuando este peso o volumen son obtenidos, dos operaciones adicionales sucesivas de cuarteo sin ajuste, deberán proporcionar la cantidad apropiada de material para rellenar la medida, y proporcionar por lo tanto un espécimen de ensayo.
- 6.1.1.5 Secar el espécimen de ensayo a peso constante a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ y enfriar a la temperatura del cuarto antes de ensayar.

Nota 6. Los resultados del equivalente de arena sobre especímenes de ensayo que no han sido secados generalmente serán más bajos que los resultados obtenidos sobre especímenes de ensayo idénticos que si han sido secados. Como una forma de ahorrar tiempo, es permisible ensayar más materiales sin secarlos, cuando el valor del equivalente de arena es usado para determinar el cumplimiento de una especificación con un mínimo valor de ensayo aceptable. Si el resultado del valor de ensayo es más bajo que lo especificado, sin embargo, será necesario repetir la prueba sobre un espécimen de ensayo secado. Si el equivalente de arena determinado en una prueba sobre un espécimen de ensayo secado, es más bajo que el límite inferior de la especificación, será necesario realizar dos pruebas adicionales sobre especímenes de ensayo secado, tomados de la misma muestra. El equivalente de arena para una muestra deberá ser determinado de acuerdo con la sección de cálculos.

6.1.2 Preparación del espécimen de ensayo, Procedimiento B:

- 6.1.2.1 Manteniendo una condición de flujo libre, vaciar la cantidad suficiente de material para prevenir la segregación o pérdida de finos.

- 6.1.2.2 Cuartear de 1 000 a 5 000 g del material. Mezclar completamente con un cucharón de mano en un recipiente circular hacia el medio del recipiente, rotando a este horizontalmente. El mezclado deberá ser continuado por lo menos 1min para alcanzar uniformidad. Verificar que el material tenga la condición de humedad necesaria, apretando una pequeña porción de la muestra completamente mezclada en la palma de la mano. Si se forma un molde que permite su manipuleo cuidadoso sin romperse, entonces se ha obtenido el correcto rango de humedad. Si el material está muy seco, el molde se desmenuzara y será necesario añadirle agua, remover y reensayar hasta que el material forme un molde. Si el material muestra agua libre, está muy húmedo para ensayar y debe ser drenado y secado al aire, mezclándolo frecuentemente para asegurar uniformidad. Este material húmedo en demasía, formara un buen molde cuando se chequea inicialmente, de tal manera que el proceso de secado debería continuar hasta un chequeo por apretamiento del material de un molde que es mas frágil y delicado al manipuleo que el original. Si el contenido de humedad "como es recibido" está dentro de los límites descritos arriba, la muestra puede ensayarse inmediatamente. Si el contenido de húmeda es alterado para cumplir esos límites, la muestra puede ser puesta en un recipiente, cubierta con una tapa o con una toalla húmeda que no toque el material, por un minuto de 15 min.
- 6.1.2.3 Después del tiempo mínimo de curado, remezclar por 1 min sin agua. Cuando esté enteramente mezclado, formar el material en un cono con una trulla.
- 6.1.2.4 Tomar la lata de medida en una mano y presionarla directamente en la base de la pila mientras mantiene la mano libre firmemente contra el lado opuesto de la pila.
- 6.1.2.5 Cuando la lata atraviesa la pila y emerge, hacer suficiente presión con la mano para que el material llene la lata. Presione firmemente con la palma de la mano compactando el material hasta que consolide en la lata. El material en exceso deberá ser nivelado en la parte superior de la mano, moviendo el filo de la llana en un movimiento de aserrado a lo largo del borde.
- 6.1.2.6 Para obtener especímenes de ensayo adicionales, repetir los procedimientos desde 6.1.2.3 hasta 6.1.2.5 de este ensayo.
- 6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO
- 6.2.1 Ajustar el dispositivo del sifón a una botella de 1,0 gal (3,8 L) de la solución de trabajo de cloruro de calcio. Coloque la botella a $91 \pm 3\text{cm}$ (36 ± 1 pulg) sobre la superficie de trabajo (véase Fig. 4).
- Nota 7.** En lugar de la botella de 3,8 L (1,0 gal), se puede usar un recipiente de vidrio o plástico con una mayor capacidad, con tal que el nivel de líquido de solución de trabajo sea mantenido entre 91cm y 114cm (36pulg y 45pulg) sobre la superficie de trabajo.
- 6.2.2 Empezar el sifón conectándolo a la parte superior de la botella con la solución mediante un pedazo corto de tubo, mientras se abre el sujetador.
- 6.2.3 Sifonear $102 \pm 3\text{mm}$ ($4 \pm 0,1\text{pulg}$) (indicado en el cilindro graduado) de la solución de trabajo de cloruro cálcico en el cilindro de plástico.
- 6.2.4 Verter uno de los especímenes de ensayo en el cilindro de plástico usando el embudo para evitar derramarlo (véase Fig. 5).
- 6.2.5 Golpear ligeramente el fondo del cilindro sobre la palma de la mano varias veces para liberar las burbujas de aire y para conseguir el humedecimiento total del espécimen.
- 6.2.6 Mantener al espécimen humedecido y al cilindro in disturbado por 10 ± 1 min.
- 6.2.7 Al final de los 10 min del periodo de humedecimiento, parar el cilindro, y aflojar luego al material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo simultáneamente.
- 6.2.8 Después de aflojar el material del fondo del cilindro, agitar el cilindro y su contenido por uno de los siguientes tres métodos:
- 6.2.8.1 Método del agitador Mecánico: Colocar el cilindro en el agitador mecánico del equivalente de arena, registrar el tiempo, y permitir que la maquina agite el cilindro y su contenido por 45 ± 1 s.

6.2.8.2 Método del agitador manual:

- a. Asegure el cilindro en los tres aseguradores de resorte del carruaje del agitador del equivalente de arena operado a mano y colocar el contómetro de golpes en cero.

Nota 8. Para prevenir el derramado, asegúrese que el tapón de jebe esté firmemente asentado en el cilindro antes de colocarlo en el agitador manual.

- b. Permanezca directamente en frente del agitador y fuerce el apuntador a la marca límite del golpe pintada en la pizarra, aplicando un empuje horizontal abrupto a la porción superior de la correa del resorte de acero de la mano derecha. Remover luego la mano de la correa y permitir que la acción de resorte de las correas, muevan el carruaje y el cilindro en dirección opuesta, sin asistencia o impedimento.
- c. Aplicar fuerza suficiente a la correa del resorte de acero de la mano derecha, durante la porción de empuje de cada correa para mover el apuntador al límite de la marca del golpe presionando contra la correa con los extremos de los dedos para mantener un movimiento oscilante suave (véase Fig. 6). El centro de la marca límite del golpe, está posicionado para proveer la longitud de golpe apropiada y el ancho que da el límite de variación máximo permisible. La acción de agitación apropiada puede ser mantenida usando solamente el antebrazo y la acción de la muñeca para propulsar la agitación.
- d. Continuar la acción de agitación por 100 golpes.

6.2.8.3 Método Manual:

- a. Sostenga el cilindro en una posición horizontal como se ilustra en la Fig. 7 y agítelo vigorosamente en un movimiento horizontal de extremo a extremo.
- b. Agite el cilindro 90 ciclos en aproximadamente 30s usando un recorrido de $23 \pm 3\text{cm}$ ($9 \pm 1\text{pulg}$). Un ciclo se define como un movimiento completo de ida y vuelta. Para agitar apropiadamente el cilindro a esta velocidad, será necesario que el operador agite con el antebrazo solamente, relajando el cuerpo y hombros.

6.2.9 Siguiendo con la operación de agitación, colocar el cilindro sobre la parte superior de la mesa de trabajo y remover el tapón de jebe.

6.2.10 Procedimiento de irrigación:

6.2.10.1 Durante el procedimiento de irrigación, mantenga el cilindro vertical y la base en contacto con la superficie de trabajo. Insertar el tubo irrigador en la parte superior del cilindro, remover los sujetadores de la manguera, y enjuague el material de las paredes del cilindro cuando el irrigador está siendo bajado. Forzar el irrigador a través del material en el fondo del cilindro, aplicando una acción de punzonamiento y giro mientras la solución de trabajo fluye del irrigador. Esto hace que el material fino entre en suspensión sobre las partículas de arena más gruesa (véase Fig. 8).

6.2.10.2 Continué aplicando la acción de punzonamiento y giro mientras los fino continúan fluyendo hacia arriba hasta que el cilindro es relleno en la gradación de 38,0 cm (15 pulg). Luego enjuague lentamente el tubo irrigador, sin derramar el líquido, de tal manera que el nivel de líquido sea mantenido a alrededor de la gradación de 38,0 cm (15 pulg) mientras el tubo irrigador está siendo retirado. Regular el flujo justo antes de que el tubo irrigador sea completamente retirado y ajuste el nivel final a la gradación de 38,0cm (15pulg).

6.2.11 Mantenga el cilindro y su contenido in disturbado por 20 min \pm 15s. Comience a tomar el tiempo inmediatamente después de retirar el tubo irrigador.

6.2.12 Al final de los 20 min del periodo de sedimentación, leer y registrar el nivel de la parte superior de la suspensión de arcilla, como está prescrito en 6.2.14. Esto se refiere a la "lectura de arcilla". Si no se ha formado una línea de demarcación clara al final del periodo de sedimentación de 20 min, deje que la muestra permanezca indisturbada hasta que se pueda obtener una lectura de arcilla; luego lea inmediatamente y registre el nivel de la parte superior de la suspensión de arcilla el tiempo total de sedimentación. Si el tiempo total de sedimentación excede de 30 min,

vuelva a correr el ensayo usando tres especímenes individuales del mismo material. Registre la altura de la columna de arcilla para la muestra que requiera el más corto periodo de sedimentación como la lectura de arcilla.

6.2.13 Determinación de la lectura de arcilla.

6.2.13.1 Después que se ha tomado la lectura de arcilla, coloque el dispositivo de pesado de pie sobre el cilindro y baje lentamente el dispositivo, hasta que descansa sobre la arena. No permita que el indicador toque el interior del cilindro. Reste 25,4 cm (10 pulg) del nivel indicado por el borde superior extremo del indicador y registre este valor como la "lectura de arena" (Véase Fig. 9).

Nota 9. Véase anexo A.1 para el uso del aparato alternativo de pie y del procedimiento de medida.

6.2.13.2 Cuando esté tornando la lectura de arena, tenga cuidado de no presionar hacia abajo sobre el dispositivo de pesaje de pie, ya que podría tener un error de lectura.

6.2.14 Si las lecturas de arcilla o arena caen entre gradaciones de 2,5 mm (0,1 pulg), registrar el nivel de la gradación más alta.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Calcular el equivalente de arena al más cercano 0,1 % como sigue:

$$SE = (\text{Lectura de arena/lectura de arcilla}) \times 100$$

Donde:

$$SE = \text{Arena equivalente}$$

7.1.2 Si el equivalente de arena calculado no es un número entero, reportarlo como el siguiente número entero más alto. Por ejemplo, si el nivel de arcilla fue 8,0 y el nivel de arena fue 3,3; el equivalente de arena calculado será:

$$(3,3/8,0) \times 100 = 41,2$$

Como este equivalente de arena calculado no es un número entero, deberá reportarse como el siguiente entero que es 42.

7.1.3 Si se desea promediar una serie de valores de equivalente de arena, promediar los valores de números enteros, determinados como ha sido descrito en 7.1.2 de este ensayo. Si el promedio de esos valores no es un número entero, elevarlo al siguiente número entero mas alto como se muestra en el siguiente ejemplo:

7.1.3.1 Calcular los valores SE: 41,2; 43,8; 40,9.

7.1.3.2 Después de redondearlos al siguiente número entero superior, se convierten en 42; 44; 41.

7.1.3.3 Determinar el promedio de esos valores como sigue:

$$\frac{42 + 44 + 41}{3} = 42,3$$

7.1.3.4 Desde que el valor promedio no es un número entero, deberá ser redondeado al siguiente número entero mayor, y el valor del equivalente de arena se reporta como 43.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 Los siguientes estimados de precisión para este método de ensayo se basan en los resultados del AASHTO Materials Reference Laboratory (AMRL) programa de Muestra de Referencia, con ensayos llevados a cabo usando el método de ensayo ASTM D 2419 Y el método AASHTO T 176. No hay diferencias significativas entre los dos métodos. Los datos se basan en los análisis de

ocho resultados de pruebas pareadas de 50 a 80 laboratorios, con un rango de valores promedio del equivalente de arena para las muestras, variando de aproximadamente 60 a 90.

- 8.1.1.1 Precisión de un único operador: La desviación estándar de un solo operador que se ha hallado es de 1,5 para valores de equivalente de arena mayores de 80 y de 2,9 para valores menores de 80 (1s)*. Por eso, los resultados de dos ensayos apropiadamente conducidos por el mismo operador sobre materiales similares, no deberá diferir en más de 4,2 y 8,2*, respectivamente (d2s).
- 8.1.1.2 Precisión de laboratorios múltiples: La desviación estándar de laboratorios múltiples se ha encontrado que es de 4,4 para valores de equivalente de arena mayores de 80 y de 8,0 para valores menores de 80 (1s)*. Por eso, los resultados de dos ensayos apropiadamente conducidos de diferentes laboratorios sobre materiales similares no deberían diferir en más de 12,5 y 22,6, respectivamente (d2s).
- 8.1.2 Datos adicionales de precisión están disponibles de un estudio hecho por una agencia estatal involucrando la circulación de pares de muestras de 20 laboratorios en tres ocasiones diferentes. El rango de los valores de equivalente de arena para esas muestras variaron de aproximadamente 30 a 50; esos fueron materiales conteniendo muchos más finos que las muestras AMRL reportadas en 8.1.1.1 y 8.1.1.2 de este ensayo.
 - a. La desviación estándar de los laboratorios múltiples de los ensayos en agencias individuales se encontró ser de 3,2 (1s). Por eso, dentro de los laboratorios de esta agencia, los resultados de dos ensayos apropiadamente conducidos de diferentes laboratorios sobre materiales similares, no difieren en más de 9,1 (d2s).

Redondeo: El procedimiento en este método de ensayo no tiene redondeo, debido a que el equivalente de arena es definido solamente en términos del método de ensayo. * Estos números representan respectivamente los límites (1s) y (d2s) descritos en ASTM C 670.

ANEXO

(NORMATIVO)

A1. PARA LA LECTURA DE LA ARENA CUANDO SE USAN EL INDICADOR DE ARENA 1969 Y EL PIE CONFORMANTE DE LA FIG. A1.1 DE ASTM D 2419-69

- A.1.1 Diferencias en el Equipo 1969
 - A1.1.1 Véase la Figura A1.1 para el pie de pesaje 1969 (Dispositivo C) y los detalles del Pie 1969 (Ítem 14).
 - A.2.1 Procedimiento de Lectura de la Arena cuando se está usando el dispositivo de pie 1969.
 - A.2.1.1 Después que se ha tomado la lectura de arcilla, colocar el dispositivo de pesaje de pie sobre el cilindro, con la cápsula guía en posición de la boca del cilindro y baje suavemente el dispositivo hasta que descansa sobre la arena. Mientras el dispositivo de pesaje de pie está siendo bajado, mantenga uno de los tornillos adyacentes (Véase ítem 10 en la Figura A1.1), en contacto con la pared del cilindro cerca de las gradaciones de tal manera que pueda ser visto en todo momento. Cuando el dispositivo de pesaje de pie descansa sobre la arena, lea el registro del nivel de la hendidura horizontal en el tornillo adyacente como el valor de la "Lectura de Arena"

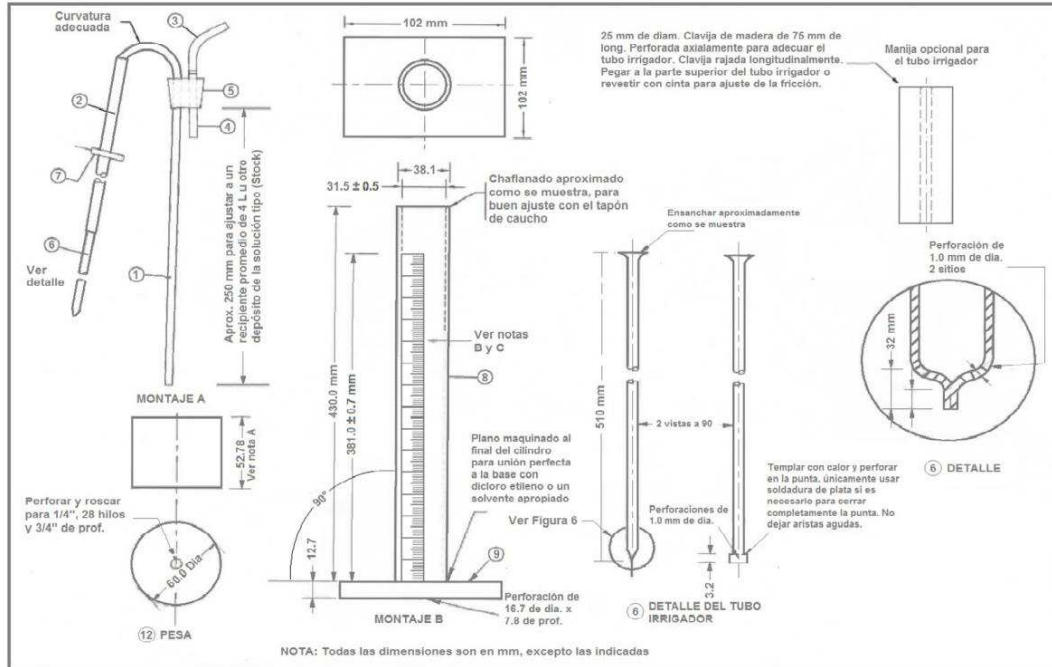


Figura 1: Aparato de Ensayo de equivalente de arena

Lista de materiales				
Montaje	Parte N°	Descripción	Tamaño de stock, pulg.	Material
Montaje del sifón				
A	1	Tubo del sifón	¼ de diámetro x 16	Tubo de cobre (puede serniquelado) Tubo de jebe, goma pura o equivalente Tubo de jebe, goma pura o equivalente Tubo de cobre (puede ser niquelado) Jebe
	2	Manguera del sifón	3/16 diámetro interno x 48	
	3	Manguera de golpe	3/16 diámetro interno x 2	
	4	Tubo de golpe	¼ de diámetro x 2	
	5	Tapón de 2 agujeros	N° 6	
	6	Tubo irrigador	¼ diámetro externo x 0,035 de pared x 20 de tubo SS,	
	7	Sujetador	Tipo 316 abrazadera, BHK N° 21730 o equivalente	
Montaje graduado:				
B	8	Tubo	1,50 diámetro externo x 17	Plástico acrílico transparente Plástico acrílico transparente
	9	Base	¼ x 4 x 4	
Montaje de pisón de pie				
C	10	Indicador de lectura de		Nylon 101 tipo 66 revenido Bronce (puede ser niquelado) Acero C.R. (puede ser niquelado) Metal resistente a la corrosión Bronce (puede ser niquelado) Jebe
	11	arena	1 ¼ de diámetro x 0,59	
	12	Varilla	¼ de diámetro x 17 ½	
	13	Peso	2 de diámetro x 2.078	
	14	Tuerca	1/16 de diámetro x ½	
	15	Base	11/16 hex x 0,54	
		Tapón solidó	N° 7	

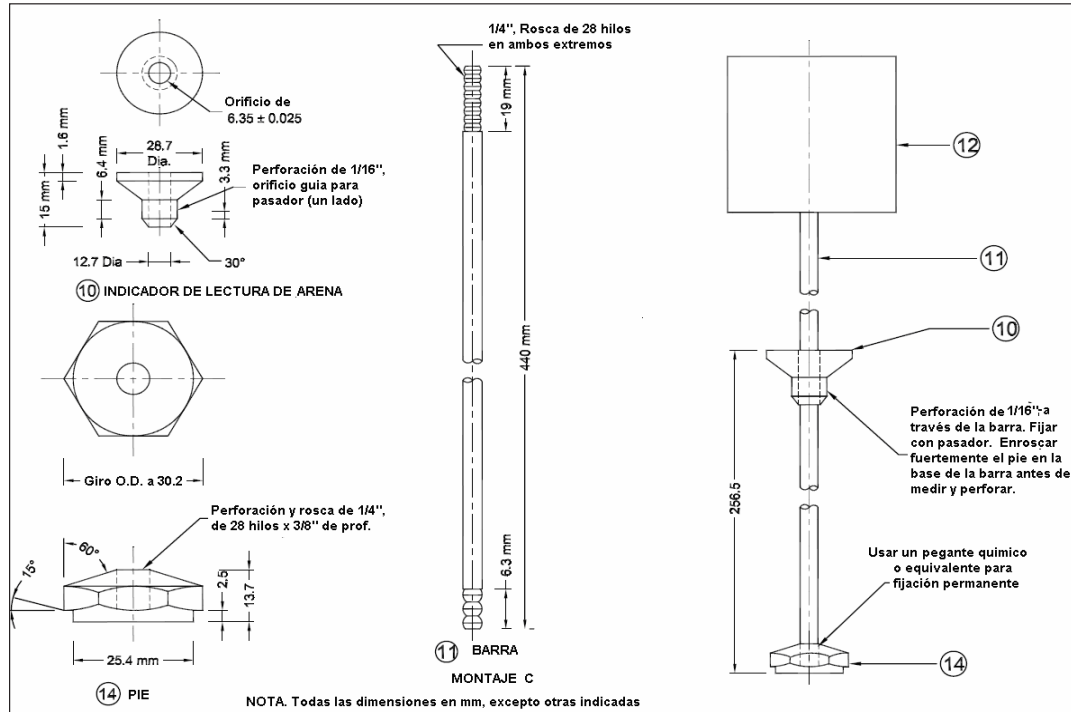


Figura 1A – Dispositivo de pie pesado del método de ensayo ASTM D 2419-69

PARTE N°	DESCRIPCION	TAMAÑO DE STOCK	DISPOSITIVO C
14	Pie	1 diámetro x 3/4	Bronce
13	Guía	1.5 diámetro x 1/4	Latón
12	Peso	2 diámetro x 2.078	C.R.SH.
11	Varilla	1/4 diámetro x 17 1/2	Latón
10	Tornillos Ajustables	3 – 48 x 1/4 RH	Latón



Figura 2 – Agitador mecánico y sus componentes



Figura 3 – Agitador operado manualmente



Figura 4 – Agitador mecánico y dispositivo de pesado de pie

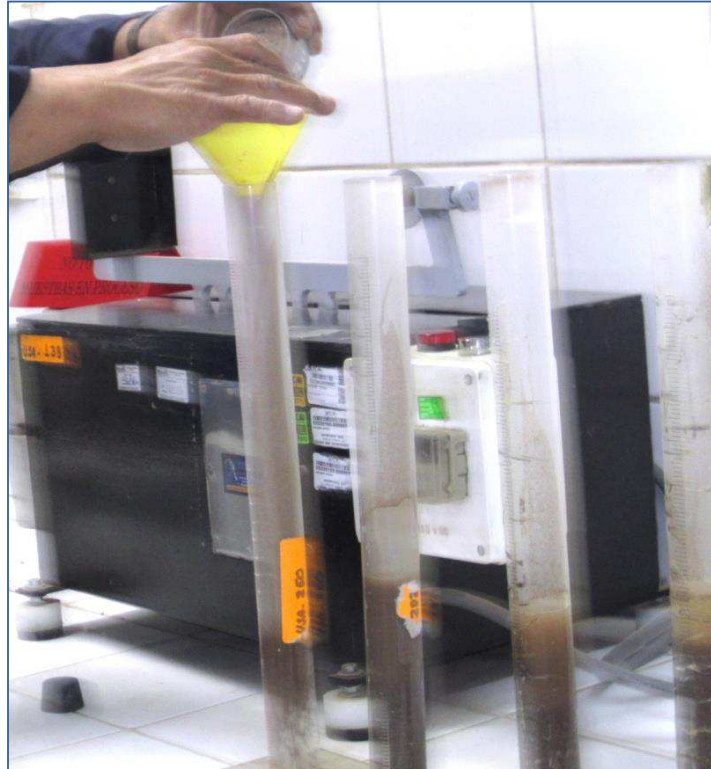


Figura 5 – Transferencia de muestras de recipiente de medición al cilindro



Figura 6 – Tubo irrigador y ensamblaje de sifón



Figura 7 – Usando método de agitación manual



Figura 8 – Irrigación

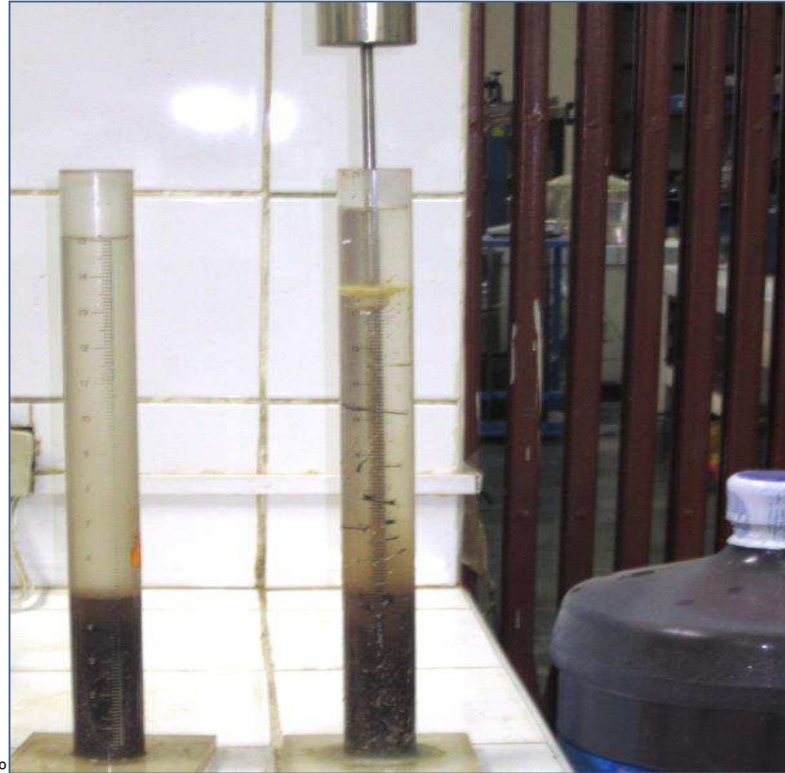


Figura 9 – Lectura de arena

MTC E 115**COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA
(PROCTOR MODIFICADO)****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³)).

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³)).

Nota 1. Los suelos y mezclas de suelos-agregados son considerados como suelos finos o de grano grueso o compuestos o mezclas de suelos naturales o procesados o agregados tales como grava, limo o piedra partida.

Nota 2. El equipo y procedimiento son los mismos que los propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos en 1945. La prueba de Esfuerzo Modificado es a veces referida como Prueba de Compactación de Proctor Modificado

- 2.2 Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm (¾" pulg).

Nota 3. Para relaciones entre Peso Unitario y Contenido de Humedad de suelos con 30% ó menos en peso de material retenido en la malla 19,0 mm (¾ pulg) a Pesos Unitarios y contenido de humedad de la fracción que pasa la malla de 19,0 mm (¾ pulg), ver ensayo ASTM D 4718

- 2.3 Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.

2.3.1 METODO "A"

- 2.3.1.1 Molde: 101,6 mm de diámetro (4 pulg)

- 2.3.1.2 Material: Se emplea el que pasa por el tamiz 4,75 mm (Nº 4).

- 2.3.1.3 Número de capas: 5

- 2.3.1.4 Golpes por capa: 25

- 2.3.1.5 Uso: Cuando el 20 % ó menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº 4).

- 2.3.1.6 Otros Usos: Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B ó C.

2.3.2 METODO "B"

- 2.3.2.1 Molde: 101,6 mm (4 pulg) de diámetro.

- 2.3.2.2 Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz de 9,5 mm (¾ pulg).

- 2.3.2.3 Número de Capas: 5

- 2.3.2.4 Golpes por capa: 25

- 2.3.2.5 Usos: Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº4) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm (¾ pulg).

2.3.2.6 Otros Usos: Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.

2.3.3 METODO "C"

2.3.3.1 Molde: 152,4 mm (6 pulg) de diámetro.

2.3.3.2 Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg).

2.3.3.3 Número de Capas: 5

2.3.3.4 Golpes por Capa: 56

2.3.3.5 Uso: Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg).

2.3.3.6 El molde de 152,4 mm (6 pulg) de diámetro no será usado con los métodos A ó B.

Nota 4. Los resultados tienden a variar ligeramente cuando el material es ensayado con el mismo esfuerzo de compactación en moldes de diferentes tamaños.

2.4 Si el espécimen de prueba contiene más de 5% en peso de un tamaño (fracción gruesa) y el material no será incluido en la prueba se deben hacer correcciones al Peso Unitario y Contenido de Agua del espécimen de ensayo ó la densidad de campo apropiada usando el método de ensayo ASTM D 4718.

2.5 Este método de prueba generalmente producirá un Peso Unitario Seco Máximo bien definido para suelos que no drenan libremente. Si el método de ensayo se utiliza para suelos que drenan libremente, no se definirá bien el Peso Unitario Seco máximo y puede ser menor que la obtenida usando el Método se Prueba ASTM D 4253 (NTP 339.137).

2.6 Los valores de las unidades del SI son reconocidos como estándar. Los valores establecidos por las unidades de pulgadas-libras son proporcionados sólo como información.

2.6.1 En la profesión de Ingeniería es práctica común, usar indistintamente unidades que representan Masa y Fuerza, a menos que se realicen cálculos dinámicos ($F = M \cdot a$). Esto implícitamente combina dos sistemas de diferentes Unidades, que son el Sistema Absoluto y el Sistema Gravimétrico. Científicamente, no se desea combinar el uso de dos sistemas diferentes en uno estándar. Este método de prueba se ha hecho usando unidades libra-pulgada (Sistema Gravimétrico) donde la libra (lbf) representa a la Unidad de Fuerza. El uso de libra-masa (lb. m) es por conveniencia de unidades y no intenta establecer que su uso es científicamente correcto. Las conversiones son dadas en el Sistema Internacional (SI) de acuerdo al ensayo ASTM E 380. El uso de balanzas que registran libra-masa (lbm) ó registran la densidad en lbm/pie³ no se debe considerar como si no concordase con esta norma.

2.7 Este método de ensayo no hace referencia a todos los riesgos relacionadas con este uso, si los hubiera. Es responsabilidad del usuario establecer la seguridad apropiada y prácticas o pruebas confiables y así determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su uso.

2.8 El suelo utilizado como relleno en Ingeniería (terraplenes, rellenos de cimentación, bases para caminos) se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de Ingeniería tales como: resistencia al esfuerzo de corte, compresibilidad ó permeabilidad. También los suelos de cimentaciones son a menudo compactados para mejorar sus propiedades de Ingeniería. Los ensayos de Compactación en Laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de agua que se necesitan para obtener las propiedades de Ingeniería requeridas, y para el control de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua.

2.9 Durante el diseño de los rellenos de Ingeniería, se utilizan los ensayos de corte consolidación permeabilidad u otros ensayos que requieren la preparación de especímenes de ensayo compactado a algún contenido de agua para algún Peso Unitario. Es práctica común, primero determinar el óptimo contenido de humedad (w_o) y el Peso Unitario Seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) mediante un ensayo de

compactación. Los especímenes de compactación a un contenido de agua seleccionado (w), sea del lado húmedo o seco del óptimo (w_o) ó al óptimo (w_o) y a un Peso Unitario seco seleccionado relativo a un porcentaje del Peso Unitario Seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$). La selección del contenido de agua (w), sea del lado húmedo o seco del óptimo (w_o) ó al óptimo (w_o), y el Peso Unitario Seco ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) se debe basar en experiencias pasadas, o se deberá investigar una serie de valores para determinar el porcentaje necesario de compactación.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1.1 NTP 339.141: Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada ($2\ 700\ \text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ($56\ 000\ \text{pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$)).
- 3.1.2 ASTM D 1557: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort ($2\ 700\ \text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ($56\ 000\ \text{pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$)).

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Ensamblaje del Molde.- Los moldes deben de ser cilíndricos hechos de materiales rígidos y con capacidad que se indican en 4.1.1.1 ó 4.1.1.2 de este ensayo y Figuras 1 y 2. Las paredes del molde deberán ser sólidas, partidas o ahusadas. El tipo "partido" deberá tener dos medias secciones circulares, o una sección de tubo dividido a lo largo de un elemento que se pueda cerrar en forma segura formando un cilindro que reúna los requisitos de esta sección. El tipo "ahusado" debe tener un diámetro interno tipo tapa que sea uniforme y no mida más de $16,7\ \text{mm}/\text{m}$ ($0,200\ \text{pulg}/\text{pie}$) de la altura del molde. Cada molde tiene un plato base y un collar de extensión ensamblado, ambos de metal rígido y contruidos de modo que puedan adherir de forma segura y fácil de desmoldar. El ensamblaje collar de extensión debe tener una altura que sobrepase la parte más alta del molde por lo menos $50,8\ \text{mm}$ ($2,0\ \text{pulg}$) con una sección superior que sobrepasa para formar un tubo con una sección cilíndrica recta de por lo menos $19,0\ \text{mm}$ ($0,75\ \text{pulg}$), por debajo de ésta.

El collar de extensión debe de alinearse con el interior del molde, la parte inferior del plato base y del área central ahuecada que acepta el molde cilíndrico debe ser plana.

- 4.1.1.1 Molde de 4 pulgadas.- Un molde que tenga en promedio $101,6 \pm 0,4\ \text{mm}$ ($4,000 \pm 0,016\ \text{pulg}$) de diámetro interior, una altura de $116,4 \pm 0,5\ \text{mm}$ ($4,584 \pm 0,018\ \text{pulg}$) y un volumen de $944 \pm 14\ \text{cm}^3$ ($0,0333 \pm 0,0005\ \text{pie}^3$). Un molde con las características mínimas requeridas es mostrado en la Fig. 1.
- 4.1.1.2 Molde de 6 pulgadas.- Un molde que tenga en promedio $152,4 \pm 0,7\ \text{mm}$ ($6,000 \pm 0,026\ \text{pulg}$) de diámetro interior, una altura de: $116,4 \pm 0,5\ \text{mm}$ ($4,584 \pm 0,018\ \text{pulg}$) y un volumen de $2\ 124 \pm 25\ \text{cm}^3$ ($0,075 \pm 0,0009\ \text{pie}^3$). Un molde con las características mínimas requeridas es mostrando en Fig. 2.
- 4.1.2 Pisón ó Martillo.- Un pisón operado manualmente como el descrito en 4.1.2.1 de este ensayo ó mecánicamente como el descrito en 4.1.2.2 de este ensayo. El pisón debe caer libremente a una distancia de $457,2 \pm 1,6\ \text{mm}$ ($18 \pm 0,05\ \text{pulg}$) de la superficie de espécimen. La masa del pisón será $4,54 \pm 0,01\ \text{kg}$ ($10 \pm 0,02\ \text{lb}\cdot\text{m}$), salvo que la masa pisón mecánico se ajuste al descrito en el Método de Ensayo ASTM D 2168 (ver Nota 5). La cara del pisón que golpea deberá ser plana y circular, excepto el nombrado en 4.1.2.3 de este ensayo con un diámetro de $50,80 \pm 0,13\ \text{mm}$ ($2,000 \pm 0,005\ \text{pulg}$), (Figuras 1 y 2). El pisón deberá ser reemplazado si la cara que golpea se desgasta ó se deforma al punto que el diámetro sobrepase los $50,800 \pm 0,25\ \text{mm}$ ($2,000 \pm 0,01\ \text{pulg}$).

Nota 5. Es práctica común y aceptable en el Sistema de libras-pulgadas asumir que la masa del pisón es igual a su masa determinada utilizado sea una balanza en kilogramos ó libras, y una libra-fuerza es igual a 1 libra-masa ó $0,4536\ \text{kg}$ ó $1\ \text{N}$ es igual a $0,2248\ \text{libras}\cdot\text{masa}$ ó $0,1020\ \text{kg}$.

- 4.1.2.1 Pisón Manual.- El pisón deberá estar equipado con una guía que tenga suficiente espacio libre para que la caída del pisón y la cabeza no sea restringida. La guía deberá tener al menos 4 orificios de ventilación en cada extremo (8 orificios en total) localizados con centros de $19,0 \pm 1,6\ \text{mm}$

($\frac{3}{4} \pm \frac{1}{16}$ pulg) y espaciados a 90° . Los diámetros mínimos de cada orificio de ventilación deben ser 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg). Orificios adicionales ó ranuras pueden ser incorporados en el tubo guía.

- 4.1.2.2 Pisón Mecánico Circular.- El pisón puede ser operado mecánicamente de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen. Debe haber $2,5 \pm 0,8$ mm ($0,10 \pm 0,03$ pulg) de espacio libre entre el pisón y la superficie interna del molde en su diámetro más pequeño. El pisón mecánico debe cumplir los requisitos de calibración requeridos por el Método de Ensayo ASTM D 2168. El pisón mecánico debe estar equipado con medios mecánicos capaz de soportar el pisón cuando no está en operación.
- 4.1.2.3 Pisón Mecánico.- Cuando es usado un molde de 152,4mm (6,0 pulg), un sector de la cara del pisón se debe utilizar en lugar del pisón de cara circular. La cara que contacta el espécimen tendrá la forma de un sector circular de radio igual a $73,7 \pm 0,5$ mm ($2,90 \pm 0,02$ pulg). El pisón se operará de tal manera que los orificios del sector se ubiquen en el centro del espécimen.
- 4.1.3 Extractor de Muestras (opcional).- Puede ser una gata, estructura u otro mecanismo adaptado con el propósito de extraer los especímenes compactados del molde.
- 4.1.4 Balanza.- Una balanza de tipo GP5 que reúna los requisitos de la Especificación ASTM D 4753, para una aproximación de 1 gramo.
- 4.1.5 Horno de Secado.- Con control termostático preferiblemente del tipo de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C a través de la cámara de secado.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Regla.- Una regla recta metálica, rígida de una longitud conveniente pero no menor que 254 mm (10 pulgadas). La longitud total de la regla recta debe ajustarse directamente a una tolerancia de $\pm 0,1$ mm ($\pm 0,005$ pulg). El borde de arrastre debe ser biselado si es más grueso que 3 mm ($\frac{1}{8}$ pulg).
- 4.2.2 Tamices ó Mallas.- De 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg), 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) y 4,75mm (Nº 4), conforme a los requisitos de la especificaciones ASTM E11.
- 4.2.3 Herramientas de Mezcla.- Diversas herramientas tales como cucharas, morteros, mezclador, paleta, espátula, botella de spray, etc. ó un aparato mecánico apropiado para la mezcla completo de muestra de suelo con incrementos de agua.

5.0 MUESTRA

- 5.1 La masa de la muestra requerida para el Método A y B es aproximadamente 16 kg (35 lbm) y para el Método C es aproximadamente 29 kg (65 lbm) de suelo seco. Debido a esto, la muestra de campo debe tener un peso húmedo de al menos 23 kg (50 lbm) y 45 kg (100 lbm) respectivamente.
- 5.2 Determinar el porcentaje de material retenido en la malla 4,75mm (Nº 4), 9,5mm ($\frac{3}{8}$ pulg) ó 19.0mm ($\frac{3}{4}$ pulg) para escoger el Método A, B ó C. Realizar esta determinación separando una porción representativa de la muestra total y establecer los porcentajes que pasan las mallas de interés mediante el Método de Análisis por tamizado de Agregado Grueso y Fino (NTP 339.128 ó ASTM C 136). Sólo es necesario para calcular los porcentajes para un tamiz ó tamices de las cuales la información que se desea.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACION DE APARATOS

- 6.1.1 Seleccionar el molde de compactación apropiado de acuerdo con el Método (A, B ó C) a ser usado. Determinar y anotar su masa con aproximación a 1 gramo. Ensamblar el molde, base y collar de extensión. Chequear el alineamiento de la pared interior del molde y collar de extensión del molde. Ajustar si es necesario.
- 6.1.2 Revise que el ensamblado del pisón esté en buenas condiciones de trabajo y que sus partes no estén flojas ó gastado. Realizar cualquier ajuste ó reparación necesaria. Si los ajustes ó reparaciones son hechos, el martillo deberá volver a ser calibrado.

- 6.1.3 Calibración de los siguientes aparatos antes del uso inicial, después de reparaciones u otros casos que puedan afectar los resultados del ensayo, en intervalos no mayores que 1 000 muestras ensayadas o anualmente, cualquiera que ocurra primero; para los siguientes aparatos.
- a) Balanza.- Evaluar de acuerdo con especificaciones ASTM D 4753 (Especificaciones, Evaluación, Selección y Elección de Balanzas y Escalas para uso muestras de suelos y rocas.)
 - b) Moldes.- Determinar el volumen como se describe en Anexo A1.
 - c) Pisón Manual.- Verifique la distancia de caída libre, masa del pisón y la cara del pisón de acuerdo con 4.1.2 de este ensayo. Verificar los requisitos de la guía de acuerdo con 4.1.2.1 de este ensayo.
 - d) Pisón Mecánico.- Calibre y ajuste el pisón mecánico de acuerdo al Método de Ensayo ASTM D 2168 (Calibración de Pisón Mecánico de Compactación de Suelos en Laboratorio) Además, el espacio libre entre el pisón y la superficie interior del molde debe verificarse de acuerdo a 4.1.2.2 de este ensayo.

6.2 PREPARACION DEL ENSAYO

6.2.1 SUELOS

6.2.1.1 No vuelva a usar el suelo que ha sido compactado previamente en Laboratorio.

6.2.1.2 Utilice el método de preparación húmedo y cuando se ensaye con suelos que contienen hallosita hidratada o donde la experiencia con determinados suelos indica que los resultados pueden ser alterados por el secado al aire, (ver 6.2.2 de este ensayo).

6.2.1.3 Preparar los especímenes del suelo para el ensayo de acuerdo al párrafo 6.2.2 (de preferencia) o con 6.2.3 de este ensayo.

6.2.2 METODO DE PREPARACION HUMEDA (PREFERIBLE)

6.2.2.1 Sin secado previo de la muestra, pásela a través del tamiz 4,75mm (Nº 4); 9,5mm ($\frac{3}{8}$ pulg) ó 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg), dependiendo del Método a ser usado (A, B ó C). Determine el contenido de agua del suelo procesado.

6.2.2.2 Prepare mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes con contenidos de agua de modo que éstos tengan un contenido de agua lo más cercano al óptimo estimado. Un espécimen que tiene un contenido de humedad cercano al óptimo deberá ser preparado primero, añadiendo al cálculo agua y mezcla (ver Nota 6). Seleccionar los contenidos de agua para el resto de los especímenes de tal forma que resulten por lo menos dos especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua, que varíen alrededor del 2%. Como mínimo es necesario dos contenidos de agua en el lado seco y húmedo del óptimo para definir exactamente la curva de compactación del peso seco unitario (ver 7.1.1 de este ensayo). Algunos suelos con muy alto óptimo contenido de agua ó una curva de compactación relativamente plana requieren grandes incrementos de contenido de agua para obtener un Peso Unitario Seco Máximo bien definido. Los incrementos de contenido de agua no deberán excederán de 4%.

Nota 6. Con la práctica es posible juzgar visualmente un punto cercano al óptimo contenido de agua. Generalmente, el suelo en un óptimo contenido de agua puede ser comprimido y quedar así cuando la presión manual cesa, pero se quebrará en dos secciones cuando es doblada. En contenidos de agua del lado seco del óptimo, los suelos tienden a desintegrarse; del lado húmedo del óptimo, se mantienen unidos en una masa cohesiva pegajosa. El óptimo contenido de humedad frecuentemente es ligeramente menor que el límite plástico.

6.2.2.3 Usar aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) del suelo tamizado en cada espécimen que se compacta empleando el Métodos A ó B; ó 5,9 kg (13 lbm) cuando se emplee el Método C. Para obtener los contenidos de agua del espécimen que se indica en 6.2.2.2 de este ensayo, añada o remueva las cantidades requeridas de agua de la siguiente manera: Añada poco a poco el agua al suelo durante la mezcla; para sacar el agua, deje que el suelo se seque en el aire a una temperatura de ambiente o en un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 60°C (140°F).

Mezclar el suelo continuamente durante el proceso de secado para mantener la distribución del contenido agua en todas partes y luego colóquelo aparte en un contenedor con tapa y ubíquelo de acuerdo con la Tabla N°1 antes de la compactación. Para seleccionar un tiempo de espera, el suelo debe ser clasificado o seleccionado mediante el método de ensayo NTP 339.134, la práctica ASTM D 2488 o mediante datos de otras muestras del mismo material de origen. Para ensayos de determinación, la clasificación deberá ser por Método de ensayo NTP 339.134 (ASTM D 2487)

6.2.3 METODO DE PREPARACION EN SECO

6.2.3.1 Si la muestra está demasiado húmeda, reducir el contenido de agua por secado al aire hasta que el material sea friable. El secado puede ser al aire o por el uso de un aparato de secado tal que la temperatura de la muestra no exceda de 60 °C. Disgregar por completo los grumos de tal forma de evitar quebrar las partículas individuales. Pasar el material por el tamiz apropiado: 4,75 mm (N°4); 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) ó 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg). Durante la preparación del material granular que pasa la malla $\frac{3}{4}$ pulg para la compactación en el molde de 6 pulgadas, disgregar o separar los agregados lo suficientemente para que pasen el tamiz 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) de manera de facilitar la distribución de agua a través del suelo en el mezclado posterior.

6.2.3.2 Preparar mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes de acuerdo con 6.2.2.2.

6.2.3.3 Usar aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) del suelo tamizado para cada espécimen a ser compactado cuando se emplee el Método A, B ó 5,9 kg (13 libras) cuando se emplee el Método C. Añadir las cantidades requeridas de agua para que los contenidos de agua de los especímenes tengan los valores descritos en 6.2.2.2 de este ensayo. Seguir la preparación del espécimen por el procedimiento especificado en 6.2.2.3 de este ensayo para los suelos secos ó adicionar agua en el suelo y el curado de cada espécimen de prueba.

6.2.4 Compactación.- Después del curado, si se requiere, cada espécimen se compactará de la siguiente manera:

6.2.4.1 Determinar y anotar la masa del molde ó molde y el plato de base.

6.2.4.2 Ensamble y asegure el molde y el collar al plato base. El molde se apoyará sobre un cimiento uniforme y rígido, como la proporcionada por un cilindro o cubo de concreto con una masa no menor de 91 kg (200 lbm). Asegurar el plato base a un cimiento rígido. El método de unión al cimiento rígido deberá permitir un desmolde fácil del molde ensamblado, el collar y el plato base después que se concluya la compactación.

6.2.4.3 Compactar el espécimen en cinco capas. Después de la compactación, cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor. Antes de la compactación, colocar el suelo suelto dentro del molde y extenderlo en una capa de espesor uniforme. Suavemente apisonar el suelo antes de la compactación hasta que este no esté en estado suelto o esponjoso, usando el pisón manual de compactación o un cilindro de 5 mm (2 pulg) de diámetro. Posteriormente a la compactación de cada uno de las cuatro primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no han sido compactado o extendido cerca de la superficie compactada será recortada. El suelo recortado puede ser incluido con el suelo adicional para la próxima capa. Un cuchillo ú otro aparato disponible puede ser usado. La cantidad total de suelo usado será tal que la quinta capa compactada se extenderá ligeramente dentro del collar, pero no excederá 6 mm (1/4pulg) de la parte superior del molde. Si la quinta capa se extiende en más de 6 mm (1/4pulg) de la parte superior del molde, el espécimen será descartado. El espécimen será descartado cuando el último golpe del pisón para la quinta capa resulta por debajo de la parte superior del molde de compactación.

6.2.4.4 Compactar cada capa con 25 golpes para el molde de 101,6 mm (4 pulg) ó 56 golpes para el molde de 152,4 mm (6 pulgadas).

Nota 7. Cuando los especímenes de compactación se humedecen más que el contenido de agua óptimo, pueden producirse superficies compactadas irregulares y se requerirá del juicio del operador para la altura promedio del espécimen.

- 6.2.4.5 Al operar el pisón manual del pisón, se debe tener cuidado de evitar la elevación de la guía mientras el pisón sube. Mantener la guía firmemente y dentro de 5° de la vertical. Aplicar los golpes en una relación uniforme de aproximadamente 25 golpes/minuto y de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.
- 6.2.4.6 Después de la compactación de la última capa, remover el collar y plato base del molde, excepto como se especifica en 6.2.4.7 de este ensayo. El cuchillo debe usarse para ajustar o arreglar el suelo adyacente al collar, soltando el suelo del collar y removiendo sin permitir el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.
- 6.2.4.7 Cuidadosamente enrasar el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde. Un corte inicial en el espécimen en la parte superior del molde con un cuchillo puede prevenir la caída del suelo por debajo de la parte superior del molde. Rellenar cualquier hoyo de la superficie, con suelo no usado o cortado del espécimen, presionar con los dedos y vuelva a raspar con la regla recta a través de la parte superior e inferior del molde. Repetir las operaciones anteriores en la parte inferior del espécimen cuando se halla determinado el volumen del molde sin el plato base. Para suelos muy húmedos o muy secos, se perderá suelo o agua si el plato base se remueve. Para estas situaciones, dejar el plato base fijo al molde. Cuando se deja unido el plato base, el volumen del molde deberá calibrarse con el plato base unido al molde o a un plato de plástico o de vidrio como se especifica en el anexo A1 (A.1.4.1 de este ensayo).
- 6.2.4.8 Determine y registre la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base al molde, determine y anote la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación al gramo.
- 6.2.4.9 Remueva el material del molde. Obtener un espécimen para determinar el contenido de agua utilizando todo el espécimen (se refiere este método) o una porción representativa. Cuando se utiliza todo el espécimen, quíbrelo para facilitar el secado. De otra manera se puede obtener una porción cortando axialmente por el centro del espécimen compactado y removiendo 500 g del material de los lados cortados. Obtener el contenido de humedad de acuerdo al Método ensayo NTP 339.127.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcule el Peso Unitario Seco y Contenido de Agua para cada espécimen compactado como se explica en 7.1.3 y 7.1.4 de este ensayo, plotee los valores y dibuje la curva de compactación como una curva suave a través de los puntos (ver ejemplo, Fig. 3). Plotee el Peso Unitario Seco con aproximación $0,2 \text{ kN/m}^3$ ($0,1 \text{ lbf/pie}^3$) y contenido de agua aproximado a 0,1%. En base a la curva de compactación, determine el Óptimo Contenido de Agua y el Peso Unitario Seco Máximo. Si más de 5% en peso del material sobredimensionado (tamaño mayor) fue removido de la muestra, calcular el Peso unitario seco máximo y óptimo contenido de Humedad corregido del material total usando la Norma ASTM D 4718. Esta corrección debe realizarse en el espécimen de ensayo de densidad de campo, más que al espécimen de ensayo de laboratorio.
- 7.1.2 Plotear la curva de saturación al 100%. Los valores de contenido de agua para la condición de 100% de saturación puede ser calculadas como se explica en 7.1.5 de este ensayo (ver ejemplo, Fig. 3).

Nota 8. La curva de saturación al 100% es una ayuda al diseñar la curva de compactación. Para suelos que contienen más de 10% de finos a contenidos de agua que superan el óptimo, las dos curvas generalmente llegan a ser aproximadamente paralelas con el lado húmedo de la curva de compactación entre 92 á 95% de saturación. Teóricamente, la curva de compactación no puede ser ploteada o trazarse a la derecha de la curva de 100% de saturación. Si esto ocurre, hay un error en la gravedad específica, en las mediciones, en los cálculos, en procedimientos de ensayo o en el ploteo.

Nota 9. La curva de 100% de saturación se denomina algunas veces como curva de relación de vacíos cero o la curva de saturación completa.

7.1.3 Contenido de Agua, w .- Calcular de acuerdo con Método de Ensayo NTP 339.127.

7.1.4 Peso Unitario Seco.- Calcular la densidad húmeda (ecuación 1), la densidad seca (ecuación 2) y luego el Peso Unitario Seco (ecuación 3) como sigue:

$$\rho_m = 1000 \times \frac{(M_t - M_{md})}{V} \quad (1)$$

Donde:

ρ_m = Densidad Húmeda del espécimen compactado (Mg/m^3)
 M_t = Masa del espécimen húmedo y molde (kg)
 M_{md} = Masa del molde de compactación (kg)
 V = Volumen del molde de compactación (m^3) (Ver Anexo A1)

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}} \quad (2)$$

Donde:

ρ_d = Densidad seca del espécimen compactado (Mg/m^3)
 w = contenido de agua (%)

$$\gamma_d = 62,43 \rho_d \text{ en } \text{ lbf/pe}^3 \quad (3)$$

$$\gamma_d = 9,807 \rho_d \text{ en } \text{ kN/m}^3$$

Donde:

γ_d = peso unitario seco del espécimen compactado.

7.1.5 En el cálculo de los puntos para el ploteo de la curva de 100% de saturación o curva de relación de vacíos cero del peso unitario seco, seleccione los valores correspondientes de contenido de agua a la condición de 100% de saturación como sigue:

$$W_{sat} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

W_{sat} = Contenido de agua para una saturación completa (%).
 γ_w = Peso unitario del agua $9,807kN/m^3$ ó ($62,43 \text{ lbf/ pie}^3$).
 γ_d = Peso unitario seco del suelo.
 G_s = Gravedad específica del suelo.

Nota 10. La gravedad específica puede ser calculada para los especímenes de prueba en base de datos de ensayos de otras muestras de la misma clasificación de suelo y origen. De otro modo sería necesario el ensayo de Gravedad Específica NTP 339.131.

7.2 INFORME

7.2.1 Reportar la siguiente información:

7.2.1.1 Procedimiento usado (A, B o C).

7.2.1.2 Método usado para la preparación (húmedo ó seco).

7.2.1.3 El contenido de agua recibida, si se determinó.

7.2.1.4 El óptimo Contenido de Agua Modificado, con aproximación al 0,5 %.

- 7.2.1.5 El Peso Unitario Seco Máximo, con aproximación a $0,5 \text{ lbf/pe}^3$.
- 7.2.1.6 Descripción del Pisón (Manual ó Mecánico).
- 7.2.1.7 Datos del tamizado del suelo para la determinación del procedimiento (A, B ó C) empleado.
- 7.2.1.8 Descripción o Clasificación del material usado en la prueba (ASTM D 2488, NTP 339.134).
- 7.2.1.9 Gravedad Específica y Método de Determinación.
- 7.2.1.10 Origen del material usado en el ensayo, por ejemplo, proyecto, lugar, profundidad, etc.
- 7.2.1.11 Ploteo de la Curva de Compactación mostrando los puntos de compactación utilizados para establecerla y la curva de compactación y la curva de 100% saturación, el punto de Peso Unitario Seco Máximo y Optimo Contenido de Agua.
- 7.2.1.12 El dato de Corrección por Fracción Sobredimensionada si es usado, incluyendo la fracción sobredimensionada (Fracción Gruesa), P_c en %.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 PRECISION.- Todos los datos están siendo evaluados para determinar la precisión de este método de ensayo. Además los datos pertinentes están siendo solicitados por los usuarios de este método de ensayo.
- 8.2 CONFIABILIDAD.- No es posible obtener la información sobre la confiabilidad porque no existe otros métodos de determinación de valores de máximo Peso Unitario Seco Modificada y Optimo Contenido de Humedad.

ANEXO

(INFORMACION OBLIGATORIA)

A1. VOLUMEN DEL MOLDE DE COMPACTACION

A1.1. OBJETIVO

A1.1.1. Este anexo describe el procedimiento para la determinación del volumen del molde de compactación.

A1.1.2. El volumen es determinado por un método de llenado con agua y chequeado con un método de medición lineal.

A1.2. APARATOS

A1.2.1. En adición a los aparatos listados en la sección 4, los siguientes ítems son requeridos:

A1.2.1.1 Vernier o Dial Calibrado, graduado en un rango de 0 a 150 mm (0 a 6 pulg) y sensibilidad de 0,02 mm (0,001 pulg).

A1.2.1.2 Micrómetro Interior, graduado en un rango de 50 a 300 mm (2 a 12 pulg) y aproximación de lectura a 0,02 mm (0,001 pulg).

A1.2.1.3 Platos de Plástico ó Vidrio, Dos platos de vidrio o plástico de de espesor 200 mm² por 6 mm (8 pulg² por 1/4 pulg).

A1.2.1.4 Termómetro, de un rango de 0 - 50 °C, con graduaciones cada 0,5 °C, de acuerdo a las Especificaciones ASTM E 1.

A1.2.1.5 Llave de cierre engrasada o sellador similar.

A1.2.1.6 Equipo diverso; jeringa de pera, secadores, etc.

A1.3. PRECAUCIONES

A1.3.1. Desarrollar este procedimiento en un área aislada de corrientes de aire y fluctuaciones extremas de temperatura.

A1.4. PROCEDIMIENTO

A1.4.1. Método de Llenado de agua:

A1.4.1.1 Engrasar ligeramente la base del molde de compactación y colocarlo en uno de los platos de plástico ó vidrio. Engrasar ligeramente la parte superior del molde. Tener cuidado de no engrasar el interior del molde. Si es necesario usar el plato base, como se anota en 6.2.4.7 de este ensayo., colocar al molde engrasado en el plato base y asegurar con los tornillos sujetadores.

A1.4.1.2 Determinar la masa del molde engrasado y platos de vidrio o plástico con aproximación al 1 g (0,01 lb-m).

A1.4.1.3 Colocar el molde y la base del plato en una superficie nivelada, firme y llenar el molde con agua ligeramente hasta los bordes.

A1.4.1.4 Deslizar el segundo plato sobre el borde superior del molde de tal manera que el molde quede completamente lleno de agua y sin burbujas de aire atrapadas. Añadir o quitar agua si es necesario, con la jeringa bombilla.

A1.4.1.5 Secar completamente cualquier exceso de agua del exterior del molde y platos.

A1.4.1.6 Determinar el peso del molde, platos y agua y registrar con aproximación a 1 g (0,01 lb-m).

A1.4.1.7 Determinar la temperatura del agua en el molde con aproximación 1 °C y registrar. Determinar la densidad absoluta del agua según la Tabla A1.1.

A1.4.1.8 Calcular el peso del agua en el molde restando el peso determinado en A1.4.1.2. del registrado en A1.4.1.6.

- A1.4.1.9 Calcular el volumen de agua dividiendo el peso del agua por la densidad de agua y registrar con aproximación a 1 cm³ (0,0001 pie³).
- A1.4.1.10 Cuando el plato de base es usado para la calibración del volumen del molde repetir los pasos A1.4.1.3 al A1.4.1.9.
- A1.4.2 Método de Mediciones Lineales:
 - A1.4.2.1 Usando el vernier calibrador o el micrómetro interior, medir el diámetro del molde seis veces la parte superior del molde y seis veces en la parte inferior del molde, espaciando proporcionalmente cada una de las seis mediciones alrededor de la circunferencia del molde. Registrar valores con aproximación a 0,02 mm (0,001 pulgadas).
 - A1.4.2.2 Usando el vernier calibrador, medir la altura interior del molde realizando tres medidas igualmente espaciados alrededor de la circunferencia del molde. Registrar los valores con aproximación 0,02 mm (0,001 pulgadas).
 - A1.4.2.3 Calcular el promedio del diámetro de la parte superior del molde, promedio del diámetro de la parte inferior del molde y la altura.
 - A1.4.2.4 Calcular el volumen del molde y registrar con aproximación a 1 cm³ (0,0001 pie³) utilizando la ecuación A1a (para pulgadas-libra) ó A1b (para SI):

$$V = \frac{(\pi)(h)(d_t + d_b)^2}{(16)(1728)} \quad (A.1.a)$$

$$V = \frac{(\pi)(h)(d_t + d_b)^2}{(16)(10)^3} \quad (A.1.b)$$

Donde:

- V = Volumen de molde, cm³, (pie³)
- H = Promedio de altura, mm, (pulg).
- dt = Promedio de diámetro de la parte superior, mm (pulg)
- db = Promedio de diámetro de la parte inferior, mm (pulg)
- 1/1728 = Constante para convertir pulg³ a pie³
- 1/103 = Constante para convertir mm³ a cm³

- A1.5. Comparación de Resultados
 - A1.5.1 El volumen obtenido por otro método debe estar dentro de los requisitos de tolerancia de 4.1.1.1. y 4.1.1.2.
 - A1.5.2 La diferencia entre los dos métodos no debe ser mayor que 0,5 % del volumen nominal del molde.
 - A1.5.3 Repetir la determinación de volumen si estos criterios no concuerdan.
 - A1.5.4 La falla en la obtención de un acuerdo satisfactorio entre los dos métodos incluso después de varias tentativas, es una indicación que el molde se encuentra muy deformado y debe ser reemplazado.
 - A1.5.5 Emplear el volumen del molde determinado, con el método de llenado en agua, como el valor de volumen asignado para cálculo de humedad y densidad seca (ver 7.1.4).

Tabla 1
Tiempo de permanencia requerido para saturación de especímenes

Clasificación	Tiempo de permanencia mínimo en horas
GW, GP, SW, SP	No se requiere
GM, SM	3
Todos los demás suelos	16

Tabla 2
Equivalencia métricas para las figuras N° 1 y 2

Pulgadas	milímetros
0,016	0,41
0,026	0,66
0,032	0,81
0,028	0,71
$\frac{1}{2}$	12,70
$2 \frac{1}{2}$	63,50
$2 \frac{5}{8}$	66,70
4	101,60
$4 \frac{1}{2}$	114,30
4,584	116,43
$4 \frac{3}{4}$	120,60
6	152,4
$6 \frac{1}{2}$	165,10
$6 \frac{5}{8}$	168,30
$6 \frac{3}{4}$	171,40
$8 \frac{1}{4}$	208,60

pie³	cm³
1/30 (0,0333)	943
0,0005	14
1/13,333 (0,0750)	2 124
0,0011	31

Tabla A.1.1
Densidad del Agua

Temperatura °C (°F)	Densidad del Agua g/ml
18 (64,4)	0,99862
19 (66,2)	0,99843
20 (68,0)	0,99823
21 (69,8)	0,99802
22 (71,6)	0,99779
23 (73,4)	0,99756
24 (75,2)	0,99733
25 (77,0)	0,99707
26 (78,8)	0,99681

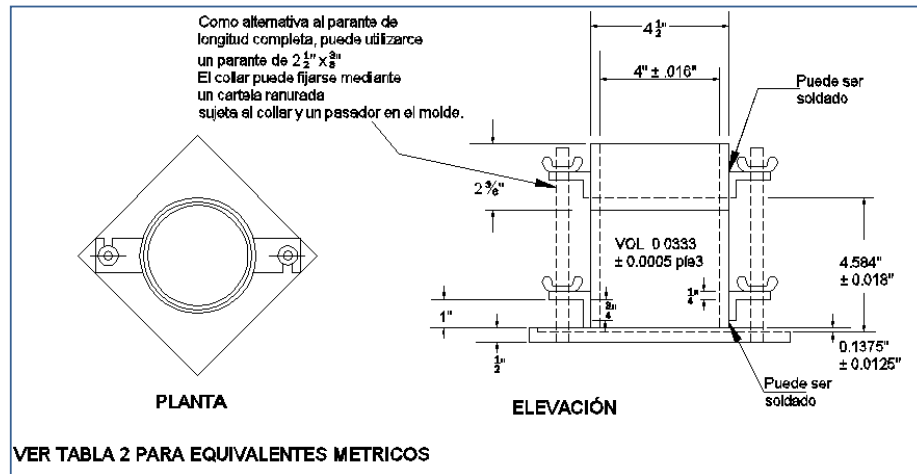


Figura 1: Molde cilíndrico de 4,0 pulg

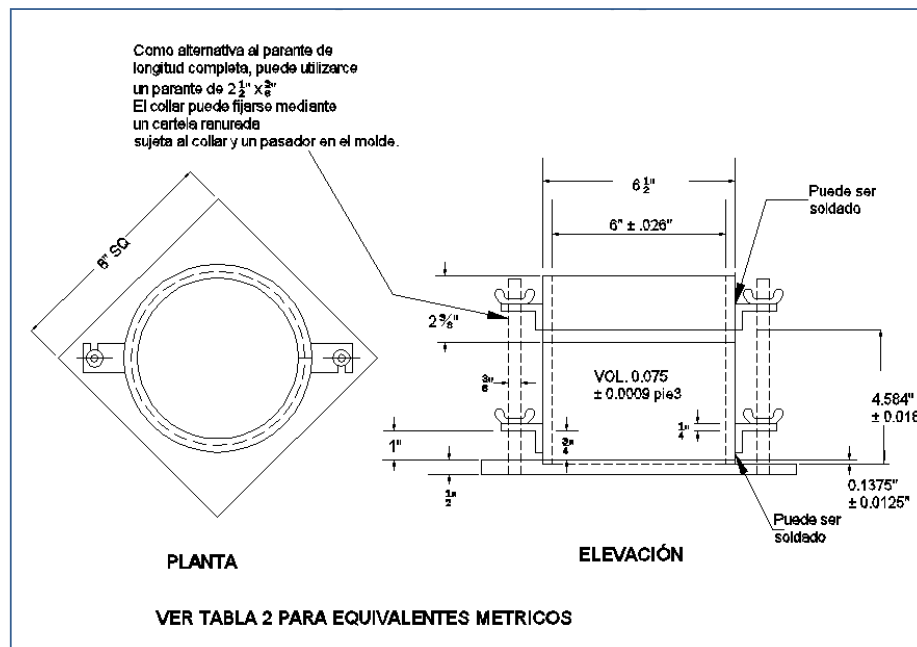


Figura 2: Molde cilíndrico de 6,0 pulg

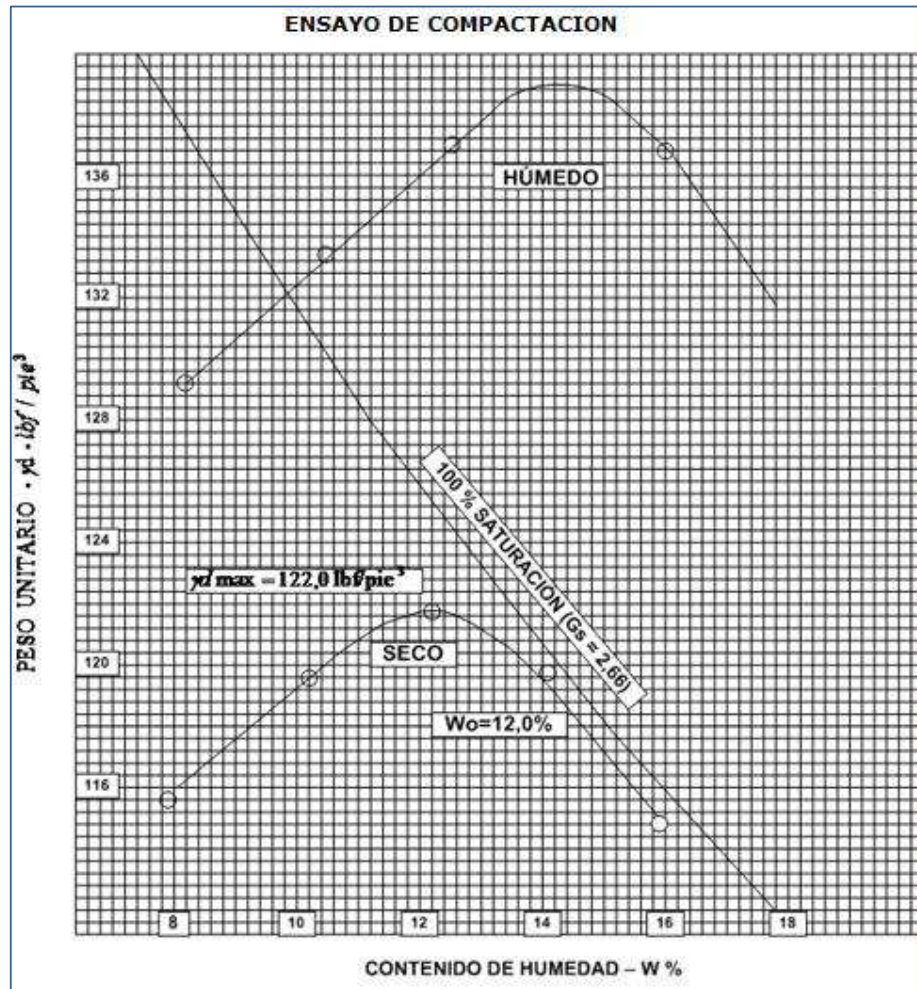


Figura 3. Ejemplo de Gráfico de Curva de Compactación

MTC E 116

COMPACTACION DEL SUELO EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA ESTANDAR (PROCTOR ESTANDAR)

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el Método de Ensayo para la Compactación del Suelo en Laboratorio utilizando una Energía Estándar ($600 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ($12\ 400 \text{ pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$)).

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método de ensayo cubre los procedimientos de compactación en el laboratorio que se utilizan para determinar las relaciones entre el contenido de agua y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde con un diámetro de 101,6mm ($12\ 400 \text{ pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$).

Nota 1. El equipo y los procedimientos son similares a los propuestos por R.R. Proctor (Engineering News Record, 7 de septiembre de 1933) con la excepción principal, que los golpes del pisón fueron referidos como "12 pulgadas de golpes firmes" en lugar de caída libre produciendo un esfuerzo variables de compactación dependiendo del operador, pero probablemente en el rango de 700 a $1,200 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ($15\ 000$ a $25\ 000 \text{ pie}\cdot\text{lb}/\text{ft}^3$). El ensayo de esfuerzo estándar es a veces referido como el Ensayo de compactación Proctor Estándar.

Nota 2. Las mezclas de suelos o de suelos agregados se les consideran como suelos finos, o de grano grueso o compuestos o mezclas de suelos naturales, o mezclas de suelos naturales o procesados o agregados tal como el limo o piedra partida.

- 2.2 Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ " pulg).

Nota 3. Para relaciones entre Peso Unitario y Contenido de Humedad de suelos con 30% ó menos en peso de material retenido en la malla 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg) a Pesos Unitarios y contenido de humedad de la fracción que pasa la malla de 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg), ver ensayo ASTM D 4718.

- 2.3 Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.

2.3.1 METODO "A"

- 2.3.1.1 Molde: 101,6 mm de diámetro (4 pulg)

- 2.3.1.2 Material: Se emplea el que pasa por el tamiz 4,75 mm (Nº 4).

- 2.3.1.3 Número de capas: 3

- 2.3.1.4 Golpes por capa: 25

- 2.3.1.5 Uso: Se utiliza cuando el 20% ó menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº 4).

- 2.3.1.6 Otros Usos: Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B ó C.

2.3.2 METODO "B"

- 2.3.2.1 Molde: 101,6 mm (4 pulg) de diámetro.

- 2.3.2.2 Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz de 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg).

- 2.3.2.3 Número de Capas: 3

- 2.3.2.4 Golpes por capa: 25

- 2.3.2.5 Usos: Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº 4) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg).
- 2.3.2.6 Otros Usos: Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.
- 2.3.3 METODO "C"
- 2.3.3.1 Molde: 152,4mm (6 pulg) de diámetro.
- 2.3.3.2 Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg).
- 2.3.3.3 Número de Capas: 3
- 2.3.3.4 Golpes por Capa: 56
- 2.3.3.5 Uso: Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg).
- 2.3.4 El molde de 152,4 mm (6 pulg) de diámetro no será usado con los métodos A ó B.
- Nota 4.** Los resultados tienden a variar ligeramente cuando el material es ensayado con el mismo esfuerzo de compactación en moldes de diferentes tamaños.
- 2.4 Si el espécimen de prueba contiene más de 5% en peso de un tamaño (fracción gruesa) y el material no será incluido en la prueba se deben hacer correcciones al Peso Unitario y Contenido de Agua del espécimen de ensayo ó la densidad de campo apropiada usando el método de ensayo ASTM D 4718.
- 2.5 Este método de prueba generalmente producirá un Peso Unitario Seco Máximo bien definido para suelos que no drenan libremente. Si el método de ensayo se utiliza para suelos que drenan libremente, no se definirá bien el Peso Unitario Seco máximo y puede ser menor que la obtenida usando el Método de Prueba ASTM D 4253 (NTP 339.137).
- 2.6 Los valores de las unidades del SI son reconocidos como estándar. Los valores establecidos por las unidades de pulgadas-libras son proporcionados sólo como información.
- 2.6.1 En ingeniería se acostumbra usar, indistintamente, unidades que representan masa y fuerza a menos que se realicen cálculos dinámicos ($F = m \cdot a$). Tácitamente combina dos sistemas diferentes de unidades, es decir un sistema absoluto y uno gravimétrico. Científicamente no se desea combinar el uso de dos sistemas diferente en uno estándar. Este método de ensayo se elaboró utilizando unidades pulg-libra (sistema gravimétrico) donde la libra (lbf) representa una unidad de fuerza. El uso de masa (lb m) es por conveniencia de las unidades y no intentan establecer que su uso sea científicamente correcto. Las conversiones del sistema SI son de acuerdo a la práctica ASTM E 380. El uso de balanzas que registran libras masa o registran la densidad en lbm/pe³ no debe considerarse como no conforme con esta norma.
- 2.7 Este método de ensayo no hace referencia a todos los riesgos relacionadas con este uso, si los hubiera. Es responsabilidad del usuario establecer la seguridad apropiada y prácticas o pruebas confiables y así determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su uso.
- 2.8 El suelo utilizado como relleno en Ingeniería (terraplenes, rellenos de cimentación, bases para caminos) se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de Ingeniería tales como: resistencia al esfuerzo de corte, compresibilidad ó permeabilidad. También los suelos de cimentaciones son a menudo compactados para mejorar sus propiedades de Ingeniería. Los ensayos de Compactación en Laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de agua que se necesitan para obtener las propiedades de Ingeniería requeridas, y para el control de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua.
- 2.9 Durante el diseño de los rellenos de Ingeniería, se utilizan los ensayos de corte consolidación permeabilidad u otros ensayos que requieren la preparación de especímenes de ensayo compactado a algún contenido de agua para algún Peso Unitario. Es práctica común, primero determinar el

óptimo contenido de humedad (w_o) y el Peso Unitario Seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) mediante un ensayo de compactación. Los especímenes de compactación a un contenido de agua seleccionado (w), sea del lado húmedo o seco del óptimo (w_o) ó al óptimo (w_o) y a un Peso Unitario seco seleccionado relativo a un porcentaje del Peso Unitario Seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$). La selección del contenido de agua (w), sea del lado húmedo o seco del óptimo (w_o) ó al óptimo (w_o), y el Peso Unitario Seco ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) se debe basar en experiencias pasadas, o se deberá investigar una serie de valores para determinar el porcentaje necesario de compactación.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.142: Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía estándar ($600 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ($12\ 400 \text{ pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$)).
- 3.2 ASTM D 698: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort ($12\ 400 \text{ pie}\cdot\text{lb}/\text{pie}^3$ ($600 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$))

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

- 4.1 Ensamblaje del Molde.- Los moldes deben de ser cilíndricos hechos de materiales rígidos y con capacidad que se indican en 4.1.1 ó 4.1.2 de este ensayo y Figuras 1 y 2. Las paredes del molde deberán ser sólidas, partidas o ahusadas. El tipo "partido" deberá tener dos medias secciones circulares, o una sección de tubo dividido a lo largo de un elemento que se pueda cerrar en forma segura formando un cilindro que reúna los requisitos de esta sección. El tipo "ahusado" debe tener un diámetro interno tipo tapa que sea uniforme y no mida más de $16,7 \text{ mm}/\text{m}$ ($0,200 \text{ pulg}/\text{pie}$) de la altura del molde. Cada molde tiene un plato base y un collar de extensión ensamblado, ambos de metal rígido y contruidos de modo que puedan adherir de forma segura y fácil de desmoldar. El ensamblaje collar de extensión debe tener una altura que sobrepase la parte más alta del molde por lo menos $50,8 \text{ mm}$ ($2,0 \text{ pulg}$) con una sección superior que sobrepasa para formar un tubo con una sección cilíndrica recta de por lo menos $19,0 \text{ mm}$ ($0,75 \text{ pulg}$), por debajo de ésta. El collar de extensión debe de alinearse con el interior del molde, la parte inferior del plato base y del área central ahuecada que acepta el molde cilíndrico debe ser plana.
 - 4.1.1 Molde de 4 pulgadas.- Un molde que tenga en promedio $101,6 \pm 0,4 \text{ mm}$ ($4,000 \pm 0,016 \text{ pulg}$) de diámetro interior, una altura de $116,4 \pm 0,5 \text{ mm}$ ($4,584 \pm 0,018 \text{ pulg}$) y un volumen de $944 \pm 14 \text{ cm}^3$ ($0,0333 \pm 0,0005 \text{ pie}^3$). Un molde con las características mínimas requeridas es mostrado en la Fig. 1.
 - 4.1.2 Molde de 6 pulgadas.- Un molde que tenga en promedio $152,4 \pm 0,7 \text{ mm}$ ($6,000 \pm 0,026 \text{ pulg}$) de diámetro interior, una altura de: $116,4 \pm 0,5 \text{ mm}$ ($4,584 \pm 0,018 \text{ pulg}$) y un volumen de $2\ 124 \pm 25 \text{ cm}^3$ ($0,075 \pm 0,0009 \text{ pie}^3$). Un molde con las características mínimas requeridas es mostrando en Fig.2.
- 4.2 Pisón ó Martillo.- Un pisón operado manualmente como el descrito en 4.2.1. ó mecánicamente como el descrito en 4.2.2. El pisón debe caer libremente a una distancia de $304,8 \pm 1,3 \text{ mm}$ ($12 \pm 0,05 \text{ pulg}$) de la superficie de espécimen. La masa del pisón será $2,5 \pm 0,01 \text{ kg}$ ($5,5 \pm 0,02 \text{ lb}\cdot\text{m}$), salvo que la masa pisón mecánico se ajuste al descrito en el Método de Ensayo ASTM D 2168 (ver Nota 5). La cara del pisón que golpea deberá ser plana y circular, excepto el nombrado en 4.2.3. con un diámetro de $50,80 \pm 0,13 \text{ mm}$ ($2,000 \pm 0,005 \text{ pulg}$), (Figuras 1 y 2). El pisón deberá ser reemplazado si la cara que golpea se desgasta ó se deforma al punto que el diámetro sobrepase los $50,80 \pm 0,25 \text{ mm}$ ($2,000 \pm 0,01 \text{ pulg}$).

Nota 5. Es práctica común y aceptable en el Sistema de libras-pulgadas asumir que la masa del pisón es igual a su masa determinada utilizado sea una balanza en kilogramos ó libras, y una libra-fuerza es igual a 1 libra-masa ó $0,4536 \text{ kg}$ ó 1 N es igual a $0,2248 \text{ libras-masa}$ ó $0,1020 \text{ kg}$.

- 4.2.1 Pisón Manual.- El pisón deberá estar equipado con una guía que tenga suficiente espacio libre para que la caída del pisón y la cabeza no sea restringida. La guía deberá tener al menos 4 orificios de ventilación en cada extremo (8 orificios en total) localizados con centros de $19,0 \pm 1,6 \text{ mm}$ ($3/4 \pm 1/16 \text{ pulg}$) y espaciados a 90° . Los diámetros mínimos de cada orificio de ventilación deben ser $9,5 \text{ mm}$ ($3/8 \text{ pulg}$). Orificios adicionales ó ranuras pueden ser incorporados en el tubo guía.

- 4.2.2 Pisón Mecánico Circular.- El pisón puede ser operado mecánicamente de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen. Debe haber $2,5 \pm 0,8$ mm ($0,10 \pm 0,03$ pulg) de espacio libre entre el pisón y la superficie interna del molde en su diámetro más pequeño. El pisón mecánico debe cumplir los requisitos de calibración requeridos por el Método de Ensayo ASTM D 2168. El pisón mecánico debe estar equipado con medios mecánicos capaz de soportar el pisón cuando no está en operación.
- 4.2.3 Pisón Mecánico.- Cuando es usado un molde de 152,4 mm (6,0 pulg), un sector de la cara del pisón se debe utilizar en lugar del pisón de cara circular. La cara que contacta el espécimen tendrá la forma de un sector circular de radio igual a $73,7 \pm 0,5$ mm ($2,90 \pm 0,02$ pulg). El pisón se operará de tal manera que los orificios del sector se ubiquen en el centro del espécimen.
- 4.3 Extractor de Muestras (opcional).- Puede ser una gata, estructura ú otro mecanismo adaptado con el propósito de extraer los especímenes compactados del molde.
- 4.4 Balanza.- Una balanza de tipo GP5 que reúna los requisitos de la Especificación ASTM D 4753, para una aproximación de 1 gramo.
- 4.5 Horno de Secado.- Con control termostático preferiblemente del tipo de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C a través de la cámara de secado.
- 4.6 Regla.- Una regla recta metálica, rígida de una longitud conveniente pero no menor que 254 mm (10 pulgadas). La longitud total de la regla recta debe ajustarse directamente a una tolerancia de $\pm 0,1$ mm ($\pm 0,005$ pulg). El borde de arrastre debe ser biselado si es más grueso que 3 mm (1/8 pulg).
- 4.7 Tamices ó Mallas.- De 19,0 mm ($3/4$ pulg), 9,5 mm ($3/8$ pulg) y 4,75mm (Nº 4), conforme a los requisitos de la especificaciones ASTM E 11.
- 4.8 Herramientas de Mezcla.- Diversas herramientas tales como cucharas, morteros, mezclador, paleta, espátula, botella de spray, etc. ó un aparato mecánico apropiado para la mezcla completo de muestra de suelo con incrementos de agua.

5.0 MUESTRA

- 5.1 La masa de la muestra requerida para el Método A y B es aproximadamente 16 kg (35 lbm) y para el Método C es aproximadamente 29 kg (65 lbm) de suelo seco. Debido a esto, la muestra de campo debe tener un peso húmedo de al menos 23 kg (50 lbm) y 45 kg (100 lbm) respectivamente.
- 5.2 Determinar el porcentaje de material retenido en la malla 4,75mm (Nº 4), 9,5mm ($3/8$ pulg) ó 19,0mm ($3/4$ pulg) adecuadamente para escoger el procedimiento A, B ó C. Realizar esta determinación separando una porción representativa de la muestra total y establecer los porcentajes que pasan las mallas de interés mediante el Método de Análisis por tamizado de Agregado Grueso y Fino (NTP 339.128 ó ASTM C 136). Sólo es necesario para calcular los porcentajes para un tamiz ó tamices de la información que se desea.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Preparación del Ensayo

6.1.1 SUELOS

- 6.1.1.1 No vuelva a usar el suelo que ha sido compactado previamente en laboratorio.
- 6.1.1.2 Utilice el método de preparación húmedo y cuando se ensaye con suelos que contienen hallosita hidratada o donde la experiencia con determinados suelos indica que los resultados pueden ser alterados por el secado al aire.
- 6.1.1.3 Preparar los especímenes del suelo para el ensayo de acuerdo al párrafo 6.1.2 (de preferencia) o con 6.1.3 de este ensayo.

6.1.2 METODO DE PREPARACION HUMEDA (PREFERIBLE)

6.1.2.1 Sin secado previo de la muestra, pásela a través del tamiz 4,75 mm (Nº 4), 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) ó 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg), dependiendo del Método a ser usado (A, B ó C). Determine el contenido de agua del suelo procesado.

6.1.2.2 Prepare mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes con contenidos de agua de modo que éstos tengan un contenido de agua lo más cercano al óptimo estimado. Un espécimen que tiene un contenido de humedad cercano al óptimo deberá ser preparado primero, añadiendo al cálculo agua y mezcla (ver Nota 6). Seleccionar los contenidos de agua para el resto de los especímenes de tal forma que resulten por lo menos dos especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua, que varíen alrededor del 2%. Como mínimo es necesario dos contenidos de agua en el lado seco y húmedo del óptimo para definir exactamente la curva de compactación del peso seco unitario (ver 7.1.1 de este ensayo). Algunos suelos con un óptimo contenido de agua muy alto ó una curva de compactación relativamente plana requieren grandes incrementos de contenido de agua para obtener un Peso Unitario Seco Máximo bien definido. Los incrementos de contenido de agua no deberán excederán de 4%.

Nota 6. Con la práctica generalmente es posible juzgar visualmente un punto cercano al óptimo contenido de agua. Generalmente, el suelo en un óptimo contenido de agua puede ser comprimido y quedar así cuando la presión manual cesa, pero se quebrará en dos secciones cuando es doblada. En contenidos de agua del lado seco del óptimo, los suelos tienden a desintegrarse; del lado húmedo del óptimo, se mantienen unidos en una masa cohesiva pegajosa. El óptimo contenido de humedad frecuentemente es ligeramente menor que el límite plástico.

6.1.2.3 Usar aproximadamente 2,3 kg (5 lbm) del suelo tamizado en cada espécimen que se compacta empleando el Métodos A ó B; ó 5,9 kg (13 lbm) cuando se emplee el Método C. Para obtener los contenidos de agua del espécimen que se indica en 6.1.2.2 de este ensayo, añada o remueva las cantidades requeridas de agua de la siguiente manera: Añada poco a poco el agua al suelo durante la mezcla; para sacar el agua, deje que el suelo se seque en el aire a una temperatura de ambiente o en un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 60°C. Mezclar el suelo continuamente durante el proceso de secado para mantener la distribución del contenido agua en todas partes y luego colóquelo aparte en un contenedor con tapa y ubíquelo de acuerdo con la Tabla Nº1 antes de la compactación. Para seleccionar un tiempo de espera, el suelo debe ser clasificado ó seleccionado mediante el método de ensayo NTP 339.134, la práctica ASTM D 2488 o mediante datos de otras muestras del mismo material de origen. Para ensayos de determinación, la clasificación deberá ser por Método de ensayo NTP 339.134 (ASTM D 2487).

6.1.3 METODO DE PREPARACION EN SECO

6.1.3.1 Si la muestra está demasiado húmeda, reducir el contenido de agua por secado al aire hasta que el material sea friable. El secado puede ser al aire o por el uso de un aparato de secado tal que la temperatura de la muestra no exceda de 60°C. Disgregar por completo los grumos de tal forma de evitar quebrar las partículas individuales. Pasar el material por el tamiz apropiado: 4,75 mm (Nº 4), 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) ó 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg). Durante la preparación del material granular que pasa la malla $\frac{3}{4}$ pulg para la compactación en el molde de 6 pulgadas, disgregar o separar los agregados lo suficientemente para que pasen el tamiz 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) de manera de facilitar la distribución de agua a través del suelo en el mezclado posterior.

6.1.3.2 Preparar mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes de acuerdo con 6.1.2.2.

6.1.3.3 Usar aproximadamente 2,3 kg del suelo tamizado para cada espécimen a ser compactado cuando se emplee el Método A, B ó 5,9 kg cuando se emplee el Método C. Añadir las cantidades requeridas de agua para que los contenidos de agua de los especímenes tengan los valores descritos en 6.1.2.2 de este ensayo. Seguir la preparación del espécimen por el procedimiento

especificado en 6.1.2.3 de este ensayo para los suelos secos ó adicionar agua en el suelo y el curado de cada espécimen de prueba.

6.1.4 Compactación.- Después del curado, si se requiere, cada espécimen se compactará de la siguiente manera:

6.1.4.1 Determinar y anotar la masa del molde ó molde y el plato de base.

6.1.4.2 Ensamble y asegure el molde y el collar al plato base. El molde se apoyará sobre un cimiento uniforme y rígido, como la proporcionada por un cilindro o cubo de concreto con una masa no menor de 91kg. Asegurar el plato base a un cimiento rígido. El método de unión al cimiento rígido deberá permitir un desmolde fácil del molde ensamblado, el collar y el plato base después que se concluya la compactación.

6.1.4.3 Compactar el espécimen en cinco capas. Después de la compactación, cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor. Antes de la compactación, colocar el suelo suelto dentro del molde y extenderlo en una capa de espesor uniforme. Suavemente apisonar el suelo antes de la compactación hasta que este no esté en estado suelto o esponjoso, usando el pisón manual de compactación o un cilindro de 5 mm (2 pulg) de diámetro. Posteriormente a la compactación de cada uno de las cuatro primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no han sido compactado o extendido cerca de la superficie compactada será recortada. El suelo recortado puede ser incluido con el suelo adicional para la próxima capa. Un cuchillo ú otro aparato disponible puede ser usado. La cantidad total de suelo usado será tal que la quinta capa compactada se extenderá ligeramente dentro del collar, pero no excederá 6 mm (1/4 pulg) de la parte superior del molde. Si la quinta capa se extiende en más de 6 mm (1/4 pulg) de la parte superior del molde, el espécimen será descartado. El espécimen será descartado cuando el último golpe del pisón para la quinta capa resulta por debajo de la parte superior del molde de compactación.

6.1.4.4 Compactar cada capa con 25 golpes para el molde de 101,6 mm (4 pulg) ó 56 golpes para el molde de 152,4 mm (6 pulgadas).

Nota 7. Cuando los especímenes de compactación se humedecen más que el contenido de agua óptimo, pueden producirse superficies compactadas irregulares y se requerirá del juicio del operador para la altura promedio del espécimen.

6.1.4.5 Al operar el pisón manual del pisón, se debe tener cuidado de evitar la elevación de la guía mientras el pisón sube. Mantener la guía firmemente y dentro de 5º de la vertical. Aplicar los golpes en una relación uniforme de aproximadamente 25 golpes/minuto y de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.

6.1.4.6 Después de la compactación de la última capa, remover el collar y plato base del molde, excepto como se especifica en 6.1.4.7 de este ensayo. El cuchillo debe usarse para ajustar o arreglar el suelo adyacente al collar, soltando el suelo del collar y removiendo sin permitir el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.

6.1.4.7 Cuidadosamente enrasar el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde. Un corte inicial en el espécimen en la parte superior del molde con un cuchillo puede prevenir la caída del suelo por debajo de la parte superior del molde. Rellenar cualquier hoyo de la superficie, con suelo no usado o cortado del espécimen, presionar con los dedos y vuelva a raspar con la regla recta a través de la parte superior e inferior del molde. Repetir las operaciones anteriores en la parte inferior del espécimen cuando se halla determinado el volumen del molde sin el plato base. Para suelos muy húmedos o muy secos, se perderá suelo o agua si el plato base se remueve. Para estas situaciones, dejar el plato base fijo al molde. Cuando se deja unido el plato base, el volumen del molde deberá calibrarse con el plato base unido al molde o a un plato de plástico o de vidrio como se especifica en el anexo A1 (A.1.4.1).

- 6.1.4.8 Determine y registre la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base al molde, determine y anote la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación al gramo.
- 6.1.4.9 Remueva el material del molde. Obtener un espécimen para determinar el contenido de agua utilizando todo el espécimen (se refiere este método) o una porción representativa. Cuando se utiliza todo el espécimen, quíbrelo para facilitar el secado. De otra manera se puede obtener una porción cortando axialmente por el centro del espécimen compactado y removiendo 500 g del material de los lados cortados. Obtener el contenido de humedad de acuerdo al Método ensayo NTP 339.127.
- 6.2 Procedimiento Operatorio
- 6.2.1 PREPARACION DE APARATOS
- 6.2.1.1 Seleccionar el molde de compactación apropiado de acuerdo con el Método (A, B ó C) a ser usado. Determinar y anotar su masa con aproximación al gramo. Ensamblar el molde, base y collar de extensión. Chequear el alineamiento de la pared interior del molde y collar de extensión del molde. Ajustar si es necesario.
- 6.2.1.2 Revise que el ensamblado del pisón este en buenas condiciones de trabajo y que sus partes no estén flojas ó gastado. Realizar cualquier ajuste ó reparación necesaria. Si los ajustes ó reparaciones son hechos, el martillo deberá volver a ser calibrado.
- 6.2.1.3 Calibración de los siguientes aparatos antes del uso inicial, después de reparaciones ú otros casos que puedan afectar los resultados del ensayo, en intervalos no mayores que 1000 muestras ensayadas o anualmente, cualquiera que ocurra primero; para los siguientes aparatos.
- Balanza.- Evaluar de acuerdo con especificaciones ASTM D 4753.
 - Moldes.- Determinar el volumen como se describe en Anexo A1.
 - Pisón Manual.- Verifique la distancia de caída libre, masa del pisón y la cara del pisón de acuerdo con 4.2 de este ensayo. Verificar los requisitos de la guía de acuerdo con 4.2.1 de este ensayo.
 - Pisón Mecánico.- Calibre y ajuste el pisón mecánico de acuerdo al Método de Ensayo ASTM D 2168. Además, el espacio libre entre el pisón y la superficie interior del molde debe verificarse de acuerdo a 4.2.2 de este ensayo.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcule el Peso Unitario Seco y Contenido de Agua para cada espécimen compactado como se explica en 7.1.3 y 7.1.4 de este ensayo. Plotee los valores y dibuje la curva de compactación como una curva suave a través de los puntos (ver ejemplo, Fig. 3). Plotee el Peso Unitario Seco con aproximación $0,2 \text{ kN/m}^3$ ($0,1 \text{ lbf/pie}^3$) y contenido de agua aproximado a 0,1%. En base a la curva de compactación, determine el Óptimo Contenido de Agua y el Peso Unitario Seco Máximo. Si más de 5% en peso del material sobredimensionado (tamaño mayor) fue removido de la muestra, calcular el Peso unitario seco máximo y óptimo contenido de Humedad corregido del material total usando la Norma ASTM D 4718. Esta corrección debe realizarse en el espécimen de ensayo de densidad de campo, más que al espécimen de ensayo de laboratorio.
- 7.1.2 Plotear la curva de saturación al 100%. Los valores de contenido de agua para la condición de 100% de saturación puede ser calculadas como se explica en 7.1.5 de este ensayo (ver ejemplo, Fig. 3).

Nota 8. La curva de saturación al 100% es una ayuda al diseñar la curva de compactación. Para suelos que contienen más de 10% de finos a contenidos de agua que superan el óptimo, las dos curvas generalmente llegan a ser aproximadamente paralelas con el lado húmedo de la curva de compactación entre 92% á 95% de saturación. Teóricamente, la curva de compactación no puede ser ploteada o trazarse a la derecha de la curva de 100% de saturación. Si esto ocurre, hay un

error en la gravedad específica, en las mediciones, en los cálculos, en procedimientos de ensayo o en el ploteo.

Nota 9. La curva de 100% de saturación se denomina algunas veces como curva de relación de vacíos cero o la curva de saturación completa.

7.1.3 Contenido de Agua, w .- Calcular de acuerdo con Método de Ensayo 339.127.

7.1.4 Peso Unitario Seco.- Calcular la densidad húmeda (Ec 1), la densidad seca (Ec 2) y luego el Peso Unitario Seco (Ec 3) como sigue:

$$\rho_m = 1000 \times \frac{(M_t - M_{md})}{V} \quad (1)$$

Donde:

ρ_m	=	Densidad Húmeda del espécimen compactado en (M/m ³)
M_t	=	Masa del espécimen húmedo y molde (kg)
M_{md}	=	Masa del molde de compactación (kg)
V	=	Volumen del molde de compactación (m ³) (Ver Anexo A1)

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}} \quad (2)$$

Donde:

ρ_d	=	Densidad seca del espécimen compactado en (Mg/m ³)
w	=	Contenido de agua (%)

$$\gamma_d = 62,43 \rho_d \text{ en } \text{lbf/ pie}^3 \quad (3)$$

$$\gamma_d = 9,807 \rho_d \text{ en } \text{kN/m}^3 \quad (4)$$

Donde:

γ_d	=	Peso unitario seco del espécimen compactado.
------------	---	--

7.1.5 En el cálculo de los puntos para el ploteo de la curva de 100% de saturación o curva de relación de vacíos cero del peso unitario seco, seleccione los valores correspondientes de contenido de agua a la condición de 100% de saturación como sigue:

$$W_{\text{sat}} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma_d}{(\gamma_d)(G_s)} \times 100 \quad (5)$$

Donde:

W_{sat}	=	Contenido de agua para una saturación completa (%).
γ_w	=	Peso unitario del agua 9,807kN/m ³ ó (62,43 lbf/ pie ³).
γ_d	=	Peso unitario seco del suelo.
G_s	=	Gravedad específica del suelo.

Nota 10. La gravedad específica puede ser calculada para los especímenes de prueba en base de datos de ensayos de otras muestras de la misma clasificación de suelo y origen. De otro modo sería necesario el ensayo de Gravedad Específica NTP 339.131.

7.2 INFORME

7.2.1 Reportar la siguiente información:

7.2.1.1 Procedimiento usado (A, B o C).

7.2.1.2 Método usado para la preparación (húmedo ó seco).

7.2.1.3 El contenido de agua recibida, si se determinó.

7.2.1.4 El óptimo Contenido de Agua Modificado, con aproximación al 0,5%.

7.2.1.5 El Peso Unitario Seco Máximo, con aproximación a 0,5 lbf/pie³.

7.2.1.6 Descripción del Pisón (Manual ó Mecánico).



- 7.2.1.7 Datos del tamizado del suelo para la determinación del procedimiento (A, B ó C) empleado.
- 7.2.1.8 Descripción o Clasificación del material usado en la prueba (ASTM D 2488-NTP 339.134).
- 7.2.1.9 Gravedad Específica y Método de Determinación.
- 7.2.1.10 Origen del material usado en el ensayo, por ejemplo, proyecto, lugar, profundidad, etc.
- 7.2.1.11 Ploteo de la Curva de Compactación mostrando los puntos de compactación utilizados para establecerla y la curva de compactación y la curva de 100% saturación, el punto de Peso Unitario Seco Máximo y Optimo Contenido de Agua.
- 7.2.1.12 El dato de Corrección por Fracción Sobredimensionada si es usado, incluyendo la fracción sobredimensionada (Fracción Gruesa), P_c en %.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.2 El criterio de precisión de los resultados obtenidos de este método está basado en resultados obtenidos de un programa interlaboratorio, conducido por un laboratorio acreditado referente con muestras por tipo de suelo.

8.2 DISPERSION

- 8.2.3 No existe un valor de referencia aceptado para este método de ensayo, por lo tanto, la dispersión no puede ser determinada.

ANEXO A**(INFORMACION OBLIGATORIA)****A1. VOLUMEN DEL MOLDE DE COMPACTACION****A1.1 OBJETIVO**

A1.1.1 Este anexo describe el procedimiento para la determinación del volumen del molde de compactación.

A1.1.2 El volumen es determinado por un método de llenado con agua y chequeado con un método de medición lineal.

A1.2 APARATOS

A1.2.1 En adición a los aparatos listados en la sección 4, los siguientes ítems son requeridos:

A1.2.1.1 Vernier o Dial Calibrado, graduado en un rango de medición de por lo 0 mm a 150 mm (0 a 6 pulgadas) y sensibilidad de 0,02 mm (0,001 pulg.).

A1.2.1.2 Micrómetro Interior, graduado en un rango de 50 a 300 mm (2 a 12 pulg.) y aproximación de lectura a 0,02 mm (0,001 pulg.).

A1.2.1.3 Platos de Plástico ó Vidrio, Dos platos de vidrio o plástico de espesor 200 mm² por 6 mm de grosor (8 pulg.² por 1/4 pulg.).

A1.2.1.4 Termómetro, de un rango de 0 - 50 °C, con graduaciones cada 0,5 °C, de acuerdo a las Especificaciones ASTM E 1.

A1.2.1.5 Llave de cierre engrasada o sellador similar.

A1.2.1.6 Equipo diverso; jeringa de pera, secadores, etc.

A1.3 PRECAUCIONES

A1.3.1 Desarrollar este procedimiento en un área aislada de corrientes de aire y fluctuaciones extremas de temperatura.

A1.4 PROCEDIMIENTO

A1.4.1 Método de Llenado de agua:

A1.4.1.1 Engrasar ligeramente la base del molde de compactación y colocarlo en uno de los platos de plástico ó vidrio. Engrasar ligeramente la parte superior del molde. Tener cuidado de no engrasar el interior del molde. Si es necesario usar el plato base, como se anota en 6.1.4.7 de este ensayo, colocar al molde engrasado en el plato base y asegurar con los tornillos sujetadores.

A1.4.1.2 Determinar la masa del molde engrasado y platos de vidrio o plástico con aproximación al 1 g (0,01 lbm).

A1.4.1.3 Colocar el molde y la base del plato en una superficie nivelada, firme y llenar el molde con agua ligeramente hasta los bordes.

A1.4.1.4 Deslizar el segundo plato sobre el borde superior del molde de tal manera que el molde quede completamente lleno de agua y sin burbujas de aire atrapadas. Añadir o quitar agua si es necesario, con la jeringa bombilla.

A1.4.1.5 Secar completamente cualquier exceso de agua del exterior del molde y platos.

A1.4.1.6 Determinar el peso del molde, platos y agua y registrar con aproximación a 1 g (0,01 lbm).

A1.4.1.7 Determinar la temperatura del agua en el molde con aproximación 1 °C y registrar. Determinar la densidad absoluta del agua según la Tabla A1.1.

A1.4.1.8 Calcular el peso del agua en el molde restando el peso determinado en A1.4.1.2 del registrado en A1.4.1.6.

- A1.4.1.9 Calcular el volumen de agua dividiendo el peso del agua por la densidad de agua y registrar con aproximación a 1 cm³ (0,0001 pie³).
- A1.4.1.10 Cuando el plato de base es usado para la calibración del volumen el molde repetir los pasos A1.4.1.3 al A1.4.1.9.
- A1.4.2 Método de Mediciones Lineales:
- A1.4.2.1 Usando el vernier calibrador o el micrómetro interior, medir el diámetro del molde seis veces la parte superior del molde y seis veces en la parte inferior del molde, espaciando proporcionalmente cada una de las seis mediciones alrededor de la circunferencia del molde. Registrar valores con aproximación a 0,02 mm (0,001 pulgadas).
- A1.4.2.2 Usando el vernier calibrador, medir la altura interior del molde realizando tres medidas igualmente espaciados alrededor de la circunferencia del molde. Registrar los valores con aproximación 0,02 mm (0,001 pulgadas).
- A1.4.2.3 Calcular el promedio del diámetro de la parte superior del molde, promedio del diámetro de la parte inferior del molde y el promedio de la altura.
- A1.4.2.4 Calcular el volumen del molde y registrar con aproximación a 1 cm³ (0,0001 pie³) utilizando la ecuación A1a (para pulgadas-libra) ó A1b (para SI):

$$V = \frac{(\pi)(h)(d_t + d_b)^2}{(16)(1728)} \quad (A.1.a)$$

$$V = \frac{(\pi)(h)(d_t + d_b)^2}{(16)(10)^3} \quad (A.1.b)$$

Donde:

- V = Volumen de molde, cm³, (pie³)
- Hdt = Promedio de altura, mm, (pulg). Promedio de diámetro de la parte superior, mm (pulg)
- db = Promedio de diámetro de la parte inferior, mm (pulg)
- 1/1728 = Constante para convertir pulg³ a pie³
- 1/103 = Constante para convertir mm³ a cm³

- A1.5 Comparación de Resultados
- A1.5.1 El volumen obtenido por otro método debe estar dentro de los requisitos de tolerancia de 4.1.1. y 4.1.2 de este ensayo.
- A1.5.2 La diferencia entre los dos métodos no debe ser mayor que 0,5 % del volumen nominal del molde.
- A1.5.3 Repetir la determinación de volumen si estos criterios no se consigue cumplir con los requisitos.
- A1.5.4 La falla en la obtención de un acuerdo satisfactorio entre los dos métodos incluso después de varias tentativas, es una indicación que el molde se encuentra muy deformado y debe ser reemplazado.
- A1.5.5 Emplear el volumen del molde determinado, con el método de llenado en agua, como el valor de volumen asignado para cálculo de humedad y densidad seca (ver 7.1.4 de este ensayo).

Tabla 1
Tiempo de permanencia requerido para saturación de especímenes

Clasificación	Tiempo de permanencia mínimo en horas
GW, GP, SW, SP	No se requiere
GM, SM	3
Todos los demás suelos	16

Tabla 2
Equivalencia métricas para las figuras N° 1 y 2

Pulgadas	milímetros
0,016	0,41
0,026	0,66
0,032	0,81
0,028	0,71
½	12,70
2 ½	63,50
2 ⅝	66,70
4	101,60
4 ½	114,30
4,584	116,43
4 ¾	120,60
6	152,4
6 ½	165,10
6 ⅝	168,30
6 ¾	171,40
8 ¼	208,60

pie ³	cm ³
1/30 (0,0333)	943
0,0005	14
1/13,333 (0,0750)	2 124
0,0011	31

Tabla A.1.1
Densidad del Agua

Temperatura °C (°F)	Densidad del Agua g/ml
18 (64,4)	0,99862
19 (66,2)	0,99843
20 (68,0)	0,99823
21 (69,8)	0,99802
22 (71,6)	0,99779
23 (73,4)	0,99756
24 (75,2)	0,99733
25 (77,0)	0,99707
26 (78,8)	0,99681

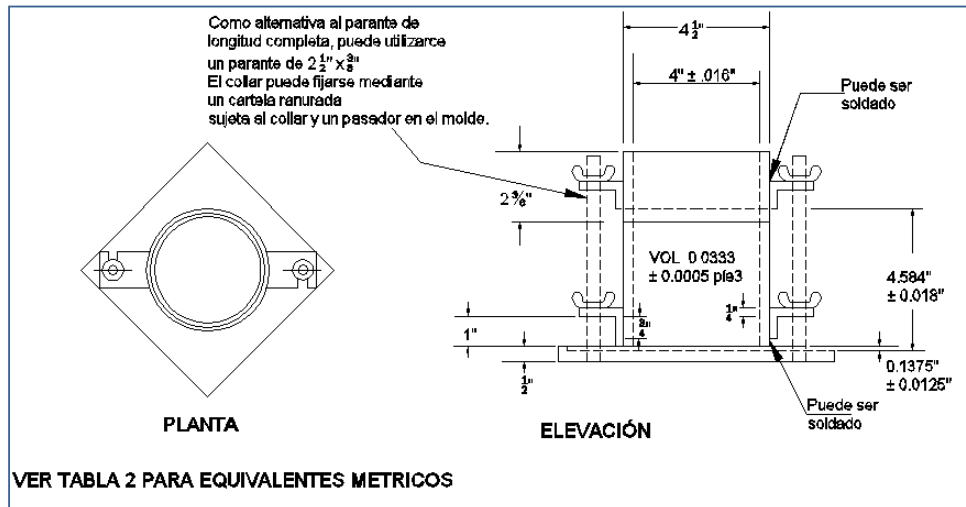


Figura 1: Molde cilíndrico de 4,0 pulg

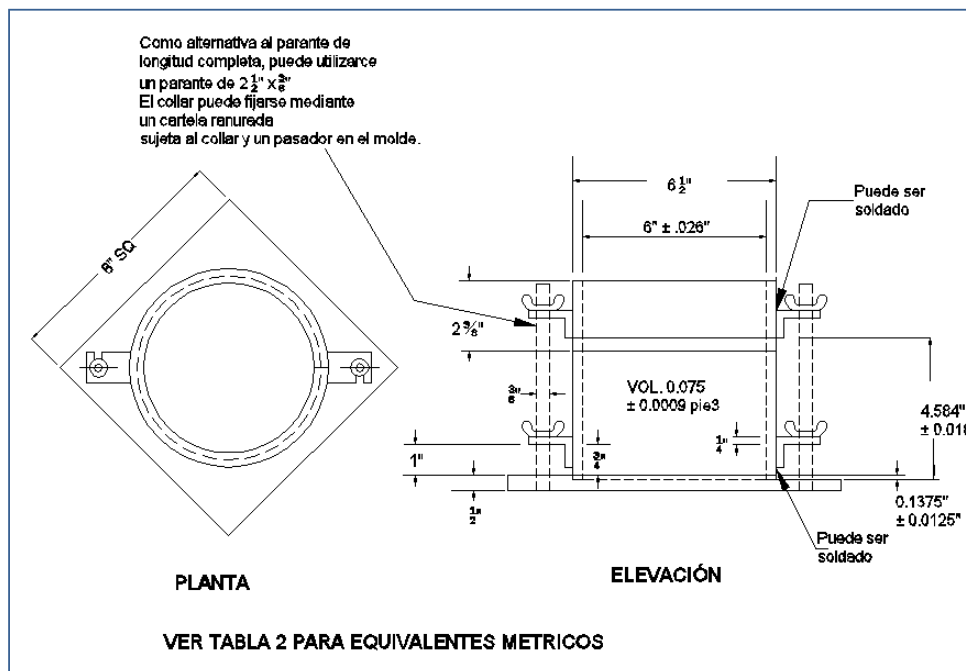


Figura 2: Molde cilíndrico de 6,0 pulg

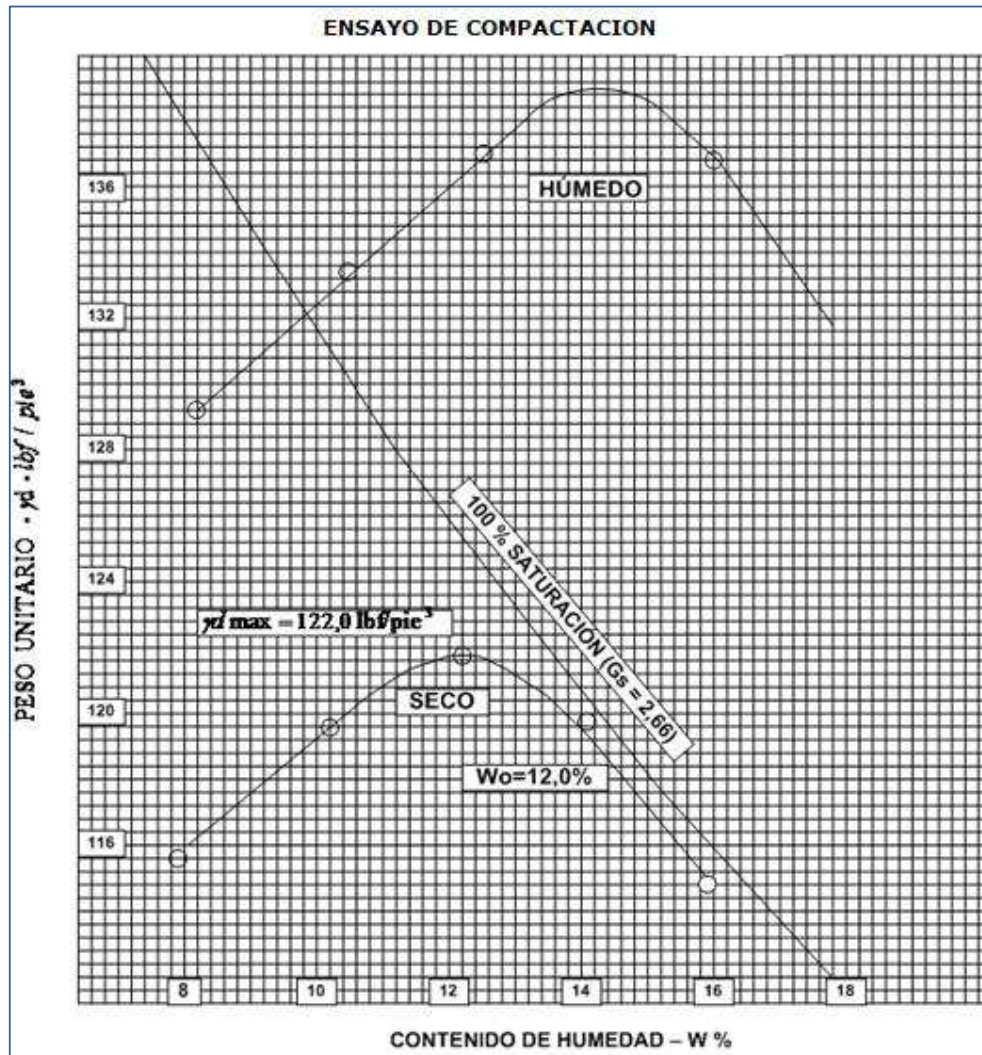


Figura 3: Ejemplo de Gráfico de Curva de Compactación

MTC E 117

ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO INSITU MEDIANTE EL METODO DEL CONO DE ARENA

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el método de ensayo estándar para determinar la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método es usado para determinar la densidad de suelos compactados que se encuentran en el lugar durante la construcción de terraplenes de tierra, capas de rodadura, rellenos de carreteras y estructuras de contención. Es comúnmente utilizado como base de aceptación para suelos compactados a una densidad específica o a un porcentaje de densidad máxima determinada por un método de ensayo normado.
- 2.2 Este método puede ser usado para determinar la densidad in-situ de depósitos de suelos naturales, agregados, mezcla de suelos u otro material similar.
- 2.3 Este método de ensayo se aplica a suelos que no contengan una cantidad excesiva de roca o materiales gruesos con un diámetro mayor a 1 ½ pulg (38 mm).
- 2.4 Esta norma también puede utilizarse para determinar la densidad y el peso unitario de suelos inalterados o suelos in-situ, que contengan vacíos naturales o cuando los poros sean lo suficientemente pequeños para prevenir que la arena usada en el ensayo penetre en los vacíos naturales. El suelo u otro material que esté sometido a prueba deberá tener la suficiente cohesión o atracción entre partículas para mantener estables los lados de un pequeño hoyo o excavación y debe estar lo suficientemente firme como para soportar la mínima presión ejercida al momento de cavar el orificio y colocar el equipo sobre él, sin que se deforme o caiga.
- 2.5 Cuando los materiales que se van a someter a prueba contengan cantidades considerables de partículas mayores a 1 ½ pulg (38 mm), o cuando los volúmenes de los orificios de ensayo son mayores a 0,1 pie³ (2830 cm³), se aplica el Método de Ensayo ASTM D 4914 o ASTM D 5030.
- 2.6 Es práctica común en la profesión de ingeniería utilizar corrientemente unidades de medida para representar tanto unidades de masa como unidades de fuerza. Esto implícitamente combina dos sistemas de unidades diferentes, esto es, el sistema absoluto y el sistema gravitacional. Científicamente, no es recomendable combinar el uso de dos clases diferentes de unidades dentro de una norma simple. Este método de ensayo ha sido elaborado utilizando el sistema gravitacional de unidades cuando se tratan las unidades en el sistema de centímetros y gramos. En este sistema, el gramo (gf) representa una unidad de fuerza (peso). Sin embargo, el uso de balanzas o escalas para registrar medidas de masa (gm) o para registrar la densidad en gm/cm³ puede establecerse como conforme a este método de ensayo.
- 2.7 El uso de este método está limitado generalmente a suelos en una condición de no saturados. Este método no es recomendable para suelos que sean suaves o desmenuzables (que se desmoronan fácilmente), o estén en una condición de humedad tal que el agua filtre dentro del hoyo excavado a mano. La precisión de este ensayo puede ser afectada por suelos que se deforman fácilmente o que sufran cambios volumétricos en el hoyo excavado debido a que el personal camine o se detenga cerca del hoyo durante el ensayo (ver Nota 1).

Nota 1. Cuando se efectúa la prueba en suelos blandos condiciones suaves o en suelos que se acercan a la saturación. Pueden ocurrir cambios de volumen en el orificio excavado, como un resultado de la carga superficial debido al personal que se encuentra realizando la prueba o similares. Muchas veces esto se puede evitar utilizando una plataforma que debe estar apoyada a cierta distancia del orificio. Como no siempre es posible detectar cuando tiene lugar un cambio de volumen, los resultados de la prueba siempre deben compararse con la densidad de saturación teórica o la línea de cero vacíos de aire sobre la curva de densidad seca versus contenido de

humedad. Cualquier prueba de densidad in situ en suelos compactados cuya saturación excede el 95% es un indicio de que se ha cometido un error, o que el volumen del orificio ha variado durante la prueba.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.143: Suelos. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Aparato de Densidad de cono de arena, consiste en lo siguiente:

- A. Un frasco desarmable u otro contenedor de arena que tenga una capacidad de volumen que exceda el volumen requerido para llenar el orificio de prueba y el aparato durante la prueba.
- B. Un dispositivo desarmable que consiste en una válvula cilíndrica con un orificio de ½" (13 mm) de diámetro, unido a un embudo de metal, un contenedor de arena con terminación en punta conectado y a un embudo largo de metal (cono de arena) en el otro extremo. La válvula debe tener un freno (seguro) para prevenir la rotación de una posición completamente abierta a otra completamente cerrada. El dispositivo se construirá de un metal suficientemente rígido para prevenir la distorsión o el cambio del volumen en el cono. Las paredes del cono formaran un ángulo de aproximadamente 60° con la base, para permitir un llenado uniforme de la arena.
- C. Un plato de metal cuadrado ó rectangular, con un orificio central y un borde para recibir el embudo grande (cono) del aparato descrito en 4.1.1-B de este ensayo. La placa debe ser plana y cuadrada en la base y será como mínimo 3" (75 mm) más largo que el embudo (cono de arena) y será lo suficientemente grueso como para mantenerse rígido, con un espesor de 3/8" a 1/2" (10 a 13mm).
- D. Los detalles del aparato descrito se muestran en la Fig.1 y representan las dimensiones mínimas aceptables y adecuadas para ensayar suelos que tienen un tamaño máximo de 2" (50mm) y volumen del orificio de ensayo de aproximadamente 0,1 pie³ (2 830 cm³). Cuando el material a ensayarse contiene un pequeño porcentaje de partículas extradimensionadas y alargadas, el ensayo debe ser trasladado a una nueva ubicación. Se necesitan aparatos y volúmenes del orificio de prueba más grandes cuando prevalecen las partículas mayores que 2" (50 mm). El aparato aquí descrito representa un diseño que ya ha sido probado satisfactoriamente. Pueden utilizarse aparatos más grandes u otros diseños de proporciones simples, siempre y cuando se observen los principios básicos de la determinación del volumen de arena. Cuando se requieran volúmenes del orificio de prueba mayores a 0,1 pies³ (5660 cm³), puede utilizarse el método de ensayo ASTM D 4914.

- 4.1.2 Balanzas: Una balanza de capacidad mínima de 20 kg con una sensibilidad de 5,0 g de lectura es aceptable para determinar la masa de la arena y el suelo excavado cuando se utiliza el aparato con las dimensiones mostradas en la fig 1.

- 4.1.3 Equipo de Secado: Controlado termostáticamente, capaz de mantenerse a una temperatura de 110 ± 5°C, para determinar el contenido de humedad de la muestra extraída del hoyo.

- 4.1.4 Equipo Diverso: Cuchillo, pico pequeño, cincel, espátula pequeña, destornillador o cucharas para excavar el hoyo del ensayo, cubos con tapa, latas de estaño sin costuras laterales ó de aluminio con tapa, costales plásticos u otro recipiente adecuado para retener la densidad y humedad de la muestra y la densidad de la arena; termómetro para la determinación de la temperatura del agua, brocha pequeña, calculadora, libreta de apuntes, etc.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Arena: Deberá ser limpia, uniforme, seca, no cementada, durable y que discurra libremente. Tener un coeficiente de uniformidad ($C_u = D_{60}/D_{10}$) menor de 2 y el tamaño máximo de partículas menor que 2,0 mm (Malla N° 10) y menos del 3% en peso que pase la malla de 250 μ m (Malla N° 60).

Debe estar libre de finos y partículas de arena fina para prevenir cambios significativos en la densidad de la masa por cambios diarios en la humedad atmosférica. Son deseables arenas naturales, redondeadas. Las arenas trituradas, partida o que tengan partículas angulares no son libres de escurrir en caída libre, por lo que esta condición puede causar una acción puente y estructuras inestables lo cual tendría resultados inadecuados y por lo tanto imprecisión en la determinación de la densidad (Nota 2). Para seleccionar la arena de una fuente o cantera potencial se debe efectuar una gradación y cinco (5) determinaciones de la densidad de masa por separado, las cuales deben ser hechas para cada recipiente o saco de arena de acuerdo a los procedimientos que se establecen en el Anexo 2. Para ser aceptable la arena, la variación de densidad-volumen entre cualquier determinación y el promedio no debe ser mayor de 1% del promedio. Antes de usar la arena en determinaciones de densidad, esta debe ser secada, luego se deja que tome la humedad del aire del sitio donde va a ser usada (véase Nota 3). La arena para ser nuevamente usada, deberá estar libre de cualquier suelo contaminante, verificarse su gradación y secarla y volver a determinar la densidad y el volumen (véase Nota 4). Las pruebas de densidad y volumen de la arena deben ser hechas a intervalos no mayores de 14 días, siempre después de cualquier cambio significativo de humedad atmosférica; antes de volver a usar la arena y antes de usar un nuevo material previamente aprobado (véase Nota 5).

En áreas de alta humedad o donde la humedad cambia frecuentemente, la densidad y el volumen pueden necesitar ser determinados en un tiempo mayor a los 14 días de intervalo máximo indicados. La necesidad de revisiones más frecuentemente puede determinarse comparando los resultados de diferentes pruebas de densidad y volumen en la misma arena, hecha en diferentes condiciones de uso por encima de un periodo de tiempo

Nota 2. Algunas arenas manufacturadas (partidas) como arenas producto de explosiones, se han utilizado exitosamente con buena reproducibilidad. La reproducibilidad de los resultados de ensayo que utilizan arena angular debe revisarse bajo situaciones de ensayo controladas en laboratorio antes de seleccionar una arena angulosa para su uso.

Nota 3. Muchas organizaciones han encontrado beneficioso almacenar arenas en contenedores resistentes a la humedad. La arena debe almacenarse en áreas secas protegidas del clima. El empleo de una bombilla u otra fuente de calor dentro de o adyacente a los contenedores de almacenamiento también se ha encontrado beneficioso en áreas de alta humedad

Nota 4. Como regla general, no es recomendable la arena con segundo uso.

Nota 5. La mayoría de las arenas tiene tendencia a absorber la humedad de la atmósfera. Una muy pequeña cantidad de humedad absorbida puede hacer un cambio sustancial en la densidad y el volumen. En áreas de alta humedad o donde la humedad cambia frecuentemente, la densidad y el volumen pueden necesitar ser determinados en un tiempo mayor a los 14 días de intervalo máximo indicado. La necesidad de revisiones más frecuentes puede determinarse comparando los resultados de diferentes pruebas de densidad y volumen en la misma arena, hecha en diferentes condiciones de uso por encima de un período de tiempo.

5.0 MUESTRA

- 5.1 La masa de la arena requerida para llenar el aparato y el plato base se determinará según las instrucciones que se especifica en el Anexo A1 antes de su uso.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Seleccione una ubicación/elevación que sea representativa del área que se va a probar y determine la densidad del suelo in-situ de la siguiente manera:
 - 6.1.1 Inspeccione el cono por si hubiera algún daño, la rotación libre de la válvula y cerciórese de que el plato de base funcione apropiadamente. Llene el contenedor del cono con la arena condicionada para la cual ya se ha determinado la densidad según el Anexo A2, y determine la masa total.
 - 6.1.2 Prepare la superficie del sitio que se va a ensayar de tal manera que sea un plano nivelado. El plato de base debe utilizarse como una herramienta para remover la superficie a un plano de nivel suave.

- 6.1.3 Coloque el plato de base sobre la superficie plana, asegurándose de que existe contacto con la superficie del terreno alrededor del borde del orificio central. Marque el contorno del plato de base para revisar el movimiento durante la prueba y, si es necesario, asegure el plato contra el movimiento que se cause utilizando clavos insertados dentro del suelo adyacente al filo del plato, o en otros términos, sin disturbar el suelo que se va a probar.
- 6.1.4 En suelos donde la nivelación no es exitosa o la superficie presenta vacíos, el volumen que se expulsa horizontalmente y que está limitado por el embudo, el plato y la superficie del terreno debe determinarse mediante un ensayo preliminar. Llene el espacio con arena del aparato, determine la masa de la arena utilizada para llenar el espacio, rellene el aparato y determine una nueva masa inicial del mismo y de la arena antes de proceder con la prueba. Después de que se complete esta medida, limpie cuidadosamente con una brocha la arena que queda sobre la superficie preparada (véase Nota 6).
- Nota 6.** Puede tomarse un segundo aparato calibrado para el campo cuando se anticipa esta condición (en vez de volver a llenar o hacer una segunda determinación). Puede utilizarse el procedimiento en 5.1.4 de este ensayo. Para cada prueba cuando se desea la mayor producción donde se pueda obtener una superficie relativamente suave.
- 6.1.5 Se excava el hoyo de prueba a través del orificio central en el plato de base, teniendo cuidado de evitar que se disturbe o se deforme el suelo que delimitará el orificio. Los volúmenes del orificio de prueba serán tan grandes como para que sean prácticos y minimicen los errores, y en ningún caso serán más pequeños que los volúmenes indicados en la Tabla 1 para el tamaño máximo de la partícula del suelo removido del orificio de prueba. Los lados del orificio deben inclinarse levemente hacia adentro, y la parte central debe ser razonablemente plana o cóncava. El orificio debe mantenerse lo más libre posible de vacíos, salientes y obstrucciones fluidas ya que esto afectaría la exactitud de la prueba. Los suelos que son esencialmente granulares requieren extremo cuidado y también requieren que se cabe un orificio de prueba de forma cónica. Coloque todo el suelo excavado y cualquier otro suelo que se haya soltado durante la excavación, en un contenedor hermético que esté marcado para identificar el número de prueba. Tenga cuidado de evitar la pérdida de cualquier material. Proteja este material de cualquier pérdida de humedad hasta que se haya determinado la masa y se haya obtenido la muestra para la determinación del contenido de agua.

TABLA 1**Volúmenes Mínimos del Hoyo de Ensayo Basados en el Tamaño Máximo de la Partícula**

Tamaño Máximo de la partícula		Volumen Mínimo del Orificio de Ensayo	
Pulgada	mm	cm ³	pies ³
1/2	12,5	1420	0,05
1	25,0	2120	0,075
2	50,0	2830	0,1

- 6.1.6 Limpie el borde del orificio del plato base, voltee el aparato de cono de arena y coloque el embudo del mismo en un orificio rebordado en la misma posición que se marcó durante la calibración (véase Anexo A1). Elimine o minimice en el área de prueba las vibraciones que pueda causar el personal que realiza la prueba o el equipo que se utiliza. Abra la válvula y deje que la arena llene el orificio, el embudo y el plato base. Trate de evitar que el aparato se sacuda o vibre mientras la arena está corriendo. Cuando la arena deje de fluir, cierre la válvula.
- 6.1.7 Determine la masa del aparato con la arena restante, regístrela y calcule la masa de la arena utilizada.
- 6.1.8 Determine y registre la masa del material húmedo que se extrajo del orificio de prueba. Cuando se requiera correcciones del material de mayor tamaño, determine la masa de este material en la malla apropiada y regístrela, teniendo cuidado de evitar pérdidas de humedad. Cuando se requiera,

efectúe las correcciones apropiadas para el material de mayor tamaño utilizando la Práctica ASTM D 4718.

- 6.1.9 Mezcle el material cuidadosamente y obtenga un espécimen representativo para determinar el contenido de húmedo o, en todo caso, utilice una muestra completa.
- 6.1.10 Determine el contenido de humedad de acuerdo al Método de Ensayo MTC E 108. Se realizarán correlaciones para el método MTC E 108 cuando lo requieran otros métodos de ensayo.
- 6.2 Los especímenes para el contenido de humedad deben ser lo suficientemente grandes y seleccionados de tal manera que representen todo el material obtenido del orificio de prueba. La masa mínima de la muestra para determinar el contenido de agua es aquella que se requiere para dar valores del contenido de humedad exactos al 1%.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Los cálculos mostrados son en gramos para la masa y en centímetros cúbicos para el volumen. Se permite otras unidades siempre y cuando cuenten con los factores apropiados de conversión; esto es para mantener cuidadosamente la consistencia de las unidades de cálculo.

7.1.2 Calcule el volumen del orificio de prueba de la siguiente manera:

$$V = \frac{(M_1 - M_2)}{\rho_1}$$

Donde:

- V = volumen del orificio de prueba, cm³.
- M₁ = masa de la arena utilizada para llenar el orificio de prueba, embudo y plato de base, g (de 5.1.7).
- M₂ = masa de la arena utilizada para llenar el embudo y el plato de base, (del anexo A1.2.2.3) g.
- ρ₁ = densidad del volumen de la arena (del Anexo A2.3.5), g/cm³.

7.1.3 Calcule la masa seca del material extraído del orificio de prueba tal como sigue:

$$M_4 = \frac{100 \cdot M_3}{(W + 100)}$$

Donde:

- W = contenido de humedad del material extraído del orificio de prueba, % (de 6.1.2).
- M₃ = masa húmeda del material del hueco de ensayo, g (de 5.1.8).
- M₄ = masa seca del material del hueco de ensayo, g.

7.1.4 Calcule la densidad húmeda y seca in-situ del material ensayado de la siguiente manera:

$$\rho_m = M_3 / V$$

$$\rho_d = M_4 / V$$

Donde:

- V = volumen del orificio de prueba, cm³ (de 6.1.2)
- M₃ = masa húmeda del material del orificio de prueba, g (de 5.1.8)
- M₄ = masa seca del material del orificio de prueba, g (de 6.1.3)
- ρ_m = densidad húmeda del material probado, o su peso unitario húmedo γ_m, en g/cm³
- ρ_d = densidad seca del material probado, o su peso unitario seco γ_d, en g/cm³.

7.1.5 Es preferible expresar la densidad in-situ como un porcentaje de alguna otra densidad, por ejemplo, las densidades de laboratorio determinadas de acuerdo a los Métodos de Ensayo MTC E 115, MTC

E 116, ASTM D 4253 ó ASTM D 4254. Esta relación puede determinarse dividiendo la densidad in-situ entre la densidad de laboratorio y multiplicándola por 100. Los cálculos para determinar la densidad relativa se dan en el Método de Ensayo ASTM D 4254. Las correcciones para el material de mayor tamaño pueden realizarse de acuerdo a la práctica ASTM D 4718, en caso sea requerido.

7.2 INFORME

El Informe debe contener como mínimo, los siguientes datos:

- 7.2.1 Ubicación de la prueba, elevación, espesor del estrato probado u otros datos pertinentes para ubicar o identificar la prueba.
- 7.2.2 Volumen del orificio de ensayo, en cm^3 .
- 7.2.3 Densidad húmeda in-situ, en g/cm^3 .
- 7.2.4 Densidad seca in-situ, ρ_d , en g/cm^3 .
- 7.2.5 Peso unitario seco in-situ, en kN/m^3 ($\rho_d \times 9,807$), expresado lo más cercano posible a $0,1 \text{ kN}/\text{m}^3$.
- 7.2.6 Contenido de agua del suelo in-situ, expresado como un porcentaje de masa seca, y el método de ensayo utilizado.
- 7.2.7 Identidad del aparato de prueba y volumen calibrado.
- 7.2.8 Densidad del volumen de la arena utilizada, en g/cm^3 .
- 7.2.9 Descripción visual del suelo o designación del material.
- 7.2.10 Masa y porcentaje de las partículas de mayor tamaño y el tamaño de la malla utilizada, en caso se hay empleado una.
- 7.2.11 Comentarios acerca del ensayo, si se da el caso.
- 7.2.12 Si la densidad sea in-situ o el peso está expresado como un porcentaje de otro valor, incluya lo siguiente:
 - a) El método de ensayo de laboratorio utilizado.
 - b) La densidad seca comparativa o el valor del peso unitario y el contenido de agua utilizado.
 - c) La corrección del material de mayor tamaño y detalles, si se diera el caso.
 - d) El porcentaje comparativo del material in-situ para el valor de comparación.
- 7.2.13 Si la densidad in-situ, el peso unitario o el contenido de humedad van a utilizarse para una aceptación, incluya los criterios de aceptación que se aplican al ensayo.

8.0 PRECISIÓN Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 Establecimiento de la Precisión – Debido a la naturaleza del suelo o de los materiales rocosos que se probaron mediante este método, aún no es posible, o en todo caso sería muy costoso en estos momentos, producir especímenes múltiples que tengan propiedades físicas uniformes. Cualquier variación que se observe en los datos es sólo una probabilidad que se debe a la variación del espécimen o al operador, o una variación de la prueba de laboratorio.

8.2 DISPERSION

8.2.1 Establecimiento de la Confiabilidad – No existe un valor de referencia aceptado para este método de ensayo, por lo tanto, la confiabilidad no puede ser determinada.

ANEXOS

(Información Recomendable)

A1 CALIBRACION DEL APARATO DE CONO DE ARENA

A1.1 ALCANCES

A1.1.1 Este anexo describe el procedimiento para determinar la masa de la arena contenida en el embudo y en el plato base del aparato de cono de arena.

A1.1.2 La masa de arena contenida en el aparato y en plato base depende de la densidad y volumen de la arena. En consecuencia, este procedimiento de realizarse por cada aparato en cualquier momento que haya cambios en la densidad volumétrica de la arena.

A1.2 PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN

A1.2.1 La calibración del aparato puede cumplirse mediante cualquiera de estos dos métodos:

A1.2.1.1 Método A. – Determinado la masa de la arena calibrada que puede estar contenida en cada conjunto de embudo y plato base, o

A1.2.1.2 Método B. – Determinando el volumen de la arena que se necesita para llenar cada conjunto de embudo y plato base y aplicando este volumen constante en el momento que se calcule la densidad y volumen de la arena nueva.

A1.2.1.3 Debido a que la masa de la arena contenida en el aparato de embudo y plato base depende de la densidad y volumen de la arena, cuando se utilice el Método A, debe repetirse dicho método al momento que haya cambios en la densidad volumétrica de la arena.

A1.2.2 Todas las determinaciones de la masa serán lo más cercano posible a 5 g.

A1.2.3 **Método A:**

A1.2.3.1 Llene el aparato con la arena que está seca y condicionada al mismo estado anterior, durante el uso en la prueba.

A1.2.3.2 Determine la masa del aparato lleno con arena, g.

A1.2.3.3 Coloque el plato base en una superficie plana, nivelada y limpia. Inserte el contenedor/aparato y coloque el embudo en el orificio central rebordado en el plato base. Marque e identifique el aparato y el plato base de tal manera que ambos puedan identificarse y reubicarse en la misma posición durante la prueba.

A1.2.3.4 Abra completamente la válvula hasta que la arena deje de fluir, asegurándose de que el aparato, el plato base o la superficie plana no se agite o vibre antes de que se cierre la válvula.

A1.2.3.5 Cierre bien la válvula, saque el aparato y determine la masa del aparato y la arena restante. Calcule la masa de la arena utilizada para llenar el embudo y el plato base como la diferencia entre la masa inicial y final.

A1.2.3.6 Repita el procedimiento por lo menos tres veces. La variación máxima entre cualquiera de las determinaciones y el promedio no debe exceder el 1%. Utilice el promedio de las tres determinaciones para este valor en los cálculos del ensayo.

A1.2.4 **Método B (Opcional):**

A1.2.4.1 Cuando se anticipa un gran número de pruebas y lotes de arena, puede ser ventajoso determinar el volumen de cada aparato y plato base. Si se tiene cuidado con el aparato o se maneja adecuadamente los platos base, este volumen se mantendrá constante y evitará la necesidad de repetir el Método A cuando cambie la densidad volumétrica de la arena (véase Nota A1.1). Si se elige esta alternativa, se debe alterar los cálculos en la prueba de campo para determinar el volumen total de la arena en el orificio de ensayo de campo y el aparato. Luego se sustrae el volumen del aparato para determinar el volumen de orificio de prueba.

- A1.2.4.2 Determine la masa de la arena requerida para llenar el embudo del aparato y el plato base de acuerdo al anexo A.1.2.3, siguiendo los pasos A.1.2.3.1 hasta el A1.2.3.6 para cada lote de arena.
- A1.2.4.3 Calcule el volumen del embudo y del plato base dividiendo la densidad volumétrica de la arena (tal como se determina en el Anexo A2) entre la masa de la arena encontrada en A1.2.3.6. Realice un mínimo de tres determinaciones y calcule el valor promedio. La variación máxima del volumen entre cualquiera de las determinaciones y el promedio no debe exceder el 1%. Utilice el promedio de los valores cuando realice cálculos de prueba.

Nota A1.1. El aparato de cono de arena debe tener una inspección rutinaria, pues cualquier daño podría afectar el volumen del cono. Guiñaduras, golpes externos o cualquier otro daño afectara el volumen y necesitara volver a determinar el volumen (si es que se puede).

A2. CALIBRACION DE LA DENSIDAD DE LA ARENA

A2.1 ALCANCES

- A2.1.1 Este anexo se utiliza para determinar la densidad volumétrica (calibración) de la arena que se va a utilizar en este método de prueba.
- A2.1.2 La calibración determina la densidad promedio de la arena que se va a utilizar para calcular el volumen del orificio de prueba.

A2.2 EQUIPO REQUERIDO

- A2.2.1 Contenedor.- Seleccione un contenedor de volumen conocido que sea aproximadamente de la misma medida y permite que la arena caiga aproximadamente la misma distancia que el orificio excavado durante la prueba de campo. Se recomienda utilizar los moldes de 1/30 pies³ (944 cm³) y de 1/13,33 pies³ (2 124 cm³) que se especifican en el Método de Ensayo MTC E 115 y MTC E 116, o el molde de 0,1 pie³ (2 830 cm³) especificado en el Método de Ensayo NTP 339.137. De manera alterna pueden duplicarse los orificios de ensayo mediante moldes vaciados con yeso sobre un amplio rango de volúmenes y utilizándolos como formas para los moldes concretos de cemento Pórtland. Estos deben moldearse contra una superficie plana y lisa, y después de que se haya removido el agua sellada y el volumen determinado, tal como se indica en el procedimiento del Método de ensayo NTP 339.137.
- A2.2.2 Aparto de Cono de Arena. – Utilice un aparato de cono de arena del mismo tamaño y diseño como el que se utilizará durante la prueba de campo.
- A2.2.2.1 Las características de flujo se han mostrado a través del ensamblaje de valores diferentes para causar valores de densidad volumétrica diferentes. La determinación de la densidad volumétrica será requerida para cada aparato o menos que se determine que otros aparatos dan los mismos resultados.
- A2.2.3 Balanza.- Una balanza que tenga una capacidad suficiente como para determinar la masa del contenedor de calibración llenada con arena. Para contenedores de 0,500 pies³ (14 200 cm³), se requiere una balanza que tenga una capacidad mínima de 50 lb (20kg) y reúna los requerimientos de la Especificación ASTM D 4753, para una lectura de 0,01 lb (5 g).
- A2.2.4 Regla recta metálica. – de alrededor de 2 pulg (50 mm) de ancho, al menos 1/8 pulg (3mm) de espesor y un largo de aproximadamente 1,5 veces más del diámetro del contenedor de calibración.
- ### A2.3 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD VOLUMÉTRICA
- A2.3.1 Llene el aparato ensamblado con arena. La arena debe secarse y acondicionarse al mismo estado anterior durante el uso.
- A2.3.2 Determine y anote la masa del contenedor de calibración cuando esté vacío.

A2.3.3 Método A (Preferible):

- A2.3.3.1 Cuando el contenedor de calibración tenga el mismo diámetro que el orificio central rebordeado en el plato base, invierta y centre el aparato llenado de arena y el plato base en el contenedor de calibración.
- A2.3.3.2 Abra la válvula completamente y deje que la arena llene el contenedor. Cuando la arena deje de fluir, cierre la válvula.
- A2.3.3.3 Determine la masa del aparato y de la arena restante. Calcule la masa neta de la arena en el contenedor de calibración sustrayendo la masa de la arena contenida en el cono y en el plato base (tal como se determina en el Anexo A1) y anótela.

A2.3.4 Método B (Alternativo):

- A2.3.4.1 Voltee y apoye el aparato sobre el contenedor de calibración de tal manera que la arena caiga aproximadamente en la misma distancia y ubicación como en la prueba de campo, y luego abra la válvula completamente.
- A2.3.4.2 Llene el contenedor hasta que rebalse y cierre la válvula. Utilizando un número mínimo de lotes y teniendo cuidado de no hacer vibrar o densificar una superficie nivelada suave. Cualquier vibración o movimiento durante la determinación de la densidad volumétrica tendrá como consecuencia el asentamiento y la densificación de la arena, llevando a resultados erróneos.
- A2.3.4.3 Limpie cualquier arena que se encuentre fuera del contenedor de calibración. Determine la masa del contenedor y de la arena. Registre la masa neta de la arena sustrayendo la masa del contenedor de vacío.
- A2.3.5 Realice por lo menos tres determinaciones de densidad volumétrica y calcule el promedio. La variación máxima entre cualquiera de las determinaciones y el promedio no debe exceder el 1%. Las determinaciones repetidas que no reúnan estos requerimientos indican una densidad de la arena no-uniforme, y la fuente de la arena debe volver a evaluarse para que los resultados sean adecuados. El valor promedio obtenido se utilizará en los cálculos de la prueba.

A2.4 CÁLCULO.

- A2.4.1 Calcule la densidad volumétrica de la arena de la siguiente manera.

$$\rho_1 = M_5 / V_1$$

Donde:

- ρ_1 = volumen del contenedor de calibración, cm^3 (multiplique por 9,807 para kN/m^3).
- M_5 = masa de la arena para llenar el contenedor de calibración, g (de A2.3.4.3.), y
- V_1 = volumen del contenedor de calibración, cm^3 (de A2.2.1.1).

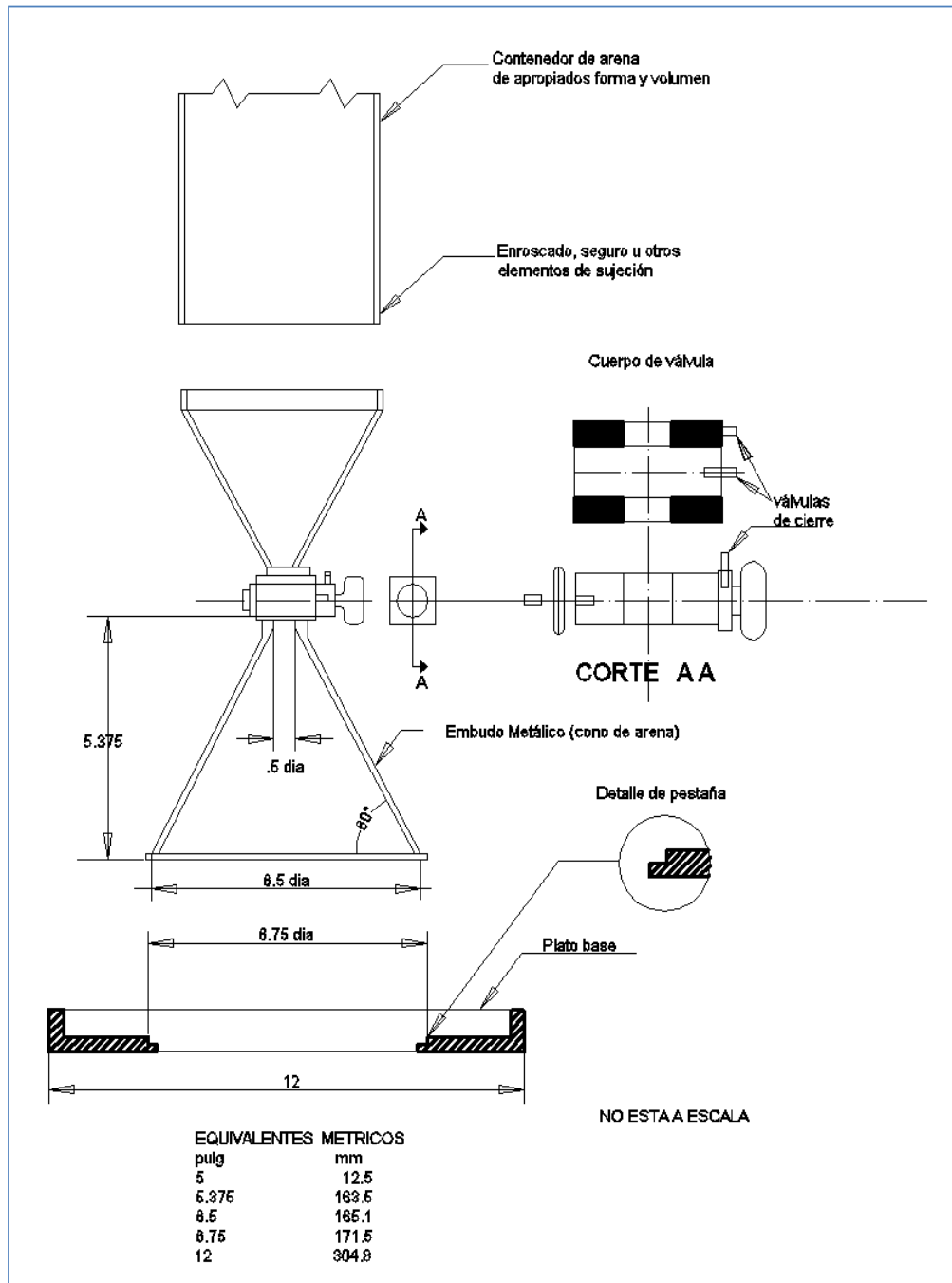


Figura 1. Aparato de densidad

MTC E 118

MATERIA ORGANICA EN SUELOS (PERDIDA POR IGNICION)

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinación del contenido orgánico en suelos con Pérdida por Ignición de aquellos materiales identificados como turbas, lodos orgánicos y suelos que contengan materia vegetal relativamente no descompuesta ni deteriorada o materiales de plantas frescas como madera, raíces, pasto o materiales carbonáceos como lignito, carbón, etc.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este modo operativo sirve para determinar la oxidación cuantitativa de materia orgánica en materiales identificados como turbas, lodos orgánicos y suelos que contengan materia vegetal relativamente no descompuesta o materiales como madera, raíces, pasto o materiales carbonáceos y proporciona una estimación válida del contenido orgánico.
- 2.2 Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 AASHTO T 267: Standard Method of Test for Determination of Organic Content in Soils by Loss on Ignition.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Horno ó estufa, que permita mantener temperaturas de 110 ± 5 °C
- 4.1.2 Balanza, de 1200 g de capacidad y con una sensibilidad de 0,01 g
- 4.1.3 Mufla, que pueda mantener una temperatura continua de 445 ± 10 °C y que tenga una cámara de combustión donde se pueda acomodar el recipiente designado con la muestra. El registro del pirómetro deberá indicar la temperatura mientras se halle en uso.
- 4.1.4 Crisoles o platos de evaporación. De pedernal, aleaciones de aluminio, porcelana o níquel de 30 a 50 mL de capacidad o platos de evaporación de porcelana, de 100 mm de diámetro superior.
- 4.1.5 Desecadores, de tamaño adecuado.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Recipientes a prueba de moho, de metal, porcelana, vidrio o recubiertos de plástico.
- 4.2.2 Suministros misceláneos. Guantes de asbesto, pinzas, espátula, etc.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Tomar una muestra representativa, que pese al menos 100 g, de una porción del material que pase el tamiz de 2,00 mm (Nº 10) y la cual haya sido obtenida de acuerdo con el Método MTC E 106, "Preparación en seco de muestras de suelo para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas".

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Colocar en un recipiente la muestra y séquese en el horno a 110 ± 5 °C hasta peso constante. Remuévase la muestra del horno, Colóquese en el desecador y déjese enfriar.

Nota 1. Puede permitirse que la muestra permanezca en el horno hasta cuando se vaya a proseguir con el resto del ensayo.

- 6.2 Escoger una muestra de peso aproximado de 10 a 40 g; colóquese en crisoles tarados o en platos de evaporación de porcelana y pése, con aproximación a 0,01 g.

Nota 2. Los pesos de muestra de materiales livianos como la turba pueden ser menores de 10 g, pero debería ser de suficiente cantidad para llenar el crisol al menos hasta 3/4 de profundidad. Puede requerirse inicialmente una tapa sobre el crisol durante la fase inicial de ignición para disminuir la posibilidad de que la muestra sea arrojada fuera del recipiente.

- 6.3 Colocar el crisol o el plato que contiene la muestra dentro de la mufla durante 6 horas a 445 ± 10 °C. Remuévase la muestra de la mufla, colóquese en el desecador y permítase enfriar.
- 6.4 Remover la muestra enfriada del desecador y pése con aproximación a 0,01 g.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 El contenido orgánico deberá expresarse como un porcentaje del peso del suelo seco en el horno (después de la ignición) y deberá calcularse así:

$$\% \text{ de materia orgánica} = \frac{A - B}{B - C} \times 100$$

Donde:

A= Peso del crisol o plato de evaporación y del suelo seco al horno antes de la ignición.

B= Peso del crisol o plato de evaporación y del suelo seco después de la ignición.

C= Peso del crisol o plato de evaporación, con aproximación a 0,01 gramos.

7.2 INFORME

- 7.2.1 Se debe informar el porcentaje del contenido orgánico con aproximación al 0,1%.

MTC E 119

METODO DE ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR SPT

1.0 OBJETO

- 1.1 Describe el procedimiento, generalmente conocido como Ensayo de Penetración Estándar (SPT), de hincar un muestreador de caña partida para obtener una muestra representativa de suelo y medir la resistencia del suelo a la penetración del muestreador.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método proporciona una muestra de suelo para investigación y ensayos de laboratorio a partir de un muestreador, el cual puede producir gran alteración en la muestra debido a la deformación por corte.
- 2.2 Es ampliamente usado en la gran mayoría de proyectos de exploración geotécnica, y por tanto puede existir correlaciones locales de la cuenta de golpes N, con el comportamiento en ingeniería de obras de tierra y fundaciones.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1.1 NTP 339.134 SUELOS. Método para la Clasificación de Suelos con propósitos de Ingeniería.
- 3.1.2 ASTM D 2488 Standard Practice for Description and Identification (Visual-Manual Procedure).
- 3.1.3 ASTM D 4220 Standard Practice for Preserving and Transporting Soil Samples.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Equipo de perforación: Cualquier equipo de perforación será aceptable, que proporcione al tiempo del muestreo una cavidad razonablemente limpia antes de introducir el muestreador y asegure que el ensayo de penetración se realice en suelo inalterado. Las piezas de equipo siguientes han demostrado ser apropiados para el avance de una perforación en algunas condiciones de subsuelo.
 - 4.1.1.1 Brocas de arrastre: con corte o con cola de pez, menores de 6,5 pulg (162 mm) y mayores de 2,2 pulg (56 mm) de diámetro pueden usarse en conexión con métodos de perforación por rotación en cavidad abierta o por avance de entubado. Para evitar la perturbación en el suelo inferior no se permite brocas con descarga de fondo. Solo se permiten brocas con descarga lateral.
 - 4.1.1.2 Brocas de cono-rodillo: menores de 6,5 pulg (162 mm) y mayores de 2,2 pulg (56mm) de diámetro pueden usarse en conexión con métodos de perforación por rotación de cavidad abierta o por avance de entubado, si la descarga del fluido de excavación es desviada.

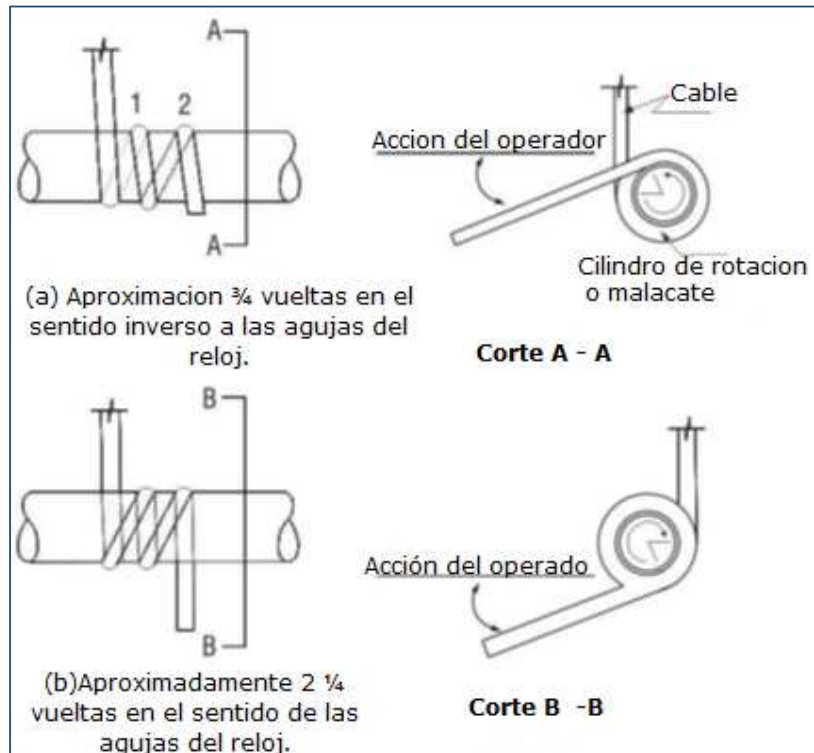


Figura 1: Definiciones del número de vueltas del cable y del ángulo:
a) movimiento o rotación contraria a las agujas del reloj;
b) rotación en el mismo sentido

- 4.1.1.3 Barrenos continuos con eje hueco: con o sin ensamblaje de broca central, pueden usarse para perforar. El diámetro inferior de los barrenos con eje hueco deberán ser menores de 6,5 pulg (162 mm) y mayores de 2,2 pulg (56 mm).
- 4.1.1.4 Barrenos continuos sólidos: de tipo balde y manuales, menores de 6,5 pulg (162mm) y mayores de 2,2 pulg (56 mm) de diámetro pueden usarse si el suelo en las paredes laterales del sondaje no colapsa sobre el muestreador o las varillas durante el muestreo.
- 4.1.1.5 Varillas de muestreo. Deberán usarse varillas de perforación de acero de unión rápida para conectar el muestreador de caña partida con el ensamblaje de caída de peso. La varilla de muestreo deberá tener una rigidez (momento de inercia) igual o mayor a aquella de una varilla "A" de paredes paralelas (una varilla de acero con un diámetro exterior de $1 \frac{5}{8}$ pulg (41,2 mm) y un diámetro interior de $1 \frac{1}{8}$ pulg (28,5 mm)).

Nota 1. Investigación reciente y ensayos comparativos indican que el tipo de varilla utilizada, con rigideces de varillas tamaño "A" a tamaño "N", tendrán un efecto despreciable en los valores de N hasta profundidades de por lo menos 100 pies (30 metros).

- 4.1.2 Muestreador de caña partida. El muestreador deberá ser construido con las dimensiones indicadas en la Figura 2. La zapata deberá ser de acero endurecido y deberá ser reemplazada o reparada cuando esté abollada o deformada. Se permite el uso de revestimientos para producir un diámetro constante interior de $1 \frac{3}{8}$ pulg (35mm), pero deberá anotarse si éstos se emplean en el registro de perforación. Se permite el empleo de canastillas de retención de muestras, debiéndose indicar su empleo en el registro de perforación.

Nota 2. La teoría y los datos disponibles sugieren que el valor de N puede aumentar en 10 a 30%.

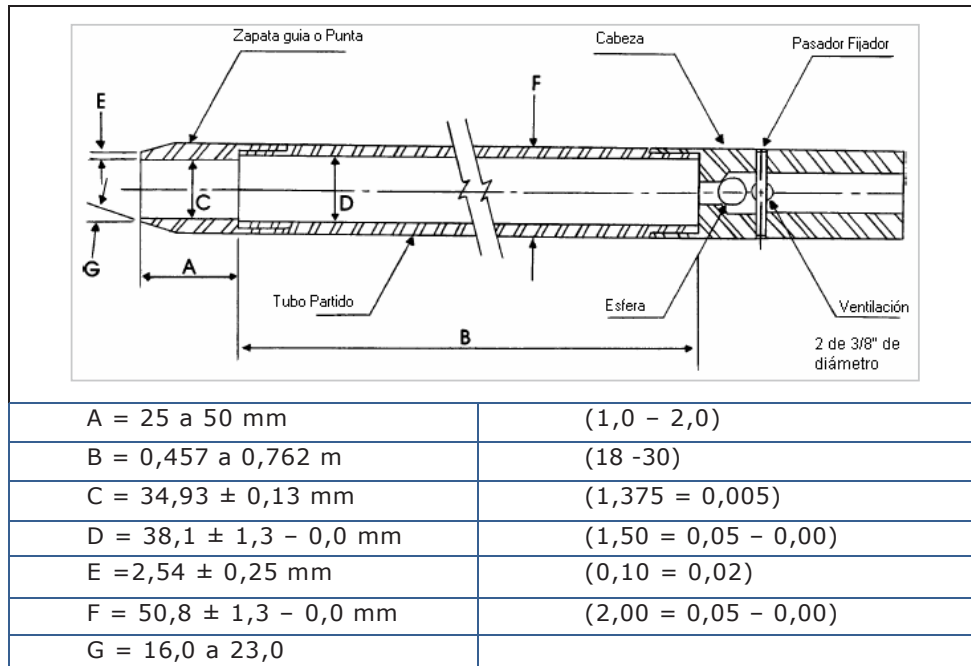


Figura 2: Muestreador de tubo partido

4.1.3 Ensamblaje de Caída-Peso

4.1.3.1 Martillo y yunque. El martillo deberá pesar $63,5 \pm 1$ Kg y deberá ser una masa metálica sólida y rígida. El martillo deberá golpear el yunque y realizar un contacto acero-acero cuando se deja caer. Deberá utilizarse una guía que permita una caída libre. Los martillos que se usan con el método de malacate y soga, deberán tener una capacidad de sobreelevación libre de por lo menos 4 pulg (100 mm). Por razones de seguridad se recomienda el empleo de un equipo con yunque interno.

Nota 3. Se sugiere que la guía del martillo tenga una marca permanente para permitir que el operador o inspector pueda verificar la altura de caída del martillo.

4.1.3.2 Sistema de Caída del Martillo. Puede utilizarse sistemas de malacate-soga, semiautomático o automático, siempre y cuando el aparato de levante no cause penetración del muestreador cuando se engancha y levanta el martillo.

4.1.4 Equipo accesorio. Deberán proporcionarse etiquetas, contenedores, hojas de datos y equipos para medir el nivel de agua, de acuerdo con los requisitos del proyecto.

5.0 MUESTRA

5.1 muestra de suelo para investigación y ensayos de laboratorio a partir de un muestreador

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PROCEDIMIENTO DE PERFORACION

6.1.1 El sondaje deberá ser avanzado por incrementos, para permitir muestreo continuo o intermitente. Los intervalos y las localizaciones de ensayo son especificados por el ingeniero o geólogo. Los intervalos seleccionados son típicamente de 5 pies (1,5 m) o menos en estratos homogéneos con ensayos y muestreos a cada cambio de estrato.

6.1.2 Será aceptable cualquier procedimiento de perforación que proporcione una cavidad razonable limpia y estable antes de introducir el muestreador y asegure que el ensayo se realiza en suelo esencialmente inalterado. Cada uno de los procedimientos siguientes ha sido probado como aceptable para algunas condiciones del subsuelo anticipadas al seleccionar el método de perforación a emplearse.

6.1.2.1 Método de perforación por rotación.

6.1.2.2 Método de barreno continuo con eje hueco.

6.1.2.3 Método de lavado.

6.1.2.4 Método de barreno continuo con eje sólido.

6.1.3 Varios métodos de perforación producen sondajes inaceptables. No deberá permitirse el proceso de chorro a través de un muestreador de tubo abierto seguido del muestreo cuando se alcanza la profundidad deseada. El método de barreno continuo con eje sólido no deberá ser usado para avanzar el sondaje del nivel freático o debajo de la cama superior confinante de un estrato no cohesivo confinado que está bajo presión artesiana. El entubado no debe ser avanzado por debajo del punto de muestreo antes de realizar el muestreo. No se permite avanzar la perforación con brocas de descarga de fondo. No se permite avanzar la perforación mediante la subsecuente inserción del muestreador solamente por medio de muestreo previo con el muestreador SPT.

6.1.4 El nivel del fluido de perforación dentro del sondaje o barrenos de eje hueco, deberá ser mantenido al nivel o por encima del nivel freático del terreno en todo momento durante la perforación, remoción de varillas de perforación y muestreo.

6.2 PROCEDIMIENTO DE MUESTREO Y ENSAYO

6.2.1 Después que el sondaje se ha avanzado hasta la elevación del muestreo deseado y se ha removido los sobrantes de la excavación, preparar el ensayo con la secuencia de operación siguiente:

6.2.1.1 Asegurar el muestreador de caña partida a las varillas de muestreo y bajarlas en el sondaje. No se permitirá que el muestreador caiga en el suelo a ser ensayado.

6.2.1.2 Colocar el martillo por encima y conectar el yunque a la parte superior de las varillas de muestreo. Esto puede ser hecho antes que las varillas de muestreo y el muestreador se bajen a la perforación.

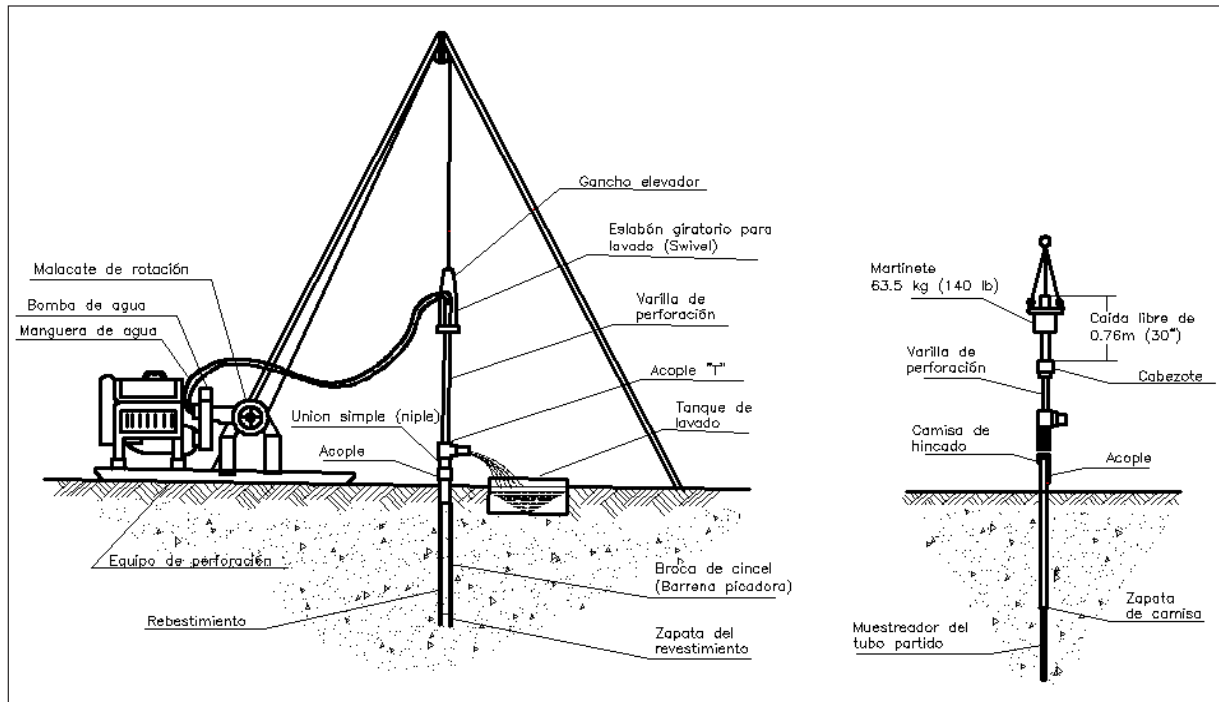


Figura 3: Esquema general del equipo de perforación

6.2.1.3 Descansar el peso muerto del muestreador, varillas, yunque y peso de hinca, en el fondo de la perforación y aplicar un golpe de asiento. Si se encuentran muchos sobrantes en el fondo de la

perforación, remover el muestreador y las varillas de la perforación y sacar los sobrantes de la perforación.

- 6.2.2 Marcar las varillas de perforación en tres incrementos sucesivos de 6 pulg (0,5m), de modo que el avance del muestreador bajo el impacto del martillo pueda ser observado fácilmente en cada incremento de 6 pulg (0,15m)
- 6.3 Hincar el muestreador con golpes de martillo de 63,5 kg y contar el número de golpes aplicado a cada incremento de 6 pulg (0,15m), hasta que algo de lo siguiente ocurra:
 - 6.3.1 Un total de 50 golpes ha sido aplicado durante cualquiera de los tres incrementos de 6 pulg. (0,15m) descritos en 6.2.1 de este ensayo.
 - 6.3.2 Un total de 100 golpes se han aplicado.
 - 6.3.3 No se observa ningún avance del muestreador durante la aplicación de 10 golpes sucesivos del martillo.
 - 6.3.4 El muestreador se avanza las 18 pulg (0,45 m completas sin que ocurra el número de golpes límite que se describe en 6.3.1, 6.3.2 y 6.3.3 de este ensayo.
- 6.4 Registrar el número de golpes requerido para alcanzar cada 6 pulg (0,15m) de penetración o fracción. Las primeras 6 pulg. Se consideran las de acomodamiento. La suma del número de golpes del segundo y tercer incremento de 6 pulg. De penetración se denomina "resistencia a la penetración estándar" o "valor de N". Si el muestreador se hinca menos de 18 pulg (0,45m); como lo permite 6.3.1, 6.3.2 ó 6.3.3 de este ensayo, deberá anotarse en el registro de sondaje el número de golpes de cada incremento completo de 6 pulg (0,15m) y cada incremento parcial. Para los incrementos parciales, deberá reportarse la profundidad de penetración con aproximación a 1 pulg (25 mm), además del número de golpes.

Si el muestreador avanza por debajo del fondo de la perforación por acción del peso propio de las varillas más martillo, deberá ser anotada dicha información en el registro de perforación.

- 6.5 La salida y bajada del martillo de 63,5 kg deberá ejecutarse mediante uno de los métodos siguientes:
 - 6.5.1 Por el uso de un sistema de caída de martillo automático o semi-automático, que levanta el martillo de 63,5 kg y lo deja caer 30 ± 1 , pulg ($0,76 \pm 25$ mm) sin impedimento.
 - 6.5.2 Por el uso de un malacate para jalar una soga conectada al martillo. Cuando se use el método de malacate y soga, el sistema y operación deberá cumplir con lo siguiente:
 - 6.5.2.1 El malacate deberá estar libre de oxidación, aceite y grasa y deberá tener un diámetro en el rango de 6 a 10 pulg (150 a 250 mm).
 - 6.5.2.2 El malacate deberá ser operado a una velocidad de rotación mínima de 100 RPM, o la velocidad de rotación aproximada se reportará en el registro de perforación.
 - 6.5.2.3 No más de $2 \frac{1}{4}$ vueltas de soga en el malacate pueden emplearse durante la realización del ensayo de penetración, como se muestra en la figura 1.

Nota 4. El operador deberá usar ya sea $1 \frac{3}{4}$ ó $2 \frac{1}{4}$ vueltas de soga, dependiendo que la soga salga de la parte superior ($1 \frac{3}{4}$) o inferior ($2 \frac{1}{4}$) del malacate. Se reconoce y acepta que $2 \frac{3}{4}$ o más vueltas de soga dificultan la caída del martillo, por lo que no deberán utilizarse en el ensayo. La soga deberá mantenerse en una condición seca, limpia y sin desgaste.

- 6.5.2.4 Para cada golpe del martillo, debe emplearse una salida y bajada por el operador. La operación de jalar y soltar la soga debe ser realizada con ritmo y sin mantener la soga en la parte superior del golpe.
- 6.6 Llevar el muestreador a la superficie y abrirlo. Registrar el porcentaje de recuperación o la longitud de la muestra recuperada. Describir las muestras de suelos recuperados, tal como su composición, color, estratificación, luego colocar una o más partes representativas de la muestra en recipientes sellados e impermeables, sin dañar o distorsionar cualquier estratificación aparente. Sellar cada

recipiente para prevenir la evaporación de la humedad del suelo. Fijar etiquetas a los recipientes indicando la obra, número de sondaje, profundidad de la muestra y el número de golpes por cada incremento de 6 pulg (0,15 m). Proteja las muestras contra cambios extremos de temperatura. Si existe un cambio de suelo dentro del muestreador, prepare un recipiente para cada estrato y anote su localización en el muestreador.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME

La información de la perforación deberá ser registrada en el campo y deberá incluir lo siguiente:

- 7.1.1 Nombre y localización de la obra.
- 7.1.2 Nombre del personal.
- 7.1.3 Tipo y marca de la máquina de perforación.
- 7.1.4 Condiciones ambientales.
- 7.1.5 Fecha y hora de comienzo y fin de la perforación.
- 7.1.6 Número de sondaje y ubicación (estación y coordenadas, si están disponibles y son aplicables).
- 7.1.7 Elevación de la superficie, si está disponible.
- 7.1.8 Método de avance y limpieza de la perforación.
- 7.1.9 Método de mantenimiento de la perforación.
- 7.1.10 Profundidad de la superficie de agua y profundidad de perforación al momento de notar pérdida del fluido de perforación y fecha cuando se hizo la lectura o anotación.
- 7.1.11 Localización de cambios de estratos.
- 7.1.12 Tamaño de entubado, profundidades de la porción entubada de la perforación.
- 7.1.13 Equipo y método de hincado del muestreador.
- 7.1.14 Tipo, longitud y diámetro interior del muestreador (anotar el uso de revestimientos).
- 7.1.15 Tamaño, tipo y longitud de sección de las varillas de muestreo.
- 7.1.16 Observaciones.

Los datos obtenidos de cada muestra deberán ser registrados en el campo y deberán incluir lo siguiente:

- 7.1.17 Profundidad de la muestra, y si se utiliza, el número de la muestra.
- 7.1.18 Descripción del suelo.
- 7.1.19 Cambios de estratos dentro de la muestra.
- 7.1.20 Penetración del muestreador y longitudes de recuperación.
- 7.1.21 Número de golpes por 6 pulg (0,15m) o incremento parcial.

MTC E 120

MUESTREO CON TUBOS DE PAREDES DELGADAS

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el método de obtención de muestras relativamente no disturbadas de suelos para ensayos, en el cual se emplea un tubo metálico de pared delgada.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Esta práctica, se utiliza cuando es necesario obtener un espécimen relativamente inalterado o intacto, se utiliza para realizar las pruebas de laboratorio de las diferentes propiedades del suelo o alguna otra prueba que se pudieran afectar por la alteración del muestreo del suelo.

Nota 1. La calidad del resultado producido por este estándar depende de la capacidad del personal que la realiza, y la calidad del equipo y de las instalaciones usadas.

- 2.2 Existen en general dos (2) tipos de muestreadores que usan tubos de pared delgada: de tubo abierto y de pistón. Los muestreadores de pistón son mejores y pueden ser usados en casi todos los suelos.
- 2.3 Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 1587: Standard Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Soils for Geotechnical Purposes.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Equipo de perforación. Puede emplearse cualquier equipo de perforación que proporcione un orificio limpio antes de la inserción del tubo de pared delgada cuidando de que no perturbe al suelo muestreado y de que pueda efectuarse una penetración continua y rápida.
- 4.1.2 Tubos de pared delgada. Los tubos de pared delgada de 50,8 a 127 mm (2" a 5") de diámetro exterior deben ser fabricados de un metal que tenga una resistencia mecánica adecuada y características anticorrosivas satisfactorias (Figura 1). Para obtener la debida resistencia a la corrosión, los tubos pueden llevar un recubrimiento adecuado. Si se especifica, pueden emplearse tubos de tamaños diferentes.

Los tubos serán de una longitud entre 5 y 10 veces el diámetro para penetración en arenas y entre 10 y 15 diámetros para penetración en arcillas. Los tubos serán cilíndricos y suaves sin filos ni ralladuras y estarán limpios y libres de oxidación y polvo. Se permiten tubos sin costura o soldados, pero en este último caso las soldaduras no se deben proyectar en la costura. El borde cortante será maquinado como se muestra en la Figura 1 y estará libre de muescas. La relación de la luz interior estará entre 0,5 y 3 %. Las dimensiones adecuadas de los tubos de muestreo de pared delgada están indicadas en la Tabla 1.

La cabeza de acople deberá estar provista de dos agujeros con diámetro mínimo de 9,52 mm (3/8") para el montaje. Deberá proporcionarse un área de ventilación mínima de 3,9 cm² (0,6 pulg²) por encima de la válvula de retención (check).

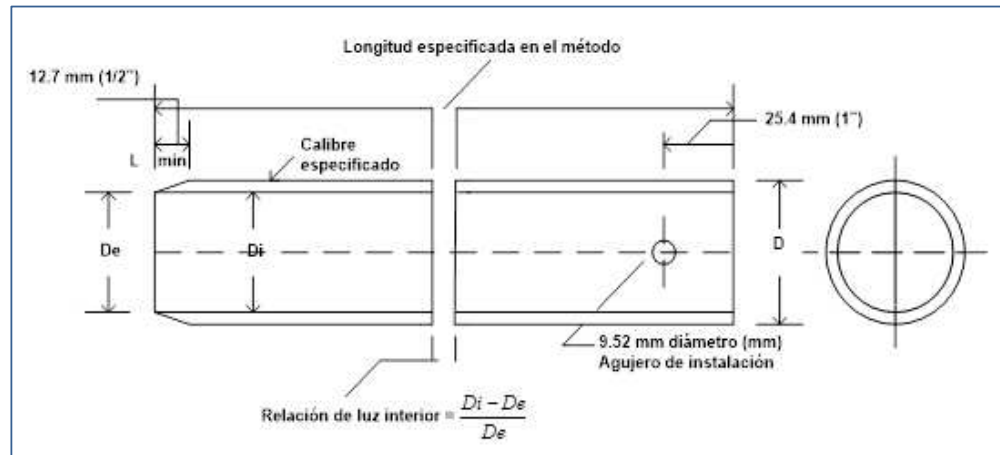


Figura 1. Tubo de pared delgada para muestras

Nota 2.

- Mínimo de 2 agujeros para instalación sobre caras opuestas en muestreadores de 50,8 mm (2") a 88,9 mm (3,5") de diámetro.
- Mínimo de 4 agujeros para instalación espaciados 90° en muestreadores de 101,6 mm (4") y mayores.
- Tubo sujetado con tornillos endurecidos

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Parafina sellante. La que se vaya a emplear no deberá tener una contracción apreciable, ni permitir la evaporación de las muestras; se preferirán las macrocristalinas. Antes del sellado con parafina y para proporcionar un mejor cierre de ambos extremos del tubo, se recomienda usar discos delgados de acero o de cobre amarillo que tengan un diámetro ligeramente menor que el interior del tubo. Se requiere, además, tela ordinaria de algodón y cinta impermeabilizada o parafinada.
- 4.2.2 Equipo accesorio. Rótulos, hojas de datos, contenedores de embarque y otros elementos menores necesarios.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Muestras relativamente inalteradas de suelos, apropiadas para pruebas de laboratorio destinadas a establecer propiedades empleadas en ingeniería, tales como resistencia, compresibilidad, permeabilidad y densidad.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 El orificio se debe limpiar hasta la profundidad requerida, usando el método preferido que asegure que no se perturba el material que se vaya a muestrear. En arenas saturadas y limos, se deberá sacar lentamente la punta, broca o corona del taladro en uso para prevenir que el suelo se afloje alrededor del orificio. Se deberá mantener el nivel de agua en el orificio a un nivel mayor o igual que el nivel de aguas freáticas (NAF).
- 6.2 No se permitirá el uso de puntas, brocas o coronas con descarga de fondo, pero podrán emplearse con orificios de descarga lateral. Para la limpieza de la perforación no está permitida la utilización de chorro a través de un muestreador de tubo abierto.
- 6.3 Con el tubo de muestreo apoyado sobre el fondo de la perforación y con el nivel del agua a la misma altura o por encima del NAF (nivel de aguas freáticas), se penetra el tubo en el suelo mediante un movimiento continuo y rápido sin impacto ni torsión. En ningún caso el tubo será empujado más allá de la longitud prevista para la muestra del suelo. Es preciso dejar un margen de 75 mm (3") de longitud aproximadamente de muestra para recortes y desperdicios.

- 6.4 Cuando los suelos sean tan duros que el empuje no haga penetrar el muestreador suficientemente para una adecuada recuperación, y cuando la recuperación mediante empuje en arenas sea pobre, se puede usar un martillo para hincar el muestreador. En tal caso, debe anotarse el peso, la altura y el número de golpes. Antes de jalar el tubo, es necesario girarlo al menos dos (2) revoluciones para cortar la muestra en el fondo.
- 6.5 Los procedimientos de muestreo se deben repetir en intervalos no mayores de 1,5 m (60") en estratos homogéneos y en cada cambio de estrato.
- 6.6 PREPARACIÓN PARA EMBARQUE
- 6.6.1 Después que se haya extraído el muestreador, se debe medir y anotar la longitud de la muestra dentro del tubo y la longitud penetrada.
- 6.6.2 A continuación, deberá removerse el material perturbado en el extremo superior del tubo antes de aplicar la parafina y se medirá la longitud de la muestra nuevamente luego de remover al menos 25 mm (1") de suelo de su extremo inferior. Después de insertar sendos discos impermeabilizantes, se sellarán ambos extremos del tubo con parafina aplicada, en forma tal que se evite su penetración en la muestra.
- 6.6.3 Cuando los tubos se vayan a transportar, se protegerán los extremos para prevenir el rompimiento de los sellos. Es aconsejable colocar estopilla de algodón alrededor de los extremos después del sellado y sumergirlos varias veces en la parafina fundida.
- 6.6.4 Deberán adherirse rótulos a los tubos con la identificación del trabajo, la localización de la perforación, el diámetro y el número de muestra, la profundidad, la penetración y la longitud recuperada. Deberá hacerse, igualmente, una descripción cuidadosa del suelo, con anotaciones de su composición, estructura, consistencia, color y grado de humedad. Se deberán rotular por duplicado los números del tubo y del sondeo.
- 6.6.5 Los tubos siempre se deberán almacenar a la sombra en un lugar fresco. Las muestras para embarque deben empacarse cuidadosamente para reducir el efecto de choques, vibraciones y alteraciones.
- 6.6.6 Usando suelo removido de los extremos del tubo se debe hacer una descripción cuidadosa dando la composición, condición, color y, si fuere posible, su estructura y consistencia.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME

Los datos obtenidos en los sondeos deberán registrarse en el campo e incluirán lo siguiente:

- Nombre y localización de la obra.
- Fechas del comienzo y terminación del sondeo.
- Número y coordenadas del sondeo, si se dispone de ellas.
- Elevación (cota) de la superficie, si se dispone de ella.
- Número y profundidad de la muestra.
- Método de avance del muestreador, longitudes de penetración y de recuperación.
- Tipo y tamaño del muestreador.
- Descripción del suelo.
- Espesor de la capa o estrato de suelo.
- Profundidad del nivel de aguas freáticas (NAF); de pérdida de agua; de cabeza artesiana; y la hora en que fue hecha la lectura.
- Tipo y marca del equipo de perforación.
- Tamaño del revestimiento, profundidad de la perforación.
- Nombres del personal (ingeniero, inspector, operario y ayudantes).
- Informe de tiempo y labores.

ANEXO 1

Tabla 1
Tubos de acero de pared delgada para muestras de tamaños apropiados

Diámetro exterior			
mm	50,8	76,2	127
pulg	2	3	5
Espesor de la pared			
Bwg	18	16	11
mm	1,24	1,65	3,05
pulg	0,049	0,065	0,120
Longitud del tubo			
m	0,91	0,91	1,45
pulg	36	36	54
Espacio libre			
%	1	1	1

Los tres diámetros que aparecen en la Tabla 1 son indicados con propósitos de normalización y no significan que los tubos de muestreo de diámetros intermedios o mayores no sean aceptables. Las longitudes mostradas para los tubos son ilustrativas. Las longitudes convenientes deberán determinarse de manera que se ajusten a las condiciones del campo.

MTC E 121

COMPRESION NO CONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Indicar la forma de realizar el ensayo para determinar la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos bajo condiciones inalteradas o remoldeadas, aplicando carga axial, usando cualquiera de los métodos de resistencia controlada o deformación controlada. Sirve únicamente para suelos cohesivos.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El propósito principal de realizar la prueba de compresión no confinada es para rápida obtención de un valor aproximado de resistencia a la compresión de suelos que poseen suficiente cohesión para poder ser ensayados en el estado no confinado.
- 2.2 Muestras de los suelos que presentan un plano de falla o una estructura fisurada, muestras de algunos tipos de marga, arcillas blandas, suelos secos que tienden a desmoronarse y los materiales estratificados, o muestras que contienen porciones significantes de arenas, limos o ambos (todas las que exhiben propiedades cohesivas), frecuentemente muestran mayores resistencias al corte cuando son ensayados de acuerdo con la norma MTC E 131. Además, los suelos no saturados usualmente exhiben diferentes resistencias al corte cuando son ensayados de acuerdo con la norma MTC E 131.
- 2.3 Si puede determinar la sensibilidad de un material si se efectúa un ensayo inalterado y uno remoldeado en la misma muestra. Este método para determinar la sensibilidad solo es adecuado en suelos que pueden moldearse en un espécimen de forma estable en el estado remoldeado.
- 2.4 Resistencia a la compresión no confinada, es la carga por unidad de área a la cual una probeta de suelo, cilíndrica o prismática, falla en el ensayo de compresión simple.

Nota 1. Para suelos que no mantienen su forma estable, puede emplearse el ensayo de resistencia al corte con veletas o la norma MTC E 131. En cuanto a los suelos que no retendrán la forma estable, se podrá realizar una prueba de corte de paleta o la norma MTC E 131 para determinar la sensibilidad.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 2166: Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.
- 3.2 AASHTO T 208: Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.
- 3.3 NTP 339.167: Método de Ensayo Estandar para la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Aparato de Compresión: conformado por una prensa para rotura de las probetas, de velocidad controlada manual o mecánicamente, con capacidad suficiente para llegar a la carga de rotura. El dispositivo de medida de la fuerza aplicada debe tener una sensibilidad del 1% de la resistencia a la compresión simple de la muestra ensayada.
- 4.1.2 Extractor de muestras: capaz de sacar el testigo de suelos; si las muestras llegan al laboratorio en tubos no abiertos longitudinalmente, es preciso que produzca poca alteración en el suelo.
- 4.1.3 Un torno con motor o tallador de probetas de muestras inalteradas con accesorios (sierra de alambre, cuchillos, caja de ingletes, etc.) (véase Figura 1).
- 4.1.4 Aparatos para determinar la humedad de la muestra (MTC E 108).
- 4.1.5 Un cronómetro, si el control de la prensa es manual.

- 4.1.6 Balanzas que den el peso de la muestra con una precisión del 0,1 % de su peso total.
- 4.1.7 Un calibrador con nonio capaz de medir las dimensiones físicas de la probeta con aproximación de 0,1 mm. Calibrador Vernier o similar.
- 4.1.8 Estufa capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.

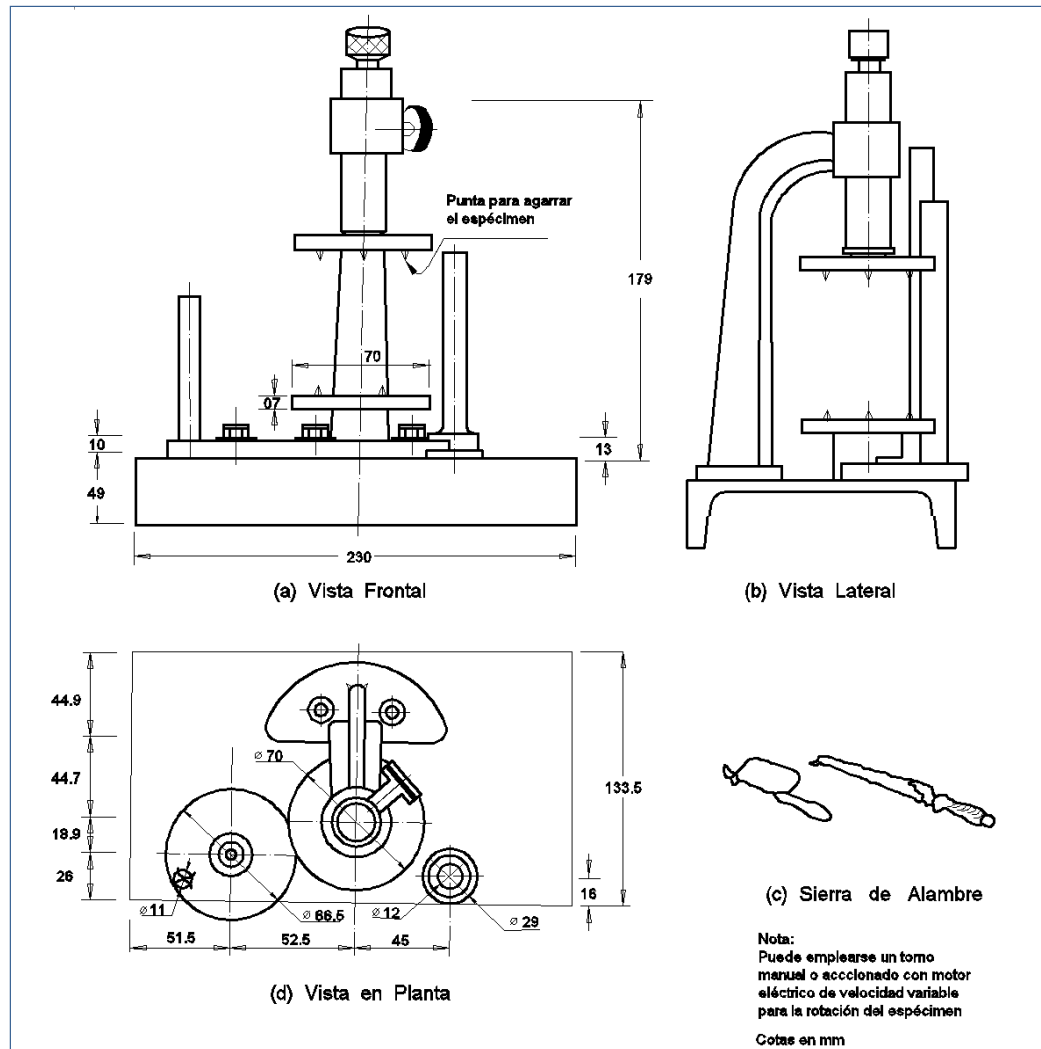


Figura 1. Torno tallador de probetas

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Moldes para preparar probetas de suelo amasado o compactado.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Tamaños de la probeta. La probeta será de sección aproximadamente constante, circular o cuadrada y eje perpendicular a dicha sección. Su diámetro o lado no debe ser inferior a 30 mm (1,3") y en suelos que presentan discontinuidades se recomienda que sea de mayor tamaño. La mayor partícula contenida en su interior debe ser, como máxima, igual a 1/10 del diámetro o lado. Si una vez terminado el ensayo, se encuentran partículas mayores que dicho tamaño, se hará constar esto, junto con los resultados. Para muestras con diámetro igual o mayor de 72 mm, el tamaño de la partícula deberá ser menor a 1/6 del diámetro o lado.

La relación de la altura al diámetro o al lado de la base debe ser aproximadamente igual y no inferior a 2.

- El término probeta se aplica a la muestra ya tallada. Cuando la altura no cumpla con las dimensiones indicadas, deberá anotarse en el informe.
- La dimensión longitudinal de la probeta cortada debe coincidir con la dirección vertical de la muestra original.

5.2 Probetas inalteradas. Si se trata de muestras de tubo, hay que manejarlas con gran cuidado para evitar su alteración, cambios en la sección transversal o la pérdida de humedad.

- Si se teme que el dispositivo de extracción pueda dañar la muestra, puede hendirse el tubo longitudinalmente o cortarlo en trozos más pequeños para facilitar la extracción de la muestra sin alterarla.
- Si se trata de arcilla no dura, se recomienda, cuando sea posible, tallar la muestra para eliminar las zonas alteradas próximas a las paredes del tubo. En general, deben desecharse las partes alteradas de la muestra.
- En caso de disponerse de cámara húmeda, las operaciones de tallado deben realizarse en ella con el fin de que el suelo permanezca el menor tiempo posible expuesto a la pérdida de humedad. Puede emplearse un torno o tallador como el de la Figura 1, y para recortar los extremos la sierra de alambre y una caja de ingletes. Para evitar el desarrollo de fuerzas capilares que se consideren importantes, en cuanto una probeta haya sido cortada, se envuelve en papel celofán o encerado, o se coloca en un recipiente hermético a menos que inmediatamente se realice el ensayo. Si lo que queda de la muestra Inalterada original se va a usar otra vez, debe cubrirse nuevamente.
- Cuando los extremos de la probeta quedan irregulares debido a la existencia de piedras, desmoronamiento de la muestra, etc., se deben igualar las caras rellenando los pequeños agujeros con suelo de los cortes. Si se trata de muestras duras, es conveniente refrentar las caras de modo que queden perfectamente paralelas, Esto puede hacerse mediante un corte de precisión o añadiendo una capita de azufre o material duro análogo en un "refrentador".
- Se determina el peso de las probetas y separadamente se toma una muestra para determinar la humedad. El peso debe excluir la capa de material utilizado para refrentar la probeta.

5.3 Probetas remoldeadas. Si se desea ensayar una muestra de arcilla saturada "remoldeada", por ejemplo para determinar la sensibilidad, se procede del siguiente modo: se amasa perfectamente el suelo de manera que se destruya completamente su estructura anterior. Si se desea conservar la humedad que tenía la muestra original, es conveniente envolver el material en una membrana de caucho fino durante esta operación.

- Para formar el espécimen puede emplearse un tubo metálico cilíndrico hueco de altura algo mayor que el doble del diámetro, en cuyo interior penetra un cilindro de madera del mismo diámetro que la probeta, cubierto con un disco de aluminio. Las paredes del tubo hueco se deben lubricar con vaselina.
- La probeta se moldea contra el disco de aluminio y se hace retroceder el cilindro de madera a medida que se añade más arcilla. Hay que tener cuidado de que no se introduzca aire en la probeta durante esta operación, con el objeto de mantener el grado de saturación anterior al amasado. Cuando dentro del tubo haya un cilindro de arcilla de altura un poco superior al doble del diámetro, se empuja el cilindro de madera en sentido contrario para extraer la muestra.
- Para efectos de esta norma, la sensibilidad se define como el cociente entre la resistencia a la compresión simple de la muestra inalterada y la resistencia a la compresión simple de la muestra remoldeada sin pérdida de humedad. Como es inevitable que durante las operaciones citadas la muestra pierda algo de humedad, puede ser conveniente realizarlas con las manos algo húmedas, o bien obtener la resistencia de la muestra remoldeada a partir de un gráfico que relacione la resistencia y la humedad en dichas muestras.

En muchos casos, puede ser conveniente remodelar la muestra con los mismos restos de la inalterada una vez rota. En tales circunstancias, no es posible hallar la humedad en la muestra inalterada con la totalidad de la probeta.

- 5.4 Probetas compactadas. También puede compactarse una muestra en un molde a una humedad y peso unitario prefijado. Después que la probeta se haya formado, se le cortan extremos perpendiculares al eje longitudinal, se extrae del molde y se determinan su peso y dimensiones.
- La experiencia indica que es difícil manejar, compactar y obtener resultados válidos con probetas que tienen un grado de humedad superior al 90 % de la saturación de la muestra de suelo.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se miden la altura y el diámetro o lado de la probeta, con una precisión de 0,1 mm mediante un calibrador con nonio o un objeto análogo.
- En probetas de gran tamaño puede adoptarse una precisión menor y proporcional al tamaño de la muestra.
- 6.2 Se pesa la muestra.
- 6.3 Se coloca la probeta en la prensa de modo que quede perfectamente centrada. Se acciona el dispositivo de avance lo estrictamente necesario para que la probeta toque a la placa superior de la prensa. Se pone en cero el indicador de deformaciones.
- El ensayo podrá hacerse controlando la deformación o controlando la carga.
- 6.4 Para el caso de la deformación controlada, se acciona la prensa de modo que la velocidad de deformación unitaria de la probeta esté comprendida entre $\frac{1}{2}$ % y 2% por minuto. Se toman medidas de las deformaciones y de las cargas cada 30 segundos hasta que las cargas comiencen a disminuir o hasta llegar a una deformación axial del 20% (lo que antes suceda). Se escogerá una velocidad (normalmente entre 10 a 15 puntos serán suficientes) en que la rotura ocurra en un lapso entre 1 y 10 minutos. En el caso de materiales muy blandos que exhiben deformaciones mayores a la falla, deberán ensayarse a una velocidad mayor de deformación y lo inverso para los materiales duros o quebradizos.
- Si se trata de una probeta de suelo muy duro, en la cual la deformación a la rotura sea muy pequeña, la curva esfuerzo-deformación no quedará debidamente representada en dicho gráfico. En ese caso, es posible desprestigiar el aumento de sección durante la carga.
 - Cuando interesa hallar el módulo de deformación en probetas de suelo muy duro, es conveniente medir la deformación mediante extensómetros o por otro procedimiento que elimine las deformaciones en la base.
- 6.5 Cuando se empleen esfuerzos controlados, se aplicará la carga para que produzca una deformación axial a una razón de $\frac{1}{2}$ % a 2 % por minuto y se registrarán los esfuerzos y las deformaciones cada 30 s. La velocidad de deformación se regulará en tal forma que la falla de probetas sin refrendar nunca sobrepase de 10 minutos. La carga deberá proseguirse hasta que decrezcan los valores de la carga con el aumento de sección que se produce en la probeta durante la rotura, lo cual se traduce en una disminución del esfuerzo aplicado.
- 6.6 Hágase un esquema de la forma de rotura. Si la rotura se produce a través de un plano inclinado, es conveniente medir el ángulo de inclinación de dicho plano.
- 6.7 De la parte de la probeta en donde se ha producido la rotura se toma una pequeña muestra en el recipiente y se determina su humedad. También se determina la humedad de toda probeta, anotando los pesos y haciendo las operaciones que se indican en la hoja de cálculos.
- 6.8 TERMINOLOGIA
- 6.8.1 La Resistencia a la Compresión No Cerrada (q_u) – la fuerza compresiva en que un espécimen cilíndrico no confinado del suelo fallara en un ensayo de compresión simple. En este método de

ensayo, la resistencia a la compresión no confinada se toma como la máxima carga por unidad de área que puede resistir la muestra o la carga por unidad de área para un 15%, axial, según lo que ocurra primero durante la ejecución del ensayo.

- 6.8.2 Resistencia al corte (s_u) Para especímenes de ensayo en compresión no confinada, la resistencia al corte se calcula como la mitad del esfuerzo de compresión en la falla, definido durante el fallo, se calcula que la resistencia al corte es la $\frac{1}{2}$ del esfuerzo compresivo, según definido en el 6.8.1 de este ensayo.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 La deformación unitaria, ε , se calculará con la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Donde:

- ε = Deformación unitaria axial para la carga dada.
 ΔL = Cambio en longitud de la muestra, igual al cambio entre la lectura inicial y final del indicador de deformación, m (pulgada.)
 L_0 = Longitud inicial de la muestra, mm (pulgada.)

- 7.1.2 Calcúlese la sección transversal promedio de la muestra, A , para una carga dada así:

$$A = \frac{A_0}{(1 - \varepsilon)}$$

Donde:

- ε = Deformación unitaria axial para la carga dada
 A_0 = Área inicial promedio de la probeta.

$$A_0 = \frac{(At + 2 \cdot Am + Ab)}{4}$$

- At = Área en la parte superior de la probeta
 Am = Área en la parte media de la probeta
 Ab = Área de la parte inferior de la probeta

El área A , puede calcularse alternativamente a partir de dimensiones obtenidas por medición directa, cuando pueden medirse las superficies de la probeta.

- 7.1.3 Es útil preparar un gráfico que dé para cada deformación el área corregida correspondiente, de acuerdo con los diámetros iniciales de las muestras que se empleen en el ensayo, como se ilustra en la Figura 2.

- 7.1.4 Calcúlese el esfuerzo, σ_c con tres cifras significativas o con una aproximación de 1 kPa (0,01 kg/cm²)

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

Donde:

- P = Carga aplicada dada
 A = Área de la sección promedio correspondiente.

- 7.1.5 Prepárese un gráfico que muestre la relación entre el esfuerzo (ordenada) y la deformación unitaria (en las abscisas). Tómese el valor mayor de la carga unitaria o el que corresponda al 20% de

deformación, el que ocurra primero entre las dos, e infórmese como resistencia a la compresión no confinada. Siempre que se considere necesario para una interpretación adecuada, se incluirá el gráfico correspondiente en el informe (véase Figura 3).

7.1.6 Dicha resistencia se emplea también para calificar la consistencia del suelo como muy blanda, blanda, mediana, firme, muy firme y dura de acuerdo con el valor obtenido en la siguiente forma:

Consistencia del suelo	Resistencia a la Compresión no confinada	
	kg/cm ²	(kPa)
Muy blanda	< 0,25	(< 25)
Blanda	0,25-0,50	(25- 50)
Mediana	0,50-1,00	(50-100)
Firme	1,00-2,00	(100-200)
Muy firme	2,00-4,00	(200-400)
Dura	> 4,00	(> 400)

7.1.7 Mediante el peso y la humedad de la probeta se calcula el peso unitario según se indica en la hoja de cálculos.

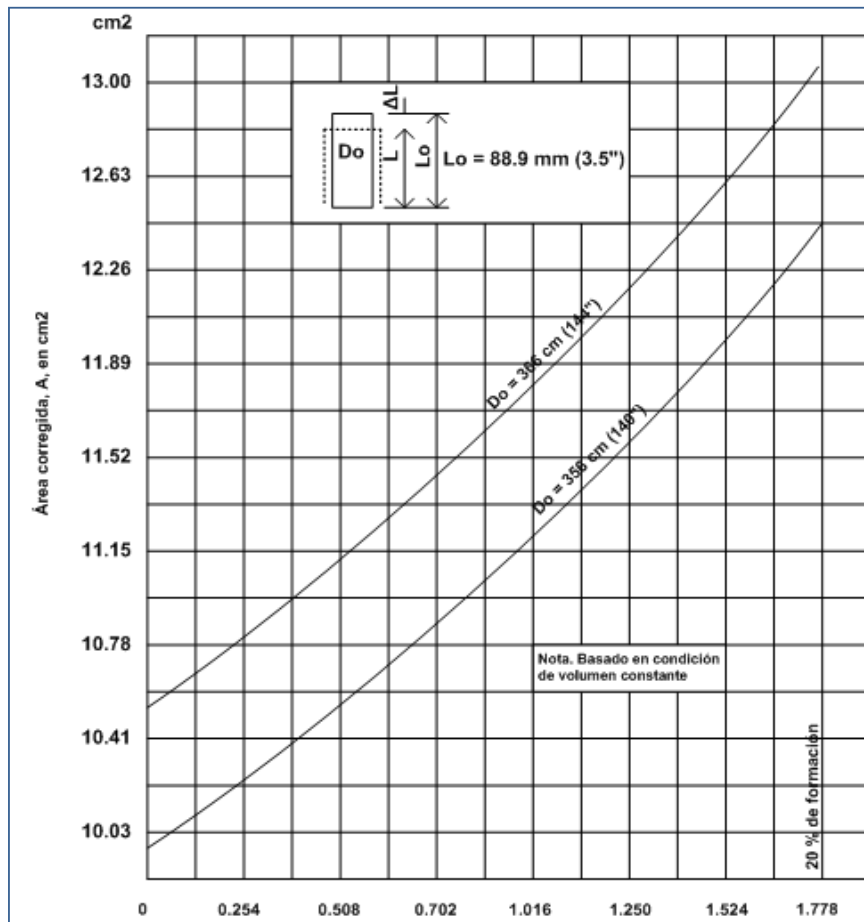


Figura 2: Áreas vs cambio de longitud

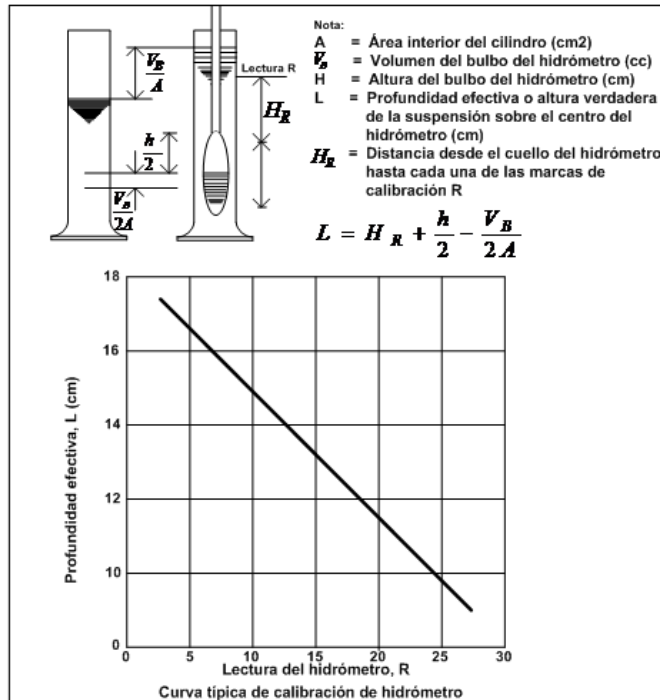


Figura 3: Ensayo de compresión no confinada

7.2 INFORME

7.2.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

- Resistencia a la compresión no confinada.
- Curva esfuerzo vs. Deformación.
- Tipo y tamaño del espécimen.
 - Inalterado
 - Compacto
 - Remoldeado
 - Cilíndrico o prismático
- Relación altura-diámetro
- Descripción visual: nombre del suelo, símbolo, etc.
- Peso unitario inicial, humedad y grado de saturación (si se saturó en el laboratorio, anótese el grado alcanzado).
- Deformación promedio a la falla, en porcentaje.
- Rata promedio de deformación a la falla, en porcentaje, y
- Observaciones. Anótese cualquier condición no usual u otros datos que se consideren necesarios para interpretar adecuadamente los resultados.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 Actualmente no existe un método que permita evaluar la precisión de un grupo de ensayos sobre muestras inalteradas, debido a la variabilidad de las probetas. Muestras de suelo inalterado de depósitos aparentemente homogéneos procedentes del mismo lugar, a menudo presentan diferentes resistencias y relaciones esfuerzo-deformación.

8.1.2 Aún no se ha desarrollado un método de ensayo y un procedimiento de preparación de muestras, para la determinación de la discrepancia de diferentes laboratorios, debido a la dificultad para producir probetas de suelos cohesivos idénticas. No es posible hacer estimación de la precisión en este método de ensayo.

MTC E 122**CORTE EN SUELOS COHESIVOS (VELETA)****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer el ensayo de veleta de campo en suelos cohesivos, blandos y saturados. Es necesario el conocimiento de la naturaleza del suelo en el cual cada prueba será hecha, para la evaluación de la aplicabilidad e interpretación de la prueba.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este modo operativo, proporciona una indicación de la resistencia al esfuerzo cortante en el sitio.
- 2.2 Este modo operativo se usa extensamente en una variedad de investigaciones geotécnicas, así como en los casos en donde no se puede extraer muestras de campo para ser ensayadas en el laboratorio.
- 2.3 Los valores que se indican en unidades libra-pulgadas serán considerados como estándar. Las unidades SI (Sistema Internacional) dadas en paréntesis son sólo para información.
- 2.4 Este modo operativo no intenta indicar todo lo concerniente acerca de la seguridad que se debe tener al momento de realizar la prueba. Es responsabilidad del usuario de este modo operativo establecer la seguridad apropiada y prácticas de salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.155: Suelos. Método normalizado para ensayo de corte con veleta de campo en suelos cohesivos.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Las veletas de campo deberán estar constituidas de cuatro aspas como se ilustra en la figura 1. La altura de la veleta deberá ser dos veces el diámetro. Las dimensiones de la veleta deberán ser las especificadas en la tabla 1. Otras medidas que no sean las especificadas en la tabla 1 deberán ser usadas solamente con el permiso del ingeniero a cargo del programa de exploración. Los extremos de la veleta pueden ser ahusados (véase figura 1). La cuña de penetración de la cuchilla de la veleta debe ser afilada teniendo un ángulo de 90°.

Tabla 1
Dimensiones aconsejables (a)

Tamaño del Revestimiento	Diámetro pulg (mm)	Altura pulg (mm)	Espesor de la Paleta pulg (mm)	Diámetro de la varilla de la Veleta pulg (mm)
AX	1 1/2 (38,1)	3 (76,2)	1/16 (1,6)	1/2 (12,7)
BX	2 (50,8)	4 (101,6)	1/16 (1,6)	1/2 (12,7)
NX	2 1/2 (63,5)	5 (127,0)	1/8 (3,2)	1/2 (12,7)
102 mm (4") ^(b)	3 5/8 (92,1)	7 1/4 (184,1)	1/8 (3,2)	1/2 (12,7)

- (a) = La selección del tamaño de la veleta está relacionada directamente relacionada a la consistencia del suelo que se va a ensayar; esto es, para suelos más blandos, el diámetro de la veleta deberá ser mayor.
- (b) = Diámetro interior
- 4.1.2 La veleta será conectada a la superficie por medio de varillas de torque de acero. Estas varillas tendrán un diámetro suficiente tal que su límite elástico no sea excedido cuando la veleta sea llevada al límite de su capacidad (Nota 1). Ellas deberán estar tan acopladas que las paletillas de los extremos macho y hembra deben encontrarse para prevenir cualquier posibilidad de

acoplamiento tenso cuando se aplica el torque durante la prueba. Si se usa un bastidor de veleta, las varillas de torque deberán ser equipadas con cojinetes bien lubricados en su pase a través del bastidor. Estos cojinetes deberán ser provistos con sellos para prevenir que el suelo los penetre. Las varillas de torque deben ser guiadas de tal forma que se prevenga el desarrollo de la fricción entre las varillas de torque y las paredes del protector (casing) o perforación.

Nota 1. Si las curvas de torque versus rotación han sido determinadas, es esencial que las varillas de torque sean calibradas (antes de usarse en el campo). La cantidad de giro de la varilla (si hay alguno) debe ser establecida en grados por pie por unidad de torque. Esta corrección se vuelve progresivamente más importante cuando la profundidad de la prueba aumenta y la calibración deba ser hecha al menos a la máxima profundidad anticipada de ensayo.

- 4.1.3 El torque deberá ser aplicado a las varillas de torque, de allí hacia las paletas de la veleta. La precisión de la lectura del torque debería ser tal que producirá una variación que no exceda a ± 25 lb/pie² (1,20 kPa) de resistencia cortante.
- 4.1.4 Es preferible aplicar el torque a la paleta de la veleta con una caja de engranajes. En ausencia de este dispositivo, es aceptable aplicar el torque directamente a mano con una llave de torque o equivalente. La duración de la prueba deberá ser controlada por los requerimientos 6.3.

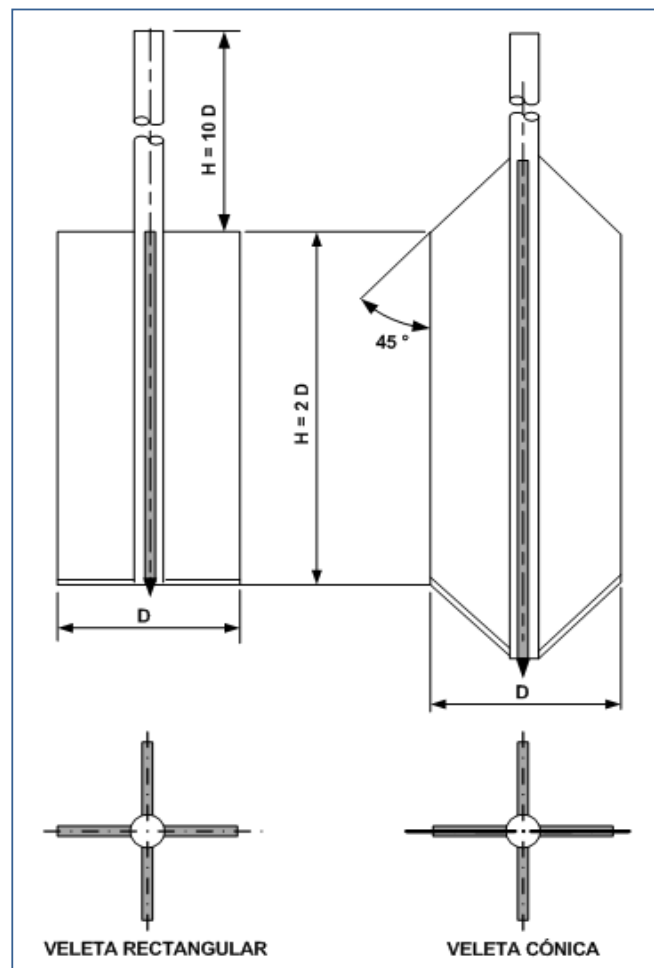


Figura 1: Geometría de la veleta de campo

5.0 MUESTRA

- 5.1 Suelos cohesivos blandos y saturados.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 En el caso donde se use un bastidor de veleta, introduzca el bastidor a una profundidad de por lo menos cinco diámetros del bastidor menos que la profundidad deseada de la punta de la paleta de la veleta. Donde no se usa un bastidor, detenga el agujero en el cual la paleta de la veleta es bajada a una profundidad tal que la punta de la paleta de la veleta pueda penetrar al suelo no disturbado a una profundidad de al menos cinco veces el diámetro del agujero.
- 6.2 Avance la paleta de la veleta desde el fondo del agujero o del bastidor de la veleta en un simple empuje a la profundidad a la cual la prueba será realizada. Tome precauciones para estar seguro que no se aplique ningún torque a las varillas durante el empuje.
- 6.3 Con la veleta en posición, aplique el torque a la paleta de la veleta a una velocidad que no exceda de 0,1º/s. Esto generalmente requiere un tiempo a la falla que va de 2 a 5 min, excepto en arcillas muy blandas donde el tiempo para la falla puede ser de 10 a 15 min. En materiales más rígidos, los cuales alcanzan la falla a pequeñas deformaciones, es deseable reducir la velocidad de desplazamiento angular, tal que se obtenga una determinación razonable de las propiedades de esfuerzo-deformación. Durante la rotación de la paleta de la veleta, manténgala a una elevación fija. Registre el torque máximo. Con aparatos con engranajes, es deseable registrar valores intermedios del torque a intervalos de 15 s ó a menores frecuencias si las condiciones así lo requieren.
- 6.4 Siguiendo la determinación del máximo torque, rote la veleta rápidamente a través de un mínimo de 10 revoluciones; la determinación de la resistencia remoldeada debería empezar inmediatamente después de completar la rotación rápida y en todos los casos dentro de 1 min después del proceso de remoldeo.
- 6.5 En el caso en que el suelo está en contacto con las varillas de torque, determine la fricción entre el suelo y las varillas por medio de pruebas de torque controladas con varillas similares a profundidades similares sin ninguna paleta unida. Conduzca la prueba de fricción de la varilla al menos una vez en cada sitio, esto debe consistir en una serie de pruebas de torque a profundidades variables.
- 6.6 En aparatos en los cuales la varilla de torque está completamente aislada del suelo, realice una prueba de fricción con una varilla llana (Nota 2) al menos una vez en cada lugar para determinar la magnitud de la fricción de los cojinetes. En un funcionamiento apropiado de la veleta, la fricción debe ser despreciable.

Nota 2. En algunos casos no es necesario retirar la paleta para la prueba de fricción. Mientras que la paleta de la veleta no esté en contacto con el suelo, la medida de la fricción no es afectada.

- 6.7 Ejecutar los ensayos de veleta en suelos no disturbados y remoldeados a intervalos de no menos de 0,76 m (2 ½ pies) a través de todo el perfil cuando las condiciones de la prueba lo permitan (Nota 3). No llevar a cabo la prueba de la veleta en algún suelo que permitirá drenaje o se dilate durante el periodo de ensayo, tales como arenas o limos o en suelos con piedras o conchuelas de tal forma que puedan influenciar en los resultados.

Nota 3. Este espaciamiento puede ser modificado sólo por el ingeniero a cargo del programa de perforación.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcular la resistencia cortante del suelo de la siguiente manera: El momento requerido para cortar el suelo es como sigue:

$$T = S \cdot K \quad (1)$$

Donde:

T = Torque lbf-pie ó (N.m)

S = Resistencia cortante de la arcilla, lbf-pie² ó (kPa) y

K = Constante, que depende de las dimensiones y forma de la paleta de la veleta, pie³ ó (m³)

- 7.1.2 Asumiendo que la distribución de la resistencia cortante es uniforme a través de los extremos de un cilindro y alrededor de su perímetro, calcular el valor de K como sigue:

Unidades de Libras-Pulgadas:

$$K = \left(\frac{\pi}{1728} \right) \cdot \left(\frac{D^2 \cdot H}{2} \right) \cdot \left[1 + \frac{D}{3 \cdot H} \right] \quad (2)$$

Unidades Métricas:

$$K = \left(\frac{\pi}{10^6} \right) \cdot \left(\frac{D^2 \cdot H}{2} \right) \cdot \left[1 + \frac{D}{3 \cdot H} \right] \quad (3)$$

Donde:

D = medida del diámetro de la paleta de la veleta en pulgadas o (cm) y

H = medida de la altura de la paleta de la veleta en pulgadas o (cm).

Es importante que estas dimensiones sean verificadas periódicamente para asegurar que la paleta de la veleta no se ha distorsionado o gastado.

- 7.1.3 Como la relación de la longitud al ancho de la paleta es de 2:1 (H=2D), el valor de K puede ser simplificado en términos del diámetro, lo cual se convierte en lo siguiente:

Unidades de Libras-Pulgadas:

$$K = 0,0021 \times D^3$$

Unidades Métricas:

$$K = 0,00000366 \times D^3$$

- 7.1.4 Desde que el valor de S es necesario, en más útil escribir la ecuación como sigue:

$$S = T \times k$$

Donde:

k = 1/K

T = el torque, es medido tal que S puede calcularse.

- 7.1.5 Para la paleta ahusada de la figura 1, se puede usar la siguiente ecuación modificada para la constante de la paleta:

Unidades Libras-Pulgadas:

$$K = \frac{1}{1728} \left[\pi \cdot D^3 + 0,37 \cdot (2D^3 - d^3) \right]$$

Unidades Métricas:

$$K = \frac{1}{10^6} \left[\pi \cdot D^3 + 0,37 \cdot (2D^3 - d^3) \right]$$

Donde:

d = diámetro de la varilla, pulgadas (cm). Para un varilla de 1/2 pulgada (1,27 cm), esto se reduce a:

Unidades Libras-Pulgadas:

$$K = 0,00225 \cdot D^3 - 0,00003$$

Unidades Métricas:

$$K = 0,00000388 \cdot D^3 - 0,00000076$$

7.2 INFORME

7.2.1 Para cada prueba de veleta anotar las siguientes observaciones:

- Fecha de la prueba
- Número de perforación
- Medida y forma de la veleta (ahusada o rectangular)
- Profundidad de la punta de la veleta
- Profundidad de la punta de la veleta debajo del bastidor o fondo del agujero
- Máxima lectura de torque, y lecturas intermedias, si se requiere para los ensayos en condiciones no alteradas.
- Tiempo de falla del ensayo
- Velocidad de remoldeo
- Máxima lectura de torque para pruebas remoldeadas
- Notas de cualquier desviación del procedimiento estándar de prueba.

7.2.2 Adicionalmente, registre las siguientes observaciones para la perforación:

- Número de perforación
- Localización
- Registro de las condiciones del suelo
- Referencia de elevación
- Método para hacer el agujero
- Descripción de la veleta, cual es, si tiene bastidor o no
- Descripción del método y aplicación y medida del torque
- Notas de la resistencia al hincado
- Nombre del capataz de la perforación
- Nombre del ingeniero supervisor.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 Una estimación válida de la precisión del ensayo no ha sido determinada debido a que es muy costoso ejecutar las pruebas necesarias inter laboratorios de campo.

MTC E 123**CORTE DIRECTO (CONSOLIDADO DRENADO)****1.0 OBJETO**

1.1 Tiene por objeto establecer el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada, por el método del corte directo.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

2.1 Este modo operativo es adecuado para la determinación rápida de las propiedades de resistencia de materiales drenados y consolidados. Debido a que las trayectorias de drenaje a través de la muestra son cortas, se permite que el exceso de presión en los poros sea disipado más rápidamente que con otros ensayos drenados. El ensayo puede ser hecho en todo tipo de suelos inalterados, remoldeados o compactados. Hay sin embargo una limitación en el tamaño máximo de las partículas presentes en las muestras.

2.2 Los resultados del ensayo son aplicables para estimar la resistencia al corte en una situación de campo donde ha tenido lugar una completa consolidación bajo los esfuerzos normales actuales. La ruptura ocurre lentamente bajo condiciones drenadas, de tal manera que los excesos de presión en los poros quedan disipados. Los resultados de varios ensayos pueden ser utilizados para expresar la relación entre los esfuerzos de consolidación y la resistencia al corte en condiciones drenadas.

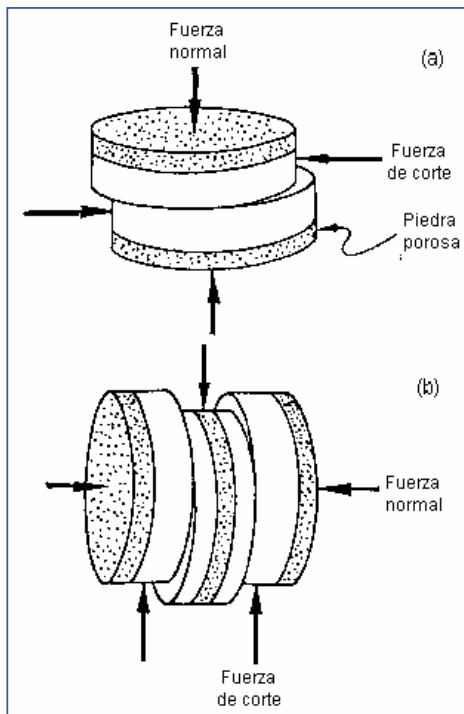


Figura 1: Esquema del ensayo del corte sencillo y del corte doble

El ensayo consiste en:

- Colocación de la muestra en el dispositivo de corte.
- Aplicación de una carga normal.
- Disposición de los medios de drenaje y humedecimiento de la muestra.
- Consolidación de la muestra.

- Liberación de los marcos que sostienen la muestra.
- Aplicación de la fuerza de corte para hacer fallar la muestra (Ver Fig. 1 y 2)

2.3 Este ensayo puede realizarse sobre todos los tipos de suelos, con muestras inalteradas y remoldeadas.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

3.1 ASTM D 3080: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

4.1.1 Dispositivo de carga. El dispositivo de carga debe ceñirse a lo siguiente (véase Figura2):

Sostener la probeta con seguridad entre dos piedras porosas colocadas una en cada cara, de tal manera que no se presenten movimientos de torsión sobre ella.

Estar provisto de los dispositivos necesarios para:

- Aplicar una fuerza normal en las caras de la muestra.
- Determinar los cambios en el espesor de la muestra.
- Drenar el agua a través de las piedras porosas.
- Sumergir la muestra en agua.
- Ser capaz de aplicar una fuerza de corte para hacer fallar la muestra a lo largo de un determinado plano (corte único) o de planos (corte doble) paralelos a las caras de la muestra.
- Los marcos que sostienen la probeta deben ser lo suficientemente rígidos para evitar su deformación durante el corte.
- Las diferentes partes del dispositivo deben ser de un material resistente a la corrosión por sustancias contenidas en el suelo o por la humedad del mismo.

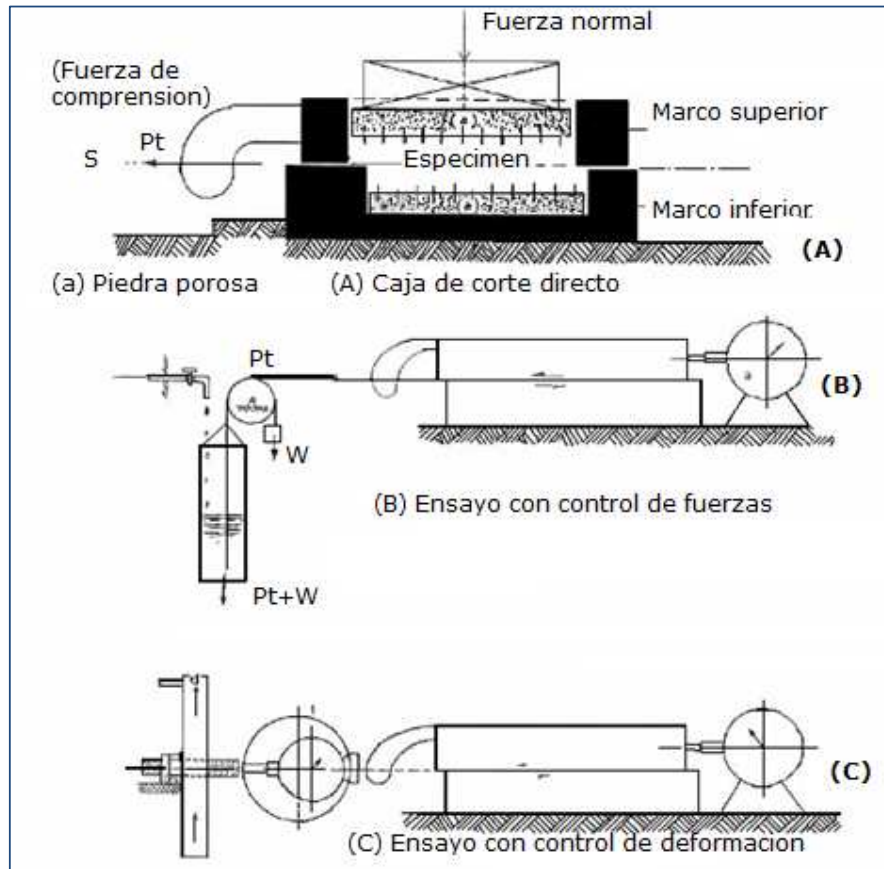


Figura 2: Dispositivo para el ensayo de corte directo

4.1.2 Piedras porosas. Las piedras porosas deben ceñirse a lo siguiente:

Deben ser de carburo de silicio, óxido de aluminio o de un metal que no sea susceptible a la corrosión por sustancias contenidas en el suelo o la humedad del mismo.

Dependiendo del tipo de suelo que se va a ensayar, las piedras porosas deben tener la calidad adecuada para desarrollar el contacto necesario con la muestra y, además, deben evitar la intrusión excesiva de partículas de suelo dentro de sus poros.

El diámetro o ancho de la parte superior de la piedra porosa o placa, deberá tener 0,2 mm a 0,5 mm (0,01 pulgada a 0,02 pulgadas).

Para ensayos con suelos normales, la calidad de las piedras debe permitir una permeabilidad de 0,5 mm/s a 1 mm/s.

4.1.3 Dispositivo para la aplicación de la fuerza normal. Debe estar capacitado para aplicar rápidamente la fuerza especificada sin excederla y para mantenerla con una variación máxima de $\pm 1\%$ durante el proceso de ensayo.

4.1.4 Dispositivo para la aplicación de la fuerza de corte.

Un anillo de carga o una celda de carga con una precisión de 2,5 N (0,5 lb) o de uno por ciento (1%) de la fuerza de corte en la falla, cualquiera que sea mayor.

La capacidad depende más que todo del tipo de control: con control de deformaciones o con control de esfuerzos. Se prefiere generalmente el primero por la facilidad para determinar, tanto el esfuerzo último, como la carga máxima.

El equipo con control de deformaciones debe tener la capacidad para cortar la muestra a una velocidad de desplazamiento uniforme, con una desviación de $\pm 10\%$ y debe permitir el ajuste de la velocidad de desplazamiento dentro de un rango más o menos amplio.

La velocidad de aplicación de la carga, depende de las características de consolidación del suelo. Se logra usualmente por medio de un motor con caja de transmisión y la fuerza de corte se determina por medio de un indicador de carga.

Si se usa el equipo con control de esfuerzos, debe ser capaz de aplicar la fuerza de corte sobre la muestra con incrementos de carga y grado de precisión, como se especifica en el numeral 4.1.3 de este ensayo.

- 4.1.5 Cuarto húmedo. La pérdida de humedad durante la preparación de la muestra no deberá exceder de 0,5%, tanto para su almacenamiento como para su preparación.
- 4.1.6 Equipo para el corte de la muestra. Debe ser adecuado para tallar la muestra de acuerdo con las dimensiones interiores de la caja de corte con un mínimo de alteración. Puede necesitarse un soporte exterior para mantener en alineamiento axial una serie de 2 o 3 anillos.
- 4.1.7 Base de la caja de corte. Una caja metálica en la cual se apoya la caja de corte y proporciona una reacción en contra en la cual la mitad de la caja de corte es restringida, o una base sólida con dispositivos para alinear la mitad de la caja de corte, la cual es libre de movimiento de forma coincidente con la fuerza tangencial aplicado en un plano horizontal
- 4.1.8 Balanza. Debe tener una sensibilidad de 0,1g o 0,1% del peso de la probeta.
- 4.1.9 Indicadores de deformación ó diales. Deben ser adecuados para medir los cambios en el espesor de la muestra con una sensibilidad de 0,002mm (0,0001") y la deformación con sensibilidad de 0,02mm (0,001").
- 4.1.10 Estufa u Horno de secado. Capaz de mantenerse a 110 ± 5 °C.
- 4.1.11 Recipientes para muestras de humedad.
- 4.1.12 Equipo para el remoldeo o compactación de probetas.
- 4.1.13 Misceláneos. Incluyen: cronómetro, sierra de alambre, espátula, cuchillos, enrasadores, agua destilada y demás elementos necesarios.

5.0 MUESTRA

5.1 Preparación del espécimen.

- 5.1.1 Si se usa una muestra inalterada, debe ser suficientemente grande para proveer un mínimo de tres muestras idénticas.

Las muestras inalteradas deberán ser preservadas y transportadas como se detalla para las muestras de los grupos C o D según Práctica MTC E 104.

- 5.1.2 La preparación de la muestra debe efectuarse de tal manera que la pérdida de humedad sea insignificante.
- 5.1.3 La muestra se talla sobre medida para las dimensiones del dispositivo de corte directo.
- 5.1.4 Para muestras inalteradas de suelos sensibles, debe tenerse extremo cuidado al labrar las muestras, para evitar la alteración de su estructura natural.

Nota 1. Un cuarto de elevada humedad sería conveniente para este propósito.

- 5.1.5 Se determina el peso inicial de la muestra para el cálculo posterior del contenido inicial de humedad de acuerdo con la norma MTC E 108.
- 5.1.6 Si se utilizan muestras de suelos compactados, la compactación debe hacerse con las condiciones de humedad y peso unitario deseados. Se puede efectuar directamente en el dispositivo de corte, en un molde de dimensiones iguales a las del dispositivo de corte o en un molde mayor para

recortarlas de acuerdo con el numeral 5.2.3 de este ensayo. El pisón utilizado para compactar el material deberá tener un área de contacto con el suelo igual ó menor aun medio del área del molde. El material requerido para el espécimen será mezclado con suficiente agua para producir el contenido de humedad deseado. Se debe permitir al espécimen permanecer listo antes de la compactación, de acuerdo a la guía siguiente:

Clasificación D2487	Tiempo mínimo de reposo (h)
SW, SP	No requiere
SM	3
SC, ML, CL	18
MH, CH	36

- 5.1.7 El diámetro mínimo de las muestras circulares o el ancho mínimo para muestras rectangulares debe ser alrededor de 50mm (2").
- Para minimizar las alteraciones causadas por el muestreo, el diámetro de las muestras obtenidas de tubos saca muestras debe ser, por lo menos, 5mm (1/5") menor que el diámetro del tubo.
- 5.1.8 El espesor mínimo de la muestra de ensayo, debe ser alrededor de 12 mm (½"), pero no menor de un sexto el tamaño máximo de las partículas del suelo.
- 5.1.9 La relación mínima diámetro/espesor o ancho/espesor, según la muestra, debe ser 2:1.
- 5.1.10 Calibración.
- 5.1.11 Se ensambla el dispositivo de corte directo (sencillo) con un disco metálico de calibración, de espesor igual al de la muestra de ensayo deseada y alrededor de 5mm (1/5 ") menor en diámetro.
- 5.1.12 El dispositivo de corte doble, requiere dos discos de calibración.
- 5.1.13 Se aplica la fuerza normal igual a la fuerza que se va a utilizar en el ensayo y se coloca el indicador de desplazamiento normal. Se ajusta este indicador de tal manera que pueda usarse para medir tanto lecturas de consolidación como de expansión.
- 5.1.14 Se registra la lectura del indicador de deformación normal, como una futura referencia para determinar, tanto el espesor de la muestra de ensayo, como la deformación desarrollada por el conjunto.
- 5.1.15 Luego, se retira el disco de calibración. Se puede aceptar cualquier otro método que permita la calibración exacta del aparato.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Ensamblaje de la caja de corte
- 6.1.1 Especímenes inalterado.- Colocar las piedras porosas húmedas sobre los extremos expuestos de la muestra en la caja de corte; colocar la caja de corte conteniendo la muestra inalterada y piedras porosas en el soporte de la caja de corte y fijar la misma.
- 6.1.2 Especímen compactado.- Colocar la caja de corte conteniendo la muestra compactada y piedras porosas insertadas en la base de la caja de corte y sujeto a la caja de corte.
- 6.2 Ejecución del Ensayo:
- 6.2.1 Se ensambla la caja de corte con los marcos alineados y se bloquea. Se aplica una capa de grasa entre los marcos para lograr impermeabilidad durante la consolidación y reducir la fricción durante el corte. Pueden también usarse espaciadores o superficies recubiertas con tetrafluoretileno-fluoruro carbono, para reducir la fricción durante el corte.
- 6.2.2 Se introduce la muestra de ensayo con sumo cuidado. Se conecta el dispositivo de carga y se ajusta el dial para medir tanto la deformación durante el corte, como el cambio del espesor de la muestra y luego se determina el espesor inicial. La costumbre de humedecer las piedras porosas antes de la colocación y aplicación de la fuerza normal sobre las muestras, dependerá del tipo de problema

en estudio. Para muestras inalteradas obtenidas bajo el nivel freático, deben humedecerse las piedras.

Para suelos expansivos se debe efectuar el humedecimiento después de la aplicación de la fuerza normal, para evitar expansiones que no son representativas de las condiciones de campo.

- 6.2.3 Se debe permitir una consolidación inicial de la muestra bajo una fuerza normal adecuada. Después de aplicar la fuerza normal predeterminada, se llena el depósito de agua hasta un nivel por encima de la muestra, permitiendo el drenaje y una nueva consolidación de la misma. El nivel del agua se debe mantener durante la consolidación y en las fases siguientes de corte de tal manera que la muestra esté saturada en todo momento.
- 6.2.4 La fuerza normal que se aplique a cada una de las muestras depende de la información requerida. Un solo incremento de ella puede ser apropiado para suelos relativamente firmes. Para los demás suelos pueden ser necesarios varios incrementos con el objeto de prevenir el daño de la muestra. El primer incremento dependerá de la resistencia y de la sensibilidad del suelo. En general, esta fuerza no debe ser tan grande que haga fluir el material constitutivo de la muestra por fuera del dispositivo de corte.
- 6.2.5 Durante el proceso de la consolidación deben registrarse las lecturas de deformación normal, en tiempos apropiados, antes de aplicar un nuevo incremento de la fuerza.
- 6.2.6 Cada incremento de la fuerza normal debe durar hasta que se complete la consolidación primaria. El incremento final debe completar la fuerza normal especificada.
- 6.2.7 Se representan gráficamente las lecturas de la deformación normal contra el tiempo.
- 6.2.8 Corte de la muestra. Luego de terminada la consolidación se deben soltar los marcos separándolos aproximadamente 0,25mm (0,01"), para permitir el corte de la muestra.

Se debe aplicar la fuerza de corte lentamente para permitir la disipación completa del exceso de presión de poros.

Para determinar la velocidad de aplicación de la carga hasta la falla, se puede emplear la siguiente expresión:

$$\text{Tiempo para falla} = 50_{t50}$$

Donde:

$$50_{t50} = \text{Tiempo requerido por la muestra para lograr el 50\% de consolidación bajo la fuerza normal.}$$

En el ensayo con control de deformaciones, la velocidad de aplicación de cargas puede determinarse, aproximadamente, dividiendo la deformación estimada de corte, durante el esfuerzo máximo de corte, por el tiempo calculado para la falla.

Se continúa el ensayo hasta que el esfuerzo de corte sea constante, o hasta que se logre una deformación del 10% del diámetro o de la longitud original.

En el ensayo con control de esfuerzos, se comienza con incrementos de la fuerza de corte de aproximadamente un 10 % de la máxima estimada.

Antes de aplicar un nuevo incremento, se permitirá por lo menos un 95 % de consolidación bajo el incremento anterior.

Cuando se ha aplicado del 50% al 70% de la fuerza de falla estimada, los nuevos incrementos serán de la mitad del valor de los aplicados hasta ese momento, o sea el 5% de la máxima fuerza de corte.

En la proximidad de la falla, los incrementos de la fuerza pueden ser iguales a un cuarto del incremento inicial (2,5 % de la fuerza normal de corte estimada).

Se debe llevar registro de la fuerza de corte aplicada y la deformación normal y de corte para intervalos convenientes de tiempo. Con preferencia, el incremento de la fuerza de corte debe ser continuo.

Terminado el ensayo, se remueve la muestra completa de la caja de corte, se seca en la estufa y se determina el peso de los sólidos.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Calcúlese los siguientes valores:

- Contenido inicial de humedad.
- Peso unitario seco inicial y peso unitario húmedo inicial.
- Esfuerzos de corte
- Relación de vacíos antes y después de la consolidación y después del ensayo de corte, si se desea.
- Los grados de saturación inicial y final, si se desea.

7.2 INFORME

7.2.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

- Descripción del tipo de dispositivo utilizado en el ensayo.
- Identificación y descripción de la muestra, incluyendo si el suelo es inalterado, remoldeado, compactado o preparado por otros medios, anotando cualquier característica no usual, referente, por ejemplo, a la estratificación.
- Contenido inicial de agua
- Peso unitario seco inicial y peso unitario húmedo inicial.
- Espesor inicial.
- Se deben registrar todos los datos básicos del ensayo, incluyendo el esfuerzo normal, desplazamiento de corte y los valores correspondientes de la resistencia al corte máximo y residual cuando se indique, así como los cambios de espesor del espécimen.
- Para cada probeta de ensayo se debe elaborar la curva esfuerzo de corte y deformación unitaria en un gráfico con escalas aritméticas.
- Debe prepararse, igualmente, un gráfico que incluya los valores para las tres probetas de las fuerzas normales contra la resistencia al corte y determinar, a partir del mismo, los valores efectivos del ángulo de fricción ϕ y de la cohesión, c .
- En el mismo gráfico anterior podrán incluirse los valores de las resistencias al corte residuales e indicar el ángulo de fricción interna residual; y de la cohesión si la hubiere (véase Figura 3).
- Se debe incluir el plan general de procedimiento, así como secuencias especiales de carga o requisitos especiales de humedad.

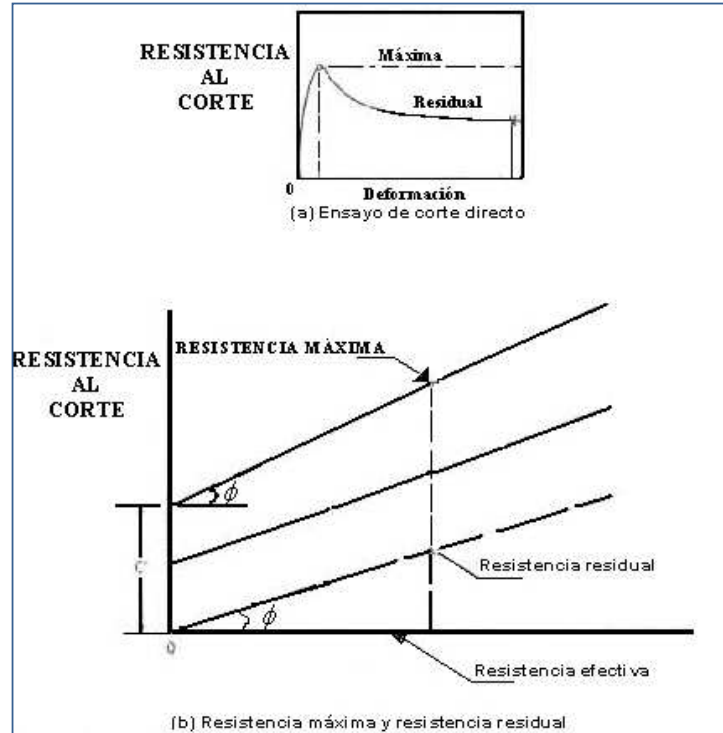


Figura 3: Definición de la resistencia residual

MTC E 124

DENSIDAD EN EL SITIO – MÉTODO NUCLEAR A PROFUNDIDAD REDUCIDA

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el método de ensayo estándar para densidad in situ de suelo y suelo agregado por medio de métodos nucleares (Profundidad superficial).
- 1.2 Determinar la densidad total o húmeda del suelo y mezclas de suelo y roca por medio de la atenuación de radiación gamma donde la fuente y el detector(es) permanecen en la superficie (Método de Retrodifusión) o donde la fuente o detector están localizados a una profundidad conocida hasta de 300 mm (12 pulg) mientras que el detector(es) o fuente permanecen en la superficie (Método de Transmisión Directa).
- 1.3 La densidad en masa por unidad volumétrica del material ensayado se determina comparando la velocidad detectada de la radiación gamma con la información de calibración establecida previamente.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este Modo Operativo descrito es útil como una técnica rápida no destructiva para determinar in situ la densidad de suelo y roca.
- 2.2 Este Modo Operativo es adecuado para el control de calidad y la prueba de aceptación para aplicaciones en construcciones, investigación y desarrollo.
- 2.3 La naturaleza no destructiva del ensayo permite que se realicen mediciones respectivas en un solo lugar de ensayo.

2.4 Interferencias:

- 2.4.1 La composición química de la muestra podría afectar la medición, y podría ser necesario hacer correcciones.
- 2.4.2 El método de ensayo exhibe dispersiones espaciales en las que el instrumento es más sensible a la densidad del material muy cercano a la superficie (Sólo en el Método de Retrodifusión).

Nota 1. Las mediciones del dispositivo de medición nuclear de la densidad son de algún modo dispersadas hacia las capas superficiales del suelo en prueba. Esta dispersión ha sido ampliamente corregida fuera del método de transmisión directa y cualquier dispersión restante es insignificante. El método de retrodifusión es aún más sensible al material en las primeras pulgadas de la superficie.

- 2.4.3 Rocas con sobredimensión o amplios vacíos en la trayectoria fuente-detector pueden causar la determinación de densidad más alta o más baja. Donde existe una falta de uniformidad en el suelo debido a la estratigrafía, se espera que existan rocas o vacíos, el lugar del volumen del ensayo debe ser removido y examinado visualmente para determinar si el material de ensayo es representativo del material en general y si se requiere una corrección por la roca.
- 2.4.4 El volumen de la muestra es aproximadamente 0,0028 m³ (0,10 pies³) para el Método de Retrodifusión y 0,0057 m³ (0,20 pies³) para el Método de Transmisión Directa cuando la profundidad del ensayo es de 15 cm (6 pulg). El volumen real de la muestra es indeterminado y varía con los aparatos y la densidad del material. En general, mientras más alta sea la densidad más bajo será el volumen.
- 2.5 Los valores probados en unidades SI serán considerados como estándares. Los equivalentes en pulgadas y libras podrían ser aproximadas.
- 2.6 En el campo de la Ingeniería es una práctica común usar concurrentemente libras para representar tanto una unidad de masa (libra) como una unidad de fuerza (lbf). Esto combina en forma implícita dos sistemas de unidades separados; es decir, el sistema absoluto y el sistema gravitacional. No es científicamente deseable combinar el uso de dos grupos separados de unidades en pulgada-

libra dentro de una sola norma. Esta norma se ha escrito usando el sistema gravitacional de unidades cuando se trataba de fuerza (peso). Sin embargo, el uso de balanzas o escalas que registren libras de masa (lbm), o el registro de la densidad en lbm/pies³ no deben ser considerados como disconformes con esta norma.

- 2.7 Esta norma no hace referencia a todos los riesgos relacionados con su uso, si los hubiera. Es responsabilidad del usuario de esta norma, establecer seguridad y prácticas saludables apropiadas y determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su uso. Sobre informes de riesgo específicos.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.144:1999 Métodos de ensayo estándar para densidad in situ de suelo y Suelo agregado por medio de métodos nucleares (Profundidad superficial).

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Dispositivo de medición nuclear.- Un instrumento de conteo electrónico, capaz de ser fijado en la superficie del material en prueba y el cual contiene:

4.1.1.1 Una fuente sellada de radiación gamma de alta energía como el cesio y el radio.

4.1.1.2 Detector gamma, cualquier tipo de detector gamma como un tubo(s) Geiger-Mueller.

4.1.2 Referencia estándar.- Un bloque de material usado para verificar la operación del instrumento y para establecer condiciones para una velocidad contable referencial reproducible.

4.1.3 Dispositivo para la preparación del lugar.- Una placa con bordes rectos u otra herramienta con el nivel adecuado que pueda ser usada para nivelar el lugar de ensayo a la uniformidad requerida y en el Método de Transmisión Directa, guiando la varilla de transmisión que pueda ser usada para preparar un agujero perpendicular.

4.1.4 Varilla de transmisión.- Una clavija con un diámetro ligeramente mayor al de la varilla en el Instrumento de Transmisión Directa, usada para preparar un agujero en el material ensayado para insertar la varilla.

4.1.5 Extractor de la varilla de transmisión.- Una herramienta que puede ser usada para remover la clavija de transmisión en dirección vertical de modo que la clavija no distorsione el agujero en el proceso de extracción.

Un martillo deslizante, con una clavija de transmisión adjunta, puede también ser usado tanto para preparar un agujero en el material que va a ser probado y para extraer la clavija sin distorsionar el agujero.

4.1.6 Riesgos

4.1.6.1 Este equipo utiliza material radioactivo el cual puede ser peligroso para la salud de los usuarios, a menos que se tomen medidas de precaución. Los usuarios de este equipo tienen que familiarizarse con los procedimientos de seguridad aplicables y con las regulaciones del estado.

4.1.6.2 La unión de instrucciones efectivas para los usuarios y procedimientos de seguridad rutinarios, tales como ensayos para evaluar la fuga de la fuente, registro y evaluación de la información del dosímetro de película, etc.; son parte de las recomendaciones de la operación y almacenaje de este instrumento.

4.1.7 Calibración

4.1.7.1 La calibración del instrumento se hará de acuerdo con el Anexo A1.

4.1.8 Estandarización y Verificación de Referencia

4.1.8.1 La fuente de radioactividad, los detectores y los sistemas electrónicos pueden envejecer, a largo plazo, los calibradores nucleares, lo cual podrían cambiar la relación entre la velocidad de conteo

y la densidad del material. Para contrarrestar este deterioro, el dispositivo puede ser calibrado a una velocidad de conteo hecha en relación con una referencia estándar o con un contador con intervalo de aire como se hace con la relación de la velocidad de conteo medida (para saber sobre la técnica de intervalo de aire de retrodifusión. La velocidad de conteo referencial debe ser del mismo orden de magnitud que la velocidad de conteo medida sobre el rango de densidad útil del instrumento.

4.1.8.2 La estandarización del dispositivo de medición debe realizarse al comienzo de cada día de trabajo y debe realizarse un registro permanente de dicha información. Llevar a cabo la estandarización con el dispositivo de medición localizada al menos a 8 m (25 pies) de distancia de las otras fuentes de material radioactivo y alejar las masas grandes o cualquier artículo que pueda afectar la velocidad de conteo referencial.

- a) Si el fabricante del instrumento recomienda brindar resultados más estables y consistentes:
(1) Encender el dispositivo de medición antes de usarlo para permitir que se estabilice. (2) dejarlo encendido durante el día en que se usa.
- b) Usando la referencia estándar, realizar al menos cuatro lecturas repetitivas en el período normal de medición y determinar la medida. Si es factible en el dispositivo de medición, se acepta un período de medición de cuatro o más veces que el período normal. Esto constituye una verificación de estandarización.
- c) Si el valor obtenido anteriormente se encuentra dentro de los límites establecidos más adelante, se considera que el dispositivo de medición está en condiciones satisfactorias, y dicho valor puede ser usado para determinar las relaciones de conteo durante el día de uso. Si el valor sobrepasa estos límites, debe permitirse un tiempo adicional para que el dispositivo de medición se estabilice, asegurarse de que el área esté limpia de fuentes de interferencia y luego realizar otro chequeo de estandarización. Si la segunda verificación de estandarización está dentro de los límites, el dispositivo de medición puede ser usado, pero si el ensayo vuelve a fallar, el dispositivo debe ser ajustado o reparado como lo recomienda el fabricante. Los límites son los siguientes:

$$|N_s - N_0| \leq 2,0 \cdot \sqrt{\frac{N_0}{F}}$$

Donde:

N_s = valor de conteo de estandarización actual.

N_0 = promedio de los cuatro valores anteriores de N_s tomados antes del uso, y

F = valor de pre-escala. (El valor de pre-escala (F) es un divisor que reduce el valor real para el propósito de exhibición. El fabricante proveerá este valor si este es diferente de 1,0). Algunos instrumentos pueden tener provisiones para calcular y exhibir estos valores.

Si la estandarización del instrumento no ha sido verificada durante los tres meses previos, debe realizarse al menos cuatro nuevas verificaciones de estandarización y usar la medida como el valor de N_0

4.1.8.3 Usar el valor de N_s para determinar las relaciones de conteo para el día en que es usado el instrumental. Si por algún motivo la densidad medida se vuelve dudosa durante el día que es usada, realizar otra verificación de estandarización.

5.0 MUESTRA

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PROCEDIMIENTO PARA USO EN EL CAMPO

6.1.1 Estandarizar el dispositivo de medición.

6.1.2 Seleccionar un lugar para el ensayo. Si el dispositivo está más cerca de 250 mm (10 pulg) a cualquier masa vertical que pueda influenciar el resultado, tales como en una zanja o a lo largo de un tubo, seguir el procedimiento de corrección indicado por el fabricante.

6.1.3 Remover todo material suelto y alterado. Remover el material adicional de modo que se consiga el material que representa una muestra válida de la zona o estrato que será probado. Deberá considerarse el secado superficial y la dispersión espacial al determinar la profundidad del material que será removido.

6.1.4 Nivelar o raspar una superficie horizontal llana de modo que se obtenga un contacto máximo entre el dispositivo de medición y el material ensayado. La colocación del dispositivo de medición en la superficie del material que será probado es siempre muy importante, pero es especialmente decisiva para la determinación satisfactoria de la densidad cuando se está usando el método de Retrodifusión. La condición óptima en todos los casos, es el contacto total entre la superficie inferior del dispositivo de medición y la superficie del material que es probado. Para corregir irregularidades en la superficie, puede ser necesario usar finos o arenas finas del lugar como relleno mineral. La profundidad del relleno mineral no debe exceder de aproximadamente 3 mm (1/8 pulg) y el área total rellena no debe exceder el 10% del área inferior del instrumento. La profundidad máxima de cualquier vacío debajo del dispositivo de medición que puede ser tolerada sin rellenar no debe exceder de aproximadamente 3 mm (1/8 pulg). Varias pruebas de asiento pueden requerirse para conseguir estas condiciones.

6.1.5 Proceder con el ensayo de la siguiente manera:

6.1.5.1 Procedimiento de Retrodifusión:

- a) Asentar el dispositivo de medición firmemente en el lugar de ensayo preparado.
- b) Mantener cualquier otra fuente radioactiva alejada del dispositivo de medición para evitar afectar la medición así como las lecturas.
- c) Asegurar y registrar una o más lecturas para el período normal de medición en la posición de retrodifusión.

Nota 2. Cuando se usa el procedimiento de retrodifusión con intervalo de aire, según las instrucciones del instrumento hechas por el fabricante con respecto al conjunto de aparatos. Hacer el mismo número de lecturas para el período de medición normal en la posición de intervalo de aire y en la posición de retrodifusión estándar. Determinar la relación del intervalo de aire, dividiendo los conteos por minuto obtenidos en la posición de intervalo de aire entre los conteos por minuto obtenidos en la posición de retrodifusión estándar.

- d) Determinar la relación entre la lectura al conteo estándar o al conteo con intervalo de aire. A partir de esta relación de conteo, de la apropiada calibración y la información de ajuste, determinar la densidad húmeda in situ.

6.1.5.2 Procedimiento de Transmisión Directa.

- a) Hacer un agujero perpendicular a la superficie preparada usando la guía y el dispositivo para formar agujeros (numeral 4.1.3 de este ensayo) o si es necesario taladrar. La profundidad y alineación del agujero deben ser tales que la inserción de la sonda no debe causar que el dispositivo de medición se incline a partir del plano de la superficie preparada. La profundidad del agujero debe ser mayor que la profundidad donde será colocada la sonda. La guía debe ser del mismo tamaño que la base del dispositivo de medición, con el agujero en el mismo lugar de la guía así como la sonda en el dispositivo. Las esquinas de la guía se señalan delineando la superficie del suelo. Luego la placa de guía es removida y se realiza cualquier reparación necesaria a la superficie preparada.

- b) Proceder con el ensayo de la siguiente forma:
- c) Colocar el dispositivo de medición en la superficie del suelo, alinearlos cuidadosamente con las marcas hechas en el suelo de modo que la sonda esté directamente sobre el agujero ya formado.
- d) Insertar la sonda en el agujero.
- e) Asentar el dispositivo de medición firmemente girándolo alrededor de la sonda con un movimiento de atrás hacia adelante.
- f) Tirar suavemente del dispositivo de medición de modo que una el lado de la sonda con el lado del agujero que esté más cerca al detector (o fuente) localizado en el encaje del dispositivo de medición.
- g) Mantener cualquier otra fuente radioactiva lejos del dispositivo para evitar afectar la medición.
- h) Asegurar y registrar una o más lecturas para el período normal de medición.
- i) Determinar la relación de la lectura y el conteo estándar. A partir de esta relación de conteo, de la calibración adecuada y la información de ajuste, determina la densidad húmeda in situ.

Nota 3. Algunos instrumentos han creado medidas para calcular la relación, densidad humedad y para introducir dispersiones de ajuste. Además, algunos instrumentos pueden tener provisiones para medir y calcular el contenido de humedad y la densidad seca.

- 6.1.6 Si el volumen probado como se define en 2.4.4 tiene exceso de material sobredimensionado con relación a las limitaciones de los apropiados Modos Operativos MTC E 115, MTC E 116 del presente Manual y NTP 339.137, entonces una corrección de la densidad húmeda (peso unitario) y del contenido de humedad debe ser aplicada. Esta corrección debe ser realizada de acuerdo con la Práctica ASTM D 4718. Este método de ensayo requiere muestreo a partir del volumen de ensayo real.
 - 6.1.6.1 Si se van a tomar las muestras del material de medición para fines de correlación con otros métodos de ensayo o para correcciones de roca, el volumen medido puede ser aproximado mediante un cilindro de 200 mm (8 pulg) de diámetro localizado directamente bajo la línea central de la fuente radioactiva y el detector(es). La altura del cilindro que será escavado será la profundidad establecida para la varilla-fuente cuando se usa el Método de transmisión Directa o aproximadamente 75 mm (3 pulg) cuando se usa el Método de Retrodifusión.
 - 6.1.6.2 Una alternativa de corrección para partículas sobredimensionadas, que puede ser usada con métodos de densidad de masa o situaciones de sobredimensión mínima involucra ensayos múltiples. Los ensayos pueden ser realizados en lugares adyacentes y los resultados pueden ser promediados para obtener un valor representativo. Se necesitan hacer comparaciones para evaluar si la presencia de una roca grande o un vacío en el suelo está produciendo valores de densidad no representativas. Siempre que los valores obtenidos sean cuestionables, el lugar del volumen de ensayo debe ser escavado y examinado visualmente.

7.0 CÁLCULOS E INFORME

7.1 CÁLCULOS

- 7.1.1 La densidad húmeda in situ se determina como se definió en 6.1.5. Si se requiere la densidad seca, el contenido de humedad in situ debe ser determinado usando muestras gravimétrica y determinación en laboratorio del contenido de humedad (Modo Operativo E 108-2010, ASTM D 4643, D 4959, D 4944), o un instrumento que determine el contenido de humedad por medio de termalización de neutrones (Método de ASTM 3017).
 - 7.1.1.1 Si el contenido de humedad se determina mediante métodos nucleares, método de ensayo ASTM D 3017, sustraer el kg/m^3 (lbf/pie^3) de humedad del kg/m^3 (lbf/pie^3) de la densidad húmeda y obtener la densidad seca en kg/m^3 (lbf/pie^3).

- 7.1.1.2 Si el contenido de humedad se determina por otros métodos, y está en la forma de porcentaje, proceder como sigue:

$$\rho_d = \frac{100 \cdot \rho_m}{100 + W}$$

Donde:

- ρ_d = densidad seca en kg/m³ (lbf/pie³).
 ρ_m = densidad húmeda en kg/m³ (lbf/pie³).
W = humedad como un porcentaje de la masa seca.

7.2 INFORME

- 7.2.1 El informe debe incluir lo siguiente:

- 7.2.1.1 Estandarización e información de ajuste para el día de los ensayos.
7.2.1.2 Hacer, moldear y codificar el número de los instrumentos de ensayo.
7.2.1.3 Nombre del operador(es).
7.2.1.4 Identificación del lugar de ensayo.
7.2.1.5 Modo de ensayo (retrodifusión o transmisión directa) y profundidad de ensayo (si es aplicable).
7.2.1.6 Densidades húmedas y secas en kg/m³ o pesos unitarios en lb/pie³.
7.2.1.7 Contenido de humedad en porcentaje de masa seca o peso unitario seco.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 La información está siendo evaluada para determinar la precisión de este método de ensayo.
8.1.2 Una precisión del conteo del instrumento de 8 kg/m³ (0,5 lbf/pie³) para el Método de Retrodifusión y 4 kg/m³ (0,25 lbf/pie³) para el Método de Transmisión Directa son típicos en un material de aproximadamente 2 000 kg/m³ (125 lbf/pie³) de densidad, con un tiempo de medición de un minuto.

La precisión de conteo del instrumento se define como el cambio en densidad que ocurre correspondiente a un cambio de desviación estándar en el conteo debido al decaimiento aleatorio de la fuente radioactiva. La densidad del material y el tiempo de conteo deben ser establecidos. Puede ser determinado a partir de una serie de 20 o más conteos tomados sin mover el instrumento, o alternamente de la información de calibración usando la hipótesis de que σ es igual al conteo bajo dicha densidad. El conteo debe ser el conteo del instrumento real corregido para cualquier pre-escala (numeral 4.1.8.2.c de este ensayo).

$$P = \frac{\sigma}{S}$$

Donde:

- P = Precisión del instrumento en densidad (kg/m³ o lbf/pie³).
 σ = Una desviación estándar del conteo.
S = Pendiente de la curva de calibración al valor de densidad definida.

ANEXO A

(Información obligatoria)

CALIBRACION

- A.1 Al menos una vez cada 12 o 18 meses se verifica o restablece las curvas de calibración, tablas o coeficientes de ecuaciones y también cuando se hayan realizado reparaciones importantes que afecten la geometría del instrumento.
- A.2 El equipo debe ser calibrado de forma tal que produzca una respuesta a la calibración de $\pm 16 \text{ kg/m}^3$ ($\pm 1,0 \text{ lbf/pie}^3$) en bloques de materiales estándares o de densidades establecidas. (Esta calibración puede ser hecha por el fabricante, el usuario, o un vendedor independiente). La respuesta de instrumentos nucleares está influenciada por la composición química de los materiales medidos. Esta respuesta debe ser tenida en cuenta cuando se va a establecer una densidad sobre un bloque estándar. Las densidades de los materiales usados para establecer o verificar la calibración se debe extender a través de un rango representativo de la densidad de los materiales que van a ser siendo ensayados. La densidad de los materiales estándar debe ser determinada con una aproximación de $\pm 0,2 \%$.
- A.3 Se debe tomar suficientes datos en cada densidad estándar para asegurar que la precisión de conteo del instrumento sea al menos la mitad de la precisión requerida para uso en el campo. Los datos pueden ser presentados en forma gráfica, tablas, coeficientes de ecuaciones, o almacenados en la celda de medición, para lograr cubrir los datos de conteo para densidad del material.
- A.4 El método y procedimiento de ensayo utilizado para establecer los datos del conteo de calibración deben ser los mismos que se usaron para obtener los datos de conteo de campo.
- A.5 El tipo de material, la densidad real y la densidad asignada al bloque estándar para cada calibración estándar usada para establecer o verificar la calibración del instrumento deben ser fijados como parte de la información de calibración.
- A.6 Los estándares deben ser de tamaño suficiente para no cambiar la tasa de conteo si se aumenta su dimensión. Las mínimas dimensiones superficiales son aproximadamente 610 mm de largo por 430 mm de ancho (24" x 17") las cuales se han encontrado como satisfactorias. Para el Método de Retrodifusión una profundidad mínima de 230 mm (9") es adecuada; para el Método de Transmisión Directa una profundidad debe ser al menos 50 mm (2") más profunda que la profundidad mayor de la varilla. Se puede requerir un área superficial grande para la técnica Retrodifusión con colchón de agua. Las dimensiones mínimas de la superficie pueden ser reducidas ligeramente si los estándares están adyacentes a un material denso.
- A.7 Los estándares más apropiados que producen unas curvas de calibración más exactas han sido hechos en aluminio., magnesio, aluminio/magnesio, granito y piedra caliza. Estos estándares han sido usados en combinación uno con otro y a través de la historia han demostrado que producen mucha exactitud en la calibración de los instrumentos.

Estándares de suelo, roca y concreto que tienen características que son reproducibles en uniformidad son difíciles de preparar. Estos estándares pueden ser usados para alguna calibración especial o calibración en campo donde la química del material del sitio o los antecedentes del sitio requieran una adaptación especial.

MTC E 125**HUMEDAD DEL SUELO EN EL TERRENO. METODO NUCLEAR (PROFUNDIDAD REDUCIDA)****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinación en el terreno de la humedad de suelo y de suelo-agregado, empleando equipo nuclear, por medio de la moderación o reducción de neutrones rápidos cuando la fuente emisora y el detector de éstos permanecen en la superficie.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El equipo está calibrado para determinar la humedad como peso de agua por unidad de volumen del material (en kg/m^3 o lb/pie^3). La humedad se define normalmente como la relación expresada en porcentaje del peso del agua en un peso dado de suelo, con respecto al peso de las partículas sólidas. Con este procedimiento, se la determina dividiendo la humedad (kg/m^3 o lb/pie^3) entre el peso unitario seco del suelo (kg/m^3 o lb/pie^3). Por esto, el cálculo de la humedad, empleando el equipo nuclear, requiere también la determinación del peso unitario seco del material bajo ensayo. Gran parte del equipo disponible puede medir tanto la humedad (kg/m^3 o lb/pie^3) como peso unitario total; la diferencia es el peso unitario seco.
- 2.2 La humedad del material bajo ensayo se halla colocando una fuente rápida de neutrones y un detector térmico de neutrones sobre o adyacente al mismo.
- 2.3 El equipo utiliza materiales radiactivos que pueden resultar de riesgo para la salud de los usuarios, a menos que se tomen las precauciones adecuadas, según las recomendaciones del fabricante.
- 2.4 La humedad determinada mediante este método, es la humedad contenida en un volumen dado del suelo. Deberá anotarse que el volumen del suelo o del suelo agregado representado en la medida es indeterminado y variará con la disposición geométrica del conjunto fuente-detector del equipo empleado y con las características del material ensayado. En general y manteniendo constantes las condiciones restantes, a mayor humedad del material, menor será el volumen involucrado en la medida. A diferencia de los ensayos de secamiento en el horno, la humedad promedio dentro del volumen involucrado en la medida. Para el equipo de superficie usualmente empleado en materiales comunes, por ejemplo, cerca del 50% de la cuantía medida, corresponderá a los 75 a 100 mm (3 a 4") superficiales de los suelos y del suelo-agregado.
- La humedad se determina mediante la relación de la cuenta nuclear con respecto al peso de agua o unidad de volumen del suelo.
- 2.5 Las medidas se hacen empleando neutrones rápidos que reflejan modificaciones mediante su retrodispersión, a través del material que se está ensayando. Cuando los neutrones de elevada energía son dispersados dentro del suelo, ocurre una pérdida en la velocidad de cada neutrón a medida que éste colisiona con el núcleo de los átomos del suelo. La razón a la cual ocurre el proceso de reducción de velocidad depende: (1) de la masa del núcleo en colisión con el neutrón, y (2) de la probabilidad de que los dos colisionen.
- 2.6 La razón a la cual los neutrones llegan al detector se ha denominado en esta norma con el nombre de cuantía.
- 2.7 El método descrito es útil como una técnica rápida y no destructiva para la determinación en el terreno de la humedad del suelo y del suelo agregado. Los supuestos fundamentales inherentes al mismo son los que el hidrógeno está presente en la forma de agua, como se define por la norma ASTM D 2216; y que el material bajo ensayo es homogéneo.

El método es adecuado para el control y aceptación de suelos y agregados de suelo para la construcción, la investigación y el desarrollo. Los resultados de los ensayos pueden afectarse por la composición química, la heterogeneidad de la muestra y, en menor grado, por el peso unitario y la textura superficial del material. Esta técnica exhibe también diferencias espaciales, por cuanto el aparato es más sensible a ciertas zonas del material que se está ensayando.

- 2.8 El ensayo nuclear de humedad en el terreno ofrece varias ventajas sobre métodos convencionales, tales como evitar el secamiento de muestras en el horno, particularmente cuando los ensayos se realizan para el control continuo de la construcción. Su mayor ventaja es el corto tiempo requerido para obtener una humedad y disponer de los datos en pocos minutos después de efectuado el ensayo. Cuando se realicen simultáneamente los ensayos de humedad y de peso unitario, se podrán realizar más ensayos, diariamente, que cuando se emplean otros métodos tradicionales. Adicionalmente, las mediciones aparentemente erráticas pueden detectarse y comprobarse inmediatamente, puesto que los ensayos nucleares no son destructivos. Estas ventajas se hacen más notorias en entidades que efectúan mediciones en forma más o menos continua. Respecto a los que efectúan medidas poco frecuentes u ocasionales, puede estar en desventaja por el mantenimiento y la preparación del material y de los equipos (cargue periódico de las baterías, mantenimiento de los registros de exposición de radiación, etc.).

El equipo empleado en este método es de tipo superficial. En general, cualquier fuente de neutrones suficientemente numerosos y energéticamente apropiados, puede emplearse para medir la humedad del suelo y del suelo-agregado. Las fuentes más comúnmente empleadas, sin embargo, son americio-berilio y radio-berilio, siendo usada la última principalmente para instrumentos de doble propósito, diseñados también para determinar el peso unitario total o húmedo. Los detectores empleados son tubos de gas llenos con trifluoruro de boro y cristales centelleantes o cámaras de fusión. Los detectores del último tipo ofrecen el potencial para variar el rango de energía de los neutrones que son contabilizados.

- 2.9 El peso del núcleo de hidrógeno es casi igual al peso de los neutrones. La colisión con átomos de hidrógeno, por lo tanto, reduce la velocidad de los neutrones más rápidamente que la colisión con núcleos más pesados. La gran diferencia entre los pesos de átomos de hidrógeno, y los normalmente encontrados en el suelo, significa que la efectividad relativa de los átomos de hidrógeno para reducir la velocidad de los neutrones, es muy pronunciada.
- 2.10 La probabilidad de que un neutrón colisione con el núcleo de un átomo, depende de la sección transversal dispersante del átomo. Para la mayoría de los elementos, este valor es bajo, aumentando generalmente, con la disminución de la energía de los neutrones. La sección transversal de la dispersión del átomo de hidrógeno para neutrones de alta energía, sin embargo, es mayor que para la mayoría de los restantes átomos presentes en suelos.
- 2.11 Estos dos hechos combinados, hacen al hidrógeno el medio más efectivo para reducir la velocidad de neutrones rápidos. Si un detector lento de neutrones términos está cerca de la fuente de éstos en un suelo que contenga hidrógeno, la actividad registrada se debe casi completamente a neutrones que han sido frenados por los átomos de hidrógeno. Otros átomos presentes en el suelo desempeñan un papel despreciable en este proceso. En suelos naturales el hidrógeno puede estar presente en varias formas, pero con algunas excepciones. Esto ocurre principalmente en el agua retenida por las partículas del suelo. Por tanto, la actividad del neutrón lento registrada por un detector adecuado, puede relacionarse con la concentración de agua en un suelo mediante calibración.
- 2.12 Una de las fuentes de neutrones rápidos usadas, el americio, es elaborado por el hombre y como tal su empleo está regulado en Estados Unidos por la Comisión de Energía Atómica, así como por otros gobiernos en diferentes países. A causa de que el radio y el berilio son materiales que se presentan en la naturaleza, su uso está ahora regulado por los diferentes gobiernos. Los objetivos de tales regulaciones, entre otros, son los de lograr que el uso de materiales radiactivos se efectúe de manera segura para el operador y los usuarios.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 3017: Standard Test Method for Water Content of Soil and Rock in Place by Nuclear Methods (Shallow Depth).

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

- 4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Fuente de neutrones rápidos. Una fuente nuclear sellada que emita neutrones rápidos, o sea un material de isótopos sellado como americio-berilio, radio-berilio, o un dispositivo electrónico como un generador de neutrones.
- 4.1.2 Detector de neutrones lentos. Cualquier tipo de detector de neutrones lentos, como trifluoruro de boro, un cristal centelleante, o una cámara de fusión, sensible a los neutrones a medida que ellos son dispersados al pasar a través del material que se está ensayando.
- 4.1.3 Dispositivo de lectura. Un contador con provisión para el cronometraje automático y exacto, para la determinación de la razón a la cual llegan al detector los neutrones modificados (cuantía) y una escala adecuada para el medidor. Generalmente, el dispositivo de lectura contendrá el suministro de alto voltaje necesario para operar el detector y el de bajo voltaje para operar el dispositivo de lectura y los accesorios del aparato.
- 4.1.4 Empaque. La fuente, el detector, el dispositivo de lectura y la fuente de suministro deberán colocarse en cajas de construcción fuerte, las cuales deberán ser a prueba de polvo y agua.
- Nota 1.** La fuente de neutrones, el detector, el dispositivo de lectura y la fuente de corriente pueden empacarse separadamente o integrarse con un sistema de medición nuclear de peso unitario.
- 4.1.5 Patrón de comparación. Se utiliza para comprobar la operación del equipo y la calibración y para establecer condiciones de que la cuantía sea reproducible.
- 4.1.6 Dispositivos para la preparación del sitio. Una placa de acero de borde recto u otras herramientas adecuadas de nivelación pueden emplearse para nivelar el sitio de ensayo hasta obtener la tersura requerida.
- 4.1.7 CALIBRACION

- 4.1.7.1 Se han establecido curvas de calibración determinando la cuantía para muestras de diferentes humedades conocidas, dibujando puntos de cuantía contra contenidos de humedad conocidos y haciendo pasar una curva a través de los puntos dibujados. El método y el procedimiento de ensayo empleados para establecer la curva deberán ser los mismos que se usen para determinar la humedad del material que se va a ensayar. La humedad de los materiales empleados para establecer la curva, deberá variar a través de un rango que incluya la humedad de los materiales que se van a ensayar. Los materiales empleados para la calibración deben ser de peso unitario y humedad uniformes.

Nota 2. Debido al efecto de la composición química, hay unas curvas de calibración suministradas por el fabricante, que pueden ser inaplicables en los materiales bajo ensayo. Por esto, las curvas de calibración deben verificarse y ajustarse de acuerdo con los numerales 4.1.7.2 y 4.1.7.3 de este ensayo.

Las curvas de calibración se pueden determinar aplicando los métodos siguientes:

- a) Usando recipientes preparados de suelo compactado y de suelo-agregado con humedad conocida. Los recipientes preparados deben ser suficientemente grandes para que no cambie la cuantía si se alarga una de sus dimensiones (Nota 3). Si la densidad del hidrógeno de un material puede calcularse a partir de un peso específico y su fórmula química, teniendo en cuenta que estos datos se conocen con exactitud, se puede obtener una curva de calibración mucho más real en comparación con métodos de secado al horno. El agua absorbida por la roca, que puede removerse mediante secamiento a 110 °C durante 24 horas, debe también considerarse en comparación con métodos de secado en el horno.
- b) Usando bloques de calibración permanentes o patrones que contengan elementos químicos ligados con hidrógeno, y que produzcan respuestas de calibración equivalentes a humedades conocidas. Un material no hidrogenado, como magnesio, puede emplearse para calibrar la humedad cero.

Nota 3. Dimensiones de aproximadamente 610 x 610 x 280 mm (24" x 24" x 15", largo x ancho x altura) han sido comprobadas satisfactoriamente para muchos equipos

- 4.1.7.2 Verificación de las curvas de calibración. Deben verificarse las curvas de calibración para equipos o instrumentos nuevos y para instrumentos reparados. Las curvas de calibración pueden comprobarse mediante los procedimientos dados en el numeral 4.1.7.1 de este ensayo).
- 4.1.7.3 Ajuste de las curvas de calibración. Cuando se emplean patrones permanentes o bloques para comprobar la calibración de la humedad, dibújese la cuantía contra cada humedad conocida como se describe en 4.1.7.1 Si una curva dibujada a través de los puntos colocados indica humedades con una diferencia de 16 kg/m^3 ($1,0 \text{ lb/pie}^3$) de las mostradas mediante la curva de calibración. Si la diferencia excede esta cantidad, la curva establecida para comprobar la calibración, reemplazará a las curvas de calibración originales.
- Si el dibujo de cada uno de los resultados de los ensayos de humedad determinados mediante el primer método del numeral 4.1.7.1 de este ensayo, forma una trayectoria dispersa que aleatoriamente se superponga sobre la curva de calibración previamente establecida y el promedio calculado de todos los ensayos de comparación secados en el horno, esté dentro de 16 kg/m^3 (1 lb/pie^3) del promedio de todas las determinaciones nucleares de humedad correspondiente, no es necesario el ajuste de la curva de calibración.
 - Si la diferencia promedio obtenida en el párrafo anterior es de más de 16 kg/m^3 (1 lb/pie^3), los ensayos subsiguientes de humedad nuclear deberán ajustarse ya sea agregando la diferencia de los promedios, si el promedio nuclear es más bajo, o sustrayendo la diferencia en los promedios, si el promedio nuclear es mayor.
 - La diferencia promedio obtenida en el párrafo anterior puede emplearse para dibujar una curva de calibración corregida, la cual deberá ser paralela a la curva original de calibración y corregirse por la cantidad y dirección de la diferencia. Una curva de calibración corregida puede también determinarse dibujando la cuantía contra cada humedad conocida como se describe en el numeral 4.1.7.1 de este ensayo y dibujando una curva a través de los puntos de verificación marcados

5.0 MUESTRA

Se describen en el numeral 6.2.1 de este ensayo.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Normalización. La normalización del equipo sobre un patrón de referencia se requiere al inicio de cada día de uso en la siguiente forma:
- Caliéntese el equipo de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
 - Tómense al menos cuatro lecturas repetidas, de por lo menos un minuto cada una, con el medidor sobre el patrón de referencia. Esta constituye una comprobación de normalización.
 - Si la media de las cuatro lecturas repetidas está por fuera de los límites establecidos mediante la ecuación (1), repítase la comprobación de normalización. Si en el primero o el segundo intento la ecuación se satisface, la operación del equipo se considera satisfactoria y puede continuarse con el numeral 6.2.

$$N_s = N_0 \pm 1,96 \cdot \sqrt{N_0} \quad (1)$$

Donde:

N_s = Cuantía medida al comprobar la operación del instrumento sobre el patrón de referencia.

N_0 = Cuantía normal de referencia previamente establecida sobre el patrón referencia (promedio de 10 lecturas repetidas).

- Si el segundo intento no satisface dicha ecuación, compruébese el sistema y repárese el instrumento si fuere necesario. Es posible emplear el instrumento en esta condición, si puede establecerse una relación satisfactoria de calibración.

- e) Establézcase uno nuevo N^o calculando la media de 10 lecturas repetidas sobre el patrón de referencia.
- f) Compruébese la curva de calibración de acuerdo con el numeral 4.1.7.2 de este ensayo y si fuese necesario, ajústese la curva de calibración de acuerdo con el numeral 4.1.7.3 de este ensayo.

6.2 PREPARACION DEL ENSAYO

- 6.2.1 Preparación del sitio. Escójase un sitio para el ensayo donde el medidor en su posición se halle por lo menos 150 mm (6") por fuera de cualquier proyección vertical.

Prepárese el sitio de ensayo de la siguiente manera:

- a) Remuévase todo el material suelto alterado, y retírese el material adicional que sea necesario, para alcanzar la parte superior del intervalo vertical que se va a ensayar (véase nota 4).
- b) Prepárese un área horizontal de tamaño suficiente para acomodar el medido, nivelándola hasta llegar a una condición lisa y de manera que se obtenga máximo contacto entre el medidor y el material que se está ensayando.
- c) Las depresiones máximas por debajo del medidor no deberán exceder de 3 milímetros (1/8"). Empléense finos o arena fina del sitio para llenar los vacíos y nivélese el exceso con una placa rígida u otra herramienta adecuada.

Nota 4. Las dispersiones espaciales deberán considerarse para determinar la profundidad a la cual se va a colocar el medidor.

Nota 5. La colocación del medidor sobre la superficie del material que se va a ensayar, es de fundamental importancia para la determinación correcta de la humedad. La condición óptima es el contacto total entre el fondo de la superficie del medidor y la superficie del material que se está ensayando. Como esto no es posible en todos los casos, es necesario emplear un relleno de arena que no deberá exceder de 3 mm aproximadamente (1/8") y el área total rellena no deberá exceder del 10% del área inferior del medidor. Algunos asentamientos de prueba pueden requerirse para lograr tales condiciones.

6.3 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.3.1 Ensayo. Procédase para el ensayo de la manera siguiente:

- Asíntese firmemente el medidor.
- Manténgase cualquier otra fuente radiactiva, lejos del medidor (como lo recomienda el fabricante), para que no se afecten las lecturas.
- Empléese suficiente tiempo de calentamiento como cuando se hizo para la normalización.
- Colóquese la fuente en su posición de trabajo y tómese una o más lecturas en un minuto.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Promédiese las lecturas obtenidas al final del numeral anterior.
- 7.1.2 Determinése la humedad mediante el empleo de una curva aplicable de calibración.
- 7.1.3 Calcúlese la humedad, w , en porcentaje en peso del suelo seco en la siguiente forma:

$$w = \left(\frac{W_m}{W_d} \right) \times 100 \quad (2)$$

Donde:

W_m = Peso de agua en el suelo en kg/m³ (lb/pie³)

W_d = Peso unitario seco del suelo en kg/m³ (lb/pie³).

7.2 INFORME

7.2.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

- Sitio del ensayo
- Elevación o cota de la superficie
- Descripción visual del material
- Identificación del equipo de ensayo (fabricante, modelo y número de serie).
- Cuantía para cada lectura
- Humedad en kilogramos por m³ (lb/pie³).
- Peso unitario húmedo
- Peso unitario seco
- Humedad como porcentaje de peso del suelo seco

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 Determinése la precisión del sistema P, a partir de la pendiente de la curva de calibración, S, y la desviación estándar, s de las señales (neutrones detectados), en cuentas por minuto, en la siguiente forma:

$$P = \frac{\sigma}{S} \quad (3)$$

8.1.2 Cuando la pendiente de la curva de calibración está determinada en el punto de 160 kg/m³ (10 lb/pie³) y la desviación estándar está determinada a partir de 10 lecturas repetidas de un minuto cada una (el medidor no se ha movido después de su primera colocación), tomadas sobre un material que tiene una humedad de 160 ± 10 kg/m³ (10,0 ± 0,6 lb/pie³), el valor de P deberá ser menor que 4,8 kg/m³ (0,30 lb/pie³).

IMPORTANTE: Es esencial que se sigan las recomendaciones del fabricante, para asegurar los resultados y por razones de seguridad a fin de prevenir accidentes por las radiaciones.

MTC E 126

CONTENIDO DE HUMEDAD EN SUELOS METODO DEL CARBURO DE CALCIO

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la humedad de los suelos mediante un medidor de humedad de gas a presión con carburo de calcio.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El contenido de humedad en suelos se utiliza en la práctica de ingeniería geotécnica, tanto en el campo como en el laboratorio. Los resultados son a veces necesarios en un corto período de tiempo y en lugares donde no es práctico instalar un horno o para transportar muestras a un horno. Este método de prueba se utiliza para estas ocasiones.
- 2.2 Los resultados de esta prueba se han utilizado para el control de campo de terraplenes compactados u otras estructuras, así como en la determinación del contenido de agua para el control de la humedad del suelo y la densidad seca dentro de un rango especificado.
- 2.3 Este método puede no ser tan preciso como otros aceptados como la norma ASTM D 2216. La causa de esta inexactitud se puede suscitar, porque las muestras son demasiado pequeñas para representar adecuadamente el total del suelo, de parte de estos suelos que no terminan de romperse para exponer toda el agua disponible en su interior frente al reactivo y de otras inherentes al procedimiento, equipo o errores de proceso. Por lo tanto, otros métodos pueden ser más apropiados cuando se requieren resultados de alta precisión, o cuando los resultados de la prueba son sensibles a pequeñas variaciones en los valores obtenidos.
- 2.4 Lo siguiente se aplica a todos los límites especificados en esta norma: Para los propósitos de determinar conformidad con estas especificaciones, será un valor observado o un valor calculado "a la unidad más cercana" en el último lugar a la derecha de las cifras utilizadas al expresar el valor límite de conformidad con ASTM E29.
- 2.5 Este método no deberá emplearse en materiales granulares que tengan partículas tan grandes que afecten la precisión del ensayo; en general, cualquier cantidad apreciable retenida en el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) es perjudicial.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 AASHTO Standards:
 - 3.1.1 T 217-02 (2006): Standard Method of Test for Determination of Moisture in Soils by Means of a Calcium Carbide Gas Pressure Moisture Tester.
 - 3.1.2 M 231 Weighing Devices Used in the Testing of Materials.
 - 3.1.3 R 16, Regulatory information for Chemicals Used in AASHTO Tests.
 - 3.1.4 T 265, Laboratory Information of Moisture Content of Soils.
- 3.2 ASTM Standard:
 - 3.2.1 E 29 Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

- 4.1 EQUIPOS
 - 4.1.1 Medidor de humedad de gas a presión con Carburo de Calcio (figura 1).
 - 4.1.2 Balanza, será conforme a M 231, Clase G 2.



Figura 1: Medidor de humedad de gas a presión con Carburo de Calcio

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Dos esferas de acero de 31,75 mm (1,25 pulg) de diámetro.
- 4.2.2 Cepillo y trapo de limpieza.
- 4.2.3 Cuchara para medir el reactivo de Carburo de Calcio.

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Reactivo de Carburo de Calcio.

Nota 2. El cloruro de calcio debe estar finamente pulverizado y debe ser de un grado tal que pueda producir gas acetileno de por lo menos $0,14 \text{ m}^3/\text{kg}$ ($2,25 \text{ pie}^3/\text{lb}$) de carburo.

Nota 3. La vida de almacenamiento de este reactivo es limitada, deberá emplearse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Cuando se utiliza en el medidor de 20g o 26g, colocar tres cucharadas (24g aproximadamente) de carburo de calcio en el cuerpo del medidor de humedad. Cuando se use el verificador super 200 D para ensayos de agregados colocar seis cucharadas (48g aproximadamente) de carburo de calcio en el cuerpo del medidor de humedad.

Nota 4. Debe tenerse extremo cuidado para evitar que el carburo de calcio se ponga en contacto directo con agua

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Pesarse una muestra de peso exacto especificado por el fabricante del instrumento en la balanza proporcionada y colocar la muestra en la tapa del probador. Cuando se utilice de 20g a 26g en el probador, colocar dos esferas de acero de 31,75mm ($1 \frac{1}{4}$ ") de diámetro en el cuerpo del probador con el Carburo de Calcio.

Nota 5. Se seguirán las instrucciones del fabricante para el uso de las esferas de acero, especialmente cuando se ensaye arena.

Nota 6. Si la humedad de la muestra excede el límite del manómetro de presión, (12% humedad para el probador de agregados o 20% para el de suelos), deberá emplearse una muestra de la mitad de tamaño y la lectura del dial deberá multiplicarse por 2. Este método proporcional no es aplicable directamente al porcentaje en peso de la balanza, en el probador súper 200 D.

- 6.2 Con el vaso de presión en una posición aproximadamente horizontal, insertar la tapa en el vaso de presión y séllese la unidad, apretando la abrazadera, teniendo cuidado de que el carburo no se ponga en contacto con el suelo hasta cuando se haya logrado un sello completo.
- 6.3 Levantar el probador hasta una posición vertical de tal manera que el suelo en la tapa caiga dentro del vaso de presión.
- 6.4 Agitar vigorosamente el aparato de manera que todos los terrones se rompan hasta permitir que el carburo de calcio reaccione con toda la humedad libre que se halle disponible. Cuando se están empleando las bolas de acero en el probador y cuando se use el probador de tamaño mayor para agregados, deberá agitarse el instrumento con un movimiento de rotación, de tal manera que las bolas de acero o el agregado no dañen el instrumento, ni hagan que las partículas del suelo queden embebidas en el orificio que conduce al diafragma de presión.

Nota 7. La agitación deberá continuarse por lo menos durante 60 segundos con suelos granulares y hasta por 180 segundos con los restantes suelos, de manera que se logre la reacción completa entre el carburo de calcio y la humedad libre. Deberá dejarse tiempo para permitir la disipación del calor generado por la reacción química.

- 6.5 Cuando deje de moverse la aguja, leer el dial manteniendo el instrumento en una posición horizontal a la altura del ojo.
- 6.6 Analizar el peso de la muestra y la lectura del dial.
- 6.7 Con la tapa del instrumento apuntando en dirección opuesta al operador (para evitar la aspiración de vapores), elimínese lentamente la presión del gas. Vacíese el vaso de presión y examínese el material en cuanto a terrones. Si la muestra no está completamente pulverizada, el ensayo deberá repetirse empleando una nueva muestra. Límpiase perfectamente la tapa de carburo y suelo, antes de verificar otro ensayo.

Nota 8. Al quitar la tapa, debe tenerse cuidado para apuntar el instrumento fuera del operador para evitar la respiración de humos, y fuera de cualquier fuente potencial de ignición para gas acetileno.

- 6.8 La lectura del dial es el porcentaje de humedad con respecto al peso húmedo y deberá convertirse a peso seco. Con el probador super 200 D, la lectura del dial es el porcentaje de humedad con respecto al peso seco y no se requiere ningún cálculo adicional.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 El porcentaje de humedad con respecto al peso seco del suelo debe determinarse a partir de la curva de conversión (ver Figura).
- 7.1.2 Normalmente es suministrada una curva similar a la de la Figura 2, con el probador de humedad. Sin embargo, para cada probador deberá verificarse la precisión de su manómetro o la de la curva de conversión.
 - La precisión del manómetro del probador deberá verificarse empleando un juego de calibración provisto de manómetro normal (el cual puede obtenerse del fabricante del aparato). En caso de discrepancia, el manómetro del probador deberá ajustarse de acuerdo con el manómetro normal.
 - Para comprobar la exactitud de la curva de conversión, deberá efectuarse una calibración de las lecturas del medidor empleando suelos preparados localmente, con contenidos de humedad conocidos usando MTC E-108. En caso de discrepancia, desarrollar una nueva curva de corrección basada en el contenido de humedad determinado en MTC E-108.
 - El rango de las curvas suministradas por el fabricante o determinados por el Laboratorio podrán ser prorrogados por pruebas adicionales.

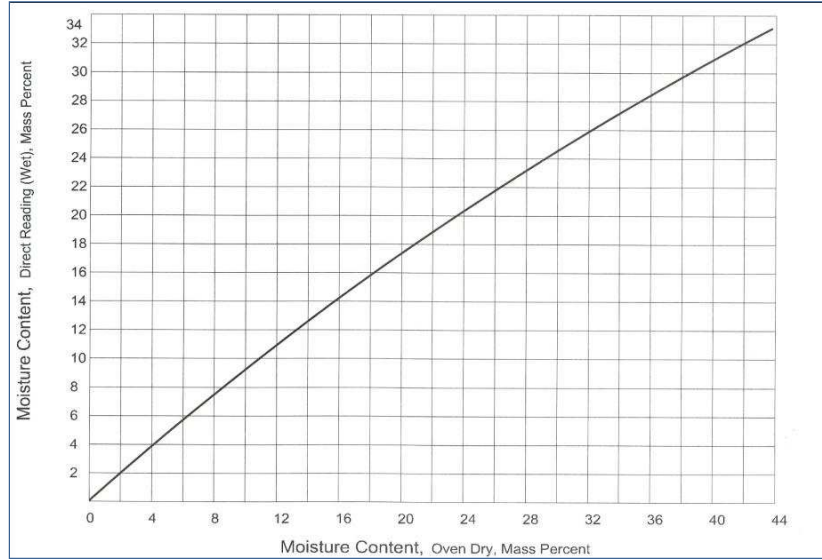


Figura 2: Curva de conversión

7.2 INFORME

7.2.1 Determinese el porcentaje de humedad con aproximación al porcentaje entero más próximo.

MTC E 127**MUESTREO DE SUELOS INALTERADOS (SUPERFICIALES)****1.0 OBJETO**

1.1 Este modo operativo describe la forma de obtener muestras de suelos cohesivos que conserven la estructura y humedad que tienen en su estado natural, cuando pueden tomarse superficialmente o de una profundidad a la que se llega por excavación a cielo abierto o de una galería. Las dimensiones, forma y demás características de las muestras inalteradas, dependen del tipo de ensayo al cual van a estar sometidas. Hay tres procedimientos generales para tomar este tipo de muestras:

- a) Muestras en bloque o muestra-trozo, tomadas de la superficie del terreno, del fondo de un pozo o del piso de una galería.
- b) Muestras en bloque, tomadas de una pared vertical de un pozo o galería.
- c) Muestras cilíndricas.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

2.1 Esta práctica, se utiliza cuando es necesario obtener un espécimen relativamente inalterado o intacto, se utiliza para realizar las pruebas de laboratorio de las diferentes propiedades del suelo o alguna otra prueba que se pudieran afectar por la alteración del muestreo del suelo.

2.2 Este modo operativo no intenta indicar todo lo concerniente acerca de la seguridad que se debe tener al momento de realizar la prueba. Es responsabilidad del usuario de este modo operativo establecer la seguridad apropiada y prácticas de salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

3.1 ASTM D 1587-08: Standard Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Soils for Geotechnical Purposes

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES**4.1 EQUIPOS**

Se deben elegir las herramientas cortantes más adecuadas para cada tipo de suelo:

- 4.1.1 Herramientas para tallar la muestra (paleta, cuchillos, martillo, cincel, sierra de alambre, etc.).
- 4.1.2 Hornillo o estufa, para calentar la parafina.
- 4.1.3 Recipientes, de diferentes tamaños y formas.
- 4.1.4 Herramientas para excavar.
- 4.1.5 Moldes cilíndricos o latas, con borde afilado y firme.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Parafina, vendas de malla abierta y brocha para aplicar la parafina.
- 4.2.2 Tela de algodón, aserrín, paja húmeda, etc., para empacar la muestra.
- 4.2.3 Tela plástica, papel parafinado, cuerda y demás elementos para envolver.

5.0 MUESTRA

5.1 Muestras en bloque de la superficie del terreno, fondo de un pozo o piso de una galería.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1.1 Descubrir la capa de la que se pretende tomar la muestra, bajando la excavación a la profundidad precisa para que el terreno descubierto esté completamente fresco y no haya pérdida de humedad. Alisar la superficie marcando el contorno de la que ha de ser la cara superior de la muestra.
- 6.1.2 Excavar una pequeña zanja alrededor de la marca, dejando entre el borde de la muestra y el borde interior de la zanja unos 10 cm con el propósito de que esta operación de excavación no afecte la muestra. La zanja deberá ser suficientemente ancha para permitir las operaciones de tallado, parafinado in situ y corte.
- 6.1.3 Con las herramientas apropiadas, se le da forma cúbica y el tamaño final que ha de tener, cuidando la muestra, a medida que el tallado se acerca a la cara superior y las cuatro caras laterales.
- 6.1.4 Una vez que la zanja esté suficientemente honda y las caras perfiladas, se extrae la muestra, cortándola con un cuchillo, paleta u hoja de sierra y se retira cuidadosamente.
- 6.1.5 Si la muestra tiene suficiente consistencia, se talla la cara inferior antes de proceder a parafinarla aplicando con una brocha, una primera capa de parafina y a continuación se cubre con venda. Se repite el proceso hasta obtener un recubrimiento impermeable de 3 mm de espesor como mínimo.
- 6.1.6 Si la muestra no tiene suficiente consistencia antes de retirarla de la excavación, una vez tallada la cara superior y las cuatro caras laterales, debe parafinarse, en la forma indicada en el párrafo anterior. Se confina con la caja de empaque prevista y luego se corta retirándola de la excavación, parafinando la última cara una vez perfilada.
- 6.1.7 Cuando por circunstancias de clima o acción directa del sol, se puede presentar pérdida apreciable de humedad, se deberá parafinar cada cara en forma inmediata a su talla, terminando estas labores de parafinado, cuando se desprenda la muestra por su cara inferior.
- 6.1.8 Antes de cerrar el empaque se debe colocar a la muestra una etiqueta con la siguiente información:
Procedencia, situación (se marcan las caras superior e inferior), profundidad y ubicación dentro de la obra; se cierra la caja y se coloca exteriormente otra etiqueta con los mismos datos, indicando adicionalmente advertencias de las precauciones requeridas.
- 6.2 Muestras en bloque de la pared del pozo o galería.
 - 6.2.1 Rebajar la pared escogida, hasta que el terreno descubierto se encuentre cerca del suelo que conformará la muestra, previendo que este último conserve sus condiciones originales de humedad y estructura. Se alisa la superficie y se marca el contorno.
 - 6.2.2 Excavar alrededor y por detrás, dando forma al trozo, afinándolo hasta donde sea posible.
 - 6.2.3 Cortar el trozo y se retira del hoyo, procediendo a su parafinado y empaque como se escribió anteriormente.
- 6.3 Muestras cilíndricas.

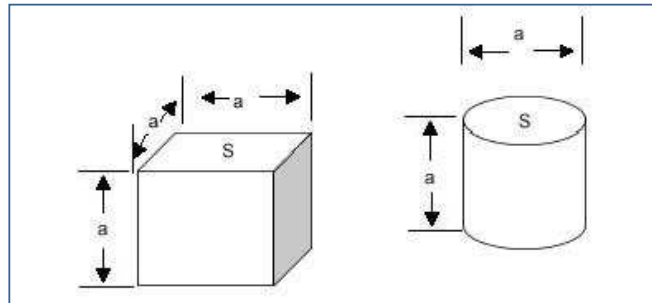
Estas muestras se pueden tomar directamente usando un anillo tomamuestras de filo cortante que se ajusta al molde que tenga las dimensiones requeridas, o también con un pote de hojalata común, con un trozo de tubo o con cualquier otro recipiente metálico que tenga dimensiones adecuadas. La secuencia es la siguiente:

 - 6.3.1 Alisar la superficie del terreno y se aprieta el molde con el anillo contra el suelo, aplicando una presión moderada.
 - 6.3.2 Excavar la zanja alrededor del cilindro, manteniendo la presión hacia abajo. Se corta el suelo del lado exterior del anillo con el cuchillo, haciendo el corte hacia abajo y hacia afuera, para evitar afectar la muestra y para que el suelo continúe penetrando dentro del cilindro.
 - 6.3.3 Excavar la zanja más profunda y se repite el proceso hasta que el suelo penetre bien dentro del cilindro.
 - 6.3.4 Cortar la muestra por la parte baja del cilindro con una pala, cuchillo o sierra y se retira del hoyo.

- 6.3.5 Tanto la superficie superior como la inferior deben recortarse a ras. Se protegen los extremos con discos de madera y se rebordean y atan con cinta aislante u otro material adecuado.
- 6.3.6 Cuando se utilice como molde un pote de hojalata, el fondo se agujerea antes de hincarlo y luego de llenarlo con muestra, se sellan los agujeros con parafina, así como la superficie superior, cuando se haya cortado la muestra.

El siguiente esquema, ilustra el proceso:

Muestras Inalteradas



Nota: La longitud (a) debe ser aproximadamente de 18 cm.

- 1.- Tamaño, forma y marcado. Para ensayos CBR con muestra inalterada, un trozo de suelo con dimensión mínima de 7 pulgadas (18 cm) es suficiente, se pueden usar muestras menores. Las superficies superior e inferior deben ser marcadas claramente con las letras S e I.
- 2.- Herramientas y materiales. Se deben elegir las herramientas cortantes más adecuadas para cada tipo de suelo. Las siguientes ayudarán en la obtención.

Equipo	Equipo suplementario	Equipo improvisado
Cuchara	Herramientas de excavar	Sierra de alambre
Cuerda	Cuchillo de bolsillo de algodón	Discos de madera
Brocha	Pala	Barra de cargas
Hornillo	Cinta aislante	
Parafina	Papel	
Destornillador Paleta	Recipientes convenientes	
Cuchillo		
Molde de compactación		
Regla Hojas sierra		

- 3.- Trozo – Muestra (para suelos que no se deformen). El tipo más sencillo de muestra inalterada se obtiene cortando un trozo de suelo del tamaño deseado, y cubriéndolo para evitar pérdidas de humedad y roturas.

Para obtener un trozo – muestra de una explanación u otra superficie nivelada, tal como el fondo de una calicata:

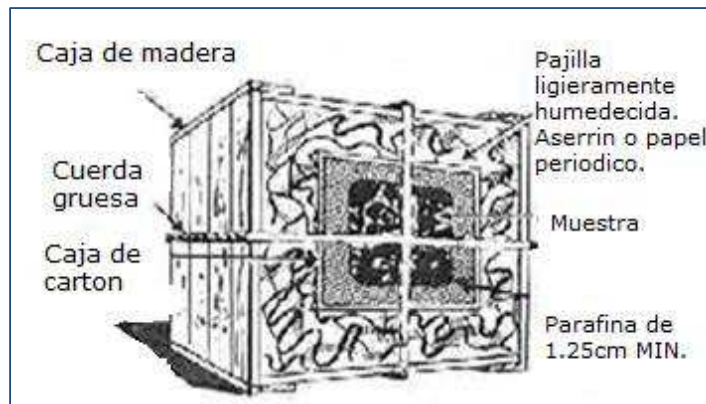
Excavar una zanja alrededor de éste Alisar la superficie del terreno y marcar el contorno del trozo	Profundizar la excavación y cortar los lados del trozo con el cuchillo de carnicero.	Se le separa cortando con el cuchillo, paleta u hoja de sierra y se retira del hoyo cuidadosamente.

Para obtener un trozo – muestra de la cara vertical de una calicata o corte de una excavadora:

Se alisa cuidadosamente la cara de la superficie y se marca el contorno	Se excava alrededor y por detrás, dando forma al trozo groseramente con el cuchillo de carnicero	Se corta en el trozo y se retira del hoyo cuidadosamente

Para impermeabilizar el trozo después de retirarlo del hoyo:

Se cortan y se forman toscos bordes con el cuchillo de carnicero. Aplicar tres capas de parafina con una brocha. Dejar enfriar y endurecer cada capa antes de aplicar la siguiente.	Envolver con tela de algodón u otra tela blanda. Si no se tiene la tela se refuerza con varias vueltas de cinta aislante o cuerda Nota: Esto da una protección adecuada para muestras con cierta resistencia y que hayan de ser usadas dentro de pocos días. Las muestras que son débiles o no vayan a usarse pronto, requieren protección adicional.	Se aplican tres capas más de parafina Nota: Un método es sumergir la muestra entera dentro de la parafina fundida después de aplicar la primera capa con brocha. Esto requiere un gran recipiente y más cantidad de parafina, pero da un revestimiento más uniforme. Surgiendo la muestra repetidas veces, la parafina puede alcanzar un espesor mínimo de 1 /8 de pulgada (3 mm). Las muestras que han de ser expedidas necesitan protección adicional.



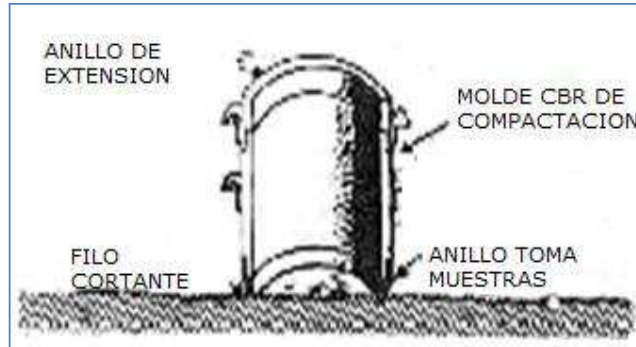
Se coloca el trozo en una pequeña caja y se empaqueta como se indica, o se aplican más capas de tela o parafina.

MUESTRAS CILINDRICAS

En suelos blandos de grano fino, se pueden tomar directamente muestras cilíndricas, para el CBR con muestra inalterada o para la determinación de la densidad, usando el anillo tomamuestras. Las muestras cilíndricas se pueden obtener también, con un pequeño trozo de tubo, o con cualquier otro recipiente metálico. Para otros suelos, es mejor usar un molde que se divida en sentido longitudinal.

Modo de obtener una muestra usando el molde de compactar y el anillo tomamuestras:

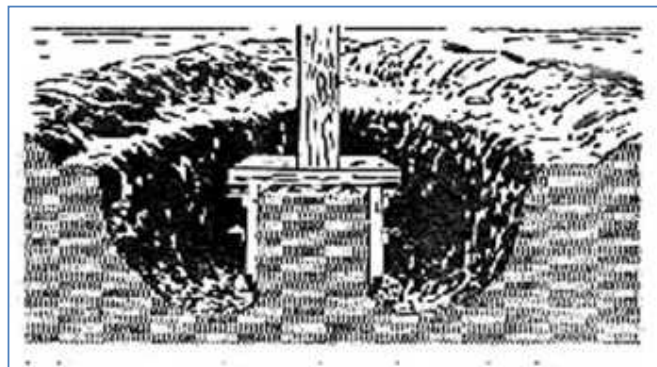
1. Se alisa la superficie del terreno y se presiona el molde con el anillo tomamuestras contra el suelo, con una presión moderada.



2. Se excava una zanja alrededor del cilindro.

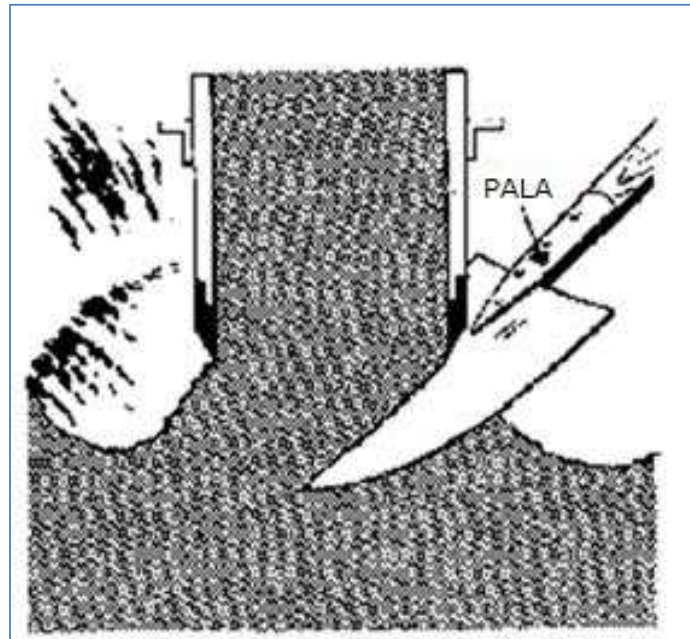


3. Se presiona el molde contra el suelo hacia abajo, firmemente, usando la barra de carga. Se recorta el suelo junto al anillo con el cuchillo, con gran cuidado. Córtese hacia abajo y hacia fuera para evitar hacerlo dentro de la muestra. El verdadero tamaño de ésta lo corta el anillo.

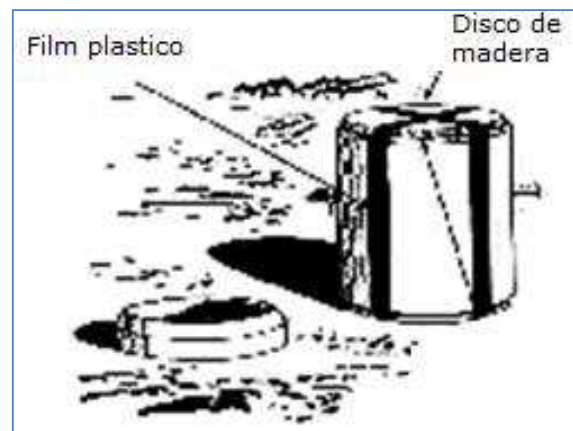


4. Excavar la zanja más profunda y se repite el proceso hasta que el suelo penetra bien, dentro del anillo de extensión.

Nota: Si hay piedras que estorban, se sacan con cuidado y se rellena con suelo. Apuntar este hecho en la hoja de registro siempre que se realice.

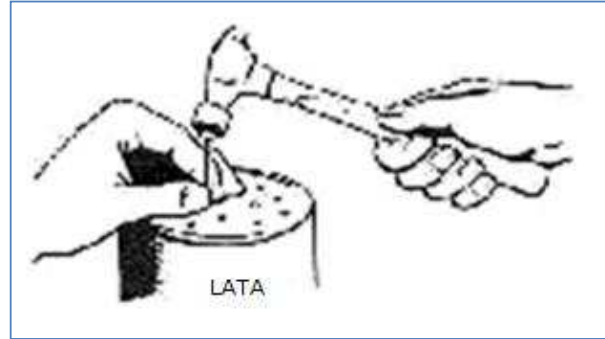


5. Cortar la muestra por la parte baja del molde con una pala, cuchillo o sierra de alambre y se retira del hoyo.
6. Quitar el anillo superior y se recorta la superficie de arriba; luego, girando el molde para poner la parte de abajo hacia arriba, se quita el anillo tomamuestras y se recorta esta parte.



Tanto la superficie de arriba como la de abajo deben recortarse al ras con los extremos del molde. Proteger los extremos con discos de madera y amarrar cinta alrededor de los bordes.

Cualquier lata de frutas cilíndrica, de tamaño grande, quitándole la tapa, se puede usar para obtener muestras cilíndricas.



1. Se taladran agujeros en el fondo de la lata.



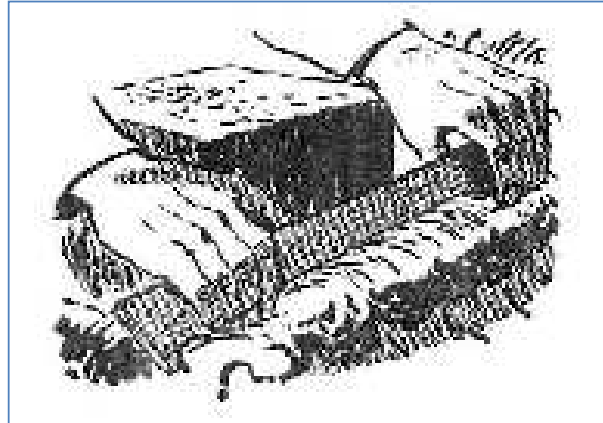
2. Se excava alrededor de la lata del mismo modo que con el molde de compactar y se aprieta hacia abajo hasta que el suelo llega el fondo de ella.



3. Verter parafina en los agujeros, sellando el fondo de la lata. Cortar la muestra con el cuchillo de carnicero y se retira del hoyo. Se corta la superficie aproximadamente $\frac{1}{2}$ pulgada (1,27 cm.) bajo la parte alta de la lata y se llena con parafina.

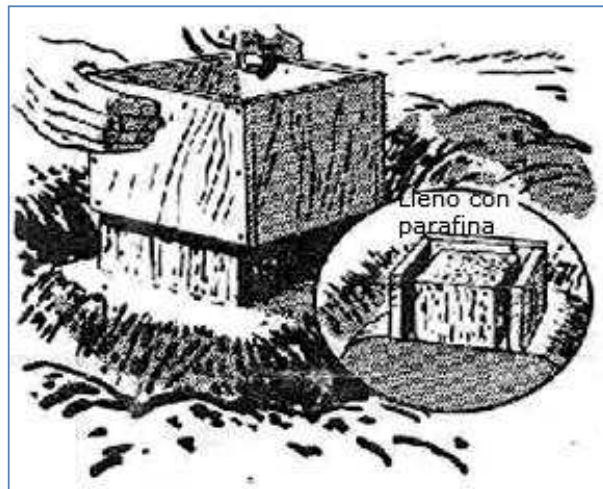
MUESTRAS EN CAJAS

Se usan a veces cuando se requiere amplia investigación sobre muestras inalteradas. Pueden empaquetarse firmemente para su expedición o almacenaje, pero requieren considerable cantidad de parafina.



Para obtener una muestra en caja:

1. Se excava como para un trozo - muestra, luego se recorta la pieza a un tamaño ligeramente menor que la caja.



2. Se quitan la tapa y el fondo de la caja y se coloca ésta alrededor de la muestra.
3. Se rellenan los lados con parafina, luego se vierte más sobre la parte alta de la muestra y se vuelve a colocar el fondo de la caja.



4. Se corta la muestra y se retira del hoyo la caja que la contiene, dándosele la vuelta hacia arriba.
5. Se recorta la superficie de la muestra y se sella con parafina fundida, luego se vuelve a colocar la tapa de la caja.



7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME

- Nombre y localización de la obra.
- Fechas del comienzo y terminación del muestreo.
- Número y coordenadas del muestreo, si se dispone de ellas.
- Elevación (cota) de la superficie, si se dispone de ella.
- Número y profundidad de la muestra.
- Descripción del suelo.
- Espesor de la capa o estrato de suelo.
- Nombres del personal (ingeniero, inspector, operario y ayudantes).
- Informe de tiempo y labores.

MTC E 128**MODULO RESILIENTE DE SUELOS DE SUBRASANTE****1.0 OBJETO**

1.1 Cubre los procedimientos normalizados para la determinación del módulo elástico dinámico (de resiliencia) de los suelos. Incluye la preparación y ensayo de suelos no tratados, bajo condiciones que representan una simulación razonable de las características físicas y de los estados de esfuerzos de los materiales de la subrasante, bajo pavimentos flexibles sometidos a las cargas debidas al tránsito.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE**2.1 DEFINICIONES BÁSICAS**

2.1.1 δ_1 = Esfuerzo axial total (esfuerzo principal mayor).

2.1.2 δ_3 = Esfuerzo radial total; esto es, la presión de confinamiento aplicada en la cámara triaxial (esfuerzo principal, intermedio y menor).

2.1.3 $\delta_d = \delta_1 - \delta_3$ = Esfuerzo desviador; esto es, el esfuerzo axial repetido para este procedimiento.

2.1.4 E_1 = Deformación axial total debida a δ_d

2.1.5 E_r = Deformación axial resiliente (recuperada).

2.1.6 $M_r = \delta_d / E_r$ es el módulo resiliente, esto es, la relación entre el esfuerzo dinámico y la deformación que puede substituirse, en procedimientos analíticos que incluyen cargas de tráfico dinámico y requieren de un módulo de elasticidad.

2.1.7 Duración de la carga = Intervalo de tiempo durante el cual el espécimen es sometido a un esfuerzo desviador.

2.1.8 Duración del ciclo = Intervalo de tiempo en que transcurren las aplicaciones sucesivas de un esfuerzo desviador.

$$\gamma_d = \frac{G \cdot \gamma_w}{1 + \left(w \cdot \frac{G}{S} \right)}$$

Donde:

γ_d = Peso unitario del suelo seco, kg/m³ (lb/pie³)

G = Peso específico de los sólidos

W = Contenido de agua del suelo (%)

S = Grado de saturación (%)

γ_w = Peso unitario de agua, kg/m³ (lb/pie³)

Tanto w como S pueden expresarse con un decimal o como un entero, esto es, 20% puede representarse como 0,20 ó 20, pero es necesario que haya consistencia entre los dos.

2.2 Los métodos descritos son aplicables a muestras inalteradas de materiales naturales, a muestras compactadas de subrasante y a muestras transportadas, preparadas para ser ensayadas, por compactación en el laboratorio.

2.3 Los valores del módulo resiliente (elástico-dinámico) determinados con estos procedimientos, pueden ser empleados en las teorías de sistema de capas elástico lineales y elástico-no lineales, para calcular la respuesta física de las estructuras de pavimentos.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

3.1 AASHTO T 274: Standard Method of Test for Resilient Modulus of Subgrade Soils.

4.0 EQUIPOS

4.1 Cámara de compresión triaxial. La cámara de compresión triaxial se utiliza para contener la muestra y el fluido de confinamiento durante el ensayo. En la Figura 1 se muestra una cámara adecuada para emplear en el ensayo de resiliencia de suelos. La cámara es similar a muchas celdas triaxiales normales, excepto que es algo más grande para facilitar la carga montada internamente y el equipo de medida de la deformación, y que tiene salidas adicionales para las guías eléctricas de los aparatos de medida.

Pueden emplearse celdas triaxiales normales con equipo montado exteriormente y equipo para medir deformación (véase Figura 2), para materiales cuyo módulo resiliente sea menor de 104000 kPa (15000 lb/pulg²).

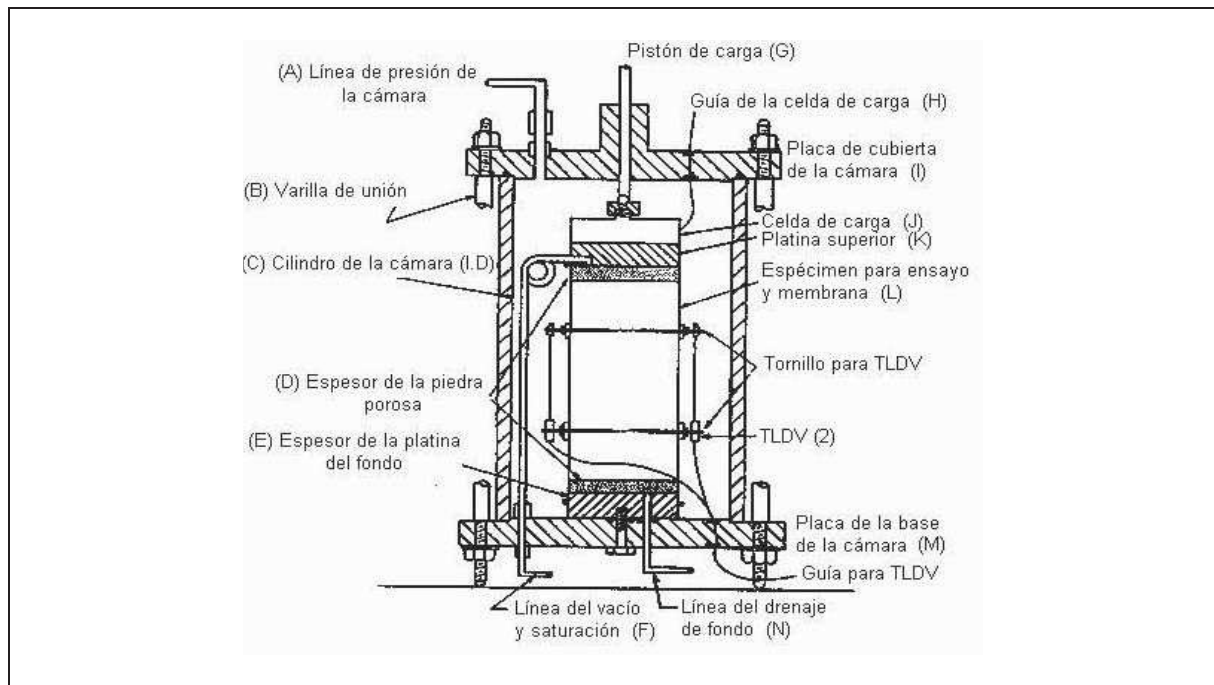


Tabla de medidas típicas

Dimensione	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Métricas,	6,4	12,	152,	6,4	38,1	6,4	12,	Nota	19,1	Nota	38,1	Nota	2,5	6,4
Inglesas,	0,2	0,50	6,00	0,2	1,5	0,2	0,50		0,7		1,5		0,10	0,2

Notas:

1. Las dimensiones varían con el fabricante.
2. Las dimensiones varían con el tamaño de la muestra.
3. TLDV = Transductores Lineales Diferenciales, Variables.

Figura 1. Cámara triaxial con TLDV interiores y celda de carga.

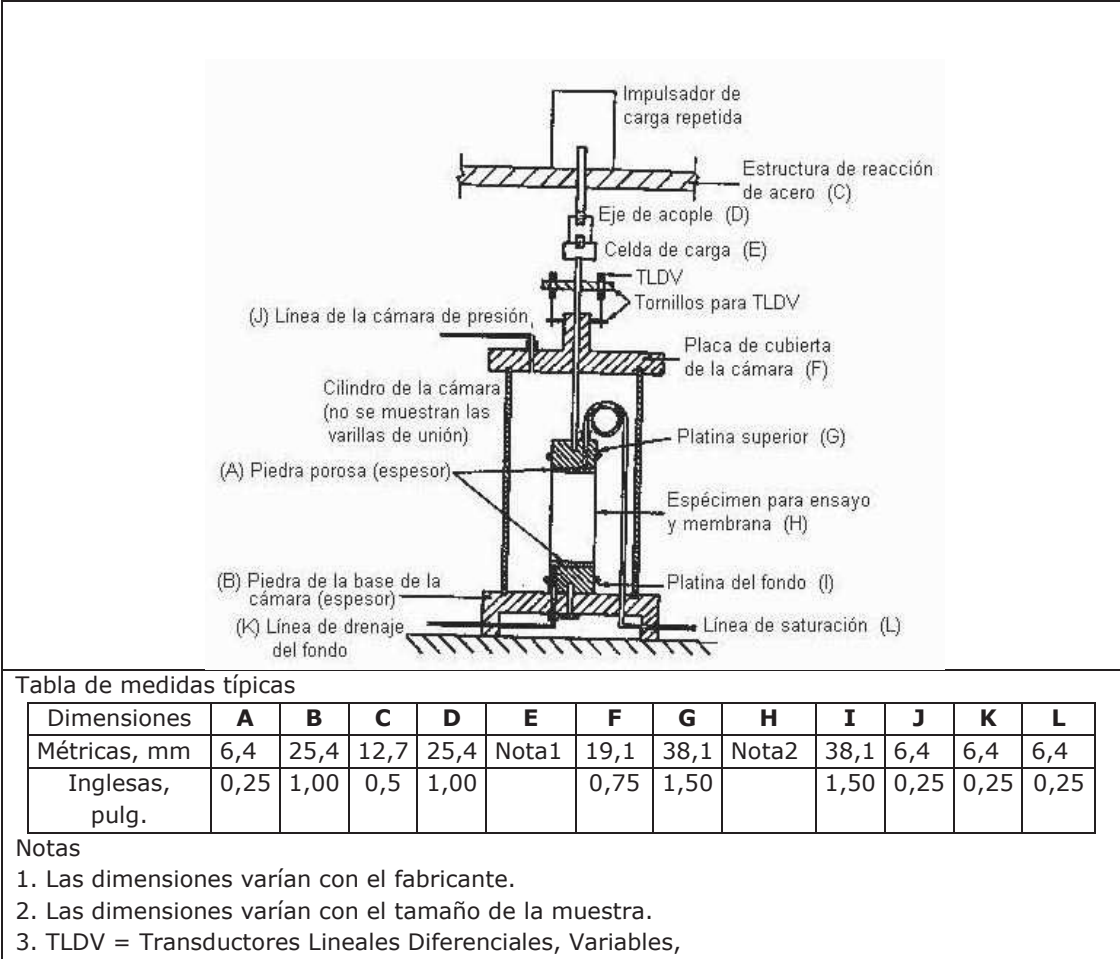


Figura 2. Cámara triaxial con TLDV exteriores y celda de carga.

En ambas configuraciones puede utilizarse aire como fluido para la cámara. Puede emplearse también agua o mezcla de agua-alcohol.

- 4.2 Dispositivo de aplicación de carga. La fuente externa de carga puede ser cualquier dispositivo capaz de producir carga repetida, que varíe en ciclos fijos de carga y de alivio. Estos dispositivos varían desde ejes de levas simples e interruptores de carga estática o pistones de aire, hasta sistemas electro hidráulicos de abrazaderas de cierre. Se necesita una duración de la carga, de 0,1 s y una duración del ciclo, de 1 a 3 s. Puede emplearse una forma de pulsación del esfuerzo simulada, sinusoidal, rectangular o triangular.
- 4.3 Equipo de medida de la carga y de la respuesta del espécimen:
- El dispositivo para medir la carga axial es una celda electrónica de carga. Preferiblemente se mide la carga colocando la celda entre la parte superior del espécimen y el pistón de carga, como se muestra en la Figura 1. Las celdas de carga pueden montarse también fuera de la cámara de ensayo, previendo que se hagan las correcciones necesarias por cualquier fricción dinámica del pistón en el cuello de la cámara.
 - Las presiones de la cámara de ensayo son controladas con manómetros convencionales de presión o transductores (aparatos medidores de presión) con graduaciones de sensibilidad convenientes.
 - El equipo para medida de la deformación axial usado en materiales con módulos resilientes mayores de 104000 kPa (15000 lb/pulg²), consiste de 2 transformadores lineales diferenciales variables (TLDV); conectados directamente a la muestra mediante un par de

abrazaderas. Las abrazaderas y los TLDV se muestran en posición, sobre un espécimen de ensayo, en la Figura 1. Detalles de las abrazaderas se muestran en la Figura 3.

Pueden efectuarse las medidas de la deformación axial, sobre materiales con módulo resiliente máximo, menor de 104000 kPa (15000 lb/puIg²), con los TLDV abrazados al cuerpo del pistón por fuera de la cámara de ensayo (véase Figura 2).

- Es necesario mantener una señal de excitación adecuada, acondicionada y un campo de grabación adicionado a los dispositivos de medida, para registrar simultáneamente las deformaciones y la carga axial. Los TLDV deberán conectarse de tal manera que sea registrada la señal promedio del par.
- Para disminuir errores en la medida y registro de la respuesta del espécimen, se calibra el sistema inmediatamente antes y después de cada ensayo. Un dispositivo que ha sido hallado satisfactorio para este fin, consiste de un anillo de carga de alta calidad soportado por una guía incompresible de acero, cuyas dimensiones totales son similares a las del espécimen de ensayo (Figura 4).

Para calibrar el sistema, se coloca el dispositivo sobre la base de la cámara triaxial de la celda de carga, con los TLDV instalados. El dispositivo se somete a cargas repetidas de la magnitud y duración empleada para medir la respuesta resiliente del espécimen de ensayo. Sosteniendo una tarjeta contra la cara del dial del anillo de carga, pueden observarse sin dificultad las deflexiones dinámicas resultantes del, anillo. Los desplazamientos del anillo de carga se comparan con la traza registrada del TLDV, para obtener la calibración de la deformación. La carga de la propia relación fuerza-deformación del anillo, se utiliza para establecer la magnitud de la carga representada por la traza registrada de la celda de carga.

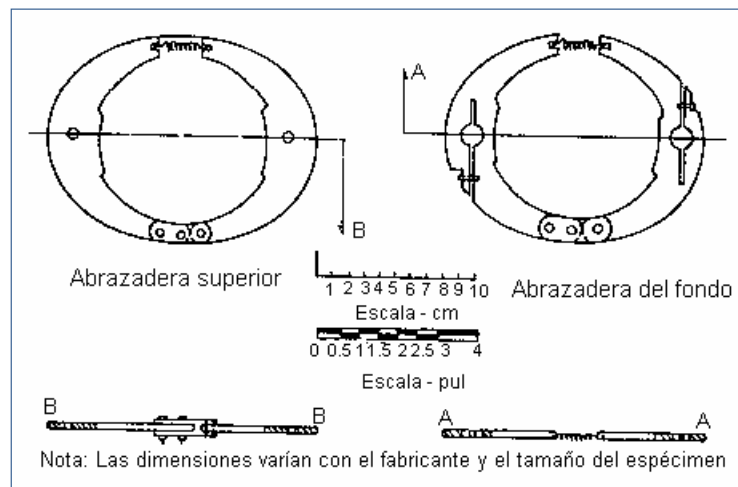


Figura 3. Detalle de abrazadera del TLDV

4.4 Equipo para la preparación del espécimen. Se requiere gran variedad de equipos para la preparación de muestras inalteradas para ensayos, y para obtener especímenes compactados que sean representativos de las condiciones en el terreno. El empleo de diferentes materiales y de distintos métodos de compactación en el terreno, implican el uso de técnicas variadas de compactación en el laboratorio. El equipo típico requerido se enumera a continuación:

- Equipo para recortar especímenes de ensayo de muestras inalteradas como el descrito en MTC E 131.
- Equipo para compactación por impacto como el descrito en los métodos MTC E 116 para las relaciones de humedad-peso unitario de suelos empleando equipo normal y MTC E 115 para la relación humedad-peso unitario de suelos empleando equipo Proctor Modificado.

- Aparato para compactación por amasamiento como el descrito en la Norma: Denominación del Valor R-Value y de la presión de los suelos compactados u otros aparatos que utilicen métodos de compactación por amasamiento. (Ver Anexo).
- Aparato para compactar estáticamente un peso conocido de suelo húmedo hasta una longitud predeterminada y un diámetro fijado por las dimensiones de un molde. En la Figura 5 se muestra un conjunto de molde típico para la preparación de un espécimen de 71 mm (2,8") por 152 mm (6") de altura para 3 capas de compactación estática.

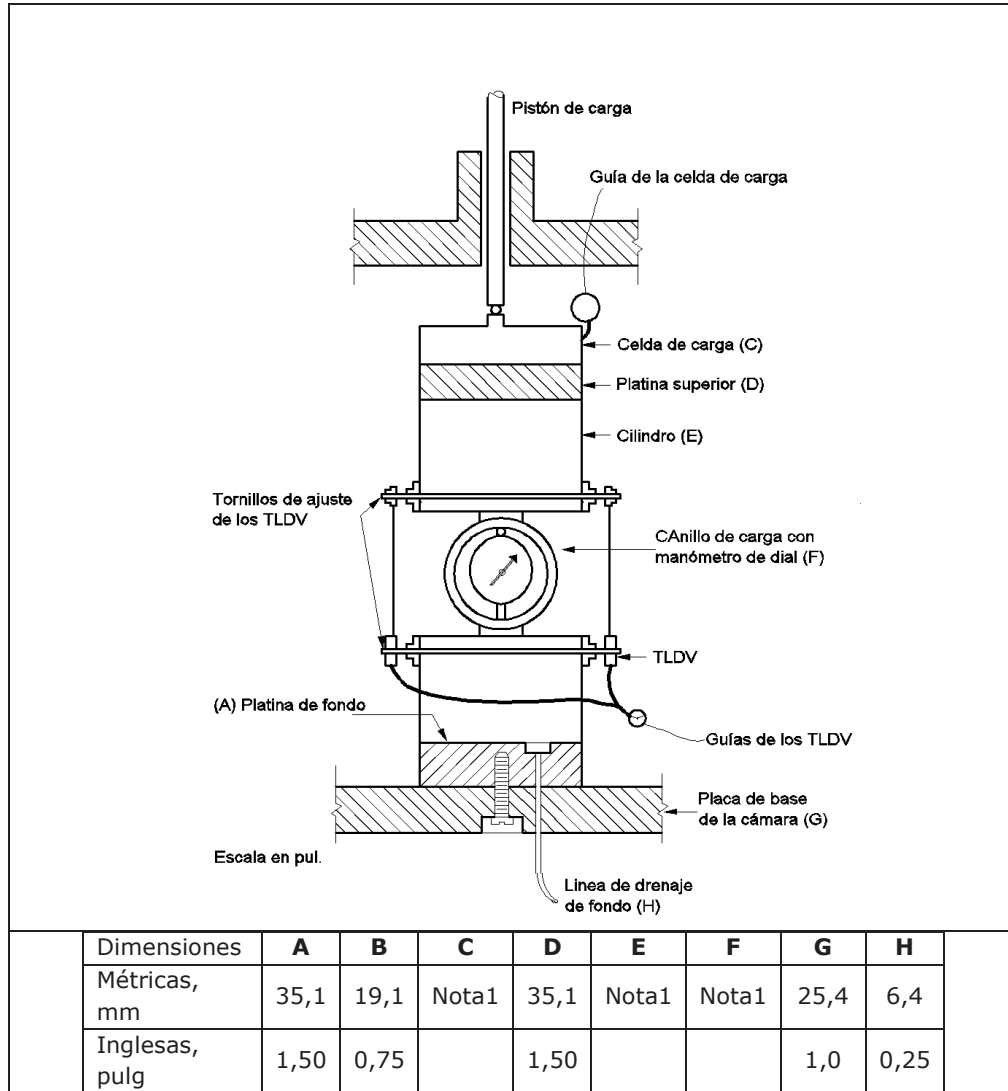


Figura 4. Dispositivo de Calibración del anillo de carga

Las dimensiones varían con el tamaño de la muestra y con el fabricante del equipo

- Molde partido y compactador vibratorio manual operado con aire, como se muestra en la Figura 6.
- Máquina de carga estática con una capacidad adecuada para compactar diferentes materiales.

4.5 Aparatos y elementos misceláneos requeridos. Estos incluyen calibradores, manómetros micrométricos, regla de acero (calibrada a 0,5 mm (0,02")), membranas de caucho de 0,254 a 0,635 mm (0,01" a 0,025") de espesor, anillos de caucho en O, fuente de vacío con cámara y

regulador de burbujas, dilatador de membrana, piedras porosas, reglas, recipientes para contenidos de agua, así como formatos para informe.

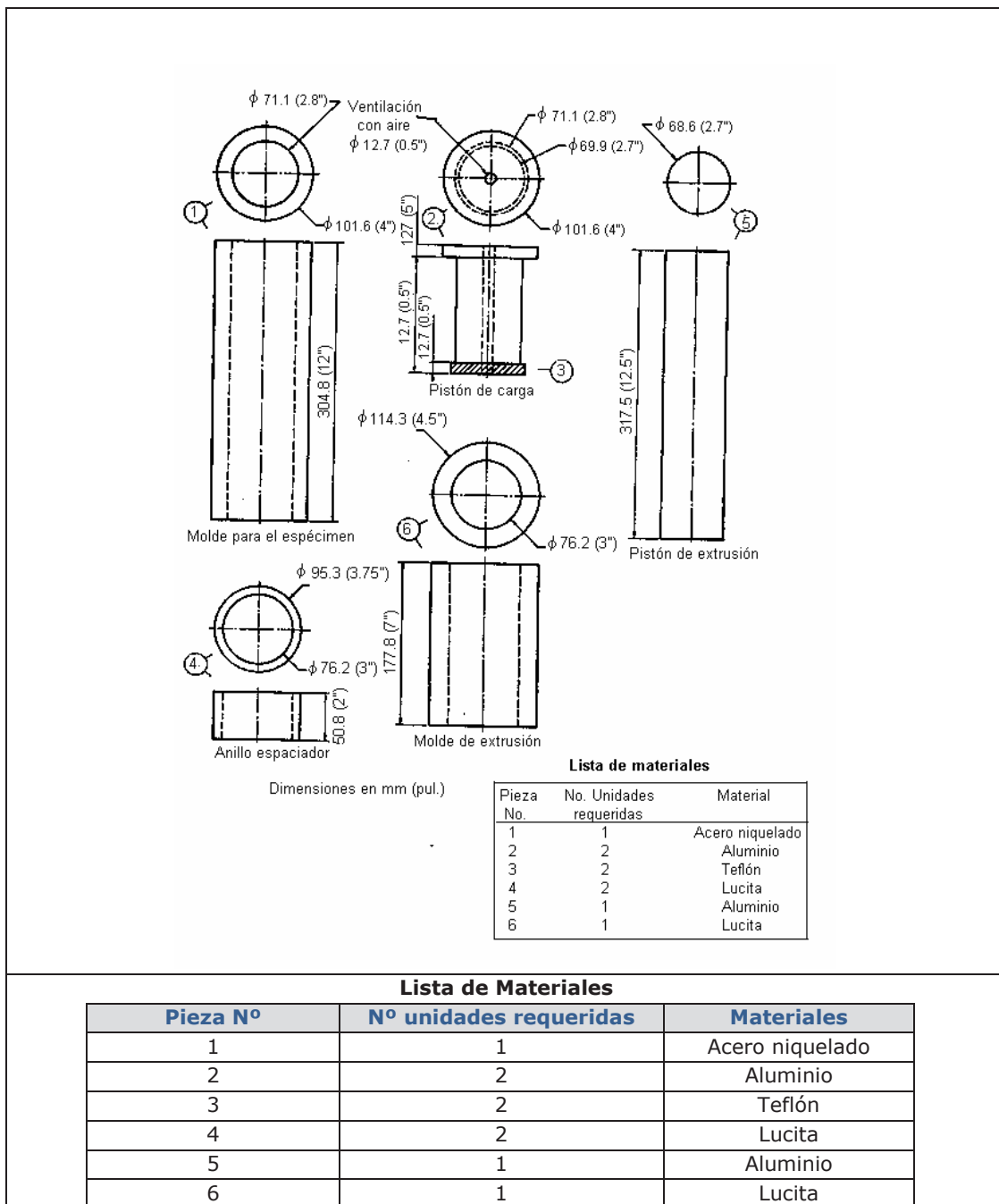


Figura 5: Aparato para compactación estática

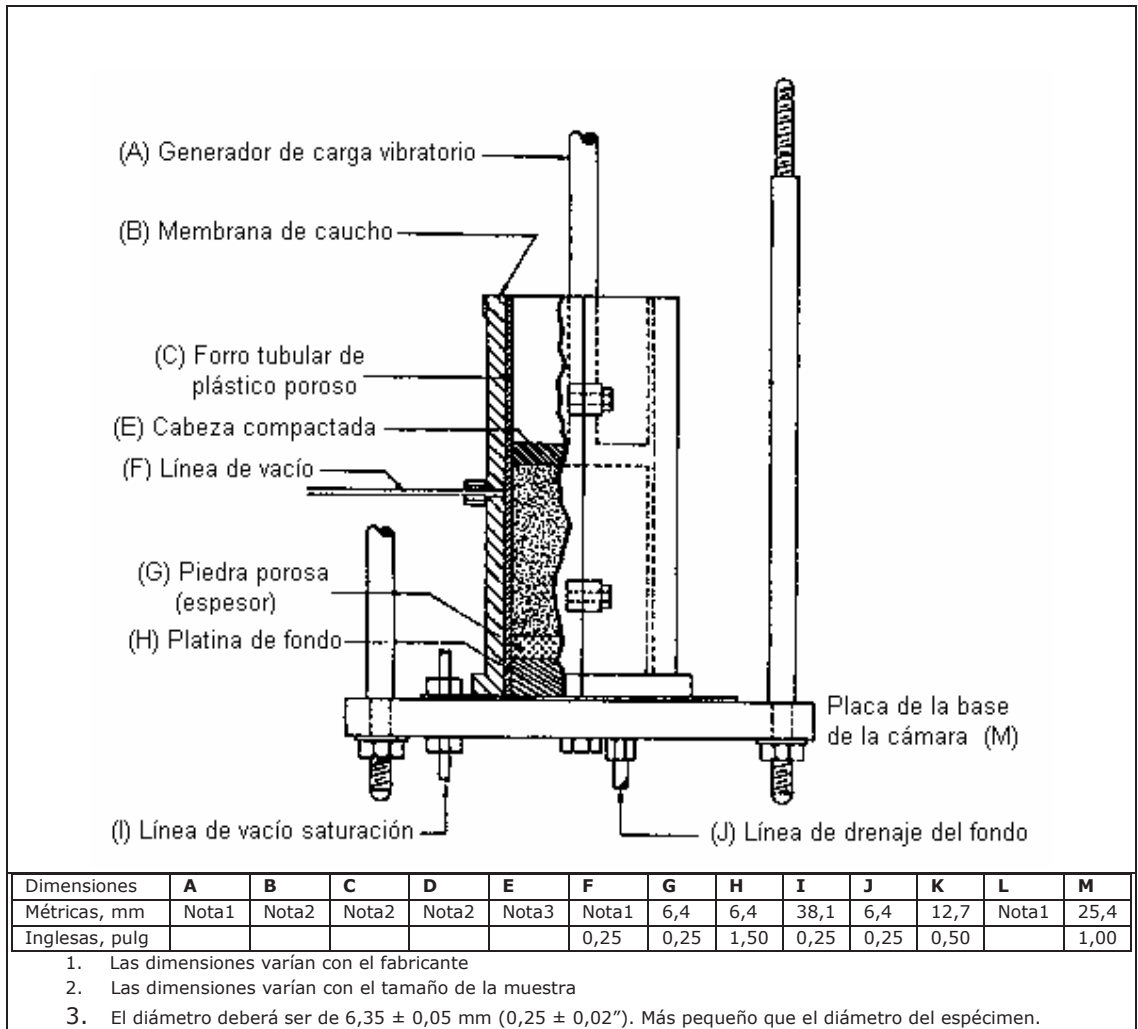


Figura 6. Aparato para compactación vibratoria de suelos no cohesivos

5.0 MUESTRA

5.1 PREPARACION DEL ENSAYO

- 5.1.1 Tamaño del espécimen. La longitud del espécimen no deberá ser menor de dos veces el diámetro. El diámetro mínimo del espécimen es el mayor entre 71 mm (2,8") o seis veces el tamaño de la partícula mayor del suelo. Especímenes de 102 mm (4") de diámetro por 203 mm (8") de altura pueden acomodarse en la celda triaxial mostrada en la Figura 1, y éste es el tamaño mínimo requerido para el espécimen, cuando se utilizan abrazaderas de anillo como soportes de los TLDV mostrados en la Figura 3.
- 5.1.2 Especímenes inalterados. Los especímenes inalterados se recortan y preparan como se describe en la norma MTC E 131.
- 5.1.3 Preparación del suelo para especímenes compactados de laboratorio. El procedimiento siguiente es empleado para preparar las muestras de suelos para compactación, en el laboratorio:
- Si la muestra de suelo está húmeda cuando se recibe del terreno, se secará hasta que sea disgregable con un palustre. El secado puede ser al aire o mediante el empleo de un aparato para secar, en tal forma que la temperatura no exceda de 60 °C. La disgregación se hará evitando la reducción del tamaño natural de las partículas individuales.
 - Tamícese una cantidad adecuada, representativa de suelo, sobre el tamiz de 19,0 mm (¾"). Descártese el material grueso retenido, si lo hubiere.

- Determinese la humedad w_1 , secando el suelo al aire. La muestra para humedad no deberá pesar menos de 200 g para suelos con un tamaño máximo de partículas de 4,75 mm (Nº 4), y no menor de 500 g, para suelos con tamaño máximo de partículas, mayor que 4,75 mm (Nº 4).
- Determinese el volumen V , del espécimen compactado que se va a preparar. Para métodos diferentes al de compactación estática, la altura del espécimen compactado deberá ser ligeramente mayor que la requerida para el ensayo de resiliencia, para permitir el recorte de los extremos del mismo. Un exceso de 13 mm (0,5") es adecuado para este propósito.
- Determinese el peso de los sólidos del suelo secado al horno W_s y el peso de agua W_c , requerida para obtener el peso unitario seco δ_d deseado y el contenido de agua w_c (%), así:

$$W_s (\text{lb}) = \delta_d (\text{lb} / \text{pie}^3) \times V(\text{pies}^3)$$

$$W_s (\text{gramos}) = W_s (\text{lb}) \times 454$$

$$W_c (\text{lb}) = W_s (\text{lb}) \times w_c / 100$$

$$W_c (\text{gramos}) = W_c (\text{lb}) \times 454$$

- Determinese el peso del suelo secado al aire W_{ad} , requerido para obtener W_s . Una cantidad adicional W_{as} , de por lo menos 500 g deberá dejarse para proporcionar material para la determinación del contenido de agua en el momento de compactación.

$$W_{ad} (\text{gramos}) = (W_s + W_{as}) + (1 + w_1 / 100).$$

- Determinese el peso del agua W_{aw} , requerido para aumentar el peso existente de agua hasta el peso del agua W_c , que corresponde al contenido de agua w_c (%) para la compactación deseada.

$$W_1 (\text{gramos}) = (W_s + W_{as}) \times (w_1 / 100)$$

$$W_2 (\text{gramos}) = (W_s + W_{as}) \times (w_0 / 100)$$

$$W_{aw} (\text{gramos}) = W_2 - W_1$$

- Determinese el peso húmedo del suelo W_t que va a ser compactado.

$$W_t (\text{gramos}) = W_s \times 1 + (w_c/100)$$

- Colóquese el peso de suelo W_{ad} , determinado anteriormente, dentro de una cazuela para mezclar.
- Agréguese el peso de agua W_{aw} al suelo, en cantidades pequeñas y mézclase completamente después de cada adición.
- Colóquese la mezcla en una bolsa plástica, séllese la bolsa y almacénese en un ambiente de por lo menos 75% de humedad relativa durante 24 horas. Asegúrese un sello completo empleando dos o más bolsas.
- Después del mezclado y almacenamiento, pésese el suelo húmedo y el recipiente con aproximación al gramo más próximo y anótese este valor en los formatos apropiados mostrados en las figuras 7 y 8.

5.1.4 Especímenes compactados de suelos cohesivos. El comportamiento resiliente de suelos cohesivos compactados, que contienen cantidades sustanciales de arcilla, depende de la estructura impartida a las partículas del suelo mediante el proceso de compactación. Suelos cohesivos que contienen cantidades sustanciales de arcilla están definidos para este procedimiento como suelos clasificados como A-2-6, A-2-7, A-6 y A-7.

- a) Selección del método de compactación. El método de compactación y el contenido de agua de moldeo w_c de suelos cohesivos, dependen de las condiciones del terreno que van a ser simuladas por el espécimen de laboratorio.

1. Especímenes que representen subrasantes cohesivas compactadas a humedades que correspondan a menos del 80% de saturación, que permanezcan en la condición como

fueron construidas, podrán compactarse hasta el peso unitario seco y húmedo del terreno, mediante procedimientos normales giratorios, de amasamiento o estáticos.

2. Especímenes de ensayo que representen una subrasante que fue originalmente compactada a una humedad menor que la correspondiente al 80% de saturación, pero que ha experimentado posteriormente un aumento de humedad al someterse al servicio, se compactarán con la humedad esperada, empleando el método estático descrito.
3. El amasamiento se emplea para preparar especímenes que representan las condiciones en el terreno y de servicio del párrafo anterior, sólo si los especímenes se compactan al contenido inicial de agua (empleada en la construcción) y se someten luego a cambios después de la compactación. Cambios controlados del contenido de agua, después de la compactación, están limitados en el laboratorio a las técnicas de saturación bajo contrapresión, descritas en el numeral 5.1.4.e).
4. Los especímenes de ensayo que representen subrasantes cohesivas, compactadas en el terreno a contenidos de agua mayores que el 80% de saturación, se compactarán en el laboratorio empleando la compactación por amasamiento. Tales especímenes de ensayo pueden someterse también a compactación posterior y a aumentos en la humedad, si el material del terreno que van a representar ha experimentado compactación posterior y aumentos en su contenido de agua.
5. La Tabla 1 resume la discusión anterior, en relación con la selección a del método de compactación

Tabla 1
Selección del método de compactación

Giratorio	Por amasamiento	Estático
Subrasantes compactadas con contenido de agua menor que el 80% de la humedad de saturación y que permanecen en esa condición	—————→	
		Subrasantes compactadas con contenido de agua menor que el 80% de la humedad de saturación y con contenidos de agua crecientes.
	Muestra compactada con la humedad inicial de campo, y sujeta a cambios de humedad después de la construcción.	
	Subrasantes compactadas con humedades mayores del 80% de la humedad de Saturación	

MODULO RESILIENTE PARA SUELOS COHESIVOS								
Obra _____			Peso del espécimen _____			Fecha _____		
Sifio _____			Peso inicial recipiente _____			Método de Compactación _____		
Muestra No _____			+ suelo húmedo, gms _____			Espaciamiento vertical* _____		
Peso específico _____			Peso final recipiente _____			Entre abrazaderas TLDV _____		
Medidas del espécimen de suelo			+ suelo húmedo, gms _____			cm (pulg) _____		
			Peso suelo húmedo usado _____			Constantes _____		
Superior _____			Volumen espécimen de suelo _____			TLDV vertical _____		
Medio _____						Carga de la celda _____		
Diámetro cm (pulg) Inferior _____			Area inicial A_0 _____			Contenido de agua después del Ensayo de Resiliencia % _____		
Promedio _____			cm ² (pulg ²) _____					
Espesor de la membrana _____			Volumen $A_0 L_0$ _____			Observaciones _____		
Diámetro neto cm (pulg) _____			cm ³ (pulg ³) _____					
Alt. espécimen + tapa + base _____			Peso unitario húmeda _____					
Alt. tapa + base _____			Kg /m ³ (lbs/pie ³) _____					
Longitud inicial L_0 _____			Agua de compactación, w_c , % _____					
			% Saturación _____					
			Peso unitario seco _____					
			Kg/m ³ (lbs/pie ³) _____					
Esfuerzo de desviación nominal σ_d kPa(lbs/pulg ²)	Presión de la cámara σ_3 kPa(lbs/pulg ²)	Carga de la celda lectura del gráfico	Carga de desviación kN(lbs)	σ_d aplicado kPa(lbs/pulg ²)	Deformación recuperable TLDV lectura del gráfico	Deformación recuperable mm(pulg)	ϵ_r mm/mm (pulg/pulg)	$M_r = \sigma_d / \epsilon_r$ kPa(lbs/pulg ²)
* No aplicable a TLDV montado exteriormente								

Figura 7. Módulo resiliente para suelos cohesivos



MODULO RESILIENTE PARA SUELOS GRANULARES										
Obra _____			Peso del espécimen _____			Fecha _____				
Sitio _____			Peso inicial recipiente _____			Método de compactación _____				
Muestra No. _____			+ suelo húmedo, gms _____			Separación vertical* _____				
Peso específico _____			Peso final recipiente _____			Entre abrazaderas TLDV _____				
Medidas del espécimen de suelo			+ suelo húmedo, gms _____			cm (pulg) _____				
Superior _____			Peso suelo húmedo usado _____			Constantes _____				
Medio _____			Volumen espécimen de suelo _____			TLDV vertical _____				
Diámetro cm (pulg)			Area inicial A _o _____			Carga de la celda _____				
Inferior _____			cm ² (pulg ²) _____			Contenido de agua después del _____				
Promedio _____			Volumen A _o L _o _____			Ensayo de Resiliencia % _____				
Espesor de la membrana _____			cm ³ (pulg ³) _____			Observaciones _____				
Diámetro neto cm (pulg) _____			Peso unitario húmedo _____							
Alt. espécimen + tapa + base _____			Kg/m ³ (lbs/pie ³) _____							
Alt. tapa + base _____			Kg/m ³ (lbs/pie ³) _____							
Longitud inicial L _o _____			Agua de compactación, w _s , % _____							
Diámetro interior _____			% Saturación _____							
			Peso unitario seco _____							
			Kg/m ³ (lbs/pie ³) _____							

Presión de la cámara σ_3 kPa (lbs/pulg ²)	σ_d Nominal kPa (lbs/pulg ²)	Carga de la celda Lectura del gráfico	Carga de desviación kN (lbs)	σ_d aplicado kPa (lbs/pulg ²)	σ_1 kPa (lbs/pulg ²)	Deformación recuperable lectura del gráfico del TLDV	Deformación recuperable m.m. (pulg.)	ϵ_r (mm/mm) (pulg/pulg)	$M_r = \sigma_d / \epsilon_r$ (lbs/pulg ²)	$\theta = \sigma_1 + 2\sigma_3$ (lbs/pulg ²)

* No aplicable a TLDV montado exteriormente

Figura 8. Módulo resiliente para suelos granulares

b) Relaciones entre humedad y peso unitario. Cuando son conocidas las variaciones de las condiciones de compactación y de las condiciones en el servicio, se escogerá el método de compactación requerido para el laboratorio, entre los métodos alternos enumerados. Si las condiciones en servicio no están bien definidas, se prepararán y ensayarán especímenes dentro de una variación de pesos unitarios secos y contenidos de agua. Se cumplirán cuatro pasos para escoger los pesos unitarios, contenidos de agua, y métodos de compactación empleados para preparar especímenes representativos dentro de la variación del comportamiento resiliente.

1. Establézcase la relación peso unitario-humedad para el suelo según la norma MTC E116, con martillo de 2,5 kg y caída de 305 mm (12") (equipo normal).
2. Determinése el peso específico de los suelos, de acuerdo con el método MTC E113.

3. Úsese los datos así obtenidos para determinar el 100% y el 80% de saturación a diferentes densidades. Sobre el gráfico de la relación humedad-peso unitario determinada, se dibujan líneas para el 80% y para el 100% de saturación.
 4. Escójanse los pesos unitarios, las humedades y los métodos de compactación, que deberán emplearse para preparar especímenes de ensayo.
- c) Compactación por métodos de amasamiento., Los moldes normales, asociados con métodos de compactación por amasamiento, tales como el Hveem o el Harvard miniatura, pueden no tener las dimensiones correctas para su utilización directa en el ensayo de resiliencia. Pueden obtenerse, sin embargo, moldes de las dimensiones correctas, y los métodos a los cuales se hace referencia atrás, pueden adaptarse a los nuevos moldes. Generalmente esto requerirá justos, por tanteos en el número de capas compactadas o en el número de golpes por capa (o ambos), para producir especímenes de los pesos unitarios requeridos. Especímenes compactados de mayor tamaño pueden prepararse y recortarse al tamaño correcto del espécimen del ensayo.

Ocho pasos se requerirán para el procedimiento de compactación por amasado.

1. Establézcase el número de capas, N que van a usarse para compactar el suelo. Determínese el peso húmedo del suelo requerido por capa, WL. El espesor de la capa no deberá exceder de 50 mm (2").

$$WL \text{ (gramos)} = Wt / N$$

2. Colóquese en el molde el peso de suelo determinado en el paso 1. Compáctese de acuerdo con el procedimiento establecido para las dimensiones del molde y el compactador usado. Escarifíquese la superficie para las capas restantes.
3. Repítase el paso 2 para las capas restantes.
4. Después de que se haya completado el espécimen, verifíquese el contenido de agua de compactación wc del suelo restante. La muestra para humedad no deberá pesar menos de 200 g, para suelos con tamaño máximo de partículas de 4,75 mm (Nº 4) y no menos de 500 g, para suelos con un tamaño máximo de partícula mayor.

Regístrese este valor en un formato para suelos cohesivos como se muestra en la Figura 7.

5. Remuévase cuidadosamente el espécimen del molde. Si el espécimen compactado no tiene las dimensiones deseadas, recórtese el espécimen de ensayo de acuerdo con los procedimientos descritos en la norma MTC E131, "Parámetros de resistencia del suelo mediante compresión triaxial". Si el molde de compactación tiene las mismas dimensiones del espécimen de ensayo deseado, pueden obtenerse extremos de superficies planas, aplicando una pequeña carga estática al espécimen antes de que sea cuidadosamente removido del molde.
6. Pésese el espécimen con aproximación al gramo más próximo, y determínese la altura y el diámetro promedio con aproximación a 0,5 mm (0,02"); anótense dichos valores en un formato para suelos cohesivos, como se muestra en la Figura 7.
7. Empleando un dilatador de membranas al vacío, colóquese una membrana delgada e impermeable sobre el espécimen. Colóquense anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana, para proporcionar un sello positivo a las platinas del tope y del fondo, como las que se usan con la cámara triaxial.
8. Envuélvase la muestra incluida en la membrana, en una bolsa plástica, y colóquese en un ambiente de por lo menos 75% de humedad relativa, durante un periodo de no menos de 24 horas, para asegurar una distribución uniforme de la humedad. Si no se va a emplear un acondicionamiento después de la compactación o una saturación por contrapresión, el espécimen está listo para transferirlo a la cámara triaxial para ensayo de resiliencia.

- d) Compactación mediante carga estática. En ausencia de métodos normales para compactación estática, se emplea el método descrito en esta norma. El proceso consiste en compactar un peso conocido de suelo húmedo hasta volumen que es fijado por las dimensiones del conjunto del molde. Un conjunto de molde típico empleando 3 capas para la preparación de un espécimen de 71 mm (2,8") de diámetro y 152 mm (6") de altura, se muestra en la Figura 5.

Pueden desarrollarse otros equipos adecuados y disponer el número de capas necesarias para producir muestras de dimensiones mayores. Para la compactación estática se requieren dieciséis pasos, a saber:

1. Establézcase el número, N de capas que deben emplearse para compactar el suelo. El espesor de cada capa deberá limitarse a 50 mm (2"). Determinése el peso del suelo húmedo por capas.

$$WL \text{ (gramos)} = Wt / N$$

2. Colóquese uno de los pistones de carga dentro del molde de la muestra.
3. Colóquese el peso del suelo WL, determinado en el paso 1 dentro del molde para la muestra. Úsese una espátula para quitar el suelo del borde del molde y para formar un ligero montículo en el centro.
4. Insértese el segundo pistón de carga y colóquese el conjunto en la máquina de carga estática. Aplíquese una carga pequeña, ajústese el molde de manera que permanezca a igual distancia de la tapa de los pistones de carga. La presión desarrollada en el suelo por la carga inicial sirve para mantener el molde en su lugar. Teniendo ambos pistones de carga simultáneamente en posición para que no haya cambio de volumen, se obtienen pesos unitarios más uniformes, por capa.
5. Auméntese lentamente la carga, hasta que las tapas del pistón de carga descansen firmemente contra el molde. Manténgase la carga en o cerca de la carga máxima, por lo menos durante 1 minuto. La razón de carga y la duración de la misma, dependen de la cantidad del rebote del suelo. Para una razón de carga más baja y a mayor duración de la carga, el rebote será menor.
6. Disminúyase la carga hasta cero y remuévase el conjunto de la máquina de carga.
7. Remuévase el pistón de carga. Escarifíquese la superficie de la capa compactada, póngase el peso correcto del suelo WL para una segunda capa, y ajústese el suelo como en el paso 3. Agréguese un anillo espaciador e inviértase el pistón de carga.
8. Inviértase el dispositivo y repítase el paso 7.
9. Colóquese el conjunto en la máquina de carga. Cárguese lentamente mientras se mantiene la carga en o cerca de la máxima, cuando el disco espaciador hace contacto firmemente con el molde.
10. Repítanse los pasos 6, 7, 8 y 9, tanto como sean requeridos.
11. Después de que haya sido completado el espécimen, determínese el contenido del agua de compactación (wc) del suelo restante. La muestra para humedad no deberá pesar menos de 200 g, para suelos con tamaño máximo de partículas de 4,75mm (tamiz N° 4) y no menos de 400 g, para suelos con tamaño máximo mayor.
Regístrese este valor en un formato para suelos cohesivos.
12. Colóquese el pistón de extrusión dentro del molde de la muestra y fuécese el espécimen hacia afuera del molde y dentro del molde de extrusión.
13. Úsese el molde de extrusión para deslizar cuidadosamente el espécimen compactado, sobre una placa de vidrio.

14. Determínese el peso del espécimen compactado, con aproximación al gramo. Mídase la altura y el diámetro con aproximación a 0,5 mm (0,02"). Regístrense los valores en un formato para suelo cohesivo.
 15. Empleando un dilatador de membranas, colóquese la membrana delgada a prueba de pinchazos sobre el espécimen. Colóquense anillos en O u otros sellos de presión, alrededor de la membrana para proporcionar un sello efectivo a las platinas sólidas de los extremos superior e inferior, similares a los que se emplean con la cámara triaxial.
 16. Cúrese el espécimen como se describe en el numeral 5.1.4.c), paso 8. Si no se va a efectuar ninguna operación después de la compactación, por ejemplo saturación por contrapresión después de la compactación, el espécimen se halla listo para el ensayo de resiliencia en la cámara triaxial.
- e) Saturación por contrapresión después de la compactación de especímenes de suelos cohesivos. Si un espécimen de suelo cohesivo inalterado o que se compacta por los métodos de los numerales 5.1.4.c) y 5.1.4.d), se va a saturar antes del ensayo, deben cumplirse los siguientes 22 pasos:
1. Sepárese el espécimen de ensayo de las platinas de los extremos, removiendo primero los anillos de caucho en O, y luego doblando o enrollando cuidadosamente la membrana desde los extremos del espécimen, hasta una distancia de aproximadamente 6,4 mm ($\frac{1}{4}$ ").
 2. Colóquese una piedra porosa saturada, encima del pedestal o de la platina de base de la cámara triaxial. Satúrese la línea de drenaje del fondo de la cámara triaxial y el dispositivo para medir presión de poros, antes de iniciar este proceso, haciendo pasar agua desaireada a través de él. Si se usa una platina de tipo removible para el fondo, ajústese ésta firmemente a la cámara triaxial para obtener un sello hermético.
 3. Con la válvula de drenaje del fondo cerrada, colóquese la muestra de ensayo sobre la piedra porosa saturada, desdóblese cuidadosamente la membrana hacia abajo y séllese ésta al pedestal o a la platina de base con un anillo en O u otro sello de presión.
 4. Colóquese la piedra porosa superior y la placa del extremo superior (Con la válvula de saturación de ingreso) sobre la parte superior del espécimen, desdóblese la membrana hacia arriba y séllese al extremo superior de la platina.
 5. Con la línea de drenaje del fondo del espécimen cerrado, conéctese la entrada de vacío de la parte superior del espécimen a una fuente de vacío a través de una cámara de burbujas, y aplíquese un vacío de 35 kPa (5 lb/puIg²). Si no hay burbujas, se ha obtenido un sello hermético para el sistema. Cuando hay burbujas, verifíquense los goteos causados por conexiones pobres, huecos en la membrana, o sellos imperfectos, en las platinas de los extremos.
 6. Cuando se hayan eliminado los escapes, desconéctese la fuente de vacío. Si se ha de medir la respuesta del espécimen empleando los TLDV montados internamente, se requieren los pasos 7, 8 y 9. Si se van a emplear TLDV montados exteriormente, el método continúa con el paso 10.
 7. Abrase la abrazadera del TLDV inferior y fíjese cuidadosamente, en un punto ubicado en el cuarto inferior del espécimen, aproximadamente.
 8. Repítase el paso 7 para la abrazadera superior, colocándola en el punto del cuarto superior. Asegúrese que ambas abrazaderas queden en planos horizontales.
 9. Conéctense los TLDV a la unidad de registro y balancéense los puentes de registro. Esto requerirá ajustes del registrador y ajustes de los vástagos de los TLDV. Cuando se haya obtenido el balanceo de un puente de registro, determínese la separación vertical entre las abrazaderas de los TLDV con aproximación a 0,5 mm (0,02") y regístrese este valor en un formato para suelos cohesivos.

10. Asiéntese la celda de carga en su lugar sobre la parte superior de la muestra, si se emplea la configuración de la celda de carga de la Figura 1.
 11. Colóquese el cilindro de la cámara y la placa de cubierta. Insértese el pistón de carga y obténgase una conexión firme con la celda de carga.
 12. Ajustense firmemente las varillas de unión de la cámara.
 13. Deslícese el conjunto del aparato, y colóquelo en posición bajo el dispositivo de carga axial. Bájese el dispositivo de carga y acóplese al pistón de la cámara triaxial.
 14. Conéctese la línea de suministro de presión a la cámara y aplíquese una presión de confinamiento, de 35 kPa (5 lb/pulg²).
 15. Conéctese la línea de drenaje del fondo del espécimen a un recipiente de agua destilada desaireada, para la cual pueda controlarse la contrapresión.
 16. Reconéctese la línea de drenaje de la parte superior de la muestra a la fuente de vacío a través de la cámara de burbujas. Aplíquese un vacío de 21 kPa (3 lb/puIg²), a la parte superior de la muestra.
 17. Abrase la válvula de drenaje del fondo y déjese que el agua suba lentamente a través de la muestra. Cuando aparezca y fluya el agua del espécimen en la línea superior de drenaje, desconéctese la fuente de vacío.
 18. Conéctese la línea de drenaje superior a un segundo recipiente de agua destilada desaireada. Manténgase la contrapresión en este recipiente, 35 kPa (5 lb/pulg²) menos que la presión en el recipiente conectado al fondo de la muestra.
 19. Elévese la presión de la cámara y la contrapresión lentamente, en incrementos de 35 kPa (5 lb/pulg²) hasta 518 kPa (75 lb/puIg²) y 483 kPa (70 lb/puIg²) respectivamente, teniendo cuidado de mantener aproximadamente la presión de la cámara en 35 kPa (5 lb/puIg²) por encima de la contrapresión en el drenaje del fondo del recipiente, para evitar flujo entre el espécimen y la membrana.
 20. Continúese el flujo de agua a través del sistema, manteniendo la diferencia de 35 kPa (5 lb/puIg²) en la contrapresión aplicada a las líneas de drenaje de la parte superior e inferior, hasta que haya sido eliminado todo el aire.
 21. Cuando haya sido eliminado, todo el aire del espécimen de ensayo, un aumento de la presión de la cámara (con las válvulas de contrapresión de la parte superior y del fondo del recipiente, cerradas) se traducirá en un incremento, aproximadamente igual, en la presión de poros. Cuando se logre esta condición (puede tomar varios días), redúzcase la contrapresión a cero y la presión de la cámara hasta 35 kPa (5 lb/pulg²), teniendo cuidado de mantener la presión de la cámara, 35 kPa más alta que la contrapresión.
 22. Después que ambas, la contrapresión y la presión de la cámara, hayan sido reducidas a cero, desconéctense las líneas de drenaje de la parte superior e inferior, y ábranse a la presión atmosférica (cámara triaxial exterior). El espécimen está listo ahora para el ensayo de resiliencia.
- 5.1.5 Compactación de especímenes de suelos granulares. Suelos granulares que exhiban suficiente cohesión (aparente) para permitir su manejo (remoción del molde) transporte y sello en la membrana de caucho, se pueden compactar mediante los métodos descritos en los numerales 5.1.4.c) y 5.1.4.d).
- No es necesario, sin embargo, considerar efectos por la estructura del suelo. Las excepciones son algunos limos plásticos, que pueden exhibir también propiedades resilientes que dependen de las condiciones de compactación. Los materiales granulares que no pueden manejarse, se compactarán como se describirá más adelante.
- a) Relación de humedad-peso unitario. Cuando es conocida la variación de pesos unitarios en el terreno y de las condiciones de humedad que se representarán con los especímenes de

laboratorio, éstos se pueden compactar directamente al contenido de humedad en servicio, empleando los métodos de 5.1.4.c), 5.1.4.d) o 5.1.5.b). Si no están bien definidas las condiciones del servicio, prepárense y ensáyense especímenes sobre una variación de pesos unitarios secos y contenidos de humedad. Establézcanse las relaciones entre humedad-peso unitario del suelo de acuerdo con el procedimiento del MTC E 116, empleando martillo de 2,5 kg (55 lb) y caída de 30.5 mm (12") (equipo normal).

- b) Compactación de suelos granulares empleando un molde partido y un vibrador. Materiales granulares no cohesivos, son verdaderamente compactados mediante el empleo de un molde partido montado sobre la base de la celda triaxial como se muestra en la Figura 6. Las fuerzas de compactación son generadas mediante un vibrador, tal como un pequeño martillo neumático operado manualmente. Se necesitan los 26 pasos siguientes para compactar el espécimen:
1. Ajustese la base de la muestra en su sitio sobre la base de la cámara triaxial. Es esencial que se asegure un sello hermético al aire.
 2. Colóquense las dos piedras porosas más la tapa sobre la base de la muestra (se necesitan dos piedras porosas para especímenes saturados, pero generalmente sólo deberá usarse la piedra inferior para ensayos de especímenes no saturados). Determínese la altura de la base, tapa, y piedra con aproximación al 0,5 mm (0,02") más próximo, y anótese este valor en un formato para suelos granulares, como se muestra en la Figura 8.
 3. Remuévanse la tapa de la muestra y la piedra porosa superior, si ésta es usada; mídase el espesor de la membrana de caucho con un medidor micrométrico. Regístrese este valor en un formato para suelos granulares.
 4. Colóquese la membrana de caucho sobre la base de la muestra y la piedra porosa inferior. Fíjese la membrana en su sitio con sellos de anillos en O.
 5. Colóquese el molde partido primero alrededor de la base de la muestra y pásese la membrana por dentro del molde. Apriétese firmemente el molde partido en su sitio. Téngase cuidado para evitar pinchazos en la membrana.
 6. Estírese la membrana apretadamente sobre el borde del molde. Aplíquese un vacío al molde para remover todas las arrugas de la membrana. El empleo de plástico poroso que forme un forro tubular como se muestra en la Figura 6, ayuda a asegurar que la membrana se ajuste exactamente alrededor del perímetro interior del molde. El vacío debe mantenerse durante el procedimiento de compactación.
 7. Úsense calibradores para determinar con aproximación a 0,5 mm (0,02") el diámetro interior de la membrana tubular ajustada al molde. Determínese con aproximación a 0,5 mm (0,02") la distancia desde la parte superior de la piedra porosa, hasta el borde del molde.
 8. Determínese el volumen. V del espécimen que se va a preparar. El diámetro del espécimen es el diámetro medido en el paso 7, y la altura es un valor menor que el determinado en el paso 7 pero al menos de 2 veces el diámetro.
 9. Determínese el peso del material que debe compactarse dentro del volumen V determinado en el paso 8, para obtener el peso unitario y el contenido de agua deseados, como se describió en el numeral 5.1.3.
 10. Determínese el número de capas N que se van a emplear para la compactación. Normalmente, los espesores de las capas serán de 25,4 a 38,1 mm (1" a 1,5"). Determínese el peso del suelo húmedo requerido para cada capa WLY como en el numeral 5.1.4.c), paso 1.
 11. Colóquese el peso total requerido de suelo, Wad, dentro de una bandeja para mezcla. Agréguese la cantidad de agua requerida, Waw, y mézclase perfectamente.

12. Determínese el peso del suelo húmedo más el de la bandeja de mezclado, y anótese en un formato para suelos granulares.
13. Colóquese la cantidad de suelo húmedo requerido para una capa WL, dentro del molde. Téngase cuidado de evitar rebose. Úsese una espátula para quitar el material del borde del molde y fórmese un pequeño montículo en el centro del mismo.
14. Insértese la cabeza del vibrador y víbrese el suelo hasta que la distancia entre la superficie compactada y el borde del molde, sea igual a la distancia medida en el paso N° 7, menos el espesor de la capa escogida en el paso N° 10. Esto puede requerir la extracción e introducción de la cabeza del vibrador varias veces, hasta que por experiencia se obtenga la medición del tiempo de vibración requerido.
15. Repítanse los pasos 13 y 14 para cada nueva capa. La distancia medida desde la superficie de la capa compactada hasta el borde del molde, es reducida sucesivamente por el espesor de cada nueva capa a partir del Paso 10. La superficie final deberá ser un plano pulido y horizontal.
16. Cuando la compactación esté completa, médase el peso de la bandeja de mezcla más el exceso de suelo, y anótese en un formato para suelos granulares. El peso determinado en el paso 12, menos el peso medido ahora, es el peso del suelo húmedo incorporado en los especímenes. Verifíquese el contenido del agua de compactación, w_c del suelo remanente en la bandeja. La muestra para humedad no deberá pesar menos de 200 g para suelos con tamaño máximo de partículas de 4,75 mm (N° 4) y no menos de 500 g para suelos con tamaño máximo de partículas mayores. Regístrese este valor en el formato para suelos granulares.
17. Colóquese la piedra porosa y la tapa de la parte superior sobre la superficie del espécimen. Si la tapa de la muestra se proyecta por encima del borde del molde, deberá sellarse firmemente la membrana contra la tapa con un anillo de sello O. Si no es así, el sello puede aplicarse más tarde.
18. Conéctese la entrada de vacío-saturación a una fuente de vacío y aplíquense 35 kPa (5 lb/pulg²) de vacío con una cámara de burbujas. El vacío sirve para detectar escapes y para producir un esfuerzo inducido rígidamente al material, para evitar el colapso cuando se remueva el molde.
19. Remuévase cuidadosamente el molde con la muestra. Séllese la membrana a la tapa de la muestra si no se ha hecho esto. Determínese con aproximación a 0,5 mm (0,02") la altura de la muestra con tapa y base, y el diámetro del espécimen más la membrana tubular. Anótese estos valores en el formato para suelos granulares.
20. Obsérvese la presencia o ausencia de burbujas de aire en la cámara de burbujas. Si no hay burbujas, se ha logrado un sello hermético. Si hay burbujas, compruébense los escapes causados por conexiones mal hechas, huecos en las membranas, o sellos imperfectos en la tapa y en la base. La existencia de un sello hermético asegura que la membrana permanecerá firmemente en contacto con el espécimen. Esto es esencial para el empleo de la abrazadera montada interiormente para los TLDV. Los escapes a través de huecos en las membranas, pueden eliminarse frecuentemente cubriendo la superficie de la membrana con caucho líquido (látex) o empleando una segunda membrana.
21. Cuando haya sido eliminado el escape, ábrase la abrazadera inferior de los TLDV y colóquese cuidadosamente sobre el espécimen, aproximadamente a la altura del cuarto inferior del espécimen.
22. Repítase el paso 21 para la abrazadera superior y colóquese a la altura del cuarto superior. Asegúrese de que ambas abrazaderas permanezcan en planos horizontales.
23. Conéctense los TLDV a la unidad de registro y balancéense los puentes de registro. Esto requerirá ajustes al registrador y ajuste de los vástagos de los TLDV. Cuando se

haya obtenido un registro del puente de balanceo, determínese con aproximación de 0,5 mm (0,02") la separación vertical entre las abrazaderas de los TLDV, y regístrese este valor en un formato para suelos granulares.

24. Colóquese la celda de carga sobre la platina del extremo de la muestra, ensámblase el resto de la celda, y ajústense firmemente las varillas de unión. Deslícese el aparato ensamblado, colóquese en posición bajo el dispositivo de carga axial, y acóplense los pistones del impulsor y de la cámara triaxial.
 25. Conéctese la línea de suministro a la cámara de presión y aplíquese una presión de 35 kPa (5 lb/puIg²).
 26. Suspéndase la producción de vacío de la entrada de vacío-saturación, y ciérrase esta línea. Si el espécimen va a ser ensayado con el contenido de agua tal como fue compactado, está listo ahora para el ensayo de resiliencia. Si el espécimen va a estar sometido a saturación por contrapresión después de la compactación, se completan los pasos listados en 5.1.5.c) para suelos granulares.
- c) Saturación después de la compactación por contrapresión. Los especímenes de ensayo de suelos granulares, para ser saturados por inundación de contrapresión, son preparados mediante los métodos descritos en el numeral 5.1.5.b). Después de completarlos, háganse los siguientes pasos adicionales, que son necesarios para saturar el suelo:
1. Conéctese el suministro de vacío a la entrada del vacío (en la parte superior del espécimen) y conéctese la línea de drenaje del fondo a una fuente de agua destilada y desaireada.
 2. Aplíquese un vacío de 14 a 21 kPa (2 a 3 lb/puIg²) ábrase la línea de drenaje del fondo y permítase que el agua suba lentamente a través del espécimen.
 3. Continúese la inundación con agua a través del sistema para remover todo el aire atrapado. Para evaluar la presencia o ausencia de aire, la respuesta de la presión de agua en los poros para un incremento de la presión de la cámara es observada, como se describe para suelos cohesivos en el numeral 5.1.4.e), paso 21.
 4. Cuando haya sido eliminado todo el aire, manténgase la presión de la cámara en 69 kPa (10 lb/pulg²), aplicando una contrapresión de 35 kPa (5 lb/puIg²) a la fuente de suministro de agua, mientras se cierra la válvula de producción de vacío. La presión efectiva de confinamiento de 35 kPa (5 lb/puIg²) sobre la muestra, es igual ahora a la presión de la cámara 70 kPa (10 lb/puIg²), menos la contrapresión 35 kPa (5 lb/puIg²).

El espécimen está listo ahora para el ensayo de resiliencia.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Ensayos de resiliencia sobre suelos cohesivos. Los procedimientos descritos en este numeral se emplean para especímenes inalterados y especímenes compactados en el laboratorio, de subrasantes de suelos cohesivos, como se definen en el numeral 5.1.4.e)

- a) Conjunto de cámara triaxial. El ensayo de resiliencia de especímenes previamente sometidos a saturación por contrapresión según los procedimientos del numeral 5.1.4.e), se comienzan con el paso 6.1.b)

Especímenes recortados de muestras inalteradas y especímenes compactados en el laboratorio, que no hayan sido sometidos a saturación por contrapresión después de la compactación, se colocan en la cámara triaxial y en el aparato de carga, según los siguientes pasos:

1. Colóquese el conjunto de la base de la cámara triaxial sobre la plataforma de la máquina de carga. Si la cámara tiene una platina de fondo removible (base de la muestra), ajústese firmemente para obtener un sello hermético.

2. Remuévanse las platinas de los extremos del espécimen de ensayo, remuévanse los anillos de caucho en O, y luego envuélvanse o enróllense hacia atrás desde los extremos del espécimen a una distancia de aproximadamente 6,4 mm ($\frac{1}{4}$ ").
 3. Colóquese una piedra porosa encima del pedestal o sobre la platina del extremo del fondo de la cámara triaxial.
 4. Colóquese cuidadosamente el espécimen sobre la piedra, dóblese la membrana y séllese al pedestal o placa del extremo del fondo, con un anillo en O u otro sello de presión.
 5. Colóquese la platina superior (tapa de la muestra) y la celda de carga sobre la muestra dóblese la membrana y séllese a la platina superior.
 6. Ciérrase la válvula sobre la línea de saturación de la placa superior (esta línea no se necesita para el ensayo de resiliencia de muestras no sometidas a la saturación después de la compactación). Cerrando la válvula, se evitará la pérdida de aire de la cámara durante el ensayo.
 7. Conéctese la línea de drenaje del fondo de la muestra a una fuente de vacío a través del punto medio de una cámara de burbujas. Aplíquese un vacío de 21 kPa (3 lb/pulg²). Si hay burbujas, compruébense los escapes como se describe en el numeral 5.1.4.e), paso 5.
 8. Cuando se haya eliminado el goteo, desconéctese el productor de vacío. Instálese el conjunto de TLV en la cámara triaxial y colóquese bajo el dispositivo de carga axial, como se describe en el numeral 5.1.4.e) pasos 7 al 14.
- b) Conducción del ensayo de resiliencia. Se necesitan 12 etapas para efectuar el ensayo del módulo resiliente sobre suelo cohesivo instalado en la cámara triaxial y colocado en el aparato de carga, como se describe en el numeral 5.1.4.e) o en el 6.1.a)
1. Ábranse todas las válvulas de drenaje que conducen al espécimen.
 2. Si no está ya conectada, conéctese la línea de suministro de la cámara de presión y aplíquese una presión de confinamiento (presión de la cámara) de 41 kPa (6 lb/pulg²), al espécimen de ensayo.
 3. Vuélvanse a balancear los puntos de registro para los TLDV y para la celda de carga.
 4. Comiéncese el ensayo aplicando 200 repeticiones de un esfuerzo desviador de 6,9 kPa (1 lb/pulg²) y luego 200 repeticiones de cada uno de los valores 14, 28, 55 y 69 kPa (2, 4, 8 y 10 lb/pulg²).
- La anterior secuencia de esfuerzos constituye el acondicionamiento de la muestra, esto es, la eliminación de los efectos del intervalo entre la compactación y la carga, y la eliminación del cargue inicial contra la recarga. Este acondicionamiento de carga ayuda también a disminuir los efectos del contacto inicialmente imperfecto, entre las platinas de los extremos y el espécimen de ensayo.
5. Disminúyase el esfuerzo desviador hasta 6,9 kPa (1 lb/pulg²). Aplíquense 200 repeticiones del esfuerzo desviador y regístrese la deformación recuperada a la repetición N° 200 en un formato para suelos cohesivos.
 6. Disminúyase el esfuerzo de confinamiento (presión de cámara), hasta 21 kPa (3 lb/pulg²). Repítase el paso 5.
 7. Disminúyase el esfuerzo de confinamiento (presión de cámara), hasta cero. Repítase el paso 5.
 8. Auméntese la presión de confinamiento (presión de la cámara) hasta 41 kPa (6 lb/pulg²), aplíquense 200 repeticiones de carga y regístrese la deformación vertical recobrada a la repetición N° 200.

9. Con el esfuerzo desviador en 14 kPa (2 lb/pulg²), aplíquense 200 repeticiones del esfuerzo desviador y regístrese la deformación vertical recuperada a esfuerzos de confinamiento (presiones de cámara) de 21 kPa (3 lb/pulg²) y de cero (0).
10. Continúense registrando las deformaciones verticales, recobradas después de 200 repeticiones del esfuerzo desviador constante, disminuyendo la secuencia de la presión de confinamiento (presión de la cámara), para valores del esfuerzo desviador de 28, 55 y 69 kPa (4, 8 y 10 lb/pulg²). A la conclusión del cargue (con la cámara de presión en cero), desármese la cámara triaxial y remuévanse las abrazaderas de los TLDV.
11. A la conclusión del cargue (con la cámara de presión en cero), desármese la cámara triaxial y remuévanse las abrazaderas de los TLDV.
12. Úsese la muestra completa para determinar el contenido de agua y anótese este valor en el formato para suelos cohesivos.

6.2 Ensayo de resiliencia de suelos granulares. Los procedimientos incluidos en esta parte, se emplean para suelos no cohesivos, saturados y no saturados. Para suelos saturados después de la compactación, empleando los pasos del numeral 5.1.5.c), los esfuerzos de confinamiento buscados para la fase de acondicionamiento, son esfuerzos de confinamiento efectivos, esto es, el esfuerzo de confinamiento es igual a la presión de la cámara menos la contrapresión.

Después de que haya sido preparado el espécimen de ensayo, y de que se haya colocado en el dispositivo de carga, como se describe en los numerales 5.1.5.b) ó 5.1.5.c), se necesitan los pasos siguientes para efectuar el ensayo de módulo resiliente:

1. Si todavía no ha sido hecho, ajústese la posición del dispositivo de carga axial o el soporte de la base de la cámara triaxial, en cuanto sea necesario, para acoplar el pistón del dispositivo de generación de carga y el pistón de la cámara triaxial. El pistón de la cámara triaxial deberá soportarse firmemente sobre la celda de carga.
2. Vuélvase a balancear los puentes de registro de datos para los TLDV y la celda de carga.
3. Fíjese el esfuerzo de confinamiento, en 35 kPa (5 lb/pulg²) y aplíquense 200 repeticiones de un esfuerzo desviador axial de 35 kPa (5 lb/pulg²). Para especímenes saturados, la válvula de drenaje de la base del espécimen hasta el recipiente de contrapresión se mantiene abierta durante todo el ensayo de resiliencia.
4. Colóquese el generador de carga axial, para aplicar un esfuerzo desviador de 69 kPa (10 lb/pulg²). Actívese el generador de carga y aplíquense 200 repeticiones de esta carga.
5. Fíjese la presión de confinamiento en 69 kPa (10 lb/pulg²).
6. Aplíquense 200 repeticiones de un esfuerzo desviador axial de 104 kPa (15 lb/pulg²).
7. Fíjese la presión de confinamiento en 104 kPa (15 lb/pulg²) y aplíquense 200 repeticiones de un esfuerzo desviador axial, de 104 kPa (15 lb/pulg²).
8. Aplíquense 200 repeticiones de un esfuerzo desviador axial de 138 kPa (20 lb/pulg²).
9. Si el espécimen es uno de los que han sido saturados mediante los procedimientos de saturación por contrapresión del numeral 5.1.5.c), redúzcase la contrapresión a cero.
10. Comiencese el registro del ensayo del módulo resiliente, empleando una presión de confinamiento de 138 kPa (20 lb/pulg²), y un esfuerzo desviador de 6,9 kPa (1 lb/pulg²). Regístrese la deformación vertical recuperada, en un formato para suelos granulares, después de aplicadas 200 repeticiones de carga.
11. Auméntese el esfuerzo desviador hasta 14 kPa (2 lb/pulg²) y regístrense las deformaciones verticales recuperadas, después de 200 repeticiones, para niveles de esfuerzo desviador de 35, 69, 104 y 138 kPa (5, 10, 15 y 20 lb/pulg²).
12. Redúzcase la presión de confinamiento hasta 104 kPa (15 lb/pulg²), y regístrense las deformaciones verticales recobradas, después de la aplicación de 200 repeticiones de carga

para cada uno de los siguientes niveles de esfuerzos desviadores: 6.9, 14, 35, 69, 104 y 138 kPa (1, 2, 5, 10, 15 y 20 lb/pulg²).

13. Redúzcase la presión de confinamiento, hasta 69 kPa (10 lb/pulg²) y regístrense las deformaciones verticales recobradas después de la aplicación de 200 repeticiones de cada uno de los siguientes niveles de esfuerzos desviadores: 6.9, 14, 35, 69 y 104 kPa (1, 2, 5, 10 y 15 lb/pulg²).
14. Redúzcanse las presiones de confinamiento hasta 35 kPa (5 lb/pulg²) y regístrense las deformaciones verticales recobradas después de aplicar 200 repeticiones, de cada uno de los siguientes niveles de esfuerzos desviadores: 6.9, 14, 35, 69, y 104 kPa (1, 2, 5, 10 y 15 lb/pulg²).
15. Redúzcase la presión de confinamiento hasta 6,9 kPa (1 lb/pulg²) y regístrense las deformaciones verticales recobradas después de aplicar 200 repeticiones, de cada uno de los siguientes niveles de esfuerzos desviadores: 6.9, 14, 35, 52 y 69 kPa (1, 2, 5, 7.5 y 10 lb/pulg²). Deténgase el cargue, después de 200 repeticiones del último nivel del esfuerzo desviador, o cuando falle el espécimen.
16. Redúzcase la presión de la cámara hasta cero, desmóntese la celda y remuévanse las abrazaderas de los TLDV.
17. Úsese el espécimen de ensayo completo para determinar el contenido de agua. Regístrese este valor en un formato para suelos granulares.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Los cálculos se efectúan empleando una disposición tabular a partir de un formato, como se muestra en las figuras 7 y 8.

7.2 INFORME

7.2.1 Suelos cohesivos. El informe debe incluir lo siguiente:

- Formatos con cálculos en forma tabular. (véase Figura 7), para cada muestra ensayada.
- Gráficas que muestren la variación del módulo resiliente, con el esfuerzo desviador y de confinamiento (véase Figura 9), para cada espécimen ensayado.
- Dibújense las relaciones de humedad-peso unitario, para los suelos ensayados que muestren líneas de saturación del 100% y 80%, y los puntos (coordenadas) de humedad-peso unitario de los especímenes ensayados.
- Observaciones: anótese cualquier condición inusual u otros datos que sean considerados necesarios, para interpretar apropiadamente los resultados obtenidos.

7.2.2 Suelos granulares. El informe del ensayo del módulo resiliente de suelos granulares, deberá incluir lo siguiente:

- Hojas de datos con cálculos en forma tabulada para cada espécimen (véase Figura 8).
- Gráficas que muestren variaciones del módulo resiliente, con los esfuerzos desviadores y de confinamiento para cada espécimen, como se muestra en la Figura 9.
- Gráfico logarítmico del módulo resiliente contra la suma de los esfuerzos principales, como se muestra en la Figura 10 para cada espécimen.

Para cada gráfico deberán establecerse las constantes de regresión K1 y K2.

- Dibújese la relación humedad-peso unitario para el suelo ensayado, mostrando las líneas de saturación del 100% y del 80%, y los puntos (coordenadas) de humedad-peso unitario, del espécimen ensayado.

- Observaciones: anótense condiciones inusuales u otros datos que se consideren necesarios para interpretar adecuadamente los resultados.

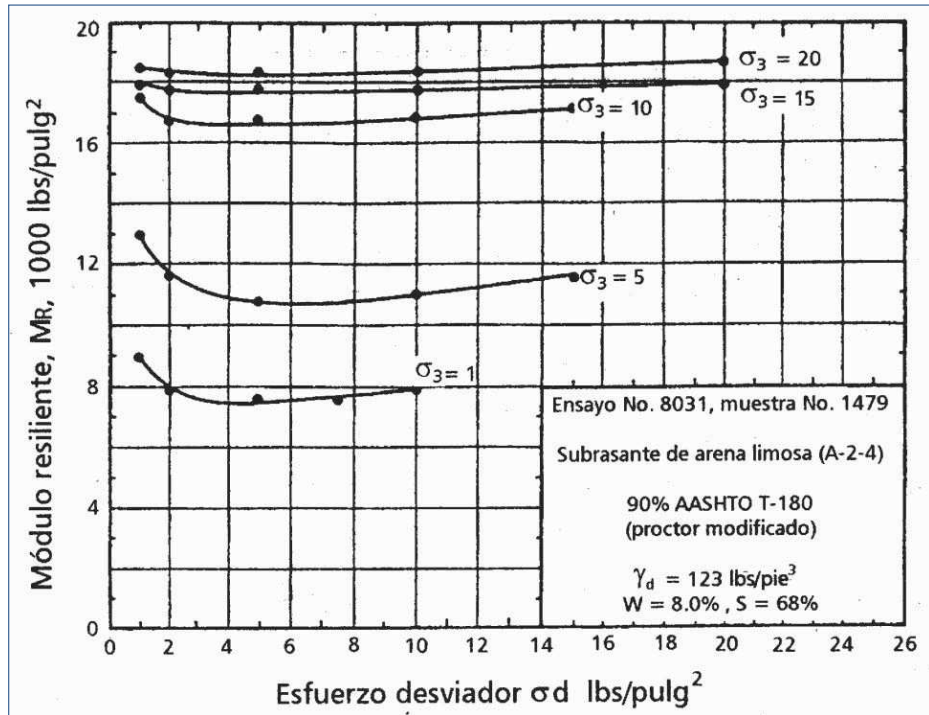


Figura 9. Gráfico aritmético de resultados del ensayo de módulo resiliente

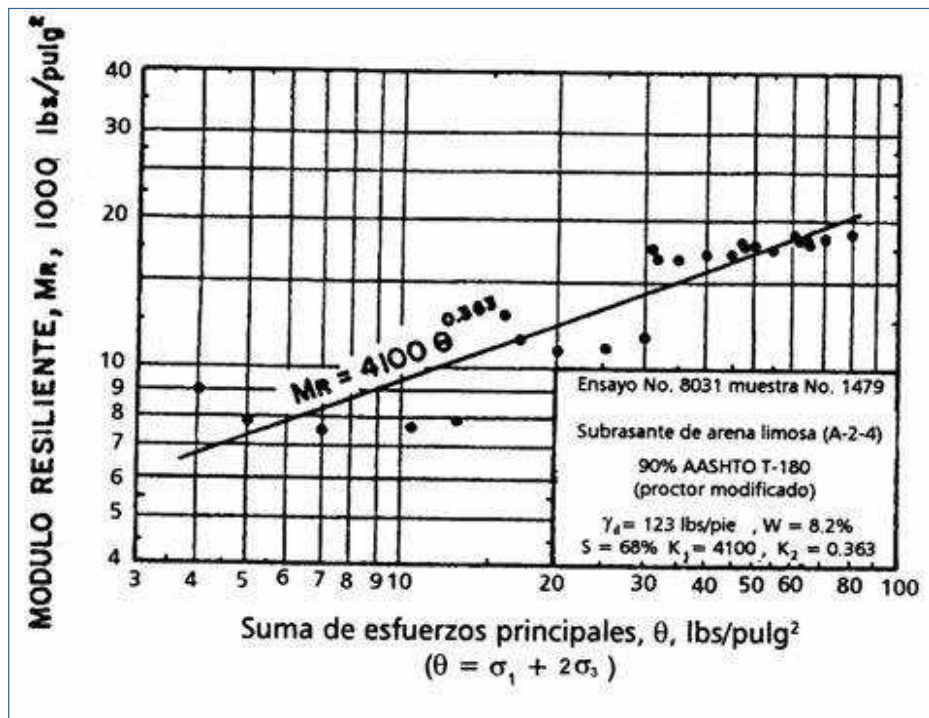


Figura 10. Grafico logarítmico de resultados de ensayo de módulo resiliente.

MTC E 129

pH EN LOS SUELOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el procedimiento para determinar el valor pH y denotar el grado de acidez o alcalinidad en muestras de suelo suspendidos en agua, mediante el método electrométrico.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este modo operativo también puede ser usado para determinar el valor pH en muestras de agua subterránea.
- 2.2 pH significa Potencial de Hidrógeno y consiste en el logaritmo del recíproco de la concentración del ión Hidrógeno. Los valores extremos del pH son 0 y 14; y el valor medio 7 indica que la solución es neutra
- 2.3 Este modo operativo se aplica a muestras de suelo y agua subterránea

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.176 (2002): SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación del valor pH en suelos y agua subterránea
- 3.2 BS 1377 (1990) : Methods of test for Soils for civil engineering Purposes. Part 3. Chemical and electrochemical test.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Aparato para la determinación pH por el método electrométrico.

Potenciómetro, medidor de pH, este aparato está provisto de una escala de lectura, legible y precisa a 0,05 unidades de pH, compensador de temperatura, ensayado con un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia de calomel ó de cloruro de plata.

- 4.1.2 Balanza, con aproximación a 0,001 g.

- 4.1.3 Bandeja no corrosiva.

- 4.1.4 Tamiz con abertura de 2 mm (malla N° 10), con plato de fondo.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Dos frascos volumétricos de 500 mL.

- 4.2.2 Tres vasos de vidrio de 100 mL, de capacidad.

- 4.2.3 Un frasco plástico de lavar (piseta), que contiene agua destilada.

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Agua destilada, preparada mediante destilación o intercambio de iones.

- 4.3.2 Soluciones estándares de conocido valor pH para la normalización correcta del sistema.

- 4.3.3 Solución buffer, pH 4,0: Disolver 5,106 g de ftalato ácido de potasio en agua destilada y diluir a 500 mL. Como alternativa puede usarse una solución buffer apropiada de pH 4,0.

- 4.3.4 Solución buffer, pH 9,2: Disolver pH 9,54 g de tetraborato de sodio (bórax) en agua destilada y diluir a 500 mL. Como alternativa puede emplearse una solución buffer pH 9,2.

- 4.3.5 Cloruro de potasio, solución saturada (para mantenimiento del electrodo calomel).

5.0 MUESTRA

- 5.1 Dejar la muestra secando al aire, esparciéndola en una bandeja, expuesta al aire a la temperatura ambiente.
- 5.2 Pasar la muestra por un tamiz de 2 mm (malla N° 10) de abertura y triturar las partículas retenidas, no las piedras, para que pasen a través del tamiz de 2 mm (malla N° 10) de abertura.
- 5.3 Retirar las piedras, asegurándose que no tengan material fino adherido a ellas, por ejemplo por cepillado, sin producir pérdidas de finos.
- 5.4 Efectuar un cuarteo de la muestra pasante del tamiz de 2 mm (malla N° 10) a través del separador de 15 mm, para producir una muestra de ensayo representativa de 30 g a 35 g.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 MÉTODO ELECTROMÉTRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE pH

- 6.1.1 De la muestra obtenida según el ítem 5 tomar 30,0 g \pm 0,1 g de suelo y colocarlo en un recipiente o vaso de precipitación de 100 mL.
- 6.1.2 Adicionar 75 mL de agua destilada al vaso de precipitación, agitar la suspensión por unos minutos, tapar con luna de reloj y dejar reposando por lo menos 8 horas.

Nota 1. El valor del pH de una suspensión de suelo varía con la relación suelo agua, un incremento en la solución llevará al pH más cerca de 7

- 6.1.3 Agitar la suspensión inmediatamente antes del ensayo.
- 6.1.4 Calibrar el medidor de pH usando las soluciones buffer, siguiendo el procedimiento recomendado por el fabricante.
- 6.1.5 Lavar el electrodo con agua destilada y sumergirlo en la suspensión de suelo. Tomar dos o tres lecturas de pH de la suspensión con breves agitaciones entre cada lectura. Estas lecturas estarán en un rango de 0,05 unidades de pH antes de ser aceptado.

Nota 2. Las lecturas de pH de la suspensión de suelo deben alcanzar un valor constante dentro de 1 minuto. No se tomarán lecturas hasta que el medidor de pH haya alcanzado el equilibrio

- 6.1.6 Retirar los electrodos de la suspensión y lavarlo con agua destilada. Verificar nuevamente la calibración del medidor de pH comparando con una de las soluciones buffer estándar.
- 6.1.7 Si el instrumento está fuera de ajuste por más de 0,05 unidades de pH, llevarlo al ajuste correcto y repita los puntos 6.1.5 y 6.1.6 hasta obtener lecturas consistentes.
- 6.1.8 Cuando no esté en uso, dejar que el electrodo permanezca en un vaso de precipitación con agua destilada.

7.0 INFORME

- 7.1 El valor de pH de la suspensión de suelo y agua subterránea se reporta a la unidad de pH más cercano a 0,1.

MTC E 130**MEDICIONES DE LA PRESION DE POROS****1.0 OBJETO**

- 1.1 Se refiere al procedimiento para medir las presiones de poros de suelos naturales en el campo; se necesitan en la construcción, mantenimiento de las carreteras y en la investigación de deslizamientos o derrumbes.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método es aplicable para mediciones de presión de poros

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 AASHTO T 252: Standard Method of Test for Measurements of Pore Pressures in Soils.

4.0 EQUIPOS**4.1 APARATO - SISTEMA ABIERTO**

- 4.1.1 Sistema abierto. Puede usarse el siguiente equipo para obtener la presión de poros en suelos de permeabilidad relativamente alta, aun cuando también es satisfactorio para suelos de permeabilidad baja.
- a) Un pozo sencillo de observación abierto, consistente en un agujero sostenido, si fuere necesario, por revestimiento plástico o metálico.
 - b) Una instalación normal de punta coladora (Wellpoint), la cual consiste en una punta con una malla coladora colocada en el extremo de un tubo normal. Existen diferentes longitudes de malla y de aberturas, para emplear en situaciones diferentes.
 - c) El piezómetro hidráulico abierto tipo Casagrande, el cual consiste en una celda porosa conectada a un tubo elevador de diámetro pequeño, rodeado de arena normalizada, que pase 100% por el tamiz de 850 mm (Nº 20), y que quede retenida 100% en el tamiz de 425 mm (Nº 40), sellada en la base y que se coloca en el fondo de un agujero perforado. Las celdas pueden conseguirse en diferentes tamaños y porosidades y pueden elaborarse de piedra cerámica de filtro, de plástico poroso o de metales porosos. El tubo elevador debe ser de plástico y, por conveniencia para la lectura, debe tener un diámetro interior no menor de 6,35 mm (1/4") (véase la Figura 1).
- 4.1.2 Sistemas cerrados. Pueden emplearse los siguientes equipos para obtener las presiones de poros en suelos de baja permeabilidad, pero son también satisfactorios para suelos de permeabilidad elevada.

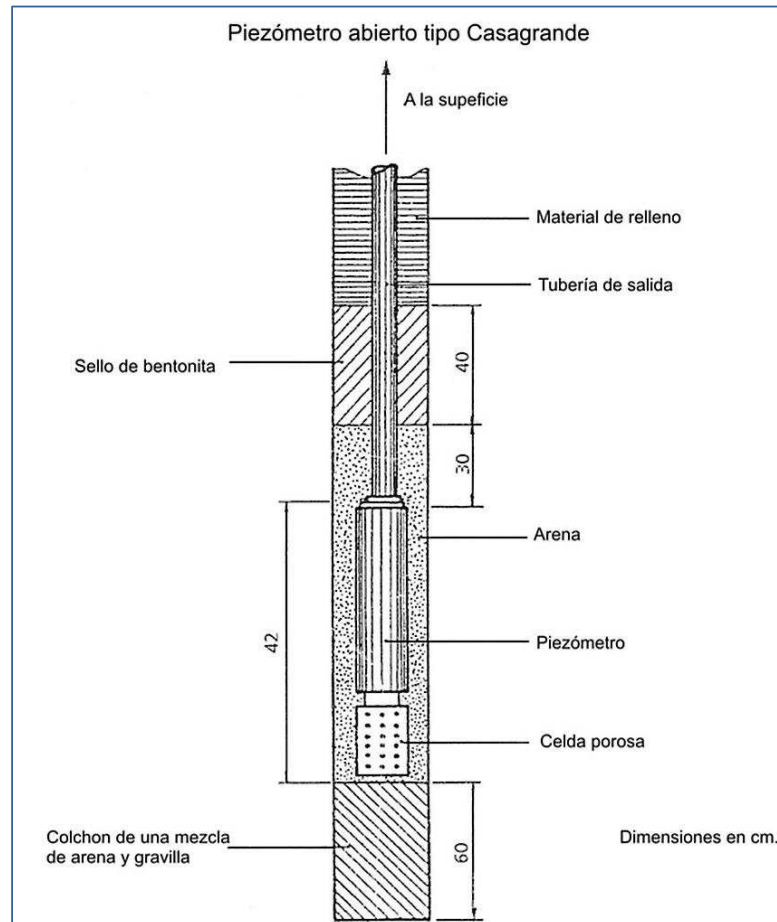


Figura 1: Piezómetro abierto tipo Casagrande

- Piezómetro cerrado tipo Casagrande. Consiste de una punta porosa sellada dentro de una capa de suelo, conectado a la superficie del terreno mediante un(os) tubo(s) lleno(s) con un fluido y a su vez conectado(s) a un medidor. La punta porosa se instala en el fondo de un agujero perforado, rodeada por arena normalizada (que pase 100% por el tamiz de 850 mm (Nº 20), y que quede completamente retenida en el tamiz de 425 mm (Nº 40)).

El tubo puede ser de 6,35 a 12,7 mm ($\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ ") o de mayor diámetro, de plástico o de metal flexible. Deberá emplearse agua limpia para llenar el tubo. Deberá utilizarse un manómetro compuesto Bourdon de tipo tubo (de capacidad suficiente para registrar el cambio esperado en la presión de poros). El manómetro deberá calibrarse para las condiciones bajo las cuales será usado (posición, temperatura, etc.). Este tipo de sistema mide la presión diferencial del agua entre el nivel freático circundante del terreno y la presión dentro del sistema de Suelo.

- Piezómetro neumático. Puede consistir en un transductor (comunicador de presión neumático), confinado en una caja de plástico o de acero inoxidable provista de una abertura porosa (cerámica, plástica o de metal) que permita que el agua de los poros alcance el diafragma del transductor. Dos pequeñas conexiones para aire, de diámetro pequeño y de plástico, están conectadas al transductor. Se necesita un suministro de aire comprimido, tomado de una instalación o de botellas individuales (limpio y sin humedad) para operar el transductor. Es igualmente necesario un manómetro de presión de aire con capacidad suficiente para registrar la presión existente a la profundidad donde se encuentre la punta del piezómetro, más la presión de aire esperada. En la Figura 2 se muestra un tipo de piezómetro, operado mediante inyección de aire.

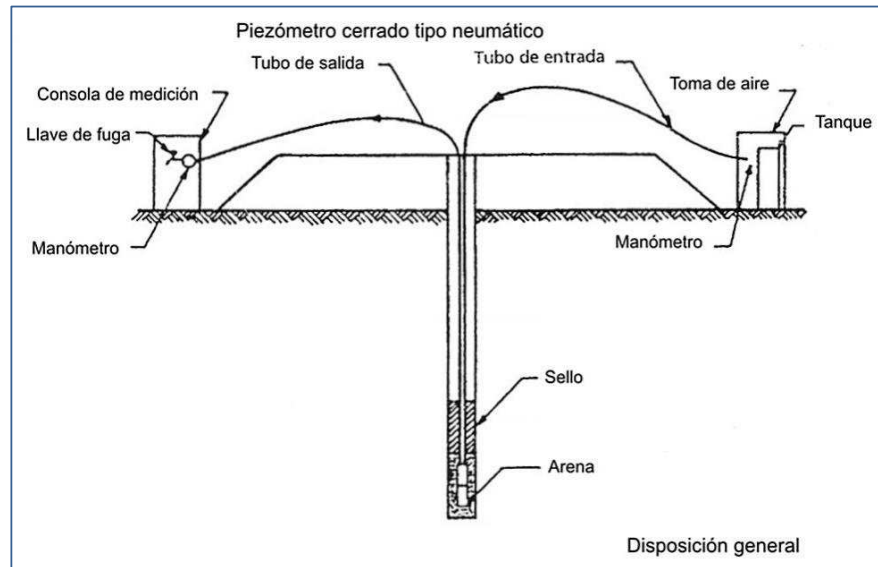


Figura 2: Piezómetro cerrado tipo Neumático

- Piezómetro operado eléctricamente. Consiste en un diafragma calibrado (con un deformímetro adjunto), confinado dentro de una caja sellada, de plástico o de acero inoxidable, con un lado abierto a la presión del agua en los poros a través de un filtro poroso. El deformímetro adjunto al diafragma puede ser del tipo de resistencia o de alambre vibratorio (véase la Figura 3). La presión de poros se obtiene mediante el uso de un sistema de lectura eléctrico compatible con el tipo del deformímetro empleado.
- Piezómetro L.C.P.C. En la Figura 4 se muestra un modelo de piezómetro desarrollado en Francia. El aparato consiste en una unidad sensible de paredes porosas de la cual salen hacia el exterior dos tubos. El tubo 1 se utiliza cuando el piezómetro se instala como si fuera abierto y el tubo 2 conecta la unidad sensible con un dispositivo que se debe utilizar en aquellos suelos en los que el tiempo de respuesta sea muy grande.

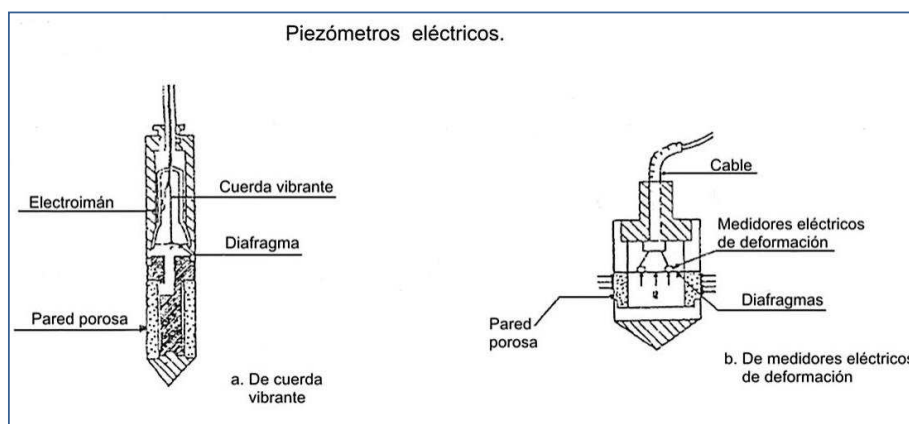


Figura 3: Piezómetros eléctricos

5.0 MUESTRA

5.1 Suelos naturales en el campo de permeabilidad alta

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PROCEDIMIENTOS DE INSTALACIÓN

6.1.1 Instalaciones perforadas o hincadas

6.1.1.1 Piezómetros de pozo abierto

Pozo abierto. Hínquese un tubo normal (con una punta desechable) del tamaño y resistencia adecuados, hasta que alcance la capa de suelo natural en la cual se va a obtener la presión de poros. Hálese hacia atrás el tubo una distancia suficiente para obtener respuesta de la presión de poros y colóquese una tapa con ventilación sobre el tubo.

Punta coladora (Wellpoint). Hínquese la tubería estándar (con la punta coladora asegurada en su posición), de tamaño y resistencia adecuados para alcanzar la capa de suelo en la cual se va a obtener la presión de poros. La punta coladora debe ser del tamaño, longitud y abertura de malla adecuados para el suelo en el cual se instala. Sin embargo, el diámetro más grande de la punta coladora no deberá ser mayor que el de la tubería acoplada sobre ella. Insértese una manguera flexible a través del tubo y dentro de la punta coladora. Bombéese agua limpia a través de la manguera para limpiar la punta y la malla. El flujo deberá continuarse durante aproximadamente 5 minutos después de que salga limpia el agua por la parte superior del tubo.

Remuévase la manguera e instálase una tapa con ventilación sobre el tubo.

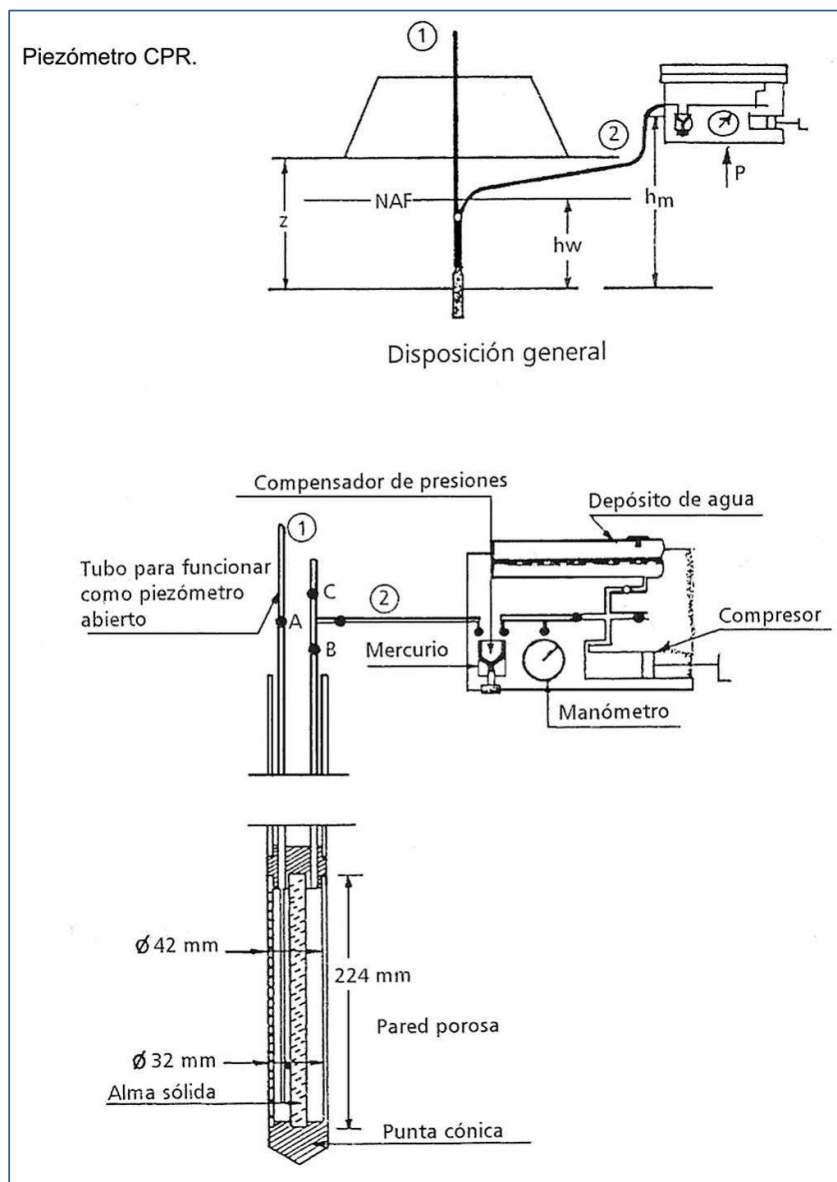


Figura 4: Piezómetro L.C.P.C.

- Punta coladora (Wellpoint) de bajo cambio de volumen. Se sella firmemente un tubo plástico de diámetro pequeño de 9,5 a 12,7 mm (3/8" a 1/2") (mediante un acople mecánico o un pegante apropiado) a la punta coladora (Wellpoint) escogida. El sello deberá ser suficientemente fuerte para que resista la presión de poros total sin permitir el goteo dentro de la tubería de hincada; la punta coladora se ensambla a la tubería de hincada, la cual debe ser de tamaño y resistencia suficientes para alcanzar la capa de suelo en la cual se pretende medir la presión de poros. Las roscas de la tubería de hincada localizadas en los primeros 6 m (20 pies) deberán sellarse para evitar el goteo a través de las juntas de la tubería. El tubo plástico es enroscado a medida que se hinca la tubería. Después de hincada la tubería plástica, se suspende (con suficiente tensión para mantenerla recta) de la parte superior y se cubre con una tapa ventilada.

6.1.1.2 Piezómetros de sistema cerrado. Los piezómetros de sistema cerrado pueden hincarse dentro de la capa del suelo de manera similar a la descrita en el numeral anterior. No obstante, se permitirá el uso de puntas y filtros no comunes para situaciones especiales. Son aceptables conexiones al tubo normal o a las varillas de perforación normales, con la condición de que los sellos sean herméticos para las presiones de poros utilizadas y que el diámetro de la punta no exceda al de la varilla de perforación o al del tubo guía. Para piezómetros tipo Casagrande, la punta y la tubería (suficiente para alcanzar la superficie del terreno) deben llenarse completamente con agua limpia antes de iniciar su hinca. Deberá sellarse el extremo superior del tubo para evitar la entrada o pérdida de agua del sistema durante la hinca. No deberán emplearse conexiones en el tubo vertical (tubo elevador). Conexiones superficiales. Cuando los piezómetros de sistema cerrado deban extenderse verticalmente a través del relleno de un terraplén, este proceso se hará de manera adecuada para el tipo de piezómetro que se va a instalar, previendo (1) que se proporcione una protección adecuada y (2) que haya un método para volver a calibrar la lectura de presión de poros con cada extensión. Los sistemas de piezómetros cerrados con dispositivo de lectura remota deberán instalarse de la siguiente manera:

- a) Excávase una zanja de 610 mm (2') de profundidad por 305 mm (1') de ancho, desde la localización del piezómetro hasta la caja de protección para la lectura. El fondo de la zanja deberá estar a 610 mm (2') por debajo de cualquier construcción futura (cunetas, tuberías, etc.).
- b) La parte superior de la tubería guía de hinca deberá removerse en una longitud de al menos 1,52 m (5') por debajo de la superficie del terreno. El tubo o cable conductor deberán centrarse sobre el tubo de camisa por lo menos 305 mm (1') a medida que se coloque arena en el hueco. El tubo o cable conductor deberá enrollarse en una espiral de aproximadamente 610 mm (2') de diámetro hacia arriba hasta el fondo de una zanja excavada aproximadamente hasta 610 mm (2') por debajo de la superficie del terreno, colocando arena alrededor a medida que se efectúa esta operación.
- c) Los cables conductores horizontales deberán colocarse en la zanja que lleva al sitio de lectura, siguiendo una trayectoria en zigzag sobre un lecho de 152 mm (6') de arena limpia. Cuando se utilice más de un tubo o cable conductor en una zanja, no deberán cruzarse.
- d) Todos los tubos o alambres horizontales deberán comprobarse en cuanto a su continuidad, escapes, etc., antes de efectuar las conexiones finales a los cables conductores verticales del piezómetro. En lo posible, estos conductores no deberán tener uniones, desde la punta del piezómetro hasta la caja de protección para lectura.
 - Todos los conductores eléctricos deberán sumergirse en agua limpia y deberá comprobarse su resistencia; si hubiera algún cambio en ésta después de la inmersión, deberán descartarse y reemplazarse.
 - Los conductores de aire para piezómetros neumáticos deberán sumergirse en agua limpia para verificar que no haya escapes bajo presiones que excedan la presión de poros esperada. También los conductores de aire deberán soplarse con aire a elevada presión para limpiar cualquier polvo o humedad antes de realizar las conexiones finales. El aire

empleado para la limpieza deberá provenir de un tanque que mantenga únicamente aire filtrado y al que se le haya sacado el exceso de humedad.

- Los tubos horizontales para los piezómetros hidráulicos deberán ensayarse a un vacío de 508 mm (20") de mercurio antes de ser llenados con agua coloreada. Deberá haber dos tubos horizontales con una conexión en T al elevador vertical de la punta del piezómetro. Los tubos deberán estar completamente llenos con líquido coloreado en una configuración tal, que puedan verse y removerse las burbujas que se presenten durante el llenado. La manera preferida para llenarlos consiste en sumergir un extremo en el fluido coloreado, sellar con un tapón la T en el extremo que conecta al elevador y aplicar un vacío al extremo libre del tubo horizontal. Durante esta operación debe tenerse cuidado de evitar la formación de burbujas de aire. Una vez que esté completamente lleno el tubo con fluido, se deberán hacer las conexiones a la caja de lectura. El elevador vertical de la punta del piezómetro se llenará entonces con agua, se removerá el tapón del tubo horizontal en T; la conexión entre el elevador vertical y los tubos horizontales deberá efectuarse bajo agua. Las alturas de la T y del manómetro de lectura deberán determinarse antes de rellenar la zanja.

6.1.2 Piezómetros instalados en huecos de perforación

6.1.2.1 Para la instalación de piezómetros mediante perforación se necesita el siguiente equipo adicional:

- a) Un martillo para apisonar, elaborado con un tubo de acero sin costura, de 610 mm (2') de longitud, de 41,3 mm (1 5/8") de diámetro exterior y de 15,9 mm (5/8") de diámetro interior, o de bronce fundido con las mismas dimensiones y que pese por lo menos 11,3 kg (25 lb). Estas dimensiones son para un revestimiento de 50,8 mm (2") de diámetro interior. Se necesitan martillos de dimensiones mayores para revestimientos de mayor diámetro. En el extremo superior, un cable galvanizado de 3/8 mm (1/8") de diámetro de alta resistencia deberá asegurarse firmemente al martillo y a un anillo ranurado. La superficie interior del martillo deberá ser lisa y todos los bordes que toquen el tubo deberán ser redondeados. Este martillo deberá suministrarse con un disco de 41,3 mm (1 5/8") de diámetro y de 12,7 mm (1/2") de espesor, que pueda ajustarse firmemente en la base. Este disco deberá tener una ranura en el centro (de tamaño adecuado para acomodar el tubo o los conductores empleados) con bordes redondos. Este conjunto con cable se emplea, para los siguientes fines:
 - Para apisonar las capas de bentonita y asegurar por lo tanto el sello hermético entre el revestimiento y los elevadores.
 - Para centrar los elevadores mientras se está apisonando en un sitio el sello de bentonita.
 - Para medir profundidades en las diferentes etapas de instalación.
- b) Cable galvanizado reforzado de alta resistencia de 6,35 mm (1/4") de diámetro, de longitud suficiente para que permita la instalación del piezómetro a mayores profundidades. Este deberá fijarse seguramente al extremo de un broche con eslabón giratorio del tipo de polea. Márquese el cable a intervalos de 1,52 m (5'), iniciándose en la cara inferior del martillo.
- c) Trípode y polea para operar el martillo.
- d) Equipo de muestreo por perforación.
- e) Arena normalizada o equivalente, completamente lavada, que pase el tamiz de 0,850 mm (Nº 20) y que quede retenida en el tamiz de 0,425 mm (Nº 40).
- f) Bolas de bentonita de alrededor de 12,7 mm (1/2") de diámetro, que se forman con un contenido de agua apenas por encima del límite plástico pero por debajo del límite de pegajosidad (esto es, con una consistencia de masilla), cubierta con polvo o talco para evitar que se peguen, y almacenadas en jarras o frascos de vidrio para protegerlas del secamiento, o también pastillas comerciales de bentonita.
- g) Guijarros redondos aproximadamente de 12,7 mm (1/2") de diámetro.

6.1.2.2 Hínquese la tubería de revestimiento de 50,8 mm (2") de diámetro interior o mayor, hasta la cota aproximada del fondo de la celda del piezómetro. La sección del fondo correspondiente a los primeros 3,05 m (10') hincados, debe ser de una sola pieza, sin uniones ni acoples y no debe tener zapata guía en su extremo inferior. El revestimiento puede hacerse avanzar por cualquier medio, excepto para los últimos 6,1 m (20') penetrados, en los cuales deberá avanzarse en incrementos de 1,52 m (5') y el revestimiento deberá lavarse después de cada avance de 1,52 m (5'). El revestimiento deberá mantenerse lleno con agua en todo momento y no se permitirá el lavado por debajo del mismo.

- a) Obténgase con cuchara una muestra del material localizado en los 305 mm (12") por debajo del fondo del revestimiento y envíense las muestras en frascos sellados. Hínquese el revestimiento otros 305 mm (12") por debajo de la profundidad de la celda del piezómetro hasta el fondo del mismo. Reemplácese el agua del revestimiento con agua limpia invirtiendo el flujo de la bomba y empleando su extremo inyector como extremo de admisión el cual se debe mantener a unas pocas pulgadas por encima del fondo del revestimiento. Manténgase el revestimiento lleno de agua limpia y continúese la operación hasta que el agua de retorno surja clara.
- b) Extráigase el revestimiento una longitud de 305 mm (1') y viértase arena limpia dentro del hueco hasta llenar esa misma altura. La profundidad de la superficie de la arena deberá medirse mediante una sonda. Bájese el conjunto dentro del revestimiento hasta que la celda del piezómetro descansa sobre la arena, y céntrese bajando el martillo de apisonamiento hasta el extremo superior de la misma.
- c) Para piezómetros neumáticos. Conéctense los conductos de aire a la celda del piezómetro (dejándoles una longitud continua sin uniones que supere en 3,05 m (10') la distancia a la superficie del terreno). Deberá verificarse que no existan escapes en el sistema y los conductos de aire deberán marcarse o colorearse antes de su instalación. La precisión de la celda y del manómetro de lectura deberá comprobarse midiendo la presión de poros (igual a la cabeza de agua en el revestimiento) a diferentes profundidades entre la parte superior del revestimiento y la profundidad de la instalación. Los conductos deberán taponarse entonces, para evitar la entrada de polvo durante el resto de la instalación.
- d) Para piezómetros eléctricos. Conéctense los conductos eléctricos a la celda del piezómetro (en una longitud continua sin uniones hasta extenderlas a 3,05 m (10') por encima de la superficie del terreno), con conexiones herméticas a prueba de agua. Las conexiones deberán ser de un color preestablecido o marcadas antes de su instalación. La precisión del piezómetro deberá verificarse como se indicó en el párrafo anterior.
- e) Para piezómetros hidráulicos. Satúrese la punta porosa y llénese el tubo elevador (en una longitud continua sin uniones hasta que se extienda a 3,05 m (10') por encima de la superficie del terreno) con agua limpia, sumergiendo la punta porosa en dicha agua y aplicándole vacío al tubo. Deberá comprobarse que no haya burbujas de aire en el tubo y taponar después su extremo superior. La punta porosa deberá extraerse del agua únicamente cuando sea transferida al revestimiento lleno.

6.1.2.3 Hálese el revestimiento de tal manera que el fondo del mismo quede 305 mm por encima del fondo de la celda y al mismo tiempo, viértase lentamente un volumen medido de arena limpia dentro del revestimiento de tal manera que la arena llene el espacio alrededor de la punta del piezómetro y aproximadamente hasta 762 mm (2 1/2') por encima del fondo del revestimiento. Manténgase tensión sobre el tubo, pero evítese cualquier movimiento vertical de la punta del piezómetro.

Nota 1. En áreas donde se esperen grandes asentamientos en las fundaciones por encima de 914 mm (3') no se halla el revestimiento por encima de la punta del piezómetro o puede perforarse el fondo del revestimiento.

Nota 2. Si la arena se vierte muy rápidamente, podría llenarse la tubería en tal forma que cuando el tubo sea halado, también se mueva la punta.

- 6.1.2.4 Fórmese una capa de 25,4 mm (1") de espesor con guijarros de 12,7mm (1/2") de diámetro sobre la parte superior de la arena en el revestimiento y aplíquense 20 golpes a la capa de guijarros con una caída del martillo de 152 mm (6") por golpe.
- 6.1.2.5 Fórmese un sello de bentonita colocando 5 capas de bolas de bentonita, cada una de 76,2 mm (3 1/2") de espesor y compactándolas en la siguiente forma, mientras se mantiene una tensión constante sobre el tubo, o sobre las guías:
- Bájese el nivel del agua a 76,2 mm (3") por debajo de la parte superior del revestimiento.
 - Déjense caer bolas de bentonita individualmente dentro del revestimiento hasta que el agua suba a la parte superior del mismo y déjese tiempo suficiente para que las bolas alcancen el fondo (alrededor de 1 minuto para cada 3,05 m (10') de profundidad).
 - Déjense caer suficientes guijarros de 12,7 mm (1/2") de diámetro dentro del revestimiento para formar una capa de 25,4 mm (1") de espesor y déjese tiempo suficiente para que los guijarros alcancen el fondo.
 - Deslícese el martillo apisonador sobre la tubería plástica y, manteniendo tensión sobre la tubería, aplíquense 20 golpes a la capa de guijarros con una caída de martillo de 152 mm (6") por golpe.
 - Repítase este procedimiento hasta que se formen cinco capas de sello. Cuando se note que el martillo no se mueve libremente, deberá sacarse y limpiarse inmediatamente.
- 6.1.2.6 Viértase suficiente arena dentro del revestimiento para formar una capa de arena de 610 mm (2') de espesor, cúbrase con guijarros y compáctese con 20 golpes de martillo.
- 6.1.2.7 Repítase el procedimiento descrito en el numeral 6.1.2.5 formando otro sello de bentonita.
- 6.1.2.8 Desconéctese el tramo superior del revestimiento de tal manera que el extremo superior del mismo quede al menos a 1,52 m (5') por debajo de la superficie del terreno. Puede lograrse esto acoplando los tramos superiores del revestimiento con uniones menos apretadas que las de los inferiores. Llénense al menos 3,05 m (10') del resto del revestimiento con arena.

Nota 3. Una alternativa podría ser la completa remoción del revestimiento. En ese caso, los siguientes cambios serán necesarios: él revestimiento deberá halarse una longitud suficiente para permitir que se llene el espacio alrededor de la punta del piezómetro hasta aproximadamente 762 mm (2 1/2') por encima de la punta de éste. Después de esto volverá a halarse lo suficiente para permitir que se forme la primera de las cinco capas del sello de bentonita (numerales 6.1.2.4 y 6.1.2.5); luego debe halarse de nuevo lo suficiente para permitir la colocación de la capa de 610 mm (2') de arena por encima del sello de bentonita (numeral 6.1.2.6) y halarse otra vez para permitir la formación de la segunda capa del sello de bentonita (6.1.2.7). Después de completar el segundo sello de bentonita, hálese el revestimiento en una longitud de 305 mm (1'), agréguese arena y aplíquense 20 golpes con una caída de martillo de 152 mm (6") por golpe. De esta última forma deberán colocarse 5 capas de arena, formando así un relleno de arena de 1,5 m (5') sobre el segundo sello de bentonita. Finalmente, podrá extraerse toda la tubería de revestimiento

- 6.1.2.9 Las conexiones superficiales deberán hacerse de la misma forma que las descritas en el numeral 6.1.1.2 para los piezómetros de sistema cerrado.
- 6.1.3 Instalaciones a presión
- 6.1.3.1 Perfórese a través de cualquier suelo granular o arcilla muy dura que se halle por encima de la capa de arcilla en la cual va a ser instalada la punta, con un barrenado de diámetro mayor que el de la varilla o tubo de perforación al cual se va a adjuntar la punta.
- 6.1.3.2 Llénese con agua el piezómetro y la longitud de tubería necesaria para conectar el nivel de la punta con la superficie del terreno.

Presiónese lentamente dentro de la arcilla la punta del piezómetro que se encuentra acoplada a la varilla, o tubería de perforación, hasta una profundidad dentro de 6,1 m (20') por encima de la cota deseada para medir la presión manteniendo con una bomba pequeña un flujo ligero de agua a

través de la punta. En este punto, desconéctese la bomba y sígase presionando el piezómetro hasta alcanzar la profundidad deseada.

Cada vez que se necesite agregar un tramo de varilla de perforación, debe desconectarse la bomba y taparse el extremo de la tubería, mientras se enrosca el tubo siguiente de la varilla de perforación. Debe hacerse esto tan pronto como sea posible.

6.2 INTERPRETACION DE LOS DATOS

6.2.1 Correcciones a las lecturas de presión de poros

- a) Piezómetros de pozo abierto llenos con agua: el exceso de presión de poros es la diferencia entre la altura del agua en el pozo y la altura general del nivel freático.
- b) Piezómetros hidráulicos de sistemas cerrados tipo Casagrande: el exceso de la presión de poros se determina empleando la lectura del manómetro y agregando el diferencial de la presión del agua entre la altura del manómetro y la altura del nivel freático circundante.
- c) Piezómetros neumáticos y eléctricos: muchos de estos aparatos miden la presión total del agua en un punto y por esto el exceso de presión de poros en el suelo se determina substrayendo la diferencia entre la altura de la punta del piezómetro y la del nivel freático circundante a partir de la lectura del manómetro.

6.2.2 Interpretación de los datos. Generalmente se emplea la medición de presión de poros en suelos para estimar el aumento en la resistencia al corte o el asentamiento remanente en un suelo bajo condiciones de carga conocidas. Puesto que las presiones de poros solamente son una medida indirecta de estas características, se requiere mucho cuidado para interpretar los resultados con precisión. Deberá considerarse la siguiente información cuando se interpretan presiones de poros:

- a) La carga total aplicada y la razón de carga.
- b) Las fluctuaciones estacionales del nivel freático circundante. Se requieren pozos de observación (piezómetros superficiales y de sistema abierto) en el área circundante, particularmente cuando haya aguas de mareas. El número y los sitios de los pozos dependen del terreno del contorno.
- c) La distribución real (tanto vertical como horizontal) de la presión de poros en los suelos que están siendo analizados, para lo cual se requieren generalmente tres o más piezómetros a distintos niveles y a tres o más a distancias diferentes a partir del centro de la carga.
- d) Deben obtenerse los parámetros del suelo para los depósitos que están siendo analizados, a partir de ensayos amplios de laboratorio sobre muestras de suelo inalteradas.

6.3 PROBLEMAS ESPECIALES

Merecen discutirse en esta norma los siguientes problemas especiales, debido a su frecuente ocurrencia.

6.3.1 Casos de suelos orgánicos. En muchos suelos orgánicos, el gas generado alrededor de la punta del piezómetro es suficiente para bloquear la entrada del agua de los poros a través del filtro al dispositivo de medida. Para evitar este problema, se dispone de piezómetros con dispositivos para remover el gas de la punta del piezómetro.

6.3.2 Asentamientos apreciables. En áreas donde ocurran asentamientos apreciables se desarrollan numerosos problemas:

- a) Distensión de los tubos elevadores en la parte que queda por debajo del revestimiento permanente, lo cual puede evitarse instalando el piezómetro dentro del revestimiento.
- b) Distensión del elevador en la parte superior del revestimiento permanente. Se elimina esto removiendo la sección superior del revestimiento hasta alrededor de 1,52 m (5') por debajo de la superficie al terreno y rellenándola con arena.

- c) Alargamiento de las guías horizontales. Es aceptable para muchas instalaciones, con tal de que no se hagan conexiones en las guías horizontales y de que éstas se elaboren con materiales que cedan antes de la rotura. El alargamiento de las guías eléctricas puede afectar adversamente la calibración de los circuitos, dando lecturas erróneas.
- 6.3.3 Variaciones eléctricas. La precisión de las unidades eléctricas para medir presión de poros puede depender de los cambios de temperatura, alargamiento de las guías de alambre y cambios en las características del diafragma. Es muy difícil mantener la calibración durante periodos prolongados. Hay algunas celdas de piezómetros que reducen estos problemas.
- 6.3.4 Sistema cerrado. A menudo los piezómetros hidráulicos pierden precisión a causa de escapes en la tubería o por generación de gas (aire disuelto). Estas condiciones pueden reducirse empleando agua "desaireada", pero cuando haya aire en el sistema, deberá removerse para que puedan obtenerse lecturas precisas. Para remover el aire, las dos conexiones horizontales deben limpiarse a chorro con un fluido de color diferente (agua), aplicando vacío en un conducto y proporcionando un suministro continuo del fluido en el otro. Los escapes de aire en el dispositivo de lectura pueden repararse, pero los que se presentan bajo el terreno generalmente no pueden localizarse ni repararse.
- 6.3.5 La Resistencia a la Compresión No Cerrada (q_u) – la fuerza compresiva en que un espécimen cilíndrico no confinado del suelo fallara en un ensayo de compresión simple. En este método de ensayo, la resistencia a la compresión no confinada se toma como la máxima carga por unidad de área que puede resistir la muestra o la carga por unidad de área para un 15%, axial, según lo que ocurra primero durante la ejecución del ensayo.
- 6.3.6 Resistencia al corte (s_u) Para especímenes de ensayo en compresión no confinada, la resistencia al corte se calcula como la mitad del esfuerzo de compresión en la falla, definido durante el fallo, se calcula que la resistencia al corte es la $\frac{1}{2}$ del esfuerzo compresivo, según definido en el 3.1.

MTC E 131

DETERMINACION DE PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE MEDIANTE COMPRESION TRIAXIAL

1.0 OBJETO

- 1.1 Se refieren, los métodos, a la determinación de los parámetros de resistencia de los suelos mediante el ensayo de compresión triaxial. Los métodos descritos son: el ensayo de compresión triaxial consolidado no drenado (CU) con o sin medición de la presión de poros; el ensayo drenado (D), y el ensayo no consolidado no drenado (UU) con o sin medición de las presiones de poros. Los parámetros obtenidos son el ángulo de fricción interna (ϕ) y la cohesión (C), y cuando se midan las presiones en los poros, podrán calcularse los valores efectivos de la fricción interna y la cohesión (ϕ y C). Los valores así obtenidos pueden emplearse en diferentes análisis de estabilidad como por ejemplo en fundaciones de estructuras, en cortes y taludes o en estructuras de retención, problemas en los cuales la resistencia del suelo a corto y largo plazo, tiene importancia significativa.
- 1.2 Cada uno de estos métodos requerirá el ensayo de un mínimo de tres probetas.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

TERMINOLOGIA

Falla – Es la condición de los esfuerzos durante la falla de un espécimen de prueba. La falla corresponde a la máxima diferencia del esfuerzo principal (el esfuerzo desviador) alcanzada ó la diferencia de los esfuerzos principales (el esfuerzo desviador) a la deformación axial al 15%, el que se obtiene primero durante el rendimiento de una prueba.

La resistencia a la compresión no drenada - no consolidada: Es el valor de la diferencia de los esfuerzos principales (el esfuerzo desviador) durante la falla.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 AASHTO T 296: Standard Method of Test for Unconsolidated, Undrained Compressive Strength of Cohesive Soils in Triaxial Compression.
- 3.2 AASHTO T 297: Standard Method of Test for Consolidated Unconsolidated, Triaxial Compression Test on Cohesive Soils.
- 3.3 ASTM T D 2850: Standard Method of Test Method for Unconsolidated - Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils.
- 3.4 ASTM D 4767: Standard Method of Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Dispositivo de carga axial. El dispositivo de carga axial puede ser cualquier aparato de compresión con la suficiente capacidad y el adecuado control, para proporcionar la velocidad de carga prescrita en el numeral 6.1.1 y en el cual sean mínimas las vibraciones debidas a su operación.

A manera de ejemplo, se muestra en la Figura 1 un aparato para este propósito, el cual puede consistir de una báscula de plataforma con yugo de carga accionado por un gato de tornillo, un aparato de carga muerta, un dispositivo de carga hidráulica, un tornillo accionado por un motor de velocidad variable o cualquier otro sistema de compresión (de esfuerzo o de deformación controlada), que tenga la suficiente capacidad y precisión adecuada.

- 4.1.2 El dispositivo para medir la carga axial, puede consistir en un anillo de carga capaz de medir con aproximación de 1,1 N (0,25 lb) o a valores de carga dentro del 1,0 % de la carga anticipada, cualquiera que sea la mayor. Cuando se emplee un anillo de carga, normalmente éste se hallará montado en la parte exterior de la cámara de presión. Puede emplearse también una celda

electrónica para medir las cargas axiales aplicadas a la probeta de ensayo como se muestra en la Figura 2. Dicha celda deberá montarse en el interior de la cámara triaxial y, cuando se la emplee, se necesitará además el siguiente equipo electrónico accesorio para indicar la carga:

- Amplificador. Que aumente, las señales eléctricas de la cámara de carga de manera que sean suficientemente grandes para que puedan ser detectadas mediante un voltímetro digital o un registrador gráfico de tira.
- Fuente de potencia. De voltaje constante para excitar la celda de carga o el transductor de presión.
- Puente de balanceo. Para balancear los circuitos eléctricos del sistema de medida
- Voltímetro. Digital o registrador gráfico, para medición de la carga o presión.

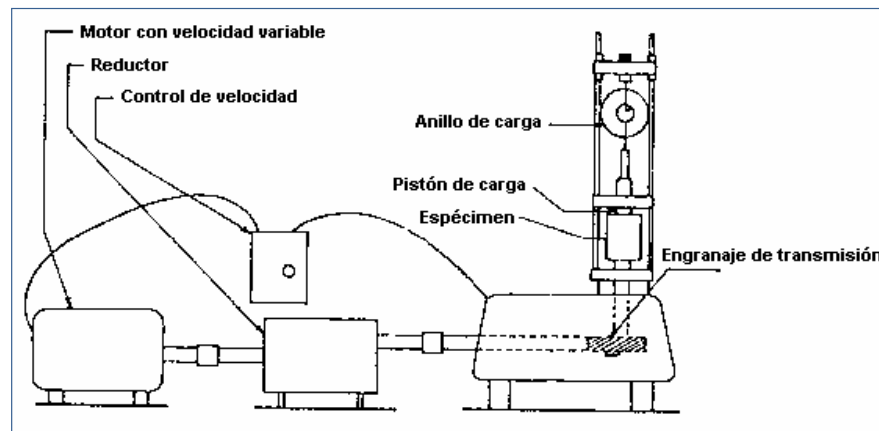


Figura 1: Dispositivo típico de carga

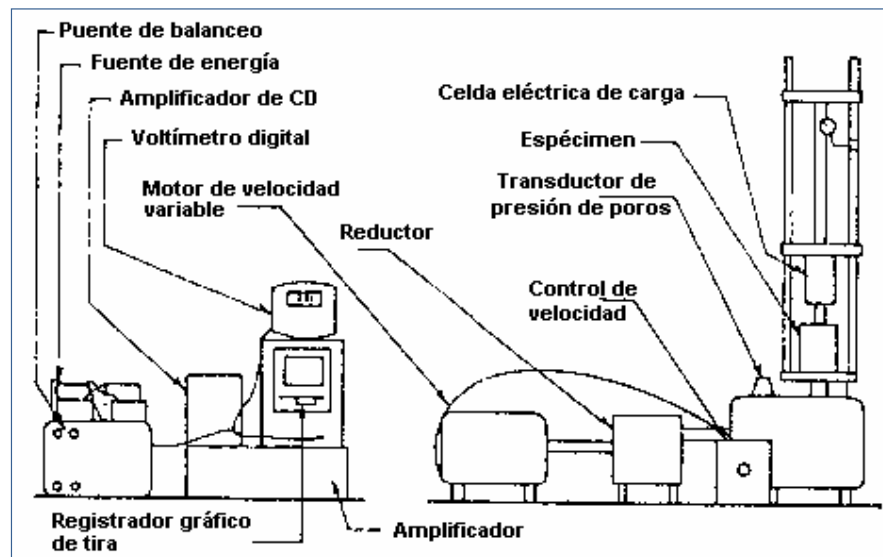


Figura 2: Aparato de carga con equipo electrónico accesorio

4.1.3 Indicador de Deformación. El indicador de deformación deberá ser un extensímetro de dial con graduaciones equivalentes a 0,02 mm (0,001") y que tenga un recorrido mínimo del 20 % de la longitud de la probeta de ensayo u otro dispositivo de medida que cumpla con estos requisitos generales.

4.1.4 Equipo para tallar las probetas. Este equipo incluye un marco, herramientas apropiadas para desbastar y tallar, calibrador Vernier que pueda medir las dimensiones de la muestra con

- aproximación a 0,25 mm (0,01"), un cortador de muestras, un dispositivo para cortar los extremos, y un extractor de muestras.
- 4.1.5 Aparato de presión de poros. Este aparato puede consistir en un manómetro cerrado, un indicador de cero presiones, o un transductor de presión. Cuando se emplee este último, podrá utilizarse con el mismo equipo electrónico usado para monitorear las cargas.
- 4.1.6 Estufa para secamiento. Un horno termostáticamente controlado que pueda mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ para determinar el contenido de humedad de los especímenes.
- 4.1.7 Balanzas. Para muestras cuyo peso sea inferior a 100 g, deberá utilizarse una balanza con precisión de 0,01 g, y para muestras de 100 g o más, una balanza con precisión de 0,1 g.
- 4.1.8 Cámara de compresión triaxial. Empleada para contener el espécimen y el fluido de confinamiento, durante el ensayo. Las partes accesorias asociadas con la cámara incluyen: placa para base de la muestra, piedra porosa, dos placas lubricadas para base, anillos en O u otro tipo de sellos, válvulas de cierre, placa superior, tubos de plástico para drenaje resistente a la temperatura, tapa superior, pistón de carga, membrana de caucho, papel de filtro, dial con su soporte, etc.
- 4.1.9 Misceláneos. Estos incluyen una bomba de vacío y un aparato de presión con sus respectivos manómetros y reguladores, un dilatador de membrana, recipientes para de determinaciones humedad, y los formatos de informe que se requieran.

5.0 MUESTRA

5.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 5.1.1 Tamaño de la probeta. Los especímenes deberán tener un diámetro mínimo de 33 mm (1,3") y el mayor tamaño de partícula dentro de la muestra de ensayo deberá ser menor que 1/10 de su diámetro. Para muestras con diámetro de 71 mm (2,8") o más, la partícula mayor deberá ser menor que 1/6 del diámetro. Si después de la conclusión del ensayo de una muestra inalterada, se encuentran partículas de mayor tamaño, deberán hacerse las anotaciones correspondientes en el informe. La relación altura – diámetro (H/D) debe estar entre 2 y 2,5, siendo preferible 2, valor que puede disminuirse hasta 1,25 cuando se usen placas lubricadas. Deberán efectuarse las mediciones con aproximación a 0,10 mm (0,05") empleando un calibrador Vernier u otro dispositivo adecuado.
- 5.1.2 Muestras inalteradas. Pueden prepararse muestras inalteradas a partir de muestras de mayor tamaño o de muestras obtenidas de acuerdo con la norma MTC E120, Muestreo de suelos con tubos de pared delgada.

- Cuando se reciben tubos con muestras en el laboratorio, éstas se sacan por extrusión mediante una gata u otro método que no las altere.
- Se toman muestras para determinar la humedad, y se cortan especímenes de la longitud deseada; se identifica el suelo visualmente con ayuda de la Norma INV E-102-07 Procedimiento normal para la descripción e identificación de suelos (Procedimiento visual y manual), y se recubren los especímenes con parafina, manteniéndolos en una cámara húmeda y fría hasta que vayan a ser ensayados.
- Corte:

Las muestras de tubo podrán ensayarse sin ser desbastadas, excepto para emparejar los extremos, si las condiciones de la muestra así lo exigen. Si es necesario desbastarlas, deberán manejarse con cuidado para evitar su alteración y cambios en la sección transversal o pérdida de humedad. El corte, en cuanto sea posible, deberá efectuarse en una cámara con humedad controlada procurando evitar a toda costa cualquier cambio en la humedad.

El molde del desbastador de muestras se construye en tal forma que el cortador cilíndricamente, sin movimiento horizontal alguno. El diámetro interior del cortador deberá ser alrededor de 0,13 mm (0,005") mayor que el diámetro deseado del espécimen de ensayo, excepto para una longitud de 3,2 mm (1/8") en el extremo del corte, donde dicho diámetro

deberá ser igual al de la probeta. Céntrese la muestra bajo el cortador y bájese hasta la parte deseada, aflojando las tuercas de las aletas.

Después de que este en posición, empújese el cortador lentamente hacia abajo dentro de la muestra, simultáneamente recórtese el exceso de suelo empleando un cuchillo para carne. Cuando se haya bajado el marco a su posición final y se halle el cortador lleno con suelo, remuévase éste y sáquese por extrusión el espécimen mediante el bloque de extrusión. Para asegurar la menor alteración posible, el cortador deberá tener un recubrimiento de baja fricción. Si la superficie de la muestra extraída no es lisa, se emplean pedazos de los recortes de suelo para llenar cualquier vacío.

Después de esto, empújese suavemente el cortador sobre la muestra para garantizar una vez más un espécimen del tamaño adecuado. Cualquier otro método de desbaste será aceptable siempre que, para el material ensayado, sólo produzca una alteración mínima en la muestra.

Colóquese el espécimen en el aparato para cortar los extremos y desbástese de manera que estos sean perpendiculares al eje longitudinal de la muestra circular uniforme.

- Efectúense varias medidas del diámetro (1 cada 120°) y de la altura (1 a cada ¼ de altura) de la muestra y determínese el peso del espécimen de ensayo. Si no se emplea la muestra completa para la determinación de humedad, tómese con este objeto una muestra representativa de los recortes y colóquese inmediatamente en un recipiente cubierto.

5.1.3 Muestras remoldeadas. Pueden prepararse especímenes a partir de una muestra inalterada fallada o de una alterada. El método de moldeo y la compactación pueden variarse para producir el peso unitario, la humedad y la estructura del suelo deseadas.

Si las muestras no son moldeadas al tamaño requerido, el equipo empleado para desbastar muestras de suelo inalteradas puede emplearse también para las de material remoldeado. Cualquier método empleado para remoldear material que muestre resultados de ensayo similares, es satisfactorio.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 METODO CONSOLIDADO - NO DRENADO (CU)

El procedimiento siguiente se refiere al equipo mostrado en las figuras 3 y 3A.

6.1.1 Prepárese el pedestal así:

- Colóquese una piedra porosa sobre el pedestal.
- Colóquese la muestra sobre la piedra porosa y adhiéranse tiras de papel de filtro a lo largo de los lados de la muestra, de manera que proporcionen el sistema deseado para las trayectorias del drenaje.

6.1.2 Empleando un dilatador de membranas al vacío, colóquese sobre la muestra una membrana delgada e impermeable; colóquense anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana a la altura del pedestal para proporcionar un sello u efectivo; colóquense tiras filtrantes adicionales, piedra porosa y el cabezote superior sobre el espécimen. Colóquense anillos en O u otro sello de presión alrededor de la membrana en el cabezote superior, para proporcionar un sello efectivo en la parte superior de la muestra. Colóquese el cilindro hueco sobre la base y asegúrese. Colóquese el pistón de carga dentro de la cámara por medio de las guías y bájese hasta que entre, pero sin que toque, la depresión de la parte superior. Asegúrese el pistón con el dispositivo fijador.

6.1.3 Colóquese la cámara de ensayo con la muestra en el dispositivo de carga, y llénese con fluido. Satúrese la línea de drenaje antes de comenzar el ensayo, aplicando vacío a una línea de drenaje mientras que el extremo de la otra se halle sumergido en un recipiente con agua. Esto extrae el aire atrapado entre la muestra y la membrana y llena las líneas de drenaje con agua del recipiente. Satúrense también los cabezotes.

Aplíquese una pequeña contrapresión y una presión de cámara, aproximadamente entre 7 y 14 kPa (1 a 2 lb/pul²) mayor que la contrapresión, para hacer que fluya el agua lentamente de la línea de presión de poros. Conéctese la línea de presión de poros al aparato de medida. Auméntese la contrapresión y la presión de la cámara paulatinamente, hasta cuando la lectura de presión de poros indique que se ha logrado equilibrio en toda la muestra.

Manténgase la presión de la cámara aproximadamente 34,5 kPa (5 lb/pul²) mayor que la contrapresión para evitar flujo entre la muestra y la membrana. Continúese aumentando la contrapresión y la presión de confinamiento hasta que la respuesta de la presión de poros indique saturación. Si no se requieren medidas de presión de poros, puede eliminarse esta etapa.

- 6.1.4 Auméntese la presión de la cámara hasta que la diferencia entre ésta y la contrapresión iguale la presión deseada de consolidación. Se requiere un mínimo de tres presiones de consolidación diferentes para definir una envolvente de falla.

Permítase que la presión de consolidación se mantenga durante la noche o hasta que la lectura de presión de poros indique que se ha completado la fase de consolidación. Compruébese el grado de saturación antes de aplicar la carga axial cerrando la válvula de drenaje y aumentando la presión de confinamiento en 70 kPa (10 lb/pul²) o más. Calcúlese la relación del cambio de presión de poros (ΔP) con respecto al cambio de la presión de confinamiento ($\Delta\sigma_3$).

Para una muestra saturada: la condición es:

$$(\Delta P)/(\Delta\sigma_3)$$

- 6.1.5 Antes de aumentar la carga axial, ciérrase la válvula entre la cámara y la bureta, de manera que la muestra sea sometida a esfuerzo cortante en condición no drenada. Deberá medirse cualquier cambio de volumen que ocurra durante la consolidación.
- 6.1.6 Póngase en movimiento el aparato de carga y déjese funcionar unos pocos minutos a la velocidad de ensayo deseada, para compensar cualquier efecto separado o combinado por fricción del pistón o por empuje hacia arriba sobre el pistón, debido a la presión de la cámara. Anótense la lectura cero de los aparatos de medida de carga y deformación cuando el pistón se ponga en contacto con la placa superior.
- Nota 1.** Quítense el seguro del pistón antes de poner en movimiento el dispositivo de carga. Si la presión de la cámara no es suficiente para restringir la caída del pistón sobre el tope de la muestra, entonces la carga adicional aplicada a ésta mediante el pistón, deberá agregarse al esfuerzo desviador
- 6.1.7 En el ensayo triaxial, la razón de deformación deberá ser de tal magnitud que permita la igualación de la presión de poros (si se mide) en el espécimen. Anótense las lecturas de carga y deformación a intervalos suficientemente pequeños para definir exactamente la curva esfuerzo-deformación. Proporciones de deformación cuya variación es de 1% / min. (para suelos plásticos) a 0,3%/min (para tierras deleznales) se han usado con éxito.
- 6.1.8 El criterio de falla deberá ser el valor máximo del esfuerzo desviador en el supuesto de que ocurra un máximo. En caso de que no se presente un máximo definido y que el esfuerzo desviador continúe en aumento con la deformación, deberá tomarse la falla como el esfuerzo desviador correspondiente al 20 % de deformación. Si se miden presiones de poros, la relación máxima de esfuerzos principales efectivos puede adoptarse como criterio de falla.
- 6.1.9 Después de la falla, quítense todas las presiones y dréñese el fluido de confinamiento de la cámara de ensayo. Desármese el conjunto, examínese el espécimen y hágase un esquema del modo de falla. Pésese la muestra y colóquese en un horno para secamiento con el fin de determinar la humedad y el peso unitario.

6.2 METODO DEL ESFUERZO TOTAL NO CONSOLIDADO - NO DRENADO (UU)

El siguiente procedimiento se refiere al equipo mostrado en las figuras 3 y 3A. Prepárese el pedestal en la siguiente forma:

- 6.2.1 Colóquese una piedra porosa sobre el pedestal (véase la Nota 2 más adelante).
- 6.2.2 Colóquese un disco pulido de plexiglas o de teflón ligeramente mayor que la muestra sobre la piedra porosa en el pedestal y cúbrase tal disco con una película delgada de grasa de silicona. El disco engrasado se emplea para reducir la fricción entre la muestra y la tapa del extremo y permitir así una deformación más uniforme. Colóquese la muestra sobre este disco. (Nota 2). Si se usa una relación H/D de 2,0 o mayor, los discos pulidos no se necesitan.
- 6.2.3 Empleando un dilatador de membranas al vacío, colóquese sobre la muestra una membrana delgada e impermeable, asegurándola con anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana, a la altura del pedestal, para proporcionar un sello efectivo. Colóquese un disco pulido, engrasado, una piedra porosa y el cabezote superior sobre el espécimen. Colóquense anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana en el cabezote superior, con el fin de proporcionar un sello efectivo en el extremo de la muestra. Colóquese el cilindro hueco sobre la base y asegúrese.

Colóquese el pistón de carga dentro de la cámara a través de la guía y bájese hasta que entre, pero sin que toque la depresión de la cabeza. Asegúrese el pistón de carga con el dispositivo de fijación.

- 6.2.4 Colóquese la cámara con la muestra en el dispositivo de carga, y llénese con fluido. Aplíquese, mediante el regulador de presión, una presión lateral aproximadamente igual a la presión de confinamiento soportada por el suelo a la profundidad a la cual fue tomada la muestra.
- 6.2.5 Póngase en movimiento el aparato de carga y déjese funcionar por algunos minutos, a la velocidad de ensayo deseada, para compensar cualquier efecto separado o combinado, por fricción o por empuje, debido a la presión de la cámara.

Anótese la lectura cero de los dispositivos de medida de carga y deformación, cuando el pistón se ponga en contacto con la cabeza de compresión.

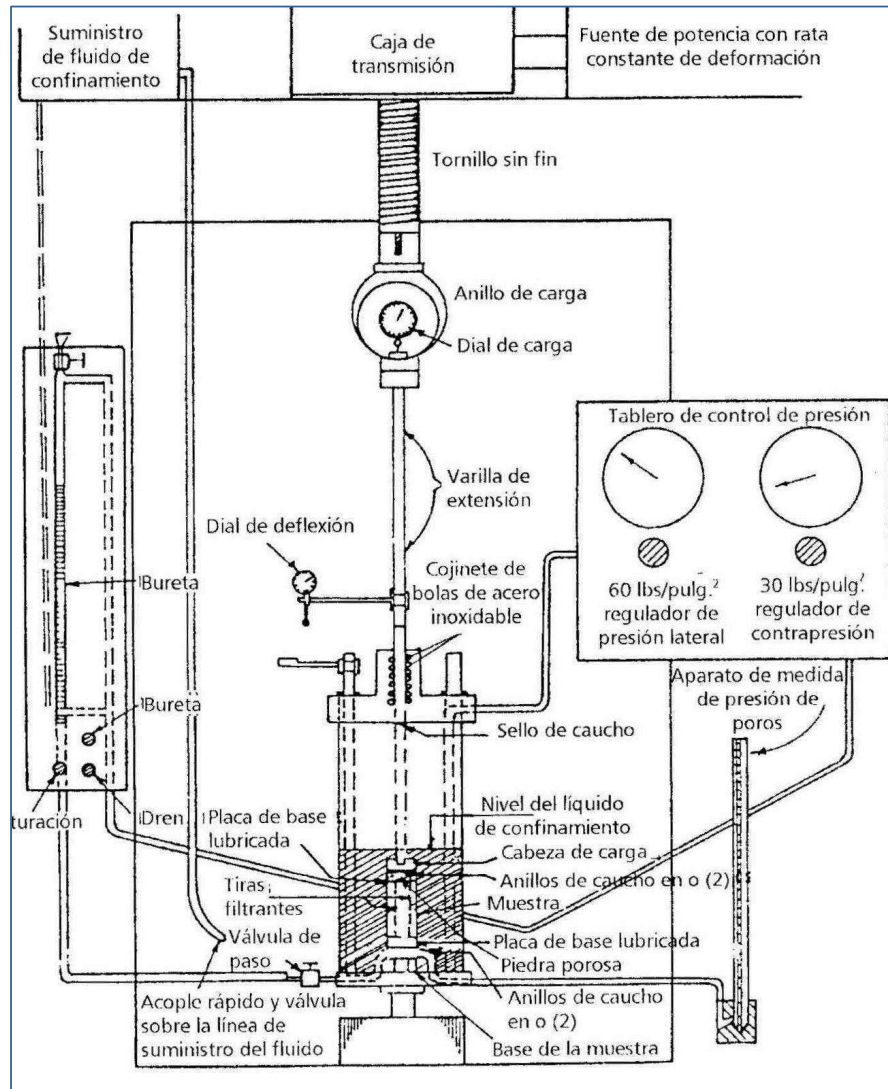


Figura 3. Esquema típico de un aparato de triaxial

- 6.2.6 Anótese las lecturas de carga y deformación a intervalos suficientemente pequeños, para definir exactamente la curva esfuerzo-deformación. La razón de deformación deberá hallarse dentro del rango de 0,3 a 1,0 por ciento por minuto; se recomienda una rata de 0,5 por ciento. El criterio de falla deberá ser el del valor máximo del esfuerzo desviador en el supuesto de que ocurra un máximo.

Si no puede establecerse un máximo definido y el esfuerzo desviador continúa aumentando con la deformación, se toma la falla como el esfuerzo desviador a un 20 % de deformación. Si se miden presiones de poros, la relación máxima de esfuerzos principales efectivos, puede adoptarse como criterio de falla.

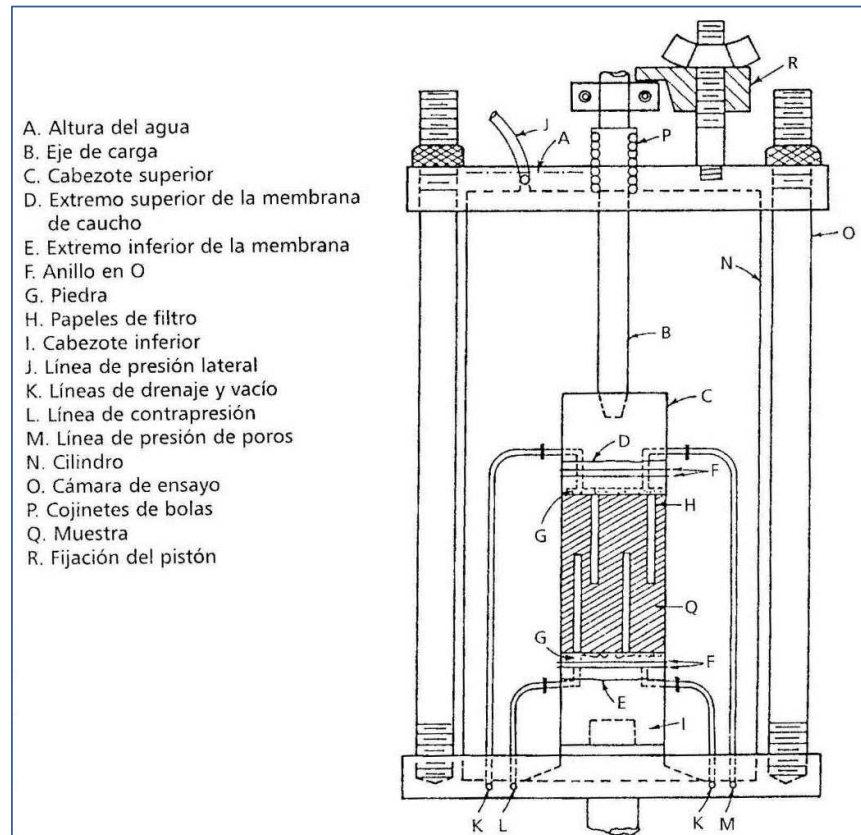


Figura 3A. Aparato para el ensayo triaxial

- 6.2.7 Después de la falla, quítese toda presión y dréñese el fluido de confinamiento de la cámara. Desmóntese el aparato de ensayo, examínese la muestra y hágase un esquema del tipo de falla; pésese para secarla con el fin de determinar la humedad y el peso unitario.

Nota 2. En lugar de la piedra porosa y de los discos pulidos requeridos en el numeral 6.2.1 podrá emplearse un espaciador adecuado de plexiglas pulido o de un material similar

6.3 METODO DEL ESFUERZO EFECTIVO NO CONSOLIDADO-NO DRENADO (UU)

Este método es el mismo del método consolidado no drenado (CU) con excepción de que no se deja consolidar la muestra. Esto también elimina el numeral 7.1.1

6.4 METODO DE ENSAYO DRENADO (D)

El procedimiento que sigue se refiere al equipo mostrado en las figuras 3 y 3A. Prepárese el pedestal así:

- 6.4.1 Colóquese sobre el pedestal una piedra porosa.
- 6.4.2 Colóquense tiras de papel de filtro saturadas sobre la piedra porosa.
- 6.4.3 Colóquese la muestra sobre la piedra porosa y adhiéranse tiras de papel de filtro a lo largo de los lados de la muestra, de manera que proporcionen el sistema de trayectorias de drenaje deseado.
- 6.4.4 Empleando un dilatador de membranas al vacío, Colóquese una membrana delgada e impermeable sobre la muestra. Colóquense anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana, a la altura del pedestal, para proporcionar un sello efectivo. Colóquense tiras de papel de filtro adicionales, una piedra porosa y el cabezote superior, sobre el extremo del espécimen. Colóquense anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana en el cabezote superior, con el fin de proporcionar un sello efectivo en el tope de la muestra. Colóquese el cilindro "hueco" sobre la base y asegúrese.

- Colóquese el pistón de carga dentro de la cámara a través de las guías y bájese hasta que entre, pero sin que toque la depresión de la cabeza. Asegúrese el pistón de carga con el dispositivo de fijación.
- 6.4.5 Colóquese la cámara de presión con la muestra en el marco de carga y llénese con fluido. Satúrese la muestra como se describió en el numeral 6.1.1. Conéctese la línea de presión de poros a la bureta, la cual indicará el gasto debido al drenaje durante el ensayo.
- 6.4.6 Aplíquese la presión de confinamiento deseada por medio de un regulador de presión.
- 6.4.7 Antes de que la carga sea aplicada, ábrase la válvula entre la cámara y la bureta de manera que el espécimen sea sometido a esfuerzo cortante en una condición drenada.
- 6.4.8 El ensayo drenado deberá efectuarse lentamente para evitar que se desarrolle presión de poros. En algunos suelos esto puede tomar un tiempo excesivo. Cuando esto ocurra, puede ser deseable efectuar el ensayo mediante métodos de esfuerzos controlados. Se sugiere que la presión de poros en un extremo de la muestra sea medida periódicamente durante el ensayo, para asegurarse de que no se desarrollen presiones de poros.
- 6.4.9 Póngase en marcha el aparato de carga y permítasele funcionar por algunos minutos, a la velocidad de ensayo deseada, para compensar cualquier fricción del pistón, o empuje hacia arriba debido a la presión de la cámara, o por ambos efectos. Pónganse en cero las lecturas de los dispositivos para medir carga y deformación, cuando el pistón se ponga en contacto con la cabeza de presión.
- 6.4.10 Anótense las lecturas de carga, y deformación a intervalos suficientemente pequeños para poder definir exactamente la curva esfuerzo-deformación. El criterio para falla deberá ser el valor máximo del esfuerzo desviador, en el supuesto de que se produzca un máximo. En el caso de que no ocurra un máximo definido y que continúe aumentando el esfuerzo desviador con la deformación, se tomará la falla como el esfuerzo desviador al 20% de deformación. Si se miden las presiones de poros, se podrá usar como criterio de falla, la relación máxima de esfuerzos principales efectivos.
- 6.4.11 Después de la falla, elimínense todas las presiones y drénese el líquido de confinamiento de la cámara de presión. Desármese el aparato de ensayo, examínese la falla y hágase un esquema de la misma. Pésese la muestra y colóquese en un horno, para determinar la humedad y el peso unitario.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 METODO CONSOLIDADO - NO DRENADO (CU)

- 7.1.1 Suponiendo que la muestra se deforma igualmente en todas direcciones durante la consolidación, la longitud de la muestra después de dicha consolidación podrá determinarse mediante la ecuación siguiente:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{3} \varepsilon_v$$

Donde:

ε_1 = Deformación axial = $\Delta L / L$.

ε_v = Deformación del volumen = $\Delta V / V$.

L = Longitud del espécimen determinada mediante medida física.

ΔL = Cambio de longitud del espécimen durante la consolidación.

V = Volumen original del espécimen.

ΔV = Cambio de volumen medido con la bureta.

- Como alternativa, el cambio en longitud de una muestra debido a la consolidación, puede medirse directamente.

7.1.2 Calcúlese la deformación axial para una carga aplicada así:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Donde:

- ΔL = Cambio de longitud del espécimen determinado a partir del indicador de deformación
 L_0 = Longitud del espécimen después de la consolidación.

7.1.3 Calcúlese la sección transversal promedio, A, para una carga dada así:

$$A = \frac{A_0}{(1 - \varepsilon)}$$

Donde:

- A_0 = Área inicial de la sección transversal promedio del espécimen, y
 ε = Deformación axial para una carga dada.

- El área A puede también calcularse a partir de dimensiones obtenidas por medición directa mediante un catetómetro, cuando las superficies del espécimen lo permiten.

7.1.4 El esfuerzo desviador, por área unitaria, para una carga dada es:

$$\sigma_d = \frac{P}{A}$$

Donde:

- P = Carga desviadora aplicada.
A = Área promedio de la correspondiente sección transversal.

7.1.5 Gráficos. Prepárese un gráfico que muestre la relación entre la presión de poros y la deformación unitaria, si se midieron las presiones de poros.

Dibújese un gráfico que muestre la relación entre el esfuerzo desviador unitario (Como ordenada) y la deformación unitaria (como abscisa).

El valor máximo del esfuerzo desviador ($\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_2$) o la relación máxima de esfuerzos principales efectivos s_1/s_3 , se elige y se usa para dibujar los círculos de Mohr; si se midió la presión de poros U, réstese de los esfuerzos principales. Cuando todos los círculos de Mohr hayan sido dibujados, dibújese una línea que sea lo más tangente posible a todos los círculos. La intersección de esta línea con el eje de ordenadas, es el valor de la cohesión (efectiva si se midió U), C (C'), y el ángulo entre esta línea y la horizontal, es el ángulo de fricción interna, σ (σ') efectivo si se midió U.

7.2 METODO DEL ESFUERZO TOTAL NO CONSOLIDADO - NO DRENADO (UU)

7.2.1 Calcúlese la deformación axial, para una carga dada, así:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Donde:

- ΔL = Cambio de longitud del espécimen determinado a partir del indicador de deformación
 L_0 = Longitud del espécimen después de la consolidación.

7.2.2 Calcúlese el área promedio de la sección transversal A, para una carga dada, así:

$$A = \frac{A_0}{(1 - \varepsilon)}$$

Donde:

- A_0 = Área inicial de la sección transversal promedio del espécimen, y
 ε = Deformación axial para una carga dada.

7.2.3. El esfuerzo desviador, por área unitaria, para una carga dada es:

$$\sigma_d = \frac{P}{A}$$

Donde:

- P = Carga desviadora aplicada.
 A = Área promedio de la correspondiente sección transversal.

7.2.4. Dibújese la curva esfuerzo-deformación con el esfuerzo desviador como ordenada y la correspondiente deformación como abscisa.

7.2.5. Utilícese el valor de $s_1 - s_3$ en el punto de falla para dibujar en el formato del ensayo, el diámetro del círculo de Mohr. Localícese el centro del círculo de Mohr en un punto que tenga el valor de $s_3 + \frac{1}{2}(s_1 - s_3)$ a lo largo del eje del esfuerzo total.

7.2.6. Ensáyense al menos tres muestras diferentes del material con distintas presiones laterales (s_3). Dibújense los círculos de Mohr para cada muestra y trácese una línea tangente a los círculos que intercepte al eje vertical del esfuerzo de corte.

7.3 METODO DE ENSAYO DRENADO (D)

7.3.1 Calcúlese la deformación axial, ε , para una carga dada así:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Donde:

- ΔL = Cambio de longitud del espécimen determinado a partir del indicador de deformación
 L_0 = Longitud del espécimen después de la consolidación.

7.3.2 Calcúlese el área promedio de la sección transversal A , para una carga dada, así:

$$A = \frac{A_0}{(1 - \varepsilon)}$$

Donde:

- A_0 = Área inicial de la sección transversal promedio del espécimen, y
 ε = Deformación axial para una carga dada.

7.3.3 El esfuerzo desviador, por área unitaria, para una carga dada es:

$$\sigma_d = \frac{P}{A}$$

Donde:

- P = Carga desviadora aplicada.
 A = Área promedio de la correspondiente sección transversal.

7.3.4 Gráficos. Dibújense las curvas de esfuerzo-deformación y la curva de deformación-lectura de bureta.

- 7.3.5 Utilícese el valor de $(s_1 - s_3)$ en el punto de falla para dibujar en la hoja de informe el diámetro del círculo de Mohr. Localícese el centro de dicho círculo en un punto que tenga un valor de $s_1 + \frac{1}{2}(s_1 - s_3)$ a lo largo del eje de esfuerzo total.
- 7.3.6. Ensáyense al menos tres muestras de materiales similares con presiones laterales diferentes (s_3). Dibújese el círculo de Mohr para cada muestra y trácese una línea tangente a los círculos que intercepte la línea del esfuerzo de corte.

7.4 INFORME

7.4.1 Para cada uno de los tres tipos de ensayo el informe incluirá lo siguiente:

- La cohesión y el ángulo de fricción interna obtenidos de acuerdo con el tipo del ensayo.
- Ensayo ejecutado (CU, UU, D) con indicación de si se midieron las presiones de poros.
- Tipo y forma del espécimen, esto es, inalterado, remoldeado, cilíndrico o prismático.
- Relación altura-diámetro.
- Descripción visual.
- Los valores del límite líquido y el límite plástico, si se determina,
- El valor del peso específico de los sólidos
- Peso unitario inicial, humedad y grado de saturación.
- Índices de Consistencia (ASTM D 4318)
- Rata promedio de deformación hasta la falla en porcentaje.
- Anótese cualquier condición anormal y datos que pudieran ser necesarios para interpretar adecuadamente los resultados obtenidos.
- Dibújense los Círculos de Mohr y su envolvente correspondiente (línea $\mathcal{A}\mathcal{E}$), como se ven en la Figura 4.
- Hágase un esquema de la falla.(fotografía o dibujo del falla del espécimen)
- Calcúlense para los especímenes en cada uno de los tres tipos de ensayos (CU, UU y D), los valores:

$$P = \frac{\nu_1 + \nu_3}{2} \quad \text{y} \quad q = \frac{\nu_1 - \nu_3}{2}$$

- 7.4.2 Para el tipo de ensayo correspondiente, dibújense entonces los respectivos puntos (p, q) colocando P como abscisa Q como ordenada únense con una línea suave (llamada trayectoria de esfuerzo o línea K), como puede verse en la Figura 4.
- 7.4.3 Tómese una línea promedio a través de la curva y mídase su pendiente a y la intersección a con el eje (valor de la ordenada).
- 7.4.4 Calcúlese ϕ con base en la relación $\tan \phi = \frac{a}{c}$ y la cohesión como sigue:

$$c = \frac{a}{\cos \phi}$$

- 7.4.5 Compárense los valores anteriores con los obtenidos a partir de los círculos de Mohr.
- 7.4.6 Comentarios y Observaciones Finales

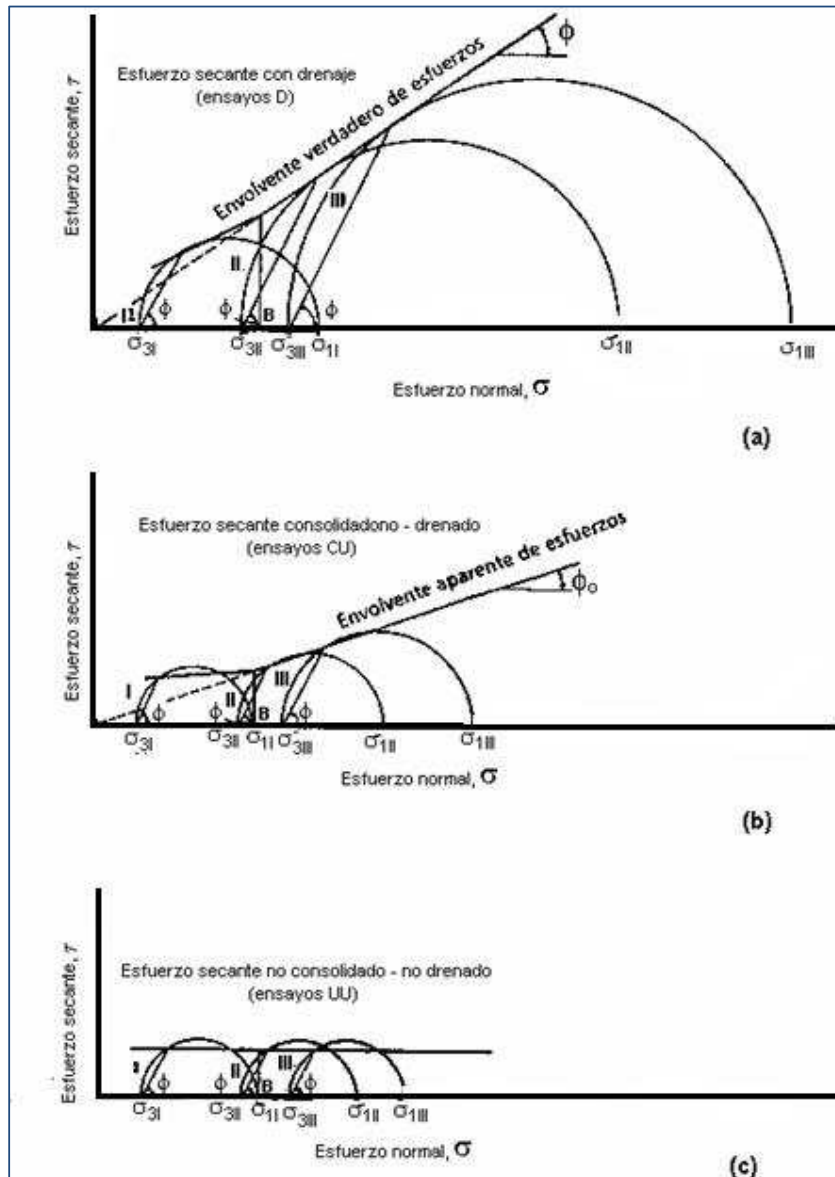


Figura 4. Ensayos de compresión triaxial en arcillas saturadas

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Precisión. No se presentaron los datos de prueba sobre la precisión debido a la naturaleza de los materiales del suelo ensayados mediante este procedimiento.
- 8.2 Dispersión. No hay ningún valor de referencia aceptado para este método de prueba; por lo tanto, no se podrán determinar la dispersión.

MTC E 132

CBR DE SUELOS (LABORATORIO)

1.0 OBJETO

- 1.1 Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma una parte integral de varios métodos de diseño de pavimento flexible.
- 2.2 Para aplicaciones donde el efecto del agua de compactación sobre el CBR es mínimo, tales como materiales no-cohesivos de granos gruesos, o cuando sea permisible para el efecto de diferenciar los contenidos de agua de compactación en el procedimiento de diseño, el CBR puede determinarse al óptimo contenido de agua de un esfuerzo de compactación especificado. El peso unitario seco especificado es normalmente el mínimo porcentaje de compactación permitido por la especificación de compactación de campo de la entidad usuaria.
- 2.3 Para aplicaciones donde el efecto del contenido de agua de compactación en el CBR es desconocido o donde se desee explicar su efecto, el CBR se determina para un rango de contenidos de agua, generalmente el rango de contenido de agua permitido para la compactación de campo por la especificación de compactación en campo de la entidad usuaria.
- 2.4 Los criterios para la preparación del espécimen de prueba con respecto a materiales cementados (y otros) los cuales recuperan resistencia con el tiempo, deben basarse en una evaluación geotécnica de ingeniería. Según sea dirigido por un ingeniero, los mismos materiales cementados deberán ser curados adecuadamente hasta que puedan medirse las relaciones de soporte que representen las condiciones de servicio a largo plazo.
- 2.5 Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, subbase y de afirmado.
- 2.6 Este modo operativo hace referencia a los ensayos para determinación de las relaciones de Peso Unitario - Humedad, usando un equipo modificado.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 1883: Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Prensa similar a las usadas en ensayos de compresión, utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen. El pistón se aloja en el cabezal y sus características deben ajustarse a las especificadas en el numeral 4.1.7.

El desplazamiento entre la base y el cabezal se debe poder regular a una velocidad uniforme de 1,27 mm (0,05") por minuto. La capacidad de la prensa y su sistema para la medida de carga debe ser de 44,5 kN (10000 lbf) o más y la precisión mínima en la medida debe ser de 44 N (10 lbf) o menos.

- 4.1.2 Molde, de metal, cilíndrico, de 152,4mm \pm 0,66 mm (6 \pm 0,026") de diámetro interior y de 177,8 \pm 0,46 mm (7 \pm 0,018") de altura, provisto de un collar de metal suplementario de 50,8 mm (2,0")

de altura y una placa de base perforada de 9,53 mm (3/8") de espesor. Las perforaciones de la base no excederán de 1,6 mm (28 1/16") las mismas que deberán estar uniformemente espaciadas en la circunferencia interior del molde de diámetro (Figura 1a). La base se deberá poder ajustar a cualquier extremo del molde.

4.1.3 Disco espaciador, de metal, de forma circular, de 150,8 mm (5 15/16") de diámetro exterior y de $61,37 \pm 0,127$ mm ($2,416 \pm 0,005$ ") de espesor (Figura 1b), para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.

4.1.4 Pisón de compactación como el descrito en el modo operativo de ensayo Proctor Modificado, (equipo modificado).

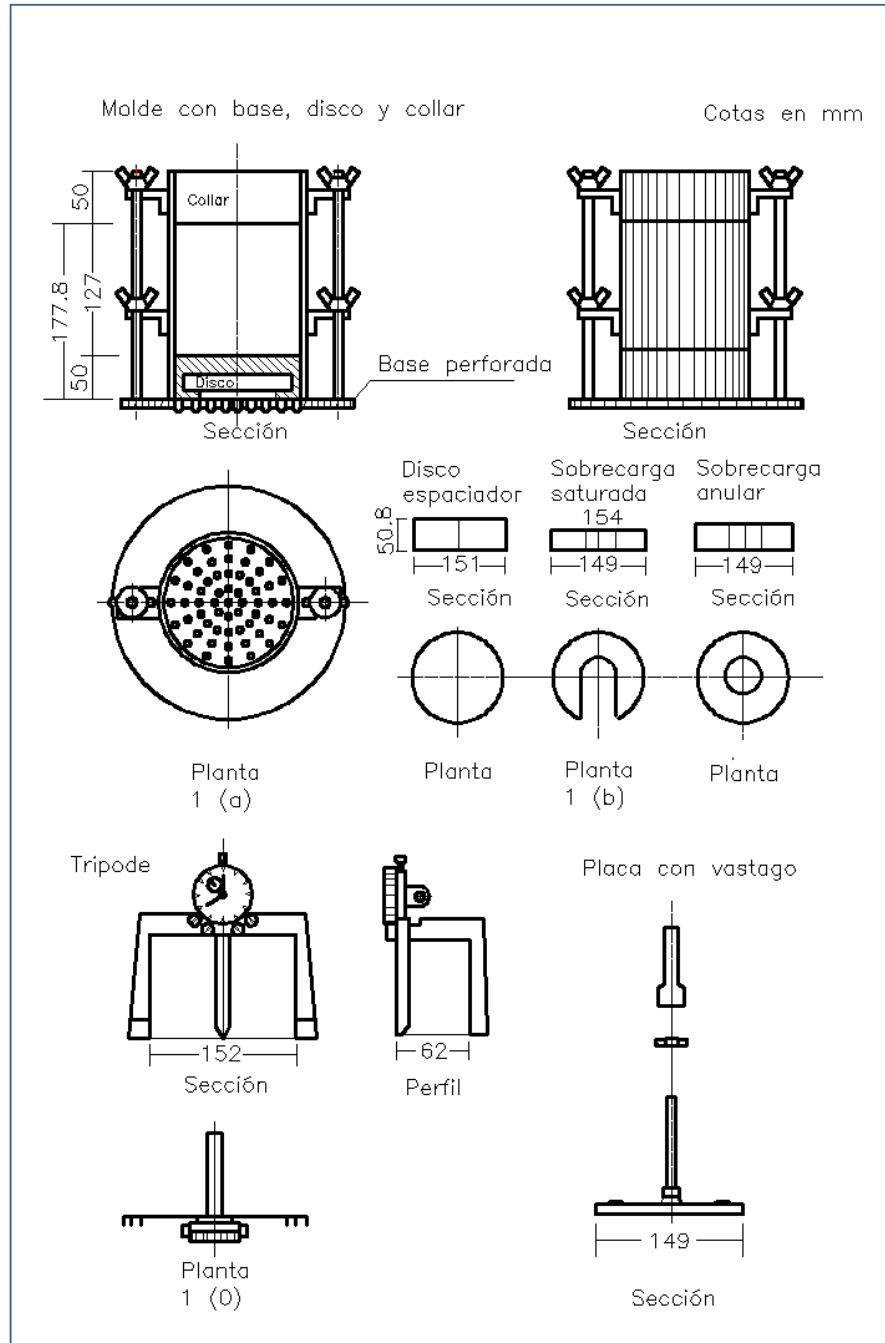


Figura 1.

4.1.5 Aparato medidor de expansión compuesto por:

- Una placa de metal perforada, por cada molde, de 149,2 mm (5 7/8") de diámetro, cuyas perforaciones no excedan de 1,6 mm (1/16") de diámetro. Estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura (Figura 1d).
- Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de éste y medir la expansión, con aproximación de 0,025 mm (0,001") (véase Figura 1c).

4.1.6 Pesas. Uno o dos pesas anulares de metal que tengan una masa total de $4,54 \pm 0,02$ kg y pesas ranuradas de metal cada una con masas de $2,27 \pm 0,02$ kg. Las pesas anular y ranurada deberán tener 5 7/8" a 5 15/16" (149,23 mm a 150,81 mm) en diámetro; además de tener la pesa, anular un agujero central de 2 1/8" aproximado (53,98 mm) de diámetro.

4.1.7 Pistón de penetración, metálico de sección transversal circular, de $49,63 \pm 0,13$ mm ($1,954 \pm 0,005$ " de diámetro, área de 19,35 cm² (3 pulg²) y con longitud necesaria para realizar el ensayo de penetración con las sobrecargas precisas de acuerdo con el numeral 6,4, pero nunca menor de 101,6 mm (4").

4.1.8 Dos diales con recorrido mínimo de 25 mm (1") y divisiones lecturas en 0,025 mm (0,001"), uno de ellos provisto de una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra.

4.1.9 Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.

4.1.10 Estufa, termostáticamente controlada, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.

4.1.11 Balanzas, una de 20 kg de capacidad y otra de 1000 g con sensibilidades de 1 g y 0,1 g, respectivamente.

4.1.12 Tamices, de 4,76 mm (No. 4), 19,05 mm (3/4") y 50,80 mm (2").

4.1.13 Misceláneos, de uso general como cuarteador, mezclador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc.

5.0 MUESTRA

5.1 La muestra deberá ser preparada y los especímenes para la compactación deberán prepararse de acuerdo con los procedimientos dados en los métodos de prueba NTP 339.141 ó NTP 339.142 para la compactación de un molde de 152,4mm (6") excepto por lo siguiente:

- Si todo el material pasa el tamiz de 19mm (3/4"), toda la graduación deberá usarse para preparar las muestras a compactar sin modificación. Si existe material retenido en el tamiz de 19 mm (3/4"), este material deberá ser removido y reemplazado por una cantidad igual de material que pase el tamiz de 3/4 de pulgada (19 mm) y sea retenido en el tamiz N° 4 obtenido por separación de porciones de la muestra no de otra forma usada para ensayos.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 El procedimiento es tal que los valores de la relación de soporte se obtienen a partir de especímenes de ensayo que posean el mismo peso unitario y contenido de agua que se espera encontrar en el terreno. En general, la condición de humedad crítica (más desfavorable) se tiene cuando el material está saturado. Por esta razón, el método original del Cuerpo de Ingenieros de E.U.A. contempla el ensayo de los especímenes después de estar sumergidos en agua por un período de cuatro (4) días confinados en el molde con una sobrecarga igual al peso del pavimento que actuará sobre el material.

6.2 Preparación de la Muestra.- Se procede como se indica en las normas mencionadas (Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos, con equipo estándar o modificado). Cuando más del 75 % en peso de la muestra pase por el tamiz de 19,1 mm (3/4"), se utiliza para el ensayo el material que pasa por dicho tamiz. Cuando la fracción de la muestra retenida en el tamiz de 19,1 mm (3/4") sea

superior a un 25% en peso, se separa el material retenido en dicho tamiz y se sustituye por una proporción igual de material comprendido entre los tamices de 19,1 mm (3/4") y de 4,75 mm (Nº4), obtenida tamizando otra porción de la muestra.

De la muestra así preparada se toma la cantidad necesaria para el ensayo de apisonado, más unos 5 kg por cada molde CBR.

Se determina la humedad óptima y la densidad máxima por medio del ensayo de compactación elegido. Se compacta un número suficiente de especímenes con variación en su contenido de agua, con el fin de establecer definitivamente la humedad óptima y el peso unitario máximo. Dichos especímenes se preparan con diferentes energías de compactación. Normalmente, se usan la energía del Proctor Estándar, la del Proctor Modificado y una Energía Inferior al Proctor Estándar. De esta forma, se puede estudiar la variación de la relación de soporte con estos dos factores que son los que la afectan principalmente. Los resultados se grafican en un diagrama de contenido de agua contra peso unitario.

Se determina la humedad natural del suelo mediante secado en estufa, según la norma MTC E 108.

Conocida la humedad natural del suelo, se le añade la cantidad de agua que le falte para alcanzar la humedad fijada para el ensayo, generalmente la óptima determinada según el ensayo de compactación elegido y se mezcla íntimamente con la muestra.

- 6.3 Elaboración de especímenes. Se pesa el molde con su base, se coloca el collar y el disco espaciador y, sobre éste, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro.

Una vez preparado el molde, se compacta el espécimen en su interior, aplicando un sistema dinámico de compactación (ensayos mencionados, ídem Proctor Estándar o Modificado), pero utilizando en cada molde la proporción de agua y la energía (número de capas y de golpes en cada capa) necesarias para que el suelo quede con la humedad y densidad deseadas (véase Figura 2a). Es frecuente utilizar tres o nueve moldes por cada muestra, según la clase de suelo granular o cohesivo, con grados diferentes de compactación. Para suelos granulares, la prueba se efectúa dando 55, 26 y 12 golpes por capa y con contenido de agua correspondiente a la óptima. Para suelos cohesivos interesa mostrar su comportamiento sobre un intervalo amplio de humedades. Las curvas se desarrollan para 55, 26 y 12 golpes por capa, con diferentes humedades, con el fin de obtener una familia de curvas que muestran la relación entre el peso específico, humedad y relación de capacidad de soporte.

Nota 1. En este procedimiento queda descrito cómo se obtiene el índice CBR para el suelo colocado en un solo molde, con una determinada humedad y densidad. Sin embargo, en cada caso, al ejecutar el ensayo deberá especificarse el número de moldes a ensayar, así como la Humedad y Peso Unitario a que habrán de compactarse.

Si el espécimen se va a sumergir, se toma una porción de material, entre 100 y 500g (según sea fino o tenga grava) antes de la compactación y otra al final, se mezclan y se determina la humedad del Suelo de acuerdo con la Norma MTC E 108. Si la muestra no va a ser sumergida, la porción de material para determinar la humedad se toma del centro de la probeta resultante de compactar el suelo en el molde, después del ensayo de penetración. Para ello el espécimen se saca del molde y se rompe por la mitad.

Terminada la compactación, se quita el collar y se enrasa el espécimen por medio de un enrasador o cuchillo de hoja resistente y bien recta. Cualquier depresión producida al eliminar partículas gruesas durante el enrase, se rellenará con material sobrante sin gruesos, comprimiéndolo con la espátula.

Se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base. Se pesa.

- 6.4 Inmersión. Se coloca sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, y, sobre ésta, los anillos necesarios para completar una sobrecarga tal, que produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de materiales que hayan de ir encima del suelo que

se ensaya, la aproximación quedará dentro de los 2,27 kg correspondientes a una pesa. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4,54 kg (véase Figura 2b).

Nota 2. A falta de instrucciones concretas al respecto, se puede determinar el espesor de las capas que se han de construir por encima del suelo que se ensaya, bien por estimación o por algún método aproximado. Cada 15 cm (6") de espesor de estructura del pavimento corresponde aproximadamente a 4,54 kg de sobrecarga.

Se toma la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del dial con el de la placa perforada. Se anota su lectura, el día y la hora. A continuación, se sumerge el molde en el tanque con la sobrecarga colocada dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra. Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días) "con el nivel de agua aproximadamente constante. Es admisible también un período de inmersión más corto si se trata de suelos granulares que se saturan de agua rápidamente y si los ensayos muestran que esto no afecta los resultados (véase Figura 2c).

Al final del período de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento. Si es posible, se deja el trípode en su posición, sin moverlo durante todo el período de inmersión; no obstante, si fuera preciso, después de la primera lectura puede retirarse, marcando la posición de las patas en el borde del molde para poderla repetir en lecturas sucesivas. La expansión se calcula como un porcentaje de la altura del espécimen.

Después del periodo de inmersión se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición. Se deja escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y a continuación se retira la sobrecarga y la placa perforada. Inmediatamente se pesa y se procede al ensayo de penetración según el proceso del numeral siguiente.

Es importante que no transcurra más tiempo que el indispensable desde cuando se retira la sobrecarga hasta cuando vuelve a colocarse para el ensayo de penetración.

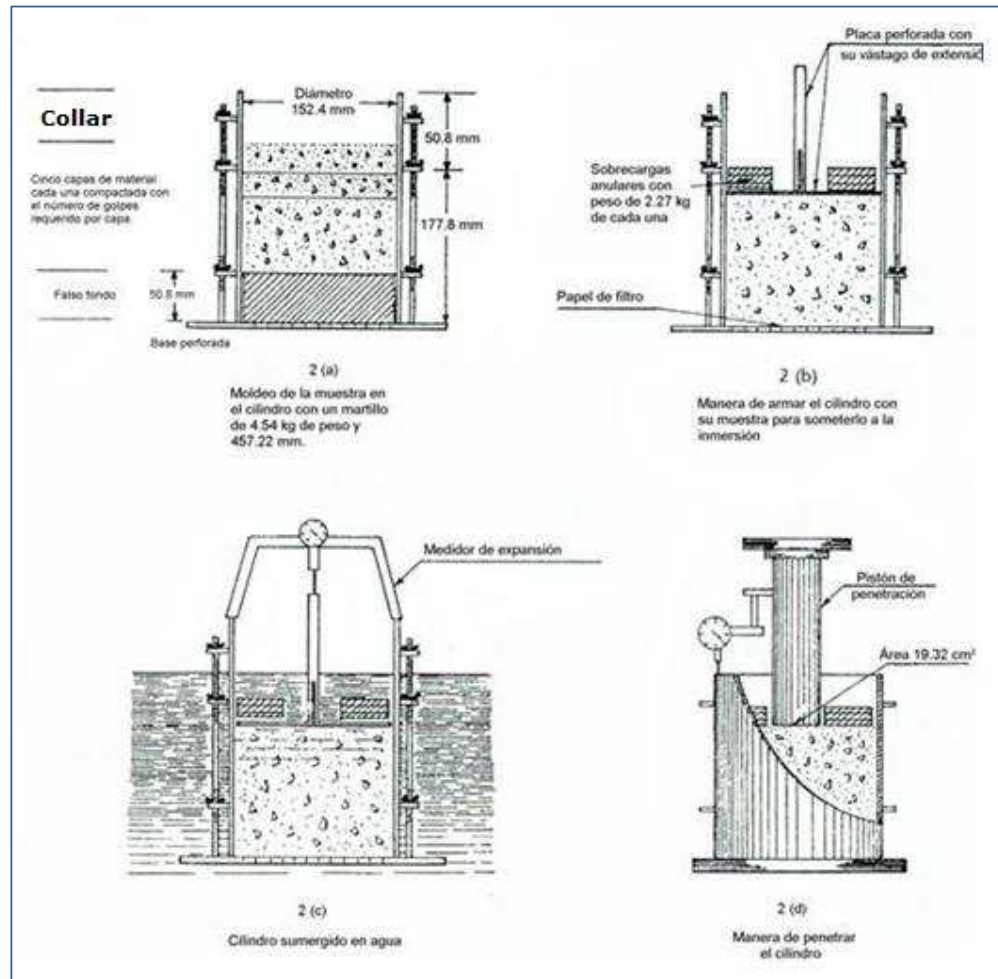


Figura 2: Determinación del valor de la relación de soporte en el laboratorio

- 6.5 Penetración. Se aplica una sobrecarga que sea suficiente, para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento (con $\pm 2,27$ kg de aproximación) pero no menor de 4,54 kg. Para evitar el empuje hacia arriba del suelo dentro del agujero de las pesas de sobrecarga, es conveniente asentar el pistón luego de poner la primera sobrecarga sobre la muestra. Llévase el conjunto a la prensa y colóquese en el orificio central de la sobrecarga anular, el pistón de penetración y añade el resto de la sobrecarga si hubo inmersión, hasta completar la que se utilizó en ella. Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 50N (5 kg) para que el pistón asiente. Seguidamente se sitúan en cero las agujas de los diales medidores, el del anillo dinamo métrico, u otro dispositivo para medir la carga, y el de control de la penetración (véase Figura 2d). Para evitar que la lectura de penetración se vea afectada por la lectura del anillo de carga, el control de penetración deberá apoyarse entre el pistón y la muestra o molde.

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1,27 mm (0,05") por minuto. Las prensas manuales no preparadas para trabajar a esta velocidad de forma automática se controlarán mediante el deformímetro de penetración y un cronómetro. Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones:

Penetración

Milímetros	Pulgadas
0,63	0,025
1,27	0,050
1,90	0,075
2,54	0,100
3,17	0,125
3,81	0,150
5,08	0,200
7,62	0,300
10,16	0,400
12,70	0,500

* Estas lecturas se hacen si se desea definir la forma de la curva, pero no son indispensables.

Finalmente, se desmonta el molde y se toma de su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad.

6.6 PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO SOBRE MUESTRAS INALTERADAS

En el caso de muestras inalteradas se procede como sigue:

- Se trabajará en una calicata de aproximadamente 0,80 x 0,80 m.
- Se nivela la superficie y se coloca el molde en el centro del área de trabajo. El molde se le debe haber adicionado el anillo cortador.
- Posteriormente se excava suavemente alrededor del molde, presionándolo para que corte una delgada capa de suelo a su alrededor.
- Se clava el molde en el suelo poco a poco, con ayuda de herramientas apropiadas, hasta llenarlo, haciendo uso de la técnica para la toma de muestras inalteradas que se describe en la norma MTC E 112. Debe entenderse que por ningún motivo la muestra debe ser golpeada, tanto en el proceso de recuperación en el campo, como en su transporte y trabajo de laboratorio
- Una vez lleno el molde, se parafinan sus caras planas y, cuidando de no golpearlo, se traslada al laboratorio. Cuando se vaya a efectuar el ensayo se quita la parafina de ambas caras y, con ayuda de la prensa y el disco espaciador o de un extractor de muestras, se deja un espacio vacío en el molde equivalente al del disco espaciador, enrasando el molde por el otro extremo. A continuación se procede como con las muestras preparadas en el laboratorio. La operación para dejar ese espacio vacío no es necesaria (7,0" ± 0,16") si se utiliza un molde con 127 mm (5") de altura, en vez de los 177,8 mm, y se monta el collar antes de proceder al ensayo de penetración.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Humedad de compactación. El tanto por ciento de agua que hay que añadir al suelo con su humedad natural para que alcance la humedad prefijada, se calcula como sigue:

$$\% \text{ de agua a añadir} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100$$

Donde:

- H = Humedad prefijada
h = Humedad natural

- 7.1.2 Densidad o peso unitario. La densidad se calcula a partir del peso del suelo antes de sumergirlo y de su humedad, de la misma forma que en los métodos de ensayo citados. Proctor normal o modificado, para obtener la densidad máxima y la humedad óptima.
- 7.1.3 Agua absorbida. El cálculo para el agua absorbida puede efectuarse de dos maneras. Una, a partir de los datos de las humedades antes de la inmersión y después de ésta (numerales 4.1.3 y 4.1.4); la diferencia entre ambas se toma normalmente como tanto por ciento de agua absorbida. Otra, utilizando la humedad de la muestra total contenida en el molde. Se calcula a partir del peso seco de la muestra (calculado) y el peso húmedo antes y después de la inmersión.

Ambos resultados coincidirán o no, según que la naturaleza del suelo permita la absorción uniforme del agua (suelos granulares), o no (suelos plásticos). En este segundo caso debe calcularse el agua absorbida por los dos procedimientos.

- 7.1.4 Presión de penetración. Se calcula la presión aplicada por el penetrómetro y se dibuja la curva para obtener las presiones reales de penetración a partir de los datos de prueba; el punto cero de la curva se ajusta para corregir las irregularidades de la superficie, que afectan la forma inicial de la curva (véase Figura 3).
- 7.1.5 Expansión. La expansión se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro antes y después de la inmersión, numeral 6.3. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm (5").

Es decir:

$$\% \text{ Expansión} = \frac{L_2 - L_1}{127} \times 100$$

Donde

L_1 = Lectura inicial en mm.

L_2 = Lectura final en mm.

- 7.1.6 Valor de la relación de soporte (índice resistente CBR). Se llama valor de la relación de soporte (índice CBR), al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, en relación con la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón. Las características de la muestra patrón son las siguientes:

Penetración		Presión		
Mm	Pulgadas	MN/m ²	kgf/cm ²	lb/plg ²
2,54	0,1	6,90	70,31	1,000
5,08	0,2	10,35	105,46	1,500

Para calcular el índice CBR se procede como sigue:

- a) Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta un punto de inflexión. Si no presenta punto de inflexión se toman los valores correspondientes a 2,54 y 5,08 mm (0,1" y 0,2") de penetración. Si la curva presenta un punto de inflexión, la tangente en ese punto cortará el eje de abscisas en otro punto (o corregido), que se toma como nuevo origen para la determinación de las presiones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.
- b) De la curva corregida tómanse los valores de esfuerzo-penetración para los valores de 2,54 mm y 5,08 mm y calcúlense los valores de relación de soporte correspondientes, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6,9 MPa (1000lb/plg²) y 10,3 MPa (1500 lb/plg²) respectivamente, y multiplíquese por 100. La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2,54 mm (0,1") de penetración. Cuando la relación a 5,08 mm (0,2") de penetración resulta ser mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5,08 mm (0,2") de penetración.

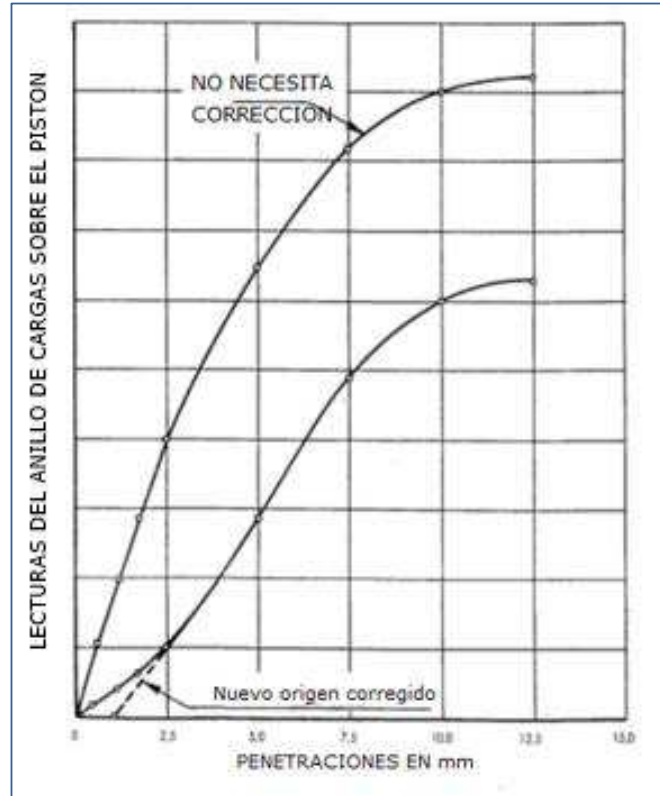


Figura 3: Curva para cálculo de índice de CBR

7.2 INFORME LECTURAS DEL ANILLO DE CARGAS SOBRE EL PISTON

Los datos y resultados de la prueba que deberán suministrarse son los siguientes:

- Método usado para la preparación y compactación de los especímenes.
- Descripción e identificación de la muestra ensayada.
- Humedad al fabricar el espécimen.
- Peso unitario.
- Sobrecarga de saturación y penetración.
- Expansión del espécimen.
- Humedad después de la saturación.
- Humedad óptima y densidad máxima determinados mediante la norma MTC E 115.
- Curva presión-penetración.
- Valor de relación de soporte (C.B.R.).

MTC E 133

CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU)

1.0 OBJETO

- 1.1 Establece el procedimiento que se debe seguir para determinar la relación de soporte CBR in situ, mediante la comparación entre la carga de penetración del suelo y la de un material estándar de referencia.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Se utiliza el ensayo in situ para determinar su CBR con el fin de evaluar y diseñar la estructura de un pavimento flexible, tales como base y sub-base gruesas y subrasantes y también para otras aplicaciones (como caminos no pavimentados), para los cuales el CBR es el parámetro de resistencia indicado. Si el CBR del campo es usado directamente para la evaluación o diseño, sin considerar la variación ocasionada por cambios en el contenido de agua, el ensayo debe llevarse a cabo bajo una de las siguientes condiciones: (a) si el grado de saturación (porcentaje de vacíos llenos de agua) es de 80 % o más, (b) si el material es de grano grueso y sin cohesión, de modo que no se ve afectado en forma significativa por los cambios en el contenido de agua, o (c) si el suelo no ha sido modificado por actividades de construcción durante los dos años anteriores al ensayo. En este último caso, el contenido de agua no es realmente constante, sino que generalmente fluctúa dentro de un margen bastante reducido. Por lo tanto, los datos del ensayo en campo, pueden utilizarse satisfactoriamente para indicar el promedio de la capacidad de carga.
- 2.2 Cualquier actividad de construcción, como el nivelado o la compactación, realizada tras el ensayo de capacidad de soporte, probablemente invalidará los resultados de éste.
- 2.3 Este método de ensayo cubre la evaluación de la calidad de la subrasante, pero también es aplicable a materiales de subbase y base.
- 2.4 Este método de ensayo está diseñado para probar materiales in situ y corresponden al método de ensayo ASTM D-1883.
- 2.5 Para hallar la relación de soporte sobre especímenes de laboratorio, refiérase a la Norma ASTM A - 1883.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 4429: Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Soils in Place

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Gata mecánico de tornillo, manualmente operado, equipado con un dispositivo giratorio especial de manivela para aplicar la carga al pistón de penetración y diseñado con las siguientes especificaciones:
- Capacidad mínima de 2700 kg (5950 lb).
 - Elevación mínima: 50 mm (2").
 - Manubrio desmontable 150 mm (6") de radio.
 - Relación de velocidad alta, aproximadamente 2,4 revoluciones para 1 mm (0,04") de penetración.
 - Relación de velocidad media, aproximadamente 5 revoluciones para 1 mm (0,04") de penetración.
 - Relación de velocidad baja, aproximadamente 14 revoluciones para 1 mm (0,04") de penetración.
 - Pueden usarse otras relaciones de velocidad, cuando esto sea más conveniente.

- También se pueden usar otros gatos mecánicos, con la misma carga mínima y altura de elevación, siempre y cuando se obtenga con ellos una relación uniforme de penetración carga de 1,3 mm (0,05") por minuto.
- 4.1.2 Anillos de carga, dos en total, debidamente calibrados, uno de ellos con amplitud de carga de 0 a 8,8 kN (0 - 1984 lbf) y el otro de 0 a 22,6 kN (0 - 5070 lbf) aproximadamente.
 - 4.1.3 Pistón de penetración, de $50,8 \pm 0,1$ mm ($2 \pm 0,004$ ") de diámetro ($3 \text{ pulg}^2 = 19,35 \text{ cm}^3$ de área) y aproximadamente 102 mm (4") de longitud. Debe constar además, de un adaptador de pistón y de extensiones de tubo de rosca interna con conectores.
 - 4.1.4 Diales. Deben existir dos diales: uno para medir deformaciones del anillo de carga con lecturas de 0,0025 mm (0,0001") y recorrido de aproximadamente 6,4 mm (0,25") y otro para medir penetraciones del pistón con lecturas de 0,025 mm (0,001") y recorrido de aproximadamente 25 mm (1"), equipado con un soporte o abrazadera de extensión para ajustar la posición del dial.
 - 4.1.5 Soporte para el dial de penetración, o puente de aluminio, hierro o madera de 76 mm (3") de altura y longitud aproximada de 1,5 m (5 pies).
 - 4.1.6 Platina de sobrecarga, circular, de acero, de $254 + 0,5$ mm ($10 \pm 0,02$ ") de diámetro, con un agujero central circular de $51 \pm 0,5$ mm ($2 \pm 0,02$ "). La platina debe pesar $4,54 \pm 0,01$ kg.
 - 4.1.7 Pesas de sobrecarga. Dos pesas anulares de sobrecarga de $4,54 \pm 0,01$ kg, de 216 ± 1 mm ($8,5 \pm 0,04$ ") de diámetro total, y dos pesas similares de las mismas dimensiones, pero de $9,08 \pm 0,01$ kg cada una.
 - 4.1.8 Vehículo de carga (reacción). Un vehículo (o pieza de equipo pesado) de carga suficiente para proveer una reacción de aproximadamente 31 kN (6970 lb). El vehículo debe estar equipado con una viga metálica debidamente acondicionada en la parte posterior del chasis que ofrezca una reacción adecuada para forzar la penetración del pistón en el suelo. El vehículo se debe suspender suficientemente para eliminar la influencia de los resortes traseros y permitir que el ensayo de penetración se efectúe sin movimiento ascendente del chasis del vehículo. Para efectuar el ensayo se requiere disponer de un espacio vertical libre de aproximadamente 0,6 m (2 pies).
 - 4.1.9 Gatas. Dos gatas tipo camión, de 14 Mg (15 toneladas) de capacidad, de doble acción combinada y descenso automático.
 - 4.1.10 Equipo misceláneo. Envases de muestras para determinación de humedad y peso unitario, espátula, regla de enrase, cucharones para excavar, etc.

Nota 1. La Figura 1 muestra una instalación típica del ensayo en el terreno. La Figura 2 muestra el conjunto de elementos que componen el aparato.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Materiales de sub base y base

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Prepárese el área de la superficie que va a ser ensayada, retirando el material suelto y superficial que no sea representativo del suelo que se va a ensayar. Asimismo un área de ensayo tan uniforme y horizontal como sea posible. Cuando se trate de materiales de base no plásticos, se debe tener especial cuidado para no alterar la superficie de ensayo. El espaciamiento de los ensayos de penetración debe ser tal, que la operación en un punto no altere el suelo del siguiente punto que va a ser penetrado. Esta separación debe ser como mínimo de 175 mm (7") en suelos plásticos y de 380 mm (15") en suelos granulares gruesos.

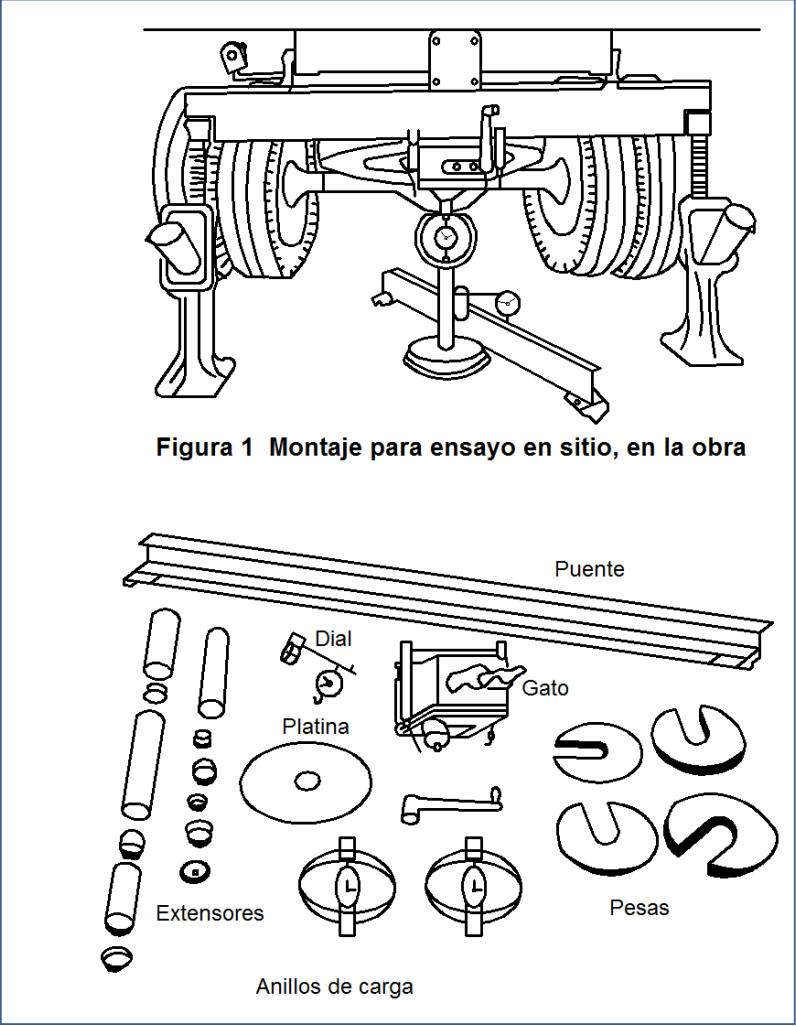


Figura 1 Montaje para ensayo en sitio, en la obra

Figura 2: Aparatos para ensayos en sitio, en la obra

- 6.2 Localícese el vehículo en tal forma que el dispositivo de reacción quede directamente sobre la superficie por ensayar. Instálese el gato mecánico debajo de la viga o dispositivo de reacción, con la manivela hacia afuera. Colóquense los gatos de camión a cada lado del vehículo y levántese para que no exista peso alguno sobre los resortes posteriores; cerciórese de que el vehículo está nivelado en la parte trasera.
- 6.3 Ubíquese el gato mecánico en la posición correcta y conéctese el anillo de carga al extremo del gato. Conéctese el adaptador del pistón al extremo inferior del anillo, adiciónese el número necesario de extensiones hasta alcanzar una altura menor de 125 mm (4,9") sobre la superficie de ensayo y conéctese el pistón de penetración. Sujétese el gato en su sitio. Compruébese el nivel del montaje del gato para asegurarse su verticalidad y háganse los ajustes que sean necesarios.
- 6.4 Colóquese la platina de sobrecarga de 4,5 kg debajo del pistón de penetración, de tal forma que cuando baje el pistón, éste pase a través del agujero central.
- 6.5 Asíéntese el pistón bajo una carga inicial de aproximadamente 21 kPa (3 lb/puIg²). Para una rápida colocación, úsese la relación de alta velocidad del gato. Para materiales de base con una superficie irregular, colóquese el pistón sobre una delgadísima capa de polvo de trituración de piedra caliza (tamices No. 20 – N° 40) o de yeso.
- 6.6 Si es necesario para lograr una superficie uniforme, levántese la platina de carga mientras todavía está actuando la carga inicial sobre el pistón y espolvoréese uniformemente arena fina, en un

- espesor de 3 a 6 mm (0,12 a 0,24"), sobre la superficie cubierta con la platina. Esto sirve para distribuir uniformemente el peso de la sobrecarga.
- 6.7 Adiciónense a la platina un número de pesos de sobrecarga tal, que transmita una presión equivalente a la intensidad de carga, producida por las capas de pavimento, que se colocarán sobre la subrasante, la base o ambos, excepto que la mínima pesa aplicada será la de 4,5 kg más una pesa de sobrecarga de 9 kg.
 - 6.8 Fíjese el soporte del dial de penetración al pistón y sujétese el dial a dicho soporte.
 - 6.9 Colóquense en cero las lecturas de ambos diales.
 - 6.10 Aplíquese la carga al pistón de penetración de tal manera que la velocidad aproximada de penetración sea de 1,3 mm (0,05") por minuto. Utilizando la relación de baja velocidad del gato durante el ensayo se puede mantener una rata uniforme de penetración por parte del operador. Regístrense las lecturas del anillo de carga para cada 0,64 mm (0,025") de incremento de penetración hasta una profundidad final de 12,70 mm (0,500"). En suelos homogéneos las profundidades de penetración mayores de 7,62 mm (0,300") frecuentemente se pueden omitir. Calcúlese la relación de soporte en porcentaje (véase el numeral 6 para los cálculos).
 - 6.11 Al finalizar el ensayo, obténgase una muestra en el punto de penetración y determínese su humedad. También debe determinarse el peso unitario en un sitio localizado de 100 a 150 mm (4" a 6") desde el punto de penetración. El peso unitario debe determinarse de acuerdo con los métodos de ensayo (método del cono de arena), o (métodos nucleares). La humedad debe determinarse de acuerdo con los métodos de ensayos correspondientes o nucleares.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Curva de esfuerzo-penetración. Calcúlese el esfuerzo de penetración para cada incremento de penetración, dividiendo la fuerza aplicada entre el área del pistón. Dibújese la curva de esfuerzo vs. Penetración para cada incremento de penetración, como se muestra en la Figura 3.

En ocasiones, la curva de esfuerzo vs penetración puede en su parte inicial resultar cóncava hacia arriba, debido a irregularidades de la superficie u otras causas y, en tales casos, el punto cero se debe ajustar como se indica en la Figura 3.

- 7.1.2 Relación de soporte. De la curva corregida tórnense los valores de esfuerzo para penetraciones de 2,54 mm (0,100") y 5,08 mm (0,200") y calcúlese las relaciones de soporte para cada uno dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia de 6,9 MPa (1000 lb/pulg²) y 10,3 MPa (1500 lb/pulg²), respectivamente, y multiplíquese por 100. Calcúlese adicionalmente las relaciones de soporte para el máximo esfuerzo si la penetración es menor de 5,08 mm (0,200"), interpolando el esfuerzo de referencia. La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2,54 mm (0,100") de penetración. Cuando la relación a 5,08 mm (0,200") de penetración resulta ser mayor, repítase el ensayo. Si el ensayo o probación da un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5,08 mm (0,200") de penetración.

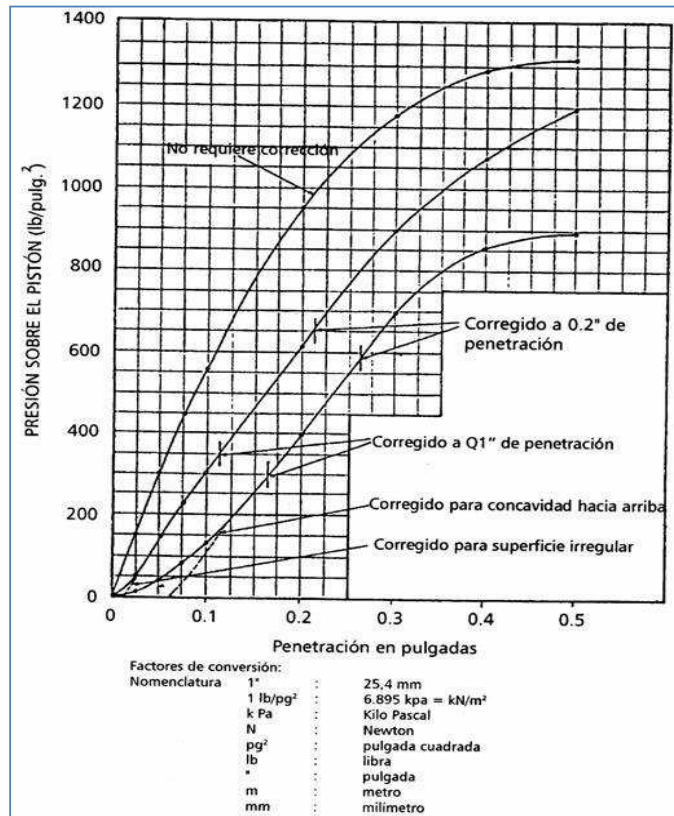


Figura 3: Corrección de curvas de esfuerzo de penetración

7.1.3 Si los valores de relación de soporte para penetraciones de 7,62 , 10,16 y 12,7 mm (0,300", 0,400" y 0,500") son requeridos, los valores de esfuerzo corregidos para estas penetraciones deben dividirse por los esfuerzos de referencia para 13,1; 15,9 y 17,9 MPa (900, 2300 y 2600 lb/puIg²), respectivamente, y multiplicarse por 100.

7.2 INFORME

7.2.1 El informe debe incluir la siguiente información para cada ensayo:

- Localización del ensayo.
- Material.
- Profundidad del ensayo.
- Curva de esfuerzo - penetración.
- Relación de soporte corregida para 2,54 mm (0,1") de penetración.
- Relación de soporte corregida para 5,08 mm (0,2") de penetración.
- Humedad.
- Densidad.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 La precisión y sesgo estadístico de este método de ensayo no han sido determinadas. Los componentes de suelos y pavimento flexible en el mismo lugar pueden mostrar relaciones entre carga y deformación significativamente diferentes. No existe actualmente un método para evaluar la precisión de un grupo de ensayos no repetitivos con placas de carga para componentes de suelos y pavimento flexible debido a la variabilidad de estos materiales.

MTC E 134**DETERMINACION DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS POR OXIDACION Y VIA HUMEDA****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establece el procedimiento para determinar el contenido de materia orgánica, fácilmente oxidadas en muestras de suelos.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método es aplicable cuando se desea determinar la materia orgánica fácilmente oxidada, mediante el dicromato de potasio que es reducido por la materia orgánica del suelo.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 AASHTO T 194-97 (2004): Standard Method of Test for Determination of Organic Matter in Soils by Wet Combustion.
- 3.2 AASHTO T 267-86 (2004): Standard Method of Test for Determination of Organic Content in Soils by Loss on Ignition

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Balanza Analítica, sensible al 0,1 miligramo.
- 4.1.2 Estufa eléctrica.
- 4.2 MATERIALES
- 4.1.3 Matraz Erlenmeyer de 500 mililitros.
- 4.1.4 Bureta.
- 4.1.5 Pipetas de 0,5 y 10 mililitros.

- 4.1.6 Frasco volumétrico de 1,000 mililitros.

- 4.1.7 Frasco gotero para el indicador.

- 4.1.8 Soporte de bureta.

- 4.1.9 Probeta graduada de 10 y 100 mililitros.

4.2 INSUMOS

- 4.2.1 Dicromato de potasio normal, disolver 49,04g de dicromato de potasio en agua destilada, a 1,000 mililitros.

- 4.2.2 Sulfato ferroso normal, disolver 140 g del reactivo $F_2SO_4 \cdot 7H_2O$ en agua destilada, adicionar 40 mililitros de ácido sulfúrico concentrado, enfriar y completar a 1 litro. Normalizar este reactivo cada día efectuando una prueba en blanco con 10,5 mL de dicromato de potasio 1 normal.

- 4.2.3 Difenilamina sulfonato de bario, disolver 0,16 g del indicador difenilamina sulfonato de bario en 100 mL de agua destilada.

- 4.2.4 Ácido sulfúrico, concentrado (no menor de 96 %), grado reactivo.

- 4.2.5 Ácido fosfórico, 85 %, grado reactivo.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Suelo, del cual se tomará una muestra representativa de más o menos 50 gramos, secar en estufa, enfriar, pasar por la malla N° 40 y colocar en un recipiente.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.1.1 Pesar 0,750 a 1g (ver la nota 1) de suelo al 0,001 g más cercano y colocar en un Erlenmeyer de 500 mL.
- 6.1.2 Adicionar 10 mililitros de la solución de dicromato de potasio normal, inmediatamente agregar de una bureta ó pipeta 20 mL de H₂SO₄ concentrado, homogenizar completamente la mezcla, mediante un movimiento de giro manual y colocar sobre una malla de asbesto por 30 minutos (ver la Nota N° 2).
- 6.1.3 Adicionar 200 mililitros de agua destilada y 10 mL de ácido fosfórico, medido en probeta y 0,80 mL (15 gotas) del indicador de difenilamina sulfonato de bario, efectuar un giro manual del frasco para asegurar el contacto íntimo de los reactivos con el suelo.
- 6.1.4 Titular con solución Normal de sulfato ferroso, procedente de una bureta, el viraje de la solución será primeramente de color púrpura, después azul oscuro, a un azul claro y por último a un verde brillante.
- 6.1.5 Adicionar 0,5 mL más de la solución de dicromato de potasio al Erlenmeyer, para restablecer un exceso de dicromato, lave las paredes internas del frasco con unos cuantos mililitros de agua destilada de una piceta.
- 6.1.6 Completar la titulación con adición del sulfato ferroso, gota a gota al frasco hasta el punto final del verde brillante. Si menos de 5 mL de la solución de sulfato ferroso ha sido usado en la titulación, repetir la titulación con menos gramos de suelo.
- 6.1.7 Efectuar una prueba en blanco, usando exactamente 10,5 mL de dicromato y sin muestra de suelo, siguiendo el procedimiento proporcionado arriba.

Nota 1. Para turbas, usar el método "Pérdidas por Ignición". Puede ser necesario disminuir la cantidad de suelo del mínimo especificado en 6.1.1 (de 0,750 a 1,0 g), para suelos aproximadamente mayores al 10% orgánico. El método "Pérdidas por Ignición" debe usarse si la muestra de suelo es menor de 0,200 g.

Nota 2. Debido a que la acción del ácido crómico, en materia orgánica es considerablemente afectada por la temperatura, el frasco deberá ser colocado en una temperatura de cuarto 20 a 30 °C por el período de 30 minutos.

Nota 3. Es posible que un cambio de coloración durante la titulación con la solución de sulfato ferroso sea imposible de observar con ciertos tipos o colores de suelo. Si esto ocurre, fíltrese la muestra a través de un papel de filtro N°54 antes de la adición del indicador y continuar con el método

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Determinar la cantidad de solución de dicromato que fue reducido por la materia orgánica del suelo. Esto requiere (1) la normalización de la solución de sulfato ferroso para que la cantidad de dicromato equivalente al sulfato ferroso actualmente usado en el ensayo pueda ser determinado y restado del dicromato total usado en la prueba; y (2) corrección para la pequeña cantidad de dicromato reducido por impurezas en los reactivos usados. Ambos requerimientos son satisfechos por la determinación "en blanco" descrita en el procedimiento. Por ejemplo en una determinación en blanco, 10,50 mL de la solución de dicromato pueden requerir 20,75 mL de sulfato ferroso. En el procedimiento de ensayo para una hipotética muestra de suelo de 1,000 g, hubieran sido usados 10,50 mL de dicromato; y la titulación subsecuente requeriría 6,80 mL de sulfato ferroso. La cantidad de dicromato reducido por la materia orgánica de esta muestra de suelo sería: $10,50(1 - 6,80/20,75)$ ó 7,06 mL; entonces a una solución 1 Normal de dicromato, le corresponden 7,06 miliequivalentes de dicromato reducido.
- 7.1.2 Un miliequivalente de carbón en la reacción de oxidación comprendido en este método de ensayo es 0,003. La cantidad de carbón en el carbón fácilmente oxidado sería entonces $7,06 \times 0,003$ ó 0,021 g y el porcentaje del carbón fácilmente oxidado sería $0,021 \times 100/1,000 = 2,1\%$.

- 7.1.3 Es ampliamente aceptado que la materia orgánica del suelo húmico contiene aproximadamente 58% de carbón. Por lo tanto, para convertir el porcentaje de carbón fácilmente oxidado al porcentaje de materia orgánica fácilmente oxidado en el suelo será: $2,1 \times 1,72$ o 3,6%.
- 7.1.4 En muchos suelos agropecuarios, la cantidad de carbón orgánico por el método de "Oxidación Vía húmeda" es cerca de 77 % del contenido orgánico total, tal como es determinado por el método de "Pérdidas por Ignición" (T 267). Para aproximar el porcentaje de materia orgánica total, el porcentaje de materia orgánica fácilmente oxidada es multiplicada por $100/77$ o 1,3. En el ejemplo de suelo, el porcentaje de carbón total sería $2,1 \times 1,3$ o 2,7%, y el porcentaje de materia orgánica total sería $3,6 \times 1,3$ o 4,7%.
- 7.1.5 La información proporcionada arriba en esta sección puede ser resumida en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Carbón fácilmente oxidado, \%} = 10,5 \times \left(1 - \frac{\text{muestra titulada, ml}}{\text{blanco titulado, ml}} \right) \times 0,3 \div \text{masa de suelo} \quad (1)$$

$$\text{Carbón Total, \%} = \text{Ecuación (1)} \times 1,3 \quad (2)$$

$$\text{Materia fácilmente oxidada, \%} = \text{Ecuación (1)} \times 1,72 \quad (3)$$

$$\text{Total de materia orgánica, \%} = \text{Ecuación (1)} \times 1,3 \times 1,72 \text{ ó } \text{Ecuación (1)} \times 2,236 \quad (4)$$

MTC E 135

DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE SUELOS

1.0 OBJETO

1.1 Este método de ensayo comprende los procedimientos para determinar la magnitud y velocidad de consolidación del suelo cuando está confinado lateralmente y drenado axialmente mientras está sujeto a carga de esfuerzos controlados, aplicada incrementalmente. Se proporcionan dos procedimientos alternativos:

1.1.1 Método de ensayo A: Este método es desarrollado con incrementos de carga constante de 24h de duración, o múltiplos de éstos. Se requieren lecturas de tiempo de deformación en un mínimo de dos incrementos de carga.

1.1.2 Método de ensayo B: Se requieren las lecturas tiempo-deformación en todos los incrementos de carga. Se aplicarán incrementos de carga sucesivos después de alcanzar el 100% de la consolidación primaria, o a incrementos de tiempo constantes como se describe en el Método de Ensayo A.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

2.1 Los resultados del ensayo de consolidación se utilizan para estimar la magnitud y velocidad de los asentamientos diferencial y total de una estructura o relleno. Las estimaciones de este tipo son de gran importancia en el diseño de estructuras ingenieriles y en la evaluación de su comportamiento.

2.2 Los resultados del ensayo pueden ser afectados grandemente por la disturbación de la muestra. Se exigen la selección y preparación cuidadosa de especímenes de ensayo para minimizar la disturbación.

2.3 Los resultados del ensayo de consolidación son dependientes de la magnitud de los incrementos de carga.

2.4 Los resultados del ensayo de consolidación son dependientes de la duración de cada incremento de carga. Tradicionalmente, la duración de la carga es la misma para cada incremento e igual a 24h. Para algunos suelos, la velocidad de consolidación es tal que la consolidación completa (disipación del exceso de presión de poros) requerirá más de 24h. El aparato de uso general no está provisto para verificar la disipación de presión de poros. Es necesario usar una técnica de interpretación que indirectamente determine que la consolidación se ha completado. Este método de ensayo especifica dos técnicas, sin

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

3.1 NTP 339.154: Método de ensayo normalizado para propiedades de consolidación unidimensional de suelos

4.0 EQUIPOS

4.1 EQUIPOS

4.1.1 Equipo de carga Dispositivo apropiado para aplicar la carga vertical (o esfuerzos totales) al espécimen. El dispositivo deberá ser capaz de mantener cargas específicas durante períodos largos de tiempo con una exactitud de $\pm 0,5$ % de la carga aplicada y debe permitir la aplicación rápida de un incremento de carga dado sin impacto significativo.

4.1.2 Consolidómetro: Dispositivo para mantener el espécimen dentro de un anillo, ya sea fijo a la base o flotante (sostenido por fricción en la periferia del espécimen) con discos con discos porosos en cada cara del espécimen. El diámetro interior del anillo será determinado con una tolerancia de 0,075 mm (0,003 pulg). El consolidómetro deberá disponer de medios para sumergir el espécimen, para aplicar la carga vertical concéntrica a los discos porosos, y para medir el cambio en altura del espécimen.

- 4.1.3 Diámetro mínimo del espécimen: El diámetro mínimo del espécimen muestra será de 50mm (2,00 pulgadas).
- 4.1.4 Altura mínima del espécimen: La altura mínima inicial del espécimen será de 12mm (0,5 pulgadas), pero no será menos de diez veces el diámetro del tamaño máximo de partícula.
- Nota 1.** Si se encuentran partículas grandes en el espécimen después del ensayo, incluya en el informe esta observación visual o los resultados de un análisis de tamaño de partículas de acuerdo con el MTC E-109.
- 4.1.5 Relación mínima diámetro-altura del espécimen: La relación mínima diámetro-altura del espécimen deberá ser de 2,5.
- 4.1.6 Rigidez del anillo del espécimen: La rigidez del anillo deberá ser tal que, bajo las condiciones de esfuerzo hidrostáticos en el espécimen, el cambio en el diámetro del anillo no excederá de 0,03 % del diámetro bajo la mayor carga aplicada.
- 4.1.7 Material del anillo del espécimen: El anillo deberá ser hecho de un material que no sea corroído por el suelo ensayado. La superficie interior deberá ser muy pulida o deberá estar cubierta con un material de baja fricción. Se recomienda la grasa de silicona o bisulfato de molibdeno; el politetrafluoroetileno es recomendado para suelos no arenosos.
- 4.1.8 Discos porosos: Los discos porosos deberán ser de carburo de silicona, óxido de aluminio, o de un material similar no corrosivo. El grado de los discos deberá ser lo suficientemente fino para prevenir la intrusión del suelo en los poros. Si es necesario, puede utilizarse un papel filtro para prevenir la intrusión del suelo en los discos. Sin embargo, la permeabilidad, de los discos, y el papel de filtro, si es usado, deberá ser como mínimo de un orden de magnitud más alto que las de espécimen.
- 4.1.9 Diámetro: El diámetro del disco superior será de 0,2 mm a 0,5mm (0,01 pulg a 0,02 pulg) menor que el diámetro interior del anillo. Si se usa un anillo flotante, el disco inferior tendrá el mismo diámetro que el disco superior.
- 4.1.10 Espesor: El espesor de los discos será suficiente, para prevenir la rotura. El disco superior será cargado a través de un plato resistente a la corrosión y suficientemente rígido para prevenir la rotura del disco.
- 4.1.11 Indicador de deformación: Para medir el cambio de altura del espécimen, con una aproximación de 0,0025 mm (0,0001 pulgada).
- 4.1.12 Equipo misceláneo: Incluye cronómetro con lecturas de aproximación de 1s, destilador o desmineralizador de agua, espátulas, cuchillo, y sierras de alambre, usados para preparar el espécimen.
- 4.1.13 Balanzas: de acuerdo con el MTC E-108.
- 4.1.14 Horno de secado: de acuerdo con el MTC E-108.
- 4.1.15 Recipientes para el contenido de agua: de acuerdo con el MTC E-108.
- 4.1.16 Medio ambiente: Los ensayos se realizarán en un ambiente donde las fluctuaciones de la temperatura serán menores que $\pm 4^{\circ}$ C y sin ninguna exposición directa a la luz del sol.
- 4.2 CALIBRACION
- 4.2.1 Las medidas de las deformaciones verticales deberán corregirse por la flexibilidad del aparato siempre que la corrección de la calibración determinada en el punto 4.2.4 exceda el 5% de la deformación medida y en todos los ensayos donde son usados los discos de papel filtro.
- 4.2.2 Coloque en el consolidómetro un disco de acero duro o de cobre de aproximadamente la misma altura que el espécimen del ensayo y 1 mm (0,04 pulgada) de diámetro menor que el anillo, en lugar de la muestra. Humedezca los discos porosos. Si se usan papeles de filtro (véase 4.1.8), ellos deben humedecerse y debe permitirse un tiempo suficiente (un mínimo de 2 min) para que la humedad salga de ellos en cada incremento del proceso de calibración.

- 4.2.3 Cargar y descargar el consolidómetro como en el ensayo y medir la deformación para cada incremento de carga aplicada. Cuando se usan papeles de filtro es indispensable que se realice la calibración siguiendo la secuencia exacta de cargas y descargas. Esto es debido a las características de deformación inelástica del papel de filtro.

La recalibración de los ensayos sin papel de filtro sólo se hace anualmente, o después del reemplazo y reensamblaje de los componentes del aparato.

- 4.2.4 En cada carga aplicada, graficar o tabular las correcciones a ser aplicadas a la deformación medida del espécimen del ensayo. Nótese que el disco de metal también se deformará; sin embargo, la corrección debido a esta deformación será despreciable para todos menos para suelos sanamente duros. Si es necesario, se puede calcular la compresión del disco de metal, aplicando las correcciones.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Los especímenes pueden ser remoldeados a la densidad y condiciones de humedad estipuladas por el solicitante del ensayo.

- 5.1.1 Las muestras inalteradas destinadas al ensayo de acuerdo con este método serán preservadas, manejadas y transportadas de acuerdo con las prácticas para muestras del Grupo C y D de la NTP 339.151. Las muestras para especímenes remoldeados deben ser manejadas y transportadas de acuerdo con la práctica para las muestras del Grupo B.

- 5.1.2 El almacenamiento de muestras selladas deben ser tal que estas no pierdan humedad durante el almacenamiento.

5.2 PREPARACION DEL ESPECIMEN

- 5.2.1 Tallar el espécimen e insertar en el anillo de consolidación. Cuando los especímenes provienen de suelos inalterados empleando tubos de muestreo, el diámetro interior del tubo será por lo menos 5 mm (0,25 pulgada) mayor que el diámetro interior del anillo de consolidación.

- 5.2.2 Tallar el espécimen al ras con los extremos planos del anillo. El espécimen puede retirarse ligeramente debajo de la parte superior del anillo, para facilitar el centrado de la piedra inferior, por expulsión parcial y tallada de la superficie inferior. Para suelos medios y blandos, se puede usar una sierra de alambre para tallar la parte superior e inferior del espécimen para minimizar daños. Se puede usar una regla con un borde cortante afilado para obtener el tallado final después de descartar el exceso de suelo con la sierra de alambre. Para suelos rígidos, se puede usar una regla afilada para tallar la parte superior e inferior. Si una pequeña partícula se encuentra en cualquier superficie de tallado se debe quitar y rellenar el vacío con suelo.

- 5.2.3 Determine la masa húmeda inicial del espécimen, M_{to} en el anillo de consolidación pesando la masa del anillo con el espécimen y sustrayendo la masa del anillo.

- 5.2.4 Determinar la altura inicial, H_o , del espécimen con aproximación a 0,025mm (0,001 pulg) tomando el promedio de por lo menos cuatro medidas uniformemente espaciadas sobre las superficies superior e inferior del espécimen, usando un dial comparador u otro dispositivo de medición conveniente.

- 5.2.5 Calcular el volumen inicial, V_o del espécimen con 0,25 cm³ de aproximación (0,015 pulg³) del diámetro del anillo y la altura inicial del espécimen.

- 5.2.6 Obtener dos o tres determinaciones de contenido de humedad natural de acuerdo a El MTC E-108, con el material tallado adyacente al espécimen del ensayo, si el material disponible es suficiente.

- 5.2.7 Cuando el solicitante especifique las propiedades índice, conservar las muestras restantes de las talladas tomadas alrededor del espécimen y calificadas como similares en un recipiente sellado, para la determinación como se describe en 5.3.

5.3 DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES INDICE DE LOS SUELOS

- 5.3.1 La determinación de las propiedades índice es importante pero no es un requisito del ensayo de consolidación. Cuando el solicitante especifique estas determinaciones, se deben hacer con el material más representativo posible. Cuando se ensaya materiales uniformes, todos los ensayos índice pueden realizarse con materiales remanentes del tallado recolectados como se indica en el punto 5.2.7. Cuando las muestras son heterogéneas o existe poco material del tallado, deben realizarse ensayos índice con el material del espécimen del ensayo como se obtiene en el punto 6.7 más las muestras representativas coleccionadas como se indica en el punto 5.2.7.
- 5.3.2 Gravedad específica: La gravedad específica será determinada de acuerdo con el MTC E-113 en material procedente de la muestra cómo se especifica en el punto 5.3.1. La gravedad específica puede ser evaluada de otra muestra similar al espécimen del ensayo para los cálculos del punto 7.1.4 siempre que no se necesite la relación de vacíos exacta.
- 5.3.3 Límites de Atterberg: Se determinará el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de acuerdo con el MTC E-110. Usando material de la muestra cómo se especifica en el punto 5.3.1. La determinación de los límites de Atterberg es necesaria para la clasificación apropiada del material pero no es un requisito de este método de ensayo.
- 5.3.4 Distribución de tamaño de partículas: La distribución de tamaño de partículas se determinará de acuerdo con el MTC E-109, (excepto el requisito de tamaño de muestra mínimo) en una porción del espécimen del ensayo como se obtiene en el punto 6.7. Un análisis de tamaño de partículas puede ser útil cuando la inspección visual indica que el espécimen contiene gran parte de material de grano grueso, pero no es un requisito de este método de ensayo.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 La preparación de los discos porosos y otros aparatos dependerá del espécimen a ensayarse. El consolidómetro debe ensamblarse de tal manera que se prevenga el cambio en el contenido de humedad del espécimen. Se deben usar los discos porosos y filtros secos para suelos secos, muy expansivos y pueden usarse con otros suelos. Pueden usarse discos húmedos para suelos parcialmente saturados. Pueden usarse discos saturados cuando el espécimen está saturado y se conoce que tienen una afinidad baja por el agua. Ensamblar el anillo con el espécimen, los discos porosos, los discos de filtro (cuando es necesario) y el consolidómetro. Si el espécimen no se inundará inmediatamente después de la aplicación de la carga de asiento (Véase 6.2), cierre el consolidómetro con un plástico apropiado o membrana de caucho para prevenir el cambio en volumen del espécimen debido a la evaporación.
- 6.2 Ponga el consolidómetro en el dispositivo de carga y aplique una presión de asiento de 5 kPa (100 lbf/pie²). Inmediatamente después de la aplicación de la carga de asiento, ajuste el indicador de deformación y registre la lectura inicial cero, d_0 . Si es necesario, agregar carga adicional para impedir la expansión del espécimen. Por otro lado, si se anticipa que una carga de 5 kPa (100 lbf/pie²) causará consolidación significativa al espécimen, reducir la presión de asiento a 2 kPa ó 3 kPa (aproximadamente 50 lbf/pie²) o menos.
- 6.3 El programa de carga normal consistirá en una proporción de incremento de carga (LIR) de uno, que es obtenido con la presión deseada en el suelo para obtener valores de aproximadamente 12 kPa, 25 kPa, 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, etc. (250 lbf/pie², 500 lbf/pie², 1000 lbf/pie², 2000 lbf/pie², 4000 lbf/pie², etc.).
- 6.4 El programa de descarga debe ser seleccionado dividiendo en dos la presión del suelo (es decir, usando los mismos incrementos del punto 6.3, pero en orden inverso). Sin embargo, si se desea, cada carga sucesiva puede ser sólo un cuarto de la carga anterior, es decir, saltando un decremento.
- 6.5 Ensayo Método A: La duración del incremento de carga normal será de 24h. . Por lo menos en dos incrementos de carga, incluyendo al menos un incremento de carga después de haber excedido la presión de pre consolidación, se registra la altura o cambio de altura, d , en los intervalos de tiempo de aproximadamente 0,1 min; 0,25 min.; 0,5 min; 1min; 2min; 4 min; 8 min; 15min y 30min, y

1h; 2h; 4h; 8h y 24h (ó 0,09 min; 0,25min; 0,49min; 1 min; 4 min; 9 min etc. Usando 7.2.2 para presentar los datos de tiempo deformación), medidos del tiempo de aplicación de cada incremento de presión. Tomas suficientes lecturas cerca del final del período de incremento de presión, para verificar que la consolidación primaria sea completa. Para algunos suelos, un período de más de 24 h puede ser necesario para alcanzar el final de la consolidación primaria (como se determina en los puntos 7.2.1.1. ó 7.2.2.3. En tales casos, la duración de los incrementos de carga será mayor de 24 h. Normalmente se tomará la duración de los incrementos de carga para estos ensayos a algún múltiplo de 24 h y deberá ser la duración normal para todos los incrementos de carga del ensayo en la experiencia con un tipo de suelo en particular. Sin embargo, si hay la pregunta acerca de que si un período de 24 h es adecuado, debe hacerse un registro de altura o cambio de altura con el tiempo para los incrementos de carga iniciales para verificar la adecuación de un período de 24 h. Las duraciones de incrementos de carga diferentes a las 24 h debe ser anotados en el informe. Para los incrementos de presión donde no se requieren los datos de tiempo versus deformación, mantener el espécimen cargado por el mismo tiempo, en que se toma las lecturas de tiempo versus deformación.

- 6.6 Ensayo Método B :Para cada incremento, registrar la altura o cambio de altura, d , en intervalos de tiempo de aproximadamente 0,1 mín.; 0,25 min; 0,5 min; 1min; 2 min; 4 min; 8 min; 15 min; 30 min; y 1h; 2h; 4 h; 8 h; y 24 h (ó 0,09 min; 0,25 min; 0,49 min; 1 min, 4 min, 9 min, etc., si se usa 7.2.2 para presentar datos de deformación y tiempo), medidos del tiempo de cada incremento de presión aplicado. La duración del incremento de la carga normal deberá exceder el tiempo requerido para la determinación de la consolidación primaria como se determina en 7.2.1.1, 7.2.2.3 o siguiendo el criterio asumido por el solicitante. Para cada incremento donde es imposible verificar la finalización de la consolidación primaria (por ejemplo, bajo LIR o consolidación rápida), la duración del incremento de carga deberá ser constante y excederá el tiempo requerido para la consolidación primaria de un incremento aplicado después de la presión de preconsolidación y a lo largo de la curva virgen de compresión. Donde deba evaluarse la consolidación secundaria, aplicar las presiones por períodos más largos. El informe contendrá la duración de cada incremento de carga.
- 6.7 Para minimizar la expansión durante el desmontaje, carga el espécimen hasta la carga de asiento (5 kPa). Una vez que los cambios de altura han cesado (normalmente al día siguiente), desmonte rápidamente después de retirar la carga pequeña final en el espécimen. Remueva el espécimen y el anillo del consolidómetro y limpie el agua libre del anillo y espécimen. Determine la masa del espécimen el anillo y reste la masa del anillo para obtener la masa húmeda final del espécimen, M_{Tf} . La determinación más exacta de la masa seca del espécimen y el contenido de agua se encuentra secando el espécimen total al final del ensayo. Si la muestra de suelo es homogénea y hay suficiente material disponible, realizar los ensayos índice especificados (Véase 5.2.7), determine el contenido de agua final, w_f de acuerdo con el MTC E-108 y la masa seca de sólidos, M_{d9} usando el espécimen total. Si los suelos son heterogéneos o se requiere mayor material para los ensayos índices especificados, determinen el volumen de agua final, w_{fp9} de acuerdo con el MTC E-108 usando una pequeña muestra del espécimen. El material restante no secado debe ser usado para los ensayos índices especificados.

7.0 CALCULOS E INFORME

CALCULOS

7.1 Propiedades del espécimen

- 7.1.1 Obtenga la masa seca total del espécimen, M_d por medida directa o para el caso donde parte del espécimen es usado para los ensayos índices, calcular la masa seca como sigue:

$$M_d = \frac{M_{Tf}}{1 + w_{fp}}$$

Donde:

- M_{Tf} = la masa seca total del espécimen después del ensayo, g o Mg.
 W_{fp} = contenido de agua (forma decimal) extremo del espécimen tomado después del ensayo.

7.1.2 Calcular el contenido de agua inicial y final, en porcentaje, como sigue:

Contenido de agua inicial:
$$w_0 = \frac{M_{To} - M_d}{M_d} \times 100$$

Contenido de agua final:
$$w_f = \frac{M_{Tf} - M_d}{M_d} \times 100$$

Donde:

- M_d = masa seca del espécimen, g o Mg y
 M_{To} = masa húmeda del suelo antes de la prueba, g o Mg.

7.1.3 Cálculo de la densidad seca inicial del espécimen como sigue:

$$\rho_d = \frac{M_d}{V_o}$$

Donde:

- ρ_d = densidad seca del espécimen, g/cm³, ó Mg/m³ y
 V_o = volumen inicial del espécimen, cm³ ó m³.

7.1.4 Cálculo del peso seco unitario del espécimen como sigue:

$$\gamma_d = 9,8 \times \rho_d, \text{ en kN/m}^3$$

$$\gamma_d = 62,43 \times \rho_d, \text{ en lbf/pie}^3$$

7.1.5 Cálculo del volumen de sólidos como sigue:

$$V_s = \frac{M_d}{G \cdot \rho_w}$$

Donde:

- G = gravedad específica de los sólidos, y
 ρ_w = densidad del agua, 1,0 g/cm³ o Mg/m³

7.1.6 Desde que el área transversal del espécimen es constante a lo largo del ensayo, es conveniente para los cálculos subsecuentes introducir los términos "altura equivalente de sólidos", definido como sigue:

$$H_s = \frac{V_s}{A}$$

Donde:

- A = área del espécimen, cm² o m²

7.1.7 Cálculo de la relación de vacíos antes y después del ensayo como sigue:

Relación de vacíos antes del ensayo:
$$e_0 = \frac{H_0 - H_s}{H_s}$$

$$\text{Relación de vacíos después del ensayo: } e_f = \frac{H_f - H_s}{H_s}$$

Donde:

- H_o = altura inicial del espécimen, cm ó m, y
 H_f = altura final del espécimen, cm ó m.

7.1.8 Cálculo del grado de saturación, en porcentaje, antes y después del ensayo como sigue:

$$\text{Grado de saturación inicial: } S_0 = \frac{M_{T_0} - M_d}{A \cdot \rho_w \cdot (H_0 - H_s)} \times 100$$

$$\text{Grado de saturación final: } S_f = \frac{M_{T_f} - M_d}{A \cdot \rho_w \cdot (H_f - H_s)} \times 100$$

7.2 Propiedades tiempo - deformación: De los incrementos de carga donde se obtienen las lecturas tiempo - deformación, se proporcionan dos procedimientos alternativos véase 7.2.1 ó 7.2.2) para presentar los datos. Determinar la final de las consolidaciones primaria y calcular la velocidad de consolidación. Alternativamente, el solicitante puede especificar un método diferente y todavía estar en conformidad con el método de ensayo.

Las lecturas de deformación pueden presentarse como deformación medida, deformación corregida por la compresibilidad del aparato o deformación unitaria convertida (véase 7.3).

7.2.1 Con referencia a la Figura 2, grafique las lecturas de deformación, d , versus log de tiempo (normalmente en minutos) para cada incremento de carga.

7.2.1.1 Primero dibuje una línea recta a través de los puntos que representan las lecturas finales las cuales presentan una atenuación a la línea recta y pendiente constante (C). Dibuje una segunda línea recta que sea tangente en la parte más abrupta de la curva de formación - log de tiempo (D). La intersección representa la deformación d_{100} y el tiempo, t_{100} , correspondiendo al 100% de consolidación primaria (E). La compresión en exceso del estimado 100% de consolidación primaria es definida como compresión secundaria.

7.2.1.2 Encontrar la deformación que representa el 0% de consolidación primaria seleccionando cualquiera de dos puntos que tienen una proporción de tiempo de 1 a 4. La deformación al mayor de los tiempos debe ser mayor que $\frac{1}{4}$, pero menor de $\frac{1}{2}$ de la deformación total para el incremento de carga. La deformación correspondiente al 0% de la consolidación primaria es igual a la deformación del tiempo menor, menos la diferencia de deformación para los dos tiempos seleccionados.

7.2.1.3 La deformación, d_{50} , correspondiente al 50% de la consolidación primaria es igual al promedio de la deformación correspondiente al 0% y 100% de deformaciones. El tiempo, t_{50} , requerido para 50% de consolidación puede determinarse gráficamente de la curva deformación-log de tiempo observando en la curva el tiempo que corresponde al 50% de la consolidación primaria.

7.2.2 Con referencia a la Figura 3, grafique las lecturas de deformación, d , versus la raíz cuadrada del tiempo (normalmente en minutos) para cada incremento de carga.

7.2.2.1 Primero dibuje una línea recta a través de los puntos que representan las lecturas iniciales que presentan una tendencia de línea recta. Extrapole la línea hacia atrás para $t=0$ y obtenga la ordenada de la deformación que representa al 0% de consolidación primaria.

7.2.2.2 Dibuje una segunda línea recta a través de la ordenada 0% de modo que la abscisa de esta línea sea 1,15 veces la abscisa de la primera línea recta a través de los datos. La intersección de esta segunda línea con la curva deformación-raíz cuadrada de tiempo es la deformación, d_{90} y el tiempo, t_{90} corresponde al 980% de consolidación primaria.

7.2.2.3 La deformación al 100% de consolidación es 1/9 más que la diferencia en deformación entre 0% y 90% de consolidación. El tiempo de consolidación primaria, t_{100} , puede tomarse en la intersección de la curva deformación-raíz cuadrada de tiempo y esta ordenada de deformación. La deformación, d_{50} , que corresponde al 50% de consolidación es igual a la deformación a 5/9 de la diferencia entre 0% y 90% de consolidación.

7.2.3 Calcule el coeficiente de consolidación para cada incremento de carga usando la ecuación siguiente y valores apropiados al método escogido de interpretación:

$$C_v = \frac{T \cdot H_{D50}^2}{t}$$

Donde:

T = factor de tiempo adimensional:

Para el método 7.2.1 usar 50% de consolidación con $T = T_{50} = 0,197$,

Para el método 7.2.2 usar 90% de consolidación con $T = T_{90} = 0,848$,

T = tiempo correspondiente al grado de consolidación particular, s o min;

Para el método 7.2.1 usar $t = t_{50}$

Para el método 7.2.2 usar $t = t_{90}$ y

H_{D50} = longitud del camino de drenaje al 50% de consolidación, cm o m para drenaje doble
 H_{D50} es la mitad de la altura del espécimen al incremento apropiado y para un drenaje simple, H_D es la altura total del espécimen.

7.3 Propiedades de carga-Deformación:

7.3.1 Tabular la deformación o cambio de deformación, df , lecturas que corresponden al final de cada incremento y si se usa el Método de Ensayo B, correspondiente al final de la consolidación primaria, d_{100} .

7.3.2 Calcule el cambio de lectura, $\Delta H = d - d_0$ relativo a la altura inicial del espécimen para cada lectura. Si es necesario, corregir la deformación por flexibilidad del aparato sustrayendo el valor de calibración obtenido en la sección 5.2 de cada lectura.

7.3.3 Represente los resultados de deformación en uno de los formatos siguientes.

7.3.3.1 Calcule la relación de vacíos como sigue:

$$e = e_0 - \frac{\Delta H}{H_s}$$

7.3.3.2 Alternativamente, calcule la deformación vertical, en porcentaje, como sigue:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \times 100$$

7.3.4 Calcule el esfuerzo vertical como sigue

$$\sigma_v = \frac{P}{A}$$

Donde:

P = carga aplicada en N

σ_v = esfuerzo vertical en kPa

7.3.5 Con referencia a la Figura 4, grafique la deformación resultante (relación de vacíos deformación) correspondiente al final de cada incremento y, si se usa el Método de Ensayo B, correspondiente al final de la consolidación primaria vs el logaritmo de presión.

Nota 2. En algunos casos, puede ser preferible presentar la curva de carga- deformación en escala aritmética.

- 7.3.6 Con referencia a la Figura 4, determinar el valor de la presión de preconsolidación usando el procedimiento siguiente.

Nota 3. También se puede usar cualquier otro método reconocido para estimar la presión de preconsolidación (véase anexo), con tal de que el método sea identificado en el informe.

- 7.3.6.1 Estimar el punto de máxima curvatura en la curva de consolidación (B).
- 7.3.6.2 Trazar la tangente a este punto de la curva de consolidación (C), y una línea horizontal a través del punto (D) ambos prolongados hacia valores crecientes de la abscisa.
- 7.3.6.3 Prolongar en forma ascendente la tangente a la porción abrupta, lineal de la curva de consolidación (tramo de compresión virgen) (F) e interceptar con la línea de la bisectriz. La presión (G) (abscisa) correspondiente a este punto de intersección es la presión de preconsolidación estimada.

7.4 INFORME

Además del nombre del proyecto y ubicación, número de perforación, número de muestra, y profundidad, se reportará la siguiente información.

- 7.4.1 Descripción y clasificación de los suelos de acuerdo con la NTP ó la NTP 339.134, cuando los datos de límites de Atterberg están disponibles. También se informarán, cuando estén disponibles la gravedad específica de sólidos, los límites de Atterberg y el análisis granulométrico, se informará también cuando estén disponibles, si se obtuvieron otras además de las medidas del espécimen de ensayo. También se anotará la ocurrencia y el tamaño aproximado de partículas grandes aisladas.
- 7.4.2 Condición del suelo
- 7.4.2.1 El promedio de contenido de agua de los remanentes del suelo tallado.
- 7.4.2.2 Contenido de humedad inicial y final del espécimen.
- 7.4.2.3 Peso seco inicial y final del espécimen.
- 7.4.2.4 Relación de vacíos inicial y final del espécimen.
- 7.4.2.5 Girado de saturación inicial y final del espécimen y
- 7.4.2.6 Presión de preconsolidación.
- 7.4.3 Procedimiento de ensayo
- 7.4.3.1 Procedimiento usado para la preparación relativo al tallado; indicar si el espécimen fue tallado usando una plataforma giratoria de corte con una zapata de corte o ensayado directamente en un anillo muestreador forrado.
- 7.4.3.2 Condición del ensayo (humedad natural o inundada, presión a la inundación)
- 7.4.3.3 Método de ensayo (A o B)
- 7.4.3.4 Método de ensayo usado para calcular el coeficiente de consolidación
- 7.4.3.5 Listado de incrementos de carga y descarga, y duración del incremento de carga si es diferente de 24h; el resultado final del incremento de deformación y para el Método de Ensayo B el resultado de la deformación primaria final y coeficiente de consolidación (véase Figura 1).
- 7.4.4 Presentaciones gráficas:
- 7.4.4.1 El gráfico de deformación versus log. De tiempo (Véase Figura 2) o la raíz cuadrada del tiempo (véase Figura 3) para aquellos incrementos de carga donde se tomaron lecturas de velocidad de tiempo.

- 7.4.4.2 Graficar la curva de relación de vacíos versus log. De presión o la curva de porcentaje de compresión versus log de presión (véase Figura 3).
- 7.4.4.3 En los casos donde se ha tomado lectura de tiempo y velocidad de deformación para varios incrementos de carga, preparar un gráfico de log de coeficiente de consolidación versus el promedio de la relación de vacíos o el promedio del porcentaje de compresión para los incrementos de carga respectivos (véase Figura 4). Alternativamente, se puede usar un gráfico de coeficiente de consolidación lecturas de velocidad de tiempo para sólo dos incrementos de carga, simplemente tabule los valores de C , versus el promedio de presión para el incremento.

Nota 4. La presión promedio entre dos incrementos de carga es escogida porque es una coordenada conveniente para trazar el resultado. A menos que la velocidad de disipación de presión de poro sea medida, no es posible determinar la presión efectiva real en el momento del 50% de consolidación. Más aún, alguna ambigüedad puede surgir en casos donde el ensayo haya sido llevado con uno o más ciclos intermedios de carga-recarga.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 PRECISION: No se presentaron los datos de prueba sobre la precisión debido a la naturaleza de los materiales del suelo ensayados mediante este procedimiento.
- 8.2 DISPERSION: No hay ningún valor de referencia aceptado para este método de prueba; por lo tanto, no se podrán determinar la dispersión.

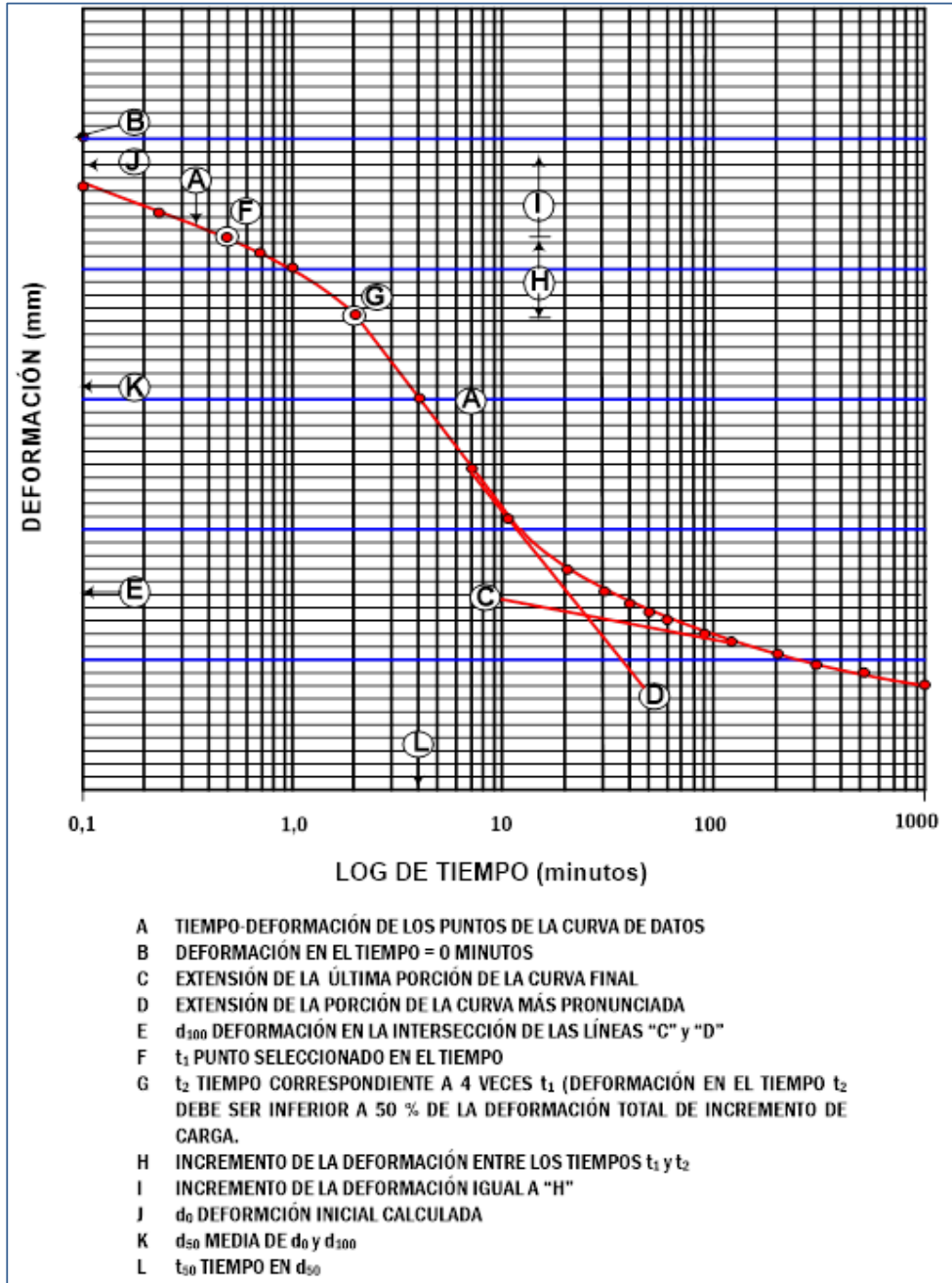


Figura 1: Curva Tiempo-Deformación del Método de Logaritmo de Tiempo

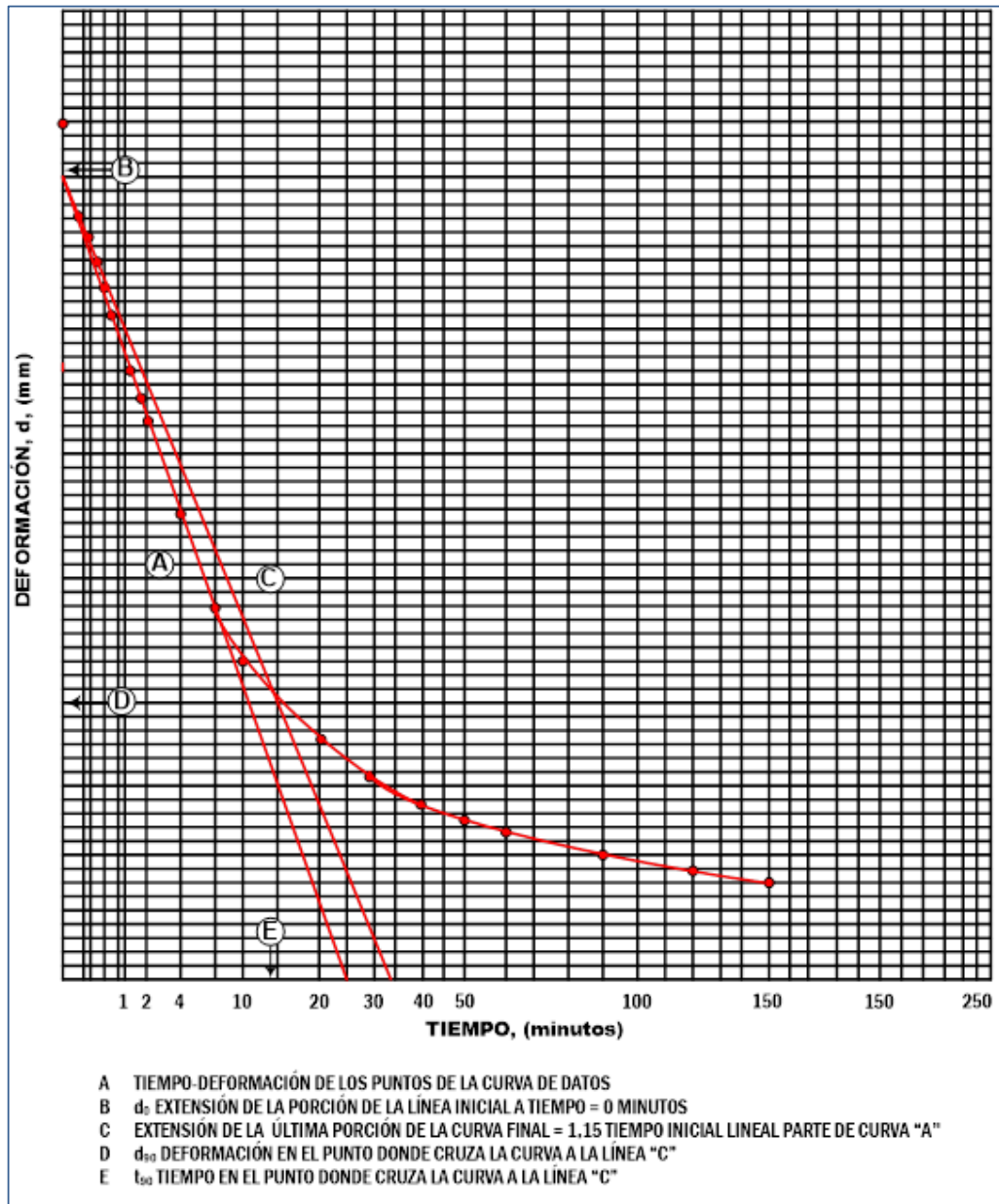
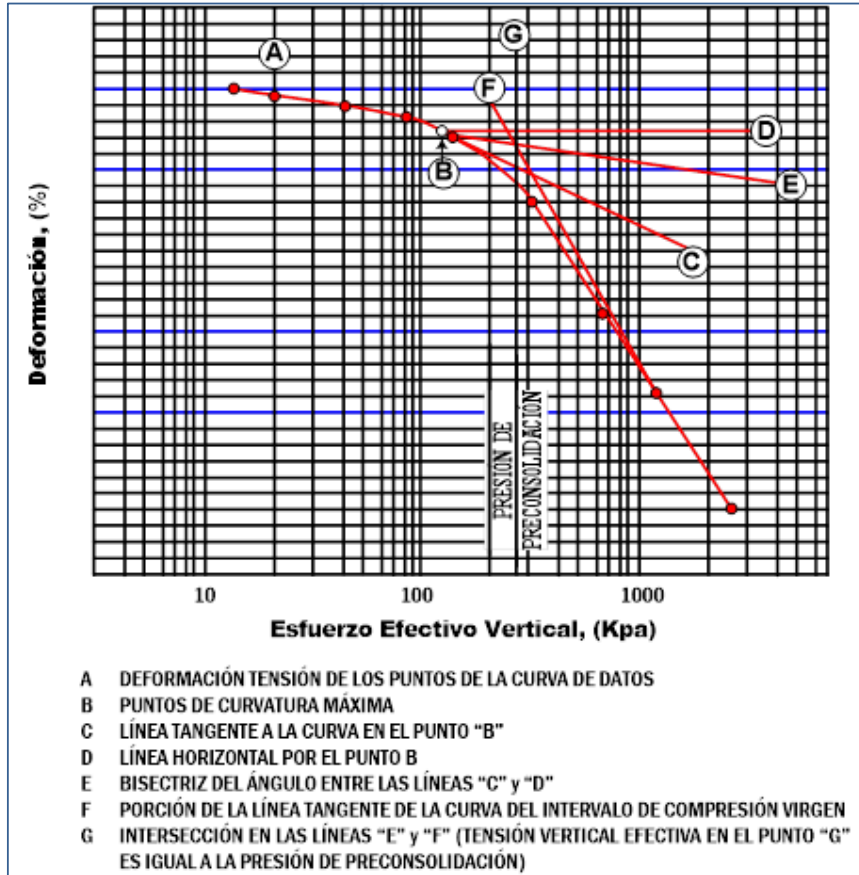


Figura 2: Curva Tiempo-Deformación del Método de Raíz Cuadrada del Tiempo



**Figura 3: Evaluación a partir de Presión de Preconsolidación
Método de Casagrande**

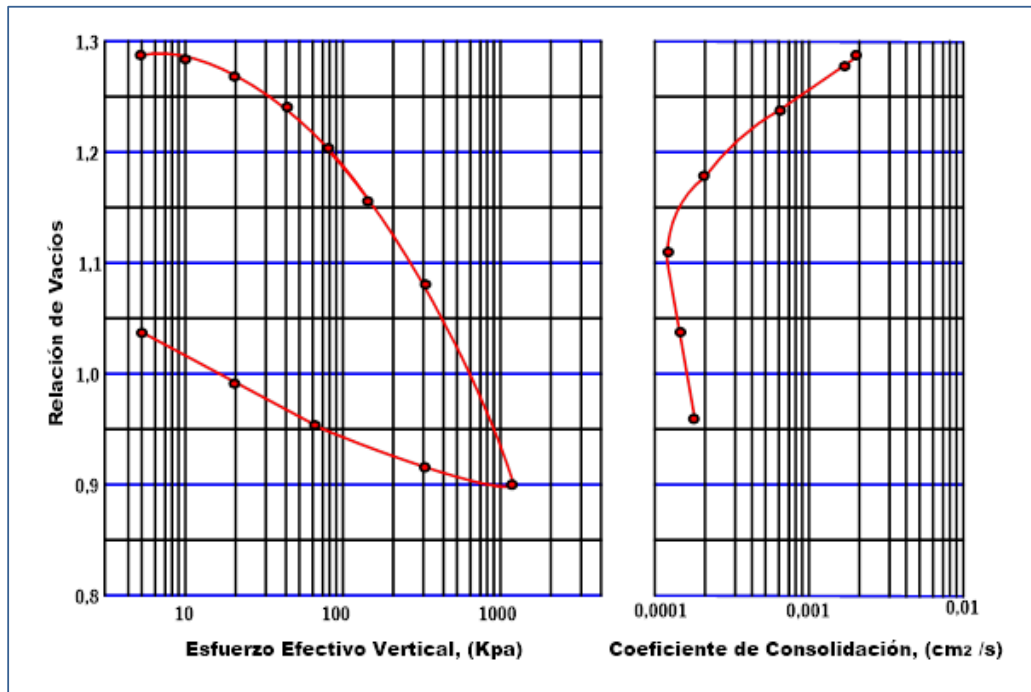


Figura 4: Ejemplo de Consolidación Gráfica de Coeficiente de Consolidación

MTC E 136**DETERMINACION DEL VALOR DE RESISTENCIA (R-VALUE) Y DE LA PRESION DE EXPANSION DE SUELOS COMPACTADOS****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar la aptitud del material para usar debajo de sub base o base de carreteras y superficies de conductos de ventilación. La muestra cilíndrica se coloca en un dispositivo estabilómetro de Hveem y posteriormente se comprime. El estabilómetro mide la presión horizontal que se produce mientras la probeta está bajo compresión.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método se refiere al procedimiento para ensayar suelos y agregados compactados tratados y no tratados, con los aparatos del estabilómetro y con los dispositivos de presión de expansión, para obtener resultados que indiquen su comportamiento cuando están colocados como subrasante, súb base o base de una carretera, sometida a la acción del tránsito.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 AASHTO T190: Standard Method of test for Resistance R-Value and Expansion Pressure of Compacted Solis.
- 3.2 ASTM D2844: Standard Test Method for Resistance R-Value and Pressure of Compacted Soils.

4.0 EQUIPOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Compactador amasador de California, con capacidad para aplicar una presión promedio de contacto de 2410 ± 100 kPa (350 ± 15 lb/pulg²), a la pata de pisón mostrado en la Figura 1 y que pueda mantener esta presión, durante los cambios que se sucedan en la altura del espécimen.

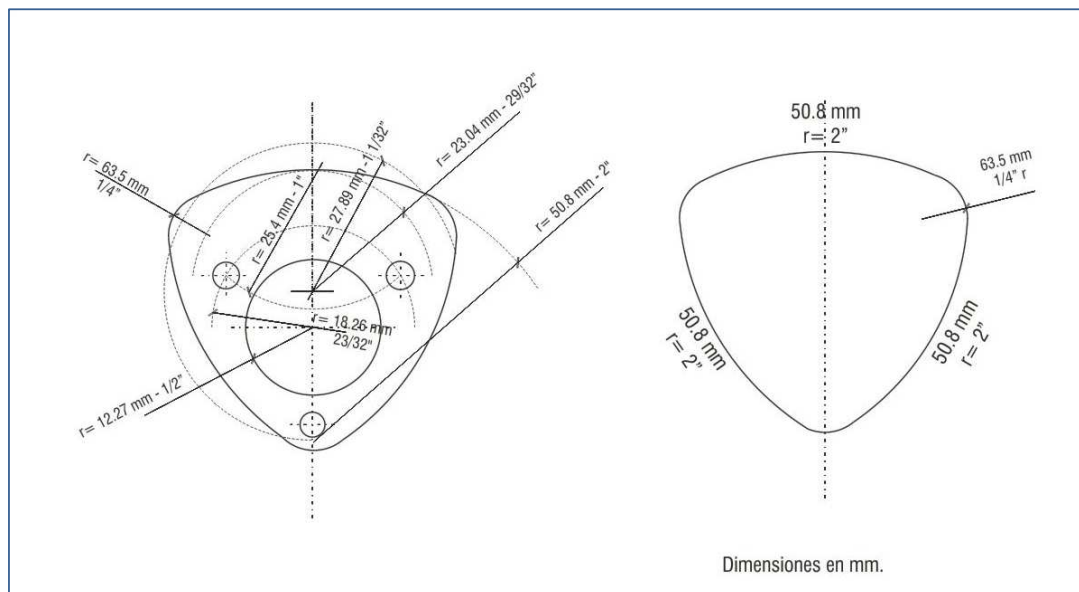


Figura 1: Cara del pisón de compactación

El desarrollo de la relación carga-tiempo, deberá estar libre de "vibraciones" o de evidencias de cambios en la pendiente, asociados con impactos. El incremento del tiempo para aplicación de la presión de la pata en el intervalo de 240 a 2070 kPa (35 a 300 lb/pulg²), no deberá ser menor de 0,07; ni mayor de 0,20 s. El tiempo de desarrollo medido para una presión de 2070 kPa (300 lb/pulg²), no deberá ser menor de 0,15 ni mayor de 0,45 s. El tiempo para quitar o remover la

presión no deberá ser mayor de 0,60 s. El compactador deberá incluir un contador o un cronómetro, para medir el número de golpes aplicados al espécimen y un soporte del molde para emplearlo en la compactación de los especímenes, que gire igualmente entre golpes para proporcionar de 5 a 7 golpes por revolución del molde. El soporte del molde deberá retenerlo firmemente durante la compactación. La base del soporte del molde deberá tener una placa metálica de 100,8 mm (3 31/32") de diámetro y 12,7 mm (0,5") de altura, a la cual se halle cementado un disco de caucho, que tiene un diámetro de 100,0 mm (3 15/16") y de 3,2 mm (1/8") de altura. La placa deberá ser parte integral de la base del sostenedor del molde.

El compactador deberá incluir también un canal para alimentar la muestra dentro del molde de 20 incrementos (véase Figura 2). Son satisfactorios canales de alimentación con una sección transversal semicircular de 39 cm² (6 pulg²) y longitud de 508 mm (20").

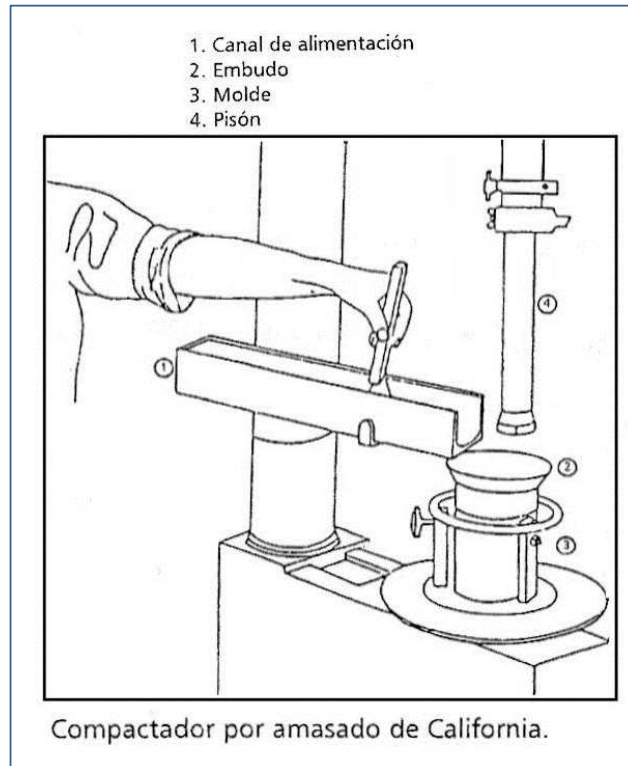


Figura 2: Compactador por amasado de California

- 4.1.2 Prensa para ensayo de compresión, con una capacidad mínima de 45 kN (10,000 lb) y que satisfaga los requisitos para la verificación de aparatos de ensayo.
- 4.1.3 Molde de 101,6 ± 0,05 mm (4 ± 0,002") de diámetro interior por 127 ± 0,20 mm (5 ± 0,008") de altura (véase la Figura 3).
- 4.1.4 Discos de caucho, de 100 mm (2 15/16") de diámetro de 3,2 mm (1/8") de espesor y que tengan una dureza al durómetro de 60 ± 15.

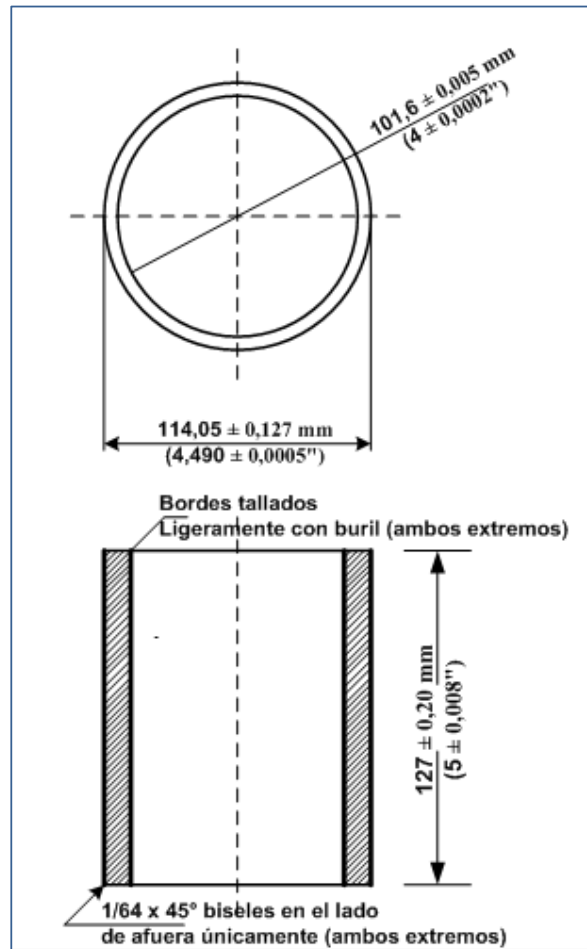


Figura 3: Molde

- 4.1.5 Guía metálica de pared sólida de $100,22 \pm 0,13$ mm ($3,95 \pm 0,005$ ") de diámetro exterior, por 125 mm (5") de longitud.
- 4.1.6 Aparato de exudación, como el mostrado en la Figura 4.
- 4.1.7 Disco de bronce fosforado, como el indicado en la Figura 5.
- 4.1.8 Papel filtro de 110 mm de diámetro y 0,15 mm (0,006") de espesor, superficie encrespada, velocidad de filtración media rápida y retención mediana.
- 4.1.9 Aparato de presión-expansión con accesorios como se muestra en la Figura 6. Deberá disponerse de por lo menos tres de estos aparatos por cada muestra que se vaya a ensayar diariamente.
- 4.1.10 Medidor de deflexión, con divisiones de 0,002 mm (0,0001") y llave de sección hexagonal (Allen) como se muestra en la Figura 6.
- 4.1.11 Estabilómetro con accesorios, como se muestra en las figuras 7 y 8.
- 4.1.12 Espécimen metálico normal de $101,6 \pm 0,13$ mm ($4 \pm 0,05$ ") de diámetro exterior por aproximadamente 152,2 mm (6") de altura como se muestra en la Figura 8.
- 4.1.13 Balanza, con capacidad de 5 kg y con sensibilidad de 1g.

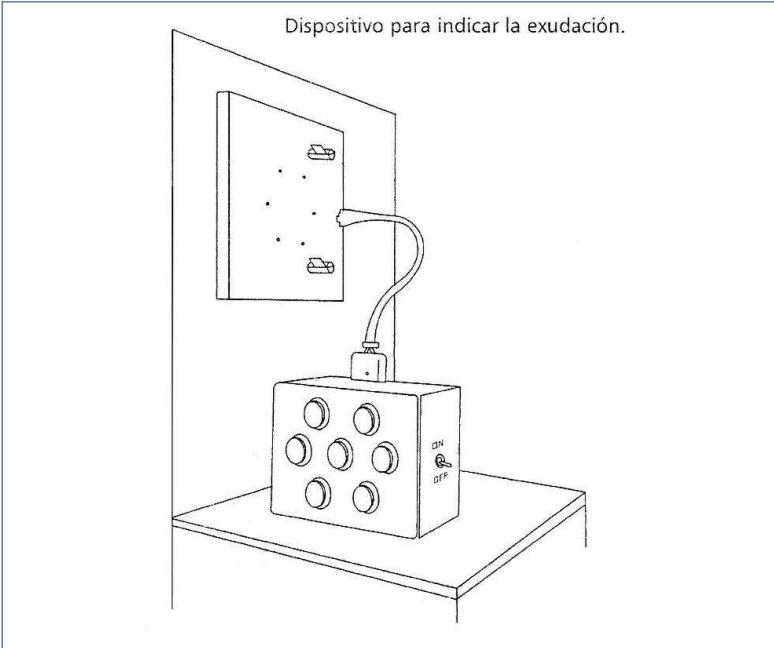


Figura 4: Dispositivo para indicar la exudación

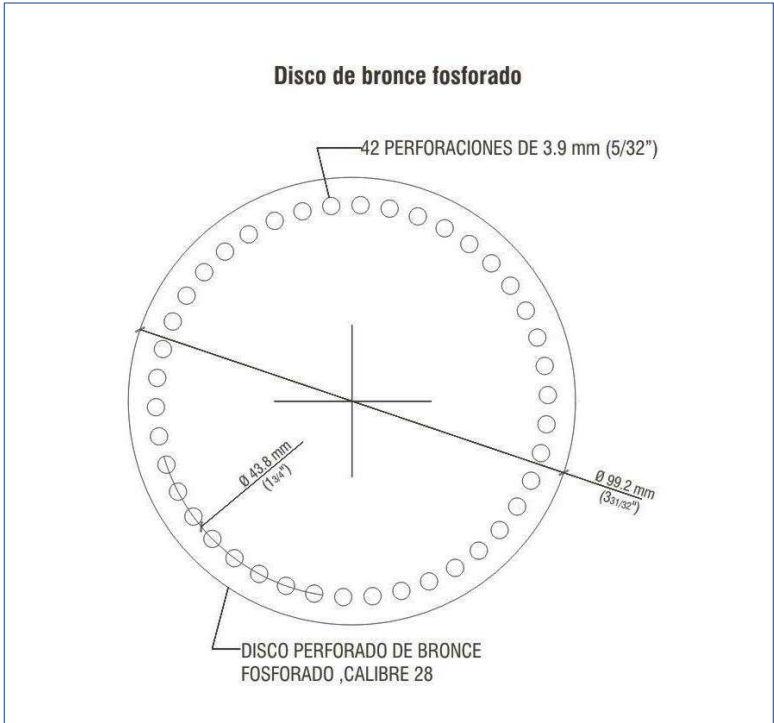


Figura 5: Disco de bronce fosforado

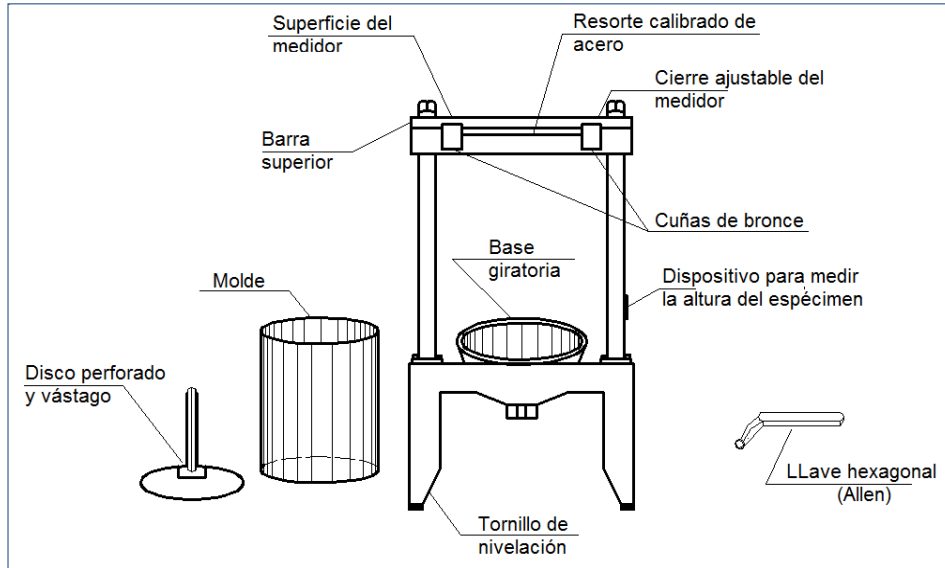


Figura 6: Dispositivo para presión-expansión y accesorios

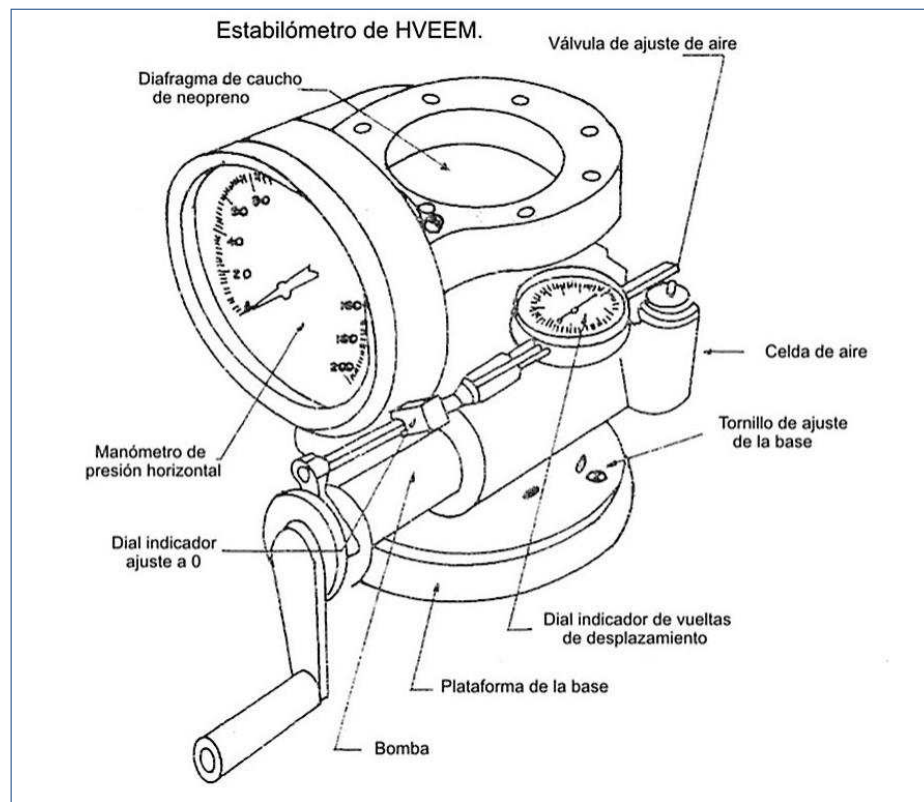


Figura 7: Estabilómetro de HVEEM

4.1.14 Tamices de 25,0 mm (1"), 19,0 mm (3/4") y 4,75 mm (N° 4)

4.1.15 Equipo misceláneo, el cual incluye cazuela para mezclar, espátula, cucharas, y canecas de capacidad de 1 galón con tapones para cierre ajustado.

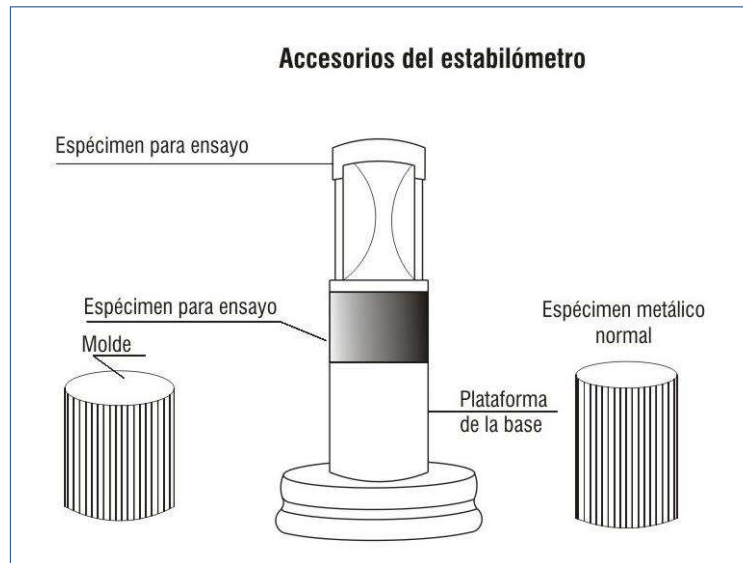


Figura 8: Accesorios de estabilómetro

5.0 MUESTRA

5.1 PREPARACION DEL SUELO

Remuévase cualquier clase de costras de los agregados gruesos y rómpanse los terrones de arcilla que pasen el tamiz de 19,0 mm (3/4").

Ajústese la gradación del suelo, cuando parte del material es retenido en el tamiz de 19 mm. Cuando 75% o más pasa el tamiz 19 mm, úsese la parte de la muestra que pasa este último.

Si menos del 75% de la muestra pasa el tamiz de 19,0 mm (3/4"), empléese la parte de la muestra que pasa el tamiz de 25,0 mm (1").

5.2 PREPARACION DE LOS ESPECIMENES DEL SUELO

5.2.1 Mézclense completamente cuatro muestras de suelo de 1200 g con la cantidad de agua estimada y que sea igual a los dos tercios de agua necesaria para producir saturación, como se la define en los numerales 5.2.3 y 5.2.4. Colóquense las muestras dentro de recipientes cubiertos y déjense así durante la noche. Inmediatamente antes de la compactación, mézclense las muestras con la cantidad final de agua requerida para producir saturación. La primera muestra se utiliza como muestra piloto, que sirve para determinar la cantidad de agua finalmente requerida.

5.2.2 Pésese material en cantidad suficiente para elaborar un espécimen compactado de 101,6 mm (4") de diámetro, por 63 mm (2,5") de altura. Compáctese el suelo dentro del molde por medio del compactador amasador en la siguiente forma: Colóquese el molde en su soporte y ajústese de manera que quede con una separación aproximada de 3 mm (1/8"), entre el borde inferior del molde y la base del soporte. Con la presión de la pata del compactador fija en 1720 ± 170 kPa (250 ± 25 lb/pulg²), introdúzcanse en el molde, 76 mm (3") de suelo, por medio del canal alimentador, en 20 incrementos iguales con una aplicación del pisón después de cada incremento. Háganse 100 aplicaciones adicionales con una presión en la pata de 2410 kPa (350 lb/pulg²). Deténgase la compactación en cualquier momento, antes de los 100 golpes si aparece agua alrededor del fondo del molde.

Empléese una presión de compactación menor, cuando sea necesario limitar la penetración del pistón dentro del suelo, a no más de 6mm (1/4")

5.2.3 Retírese el compactador del molde que contiene el espécimen compactado. Nivélese la superficie compactada apisonándola a mano con una varilla de 38 mm (1,5") de diámetro. Colóquese un disco de bronce fosforado sobre la superficie apisonada del suelo y un disco de papel, sobre la parte superior del disco de bronce. Inviértase el molde y colóquese dentro del dispositivo de exudación,

de modo que el papel de filtro quede sobre el fondo. Empleando la prensa de compresión, aplíquese uniformemente un incremento de presión al suelo, a una rata de 8900 N/min (200 lbf/min).

El agua deberá exudarse del suelo a 2080 kPa (300 lb/pulg²), como evidencia de que hay humedad suficiente para producir saturación. Deténgase la carga y anótese la presión de exudación, cuando cinco de las seis luces exteriores se enciendan en el dispositivo de presión de exudación o cuando tres de las luces exteriores se enciendan y se observe agua libre en torno al fondo del molde. No debe excederse la carga de 5520 kPa (800 lb/pulg²).

- 5.2.4 Moldéense por lo menos dos especímenes adicionales con cantidades diferentes de humedad, de tal modo que se obtenga un intervalo de presiones de exudación entre 690 y 5520 kPa (100 a 800 lb/pulg²), el cual incluye el valor de 2070 kPa (300 lb/pulg²).

Para algunos suelos con elevado cambio de volumen, se necesitarán especímenes adicionales, que tengan presiones de exudación menores de 690 kPa (100 lb/pulg²), con el fin de obtener presiones de expansión que sean suficientemente bajas y que proporcionen un intervalo de datos adecuados, para un análisis completo de la presión de expansión del suelo.

Ocasionalmente, especímenes de arcilla muy plástica, expulsarán agua por debajo y alrededor de la guía de pisón, durante la operación de carta, si ocurre esto cuando se hayan alcanzado 5520 kPa (800 lb/pulg²) y se enciendan menos de cinco luces, deberá informarse que el suelo tiene un valor de R menor de 5. Materiales granulares gruesos y arenas limpias, pueden requerir el empleo de empaquetaduras de papel para poder efectuar el ensayo.

5.3 CALIBRACION DEL APARATO DE PRESION - EXPANSION

- 5.3.1 Calíbrese el resorte de barra de acero del dispositivo de presión-expansión (Figura 6), aplicando cargas determinadas hacia arriba en el centro de la barra y midiendo las correspondientes deflexiones de la barra con el deformímetro.

- 5.3.2 Se considera que el resorte de barra de acero está calibrado cuando se halla dentro de las tolerancias siguientes:

Carga aplicada N (lb)	Lectura del dial en mm (pulg)
36 (8)	0,055 ± 0,005 mm (0,0021 ± 0,0002")
71 (16)	0,110 ± 0,005 mm (0,0042 ± 0,0002")
107 (24)	0,165 ± 0,005 mm (0,0063 ± 0,0002")
142 (32)	0,220 ± 0,005 mm (0,0084 ± 0,0002")

- 5.3.3 Si el deformímetro no comprueba las lecturas anteriores, suéltese la barra de la parte superior del marco y ajústese la posición de los suplementos, entre el marco y el resorte de barra de acero, hasta que se obtenga la lectura requerida.

Algunos modelos del aparato de presión-expansión tienen juegos de tornillos de ajuste en lugar de suplementos. Para una discusión completa del procedimiento de calibración es necesario referirse al método de ensayo 902 de California.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 ENSAYO DE PRESION – EXPANSION

- 6.1.1 Déjense recuperar el espécimen en un molde cubierto por lo menos durante 30 minutos después de la determinación de la presión de exudación.

- 6.1.2 Colóquese el deformímetro sobre el dispositivo de presión-expansión, con el extremo sencillo de apoyo de la base del dial, descansando sobre el anillo de ajuste.

- 6.1.3 Utilizando una llave hexagonal (Allen), levántese o bájese el suplemento de ajuste hasta que el deformímetro esté sobre -0,025 mm (-1,0010"). El medidor de deflexión leerá 0,229 mm (0,0090").

- 6.1.4 Colóquese firmemente el disco perforado con el vástago sobre la cara del espécimen compactado en el molde y póngase en el dispositivo de presión-expansión después de colocar el filtro de papel de superficie encrespada, sobre el disco giratorio.
- 6.1.5 Asíéntese firmemente el disco perforado sobre el espécimen mediante presión aplicada con los dedos. Levántese el disco giratorio sobre el dispositivo de presión hasta que el medidor de deflexión indique cero. Si el dispositivo fue ajustado correctamente de acuerdo con el numeral 6.1.3, éste fijará la deflexión de la carga de pre asentamiento en 0,025 mm (0,001").
- 6.1.6 Agréguese aproximadamente 200 mL de agua dentro del molde y déjese desarrollar la presión de expansión de espécimen, durante un período de 16 a 24 horas.
- No debe dejarse un espécimen de ensayo sin confinamiento mediante el dispositivo de presión-expansión, mientras haya agua libre sobre la parte superior del espécimen en el molde.
- 6.1.7 Mídase la deflexión del resorte calibrado de barra de acero con aproximación a 0,002 mm (0,0001"). Cuando la deflexión sea mayor que 0,254 mm (0,0100"), el dispositivo de presión-expansión deberá calibrarse nuevamente antes de usarlo de nuevo.
- 6.1.8 Determínese la presión de expansión, P , de la siguiente forma:

$$P = k \cdot d$$

Donde:

- K = Constante del resorte de barra de acero calculado a partir de la calibración del aparatado de presión-expansión, expresado en kPa/0,025 mm (psi/0,0010").
- D = Deflexión indicada por el deformímetro en mm (").

6.2 ENSAYO CON EL ESTABILOMETRO

6.2.1 AJUSTE DEL ESTABILOMETRO

- 6.2.1.1 Ajustese la tuerca de bronce sobre la platina de base del estabilómetro de manera que la parte superior de ésta quede a 89 mm (3 1/2") por debajo del fondo del anillo superior ahusado del estabilómetro. Efectúense todos los ensayos con este montaje.
- 6.2.1.2 Ajustese la cantidad de aire en la celda del estabilómetro, de manera que $2 \pm 0,05$ vueltas del manubrio de la bomba aumente la presión del líquido de 35 a 690 kPa (5 a 100 lb/pulg²) con el espécimen metálico normal en la cámara del estabilómetro.

6.2.2 VALOR DE RESISTENCIA DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYO

- 6.2.2.1 Después de determinar la presión de expansión, remuévase el agua de la parte superior del espécimen y colóquese el molde con el espécimen sobre la parte superior del estabilómetro. Instálese la guía sobre la parte superior del espécimen y fuércese, desde el molde hacia el estabilómetro. Bájese la cabeza de la prensa de ensayo hasta que encaje justamente con la guía. Si se ha drenado toda el agua del espécimen, añádase agua a la parte superior y déjese reposar por 15 minutos. Elimínese cualquier exceso de agua y continúese con el ensayo.
- 6.2.2.2 Aplíquese una presión horizontal de 35 kPa (5 lb/pulg²) al espécimen, mediante la bomba de desplazamiento y aplíquese luego una carga vertical empleando una rata uniforme de movimiento de 1,3 mm/min (0,05"/min)
- 6.2.2.3 Regístrese la presión horizontal cuando la carga vertical sea de 8900 N (2000 lb) y deténgase la aplicación de la carga. Redúzcase la carga a 4450 N (1000 lb). Con la bomba de desplazamiento, ajústese la presión horizontal a 35 kPa (5 lb/pulg²). Esto ocasionará una reducción adicional de la carga vertical, lo cual debe ser ignorado.
- 6.2.2.4 Gírese la manija de la bomba del estabilómetro, aproximadamente a dos vueltas por segundo, y mídase el número de vueltas (usando el respectivo indicador del estabilómetro) necesario para elevar la presión horizontal de 35 a 689 kPa (5 a 100 lb/pulg²). El número de vueltas de desplazamiento del espécimen se denomina D .

6.2.2.5 Determinése la resistencia, R, así:

$$R = 100 - \frac{100}{\left(\frac{2,5}{D}\right) \cdot \left(\frac{160}{P_h} - 1\right) + 1}$$

Donde:

- P_h = Presión horizontal, kPa (lb/pulg²) y
 D = Lectura de vueltas de desplazamiento

Este es el valor R para especímenes con alturas compactadas de 62 a 65 mm (2,24 a 2,55"). Si la altura del espécimen se halla entre 58 y 62 mm o 65 y 68 mm (2,3" y 2,45" o 2,55 y 2,7") úsese el gráfico (véase Figura 9) para corregir los valores R a un espécimen con altura de 63 mm (2,5").

Si el valor de R se desea a una presión de exudación específica, por ejemplo a 2070 kPa (300 lb/pulg²) dentro del intervalo de las presiones medidas en el ensayo de los tres especímenes, es conveniente construir un gráfico de valores de R contra presiones de exudación e interpolar.

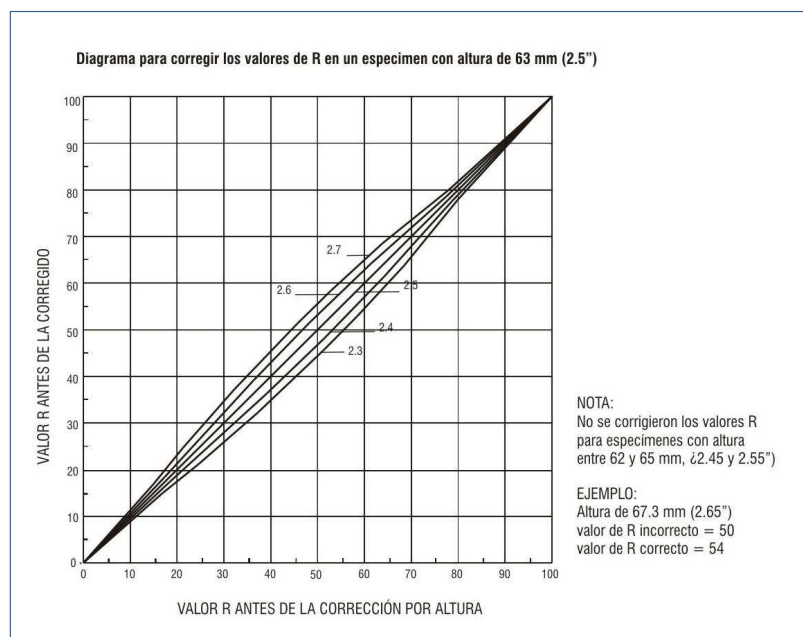


Figura 9: Diagrama para corregir los valores de R en un espécimen con altura de 63 mm (2,5")

7.0 INFORME

Además del nombre del proyecto y ubicación, identificación de muestra, profundidad, se reportara la siguiente información:

- N° de Especímenes de Ensayo
- Compactación de presión de aire -kPa (psi)
- Agua Inicial (mL)
- Agua añadida (mL)
- Altura especímenes final , mm (in)
- Desplazamiento (N° de vueltas del dial) **D**
- Presión Vertical 160 psi (1103 kPa) P_v
- Presión de Exudación kPa (psi)
- Resistencia " R" valor, a $23 \pm 2,8^\circ\text{C}$
- Corrección del R valor.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

La dispersión de estas medias no es aplicable a este método. Los estimados de precisión se establecen según ASTM D-2844.

MTC E 137**DETERMINACION DE MATERIAL MAS FINO QUE EL TAMIZ 75 μm (N° 200) EN SUELOS****1.0 OBJETO**

- 1.1 Este método de prueba cubre la determinación de la cantidad de material más fino que el tamiz N° 200 (75 μm), por lavado.
- 1.2 Dos métodos para determinar la cantidad de material más fino que el tamiz N°200 (75 μm), son provistas. Este método será usado y especificado por la autoridad competente. Si este método no está especificado el cambio será basado en este método siguiendo en los puntos 2.2 y 6.4.
- 1.3 Método A: El espécimen no está dispersada antes del lavado por el tamiz.
- 1.4 Método B: El espécimen es sumergida en agua conteniendo agente defloculante antes del lavado por la tamiz.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Material más fino que el tamiz N°200 (75 μm), puede separarse de las partículas gruesas mucho más eficientemente y completamente por vía húmedo que por vía seca. Por lo tanto cuando precisa determinaciones de materiales más fino que el tamiz N° 200 (75 μm) en suelos se desea utilizar este, método del ensayo antes que tamizado en seco. Usualmente se obtiene una cantidad adicional de material más fino que el tamiz N°200 (75 μm) en tamizado en seco, si es más grande, la eficiencia de la operación de lavado debería comprobarse, como podría ser una indicación de degradación del suelo.
- 2.2 Con algunos suelos y particularmente con suelos arcillosos con el fin de mantener el material fino adherido de las partículas gruesas es necesario remojar el suelo antes de lavar a través del tamiz. Un agente defloculante (agente dispersante) será añadido al suelos cuando este remojando.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 1140: Standard test Methods for Amount of material in soil finer than N° 200 (75 μm)

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Balanza: con sensibilidad a 0,1% del peso de la muestra a ensayar.
- 4.1.2 Estufa: de tamaño suficiente y capaz de mantener una temperatura constante y uniforme de 110 \pm 5 °C.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Tamices: uno de N° 200 (75 μm) y el otro de 1,18 mm (N° 16) que cumplan requisitos de NTP 350.001.ensima se puede colocar un tamiz N° 40 para evitar el daño del tamiz N°200.
- 4.2.2 Recipiente: una vasija de tamaño suficiente para mantener la muestra cubierta con agua y permitir una agitación vigorosa sin pérdida de partículas o agua

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Agente defloculante. Una solución de hexametáfosfato de Sodio, con alguna concentración. Una cantidad necesaria es 40 g para 1000 mL de agua.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Muestrear el suelo de acuerdo con el procedimiento descrito en MTC E 101.
- 5.2 Mezclar uniformemente la muestra de suelo a ser ensayado y reducir por cuarteo hasta una cantidad suficiente para ensayo utilizando los métodos aplicables descritos en ASTM C 702. Si la muestra es ensayada de acuerdo con MTC E204, el tamaño mínimo será tal como se describe en

los apartados aplicables de este ensayo. En caso contrario, la muestra no será menor que la indicada en la siguiente tabla:

Tabla 1
Cantidad mínima de muestra

Tamaño máximo (pasa 100%)	Tamaño tamiz estándar	Peso mínimo recomendado de la muestra (g)
2 mm o menos	Nº 10	20
4,75 mm	Nº4	100
9,5 mm	3/8"	500
19,0 mm	¾"	2500
37,5 mm	1 1/2"	10000
75,0 mm	3"	50000

- 5.3 Si la muestra será ensayada para un análisis granulométrico será de acuerdo con la norma MTC E 107 completar la cantidad aplicable a este método de ensayo.

Nota 1. Un peso mínimo de la muestra puede ser utilizada, si cuando el peso mínimo no es disponible (muestra de material cuarteado o similar). El reporte deberá indicar el peso utilizado.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Secar la muestra de ensayo en la estufa, hasta peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C. Determinar la cantidad con una aproximación al 0,1g.

- 6.2 Como alternativa selecciones una muestra auxiliar y determine el contenido de agua de acuerdo el método de ensayo MTC E 108, calcule el peso de la muestra secado en horno y calcule el contenido de humedad del suelo.

- 6.3 Método A: Luego de prepararse el material según 6.1, coloque la muestra en el tamiz más alto y grueso. Lave el material dentro del tamiz con una corriente de agua que forma el caño, (Nota 2) el material puede ser ligeramente manipulada con la mano, para facilitar el proceso de lavado, teniendo cuidado de no perder ningún material retenido. Se debe ejercer una presión baja sobre el material retenido o el tamiz para evitar forzamiento en las partículas a través del tamiz o daño al tamiz. Continúe el lavado hasta que el agua que atraviesa el tamiz sea limpia y clara (Nota 3).

Nota 2. Una boquilla de rociado o una pieza de tubo de caucho adjunto para la corriente de agua pueden ser utilizadas en el lavado. La velocidad puede incrementarse por medio de un pinzamiento del tubo, no será causado salpicaduras del material que está dentro del tamiz. La temperatura del agua no podrá exceder de 32 °C, para evitar expansión del tamiz de fábrica.

Nota 3. Se debe tener cuidado de no regar el agua acumulado en el tamiz, obstruye la pantalla. La obstrucción puede causar desbordamiento en el tamiz y la pérdida del material. Ligeramente toque con la mano, con las yemas de los dedos en lados de la base del tamiz evitando obstrucción.

- 6.4 Método B. Es una alternativa particularmente para suelos muy cohesivos, luego de preparar en concordancia como en el punto 6.1, colocar en un contenedor cubra con agua conteniendo un agente defloculante remoje por un mínimo de 2 horas (preferentemente durante la noche) (Nota 4) el espécimen será agitado periódicamente para facilitar la dispersión de las partículas.

Nota 4. Será más fácil separar las partículas si la muestra no ha sido secada antes de remojar. El peso de la humedad puede ser ajustada para obtener el peso seco, con el cálculo de humedad descrita en 6.2.

- 6.5 Luego del periodo de remojo agitar vigorosamente y verter dentro de los tamices. Lavar algún material remanente dentro del tamiz para asegurar que todo el material haya sido transferido. Entonces terminar el lavado como se describe en el punto 6.3.

- 6.6 Cuando se utilice el método A o B el material retenido completo en la tamiz Nº 200 (75 µm) puede ser secado en el tamiz, o lavado transfiriendo en contenido del tamiz dentro de un contenedor. Si el suelo transferido tiene un exceso de agua puede removerse por decantación o succión para un

tiempo de secado rápido. No desperdiciar partículas cuando este removiéndose, solo será removida agua limpia.

- 6.7 Secar el residuo de cada tamiz a peso constante usando una temperatura de 110 ± 5 °C y determinar el peso usando la balanza determinada en el punto 6.1.

Nota 5. Como se menciona en el punto 2.1 si la muestra es tamizada en seco después de lavar, el material que pasa el tamiz N° 200 (75 µm), no pasó durante el proceso de lavado. Este puede una cantidad significativa para muestras con alto porcentaje de arena muy fina o limo grueso.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

Calcular la cantidad de material que pasa el tamiz de N°200 (75 µm) por lavado con agua, como sigue:

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100$$

Donde:

- A = Porcentaje del material fino que pasa el tamiz de N°200 (75 µm) por lavado al 0,1%
- B = Peso seco de la muestra original, en gramos.
- C = Peso seco de la muestra después de lavado, en gramos.

7.2 INFORME

Reportar la siguiente información:

- 7.2.1 Porcentaje de material fino que pasa el tamiz de N°200 (75 µm) por lavado con una aproximación de 0,1%.
- 7.2.2 Indicar si el material fue remojado y tiempo transcurrido.
- 7.2.3 Indicar el método (A o B).
- 7.2.4 Identificación de la muestra.
- 7.2.5 Tamaño de la muestra seca utilizado.
- 7.2.6 Estado si el peso seco fue determinado directamente o ajustado con otra muestra auxiliar, si fuera el caso anotar el contenido de humedad.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 Criterio para juzgar aceptabilidad de resultados de ensayo obtenidos por este método de prueba están dentro de un rango de tipo de suelos usando el método B, son dadas en la tabla 2. Estas estimaciones están basadas en resultados de una prueba interlaboratorios conducida por ASTM, Suelos de referencia y programa de ensayos.
- 8.1.2 La precisión estimada puede variar según el tipo de suelo y según el método utilizado. Buen juicio de deberá tomar cuando se utiliza otro tipo de suelos u otro método. La columna 4 fue obtenido bajo el método de ASTM E 691, que recomiendo que cada laboratorio deberá realizar un ensayo por triplicado.
- 8.1.3 Resultados de dos ensayos realizados correctamente por diferentes operadores u diferentes días no deberá diferir por más que el multilaboratorio como se muestra en la tabla 02, columna 5.

Tabla 2
Resumen de resultados de laboratorio de ensayos por triplicado
(Porcentaje de finos)

1	2	3	4	5
Tipo de suelo	Número de ensayos triplicados de laboratorio (Puntos porcentuales)	Valor promedio (puntos porcentuales)	Desviación estándar (Puntos porcentuales)	Aceptable rango de dos resultados (Puntos porcentuales)
Resultados de un solo operador (dentro de repetibilidad de laboratorio)				
CH	13	98,83	0,15	0,4
CL	13	88,55	0,14	0,4
ML	14	99,00	0,12	0,3
SP	13	2,47	0,20	0,5
Resultados multilaboratorio (Reproducibilidad entre laboratorios)				
CH	13	98,83	0,22	0,6
CL	13	88,55	0,40	1,1
ML	14	99,00	0,13	0,4
SP	13	2,47	0,36	1,0

8.2 DISPERSION

Dado que no hay disponible un material de referencia para determinación de la dispersión.



SECCION N° 2 AGREGADOS

MTC E 201

MUESTREO PARA MATERIALES DE CONSTRUCCION

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer los procedimientos del muestreo del agregado grueso, fino y global, para los propósitos siguientes:
- Investigación preliminar de la fuente potencial de abastecimiento.
 - Control en la fuente de abastecimiento.
 - Control de las operaciones en el sitio de su utilización.
 - Aceptación o rechazo de los materiales.

Nota 1. Los planes de muestreo para aceptación y control de los ensayos, varían con el tipo de construcción donde se utiliza el material (Véase norma ASTM E 105 y ASTM D 3665).

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El muestreo y el ensayo son importantes, por lo tanto el operador deberá tener siempre la precaución de obtener muestras que denoten la naturaleza y condiciones del material al cual representan.
- 2.2 Las muestras para los ensayos de investigación preliminar serán obtenidas por la parte responsable del desarrollo de la fuente potencial (Véase Nota 2). Las muestras de materiales para el control de la producción en la cantera o el control en la obra, serán obtenidas por el productor, contratistas u otras partes responsables para verificar el trabajo. Las muestras utilizadas para aceptación o rechazo serán tomadas por el comprador o su representante autorizado.

Nota 2. La investigación preliminar y el muestreo de potenciales canteras de agregados, ocupan un lugar muy importante porque ello determina la conveniencia de su utilización. Es necesario el control de calidad del material para asegurar la durabilidad de estructura resultante, esto influenciará en el tipo de construcción y en la parte económica de la obra. Esta investigación deberá ser realizada sólo por personal entrenado y con experiencia

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 400.010: AGREGADOS. Extracción y muestreo.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

5.0 MUESTRA

5.1 MUESTRAS CONFIABLES

- 5.1.1 Generalidades.- De preferencia, las muestras para los ensayos de calidad deberán ser obtenidas de productos acabados. La muestra de productos acabados para ser ensayada por pérdida al desgaste de abrasión no estará sujeta a chancado posterior o reducido normalmente, a menos que la medida del producto acabado sea tal que requiera reducción posterior para los propósitos del ensayo.
- 5.1.2 Inspección.- El material será inspeccionado para determinar variaciones perceptibles. El vendedor proveerá el equipo conveniente y necesario para la inspección y el muestreo.
- 5.1.3 Procedimiento
- Muestreo de flujos de corrientes de agregados (Descarga de depósitos o cintas): De la producción seleccionar muestras al azar, tal como se indica en la práctica normalizada ASTM D 3665.

Obtener por lo menos 3 incrementos iguales, seleccionados a la azar de la unidad que está siendo muestreada y combinarlos para formar una muestra cuya masa iguale o exceda lo mínimo recomendado en el apartado 5.1.4.b. Tomar cada incremento a través de toda la sección del elemento de descarga. Es necesario contar con un dispositivo especial para ser utilizado en cada planta en particular. Este dispositivo consistirá en un recogedor de medida suficiente para interceptar la sección transversal del chorro de descarga para retener la cantidad requerida de material sin derramar. Un conjunto de rieles podrán ser necesarios para servir como guía al recogedor pasa por el chorro de descarga. Hasta donde sea posible, mantener el depósito continuamente lleno o casi lleno para reducir la segregación (Véase Nota 3).

Nota 3. Deberá evitarse la toma de muestra de la descarga inicial de pocas toneladas de un depósito o de una faja transportadora, pues esto incrementa la posibilidad de obtener material segregado.

b) Muestreo de fajas transportadoras: Seleccionar el muestreo al azar de la producción, tal como se indica en la práctica normalizada ASTM D 3665.

Obtener por lo menos 3 incrementos aproximadamente iguales, seleccionados al azar, de la unidad que está siendo muestreada y combinarlos para formar una muestra de campo cuya masa iguale o exceda a la mínima recomendada en el apartado 5.1.4.b. Insertar 2 plantillas de la misma forma de la correa de la faja transportadora y separarlas de tal modo que el material contenido entre ellas producirá un incremento de la masa requerida. Extraer cuidadosamente con la cuchara todo el material entre las plantillas y colocarlo en un contenedor y luego coleccionar los finos sobre la faja con una brocha y pala y adicionarlos al contenedor.

c) Muestreo de depósitos o unidades de transporte: De ser posible evitar este tipo de muestreo, particularmente para la determinación de las propiedades del agregado que puedan ser dependientes de su granulometría.

Si las circunstancias hacen necesario realizar este tipo de muestreo, designar un plan de muestreo para este caso, aceptado por todas las partes involucradas; esto permitirá a la entidad que realiza el muestreo el uso de un plan que le dará confianza de los resultados obtenidos.

El plan de muestreo definirá el número de muestras necesarias para representar los lotes o sub-lotes de medidas específicas. Los principios generales para el muestreo de depósitos, son aplicables a muestreo de camiones, vagones, barcazas u otras unidades de transportes.

d) Muestreo de carreteras (bases y sub-bases): Seleccionar las muestras al azar, tal como se indica en la práctica normalizada ASTM D 3665.

Obtener por lo menos tres incrementos iguales, seleccionados al azar de la unidad que está siendo muestreada y combinarlos para formar una muestra de campo, con una masa igual o mayor que la mínima recomendada en el apartado 5.1.4.b. Tomar todos los incrementos de la profundidad total del vagón, teniendo cuidado de excluir el material subyacente, marcar claramente las áreas específicas de las que se tomó las muestras; un separador metálico para delimitar el área podrá asegurar incrementos de masa iguales.

5.1.4 Número y masa de las muestras de campo

a) El número de las muestras de campo (obtenidas por uno de los métodos descritos en el apartado 5.1.3) requeridas depende del estado y variación de la propiedad a medirse.

Designar cada unidad de la que se obtuvo la muestra de campo, previa al muestreo. El número de muestras de la producción deberá ser suficiente como para otorgar la confianza deseada en los resultados de los ensayos (Véase Nota 04).

Nota 4. Una guía para determinar el número de muestras requeridas para obtener el nivel de confianza en los resultados de ensayo, podrá hacerse en los métodos de ensayos normalizados que se presentan en ASTM D 2234, ASTM E 105, ASTM E 122 y ASTM E 141.

Tabla 1
Medida de las muestras

Tamaño máximo nominal del agregado ^A	Masa mínima aproximada para la muestra de campo Kg ^B
Agregado fino	
2,36 mm	10
4,76 mm	10
Agregado Grueso	
9,5 mm	10
12,5 mm	15
19,0 mm	25
25,0 mm	50
37,5 mm	75
50,00 mm	100
63,00 mm	125
75,00 mm	150
90,00 mm	175

^A Para agregado procesado, el tamaño máximo nominal es la menor malla donde se produce el Reimer retenido.

^B Para agregado global (por Ejemplo Base o sub-base) la masa mínima requerida será la mínima del agregado grueso más 10 kg.

b) Las masas de las muestras de campo citadas son tentativas. Las masas deberán ser previstas para el tipo y cantidad de ensayos a los cuales el material va a estar sujeto y obtener material suficiente para ejecutar los mismos. La norma de aceptación y ensayos de control están cubiertas por las NTPs, donde se especifica la porción de la muestra de campo requerida para cada ensayo. En general, las cantidades indicadas en la Tabla 1 proveerán material adecuado para análisis granulométrico y ensayos de calidad rutinarios. Se extraerán porciones de muestra en el campo de acuerdo con el método de ensayo normalizado que se presenta en ASTM C 702 o por otros métodos de ensayo que sean aplicables.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Envío de las muestras.

a) Transportar los agregados en bolsas u otros contenedores construidos como para prevenir pérdidas o contaminación de alguna parte de la muestra; o daños al contenido por el manipuleo durante el transporte.

b) La identificación individual de los contenedores de embarque para muestras de agregado estará anexa o incluida tanto en el reporte de campo, en la parte de laboratorio y en el reporte de ensayo.

MTC E 202

CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ DE 75 μm (Nº 200) POR LAVADO

1.0 OBJETO

- 1.1 Describir el procedimiento para determinar, por lavado con agua, la cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 μm (Nº 200) en un agregado. Durante el ensayo se separan de la superficie del agregado, por lavado, las partículas que pasan el tamiz de 75 μm (Nº 200), tales como: arcillas, agregados muy finos, y materiales solubles en el agua.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El material más fino que el tamiz de 75 μm (Nº 200) puede ser separado de las partículas mayores de manera más eficiente y completa por el tamizado en húmedo que por el uso de tamizado en seco. Por ello, cuando se desea determinaciones exactas del material más fino que el tamiz de 75 μm (Nº 200) en un agregado grueso o fino, este ensayo es usado sobre la muestra antes del tamizado en seco de acuerdo con el ensayo MTC E204. Los resultados de este ensayo son incluidos en el cálculo del ensayo MTC E204 y la cantidad total del material más fino que el tamiz de 75 μm (Nº 200) además del obtenido por tamizado en seco en la misma muestra es reportado con los resultados de MTC E 204. Usualmente, la cantidad adicional del material más fino que 75 μm obtenido en el proceso de tamizado en seco es una cantidad pequeña. Si ésta es muy grande, la eficiencia de la operación de lavado debe ser chequeada. Esto también puede ser indicativo de degradación del agregado.
- 2.2 Este ensayo se aplica para determinar la aceptabilidad de agregados finos en lo relacionado al material pasante el tamiz de 75 μm (Nº 200).

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 400.018 Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado Cantidad de 75um (Nº 200) por lavado en agregados.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza: con sensibilidad a 0,1% del peso de la muestra a ensayar.
- 4.1.2 Estufa: de tamaño suficiente y capaz de mantener una temperatura constante y uniforme de 110 ± 5 °C.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Tamices: uno de 75 μm (Nº 200) y el otro de 1,18 mm (Nº 16) que cumplan requisitos de NTP 350.001.
- 4.2.2 Recipiente: una vasija de tamaño suficiente para mantener la muestra cubierta con agua y permitir una agitación vigorosa sin pérdida de partículas o agua.

Nota 1. El uso de aparato mecánico para desarrollar la operación de lavado no está excluido, siempre que los resultados sean consistentes con aquellos obtenidos usando operaciones manuales. El uso de algún equipo de lavado mecánico con algunas muestras puede causar degradación de la muestra.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Muestrear el agregado de acuerdo con el procedimiento descrito en MTC E-201. Si la muestra de ensayo será sometida a análisis granulométrico de acuerdo a MTC E-204, cumplir los requisitos aplicables en este procedimiento.
- 5.2 Mezclar uniformemente la muestra de agregado a ser ensayado y reducir por cuarteo hasta una cantidad suficiente para ensayo utilizando los métodos aplicables descritos en ASTM C 702. Si la muestra es ensayada de acuerdo con MTC E-204, el tamaño mínimo será tal como

se describe en los apartados aplicables de este ensayo. En caso contrario, la muestra no será menor que la indicada en la siguiente tabla:

Tabla 1
Cantidad mínima de muestra

Tamaño máximo nominal del agregado		Peso mínimo de la muestra (g)
4,75 mm	(Nº 4) ó menor	300
9,5 mm	(3/8")	1 000
19,0 mm	(3/4")	2 500
37,5 mm	(1 1/2") o mayor	5 000

6.0 ROCEDIMIENTO

- 6.1 Secar la muestra de ensayo en la estufa, hasta peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C. Determinar la cantidad con una aproximación al 0,1% de la masa de la muestra de ensayo.
- 6.2 Si la especificación aplicable requiere que la cantidad que pasa el tamiz de 75 μm (Nº 200) sea determinada sobre una parte de la muestra que pasa un tamiz más pequeño que el tamaño máximo nominal del agregado, separar la muestra sobre el tamiz designado y determinar la masa del material que pasa el tamiz designado con una aproximación del 0,1% de la masa de esta porción de la muestra de ensayo. Usar esta masa como el peso seco original de muestra de ensayo en el numeral 8.

Nota 2. Algunas especificaciones para agregados con tamaño máximo nominal de 50 mm (2") o mayor, proporcionan un límite para el material que pasa el tamiz de 75 μm determinado sobre la porción de la muestra que pasa el tamiz de 25,4 mm (1"), ya que no es práctico lavar las muestras del tamaño requerido cuando la misma muestra de ensayo será utilizada para el análisis granulométrico por tamizado en seco.

- 6.3 Después de secar y determinar la masa, colocar la muestra de ensayo en el recipiente y agregar suficiente cantidad de agua para cubrirla. Agitar vigorosamente la muestra con el fin de separar completamente todas las partículas más finas que el tamiz de 75 μm de las partículas gruesas y llevar el material fino a suspensión. De inmediato vierta el agua de lavado con el material fino en suspensión sobre el juego de tamices armado. Tener cuidado para evitar la decantación de las partículas más gruesas de la muestra.
- 6.4 Adicionar una segunda carga de agua a la muestra en el recipiente, agitar y decantar como antes. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado este completamente clara.

Nota 3. Si se emplea equipo de lavado mecánico, la adición de agua, la agitación y la decantación pueden constituir un proceso continuo.

- 6.5 Retornar todo el material retenido en el juego de tamices mediante un chorro de agua a la muestra lavada. Secar el agregado lavado hasta obtener un peso constante, a una temperatura de 110 ± 5 °C y determinar el peso con una aproximación de 0,1% del peso original de la muestra.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

Calcular la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 μm (Nº 200) por lavado con agua, como sigue:

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100$$

Donde:

- A = Porcentaje del material fino que pasa el tamiz de 75 μm (Nº 200) por lavado.
B = Peso seco de la muestra original, en gramos.
C = Peso seco de la muestra después de lavado, en gramos.

7.2 INFORME

Reportar la siguiente información:

- 7.2.1 Porcentaje de material fino que pasa el tamiz de 75 μm (Nº 200) por lavado con una aproximación de 0,1%, excepto si el resultado es igual o mayor al 10% en que se reporta el porcentaje con aproximación al número entero.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

Las estimaciones de precisión de este método de ensayo listado en la tabla 2 se basan en resultados del AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program, con ensayos realizados con métodos ASTM y AASHTO T 11. Las diferencias significativas entre los métodos cuando los datos fueron obtenidos se debe a que el método AASHTO T 11 requería uso de un agente dispersante mientras que la norma ASTM C117 lo prohibía. Los datos se basan en el análisis de más de 100 pares de resultados de ensayo de 40 a 100 laboratorios.

- 8.1.1 Los valores de precisión para el agregado fino en la tabla 2 se basan en muestras de ensayo de 500 g. La revisión de este método de ensayo permite que el tamaño de la muestra de ensayo en agregado fino sea como mínimo de 300 g. El análisis de los resultados de ensayo de las muestras de 300 g y 500 g de las muestras de ensayo aprovechables de agregado 99 y 100 han generado los valores de precisión en la Tabla 3, la cual sólo indica diferencias menores debido al tamaño de la muestra de ensayo.

Tabla 2: Precisión

	Desviación estándar (1s)^A, %	Rango aceptable de dos resultados (d2s)^A, %
Agregado grueso^B		
Precisión de un sólo operador	0,10	0,28
Precisión multilaboratorio	0,22	0,62
Agregado fino^C		
Precisión de un sólo operador	0,15	0,43
Precisión multilaboratorio	0,29	0,82

**Tabla 3:
Datos de precisión para muestras de ensayo de 300 g y 500 g**

Muestra aprovechable de agregado fino				En cada laboratorio		Interlaboratorio	
Resultado de ensayo	Tamaño de muestra	Nº de laboratorios	Promedio	1s	d2s	1s	d2s
AASHTO T-11/ASTM C-117	500 g	270	1,23	0,08	0,24	0,23	0,66
Material total que pasa el tamiz Nº 200 por vía húmeda (%)	300 g	264	1,20	0,10	0,29	0,24	0,68

8.2 DISPERSION

Dado que no hay disponible un material de referencia para determinación de la dispersión en el procedimiento de ensayo, el establecimiento de la dispersión no es realizado.

^A Representa los límites (1s) y (d2s) descritos en ASTM C 670.

^B La precisión estimada se basa sobre agregados con un tamaño máximo nominal de 19,0 mm (1/4 pulg.) con menos de 1,5% de material que pasa el tamiz de 75 μm (Nº 200)

^C La precisión estimada se basa sobre agregados finos que tienen 1,0% a 3,0% de material que pasa el tamiz de 75 μm (Nº 200).

MTC E 203

PESO UNITARIO Y VACIOS DE LOS AGREGADOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el peso unitario suelto o compactado y el porcentaje de los vacíos de los agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos.
- 1.2 El método se aplica a agregados de tamaño máximo nominal de 150 mm (6").

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Se utiliza siempre para determinar el valor del peso unitario utilizado por algunos métodos de diseño de mezclas de concreto.
- 2.2 También se utiliza para determinar la relación masa/volumen para conversiones en acuerdos de compra donde se desconoce la relación entre el grado de compactación del agregado en una unidad de transporte o depósito de almacenamiento (que usualmente contienen humedad superficial absorbida) y los llevados a cabo por este ensayo que determina el peso unitario seco.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 400.017 Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados

4.0 EQUIPOS, MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza: con una exactitud de 0,1% con respecto al peso del material usado.
- 4.1.2 Recipiente de medida, metálico, cilíndrico, preferiblemente provisto de agarraderas, a prueba de agua, con el fondo y borde superior pulido, plano y suficientemente rígido, para no deformarse bajo condiciones duras de trabajo. Los recipientes tendrán una altura aproximadamente igual al diámetro, y en ningún caso la altura será menor del 80% ni mayor que 150% del diámetro. La capacidad del recipiente utilizado en el ensayo, depende del tamaño máximo de las partículas del agregado a ensayar, de acuerdo con los límites establecidos en la Tabla 1.

El espesor del metal se indica en la Tabla 2. El borde superior será pulido y plano dentro de 0,25 mm y paralelo al fondo dentro de 0,5%. La pared interior deberá ser pulida y continua.

- 4.1.3 Equipo de calibración: una plancha de vidrio de por lo menos 6 mm (1/4") de espesor y 25 mm (1") mayor del diámetro del recipiente a calibrar.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Varilla compactadora, de acero, cilíndrica, de 16 mm (5/8") de diámetro, con una longitud aproximada de 600 mm (24"). Un extremo debe ser semiesférico y de 8 mm de radio (5/16").
- 4.2.2 Pala de mano: una pala o cucharón de suficiente capacidad para llenar el recipiente con el agregado.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Obtener la muestra de acuerdo a MTC E 201 y reducir muestra a tamaño de muestra de ensayo por cuarteo.
- 5.2 La muestra de ensayo debe ser aproximadamente 125 a 200% de la cantidad requerida para llenar el recipiente de medida y ser manipulada evitando la segregación. Secar el agregado a peso constante, preferiblemente en un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Llenar el recipiente de medida con agua a temperatura ambiente y cubrir con la placa de vidrio para eliminar burbujas y exceso de agua.

- 6.2 Determinar el peso del agua en el recipiente de medida.
- 6.3 Medir la temperatura del agua y determinar densidad, de la Tabla 3, interpolando si fuese el caso.
- 6.4 Calcular el volumen (V) del recipiente de medida dividiendo el peso del agua requerida para llenarlo entre la densidad del agua.
- 6.5 La calibración del recipiente de medida se realiza por lo menos una vez al año o cuando exista razón para dudar de la exactitud de la calibración.
- 6.6 DETERMINACION DEL PESO UNITARIO SUELTO
- 6.6.1 Procedimiento con pala: el recipiente de medida se llena con una pala o cuchara, que descarga el agregado desde una altura no mayor de 50 mm (2") hasta que rebose el recipiente.
- Eliminar el agregado sobrante con una regla.
- Determinar el peso del recipiente de medida más el contenido y el peso del recipiente, registrar los pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1 lb).
- 6.7 DETERMINACION DEL PESO UNITARIO COMPACTADO
- 6.7.1 Procedimiento de apisonado: para agregados de tamaño máximo nominal de 37,5 mm (1 1/2") o menos.
- Llenar la tercera parte del recipiente con el agregado, y emparejar la superficie con los dedos. Apisonar la capa de agregado con 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente, utilizando el extremo semiesférico de la varilla. Llenar las 2/3 partes del recipiente, volviendo a emparejar la superficie y apisonar como anteriormente se describe. Finalmente llenar el recipiente hasta colmarlo y apisonar otra vez de la manera antes mencionada.
- Al apisonar la primera capa, evitar que la varilla golpee el fondo del recipiente. Al apisonar las capas superiores, aplicar la fuerza necesaria para que la varilla atravesase solamente la respectiva capa.
- Una vez colmado el recipiente, enrasar la superficie con la varilla, usándola como regla, determinar el peso del recipiente lleno y peso del recipiente solo, y registrar pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1 lb).
- 6.7.2 Procedimiento de percusión: para agregados de tamaño máximo nominal entre 37,5 mm (1 1/2") y 150 mm (6").
- Llenar el recipiente con el agregado en tres capas de igual volumen aproximadamente. Cada una de las capas se compacta colocando el recipiente con el agregado sobre una base firme y se inclina, hasta que el borde opuesto al punto de apoyo, diste unos 50 mm (2") de la base. Luego dejar caer, lo que produce un golpe seco y repetir la operación inclinando el recipiente por el borde opuesto. Cada capa se compacta dejando caer el recipiente 50 veces de la manera descrita, 25 veces cada extremo.
- Compactada la última capa, enrasar la superficie del agregado con una regla, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación con el plano de enrase. Determinar el peso del recipiente de medida lleno y peso del recipiente, registrar los pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1lb).

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Peso unitario.- calcular el peso unitario compactado o suelto, como sigue:

$$M = \frac{(G - T)}{V} \quad (1)$$

$$M = (G - T) \times F \quad (2)$$

Donde:

- M = Peso unitario del agregado en kg/m³ (lb/pie³)
G = Peso del recipiente de medida más el agregado en kg (lb)
T = Peso del recipiente de medida en kg (lb)
V = Volumen del recipiente de medida en m³ (pie³), y
F = Factor del recipiente de medida en m⁻³ (pie⁻³)

El peso unitario determinado por este ensayo es para agregado en la condición seco. Si desea calcular el peso unitario en la condición saturado con superficie seca (SS), utilizar el procedimiento descrito en este método y en este caso calcular el peso unitario SSS utilizando la expresión:

$$M_{SSS} = M \cdot [1 + (G - T) \times F] \quad (3)$$

Donde:

- M_{SSS} = Peso unitario en la condición saturado
A = Porcentaje de absorción del agregado determinado de acuerdo con MTC E 205 o MTC E 206

- 7.1.2 Contenido de vacíos en los agregados.- calcular el contenido de vacíos en el agregado utilizando el peso unitario calculado según 10.1, como sigue:

$$\% \text{Vacíos} = \frac{(A \times W) - B}{A \times W} \quad (4)$$

Donde:

- A = Peso específico aparente según los procedimientos MTC E205.
B = Peso unitario de los agregados en kg/m³ (lb/pie³).
W = Densidad del agua, 998 kg/m³ (62,4 lb/pie³)

7.2 INFORME

- 7.2.1 Reportar los resultados del peso unitario con aproximación de 10 kg/m³ (1 lb/pie³), como sigue:

- Peso unitario compactado por apisonado, o
- Peso unitario compactado por percusión, o
- Peso unitario suelto

- 7.2.2 Reportar los resultados del contenido de vacíos con aproximación de 1%, como sigue:

- % Vacíos en el agregados compactado por apisonado, o
- Vacíos en el agregados compactado por percusión, o
- % Vacíos en el agregado suelto.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 Agregado grueso (Peso Unitario):

8.1.1.1 Precisión para un sólo operador.- la desviación estándar ha sido establecida en 14 kg/m³ (0,88 lb/pie³). Los resultados de dos ensayos realizados por un sólo operador con el mismo material no deben diferir en más de 40 kg/m³ (2,5 lb/pie³).

8.1.1.2 Precisión multilaboratorio.- la desviación estándar ha sido establecida en 30 kg/m³ (1,87 lb/pie³) por lo que dos resultados realizados en dos diferentes laboratorios con el mismo material no deben diferir en más de 85 kg/m³ (5,3 lb/pie³).

8.1.1.3 Estos valores de precisión, desviación estándar y máxima diferencia han sido establecidos para peso unitario por apisonado de agregados de peso normal y tamaño máximo nominal de 25 mm (1") utilizando un recipiente de medida de 14 L(1/2 pie³) de capacidad.

- 8.1.2 Agregado fino (Peso Unitario)

- 8.1.2.1 Precisión para un sólo operador.- la desviación estándar ha sido establecida en 14 kg/m³ (0,88 lb/pie³). Los resultados de dos ensayos realizados por un sólo operador con el mismo material no deben diferir en más de 40 kg/m³ (2,5 lb/pie³).
- 8.1.2.2 Precisión multilaboratorio.- la desviación estándar ha sido establecida en 44 kg/m³ (2,76 lb/pie³) por lo que dos resultados realizados en dos diferentes laboratorios con el mismo material no deben diferir en más de 125 kg/m³ (7,8 lb/pie³).
- 8.1.2.3 Estos valores de precisión, desviación estándar y máxima diferencia han sido establecidos para peso unitario suelto utilizando un recipiente de medida de 2,8 L (1/10 pie³) de capacidad.
- 8.2 Dispersión

El procedimiento en este método de ensayo para medición de la densidad bulk y contenido de vacíos no tiene dispersión porque los valores pueden ser definidos sólo en términos de método de ensayo.

Tabla 1
Capacidad de recipientes de medida

Tamaño Máximo Nominal del Agregado		Capacidad de recipiente de medida ^D	
Mm	pulgadas	L(m ³)	Pie ³
12,5	½	2,8 (0,0028)	1/10
25,0	1	9,3 (0,0093)	1/3
37,5	1 ½	14,0 (0,014)	½
75,0	3	28,0 (0,028)	1
112,0	4 ½	70,0 (0,070)	2 ½
150,0	6	100,0 (0,100)	3 ½

Tabla 2
Requisitos para los recipientes de medida

Espesor del metal, mínimo			
Capacidad de recipiente de medida	Fondo	Sobre 1 ½ pulg ó 38 mm de pared ^{AE}	Espesor Adicional
Menos de 0,4 pie ³	0,20 pulg	0,10 pulg	0,10 pulg
De 0,4 pie ³ a 1,5 pie ³ , incluido	0,20 pulg	0,20 pulg	0,12 pulg
Sobre 1,5 a 2,8 pie ³ , incluido	0,40 pulg	0,25 pulg	0,15 pulg
Sobre 2,8 a 4,0 pie ³ , incluido	0,50 pulg	0,30 pulg	0,20 pulg
Menos de 11 L	5,0 mm	2,5 mm	2,5 mm
11 a 42 L, incluido	5,0 mm	5,0 mm	3,0 mm
Sobre 42 a 80 L, incluido	10,0 mm	6,4 mm	3,8 mm
Sobre 80 a 113 L, incluido	13,0 mm	7,6 mm	5,0 mm

^D La medida indicada será utilizada para ensayar agregados con Tamaño Máximo Nominal igual o menor.

^E El espesor adicional en la parte superior de la pared se puede obtener al colocar una banda de refuerzo alrededor de la parte superior del recipiente de medida.

Tabla 3
Densidad del agua

Temperatura		Kg/m ³	lb/pie ³
°C	°F		
15,6	60	999,01	62,366
18,3	65	998,54	62,336
21,1	70	997,97	62,301
23,0	73,4	997,54	62,274
23,9	75	997,32	62,261
26,7	80	996,59	62,216
29,4	85	995,83	62,166

Tabla 4
Datos de precisión para muestras de ensayo de 300 g y 500 g

Muestra aprovechable de agregado fino				En cada laboratorio		Interlaboratorio	
Resultado de ensayo	Tamaño de muestra	Nº de laboratorios	Promedio	1s	d2s	1s	d2s
AASHTO T-11/ASTM C-117	500 g	270	1,23	0,08	0,24	0,23	0,66
Material total que pasa el tamiz N° 200 por vía húmeda (%)	300 g	264	1,20	0,10	0,29	0,24	0,68

MTC E 204

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar por medio de una serie de tamices de abertura cuadrada la distribución de partículas de agregados grueso y fino en una muestra seca de peso conocido.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

Se aplica para determinar la gradación de materiales propuestos para uso como agregados o los que están siendo usados como tales. Los resultados serán usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos exigidos en la especificación técnica de la obra y proporcionar datos necesarios para el control de producción de agregados.

La determinación del material que pasa el tamiz de 75 μm (Nº 200) no se obtiene por este ensayo. El método de ensayo a emplear será: "Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 μm (Nº 200) por lavado" (MTC E 202).

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 400.012: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanzas: las balanzas usadas en el ensayo de agregados fino y grueso deben tener las siguientes características:

4.1.1.1 Para agregado fino, con aproximación de 0,1 g y sensibilidad a 0,1% del peso de la muestra que va a ser ensayada.

4.1.1.2 Para agregado grueso, con aproximación a 0,5 g y exactitud a 0,1% del peso de la muestra a ser ensayada.

4.1.2 Estufa: de tamaño adecuado y capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Tamices: tamices seleccionados de acuerdo con las especificaciones del material que va a ser ensayado.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Obtener la muestra de agregado de acuerdo a MTC E 201. El tamaño de la muestra de campo debe ser la cantidad indicada en este método.

5.2 Mezclar completamente la muestra y reducir para ensayo por cuarteo manual o mecánico. El agregado debe estar completamente mezclado y tener suficiente humedad para evitar la segregación y pérdida de finos. La muestra para ensayo debe tener la cantidad deseada cuando este seca y ser resultado final de reducción. No está permitido reducir a un peso exacto determinado.

5.3 Agregado fino: La cantidad de muestra de agregado fino, después de secado, debe ser de 300 g mínimo.

5.4 Agregado grueso. La cantidad de muestra de agregado grueso, después de secado, debe ser de acuerdo a lo establecido en la tabla 1.

Tabla 1
Cantidad mínima de muestra de agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal Abertura Cuadrada		Cantidad mínima de muestra de ensayo
mm	(pulg)	Kg
9,5	(3/8)	1
12,5	(1/2)	2
19,0	(3/4)	5
25,0	(1)	10
37,5	(1 1/2)	15
50,0	(2)	20
63,0	(2 1/2)	35
75,0	(3)	60
90,0	(3 1/2)	100
100,0	(4)	150
125,0	(5)	300

- 5.5 Mezclas de agregados grueso y fino: la muestra será separada en dos tamaños, por el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) y preparada de acuerdo con los numerales 5.3 y 5.4 respectivamente.
- 5.6 En caso se requiera determinar la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 µm (Nº 200), por el método de ensayo MTC E 202 se procede como sigue:
- 5.6.1 En agregados con tamaño máximo nominal de 12,5 mm (1/2") o menores utilizar la misma muestra de ensayo para MTC E 202 y este ensayo. Primero, ensayar la muestra de acuerdo con MTC E 202 completando operación de secado final y luego tamizar la muestra en seco como indica los numerales 6.2 hasta 6.8 del presente ensayo.
- 5.6.2 En agregados con tamaño máximo nominal mayor que 12,5 mm (1/2") se puede utilizar la misma muestra de ensayo como se describe en 6.1 o utilizar muestras por separado para MTC E 202 y este ensayo.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Secar la muestra a temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, hasta obtener peso constante.

Nota 1. Cuando se desea resultados rápidos, no es necesario secar el agregado grueso para el ensayo debido que el resultado es poco afectado por el contenido de humedad a menos que:

- El Tamaño Máximo nominal sea menor de 12 mm (1/2")
 - El agregado grueso tenga una cantidad apreciable de finos menos que el tamiz Nº 4,75 mm (Nº4).
 - El agregado grueso sea altamente absorbente (por ejemplo los agregados ligeros.)
 - Las muestras también se pueden secar a temperaturas altas usando planchas calientes sin que afecten resultados, si se mantienen los escapes de vapor sin generar presiones suficientes para fracturar las partículas y temperaturas que no sean mayores para causar rompimiento químico del agregado.
- 6.2 Seleccionar la serie de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material a ensayar. Encajar los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura, y colocar la muestra sobre el tamiz superior. Efectuar el tamizado de forma manual o por medio de un tamizador mecánico, durante un período adecuado.
- 6.3 Limitar la cantidad de material en un tamiz determinado, de forma que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz varias veces durante la operación del tamizado.

La cantidad retenida en tamices menores que 4,75 mm (Nº 4) cuando se complete la operación de tamizado, no debe ser mayor de 7 kg/m² de superficie tamizada.

Para tamices de 4,75 mm (Nº 4) y mayores, la cantidad retenida en kg por superficie tamizada no excederá el producto de 2,5 x abertura del tamiz (mm).

En ningún caso, la cantidad retenida debe ser mayor de modo que cause deformación permanente en la malla del tamiz.

Nota 2. La Cantidad de 7 kg/m² a 200g para el diámetro usual de 203 mm (8") con superficie efectiva de tamizado de 190,5 mm (7 1/2) de diámetro.

- 6.4 Prevenir sobrecarga de material sobre tamiz individual colocando un tamiz adicional con abertura intermedia entre el tamiz que va a ser sobrecargado y el tamiz inmediatamente superior en la disposición original de tamices; separando la muestra en dos o más porciones y tamizando cada porción; o utilizar tamices de mayor diámetro que provean mayor área de tamizado.
- 6.5 Continuar el tamizado por un período suficiente, de tal forma que después de terminado, no pase más del 1% de la cantidad en peso retenida en cada tamiz, durante un (1) minuto de tamizado manual como sigue: sostener individualmente cada tamiz, con su tapa y un fondo bien ajustado, con la mano en una posición ligeramente inclinada. Golpear el filo del tamiz, con un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto, girando el tamiz aproximadamente 1/6 de vuelta en cada intervalo de 25 golpes. Se considera satisfactorio el tamizado para tamaños mayores al tamiz de 4,75 mm (Nº 4), cuando el total de las partículas del material sobre la malla forme una capa simple de partículas. Si el tamaño de los tamices hace impracticable el movimiento de tamizado recomendado, utilizar el tamiz de 203 mm (8") de diámetro para comprobar la eficiencia del tamizado.
- 6.6 En el caso de mezclas de agregados grueso y fino, la porción de muestra más fina que el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) puede distribuirse entre dos o más juegos de tamices para prevenir sobrecarga de los tamices individuales.
- 6.7 Para partículas mayores de 75 mm (3"), el tamizado debe realizarse a mano, determinando la abertura del tamiz más pequeño por el que pasa la partícula.

Comenzar el ensayo con el tamiz de menor abertura a ser usado. Rotar las partículas si es necesario, con el fin de determinar si pasan a través de dicho tamiz; sin forzar para que pasen a través de éste.
- 6.8 Determinar el peso de la muestra retenido en cada tamiz, con una balanza que cumpla lo exigido en el numeral 5.1

El peso total del material después del tamizado, debe ser verificado con el peso original de la muestra ensayada. Si la cantidad difiere en más del 0.3% del peso seco original de la muestra, el resultado no debe ser usado con fines de aceptación.
- 6.9 Si la muestra fue ensayada previamente por el método descrito en MTC E 202, adicionar el peso del material más fino que la malla de 75 µm (Nº 200) determinado por método de tamizado seco.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcular el porcentaje que pasa, porcentaje total retenido, o porcentaje sobre cada tamiz con aproximación de 0,1% sobre la base del peso total de la muestra inicial seca. Si la muestra fue primero ensayada por el método MTC E 202, incluir el peso del material más fino que el tamiz de 75 µm (No. 200) por lavado en los cálculos de tamizado, y usar el total del peso de la muestra seca previamente lavada en el método mencionado, como base para calcular todos los porcentajes.

7.1.2 Cuando sea requerido, calcular el módulo de fineza, sumando los porcentajes retenidos, acumulados de cada una de los siguientes tamices y dividiendo la suma entre 100: 150 μm (Nº 100); 300 μm (Nº 50); 600 μm (Nº 30); 1,18 mm (Nº 16); 2,36 mm (Nº 8); 4,75 mm (Nº 4); 9,5 mm (3/8"); 19,0 mm (3/4"); 37,5 mm (1 1/2"); y mayores, incrementando en la relación de 2 a 1.

7.2 INFORME

7.2.1 Dependiendo de las especificaciones para uso del material que está siendo ensayado, el informe debe incluir:

7.2.1.1 Porcentaje total de material que pasa cada tamiz.

7.2.1.2 Porcentaje total de material retenido en cada tamiz, o

7.2.1.3 Porcentaje de material retenido entre dos tamices consecutivos.

7.2.2 Reportar los porcentajes en números enteros, excepto si el porcentaje que pasa tamiz de 75 μm (Nº 200) es menor del 10%, que se aproximará al 0,1% más cercano.

7.2.3 Cuando sea requerido, reportar el módulo de fineza con aproximación al 0,01.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 La estimación de precisión para este ensayo se muestra en la Tabla 2. Están basados sobre resultados del AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program con ensayos realizados los métodos ASTM C- 136 y AASHTO T- 27.

Los datos se basan en resultados de 65 a 233 laboratorios que ensayaron 18 pares de muestras de referencia de agregado grueso y de 74 a 222 laboratorios que ensayaron 17 pares de muestras de referencia de agregado fino (muestras 21 al 90), los valores de la tabla se dan para diferentes rangos del porcentaje total del agregado que pasa un tamiz.

8.1.2 Los valores de precisión para el agregado fino de la Tabla 2 se realizaron con 500 g de muestra de ensayo. La revisión del método en 1994 permitió reducir la muestra a un mínimo de 300 g. El análisis de los resultados de muestras de referencia con 300 g y 500 g, las muestras 99 y 100 produjeron los valores de precisión de la Tabla 3 que indican solo diferencias menores debido al tamaño de la muestra.

8.2 DISPERSION

8.2.1 En tanto no haya un material de referencia adecuado aceptado para determinar la dispersión en este ensayo, no se establecerá la dispersión.

Tabla 2
Precisión

	% total de material que pasa	Desviación estándar (1s), %^F	Rango aceptable de dos resultados (d2s), %^A
Agregado grueso^G			
Precisión de un operador	< 100 ≥ 95	0,32	0,9
	< 95 ≥ 85	0,81	2,3
	< 85 ≥ 80	1,34	3,8
	< 80 ≥ 60	2,35	6,4
	< 60 ≥ 20	1,32	3,7
	< 20 ≥ 15	0,96	2,7
	< 15 ≥ 10	1,00	2,8
	< 10 ≥ 5	0,75	2,1
	< 5 ≥ 2	0,33	1,5
< 2 > 0	0,27	0,8	
Precisión multilaboratorio	< 100 ≥ 95	0,35	1,0
	< 95 ≥ 85	1,37	3,9
	< 85 ≥ 80	1,92	5,4
	< 80 ≥ 60	2,82	8,0
	< 60 ≥ 20	1,97	5,6
	< 20 ≥ 15	1,60	4,5
	< 15 ≥ 10	1,48	4,2
	< 10 ≥ 5	1,22	3,4
	< 5 ≥ 2	1,04	3,0
< 2 > 0	0,45	1,3	
Agregado fino			
Precisión de un operador	< 100 ≥ 95	0,26	0,7
	< 95 ≥ 60	0,55	1,6
	< 60 ≥ 20	0,83	2,4
	< 20 ≥ 15	0,54	1,5
	< 15 ≥ 10	0,36	1,0
	< 10 ≥ 2	0,37	1,1
	< 2 > 0	0,14	0,4
Precisión multilaboratorio	< 100 ≥ 95	0,23	0,6
	< 95 ≥ 60	0,77	2,2
	< 60 ≥ 20	1,41	4,0
	< 20 ≥ 15	1,10	3,1
	< 15 ≥ 10	0,73	2,1
	< 10 ≥ 2	0,65	1,8
< 2 > 0	0,31	0,9	

^F Estos números representan, respectivamente los límites (1s) y (d2s) descritos en la norma ASTM C 670.

^G La estimación de la precisión se basa en agregados de tamaño máximo nominal de 19,0 mm (3/4").

Tabla 3
Precisión para muestras de ensayo de 300 g y 500 g

Muestra de referencia de agregado fino				En el laboratorio		Entre laboratorios	
Resultados de los ensayos	Cantidad de muestra	Número de laboratorios	Promedio	1s	d2s	1s	d2s
ASTM C - 136/ AASHTO T 27							
Material total que pasa tamiz N° 4 (%)	500 g	285	99,922	0,027	0,066	0,037	0,104
	300 g	276	99,990	0,021	0,060	0,042	0,117
Material total que pasa tamiz N° 8 (%)	500 g	281	84,10	0,43	1,21	0,63	1,76
	300 g	274	84,32	0,39	1,09	0,69	1,92
Material total que pasa tamiz N° 16 (%)	500 g	286	70,11	0,53	1,49	0,75	2,10
	300 g	272	70,00	0,62	1,74	0,76	2,12
Material total que pasa tamiz N° 30 (%)	500 g	287	48,54	0,75	2,10	1,33	3,73
	300 g	276	48,44	0,87	2,44	1,36	3,79
Material total que pasa tamiz N° 50 (%)	500 g	286	13,52	0,42	1,17	0,98	2,73
	300 g	275	13,51	0,45	1,25	0,99	2,76
Material total que pasa tamiz N° 100 (%)	500 g	287	2,55	0,15	0,42	0,37	1,03
	300 g	270	2,52	0,18	0,52	0,32	0,89
Material total que pasa tamiz N° 200 (%)	500 g	278	1,32	0,11	0,32	0,31	0,85
	300 g	266	1,30	0,14	0,39	0,31	0,85

MTC E 205

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado fino.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El peso específico (gravedad específica) es la característica generalmente usada para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregados incluyendo concreto de cemento Pórtland, concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas y analizadas en base al volumen. También es usado en el cálculo de vacíos en el agregado del ensayo MTC E 203.
- 2.2 El peso específico aparente y peso específico relativo aparente atañen al material sólido de las partículas constituyentes que no incluyen el espacio poroso dentro de ellas que es accesible al agua. Este valor no es ampliamente usado en la tecnología de agregados de construcción.
- 2.3 Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida entre los espacios de los poros entre las partículas constituyentes, comparado a la condición seca, cuando es estimado que el agregado ha estado en contacto con el agua lo suficiente para satisfacer la mayor absorción potencial.
- 2.4 Se aplica para determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y la absorción de agregado fino, a fin de usar estos valores tanto en el cálculo y corrección de diseños de mezclas, como en control de uniformidad de las características físicas.
- 2.5 No es aplicable para agregados ligeros por cuanto la inmersión en agua por 24 horas no asegura que los poros se llenen completamente, lo cual es un requisito necesario para poder aplicar el ensayo eficientemente.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 400.022: Peso Específico y absorción del agregado Fino.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza, con capacidad mínima de 1 000 g o más y sensibilidad de 0,1 g.
- 4.1.2 Estufa, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Frasco volumétrico de 500 cm³ de capacidad, calibrado hasta 0,1 cm³ a 20 °C.
- 4.2.2 Molde cónico, metálico de 40 ± 3 mm de diámetro interior en su base menor, 90 ± 3 mm de diámetro interior en una base mayor y 75 ± 3 mm de altura.
- 4.2.3 Varilla para apisonado, metálica, recta, con un peso de 340 ± 15 g y terminada en un extremo en una superficie circular plana para el apisonado, de 25 ± 3 mm de diámetro.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Muestrear el agregado de acuerdo con la MTC E 201. Mezclar uniformemente y reducir por cuarteo hasta obtener un espécimen de ensayo de aproximadamente 1 kg.

- 5.2 Colocar el agregado fino obtenido por cuarteo y secado a peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C en un recipiente y cubrir con agua dejando reposar durante 24 horas. Decantar el agua evitando pérdida de finos y extender el agregado sobre una superficie plana expuesta a una corriente de aire tibio y remover frecuentemente para el secado uniforme, hasta que las partículas del agregado no se adhieran marcadamente entre sí. Colocar en el molde cónico y golpear la superficie suavemente 25 veces con la varilla para apisonado y levantar luego el molde. Si existe humedad libre el cono de agregado fino mantiene su forma. Seguir secando, revolver constantemente y probar hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde, lo que indica que el agregado fino alcanzó una condición de superficie seca.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Introducir en el frasco una muestra de 500 g de material preparado, llenar parcialmente con agua a una temperatura de 23 ± 2 °C hasta alcanzar la marca de 500 cm³. Agitar el frasco para eliminar burbujas de aire de manera manual o mecánicamente.
- 6.2 Manualmente rodar, invertir y agitar el frasco para eliminar todas las burbujas de aire.
- Nota 1.** Cerca de 15 a 20 minutos son normalmente requeridos para eliminar las burbujas de aire por método manual.
- 6.3 Mecánicamente, extraer las burbujas de aire por medio de una vibración externa de manera que no degrade la muestra.
- 6.4 Después de eliminar las burbujas de aire, ajustar la temperatura del frasco y su contenido a 23 ± 2 °C y llenar el frasco hasta la capacidad calibrada. Determinar el peso total del frasco, espécimen y agua.
- 6.5 Remover el agregado fino del frasco, secar en la estufa hasta peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C, enfriar a temperatura ambiente por ½ a 1 ½ hora y determinar el peso.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Peso específico de masa (Pe_m):

$$Pe_m = \frac{W_0}{(V - V_a)} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

- Pe_m = Peso específico de masa
 W_0 = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, g;
 V = Volumen del frasco en cm³
 V_a = Peso en gramos o volumen en cm³ de agua añadida al frasco.

- 7.1.2 Peso específico de masa saturado con superficie seca (Pe_{sss})

$$Pe_{sss} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100 \quad (2)$$

- 7.1.3 Peso específico aparente (Pe_a)

$$Pe_a = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)} \times 100 \quad (3)$$

- 7.1.4 Absorción (Ab)

$$A_b = \frac{500 - W_0}{W_0} \times 100 \quad (4)$$

7.2 INFORME

7.2.1 Reportar el resultado del peso específico con aproximación a 0,01 e indicar el tipo de peso específico, ya sea de masa, saturado superficialmente seco o aparente.

7.2.2 Reportar el resultado de absorción con aproximación a 0,1%

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

Las estimaciones de precisión de este método de ensayo (tabla 1) están basadas en resultados del AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program, con ensayos conducidos por métodos de ensayo ASTM C- 128 y AASHTO T84. La diferencia significativa entre los métodos es que el método ASTM C 128 requiere un período de saturación de 24 ± 4 horas, y el método AASHTO T 84 requiere un período de saturación de 15 a 19 horas. Esta diferencia se ha hallado que tiene un efecto insignificante sobre índices de precisión. Los datos están basados sobre el análisis de más de 100 pares de resultados de ensayos de 40 a 100 laboratorios. Las estimaciones de precisión para densidad fueron calculadas de valores determinados para densidad relativa (gravedad específica), usando la densidad del agua a 23 °C para la conversión.

Tabla 1 -Precisión

	Desviación estándar (1s) ^H	Rango aceptable de dos resultados (d2s)
Precisión de un solo operador		
Densidad (OD) kg/m ³	11	13
Densidad (SSD) kg/m ³	9,5	27
Densidad aparente, kg/m ³	9,5	27
Densidad relativa (gravedad específica) (OD)	0,011	0,032
Densidad relativa (gravedad específica) (SSD)	0,0095	0,027
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0,0095	0,31
Absorción ^I , %	0,11	0,31
Precisión Multilaboratorio		
Densidad (OD) kg/m ³	23	64
Densidad (SSD) kg/m ³	20	56
Densidad aparente, kg/m ³	20	56
Densidad relativa (gravedad específica) (OD)	0,023	0,066
Densidad relativa (gravedad específica) (SSD)	0,020	0,056
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0,020	0,056
Absorción ^C , %	0,23	0,56

8.2 DISPERSION

Dado que no es aceptado un material de referencia disponible para la determinación de la dispersión por este método de ensayo, el establecimiento de dispersión no está hecho.

^H Estos números representan respectivamente los límites (1s) y (d2s) como se describen en Practica C 670. Las estimaciones de precisión fueron obtenidas del análisis de la data de muestras de AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency de laboratorios usando 15 a 19 horas de tiempo de saturación y otros laboratorios usando 24 ± 4 horas de tiempo de saturación. Los ensayos fueron desarrollados sobre agregados de peso normal, y establecidos con agregados en una condición secos al horno.

^I Estimaciones de precisión están basadas sobre agregados con absorciones de menos de 1% y pueden diferir para agregados finos manufacturados y agregados que tienen valores de absorción mayores que 1%.

MTC E 206

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer un procedimiento para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción (después de 24 horas) del agregado grueso. El peso específico saturado con superficie seca y la absorción están basadas en agregados remojados en agua después de 24 horas. Este modo operativo no es aplicable para agregados ligeros.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Una muestra de agregado se sumerge en agua por 24 horas aproximadamente para llenar los poros esencialmente. Luego se retira del agua, se seca el agua de la superficie de las partículas, y se pesa. La muestra se pesa posteriormente mientras es sumergida en agua. Finalmente la muestra es secada al horno y se pesa una tercera vez. Usando los pesos así obtenidos y fórmulas en este modo operativo, es posible calcular tres tipos de peso específico y de absorción.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 400.021: Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.

4.0 EQUIPOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza: Sensible a 0,5 g y con capacidad de 5 000 g ó más. La balanza estará equipada con un dispositivo capaz de suspender la muestra en la cesta con malla de alambre en el recipiente con agua desde el centro de la plataforma de pesado.
- 4.1.2 Cesta con malla de alambre: Con abertura correspondiente al tamiz N° 6 o abertura menor, también se puede utilizar un recipiente de aproximadamente igual ancho y altura con capacidad de 4 a 7 L para tamaños máximos nominales de 37,5 mm (1 ½ pulg) o menores, y un cesto más grande como sea necesario para ensayar agregados con tamaños máximos mayores. El cesto deberá ser construido de tal forma de prevenir el aire atrapado cuando esté sumergido.
- 4.1.3 Depósito de agua: Un depósito estanco adecuado para sumergir la cesta de alambre en el agua y un dispositivo para suspenderla del centro de la escala de la balanza.
- 4.1.4 Tamices: Un tamiz normalizado de 4,75 mm (N° 4) o de otros tamaños como sean necesarios, de acuerdo a la N.T.P. 350.001.
- 4.1.5 Estufa: Una estufa capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C

5.0 MUESTRA

- 5.1 Se seleccionará la muestra siguiendo el modo operativo MTC E 201.
- 5.2 Mezclar la muestra y reducirla aproximadamente a la cantidad necesaria usando el procedimiento descrito en la ASTM C 702. Descartar todo el material que pase el tamiz 4,75 mm (N° 4) por tamizado seco y luego lavar el material para remover polvo u otras impurezas superficiales. Si el agregado grueso contiene cantidades importantes de material más fino que el tamiz 4,75 mm (N° 4) (tales como tamaños N° 8 y 9 considerados en la Clasificación de la ASTM D 448), usar el tamiz 2,36 mm (N° 8) en vez del tamiz 4,75 mm (N° 4). Alternativamente, separar el material más fino que el tamiz 4,75 mm y ensayarlo de acuerdo al Modo Operativo E 205.
- 5.3 El peso mínimo de la muestra de ensayo que será usado se presenta en la Tabla 1.

TABLA 1
Peso mínimo de la muestra de ensayo

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	5 (11)
50,0 (2)	8 (18)
63,0 (2 ½)	12 (26)
75,0 (3)	18 (40)
90,0 (3 ½)	25 (55)
100,0 (4)	40 (88)
112,0 (4 ½)	50 (110)
125,0 (5)	75 (165)
150,0 (6)	125 (276)

- 5.4 Si la muestra es ensayada en dos o más fracciones de tamaños, determinar la gradación de la muestra de acuerdo con lo indicado en el Modo Operativo MTC E 204.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Secar la muestra a peso constante, a una temperatura de $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$, ventilar en lugar fresco a temperatura ambiente de 1 a 3 horas para muestras de ensayo de tamaños máximos nominales de 37,5 mm (1 ½ pulg) o mayores para tamaños más grandes hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente 50 °C). Inmediatamente sumergir el agregado en agua a una temperatura ambiente por un período de $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$.

Nota 1. Cuando se ensaya agregado grueso de tamaños máximos nominales mayores, sería conveniente realizar el ensayo en dos o más sub muestras, y los valores obtenidos combinarlos por cómputo.

- 6.2 Cuando los valores de peso específico y la absorción van a ser usados en proporcionamiento de mezclas de hormigón (concreto) en los cuales los agregados van a ser usados en su condición natural de humedad, el requerimiento inicial de secado a peso constante puede ser eliminada y, si las superficies de las partículas de la muestra van a ser mantenidas continuamente húmedas antes de ensayo, el remojo de 24 h puede ser eliminado.
- 6.3 Remover la muestra del agua y hacerla rodar sobre un paño grande y absorbente, hasta hacer desaparecer toda película de agua visible, aunque la superficie de las partículas aún parezca húmeda. Secar separadamente en fragmentos más grandes. Se debe tener cuidado en evitar la evaporación durante la operación del secado de la superficie. Se obtiene el peso de la muestra bajo la condición de saturación con superficie seca. Se determina éste y todos los demás pesos con aproximación de 0,5 g o al 0,05% del peso de la muestra, la que sea mayor.
- 6.4 Después de pesar, se coloca de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y se determina su peso en agua a una temperatura entre $23\text{ °C} \pm 1,7\text{ °C}$, densidad $997 \pm 2\text{ kg/m}^3$. Tener cuidado de remover todo el aire atrapado antes del pesado sacudiendo el recipiente mientras se sumerge.
- 6.5 Secar la muestra hasta peso constante, a una temperatura entre $100\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ y se deja enfriar hasta la temperatura ambiente, durante 1 a 3 h o hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente 50 °C) y se pesa.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Peso Específico:

a) Peso Específico de masa (P_{em})

$$P_{em} = \frac{A}{(B - C)} \times 100$$

Donde:

- A = Peso de la muestra seca en el aire, gramos;
- B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos;
- C = Peso en el agua de la muestra saturada.

b) Peso específico de masa saturada con superficie seca (P_{eSSS})

$$P_{eSSS} = \frac{B}{(B - C)} \times 100$$

c) Peso específico aparente (P_{ea})

$$P_{ea} = \frac{A}{(A - C)} \times 100$$

7.1.1 Absorción (A_b)

$$A_b(\%) = \frac{(B - A)}{A} \times 100$$

7.2 INFORME

7.2.1 Informar el resultado del peso específico con aproximación a 0,01, e indicar el tipo de peso específico, ya sea de masa, saturado superficialmente seco o aparente.

7.2.2 Informar el resultado de absorción con aproximación a 0,1 %.

7.2.3 Si los valores de peso específico y absorción fueron determinados sin el primer secado del agregado, como se permite en el apartado 6.2, será notificado en el reporte.

MTC E 207.**ABRASION LOS ANGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS GREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37,5 mm (1 ½")****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer el procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños menores que 37,5 mm (1 ½") para determinar la resistencia a la degradación utilizando la Máquina de Los Ángeles.

Nota 1. En el Anexo se presenta un procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños mayores que 19,0 mm (3/4 pulg).

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este Modo Operativo es una medida de la degradación de agregados minerales de gradaciones normalizadas resultantes de una combinación de acciones, las cuales incluyen abrasión o desgaste, impacto y trituración, en un tambor de acero en rotación que contiene un número especificado de esferas de acero, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo. Al rotar el tambor, la muestra y las bolas de acero son recogidas por una pestaña de acero transportándolas hasta que son arrojadas al lado opuesto del tambor, creando un efecto de trituración por impacto. Este ciclo es repetido mientras el tambor gira con su contenido. Luego de un número de revoluciones establecido, el agregado es retirado del tambor y tamizado para medir su degradación como porcentaje de pérdida.
- 2.2 Los valores están establecidos en unidades del Sistema Internacional y serán considerados como estándar.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 400.019: Agregados. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Ángeles.

4.0 EQUIPOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Máquina de Los Ángeles: La Máquina de Los Ángeles tendrá las características esenciales que se muestran en la Figura 1 (Anexo A). La máquina consistirá en un cilindro hueco de acero, cerrado en ambos extremos, de dimensiones mostradas en la Figura 1, con un diámetro interior de 711 mm ± 5 mm (28 pulg ± 0,2 pulg) y una longitud interior de 508 mm ± 5 mm (20 pulg ± 0,2 pulg). El cilindro será montado sobre ejes salientes de sus costados, no pasantes, de tal manera que pueda rotar con el eje en posición horizontal, con una tolerancia en la inclinación de 1 en 100. El cilindro debe tener una abertura para la introducción de la muestra de ensayo. Tiene una cubierta hermética al polvo y provista de medios para atornillarla en su lugar. El cobertor también será diseñado para mantener el contorno cilíndrico de la superficie interior. Una pestaña removible de acero, que abarque toda la longitud del cilindro y se proyecte radialmente hacia adentro 89 mm ± 2 mm (3,5 pulg ± 0,1 pulg), será montada en el interior de la superficie cilíndrica del cilindro, de tal manera que un plano centrado en la cara mayor coincida con un plano axial. La pestaña deberá ser de 25,4 mm de espesor y montada por tornillos u otros medios de tal modo que quede firme y rígida. La localización de la pestaña se hará de tal manera que la muestra y las esferas de acero no impacten en las cercanías de la abertura y su cubierta; y, la distancia desde la pestaña hasta la abertura, medida a lo largo de la circunferencia del exterior del cilindro en la dirección de rotación, no será menor de 1 270 mm (50 pulg). Inspeccionar periódicamente la pestaña para determinar que no está inclinada a lo largo o desde su posición normal radial con respecto al cilindro. Si se encuentra una de estas condiciones, repare o reemplace la pestaña antes de realizar futuros ensayos.

Nota 2. Es preferible el uso de una pestaña de acero resistente al desgaste de sección rectangular y montada independientemente de la cubierta. No obstante se puede utilizar una pestaña que consiste en una sección de perfil angular laminado, apropiadamente montada en el interior del plato cobertor, provisto que la dirección de rotación es tal que la carga sea recogida sobre la cara exterior del ángulo.

4.1.1.1 La máquina deberá ser impulsada y equilibrada como para mantener una velocidad periférica uniforme (Nota 3). Si se utiliza un ángulo como pestaña, la dirección de rotación deberá ser tal que la carga sea recogida sobre la cara exterior del ángulo.

Nota 3. Una pérdida de carrera en el mecanismo de impulsión puede arrojar resultados que no sean reproducidos por otra Máquina de Los Ángeles con velocidad periférica constante.

4.1.2 Tamices: Conforme con la NTP 350.001.

4.1.3 Balanza: Una balanza o báscula con exactitud al 0,1 % de la carga de ensayo sobre el rango requerido para este ensayo.

4.1.4 Carga: La carga consistirá en esferas de acero de aproximadamente 46,8 mm (1 27/32 pulg) de diámetro y cada una tendrá una masa entre 390 g y 445 g.

4.1.4.1 La carga, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo como se describe en el Item 5, será como sigue:

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

Nota 4. Podrá utilizarse cojinetes de bola de 46,00 mm (1 13/16 pulg) y 47,6 mm (1 7/8 pulg) de diámetro, cada una con una masa de aproximadamente de 400 g y 440 g, respectivamente. Podrán utilizarse también esferas de acero de 46,8 mm (1 27/32 pulg) de diámetro con una masa de aproximadamente 420 g. La carga podrá consistir en una mezcla de estas medidas conforme a las tolerancias de masa indicadas en los apartados 4.1.4 y 4.1.4.1.

5.0 MUESTRA

5.1 Lavar y secar al horno la muestra reducida a peso constante, a 110 ± 5 °C (véase apartado 6.2), separar cada fracción individual y recombinar a la gradación de la Tabla 1, lo más cercano correspondiendo al rango de medidas en el agregado como conforme para el trabajo. Registrar la masa de la muestra previamente al ensayo con aproximación a 1 g.

Tabla 1
Gradación de las muestras de ensayo

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 1/2")	25,0 mm (1")	1 250 ± 25	-.-	-.-	-.-
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1 250 ± 25	-.-	-.-	-.-
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-.-	-.-
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-.-	-.-
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	-.-	-.-	2 500 ± 10	-.-
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (Nº 4)	-.-	-.-	2 500 ± 10	-.-
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)	-.-	-.-		5 000
TOTAL		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

- 5.2 Se obtendrá una muestra de campo de acuerdo con MTC E 201 y se reducirá a un tamaño adecuado de acuerdo con la ASTM C 702.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Colocar la muestra de ensayo y la carga en la máquina de Los Ángeles y rotarla a una velocidad entre 30 rpm a 33rpm, por 500 revoluciones. Luego del número prescrito de revoluciones, descargar el material de la máquina y realizar una separación preliminar de la muestra, sobre el tamiz normalizado de 1,70 mm (Nº 12). Tamizar la porción más fina que 1,70 mm conforme al Modo Operativo MTC E 204. Lavar el material más grueso que la malla de 1,70 mm y secar al horno a 110 ± 5 °C, hasta peso constante (véase el apartado 6.2) y determinar la masa con una aproximación a 1 g (Nota 6).

- 6.2 Si el agregado está esencialmente libre de revestimiento y polvo el requerimiento de lavado puede ser obviado, pero siempre se requiere secar antes del ensayo. Por lo tanto, en el caso del ensayo de arbitraje se efectuará el lavado.

Nota 5. La eliminación del lavado después del ensayo raramente reducirá las pérdidas de medida en más de 0,2 % de la masa original de la muestra.

Nota 6. Información válida sobre la uniformidad de la muestra de ensayo podrá obtenerse por la determinación de la pérdida luego de 100 revoluciones. Esta pérdida podría ser determinada sin lavado del material más grueso que el tamiz normalizado de 1,70 mm (Nº 12). La relación de la pérdida después de 100 revoluciones frente a la pérdida luego de 500 revoluciones no excedería mayormente 0,20 para material de dureza uniforme. Cuando se realiza esta determinación, tener cuidado de evitar pérdida de alguna parte de la muestra, retornar la muestra entera incluyendo el polvo de la fractura, a la máquina de ensayo para las 400 revoluciones finales requeridas para completar el ensayo.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.2 Calcular la pérdida (diferencia entre la masa inicial y final de la muestra) como un porcentaje de la masa original de la muestra de ensayo. Informar este valor como el porcentaje de pérdida.

Nota 7. El porcentaje de pérdida determinado por éste método no tiene una relación consistente conocida con el porcentaje de pérdida del mismo material cuando se determina por el Modo Operativo MTC E 207: Anexo.

7.2 INFORME

- 7.2.1 Proporcionar la siguiente información:

- Identificación del agregado como fuente, tipo y tamaño nominal máximo.
- Gradación de acuerdo con la Tabla 1, utilizada para el ensayo; y
- Pérdida por abrasión e impacto de la muestra, expresada con aproximación al 1 % por masa.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION.

Para tamaño máximo nominal de agregado grueso de 19,0 mm (3/4 pulg), con porcentajes de pérdida en el rango de 10 % a 45 %, el coeficiente de variación multilaboratorio ha sido establecido en 4,5 %. Luego, los resultados de dos ensayos efectuados por dos laboratorios diferentes con muestra del mismo agregado grueso, no diferirán en más de 12,7 % de su promedio. El coeficiente de variación para un mismo operador ha sido establecido en 2%. Luego, los resultados de dos ensayos efectuados por el mismo operador con muestras del mismo agregado grueso, no diferirán en más de 5,7 % de su promedio.

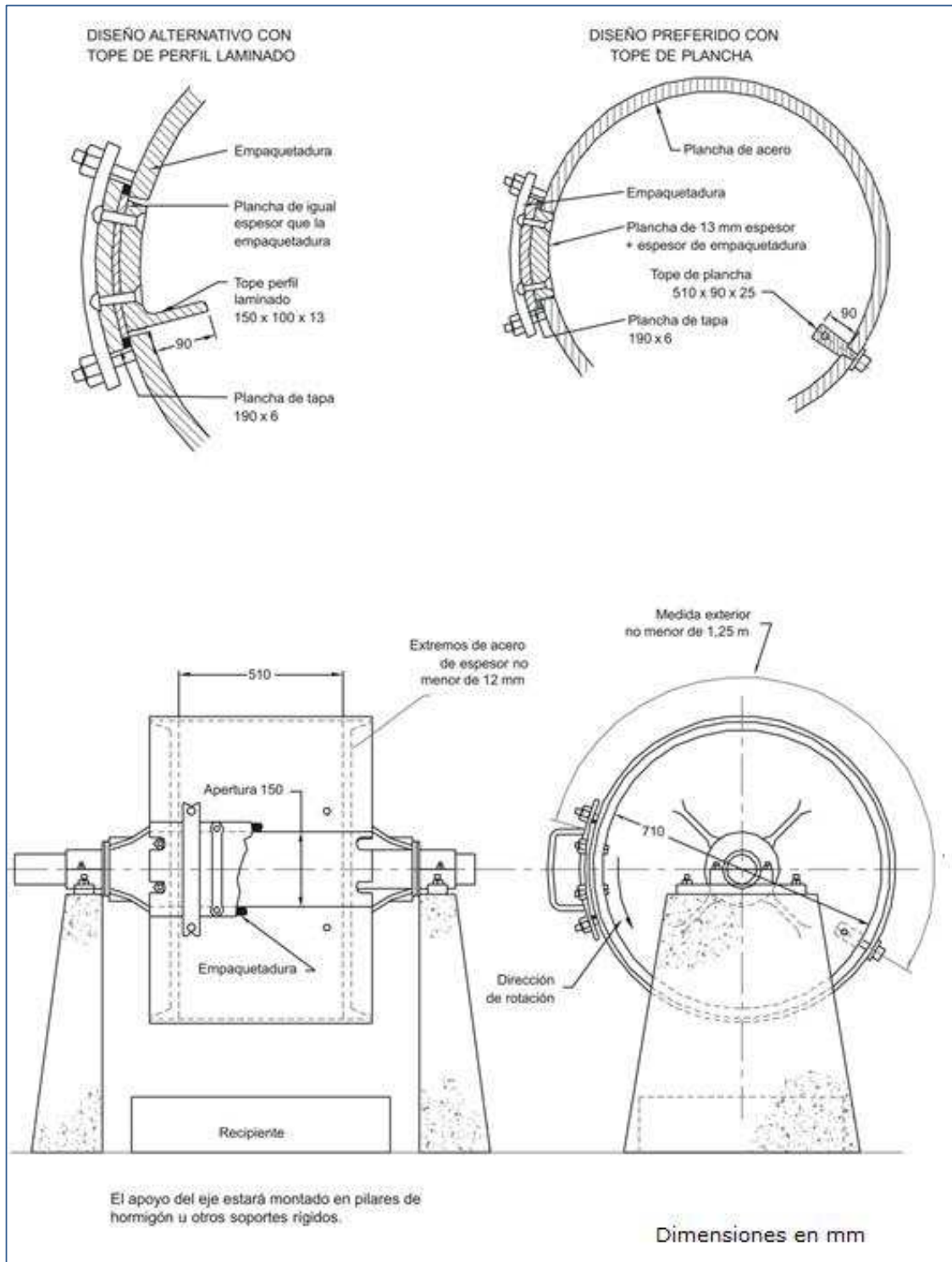


Figura 1. Máquina de ensayo de abrasión Los Ángeles

**ANEXO A****(INFORMATIVO)****MANTENIMIENTO DE LA PESTAÑA**

- A.1 La pestaña de la máquina de Los Ángeles está sujeta a severo desgaste superficial e impacto. Con el uso, la superficie de trabajo de la pestaña es martillada por las esferas y tiende a desarrollar resaltes paralelos como de 32 mm (1 ¼ pulg) en la conexión de la pestaña y la superficie interior del cilindro. Si la pestaña es hecha de perfil angular laminado, no solamente puede desarrollar estos canales sino la pestaña misma puede ser curvada longitudinal o transversalmente de su posición propia.
- A.2 La pestaña deberá ser inspeccionada periódicamente para determinar que no está curvada longitudinalmente o de su posición radial normal con respecto al cilindro. Si se encuentra algunas de estas condiciones, la pestaña deberá ser separada o reemplazada antes de realizar nuevos ensayos. La influencia sobre los resultados del ensayo del resalte desarrollado mediante el martilleo de la cara de trabajo de la pestaña no se conoce. No obstante, para condiciones uniformes de ensayo, se recomienda que los resaltes no sobrepasen 2 mm (0,1 pulg) en su altura.



ANEXO B

(INFORMATIVO)

- B.1 La pestaña de la máquina de Los Ángeles está sujeta a severo desgaste superficial e impacto. Con el uso, la superficie de trabajo de la pestaña es martillada por las esferas y tiende a desarrollar resaltes paralelos acerca de 32 mm (1 ¼ pulg) en la conexión de la pestaña y la superficie interior del cilindro. Si la pestaña es hecha de perfil angular laminado, no solamente puede desarrollar estos canales sino la pestaña misma puede ser curvada longitudinal o transversalmente de su posición propia.
- B.2 La pestaña deberá ser inspeccionada periódicamente para determinar que no está curvada longitudinalmente o de su posición radial normal con respecto al cilindro. Si se encuentra alguna de estas condiciones, la pestaña deberá ser separada o reemplazada antes de realizar nuevos ensayos. La influencia sobre los resultados del ensayo del resalte desarrollado mediante el martilleo de la cara de trabajo de la pestaña no se conoce, Luego, para condiciones uniformes del ensayo, se recomienda que los resaltes no sobrepasen 2 mm (0,1 pulg) en su altura.

ANEXO C

RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MAYORES DE 19 mm (3/4") POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer los procedimientos para ensayar agregados gruesos de tamaño grande mayores que 19,0 mm (3/4 pulg), para determinar la resistencia a la degradación utilizando la Máquina de Los Ángeles.

Nota 1. En el Modo Operativo E 207 se presenta un procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños menores que 37,5 mm (1 ½ pulg).

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este Modo Operativo es una medida de la degradación de agregados minerales de gradaciones normalizadas resultantes de una combinación de acciones, las cuales incluyen abrasión o desgaste, impacto y trituración, en un tambor de acero en rotación que contiene 12 esferas de acero, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo. Al rotar el tambor, la muestra y las bolas de acero son recogidas por una pestaña de acero transportándolas hasta que son arrojadas al lado opuesto del tambor, creando un efecto de trituración por impacto. Este ciclo es repetido mientras el tambor gira con su contenido. Luego de un número de revoluciones establecido, el agregado es retirado del tambor y tamizado para medir su degradación como porcentaje de pérdida.
- 2.2 Los valores están establecidos en unidades del Sistema Internacional y serán considerados como estándar.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 400.020: Agregados, Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaño grande por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Ángeles.

4.0 EQUIPOS

- 4.1 EQUIPOS
- 4.1.1 Máquina de Los Ángeles: La Máquina de Los Ángeles tendrá las características esenciales que se indican en el Modo Operativo MTC E 207.
- 4.1.1.1 La operación y mantenimiento de la máquina se realizarán de acuerdo con lo prescrito en el Modo Operativo MTC E 207.
- 4.1.2 Tamices: Conforme con la NTP 350.001.
- 4.1.3 Balanza: Una balanza o báscula con exactitud al 0,1 % de la carga de ensayo sobre el rango requerido para este ensayo.
- 4.1.4 Carga: La carga consistirá en 12 esferas de acero de aproximadamente 47,0 mm (1 27/32 pulg) de diámetro y cada una tendrá una masa entre 390 g y 445 g; y con una masa total de $5\,000 \pm 25$ g.

Nota 2. Podrá utilizarse cojinetes de bola de 46,038 mm (1 13/16 pulg) y 47,625 mm (1 7/8 pulg) de diámetro, cada una con una masa de aproximadamente 400 g y 440g respectivamente. Podrán utilizarse también esferas de acero de 46,8 mm (1 27/32 pulg) de diámetro, con una masa de aproximadamente 420 g. La carga podrá consistir en una mezcla de estas medidas conforme a las tolerancias de la masa total indicada en el apartado 4.1.4.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Lavar y secar al horno la muestra reducida a peso constante, a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (véase apartado 6.1), separar cada fracción individual y recombinar a la gradación de la Tabla 1, lo más cercano en relación al rango de medidas que presenta el agregado para ser utilizadas en el trabajo. Registrar la masa de la muestra previamente al ensayo con aproximación a 1 g.

Tabla 1
Gradación de las muestras de ensayo

Tamaño de tamiz mm (pulg) (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g		
Que pasa	Retenido sobre	Gradación		
		1	2	3
75 (3)	63 (2 ½)	2 500 ± 50	-.-	
63 (2 ½)	50 (2)	2 500 ± 50	-.-	-.-
50 (2)	37,5 (1 ½)	5 000 ± 50	5 000 ± 50	-.-
37,5 (1 ½)	25,0 (1)	-.-	5 000 ± 25	5 000 ± 25
25,0 (1)	19,0 (3/4)	-.-	-.-	5 000 ± 25
TOTAL		10 000 ± 100	10 000 ± 75	10 000 ± 50

5.2 Se obtendrá una muestra de campo de acuerdo con MTC E 201 y se reducirá a un tamaño adecuado de acuerdo con la ASTM C 702.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Colocar la muestra de ensayo y la carga en la máquina de Los Ángeles y rotarla a una velocidad entre 30 rpm a 33 rpm, por 1 000 revoluciones. Luego del número prescrito de revoluciones, descargar el material de la máquina y realizar una separación preliminar de la muestra, sobre el tamiz normalizado de 1,70 mm (Nº 12). Tamizar la porción más fina que 1,70 mm conforme al Modo Operativo MTC E-204. Lavar el material mayor que de 1,70 mm (véase Nota 3) y secar al horno a 110 ± 5 °C, a peso constante y determinar la masa con aproximación a 1 g (Nota 3).

6.1.1 Si el agregado está esencialmente libre de revestimiento y polvo el requerimiento de lavado puede ser obviado, pero siempre se requiere secar antes del ensayo. Por lo tanto, en el caso del ensayo de arbitraje se efectuará el lavado. La eliminación del lavado después del ensayo raramente reducirá las pérdidas de medida en más de 0,2 % de la masa original de la muestra.

Nota 3. Información válida sobre la uniformidad de la muestra de ensayo podrá obtenerse por la determinación de la pérdida luego de 200 revoluciones. Esta pérdida podría ser determinada sin lavado del material más grueso que el tamiz normalizado de 1,70 mm (Nº 12). La relación de la pérdida después de 200 revoluciones frente a la pérdida luego de 1 000 revoluciones no excedería mayormente 0,20 para material de dureza uniforme. Cuando se realiza esta determinación, tener cuidado de evitar pérdida de alguna parte de la muestra, retornar la muestra entera incluyendo el polvo de la fractura a la máquina de ensayo para las 800 revoluciones finales requeridas para completar el ensayo.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Calcular la pérdida (diferencia entre la masa inicial y final de la muestra) como un porcentaje de la masa original de la muestra de ensayo. Informar este valor como el porcentaje de pérdida.

Nota 4. El porcentaje de pérdida determinado por éste método no tiene una relación consistente conocida con el porcentaje de pérdida del mismo material cuando se determina por el Modo Operativo MTC E 207: Anexo.

7.2 INFORME

7.2.1 Proporcionar la siguiente información:

- Identificación del agregado como fuente, tipo y medida nominal.
- Gradación de la Tabla 1, utilizada para el ensayo; y
- Pérdida por abrasión e impacto de la muestra, expresada con aproximación al 1 % por masa.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION.-La precisión para este método no ha sido determinada. Se espera que sea comparable con el Modo Operativo MTC E 207.

MTC E 208

INDICE DE FORMA Y DE TEXTURA DE AGREGADOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el índice de partícula del agregado como una medida general de sus características de forma y textura.

Nota 1. Se sugiere este procedimiento para ensayar agregados con un tamaño máximo de 19,0 mm (3/4"). Cuando se ensayen agregados con partículas superiores a este tamaño, deberá usarse un molde más grande, con la misma relación entre el diámetro y la altura y aplicarse una energía de compactación por capa apisonada aumentada proporcionalmente al incremento del área transversal del molde.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este Modo Operativo proporciona un valor índice para las características relativas de la forma y textura de las partículas del agregado. Este valor es una medida cuantitativa de aquellas características de la forma y de textura que pueden afectar el desempeño de mezclas para vías y pavimentos. El método ha sido usado exitosamente para indicar los efectos de estas características sobre la compactación y la resistencia de las mezclas de suelo-agregado y de concreto asfáltico.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 3398: Standard Test Method for Index of Aggregate Particle Shape and Texture.

4.0 EQUIPOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Molde Cilíndricos. Con un diámetro interior de $152,40 \pm 0,13$ mm ($6,0 \pm 0,005$ ") y una altura interior de $177,80 \pm 0,13$ mm ($7,0 \pm 0,005$ "), como se muestra en la Figura 1. El molde debe ser metálico, con un espesor mínimo de pared de 6,1 mm (0,24") y debe tener suficiente rigidez para conservar su forma bajo trabajo pesado.

Nota 2. El molde especificado en el método D de la norma MTC E 132-2013 (CBR de laboratorio), tiene el mismo tamaño.

Nota 3. Para el ensayo de fracciones finas del agregado, por debajo del tamiz de 4,75 mm (Nº 4) puede, en ciertas circunstancias, ser apropiado usar un molde más pequeño, con una relación similar de diámetro-altura y una energía de compactación por capa, disminuida proporcionalmente al área transversal del molde.

- 4.1.2 Varilla apisonadora. Recta, de acero, de sección circular con un diámetro de $15,88 \pm 0,25$ mm ($0,5/85 \pm 0,010$ ") y con una longitud de aproximadamente 610 mm (24"). Uno de sus extremos deberá ser semiesférico.
- 4.1.3 Balanza. De al menos 15 kg de capacidad, con sensibilidad de 2 g o menos.

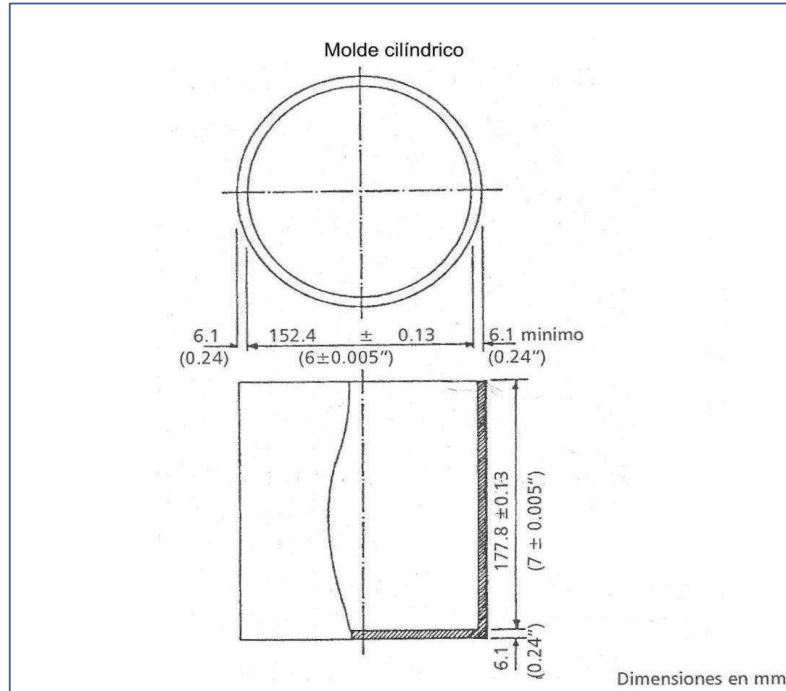


Figura 1. Molde cilíndrico

4.1.4 Calibración del Molde

- 4.1.4.1 Determinése el volumen del molde en mL, como se describe en los numerales siguientes, al menos dos veces para usar el promedio, en los cálculos del porcentaje de vacíos del numeral 7.1.1.2.
- 4.1.4.2 Llene el molde con agua a la temperatura ambiente y cúbralo con una placa de vidrio, de tal manera que se eliminen las burbujas y el agua de exceso.
- 4.1.4.3 Determine el peso neto del agua en el molde, con una precisión de 4 g o menos.
- 4.1.4.4 Mida la temperatura del agua y determine el volumen del molde multiplicando el peso neto del agua por el volumen específico del agua, dado en la Tabla 1 para la temperatura medida.

**Tabla 1
Volumen específico del agua a diferentes temperaturas**

Temperatura °C (°F)	Volumen específico mL/g
12 (54)	1,0005
14 (57)	1,0007
16 (61)	1,0010
18 (64)	1,0014
20 (68)	1,0018
22 (72)	1,0022
24 (75)	1,0027
26 (79)	1,0032
28 (82)	1,0038
30 (86)	1,0044
32 (90)	1,0050

5.0 MUESTRA

- 5.1 Tome la muestra de ensayo del agregado de acuerdo con la norma MTC E201-2013 "Muestreo de materiales", y redúzcalo hasta un tamaño apropiado.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Obtenga una muestra, de tamaño tal que proporcione por lo menos 6 kg de cada uno de los tamaños de agregado, como se describe en el numeral 6.2, que estén presentes dentro de la gradación del agregado en un porcentaje superior al 10%. No se ensayarán aquellos grupos que estén presentes en un porcentaje inferior, a menos que sea expresamente ordenado.

Nota 4. Para los tamaños pequeños del agregado (fino), si se usa un molde más pequeño como se mencionó en la Nota 3, se necesita menos material fino y el tamaño de la muestra puede ser ajustado de conformidad.

- 6.2 Lávese la muestra de agregado mediante decantación del agua de lavado a través del tamiz de 75 μ m (Nº 200) o a través de un tamiz que sea por lo menos un tamaño inferior de aquel que sería el límite inferior de las fracciones que efectivamente van a ser ensayadas. Continúe el proceso de lavado por decantación hasta que el agua de lavado salga limpia. Devuelva entonces, también mediante lavado, el agregado retenido en el tamiz, al lugar donde se encuentra el agregado, séquese la muestra hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ$ C, y tamice el material, de acuerdo con la norma MTC E 204-2013, para lograr las siguientes fracciones:

Pasa Tamiz		Retenida en Tamiz	
19,0 mm	(3/4")	12,5 mm	(1/2")
12,5 mm	(1/2")	9,50 mm	(3/8")
9,50 mm	(3/8")	4,75 mm	(Nº 4)
4,75 mm	(Nº 4)	2,36 mm	(Nº 8)
2,36 mm	(Nº 8)	1,18 mm	(Nº 16)
1,18 mm	(Nº 16)	600 μ m	(Nº 30)
600 μ m	(Nº 30)	300 μ m	(Nº 50)
300 μ m	(Nº 50)	150 μ m	(Nº 100)
150 μ m	(Nº 100)	75 μ m	(Nº 200)

No es necesario incluir en el análisis granulométrico tamices que estén por debajo del tamaño más pequeño que se encuentre en una cantidad superior al 10%.

- 6.3 Después de que la cantidad de material requerida haya sido tamizada, para cada fracción que se va a ensayar, determine el peso específico aparente seco, de acuerdo con las normas MTC E 205 y E 206 (Gravedad específica y absorción de los agregados finos y gruesos respectivamente), la que sea aplicable, excepto que cuando se llegue a la condición de superficie saturada y, superficie seca en los agregados finos, deberán usarse toallas de papel ordinario para secar las partículas hasta que no haya evidencia de humedad sobre las toallas.

Nota 5. El procedimiento del molde estándar para la determinación de la condición saturada, superficie seca del agregado fino, no funciona bien con estas fracciones uniformes de agregado. Por Ejemplo, agregados redondeados con índices de partículas pequeños, no retendrán la forma del molde cónico a cualquier contenido de agua.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Determinación Porcentaje de Vacíos

- 7.1.1.1 Usando muestras secadas al horno para cada fracción, determine el porcentaje de vacíos en cada uno de los dos niveles de compactación, logrados mediante los procedimientos descritos en este numeral. Háganse primeros dos ensayos sobre la muestra, para cada uno de los tamaños,

aplicando 10 golpes de varilla por capa. Luego, usando las mismas muestras para cada tamaño, llénese el molde dos veces, usando 50 golpes de varilla por capa como esfuerzo de compactación.

- 7.1.1.2 Colóquese el molde cilíndrico sobre una base sólida y uniforme. Llénese el molde en tres capas, viértase el agregado desde la menor altura posible, hasta que el molde se encuentre lleno a un tercio de su capacidad. Nivélase la superficie con los dedos y compáctese la capa usando 10 golpes de varilla apisonadora, distribuidos uniformemente sobre la superficie. Aplíquese cada golpe sosteniendo la varilla verticalmente con su extremo redondeado aproximadamente a 50 mm (2") por encima de la superficie del agregado y soltándola de manera que caiga libremente.

Colóquese una segunda capa en el molde usando el mismo procedimiento, llenándolo hasta dos tercios de su capacidad. Como antes, nivélase la superficie y aplíquense 10 golpes de varilla. Llénese el espacio remanente con una tercera capa y una vez más nivélase la superficie y aplíquese el mismo esfuerzo de compactación, (10 golpes de varilla). Después de que la última capa se ha compactado, añádanse piezas individuales de agregado para nivelar la superficie del agregado con el plano del borde del molde, sin salientes por encima de él. Determínese el peso neto del agregado en el molde con una precisión de 1 g.

Nota 6. La altura de caída del agregado puede regularse visualmente con ayuda de una regla, una marca, o con un dispositivo adecuado.

- 7.1.1.3 Repita el llenado del molde usando la misma muestra y el mismo nivel de compactación. Hágase una segunda determinación del peso neto del agregado en el molde como se describió antes. Use el promedio de las dos determinaciones para calcular el porcentaje de vacíos, para cada fracción, con 10 golpes de compactación.

Nota 7. Los pesos obtenidos en las dos determinaciones deberán coincidir con una aproximación de 5%.

Para el nivel de compactación superior, deberá procederse idénticamente como se describió para el nivel de 10 golpes, pero usando 50 golpes de la varilla apisonadora para la compactación de cada capa. Igualmente, el porcentaje de vacíos para cada capa, con 50 golpes de compactación, se calculará a partir del promedio de dos determinaciones del peso neto del agregado.

- 7.1.1.4 Calcule el porcentaje de vacíos en cada fracción de tamaños del agregado, con 10 y 50 golpes por capa, respectivamente, mediante las siguientes relaciones:

$$V_{10} = \left[1 - \left(\frac{W_{10}}{S \cdot V} \right) \right] \times 100 \qquad V_{50} = \left[1 - \left(\frac{W_{50}}{S \cdot V} \right) \right] \times 100$$

Donde:

V_{10} = Vacíos en el agregado compactado con 10 golpes por capa, %.

V_{50} = Vacíos en el agregado compactado con 50 golpes por capa, %

W_{10} = Peso neto promedio del agregado en el molde compactado con 10 golpes por capa, g

W_{50} = Peso neto promedio del agregado en el molde compactado con 50 golpes por capa, g

S = Peso específico aparente seco, de la fracción del tamaño de agregado.

V = Volumen del molde, mL (cm³).

7.1.2 Índice de Partículas

- 7.1.2.1 Determine el índice de partículas (I_a), para cada fracción ensayada, con el nomograma de la Figura 2 o como sigue:

$$I_a = 1,25 \cdot V_{10} - 0,25 \cdot V_{50} - 32,0$$

- 7.1.2.2 Calcule el índice de partículas de agregado que contenga varios tamaños, ponderando cada índice encontrado para una fracción con respecto a su porcentaje dentro de la gradación original, o

preferiblemente respecto a la gradación promedio del material propuesto para ser usado en el trabajo.

La Tabla 2 es un ejemplo que ilustra una forma de calcular el índice y reportar los datos.

Para aquellos tamaños que no fueron incluidos dentro del ensayo por estar presentes en cantidades inferiores al 10%, calcúlese su índice promediando el índice de la fracción inmediatamente superior con el índice de la fracción inmediatamente inferior, o adóptese uno de estos dos, si el otro no está disponible.

Tabla 2

Ejemplo de cálculo de un índice ponderado de las partículas de un agregado

Fracción				Gradación del agregado % (1)	l_a	Ponderación (1) x (2) / 100
19,00 mm	(3/4")	12,5	(1/2")	3	17,2 ^A	0,5
12,50 mm	(1/2")	9,5	(3/8")	42	17,2 ^B	7,2
9,50 mm	(3/8")	4,75	(Nº 4)	36	15,8 ^B	5,7
4,75 mm	(Nº 4)	2,36	(Nº 8)	7	15,2 ^C	1,1
2,36 mm	(Nº 8)	1,18	(Nº 16)	10	14,6 ^B	1,5
1,18 mm	(Nº 16)	600 µm	(Nº 30)	2	14,6 ^A	0,3
				100		16,3

^A Use el índice de partículas de la fracción próxima

^B Índice de partículas efectivamente calculado.

^C Use el promedio de los índices de partículas de las fracciones superior e inferior. (No. 8 a No. 16 y 3/8" a No. 4)

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION.- Este modo operativo se utiliza sobre todo en trabajos de investigación. No existe información al respecto para este método.

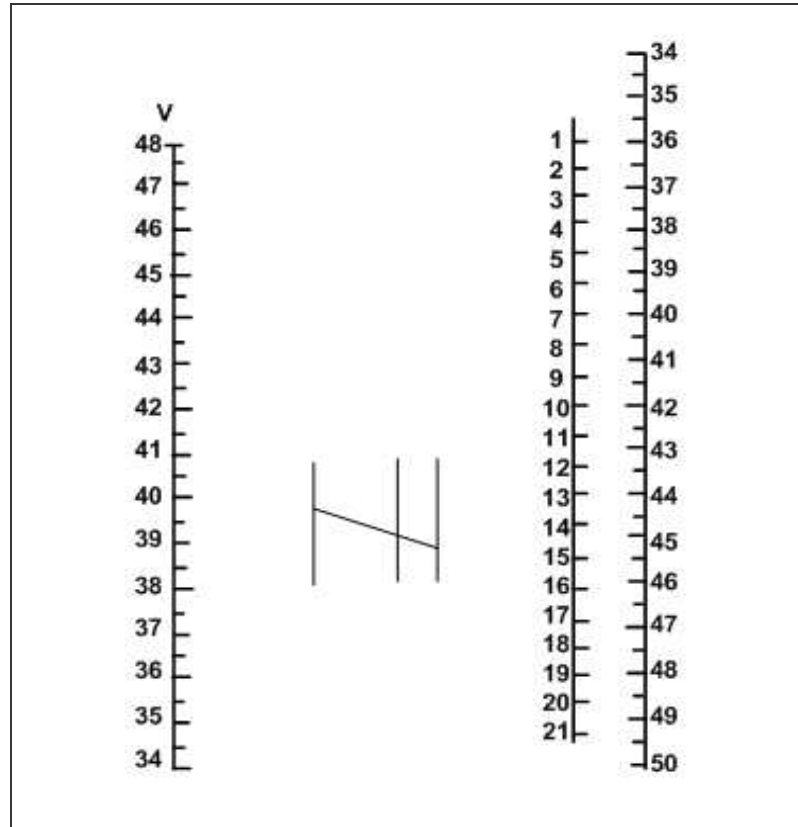


Figura 2: Nomograma para determinar el índice de partículas.

MTC E 209**DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer un método de ensayo para determinar la resistencia de los agregados a la desintegración por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este Modo Operativo es una medida a la desintegración de los agregados grueso y fino por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, durante no menos de 16 h ni más de 18 h, de una manera tal que la soluciones cubra toda la muestra. Después del período de inmersión se saca la muestra de agregado de la solución y se coloca en el horno de secar. Se repite el proceso alternado de inmersión y secado hasta que se obtenga el número de ciclos requeridos.
- 2.2 Suministra información útil para juzgar la alterabilidad de los agregados sometidos a la acción de la intemperie, particularmente cuando no se dispone de información adecuada sobre el comportamiento del material expuesto a condiciones atmosféricas reales.
- 2.3 Se advierte el hecho de que los resultados obtenidos por el uso de las dos sales, difieren considerablemente y se debe tener el cuidado en establecer los límites correctos en especificaciones que puedan incluir requerimientos para estos ensayos.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 400.016: AGREGADOS, Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Tamices. Se usarán con aberturas cuadradas de los siguientes tamaños, que cumplan con la norma sobre tamices de ensayo normalizado según NTP 350.001.

ABERTURA SERIE FINA		ABERTURA SERIE GRUESA
NOMINAL	TAMIZ NORMALIZADO	TAMIZ NORMALIZADO
Nº 100	150 μm	8,00 mm (5/16") 9,50 mm (3/8")
Nº 50	300 μm	12,5 mm (1/2") 16,0 mm (5/8")
Nº 30	600 μm	19,0 mm (3/4") 25,0 mm (1")
Nº 16	1,18 mm	31,5 mm (1 1/4")
Nº 8	2,36 mm	37,5 mm (1 1/2") 50,0 mm (2")
Nº 5	4,00 mm	63,0 mm (2 1/2")
Nº 4	4,75 mm	Tamaños mayores aumentan en 12,7 mm (1/2")

- 4.1.2 Envases. Utilizados para sumergir las muestras de agregados en la solución de acuerdo con el procedimiento descrito en este método, tendrán perforaciones que permiten un libre acceso de la solución a la muestra y el drenaje sin pérdida de agregado. El volumen de la solución en la cual se sumergen las muestras, será por lo menos 5 veces el volumen de la muestra sumergida en una operación.
- 4.1.3 Regulación de la temperatura. Se proveerán medios adecuados para regular la temperatura de las muestras durante la inmersión en la solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

- 4.1.4 Balanzas. Se usará una balanza con capacidad no menos de 500 g y con sensibilidad de por lo menos 0,1 g para pesar el agregado fino. Se usará una balanza con una capacidad no menor de 5 000 g y con una sensibilidad de por lo menos 1 g, para pesar el agregado grueso.
- 4.1.5 Horno de secado. El horno será tal, que se pueda calentar continuamente entre 105 a 110 °C y la velocidad de evaporación alcance un promedio de por lo menos 25 g por hora, a esa temperatura, durante 4 h manteniendo las puertas cerradas. Esta velocidad se determinará por la pérdida de agua en vasos de precipitación; Griffin, llanos de un litro, conteniendo inicialmente cada uno 500 g de agua a una temperatura de 21 ± 2 °C. Estos vasos irán colocados dentro del horno vacío, en cada esquina y en el centro de cada parrilla.
- 4.1.6 Medida del Peso Específico. Deberá disponerse de equipo adecuado para la medida del peso específico de las soluciones.

4.2 REACTIVOS

- 4.2.1 Solución de sulfato de sodio. Se prepara una solución saturada de sulfato de sodio químicamente puro disolviendo la sal en agua a una temperatura de 25 °C a 30 °C. Se agrega suficiente sal (Nota 1) de la forma anhidra (Na_2SO_4) o la forma cristalina ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), para asegurar la saturación con la presencia de cristales en exceso cuando la solución esté lista para ser usada en los ensayos. Se agita la mezcla completamente durante la adición de la sal y se agita la solución a intervalos frecuentes hasta que se vaya a usar. Para evitar la evaporación y prevenir la contaminación, mantenga el recipiente que contiene la solución cubierto, mientras ésta no se utilice. Se enfría la solución hasta una temperatura de 21 ± 1 °C y se mantiene a esta temperatura por lo menos durante 48 h antes de uso. Antes de cada uso, rompa la costra de sal, si la hay, en el envase, agite la solución completamente y determine su peso específico. Cuando va a ser usada la solución deberá tener un peso específico no menor de 1,151 ni mayor 1,174. Deseche cualquier solución cuyo color se haya alterado o fíltrela y revise el peso específico.

Nota 1. Son suficientes 215 g de sal anhidra o 700 g de decahidrato por litro de agua, para la saturación de la solución a 22 °C. Sin embargo, ya que estas sales no son completamente estables y es deseable un exceso de cristales, se recomienda el uso de no menos de 350 g de la sal anhidra o 750 g de la sal decahidratada por litro de agua.

- 4.2.2 Solución de sulfato de magnesio. Se prepara una solución saturada de sulfato de magnesio químicamente puro disolviendo la sal en agua a una temperatura de 25 °C a 30 °C. Se agrega suficiente sal (Nota 2) de la forma anhidra (MgSO_4) o la forma cristalina ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), para asegurar la saturación con la presencia de cristales en exceso cuando la solución esté lista para ser usada en los ensayos. Se agita la mezcla completamente durante la adición de la sal y se agita la solución a intervalos frecuentes hasta que se vaya a usar. Para evitar la evaporación y prevenir la contaminación, mantenga el recipiente que contiene la solución cubierto, mientras ésta no se utilice. Se enfría la solución hasta una temperatura de 21 ± 1 °C y se mantiene a esta temperatura por lo menos durante 48 h antes de su uso. Antes de cada uso, se rompe la costra de sal, si la hay, en el envase, se agita la solución completamente y se determina su peso específico. Cuando va a ser usada la solución deberá tener un peso específico no menor de 1,295 ni mayor de 1,308. Se desecha cualquier solución cuyo color se haya alterado o se filtra y se revisa el peso específico.

Nota 2. Son suficientes 350 g de sal anhidra o 1 230 g del heptahidrato por litro de agua, para la saturación de la solución a 23 °C. Sin embargo ya que estas sales no son completamente estables, siendo la sal hidratada la más estable de las dos, y ya que es deseable que se encuentre presente un exceso de cristales, se recomienda usar la sal heptahidratada, en una cantidad no menor de 1 400 g por litro de agua.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Agregado fino. El agregado fino para el ensayo se pasará por un tamiz normalizado 9,50 mm (3/8"). La muestra será de un peso tal, que una vez tamizada queden por lo menos 100 g

de material en cada uno de los tamices. Los pesos retenidos serán por lo menos de 5 % de la muestra tamizada, expresados en función de los siguientes tamices nominales:

Pasa el tamiz normalizado	Retenido sobre el Tamiz normalizado
600µm (Nº 30)	300µm (Nº 50)
1,18 mm (Nº 16)	600µm (Nº 30)
2,36 mm (Nº 8)	1,18 mm (Nº 16)
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)
9,50 mm (3/8")	4,75 mm (Nº 4)

- 5.2 Agregado grueso: El agregado grueso para el ensayo será el material retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (Nº 4). Este material se ensayará de acuerdo con el procedimiento descrito para agregado fino. La muestra será de un peso tal que una vez tamizada queden las siguientes cantidades de cada uno de los distintos tamaños (los pesos retenidos serán por lo menos el 5% de la muestra tamizada).

Tamaño (tamices normalizado de abertura cuadrada)	Peso en g
Consistiendo de:	
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (Nº 4)	300 ± 5
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	1 000 ±10
Consistiendo de:	
Material de 12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")	300 ± 5
Material de 19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")	670 ±10
37,5 mm (1 1/2") a 19,0 mm (3/4")	1 500 ± 50
Consistiendo de:	
Material de 25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")	500 ± 30
Material de 37,5 mm (1 1/2") a 25,0 mm (1")	1 000 ± 50
63,0 mm (2 1/2") a 37,5 mm (1 1/2")	5 000 ± 300
Consistiendo de:	
Material de 50,0 mm (2") a 37,5 mm (1 1/2")	2 000 ± 200
Material de 63,0 mm (2 1/2") a 50,0 mm (2")	3 000 ± 300
Para Tamaños mayores se aumentará el tamaño del tamiz en Incrementos de 25,0 mm (1") para cada fracción.	7 000 ± 1 000

- 5.3 Cuando se ensaya un agregado que contiene apreciables cantidades de agregado fino y grueso, que tengan una graduación de más del 10% en peso mayor que el tamiz 9,5 mm (3/8) y más del 10% en peso menor de 4,75 mm (Nº 4) ensayar las muestras por separado de acuerdo con los procedimientos para agregados fino y grueso, respectivamente. Los resultados deberán ser repartidos separadamente para la fracción de agregado fino y grueso, dando los porcentajes de la fracción grueso y fino en la graduación inicial.

- 5.4 Preparación de la muestra de ensayo:

- 5.4.1 Agregado fino. Se lava completamente la muestra de agregado fino sobre un tamiz normalizado 300 µm m (Nº 50), se seca hasta peso constante a 105 °C ó 110 °C, y separa en diferentes tamaños, por tamizado, como sigue se efectuará una separación aproximada de la muestra gradada, por medio de un juego de los tamices especificados en la Sección 5.1. De las fracciones obtenidas en esta forma se selecciona muestras para disponer de 100 g después de efectuar un tamizado completo. (En general una muestra de 110 g será suficiente). No se usará el agregado fino que se adhiere a las mallas de los tamices al preparar las muestras. Se pesan las muestras de 100 ± 1 g de cada una de las fracciones después del tamizado final y se colocarán en envases individuales para el ensayo.

5.4.2 Agregado grueso. Se lava y seca completamente las muestras de agregado grueso hasta peso constante a 105°C a 110°C y se separará en los diferentes tamaños indicados en la Sección 5.2 mediante un tamizado completo cuando la porción de ensayo consiste en dos tamaños, pese por separado dentro de las tolerancias de 5.2 y combínelas al peso total designado. Registre el peso de la muestra de ensayo y sus fracciones componentes. Se obtendrá el peso adecuado de la muestra para cada fracción y se colocará en envases individuales para el ensayo. En el caso de fracciones más gruesas que el tamiz normalizado 19,0 mm (3/4"), se contará el número de partículas.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Inmersión de las muestras en la solución: Se introducirán las muestras en la solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, durante no menos de 16 h ni más de 18 h, de una manera tal, que la solución las cubra a una profundidad de por lo menos 1,5 cm (Nota 3).

Se tapan los envases para disminuir la evaporación y evitar la adición accidental de sustancias extrañas. Las muestras sumergidas en la solución se mantendrán a una temperatura de $21 \pm 1^\circ\text{C}$ durante el período de inmersión.

Nota 3. Para mantener sumergidos los agregados muy livianos, estos se podrán cubrir con malla de alambre a las cuales se les agregará pesos y se colocarán sobre la muestra dentro del envase.

6.2 Secado de las muestras después de la inmersión. Después del periodo de inmersión se saca la muestra de agregado de la solución, se deja escurrir durante $15 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$ y se coloca en el horno de secar. Previamente, se llevará la temperatura del horno a 105°C ó 110°C. Se seca la muestra a la temperatura especificada hasta obtener un peso constante. Durante el período de secado, se sacan las muestras del horno y se pesan, sin enfriamiento, a intervalos de 2 a 4 h Se puede considerar que se ha alcanzado el peso constante cuando dos pesadas sucesivas para cualquier muestra, realizadas como se describe arriba difieran en menos del 1% del peso de la muestra en 4 h de secado. Después de haber conseguido el peso constante, enfríe la muestra a la temperatura ambiente y luego se sumerge en la solución, tal como se describe en 6.1. Durante el lavado de la muestra, deberá prevenirse impacto o abrasión que puedan ocasionar el quebrantamiento de las partículas.

6.3 Número de ciclos: Se repite el proceso alternado de inmersión y secado hasta que se obtenga el número de ciclos requeridos.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Examen cuantitativo:

7.1.1.1 Después de completar el ciclo final y enfriado la muestra a temperatura ambiente se lava cada fracción por separado para eliminar el sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Los últimos lavados serán hechos con agua destilada y mediante la reacción con cloruro de bario (BaCl_2) podrá comprobarse si el agua de lavado está libre de las sales anteriores.

7.1.1.2 Después que ha sido eliminado el sulfato de sodio o sulfato de magnesio, se seca cada fracción de la muestra hasta peso constante a 105°C ó 110°C y luego se anota. Se tamiza el agregado fino a través del mismo tamiz en el cual estaba retenido antes del ensayo.

7.1.1.3 El agregado grueso se tamizará para cada tamaño apropiado de partícula, a través del cedazo que se indica a continuación.

Tamaño del agregado	Tamiz normalizado usado para determinar la pérdida
63 mm (2 1/2") a 37,5 mm (1 1/2")	31,5 mm (1 1/4")
37,5 mm (1 1/2") a 19,0 mm (3/4")	16,0 mm (5/8")
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	8,0 mm (5/16")
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (Nº 4)	4,0 mm (Nº 5)

7.1.1.4 El método y duración del tamizado del agregado fino será el mismo de la preparación de la muestra. El tamizado del agregado grueso será realizado a mano, con una agitación suficiente solamente para asegurar que el material de menor medida pase la malla. No deberá emplearse manipulación extra para quebrar las partículas para hacerlas pasar por la malla. Pese el material retenido en cada malla y registre. La diferencia entre cada una de estas cantidades y el peso inicial de la fracción ensayada es la pérdida de peso y será expresada como porcentaje del peso inicial utilizado, tal como en la Tabla 1.

7.1.2 Examen Cualitativo: Se realizará el examen cualitativo de las muestras mayores de 19,0 mm (3/4") como sigue (Nota 4). Separe en grupos las partículas de cada muestra, de acuerdo a la acción producida por el ensayo. Registre el número de partículas que muestran cada tipo de acción.

Nota 4. Pueden resultar muchos tipos de acción. En general se pueden clasificar como desintegración, rajadura, desmenuzamiento, rotura, descamación, etc. Mientras que solamente las partículas mayores de 3/4" requieren de examen cualitativo, se recomienda el examen de las mallas pequeñas para determinar si existe alguna evidencia de excesivas rajaduras.

7.2 INFORME

7.2.1 Reportar los siguientes datos:

7.2.1.1 Peso de cada fracción de cada muestra antes de ensayo.

7.2.1.2 Material de cada fracción de la muestra más fina que la malla indicada en 7.1.1.2 para tamizado después del ensayo expresado como porcentaje del peso original de la fracción.

7.2.1.3 Pesada promedio calculada de acuerdo con el Modo Operativo MTC E 204-2013 del porcentaje de pérdida de cada fracción, basada sobre la gradación de la muestra tal como se recibió, o preferiblemente, sobre la granulometría promedio del material de la porción de suministro del cual la muestra es representativa, excepto que:

- a) Para el agregado fino (con menos de 10% mayor de la malla 9,5 mm (3/8"), asuma 0% de pérdida para tamaños más finos que la malla de 300 μm (Nº 50) y para tamaños mayores que la malla de 9,5 mm (3/8") tendrán la misma pérdida que la próxima malla más pequeña de la que se dispone de los datos de ensayo.
- b) Para el agregado grueso (con menos del 10% más fino que la malla de 4,75 mm (Nº 4) la misma pérdida que la malla mayor más próxima de la que se dispone de datos.
- c) Para agregados que contengan apreciables cantidades de material fino y grueso, ensayado como dos muestras separadas de acuerdo con 5.3, calcular las pérdidas de peso separadamente de las fracciones menor y mayor que la malla Nº 4, basada sobre el recalcu de la granulometría considerando la fracción fina como 100% y la fracción gruesa como 100%. Registre los resultados separadamente dando los porcentajes de la menor y mayor que la malla Nº 4 de la granulometría inicial.
- d) Para el cálculo de los promedios, considerar los tamaños considerados en 5.1 y 5.2 que contengan menos del 5% de la muestra que tenga la misma pérdida que la próxima más pequeña y más grande, o si una de esas medidas está ausente, tengan la misma pérdida como la próxima más grande o más pequeña, cualquiera que esté presente.

7.2.1.4 Reporte los porcentajes de pérdida al entero más cercano.

7.2.1.5 En el caso de las partículas mayores de 19,0 mm (3/4") antes del ensayo:

- a) El número de partículas de cada fracción antes del ensayo, y
- b) El número de partículas afectadas, clasificadas según el tipo de efecto como se muestra en la Tabla 2.



7.2.1.6 Clase de solución (Sulfato de Sodio o Magnesio) y si la solución empleada fue fresca o utilizada previamente.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

Para agregado grueso con pérdida en el rango de 6% a 16% con Sulfato de Sodio y 9% a 20% con Sulfato de Magnesio, los índices de precisión son como siguen:

	Coefficiente de Variación (1S %), %	Diferencia entre dos resultados (D 2S %), % de Promedio
Multilaboratorio:		
Sulfato de Sodio	41	116
Sulfato de Magnesio	25	71
Simple Operador:		
Sulfato de Sodio	24	68
Sulfato de Magnesio	11	31

8.2 DISPERSION

No existe información al respecto para este método

TABLA 1: Ejemplo de registro de datos (con valores de ensayo reales)

TAMAÑO DE LOS TAMICES		GRADACION DE LA MUESTRA ORIGINAL	PESO DE LAS FRACCIONES COMPRENDIDAS ANTES DEL ENSAYO g.	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES DESPUES DEL ENSAYO	PORCENTAJE DE PERDIDA PESADO
ENSAYO DE INALTERABILIDAD DE LOS AGREGADOS FINOS					
Menos de 150 µm N° 100)		6	-	-	-
300 µm (N° 50) a N° 100		11	-	-	-
600 µm (N° 30) a N° 50		26	100	4,2	1,1
1,18 mm (N° 16) a N° 30		25	100	4,8	1,2
2,36 mm (N° 8) a N° 16		17	100	8,0	1,4
4,75 mm (N° 4) a N° 8		11	100	11,2	1,2
9,5 mm (3/8") a N° 4		4	-	11,2	0,4
TOTALES		100	-	-	5,0
ENSAYO DE INALTERABILIDAD DE LOS AGREGADOS GRUESOS					
63,0 mm (2 1/2") a 50 mm (2")	2 825 g 2 1/2" a 1 1/2"	20	4783	4,8	1,0
50,0 mm (2") a 37,5 mm (1 1/2")	1 958 g 2 1/2" a 1 1/2"				
37,5 mm (1 1/2") a 25,0 mm (1")	1 012 g 1 1/2" a 3/4"	45	1525	8,0	3,6
25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")	513 g 1 1/2" a 3/4"				
19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")	675 g 3/4" a 3/8"	23	1008	9,6	2,2
12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")	333 g 3/4" a 3/8"				
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (N° 4)	298 g	12	298	11,2	1,3
TOTALES		100			8,0

* El porcentaje de pérdida (11,2%) del siguiente tamaño más pequeño es usado como el porcentaje de pérdida para este tamaño. Desde este tamaño contiene menos del 5% de la muestra original recibida. Véase 7.2.1.3.d

TABLA 2: Ejemplo de formato de examen cualitativo (ilustrado con valores supuestos) examen cualitativo de agregado grueso partículas que exhiben falla

TAMICES	RAJADAS		DESMORONADAS		FRACTURADAS		ASTILLADAS		N° TOTAL DE PARTÍCULAS ANTES DEL ENSAYO
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	
63,0 mm (2 1/2 ") a 37,5 mm (1 1/2 ")	2	7	-	-	2	7	-	-	29
37,5 mm (1 1/2 ") a 19,0 mm (3/4 ")	5	10	1	2	4	8	-	-	50



ANEXO A

ENSAYO DE INALTERABILIDAD DE AGREGADOS POR EL USO DE*

(Ensayo de Durabilidad)

Método : MTC E 209-2013

Identificación :

DURABILIDAD DEL AGREGADO FINO EN SOLUCION DE*					
Tamaño de Mallas		Porcentaje del Retenido Muestra Original	Peso de las Fracciones antes del Ensayo	% de Pérdidas después del Ensayo	% de Pérdidas Corregidas
Pasa	Retiene				
9,50 mm (3/8")	4,75 mm (Nº 4)				
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)				
2,36 mm (Nº 8)	1,18 mm (Nº 16)				
1,18 mm (Nº 16)	600 µm Nº 30)				
600 µm Nº 30)	300 µm (Nº 50)				
300 µm (Nº 50)	150 µm (Nº 100)				
150 µm (Nº 100)	-----				
TOTALES					

* Sulfato de Sodio
Sulfato de Magnesio

ANEXO B

DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO EN SOLUCION DE.....							
Tamaño de Mallas	Porcentaje Retenido de la Original	Peso de Fracciones Originales	Peso de Fracciones Después de Ensayo	Pérdidas Después de Ensayo	Sumas Parciales de Pérdidas	% de Pérdidas después del Ensayo	% de Pérdidas Corregidas
50,0 mm (2")							
37,5 mm (1 ½")							
37,5 mm (1 ½")							
25,0 mm (1")							
25,0 mm (1")							
19,0 mm (3/4")							
19,0 mm (3/4")							
12,5 mm (1/2")							
12,5 mm (1/2")							
9,5 mm (3/8")							
9,5 mm (3/8")							
4,75 mm (Nº 4)							
TOTALES							

MTC E 210.

METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO

1.0 OBJETO

- 1.1 Este método de ensayo abarca la determinación del porcentaje, en masa o cantidad, de una muestra de agregado grueso que contiene partículas fracturadas que reúnen requerimientos especificados.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Algunas especificaciones contienen requerimientos relacionados al porcentaje de partículas fracturadas en los agregados gruesos. Un propósito de tales requerimientos es maximizar el esfuerzo cortante mediante incremento de fricción inter-partícula tanto en las mezclas de agregados sueltos o compactados. Otro propósito es suministrar estabilidad a los tratamientos de superficies de agregados y proporcionar fricción incrementada por la textura para los agregados usados en los pavimentos de superficies granulares. Este método de ensayo proporciona un procedimiento estándar para la determinación de la aceptabilidad del agregado grueso con respecto a tales requerimientos.
- 2.2 Las especificaciones difieren tanto en el número de caras de fractura requeridas sobre una partícula fracturada, y ellas también difieren del porcentaje por masa o porcentaje por cantidad de partícula a ser considerada. Si la especificación no lo especifica, usar los criterios de al menos una cara fracturada y calcular el porcentaje por masa.
- 2.3 Cara fracturada, n.- una superficie angular, áspera y rugosa, o rota de un agregado ocasionada por chancado u otro medio artificial, o por medio natural (Ver Terminología ASTM D 8).
- 2.4 Discusión- para esta norma, una cara se considerará "una cara fracturada" sólo si tiene un área proyectada al menos tan larga como un cuarto del área máxima proyectada (área transversal- sección máxima) de la partícula y la cara tiene borde bien definido, esta excluye picaduras o quiebres pequeños. Ver Fig. 1.
- 2.5 Partícula fracturada, n.- una partícula de agregado que tiene al menos un número mínimo de caras fracturadas especificadas (usualmente una o dos).
- 2.6 Los valores establecidos en unidades del Sistema Internacional serán considerados como estándar. Los valores entre paréntesis son proporcionados solo como información

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 5821: Standard Test Method for Determining the Percentage of Fractured Particles in Coarse Aggregate.

4.0 EQUIPOS

- 4.1 EQUIPOS
- 4.1.1 Balanza.- una balanza precisa y con aproximación al menos al 0,1% de la masa de la muestra de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso.
- 4.1.2 Tamices.- tamices conforme a la Especificación ASTM E 11.
- 4.1.3 Separador o Cuarteador.- un separador de muestras apropiado para la división de la muestra de campo a tamaño de ensayo de acuerdo con MTC E 103 (Práctica ASTM C-702).
- 4.1.4 Espátula.- una espátula o herramienta similar para ayudar en la mezcla de las partículas de agregado.

5.0 MUESTRA

5.1 Muestrear el agregado de acuerdo con la MTC E 201 (Práctica ASTM D 75).

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACION DEL ENSAYO

6.1.1 Secar la muestra lo suficiente hasta obtener una separación clara entre el material fino y grueso en la operación de tamizado. Tamizar la muestra por la malla N°4 (4,75 mm), u otra malla especificada para la retención de material para este ensayo, de acuerdo con el Método de Ensayo ASTM C 136 y luego reducir la parte retenida sobre la malla usando un cuarteador de acuerdo con la Práctica MTC E 103 (ASTM C 702) hasta el tamaño apropiado para ensayo.

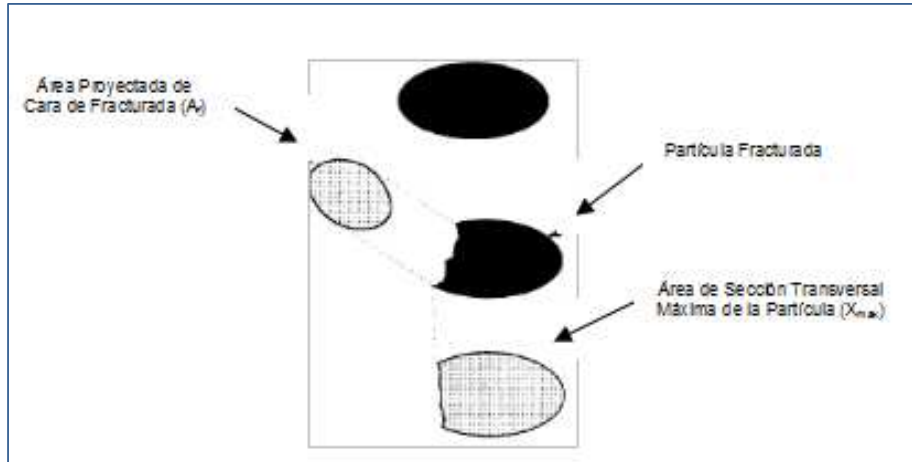


Figura 1: Esquema de una Partícula Fracturada con una Cara de fractura

Una cara será considerada como una cara fracturada solo si tiene $A_f \geq 0.25 X_{max}$

6.1.2 La masa de la muestra de ensayo debe al menos ser lo suficiente grande de modo que la partícula más grande no esté en más del 1% de la masa de muestra; o la muestra de ensayo debe ser al menos tan grande como se indica a continuación, en ningún caso más pequeño:

Tamaño Máximo Nominal Muestra de ensayo mínima mm (pulg.)	Abertura Cuadrada, mm (pulg.) Masa, g (aprox. lb.)
9,5 (3/8)	200 (0,5)
12,5 (1/2)	500 (1)
19,0 (3/4)	1 500 (3)
25,0 (1)	3 000 (6,5)
37,5 (1 1/2")	7 500 (16,5)
50,0 (2)	15 000 (33)
63,0 (2 1/2)	30 000 (66)
75,0 (3)	60 000 (132)
90,0 (3 1/2)	90 000 (198)

6.1.3 Para agregados con un tamaño máximo nominal de 19,0 mm (1/4") o mayor, donde el contenido de partícula fracturada será determinado para el material retenido en el tamiz 4,75 mm (N°4) o uno menor, la muestra de ensayo debe ser separada por el tamiz 9,5 mm (3/8"). La parte pasante la malla 9,5 mm (3/8") puede luego ser posteriormente reducida, de acuerdo con la MTC E 103 (Práctica ASTM C 702), hasta un mínimo de 200 g (0,5 lb.). Esto reducirá el número de partículas a ser separadas durante el procedimiento. En este caso, el porcentaje de partículas fracturadas es determinado para cada porción, y el porcentaje

promedio pesado de partículas fracturadas es calculado basado sobre la masa de cada una de las partes para reflejar el porcentaje total de partículas fracturadas en la muestra entera.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.2.1 Lavar la muestra sobre el tamiz designado para la determinación de partículas fracturadas para retirar cualquier material fino remanente y secar a masa constante. Determinar la masa de la muestra, y cualquiera de las determinaciones subsecuentes de masa, al menos con 0,1% de la masa de la muestra seca original.
- 6.2.2 Extender la muestra de ensayo seca sobre una superficie larga, plana y limpia que permita una inspección cuidadosa de cada partícula. Para verificar que la partícula entra en el criterio de fracturada, tomar la partícula del agregado de manera que la cara sea observada directamente. Si la cara constituye al menos un cuarto de la máxima sección transversal de la partícula de roca, considerar como una cara fracturada.
- 6.2.3 Usando la espátula o herramienta similar, separa en dos (02) categorías: (1) partículas fracturadas basadas en tanto si tiene el número requerido de caras fracturadas, (2) partículas que no reúnen el criterio especificado. Usar las figuras del 2 - 7 para ayudar en esta determinación. Se entenderá que algunas de las partículas de las figuras 2 - 4 muestran más de una cara de fractura. Si el número requerido de caras de fractura no está dado a las especificaciones aplicables, la determinación será hecha sobre la base de un mínimo de una cara fracturada.
- 6.2.4 Determinar la masa o cantidad de partícula en la categoría de partícula fracturada y la masa o cantidad de las partículas que no reúnan el criterio de fractura especificado. Use la masa para calcular el porcentaje de partículas fracturadas a menos que el porcentaje por conteo de partículas sea especificado.
- 6.2.5 Si más de un número de caras de fractura es especificado (por ejemplo 80% con una o más caras fracturadas y 50% con 2 o más caras de fracturas), repetir el procedimiento sobre la misma muestra para cada requerimiento.



Figura: 2 Partículas Fracturadas (Bordes Agudos, Superficies Rugosas)

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcular el porcentaje de masa o porcentaje de conteo de partículas con el número especificado de caras fracturadas con aproximación al 1% de acuerdo con lo siguiente:

$$P = \frac{F}{(F + N)} \times 100$$

Donde:

- P = porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas,
- F = masa o cantidad de partículas fracturadas con al menos el número especificado de caras fracturadas,
- N = masa o cantidad de partículas en la categoría de no fracturadas o que no entran en el criterio de partícula fracturada.

7.2 INFORME

- 7.2.1 Reportar el porcentaje de masa o porcentaje de conteo de partículas con el número especificado de caras fracturadas con aproximación al 1%.
- 7.2.2 Reportar el criterio de fractura especificado contra el cual la muestra fue evaluada.
- 7.2.3 Reportar la masa total en gramos del agregado grueso de la muestra empleado.
- 7.2.4 Reportar la malla sobre la cual la muestra de ensayo fue retenida al iniciar el ensayo.
- 7.2.5 Reportar si el porcentaje de partículas fracturadas fue determinado por masa o por el conteo de partículas.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 PRECISION.- El Ministerio de Transporte de Notario reportó que en un estudio formal de 34 observadores bien entrenados sobre dos muestras de grava parcialmente fracturadas (proporción de partículas fracturadas = 76%) la desviación estándar promedio fue hallada en 5,2%. Luego, la diferencia en resultados entre dos observadores bien entrenados, sobre muestras del mismo material no excederá de 14,7% de su promedio, 19 veces en 20.

Nota 1. Cuando una mezcla de observadores entrenadores y sin entrenar realiza este ensayo, el promedio de la desviación estándar multioperador se incrementa en cerca de 7,6%.

- 8.2 Bias.- este método de ensayo no tiene bias porque los valores determinados pueden ser definidos sólo en términos de este método de ensayo.

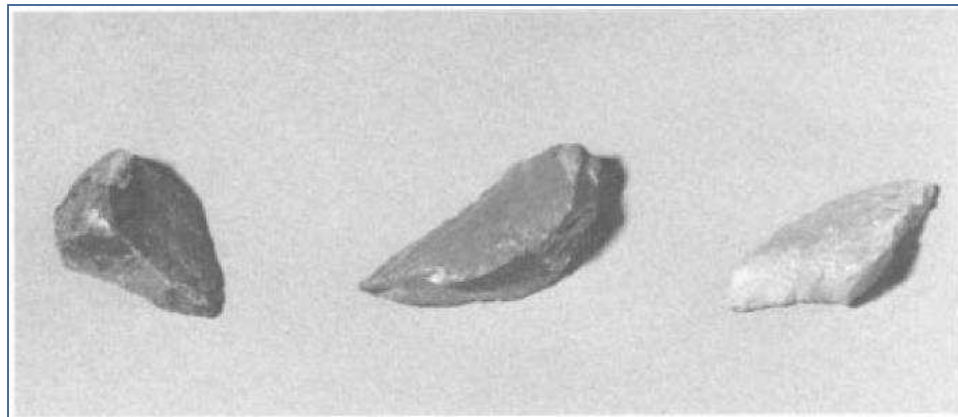


Figura: 3 Partículas Fracturadas (Bordes agudos, Superficies Alisadas)



Figura: 4 Partículas Fracturadas (Bordes redondeados, Superficie Rugosa)

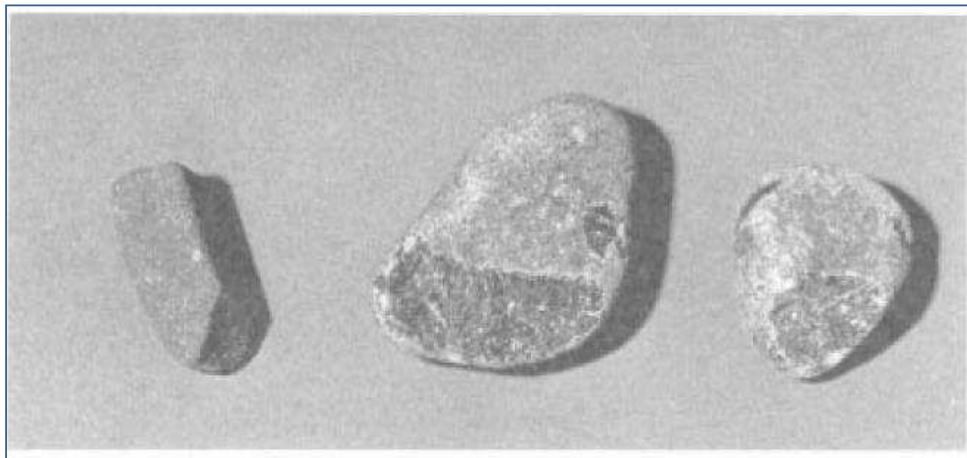


Figura: 5 Partículas Fracturadas (Centro) Flanqueadas por dos Partículas no Fracturadas (Solo Astillada)

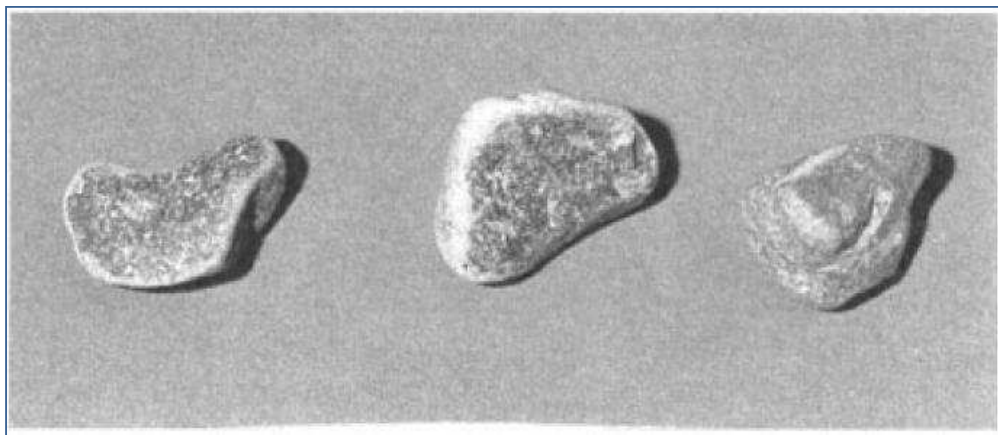


Figura: 6 Partículas no Fracturadas (Bordes Redondeados, Superficies Alisadas)

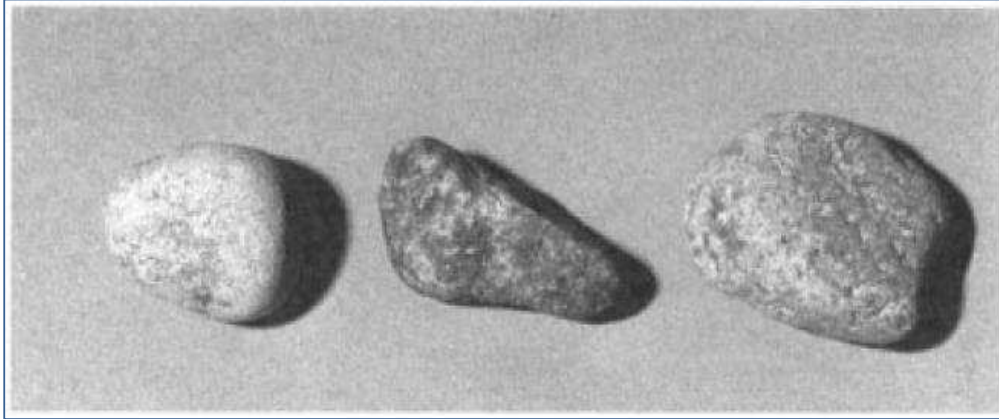


Figura: 7 Partículas no Fracturadas (Partículas Redondeados, Superficies Alisadas)

MTC E 211.**PARTICULAS LIVIANAS EN LOS AGREGADOS****1.0 OBJETO**

- 1.1 Este método de ensayo cubre la determinación del porcentaje de partículas livianas en agregados mediante la separación asentamiento – flotación en un líquido pesado de gravedad específica apropiada.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método de ensayo es usado para determinar, conforme a lo estipulado en la Especificación C 33, la cantidad total de material liviano en los agregados finos y gruesos. Un líquido pesado con un peso específico de 2,0 es usado para separar partículas las cuales pueden ser clasificadas como carbón o lignito. Líquidos más pesados pueden ser usados para verificar los porcentajes de otras partículas livianas tales como horsteno y arcilla esquistosa teniendo un peso específico menor a 2,40.
- 2.2 El método de ensayo puede ser útil en la identificación de partículas de agregados porosos en actividades de búsqueda o en análisis petrográficos.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM C 123: Standard Test Method for Lightweight Particles in Aggregate.

4.0 EQUIPOS E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Balanzas – Para la determinación de la masa de los agregados finos, una balanza con una capacidad no menor a 500g, sensible por lo menos a 0,1g para la determinación de la masa de agregado grueso, una balanza que tenga una capacidad de no menos de 5 000 g, sensible al menos a 1 g. Ambas balanzas estarán conformes a los criterios de precisión de las secciones aplicables indicados en la Especificación C 1005.
- 4.1.2 Recipientes apropiados para el secado de muestra de agregado, y recipientes apropiados para depositar el líquido pesado durante la separación sedimentación-flotación.
- 4.1.3 Colador – una pieza de tamiz de 300um (Nº 50), conforme a la Especificación E 11, de tamaño y forma apropiados para la separación de las partículas flotantes del líquido pesado.
- 4.1.4 Plato calentador u horno termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- 4.1.5 Tamices, de 300- μm (Nº 50) y 4,75-mm (Nº 4) conforme a la Especificación E 11.
- 4.1.6 Medida del Peso Específico – Un hidrómetro con secciones físicas conformes a los hidrómetros individuales de la Especificación E 100, o una combinación apropiada de fibra de vidrio graduada y balanza capaz de medir el peso específico del líquido con precisión de $\pm 0,01$.

4.2 INSUMOS

- 4.2.1 El líquido pesado podrá consistir de uno de los siguientes (ver 4.2.5):

Una solución de cloruro de zinc en agua (para un peso específico hasta casi a 2,0).

Una mezcla de kerosén con 1,1,2,2 - tetrabromoetano, proporcionado para producir pesos específicos deseados. (1,1,2,2 - tetrabromoetano tiene un peso específico de aproximadamente 2,95) (Ver Nota 1).

Una solución de bromuro de zinc en agua (para un peso específico hasta casi 2,4).

Advertencia – Los químicos listados en 4.2.3 son tóxicos, ambos por absorción a través de la piel y por inhalación. Ellos podrán ser usados Deberán ser usados solo en una campana

(preferentemente del tipo tiro descendente) o al aire libre, y deberá tenerse cuidado de evitar la inhalación o contacto con los ojos o piel. No hay un peligro particular de los vapores de la solución de cloruro de zinc (4.2.2) o solución de bromuro de zinc (4.2.4) pero gafas protectoras y guantes pueden ser usados para prevenir su contacto con los ojos o piel.

El peso específico del líquido pesado puede mantenerse variando entre $\pm 0,01$ del valor especificado para todas las veces durante el ensayo.

Nota 1. El tetrabromoetano es altamente tóxico y extremadamente peligroso de usar y cuando es calentado emite gases altamente tóxicos de bromo, bromuro de hidrógeno y bromuro carbonyl. Debería ser manipulado solo por personal entrenado y calificado en su uso. Su almacenamiento debería ser en una locación asegurada.

5.0 MUESTRA

Obtener una muestra de campo del agregado en concordancia a las prácticas D 75 y D 3665. Reducir la muestra a un tamaño apropiado para el ensayo de acuerdo con la Práctica C 702.

Secar la porción de ensayo hasta una masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ antes del ensayo y tamizar para remover el material de menor tamaño al especificado en 6.1.1. El tamaño mínimo del espécimen de ensayo será como sigue:

Tamaño Máximo Nominal de Agregado (Tamices de Abertura Cuadrada)		Masa Mínima de Muestra (g)
4,75 mm	(Nº 4)	200
19,0 mm	(3/4 pulg)	3000
37,5 mm	(1 ½ pulg)	5000
75,0 mm	(3 pulg)	10000

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACION DEL ENSAYO

- 6.1.1 Dejar que el espécimen de agregado grueso seco para el ensayo se enfríe a temperatura ambiente y tamizarlo por la malla 475 mm (Nº 4). Determinar la masa del material más grueso que el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) con una aproximación de 1g, y llevar a la condición de saturado superficialmente seco mediante el procedimiento especificado en Método de Ensayo ASTM C 127; entonces introducir el material en el líquido pesado dentro de un recipiente apropiado. El volumen del líquido deberá de por lo menos tres veces el volumen absoluto del agregado. Usando el colador, remover las partículas que flotan en la superficie, y guardarlas. Agitar repetidamente las partículas remanentes, y remover las partículas flotantes hasta no encontrar ninguna partícula adicional en la superficie. Lavar las partículas que fueron coladas en un solvente apropiado para remover el líquido pesado. Después de que el líquido pesado haya sido removido, dejar que las partículas sequen (ver 6.1.2). Determinar la masa de las partículas decantadas con una aproximación de 1 g. Si se requiere una mayor precisión en la determinación, secar las partículas hasta una masa constante a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ para determinar el valor de W1 usado en los cálculos en 7.1.1 (ver 6.1.3).
- 6.1.2 El secado debería llevarse a cabo en un aislador o en un fuera de puertas si es que se usa algo distinto al cloruro o bromuro de zinc. Para acelerar el proceso de secado puede usarse un horno o placa de calentamiento asegurándose de que es hecho en el aislador o que el horno es ventilado con aire a presión hacia el exterior del edificio a una temperatura que no exceda los 115°C .
- 6.1.3 Normalmente la discrepancia existente entre la masa secada al horno y la masa saturada superficialmente seca de las partículas decantadas no afectarán significativamente el cálculo del porcentaje de partículas livianas.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 El cálculo del porcentaje en masa de partículas livianas (partículas flotando en el líquido pesado) es como sigue:

Para el agregado grueso:

$$L = \frac{W_1}{W_2} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

- L = Porcentaje en masa de partículas livianas,
- W_1 = Masa seca de las partículas que flotan,
- W_2 = Masa seca de la fracción del espécimen más grueso que el tamiz 300- μm (Nº50), y
- W_3 = Masa seca de la fracción del espécimen más grueso que el tamiz 4,75 mm (Nº4).

7.2 INFORME

7.2.1 En el informe final se hará constar:

- 7.2.1.1 Identificación del agregado tales como la fuente, tipo y tamaño nominal máximo.
- 7.2.1.2 La masa de la muestra usada en el ensayo,
- 7.2.1.3 Tipo y peso específico del líquido pesado usado para el ensayo, y
- 7.2.1.4 Porcentaje en masa de partículas livianas redondeadas con una aproximación de 0,1%.
- 7.2.1.5 Fecha de realización del ensayo

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Precisión. no intercambiar fuera o dentro con otros laboratorios, los estudios que hayan sido dirigidos usando este método de ensayo para determinar índices de precisión. El comité se está encargando de buscar datos pertinentes de usuarios para este método de ensayo.
- 8.2 Tendencia. La tendencia de este método de ensayo puede ser estimada mediante la determinación por separado del peso específico y absorción en partículas individuales de las separadas por asentamiento, o de las fracciones flotantes, o ambas.

MTC E 212.

ARCILLA EN TERRONES Y PARTICULAS DESMENUZABLES (FRIABLES) EN AGREGADOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el procedimiento para determinar de manera aproximada el contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables en agregados que se emplearán en la elaboración de hormigones (concretos) y morteros.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Esta norma se aplica para determinar la aceptabilidad de agregados finos en relación con los requisitos de la NTP 400.015, en lo que respecta al contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 400.015: Método de ensayo normalizado para terrones de arcilla y partículas desmenuzables en los agregados.

4.0 EQUIPOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanzas: Una balanza o báscula con una exactitud dentro del 0,1% de la masa de la muestra de ensayo en algún punto del rango de uso. Las balanzas se ajustarán a la exactitud de las secciones aplicables de la NTP 334.079:
- 4.1.2 Recipientes: Recipientes inoxidables de un tamaño y forma que permitan el esparcido de la muestra sobre su fondo en una capa fina.
- 4.1.3 Tamices: Deben de cumplir con los requisitos de la NTP 350.001
- 4.1.4 Estufa: Una estufa provista de circulación libre de aire y capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.

5.0 MUESTRA

- 5.1 La muestra de agregado para este ensayo estará constituida por el material retenido en el tamiz normalizado de 75 μm (Nº 200), después de realizar el ensayo de acuerdo con la NTP 400.018.
- 5.2 Para proveer las cantidades designadas en los apartados 6.2.3 y 6.2.4, puede ser necesario combinar material de más de un ensayo de acuerdo con la NTP 400.018.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Las muestras obtenidas, de acuerdo al apartado 5.1, serán secadas hasta obtener peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C.
- 6.1.2 Las muestras de ensayo de agregado fino estarán comprendidas de las partículas retenidas en el tamiz normalizado de 1,18 mm (Nº 16) y tendrán una masa no menor de 25 g.
- 6.1.3 Las muestras de ensayo de agregado grueso deberán ser separadas en los tamices normalizados de 4,75 mm (Nº 4), 9,50 mm ($\frac{3}{8}$ pulg), 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg), 37,5 mm ($1\frac{1}{2}$ pulg). El peso de la muestra no será menor a lo indicado en la Tabla 1:

TABLA 1
Peso mínimo de la muestra

Tamaño de las partículas de las muestras	Peso mínimo de la muestra (g)
4,75 mm a 9,5 mm (No.4 a 3/8 pulg)	1000
9,5 mm a 19,0 mm (3/8 pulg a 3/4 pulg)	2000
19,0 mm a 37,5 mm (3/4 pulg a 1 1/2 pulg)	3000
Mayor que 37,5 rnm (1 1/2 pulg)	5000

6.1.4 En el caso que el agregado fino y grueso se encuentren mezclados, deben separarse en 2 tamaños, utilizando el tamiz N°4. Luego se procederá de acuerdo con los apartados 6.1.2 y 6.1.3.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

6.2.1 Se pesa la muestra de ensayo con la exactitud especificada en el apartado 5.1 y se esparce en una capa fina sobre el fondo del recipiente, cubrir con agua destilada, y poner en remojo durante un periodo de 24 ± 4 h.

6.2.2 El desmenuzamiento de los terrones de arcilla y las partículas deleznable será efectuado por- compresión y deslizamiento entre los dedos pulgar e índice. La rotura de los mismos no debe efectuarse ayudándose con las uñas ni presionando contra superficies duras, ni entre ellos.

6.2.3 Las partículas que puedan ser desmenuzadas con los dedos en finos removibles por tamizado húmedo serán clasificadas como terrones de arcilla o partículas desmenuzables.

6.2.4 Después que todos los terrones de arcilla y las partículas desmenuzables perceptibles han sido disgregados, separar los detritos de la muestra restante por tamizado húmedo, sobre el tamiz prescrito en la Tabla 2:

TABLA 2
Tamices a utilizar para la separación de las partículas

Tamaño de las partículas de las muestras	Tamiz a utilizar para la separación de los terrones de arcilla y partículas desmenuzables
Agregado fino retenido sobre el tamiz de 1,18 rnm (No 16)	850 um (N° 20)
4,75 rnm a 9,5 mm (N°4 a 3/8 pulg)	2,36 mm (N° 8)
9,5 rnm a 19,0 rnm (3/8 pulg a 3/4 pulg)	4,75 mm (N° 4)
19,0 mm a 37,5 mm (3/4 pulg a 1 1/2 pu1g)	4,75 mm (N° 4)
Mayor que 37,5 rnm (1 1/2 pulg)	4,75 mm (N° 4)

6.2.5 Realizar el tamizado húmedo haciendo pasar agua sobre la muestra a través del tamiz mientras se agita manualmente el tamiz, hasta que todo el material de menor tamaño haya sido removida.

6.2.6 Remover cuidadosamente las partículas retenidas en el tamiz, secarlas hasta peso constante a la temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, enfriar, y pesar con una aproximación del 0,1 % de la masa de la muestra de ensayo tal como se definió en los apartados 6.1.2 ó 6.1.3.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 El porcentaje de partículas desmenuzables y terrones de arcilla del agregado fino ó de los tamaños de agregado grueso indicados en la Tabla 2, deberá calcularse con la siguiente fórmula:

$$P = [(M - R) / M] \times 100$$

Donde:

- P = Porcentaje de partículas desmenuzables y terrones de arcilla
- M = Masa de la muestra de ensayo (para el agregado fino la masa de las partículas retenidas en el tamiz normalizado de 1,18mm (Nº 16) tal como se describe en el apartado 6.1.2).
- R = Masa de las partículas retenidas sobre el tamiz designado determinada de acuerdo con el apartado 6.2.6.

7.1.2 El porcentaje de partículas desmenuzables y terrones de arcilla para el agregado grueso es el promedio ponderado de los porcentajes de partículas desmenuzables y terrones de arcilla obtenidos entre los distintos tamaños en que se dividió la muestra.

7.1.3 Si el agregado contiene menos de 5 % de cualquiera de los tamaños especificados en la Tabla 2, este tamaño no será ensayado. Para calcular el promedio ponderado, se considera que dicho tamaño contiene igual porcentaje de partículas desmenuzables y terrones de arcilla que el tamaño superior o inferior más próximo.

7.2 INFORME

7.2.1 En el informe final se hará constar:

7.2.1.1 Referencia a esta norma.

7.2.1.2 Reportar con una aproximación del 0,1%

7.2.1.3 Fecha de realización del ensayo

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 El estimador de la precisión de este método de ensayo es provisional y se basa en muestras de un agregado fino que fue ensayado por diez operadores diferentes en nueve laboratorios diferentes. Para esta muestra el porcentaje promedio de terrones de arcilla y partículas desmenuzables en el agregado fue 1,2 %, y la desviación estándar fue de 0,6 %. Basados en esta desviación estándar el rango aceptable de dos resultados de ensayos sobre muestras del mismo agregado enviadas a diferentes laboratorios es de 1,7 %.

MTC E 213.

METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR CUALITATIVAMENTE LAS IMPUREZAS ORGANICAS EN EL AGREGADO FINO PARA CONCRETO

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer un método de ensayo que cubre los procedimientos para una determinación aproximada de la presencia de impurezas orgánicas dañinas en el agregado fino que va a ser usado en concretos o morteros de cemento hidráulico.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Establece los procedimientos para la determinación cualitativa de la presencia de impurezas orgánicas en agregados finos usados para elaborar morteros y concretos de cemento.
- 2.2 El principal valor de este método de ensayo es proporcionar una advertencia sobre el posible contenido de impurezas orgánicas perjudiciales. Cuando una muestra sujeta a estos procedimientos da un color más oscuro que la solución de referencia es aconsejable realizar una prueba sobre el efecto de las impurezas orgánicas en la resistencia del mortero

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS.

- 3.1 NTP 400.024: AGREGADOS. Método de ensayo para determinar cualitativamente las impurezas orgánicas en el agregado fino para concreto.

4.0 MATERIALES E INSUMOS

4.1 MATERIALES

- 4.1.1 Botellas graduadas: Botellas graduadas de vidrio incoloro, de aproximadamente 350 mL ó 470 mL de capacidad nominal, de aproximadamente sección ovalada, equipada con tapón impermeable no soluble en los reactivos especificados. Las graduaciones de la botella serán en milímetros, excepto aquellas no marcadas que pueden ser calibradas y marcadas con graduaciones por el usuario. En tal caso, las marcas de graduación son requeridas en sólo tres puntos como sigue:

4.1.1.1 Solución color de referencia: 75 mL.

4.1.1.2 Nivel del agregado fino: 130 mL.

4.1.1.3 Nivel de solución NaOH: 200 mL.

4.2 INSUMOS

- 4.2.1 Reactivo solución Hidróxido de Sodio (3%): Disolver 3 partes por peso del reactivo grado hidróxido de sodio (NaOH) en 97 partes de agua.
- 4.2.2 Solución estándar de referencia: Disolver reactivo grado dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en ácido sulfúrico concentrado (peso específico 1,84) a una relación de 0,250 g/100 mL de ácido. La solución deberá ser fresca al momento de la comparación del color, utilizando calor suave si es necesario para efectos de la solución.

5.0 MUESTRA

- 5.1 La muestra de ensayo tendrá un peso de aproximadamente 450 g y será tomada de una muestra de acuerdo con la norma MTC E 201.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACION DEL ENSAYO

- 6.1.1 Llene la botella graduada con aproximadamente 130 mL de la muestra del agregado fino a ser ensayado. Se guarda el resto de la muestra por si deba ser utilizada luego.

6.1.2 Adicione la solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen del agregado fino y el líquido, alcance un volumen de aproximadamente 200 mL.

6.1.3 Tape la botella, sacuda vigorosamente, y luego deje reposar por 24 horas.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

6.2.1 Procedimiento estándar: Al final de las 24 horas de reposo, llene un frasco con aproximadamente 75 mL de nivel con la solución de referencia fresca, preparada previamente no más de 2 horas, como se indica en 4.2.2.

6.2.2 Compare el color del líquido sobrenadante de las muestras de ensayo con el color de la solución estándar y registre si es más clara, igual o más oscura. Efectúe la comparación colocando las botellas cerca y mire a través de ellas.

6.2.3 Procedimiento alternativo: Para definir más precisamente el color del líquido de la muestra de ensayo, pueden ser utilizados los 5 vidrios de color estándar utilizando los siguientes colores:

COLOR GARDNER STANDARD N°	PLACA ORGANICA N°
5	1
8	2
11	3 (standard)
13	4
16	5

6.2.4 Cuando se usa este procedimiento alternativo no es necesario preparar la solución de color estándar.

6.2.5 Si el color del líquido sobrenadante es más oscuro que aquel del color de referencia de la solución estándar o del vidrio patrón, el agregado fino bajo prueba será considerado como que posiblemente contiene impurezas orgánicas dañinas y deberán realizarse pruebas adicionales antes de aprobar el agregado fino para uso en concreto

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 No tiene cálculos por ser un ensayo cualitativo de interpretación.

7.2 INFORME

7.2.1 En el informe final se hará constar:

7.2.1.1 Resultado, si el color del líquido sobrenadante es más oscuro que aquel del color de referencia de la solución estándar o del vidrio patrón, El agregado fino bajo prueba será considerado como que posiblemente contiene impurezas orgánicas dañinas y deberán realizarse pruebas adicionales antes de aprobar el agregado fino para uso en concreto.

7.2.1.2 Referencia a esta norma y cualquier desviación respecto a la misma acordada, o no, entre las partes interesadas.

7.2.1.3 Referencia al procedimiento empleado: Procedimiento estándar (que emplea la solución estándar) o el Procedimiento alternativo (con los 5 vidrios de color estándar).

7.2.1.4 Fecha de realización del ensayo

MTC E 214.

PRUEBA DE ENSAYO ESTANDAR PARA INDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO

1.0 OBJETO

- 1.1 Este método de ensayo cubre la determinación de un índice de durabilidad, índice de agregados. El índice de durabilidad de un agregado calcula un valor que muestra la resistencia relativa de un agregado para producir finos dañinos como la arcilla, cuando se somete a los métodos de degradación mecánicos de degradación que se describen.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Esta prueba asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y el carácter de material arcilloso que puede ser generado en un agregado cuando se somete a degradación mecánica.
- 2.2 Los resultados de este procedimiento se han correlacionado con un rendimiento global en aplicaciones de construcción diferentes, entre ellas: la base de agregado, material permeable para el relleno, agregado fino de hormigón, y escollera de protección de taludes en roca.
- 2.3 Un índice de durabilidad mínimo ha sido especificado para prohibir el uso de un agregado, en varias aplicaciones de construcción, propensas a degradación y consecuente generación de finos de comportamiento arcilloso.
- 2.4 Este método de ensayo proporciona una prueba de diagnóstico rápido para la evaluación de la calidad de una fuente de agregado. Las investigaciones han indicado que puede también usarse, en cambio del ensayo de durabilidad frente a la acción de una solución de sulfato de sodio, para evaluar la durabilidad del agregado fino de uso en el concreto, reduciendo así el consumo de tiempo y los costos incurridos en el ensayo de durabilidad. Aunque la aplicación de este método ha sido limitada a los agregados de construcción para usos específicos, Existe la posibilidad de expansión de la aplicación de este método para controlar la calidad de los agregados utilizados en otras áreas de construcción, tales como agregados para uso de mezclas bituminosas de pavimentación, agregado grueso para estructuras de hormigón de cemento portland, y el agregado para el uso del ferrocarril.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 3744: Standard Test Method for Aggregate Durability Index.

4.0 EQUIPOS REACTIVOS E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Vaso mecánico de lavado, cilíndrico, de paredes rectas y fondo plano, conforme con las especificaciones y dimensiones de la Figura 1.
- 4.1.2 Recipiente colector o fondo de mallas, circular, de al menos 254 mm (1,0") de diámetro y de aproximadamente 102 mm (4") de profundidad, para recoger el agua resultante del lavado de la muestra. Tiene paredes verticales o casi verticales y está equipado con lo necesario para acoplar un tamiz, de tal forma que la malla del tamiz quede por lo menos a 76,2 mm (3") del fondo del recipiente. Puede usarse un adaptador, que evite la pérdida de finos y de agua de lavado, acoplando el tamiz y el recipiente, o puede colocarse un tamiz en blanco (sin malla) bajo el otro tamiz, que repose directamente en el fondo del recipiente.

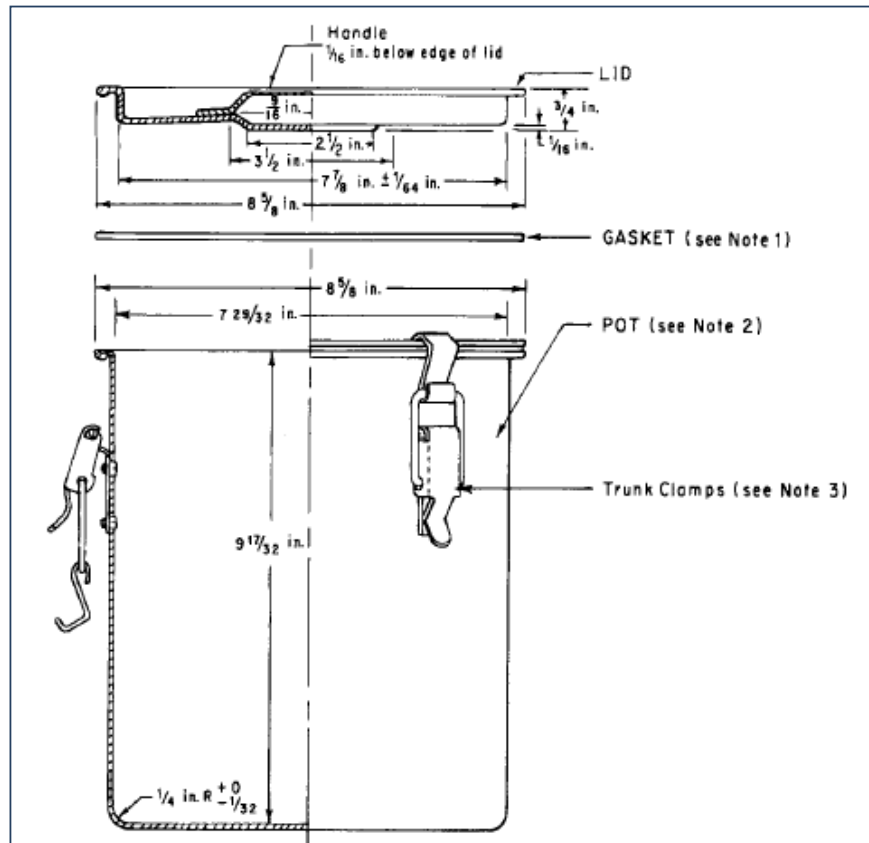


Figura: 1 Vaso Mecánico de lavado

DIMENSIONES

Pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm
9.17/32	242,1	7 27/32	199,2	9/16	14,3
8.5/8	219,1	7 5/8	193,7	1/4	6,4
8.33/64	216,3	3 1/2	88,9	1/16	1,6
7.29/32	200,8	2 1/2	63,5	1/32	0,79
7.7/8	200,0	3/4	19,0	1/64	0,40

Nota 1. La empaquetadura debe ser de caucho de neopreno de 3,2 mm (1/8") de espesor, con diámetro interior de 199,2 ± 0.4 mm (7 27/32" ± 1/64") y diámetro exterior de 216,3 ± 0,4 mm (8 33/64" ± 1/64).

Nota 2. El vaso debe ser de fondo plano, paredes rectas, cilíndrico de 7,6 dm³ (2 galones) de capacidad aprox. su extremo superior debe ser extendido hacia afuera para dar asiento al empaque y a la tapa.

Nota 3. Se requieren 3 broches que deben estar equitativamente espaciados. Deben estar unidos al vaso mediante remaches o soldaduras que no permitan el paso del agua. Cuando se ajusten la tapa y la empaquetadura con los broches, el vaso debe quedar sellado herméticamente.

Nota 4. El vaso debe ser de acero inoxidable y tener una tolerancia de ± 0,8 mm (1/32") en las dimensiones mostradas, a menos que se especifique otra cosa.

- 4.1.3 Agitador-Un dispositivo mecánico diseñado para sostener el recipiente de lavado en posición vertical mientras se somete a un movimiento lateral de pistón a una velocidad de 285 ± 10 ciclos completos por minuto. La figura 2 muestra un agitador de tamices Tyler portátil modificado para cumplir con estos requisitos.

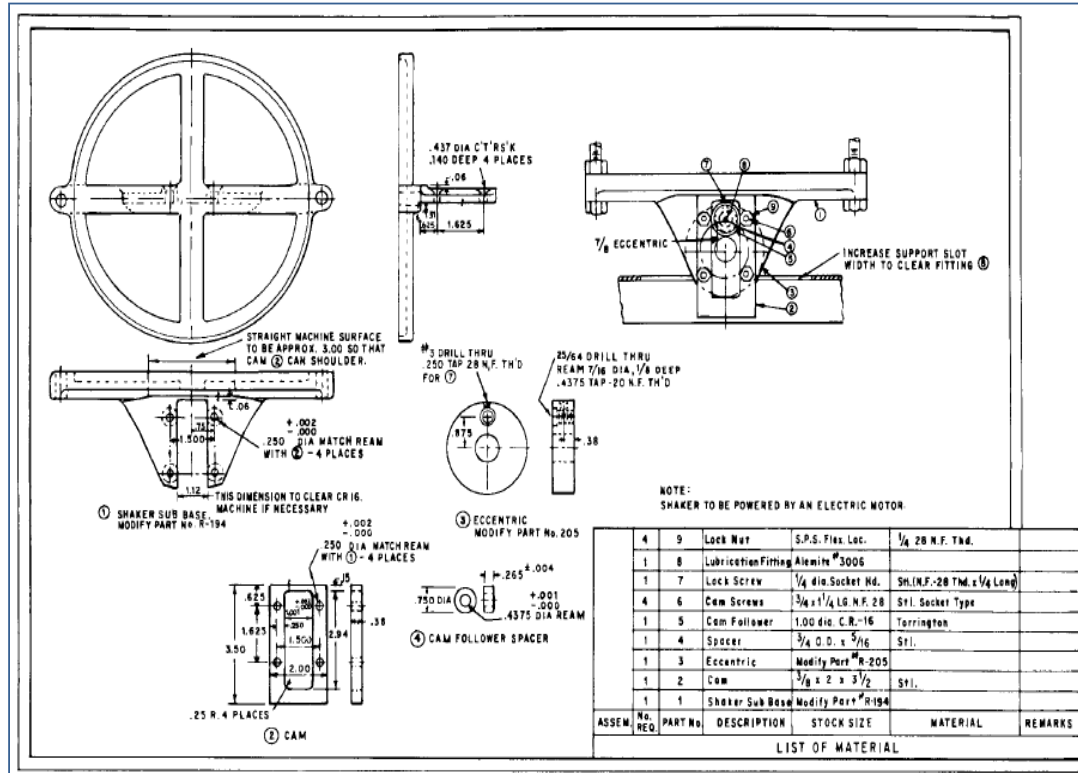


Figura 2: Agitador de tamices Tyler portátil modificado.

- 4.1.4 Todos los equipos necesarios para realizar la prueba de Equivalente de arena de los suelos y de agregado fino (el método de prueba MTC E 114).
- 4.1.5 Tamices-Los tamices se ajustará a la especificación E 11.
- 4.1.6 Balanza, con capacidad mínima de 500 g y precisión de 1 g.
- 4.2 INSUMOS
- 4.2.1 Soluciones de Cloruro de Calcio-Stock y de trabajo, soluciones de cloruro como se especifica en los reactivos y sección de Materiales del Método MTC E 114 son obligatorios.
- 4.2.2 Agua destilada o agua desmineralizada será necesario para el desempeño normal de este método. Esto es necesario porque los resultados pueden ser afectados por ciertos minerales disueltos en el agua. Sin embargo, si se determina que el agua del grifo local es de tal pureza que no afecta a los resultados de pruebas, está permitido el uso, excepto en aquellas partes del procedimiento en las que se ordene usar expresamente agua destilada o desmineralizada. Para ensayos con propósitos de referencia, en todos los pasos del ensayo se debe usar agua destilada o desmineralizada.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Obténgase las muestras del agregado a ser ensayado de acuerdo con la norma MTC E 201.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACION DEL ENSAYO

- 6.1.2 Séquense suficientemente las muestras de agregados, para permitir su completa separación de tamaños mediante el tamiz de 4,75mm (N°4), y para desarrollar una condición de fluidez o libre movimiento de los agregados cuando pasan a través del tamiz. El secado puede efectuarse por cualquier método, siempre y cuando no se excedan los 60°C y no se degraden

las partículas. Los métodos de secado más usados son el secado al sol, al horno y el uso de corrientes de aire caliente.

- 6.1.3 Si la muestra contiene una cantidad apreciable de arcilla, dense vueltas al agregado a medida que se seca, para obtener un secado uniforme y evitar la formación de terrones duros de arcilla.
- 6.1.4 Quiebre los terrones duros y elimínense los finos que cubren los agregados gruesos, por cualquier método seguro que no reduzca apreciablemente el tamaño natural de las partículas.
- 6.1.5 Determínese la gradación de la muestra por tamizado, de acuerdo con la norma MTC E107, con los tamices de 19,0; 12,5; 9,5; 4,75; 2,36 y 1,18mm ($\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N° 4, N° 8, N° 16). Descártese cualquier material que sea retenido en el tamiz de 19,0mm ($\frac{3}{4}$ ").
- 6.1.6 Determínense los procedimientos de ensayo que se usarán para establecer el índice de durabilidad del agregado, basándose en la gradación obtenida en el numeral 6.1.5:
- Si menos del 10% del agregado pasa el tamiz de 4,75mm (N° 4), ensáyese solamente el agregado grueso (procedimiento A).
 - Si menos del 10% del agregado es de tamaño mayor que el tamiz de 4,75 mm (N° 4), ensáyese solamente el agregado fino (procedimiento B).
 - Cuando ambas fracciones del agregado, grueso y fino, están presentes en cantidades iguales o mayores al 10%, y el porcentaje que pasa el tamiz de 1,18 mm (N°16) es mayor del 10%, úsense ambos procedimientos, A y B, a las fracciones correspondientes.
 - Si el porcentaje que pasa el tamiz de 1,18mm (N°16) es menor ó igual al 10%, úsense el procedimiento A ó el procedimiento C.
 - Si la mayoría del agregado (75 a 80%) se encuentra entre los tamices de 9,5mm ($\frac{3}{8}$ ") y 1,18mm (N° 16), úsense únicamente el procedimiento C.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO (PROCEDIMIENTO A - AGREGADO GRUESO)

6.2.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 6.2.1.1 Prepárese una muestra preliminar de ensayo, de $2550 \pm 0,25$ g, secada al aire, usando la siguiente gradación:

Tamaño del agregado	Peso seco al aire, g
19,0 a 12,5 mm ($\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ ")	1070 ± 10
12,5 a 9,5 mm ($\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{8}$ ")	570 ± 10
9,5 a 4,75 mm ($\frac{3}{8}$ " a N° 4)	910 ± 5
	2550 ± 25

- 6.2.1.2 Para materiales con menos del 10% en cualquiera de las fracciones de tamaño del cuadro de 6.2.1.1, preparar la muestra de prueba con el real porcentaje de la fracción deficiente y aumentar proporcionalmente la masa de las fracciones restantes para obtener el 2550 muestra de la prueba. Dos ejemplos

Ejemplo 1: Menos del 10% en $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " pulgadas (19,0 a 12,5 mm) fracción

Tamaño de Agregado	Porcentaje	Calculo	Masa Seca al Aire
$\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " (19,0 a 12,5mm)	6	$0,06 \cdot 2550$	153 ± 10
$\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{8}$ " (12,5 a 9,5 mm)	26	$570(2550-153)$	923 ± 10
		$570+910$	
$\frac{3}{8}$ " a N°4 (9,5 a 4,75 mm)	68	$910(2550-153)$	1474 ± 5
		$570+910$	
Totales	100		2550 ± 25

Ejemplo 2: Menos del 10% en dos fracciones

Tamaño de Agregado	Porcentaje	Calculo	Masa Seca al Aire
¾" a ½" (19,0 a 12,5mm)	4	0,04*2550	102 ± 10
½" a ⅜" (12,5 a 9,5 mm)	7	0,07*2550	179 ± 10
⅜" a N°4 (9,5 a 4,75 mm)	89	2550-(102+179)	2269 ± 5
Totales	100		2550 ± 25

6.2.1.3 Introducir la muestra preliminar de ensayo dentro del vaso mecánico de lavado, añadir 1,000 ± 5 mL de agua destilada o desmineralizada, sujete la tapa del depósito en el lugar, y asegure el vaso en la tamizadora o agitadora.

6.2.1.4 Debido a la baja gravedad específica o a la alta o baja absorción de ciertos agregados, las proporciones de agregado y agua pueden no permitir la fricción deseada entre las partículas. El ensayo de estos materiales requerirá un ajuste al peso del espécimen de ensayo o al volumen del agua, tanto de lavado como de ensayo, o a ambos:

- Lavar todos los materiales que no son completamente inundados cuando se agreguen 1000 mL de agua a la muestra de ensayo y ajuste a los pesos de la muestra y a los volúmenes de agua. Determínese el peso específico del agregado secado al horno y su porcentaje de absorción, de acuerdo con la norma de ensayo MTC E206.
- Calcúlese el peso total de la muestra de ensayo usando la siguiente ecuación:

$$\text{Peso calculado de la muestra} = \frac{\text{Peso específico del agregado}}{2,65} \times W \quad (1)$$

- Calcúlese el peso del material en cada tamaño proporcionalmente a los pesos especificados en el numeral 6.2.1.1.
- Ajustese el volumen del agua de ensayo usando la siguiente ecuación:

$$\text{Agua ajustada} = 1000 + (A \times W) - 50 \quad (2)$$

Donde:

- A = Absorción del agregado, %
W = Peso de la muestra de ensayo secada al horno, g.

6.2.1.5 Después de 60 ± 10 segundos de haber introducido el agua de lavado, agítese el vaso en el agitador de tamices, por un tiempo de 120 ± 5 segundos.

6.2.1.6 Al terminar el periodo de 2 min de agitación, remuévase el vaso del agitador, destápese y Vierta su contenido por el tamiz de 4,75 mm (N°4). Lávense los finos remanentes en el vaso con la ayuda de una manguera, de forma tal que el agua de lavado pase por el tamiz y caiga en el mismo recipiente de los agregados que lo atravesaron, hasta que el agua salga clara.

6.2.1.7 Séquese la fracción retenida en el tamiz de 4,75 mm (N°4) a peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C y pésese. Si la pérdida de peso debida al lavado efectuado según los numerales 6.2.1.4 a 6.2.1.6 es igual o menor a 75 g, una muestra para ensayos adicionales debe ser preparada y los procedimientos de los numerales 6.2.1.8 a 6.2.1.13 deben ser omitidos. Si la pérdida de peso excede los 75 g, la muestra preliminar de ensayo puede conservarse y ser usada, siempre y cuando una segunda muestra se lave mediante el mismo procedimiento y las dos muestras sean combinadas de acuerdo con los pesos especificados para proveer la muestra de ensayo deseada.

6.2.1.8 Determinar la clasificación que se utilizará en la preparación de muestra de la prueba preliminar de la siguiente manera:

- a) Si cada uno de los tamaños de agregado listados en la siguiente tabla representa el 10% o más de la porción comprendida entre los tamices de 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ ") y 4,75 mm (N° 4), como se determinó en los pesos registrados en el numeral 6.1.5, úsese los pesos del material (secado al horno) especificado en seguida, para preparar la muestra de ensayo preliminar.

Tamaño del agregado	Peso seco al horno, g
19,0 a 12,5 mm ($\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ ")	1050 ± 10
12,5 a 9,5 mm ($\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{8}$ ")	550 ± 10
9,5 a 4,75 mm ($\frac{3}{8}$ " a N° 4)	900 ± 5
	2500 ± 25

- 6.2.1.9 Preparar 2500 g de muestra de ensayo preliminar usando la gradación prescrita. Secar la muestra hasta peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C.
- 6.2.1.10 Lávese mecánicamente la muestra preliminar de la misma manera como se describió en los numerales 6.2.1.3 a 6.2.1.5.
- 6.2.1.11 Repítanse las secciones 6.2.1.9 y 6.2.1.10, si es necesario, para obtener suficiente material que dé una muestra de ensayo lavada de 2500 ± 25 g, numeral 6.2.1.8 a).
- 6.2.1.12 Después de permitir que se enfríe el material secado al horno, sepárese el agregado grueso lavado, en los tamices de 12,5; 9,5 y 4,75 mm ($\frac{1}{2}$ " , $\frac{3}{8}$ " , N° 4). Descártese el material que pasa el tamiz de 4,75 mm (N° 4).
- 6.2.1.13 Prepárese la muestra de ensayo lavada usando los pesos especificados en el numeral 6.2.1.8, a partir de porciones representativas de cada tamaño del material lavado. Ocasionalmente, puede ser necesario lavar una tercera muestra preliminar de ensayo para obtener el peso requerido en un tamaño específico de material.
- 6.2.2 PROCEDIMIENTO PARA EL AGREGADO GRUESO
- 6.2.2.1 Colóquese el cilindro plástico (el mismo requerido en la norma MTC E114 para obtención del equivalente de arena) sobre una mesa de trabajo, la cual no debe estar expuesta a vibraciones durante el proceso de sedimentación del ensayo. Viértanse 7 mL (0,24 onzas) de la solución base del cloruro de calcio dentro del cilindro. Colóquense los tamices de 4,75 mm (N°4) y de 75 μ m (N° 200) sobre el recipiente recolector del agua de lavado con el tamiz de 4,75 mm (N°4) arriba, el cual sirve sólo para proteger el tamiz de 75 μ m (N°200).
- 6.2.2.2 Colóquese la muestra de ensayo lavada (como se preparó en el numeral 6.2.2.1) en el vaso de lavado mecánico. Añádase luego la cantidad de agua destilada o desmineralizada, determinada en el numeral 6.2.1.4; ajústese la tapa y colóquese el vaso en el agitador. Comiencese la agitación después de 60 segundos de haber vertido el agua de lavado. Agítese el vaso por 600 ± 15 segundos.
- 6.2.2.3 Inmediatamente después de agitado, retírese el vaso del agitador y quítesele la tapa. Agítese el contenido del vaso sostenido verticalmente, en forma vigorosa, con movimientos horizontales - circulares, cinco o seis veces, para, poner los finos en suspensión e inmediatamente viértase este contenido en el recipiente colector de agua de lavado con los tamices mencionados en el numeral 6.2.2.1. Descártese el material retenido en el tamiz de 4,75 mm (N° 4). Recójase toda el agua de lavado y material que pasa el tamiz de 75 μ m (N° 200) en el recipiente colector. Para asegurar que el material de tamaño inferior al del tamiz de 75 μ m (N° 200) pasa por dicho tamiz, deben seguirse los siguientes pasos:
- a) A medida que el agua de lavado del material es drenada por el tamiz de 75 μ m (N° 200), debe golpearse repetidamente el lado del tamiz con la mano.

- b) Si aún queda una concentración retenida en el tamiz, debe reciclarse el agua de lavado. Para ello debe primero dejarse reposar el agua del colector permitiendo que asienten las partículas mayores. Luego, el agua un poco más clara de la parte superior puede depositarse en otro recipiente y volverse a verter sobre los tamices, para caer de nuevo en el recipiente colector, lavando así las partículas remanentes. Debe repetirse este reciclaje hasta que todas las partículas que deben pasar por el tamiz de 75 μm efectivamente pasen y se junten en el recipiente colector.
- 6.2.2.4 Añádase agua destilada o desmineralizada, hasta dar el volumen de 1000 ± 5 mL de agua sucia. Transfírase el agua de lavado a otro recipiente adecuado para agitar y verter su contenido.
- 6.2.2.5 Colóquese un embudo en el cilindro plástico graduado. Agítese manualmente el agua de lavado para poner los finos en suspensión. Estando aún en turbulencia, viértase el agua de lavado dentro del cilindro graduado, en cantidad tal, que llegue el nivel del agua a la marca de 380 mm (15").
- 6.2.2.6 Remuévase el embudo, colóquese el tapón en el extremo del cilindro y prepárese para mezclar el contenido inmediatamente.
- 6.2.2.7 Mézclase el contenido mediante movimientos alternados de agitación hacia arriba y hacia abajo a la derecha y a la izquierda, haciendo que la burbuja atraviese completamente el cilindro 20 veces en 35 segundos aproximadamente.
- 6.2.2.8 Completándose el proceso de mezclado, colóquese el cilindro sobre la mesa de trabajo y remuévase el tapón. Déjese reposar el contenido del cilindro por 1200 ± 15 segundos cuidando de no perturbarlo. Exactamente al final de este tiempo léase y regístrese la altura de la columna de sedimentación, con aproximación de 2,5 mm (0,1").
- Nota 5.** Existen dos condiciones no usuales que pueden ser encontradas en esta fase del procedimiento de ensayo. Una es que puede no formarse una línea de demarcación claramente definida entre el sedimento y el líquido sobre él, al finalizar los 20 minutos especificados. Si esto ocurre en un ensayo donde se usó agua destilada o desmineralizada, déjese- sedimentar aún más hasta que se forme la línea de demarcación, mézclase la altura y regístrese el tiempo. Si en cambio el ensayo se hizo con agua común, debe descontinuarse el ensayo y repetirse usando una parte de la muestra que no esté ensayada, y usando agua desmineralizada. La segunda condición no usual es que el líquido que está sobre la línea de demarcación puede verse aún oscuro y turbio al final de los 20 minutos de sedimentación, viéndose como si la línea de demarcación estuviese dentro de la misma columna de sedimentación. Al igual que la primera condición, si se ha usado agua común, debe volver a hacerse el ensayo con una nueva muestra y con agua destilada y desmineralizada; en caso contrario, puede leerse y registrarse esta línea de demarcación al final del tiempo de sedimentación de 20 minutos.
- 6.2.3 PREPARACION DE LA MUESTRA DE ENSAYO (PROCEDIMIENTO B-AGREGADO FINO)
- 6.2.3.1 Cuartéese una porción representativa del material que pasa por el tamiz de 4,75 mm (Nº 4), en cantidad suficiente para obtener un peso secado al horno de $500 \pm 0,25$ g.
- 6.2.3.2 Séquese la muestra preliminar de ensayo a peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C. Enfríese a la temperatura ambiente.
- 6.2.3.3 Colóquese la muestra de ensayo en el vaso mecánico de lavado, añádanse 1000 ± 5 mL de agua destilada y desmineralizada, y tápese el vaso. Asegúrese el vaso en el agitador con suficiente tiempo para comenzar la agitación después de 600 ± 30 segundos de haber introducido el agua de lavado. Agítese el vaso por un periodo de 120 ± 5 segundos.
- 6.2.3.4 Después de completar el periodo de agitación por 2 minutos, retírese el vaso del agitador, destápese y cuélese cuidadosamente su contenido a través del tamiz de 75 μm (Nº 200), protegido con el tamiz de 4,75 mm (Nº 4), como se describió en el numeral 6.2.1.1. Enjuáguese el vaso y el tamiz con ayuda de una manguera, de manera que el agua de

lavado caiga en el mismo recipiente de los agregados que pasaron el tamiz de 75 μm (Nº 200), hasta que el agua que pasa por el tamiz salga clara.

- 6.2.3.5 Puede ser necesario fluidificar aquellas muestras que sean arcillosas o limosas, antes de verterlas sobre el tamiz, para prevenir el taponamiento del tamiz de 75 μm (Nº200). Se hace esto añadiendo agua al vaso después del período de agitación. La fluidificación repetida puede ser necesaria en casos extremos, antes de que el contenido del vaso sea vertido en el tamiz.
- 6.2.3.6 Después del lavado, transfírase el material retenido en el tamiz a un recipiente de secado y séquese hasta peso constante, a una temperatura de 110 ± 5 °C. Es necesario lavar el material retenido en el tamiz de 75 μm (Nº200) para transferirlo al recipiente de secado. Déjese el recipiente en una posición inclinada, hasta que el agua drene libremente en la parte inferior del recipiente, dejar que el agua sea clara. Luego desalójese esta agua clara. Úsense recipientes grandes para extender la muestra y alimentar la velocidad de secado.
- 6.2.3.7 Dividir o cuartear parte del material de lavado y secado y proporcionar una muestra de tamaño suficiente para llenar un tarro de 3 onzas (85 mL) hasta el borde. Predeterminar la cantidad exacta de material cuarteado utilizando los siguientes procedimientos.
- Llenar el tarro de medición hasta rebosar con el material preparado.
 - Consolidar el material en el tarro golpeando el borde inferior con un objeto duro.
 - Enrasar el nivel superior usen una regla y determinar el peso del material.

Nota 6. Es preferible el uso de un cuarteador que cumpla con los requisitos de la norma MTC E105.

- 6.2.3.8 Hágase un ensayo de equivalente de arena de acuerdo con la norma MTC E114, con la excepción de que se debe usar un agitador mecánico para agitar continuamente el cilindro y su contenido por un tiempo de 600 ± 15 segundos.

6.2.4 PREPARACION DE LA MUESTRA (PROCEDIMIENTO C - AGREGADOS MUY FINOS PARA SER ENSAYADOS COMO AGREGADOS GRUESOS Y MUY GRUESOS PARA SER ENSAYADOS COMO AGREGADOS FINOS)

- 6.2.4.1 El procedimiento C ha sido desarrollado para ensayar agregados que están contenidos principalmente entre los tamices de 9,5 mm y 1,18 mm (3/8" y Nº 16) (gravilla, confitillo). Estos agregados son muy finos para ser ensayados como agregados gruesos y muy gruesos para ser ensayados como arena.
- 6.2.4.2 Prepárese la muestra de ensayo de la misma forma que la especificada en el numeral 6.2.3, exceptuando que se elimina el procedimiento de tamizado y de recomendación del material seco como se requería en los numerales 6.2.3.7 y 6.2.3.8.

6.2.5 PROCEDIMIENTO

- 6.2.5.1 Llénese el cilindro plástico hasta el nivel de $102 \pm 2,5$ mm ($4 \pm 0,1$ ") con agua destilada o desmineralizada. Viértase el espécimen de ensayo preparado dentro del cilindro mediante un embudo para evitar derramamiento. Golpéese súbitamente el fondo del cilindro con la palma de la mano para liberar cualquier burbuja y ayudar al humedecimiento total del espécimen. Déjese reposar el cilindro por 10 ± 1 minutos.
- 6.2.5.2 Tápese el cilindro, remuévase el material del fondo, y colóquese el cilindro en el agitador mecánico del equivalente de arena. Actívese el cronómetro y permítase que la máquina agite el cilindro y su contenido por 30 ± 1 minutos.
- 6.2.5.3 Al final del periodo de agitación, sáquese el cilindro del agitador y transfírase el agua y el material que pasa el tamiz de 75 μm (Nº 200) a un segundo cilindro que contiene 7 mL (0,24 oz) de solución base de cloruro de calcio. Para ello, deben ensamblarse los tamices de 2,36 mm y de 75 μm (Nº 8 y Nº 200) con un embudo que descarga al segundo cilindro, debe golpearse el fondo del primer cilindro (aún tapado) y agitarse para aflojar su

contenido, luego invertirlo sobre el embudo con los tamices, quitar el tapón y dejar que se cuele el contenido a través de los tamices y que descargue el material que pase, en el segundo cilindro. Luego añádase suficiente agua fresca destilada, hasta que el nivel del líquido en el segundo cilindro sea de 380 mm (15").

Tápese el segundo cilindro y mézclase su contenido invirtiéndolo 20 veces en 35 segundos.

- 6.2.5.4 Permítase que el cilindro repose no disturbado, por 1200 ± 15 segundos (20 minutos) desde el momento de haber completado la operación de mezcla; luego léase la marca de la suspensión arcillosa con precisión de 2,5 mm (0,1").

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 PROCEDIMIENTO A - AGREGADO GRUESO

- 7.1.1.1 Calcúlese el índice de durabilidad del agregado grueso, aproximándolo al entero mas cercano, usando la siguiente ecuación:

$$D_c = 30,3 + 20,8 \cot (0,29 + 0,15 H)$$

Donde:

D_c = Índice de durabilidad

H = Altura de sedimentación, en mm, y la cantidad (0,29 + 0,15 H) en radianes.

- 7.1.1.2 La Tabla 1 muestra soluciones a esta ecuación.

Tabla 1
Índice de durabilidad del agregado grueso
($D_c = 30,3 + 20,8 \cot (0,29 + 0,15 H)$) (A)

Altura de sedimentación		D_c	Altura de Sedimento		D_c	Altura de sedimentación		D_c	Altura de Sedimento		D_c	Altura de sedimentación		D_c
Pulg	Mm		Pulg	Mm		Pulg	Mm		Pulg	Mm		Pulg	Mm	
0,0	0,0	100	3,0	76,2	53	6,0	152,4	39	9,0	228,6	29	12,0	304,8	18
0,1	2,5	96	3,1	78,7	52	6,1	154,9	38	9,1	231,1	29	12,1	307,0	18
0,2	5,1	93	3,2	81,3	52	6,2	157,5	38	9,2	233,7	28	12,2	309,9	18
0,3	7,6	90	3,3	83,8	51	6,3	160,0	38	9,3	236,2	28	12,3	312,4	17
0,4	10,2	87	3,4	86,4	51	6,4	162,6	37	9,4	238,8	28	12,4	315,0	17
0,5	12,7	85	3,5	88,4	50	6,5	165,1	37	9,5	241,3	27	12,5	317,5	16
0,6	15,2	82	3,6	91,4	49	6,6	167,6	37	9,6	243,8	27	12,6	320,0	16
0,7	17,8	80	3,7	94,0	49	6,7	170,2	36	9,7	246,4	27	12,7	322,6	15
0,8	20,3	78	3,8	96,5	48	6,8	172,7	36	9,8	248,9	26	12,8	325,1	15
0,9	22,9	76	3,9	99,1	48	6,9	175,3	36	9,9	251,5	26	12,9	327,7	14
1,0	25,4	74	4,0	101,6	47	7,0	177,8	35	10,0	254,0	26	13,0	330,2	14
1,1	27,9	73	4,1	104,1	47	7,1	180,3	35	10,1	256,5	25	13,1	332,7	13
1,2	30,5	71	4,2	106,7	46	7,2	182,9	35	10,2	259,1	25	13,2	335,3	13
1,3	33,0	70	4,3	109,2	46	7,3	185,4	34	10,3	261,6	25	13,3	337,8	12
1,4	35,6	68	4,4	111,8	45	7,4	188,0	34	10,4	264,2	24	13,4	340,4	12
1,5	38,1	67	4,5	114,3	45	7,5	190,5	34	10,5	266,7	24	13,5	342,9	11
1,6	40,6	66	4,6	116,8	44	7,6	193,0	33	10,6	269,2	24	13,6	345,4	11
1,7	43,2	65	4,7	119,4	44	7,7	195,6	33	10,7	271,8	23	13,7	348,0	10
1,8	45,7	63	4,8	121,9	43	7,8	198,1	33	10,8	274,3	23	13,8	350,5	9
1,9	48,3	62	4,9	124,5	43	7,9	200,7	32	10,9	276,9	23	13,9	353,1	9
2,0	50,8	61	5,0	127,0	43	8,0	203,2	32	11,0	279,4	22	14,0	355,6	8
2,1	55,4	60	5,1	129,5	42	8,1	205,7	32	11,1	281,9	22	14,1	358,1	7
2,2	55,9	59	5,2	132,1	42	8,2	208,3	31	11,2	284,5	22	14,2	360,7	7
2,3	58,9	59	5,3	134,6	41	8,3	210,8	31	11,3	287,0	21	14,3	363,2	6
2,4	61,0	58	5,4	137,2	41	8,4	213,4	31	11,4	289,6	21	14,4	365,8	5
2,5	63,5	57	5,5	139,7	40	8,5	215,9	30	11,5	292,1	20	14,5	368,3	4
2,6	66,0	56	5,6	142,2	40	8,6	218,4	30	11,6	294,6	20	14,6	370,8	4

Altura de sedimento		D _c	Altura de Sedimento		D _c	Altura de sedimento		D _c	Altura de Sedimento		D _c	Altura de sedimento		D _c
Pulg	Mm		Pulg	Mm		Pulg	Mm		Pulg	Mm		Pulg	Mm	
2,7	68,0	55	5,7	144,8	40	8,7	221,0	30	11,7	297,2	20	14,7	373,4	3
2,8	71,1	54	5,8	147,3	39	8,8	223,5	29	11,8	299,7	19	14,8	375,9	2
2,9	73,7	54	5,9	149,9	39	8,9	226,1	29	11,9	302,3	19	14,9	378,5	1
												15,0	381,0	0

7.1.2 PROCEDIMIENTO B - AGREGADO FINO

7.1.2.1 Calcúlese el índice de durabilidad del agregado fino, aproximándolo al entero inmediatamente superior, usando la siguiente ecuación:

$$D_f = \frac{\text{Lectura de la arena}}{\text{Lectura de la arcilla}} \times 100$$

7.1.2.2 Si se desea calcular el índice como el promedio de varios índices, cada índice se calcula al entero superior y el promedio de ellos también se aproxima al entero superior.

7.1.3 PROCEDIMIENTO C - AGREGADOS MUY FINOS PARA SER ENSAYADOS COMO AGREGADOS GRUESOS Y MUY GRUESOS PARA SER ENSAYADOS COMO AGREGADOS FINOS

7.1.3.1 Calcúlese el índice de durabilidad de acuerdo con el numeral 7.1.1

7.2 INFORME

7.2.1 Infórmese la gradación del material a ensayar tal como fue recibido, la gradación de la muestra de agregado grueso usada y la de agregado fino usada (análisis de mallas). Infórmese el índice de durabilidad calculado (D_c ó D_f) con la indicación del procedimiento usado (A, B o C).

7.2.2 Infórmese si hubo control de temperatura y si se usó agua común, destilada o desmineralizada.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 Resultados de dos (2) ensayos efectuados por el mismo operador, sobre el mismo material, no deben diferir entre sí en más de 10,1.

8.2 Resultados de dos (2) ensayos efectuados en laboratorios diferentes, sobre el mismo material, no deben diferir entre sí en más de 14,4.

MTC E 215.

METODO DE ENSAYO PARA CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL DE LOS AGREGADOS POR SECADO

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer procedimientos para determinar el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado fino o grueso por secado.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Las partículas mas grades de agregado grueso, especialmente aquellas superiores a 50mm requerirán de más tiempo de secado para que la humedad se desplace del interior de la partícula hasta la superficie. El usuario de este método deberá determinar empíricamente si los métodos por secado rápido suministran la suficiente precisión para el fin requerido, cuando se sequen partículas de tamaños mayores.
- 2.2 La humedad evaporable incluye la humedad superficial y la contenida en los poros del agregado, pero no considera el agua que se combina químicamente con los minerales de algunos agregados y que no es susceptible de evaporación por lo que no está incluido en el porcentaje determinado por este método.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.185: Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.

4.0 EQUIPOS

- 4.1 Balanza: Con sensibilidad al 0,1 % del peso de prueba en cualquier punto dentro del rango de uso. Dentro de cualquier intervalo igual al 10% de la capacidad de la balanza, la indicación del peso deberá tener una precisión dentro del 0,1 % del rango indicado.
- 4.2 Fuente de calor: Un horno ventilado capaz de mantener la temperatura alrededor de la muestra $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Cuando no se requiera un control muy preciso de la temperatura (Véase apartado 2.1), otras fuentes de calor pueden usarse, tales como una plancha o cocina eléctrica o a gas, lámparas caloríficas eléctricas o un horno microondas ventilado.
- 4.3 Recipiente para la muestra: Un envase que no sea afectado por el calor y con suficiente capacidad para contener la muestra sin peligro de derramarse. Tendrá la forma conveniente para que el espesor de la muestra no exceda un quinto de la menor dimensión lateral.

Precaución: Cuando se emplee un horno microondas, el recipiente será no-metálico

Nota 1. Excepto cuando se ensayen muestras muy grandes, una fuente de horneado corriente es aparente para usarse con una cocina o plancha caliente, o cualquier fuente chata de metal se puede emplear con lámparas caloríficas u hornos. Tomar nota de la precaución indicada en el apartado 4.3.

5.0 MUESTRA

- 5.1 El muestreo se efectuará de acuerdo con el método MTC E 201, con excepción del tamaño de la muestra.
- 5.2 Deberá disponerse de una muestra representativa del contenido de humedad de la fuente de abastecimiento que está evaluándose con una masa no menor de la cantidad indicada en la Tabla 1, La muestra deberá protegerse contra la pérdida de humedad antes de determinar su masa.

TABLA 1
Tamaño de la muestra de agregado

Tamaño máximo nominal de agregado mm (pulgada)	Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal en kg
4,75 (0,187) (N°4)	0,5
9,5 (3/8)	1,5
12,5 (1/2)	2,0
19,0 (3/4)	3,0
5,0 (1)	4,0
37,5 (2.1/2)	6,0
50,0 (2)	8,0
63,0 (2.1/2)	10,0
75,0 (3)	13,0
90,0 (3.1/2)	16,0
100,0 (4)	25,0
150 (6)	50,0

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Determinar la masa de la muestra con una precisión del 0,1 %.
- 6.2 Secar la muestra en el recipiente por medio de la fuente de calor elegida, teniendo cuidado de evitar la pérdida de ninguna partícula. Un secado muy rápido puede causar que exploten algunas partículas resultando en pérdidas de partículas. Usar un horno de temperatura controlada cuando el calor excesivo puede alterar las características del agregado o cuando se requiera una medición más precisa. Si se usa una fuente de calor diferente al horno de temperatura controlada revolver la muestra durante el secado para acelerar la operación y evitar sobrecalentamiento localizado. Cuando se use un horno microondas, es opcional el devolver la muestra.
- 6.3 Cuando se use una plancha o cocina, el secado puede acelerarse mediante el siguiente procedimiento: Añadir suficiente alcohol anhidro hasta cubrir la muestra húmeda. Revolver y permitir que el material suspendido se asiente. Decantar la mayor cantidad posible de alcohol sin perder ninguna partícula de la muestra. Encender el alcohol remanente y permitir que arda hasta que se consuma durante el secado de la muestra sobre la plancha o cocina.
- Advertencia:** Tomar precauciones para controlar la ignición a fin de prevenir daños o heridas con el alcohol encendido.
- 6.4 La muestra estará suficientemente seca cuando la aplicación de calor adicional cause o puede causar menos de 0,1% de pérdida adicional de masa.
- 6.5 Determinar la masa de la muestra seca con una aproximación de 0,1 % después que se haya secado y enfriado lo suficiente para no dañar la balanza.

7.0 CALCULOS E INFORME

- 7.1 Calcular el contenido de humedad total evaporable de la siguiente manera.

$$P = \frac{100(W - D)}{D}$$

Donde:

- P = Contenido total de humedad total evaporable de la muestra en porcentaje
W = Masa de la muestra húmeda original en gramos
D = Masa de la muestra seca en gramo

- 7.2 El contenido de humedad superficial es igual a la diferencia entre el contenido de humedad total evaporable y la absorción, con todos los valores referidos a la masa de una muestra



seca. La absorción puede determinarse de acuerdo con el método MTC E 205 o al método MTC E 206.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 La desviación estándar para un mismo operador en un mismo laboratorio.

Desviación estándar	0,28
Diferencia con el mismo operador	0,79

8.2 La desviación estándar entre laboratorios.

Desviación estándar	0,28
Diferencia para dos laboratorios	0,79

MTC E 216.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL RELLENO MINERAL

1.0 OBJETO

- 1.1 Efectuar el análisis granulométrico, del relleno mineral, utilizado como material de construcción, en mezclas para bases y pavimentos. Se utiliza también como relleno en las mezclas bituminosas.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El método es usado para determinar el cumplimiento de rellenos minerales con las exigencias de clasificación de especificación la D 242.
- 2.2 Este método no pretende dirigir todas las preocupaciones de seguridad, si alguno, es asociado con su empleo. Esto es responsabilidad del usuario de este método para establecer la seguridad apropiada y prácticas de salud y determinar la aplicabilidad de limitaciones reguladoras antes de su uso.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 546: Standard Test Method for Sieve Analysis of Mineral Filler for Bituminous Paving Mixtures.

4.0 EQUIPOS

- 4.1 EQUIPOS
- 4.1.1 Balanzas, Sensible a 0,05 g y exacto a $\pm 0,05$ g con una capacidad de 200 g.
- 4.1.2 Tamices, de 75 μm (Nº 200), 300 μm (Nº 50), y 600 μm (Nº 30).
- 4.1.3 Horno. Un horno de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Obtener la muestra para la prueba conforme a las exigencias de la especificación D242 y reducir las muestras del tamaño conforme a la práctica C702. Use un mínimo de 100 g de material seco para cada análisis de tamiz.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 PREPARACION DEL ENSAYO
- 6.1.1 Pése la muestra seca, con aproximación de 0,05 g y coloque sobre la malla de 600 μm (la Nº 30), que será anidado encima de la malla de 300 μm (la Nº 50) y 75 μm (la Nº 200). Lave al material mediante una corriente del agua de un caño (Nota 1). Siga el lavado hasta que el agua que atraviesa el tamiz sea clara (Nota 2). Seque el residuo de cada tamiz a la masa constante en una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ (Nota 3).

Nota 1. Una boquilla espaciadora o un pedazo de manguera de plástico conectada a un caño de agua pueden ser utilizados para el lavado. La velocidad del agua, que puede ser incrementado poco a poco debe ser controlada para evitar la pérdida de la muestra por salpicaduras sobre los lados de los tamices.

Nota 2. Tenga cuidado para evitar la acumulación de agua en la 75 μm (Nº 200), ya que puede obstruirse y el ensayo no se puede completar en un plazo razonable.

Nota 3. Parte del material retenido en el tamiz de 75 μm (Nº 200) que no pasó durante el lavado, se tamizará en seco la parte de la muestra retenida en el tamiz de 75 μm (Nº 200), se hará de conformidad con el método de ensayo MTC E 107.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Calcúlese la masa de material retenido en cada tamiz como porcentaje del peso de la muestra original.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 Las estimaciones de precisión de este método de ensayo se muestran en el cuadro 1. Se basan en los resultados de un programa de pruebas de laboratorio, en los casos de cuatro muestras reproducibles relleno mineral se probaron diferentes en 20 laboratorios que utilizan este método de ensayo. Los materiales estudiados osciló entre un relleno mineral grueso, que tenía alrededor de 93% pasando el micras, 600 (Nº 30) de tamiz y el 51% de pasar el 75µm (Nº 200), a más fino relleno mineral que había alrededor del 99% de pasar el micras, 300 (Nº 50) tamiz y el 95% de pasar el micras, 75 (Nº 200) tamiz.

8.2 DISPERSION

8.2.1 La investigación para determinar el sesgo del método de ensayo no se ha llevado a cabo. Por lo tanto, ninguna declaración sobre los prejuicios que se haga.

Precisión	Resultados de la prueba de precisión del valor, % en tamaño	Desviación Standard (1s)	Rango Aceptable de Desviación Resultados de las Pruebas
Un solo Operador	Menos de 2	0,14	0,5
	Mas de 2	0,7	2,0
Multilaboratorio	Menos de 2	0,17	0,5
	Mas de 2	1,0	2,8

MTC E 217.**DETERMINACION DE LA REACTIVIDAD AGREGADO / ALCALI (METODO QUIMICO)****1.0 OBJETO**

- 1.1 Describe un método químico para determinar la Reactividad Potencial de un agregado con los álcalis del concreto de Cemento Pórtland y es indicada como la reacción durante veinticuatro (24) horas a 80°C de una solución 1N de Hidróxido de Sodio y los agregados chancados pasados por la malla N° 50 y retenido en la N° 100.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método de ensayo puede ser usado junto con otros métodos para evaluar la reactividad potencial de agregado silicoso con álcalis en el concreto de Cemento Pórtland. Las reacciones entre una solución de Hidróxido de sodio y agregado silicoso han mostrado en tener correlación con el rendimiento del agregado en estructuras de concreto y deben ser usados donde se están evaluando nuevas fuentes de agregados o donde se anticipa la reactividad de álcalis-sílice
- 2.2 Los resultados de este método de ensayo pueden ser obtenidos rápidamente y mientras que no esté seguro en todos los casos, ello proporciona datos útiles que pueden mostrar la necesidad de obtener información adicional mediante el método de prueba C-227 y guía C-295.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM C289-94: Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method)

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Balanzas: La balanza analítica y pesas para determinar Sílice disuelta por el Método Gravimétrico, conformará a los requisitos prescritos en los Métodos Standard de Análisis Químico de Cemento Pórtland (ASTM Designación C-114).
- 4.1.2 Equipo de Molienda: Una pequeña moladora de mandíbula y disco pulverizador capaz de chancar y moler aproximadamente 4 kg de agregado para que pase por la malla N° 50.
- 4.1.3 Baño de Temperatura Constante: Un baño líquido capaz de mantener una temperatura de 80 °C ± 1° C por 24 horas.
- 4.1.4 Fotómetro: Un fotómetro capaz de medir la transmisión de la luz a una longitud de onda constante de aproximadamente 410 mμ.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Mallas: N° 50 y N° 100 de aberturas cuadradas y tejidas de alambre que conforman las especificaciones (A.S.T.M Designación E-11).
- 4.2.2 Recipientes para Reacción: Los recipientes tendrán una capacidad de 50 a 75 mL y serán de acero inoxidable u otro material resistente a la corrosión y ajustadas con tapas herméticas.
- 4.2.3 Recipientes de Vidrio: Todos los aparatos de vidrio y recipientes serán cuidadosamente seleccionados para encontrar los requerimientos particulares de la operación. Frascos volumétricos Standard, buretas y pipetas serán de determinado grado de operación.
- 4.2.4 Escalas: Las balanzas y pesas usadas para pesar materiales se adecuarán a los requerimientos presentes en el ASTM C-114

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Pureza de Agua: Se usará agua destilada u otra de igual pureza.

- 4.3.2 Solución de Molibdato de Amonio: Disolver 10 g de Molibdato de Amonio $(\text{NH}_4)_8\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ en 100 mL de agua. Si la solución no es clara, filtrar a través de un papel de filtro de textura fina. Guardar la solución en una botella de vidrio revestida interiormente de parafina o en un recipiente plástico (Nota 1).

Nota 1. En la selección del recipiente tener cuidado y asegurarse que el reactivo no será modificado por la reacción con el material que conforme el recipiente, incluyendo pigmentos u otros aditivos o por transpiración de fases a través de las paredes del recipiente. Los recipientes de 0,020" y compuestos de polietileno de alta densidad que satisfagan los requerimientos de las especificaciones para materiales de plástico polietileno, moldes y expulsión (ASTM D-1248) son apropiadas para materiales del tipo III clase A.

- 4.3.3 Ácido Clorhídrico Standard (0,005 N): Preparar aproximadamente solución 0,05 N de HCL y estandarizarse a $\pm 0,0001$ N, estandarizar el HCL para los ensayos de cada día por neutralización con solución 0,05 N de NaOH Standard guardar la solución en un frasco de vidrio, químicamente resistente o recipiente de plástico (Nota 1).
- 4.3.4 Ácido Clorhídrico (1:1): Mezclar volúmenes iguales de HCL concentrado (gravedad específica 1,19) y agua. Guardar la solución en un frasco de vidrio químicamente resistente o convenientemente en un recipiente plástico (Nota 1)
- 4.3.5 Ácido Fluorhídrico (aproximadamente 50%): Guardar la solución en un frasco parafinado o en un recipiente de plástico apropiado.
- 4.3.6 Solución Ácido Oxálico: Disolver 10g de Ácido Oxálico dihidratado en 100 mL de agua. Guardar la solución en un frasco de vidrio resistente o recipiente de plástico apropiado (Nota 1).
- 4.3.7 Solución indicadora de Fenolftaleína: Disolver 1 g de fenolftaleína en 100 mL de etanol (1:1). Guardar la solución en un frasco de vidrio resistente o recipiente de plástico conveniente (Nota 1).
- 4.3.8 Solución Estándar de Sílice: Preparar una solución estándar de Sílice que contenga aproximadamente 10 mmoles SiO_2 / L por disolución de metasilicato de Sodio en agua. Guardar la solución en un frasco de polietileno de modo que no se afecte la composición o concentración de la solución (Nota 2). Usar una alícuota de 100 mL de la solución para determinar su contenido de SiO_2 por el procedimiento descrito en la sección 6.2.1 a 6.2.3. No usar solución Standard de Sílice mayor de un año, dado que la sílice iónica disuelta en dicha solución polimeriza lentamente, causando lecturas fotométricas aparentemente bajas.
- Nota 2.** La sílice contenida en los reactivos, más aún la solución Standard de sílice no serán significantes y no necesitan ser determinados.
- 4.3.9 Ácido Sulfúrico (gravedad específica 1,84): Ácido Sulfúrico concentrado (H_2SO_4). Guardar la solución en un frasco de vidrio químicamente resistente o un frasco de plástico apropiado (Nota 1)

5.0 MUESTRA

5.1 Selección y preparación de la muestra a ensayar

- 5.1.1 El ensayo puede ser usado para cada agregado; cuando el agregado fino y grueso son del mismo material, puede ser usado el agregado total
- 5.1.2 La muestra de ensayo será preparada en una porción representativa de los agregados, por chancado de modo que pase por la malla N° 50 de acuerdo a los siguientes procedimientos (Nota 3). Reducir el agregado grueso hasta que pase la malla N° 4 (4,76 mm) por medio de una chancadora de mandíbula pequeña. Tamizar el agregado grueso chancado y también la arena pasados por la malla N° 50 y retenido en la malla N° 100. Descartar el material que pasa la malla N° 100. Reducir el material retenido en la malla N° 50, pasando repetidamente a través de un pulverizador tipo disco, tamizado después de cada pasada. La separación de los discos será cerca de 1/8" (3mm) para la primera pasada y será disminuida

progresivamente, hasta que todo el material pase la malla N° 50, será necesario todo empeño para reducir tanto como sea posible la proporción de finos que pase la malla N° 100.

Nota 3. Es recomendable que cada función de agregado grueso sea procesado separadamente de acuerdo al ítem 5.1.2 y que el material obtenido N° 50 a N° 100 de cada fracción sea combinado en las proporciones tal como será usado estas fracciones en el concreto

Es recomendable que en lo posible la arena sea zarandeada y las fracciones sean recombinadas en las proporciones a ser usadas en el concreto, antes de proceder de acuerdo al ítem 5.1.2.

- 5.1.3 Para asegurarse que todo el material más fino que la malla N° 100 ha sido separado, lavar la muestra sobre la malla N° 100, no lavar mas de 100 g en una malla de 8" de diámetro, al mismo tiempo. Secar la muestra lavada a 100 °C ó 105 °C por 20 horas ± 4 horas. Enfriar la muestra y pasarla otra vez sobre la malla N° 100. Si en la inspección de la muestra indica la presencia de sedimentos limosos ó arcillosos revistiendo partículas, se repetirá el lavado y secado como se hizo anteriormente sobre la malla N° 100. Reservar la porción retenida en la malla N° 100 para ensayarla.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PROCEDIMIENTO DE REACCION

- 6.1.1 Pesar separadamente tres porciones de 25,0 g ± 0,05 g de muestra seca, preparada de acuerdo a la sección 5.1. Colocar una porción en cada uno de los tres recipientes y adicionarla por medio de una pipeta o bureta 25 mL de una solución N de NaOH y en un cuarto recipiente adicionarle 25 mL de la misma solución de NaOH para el ensayo en blanco. Sellar los cuatro recipientes y agitar en remolino para expulsar el aire entrampado.
- 6.1.2 Inmediatamente después que los contenidos han sido sellados, colocarlos en un baño de líquido a una temperatura de 80 °C ± 1 °C. Después de 24 horas ± ¼ horas, retirar los recipientes del baño y enfriarlos en agua corriente por 15 minutos ± 2 minutos por debajo de 30 °C.
- 6.1.3 Inmediatamente después que el contenido ha sido enfriado, destapar los recipientes y luego filtrar la solución de los residuos de agregados. Usar un crisol Gooch de porcelana con disco de papel filtro de baja ceniza y acomodarlo al fondo del crisol, fijar el crisol en un dispositivo de jebe adicionado de embudo, este dispositivo a un Kitasato, donde se recibe el filtrado, efectuar la filtración usando la bomba de vacío por decantación, primero una pequeña cantidad de la solución en el papel de filtro de modo que se asiente apropiadamente en el crisol. Sin derramar los contenidos del recipiente, decantar y el líquido libre del remanente verter al crisol. Cuando la decantación del líquido ha sido completa interrumpir el vacío y transferir los sólidos que quedan en el recipiente al crisol y con la ayuda de una espátula de acero inoxidable acomodar los sólidos, luego aplicar y ajustar al vacío aproximadamente a 15 pulgadas de mercurio. Continuar la filtración lenta hasta que la velocidad de caída sea una gota cada 10 s. Reservar el filtrado para ensayos posteriores. Recordar la cantidad total, el tiempo de duración en los cuales el vacío es aplicado, como el tiempo de filtración, se hará todo lo posible para alcanzar un tiempo igual de filtración para todas las muestras de serie, para uniformidad de procedimientos en los montajes de los aparatos de filtración y de los sólidos en el crisol.
- 6.1.4 Filtrar el ensayo en Blanco de acuerdo al procedimiento descrito en el ítem 6.1.3. Aplicar el vacío por un tiempo, igual al tiempo de filtración promedio para los tres especímenes.
- 6.1.5 Inmediatamente después de terminada la filtración, agitar lo filtrado para homogeneizarlo, luego tomar una alícuota de 10 mL del filtrado en un frasco volumétrico y diluirlo en agua a 200 mL. Reservar esta solución para la determinación de la sílice disuelta y reducida en medio alcalino.

Nota 4. Si el filtrado diluido y al término de la filtración no va a ser analizado dentro de las cuatro (4) horas siguientes, transferir la solución a un recipiente de polietileno limpio y seco y cerrar el recipiente.

6.2 PROCEDIMIENTO DE SILICE DISUELTA POR EL METODO GRAVIMETRICO

6.2.1 Transferir 100 mL, de la solución diluida (sección 6.1.5) a una capsula de porcelana, adicionar 5 mL a 10 mL de HCl (gravedad Específica 1,19) y evaporar a sequedad en un baño de vapor. Sin calentar demasiado el residuo, adicionar 5 mL a 10 mL de HCl (gravedad específica 1,19) y luego igual cantidad de agua o también de una vez verter 10 a 20 mL de HCl (1:1) sobre el residuo. Tapar la cápsula y digerir por 10 minutos. Diluir la solución con igual volumen de agua caliente, filtrar inmediatamente y lavar la sílice separada (SiO_2) completamente con agua caliente (Nota 5) y reservar el residuo.

Nota 5. El procedimiento de lavado del SiO_2 puede ser más efectivo, empleando HCl caliente (1:99), completar el lavado con agua caliente

6.2.2 Repetir la evaporación del filtrado a sequedad, el residuo es calentado en horno por 1 hora de 105 °C a 110 °C. Retirar del horno y verter en el residuo 10 mL a 15 mL de HCl (1:1) y calentar en el baño o plancha caliente. Diluir la solución con igual volumen de agua caliente y filtrar en otro papel de filtro la pequeña cantidad de SiO_2 .

6.2.3 Transferir los papeles que contienen el residuo (ítem 6.2.1 y 6.2.2) a un crisol de platino (Nota 6). Secar a calor suave hasta que el carbón del papel de filtro esté completamente quemado sin inflamarlo y finalmente de 1100 °C a 1200 °C hasta peso constante.

Nota 6. Se puede pesar el crisol vacío para conocer la magnitud de las impurezas en el residuo de SiO_2

6.2.4 Tratar el SiO_2 en el crisola de platino, el cual contendrá pequeñas cantidades de impurezas, con unas gotas de agua, mas 10 mL de HF aproximadamente y una gota de H_2SO_4 y evaporar con precaución a sequedad. Finalmente calentar el residuo de 1050 °C a 1100 °C por 1 a 2 minutos, enfriar y pesar. La diferencia entre este peso y el peso previamente obtenido represente la cantidad de SiO_2 .

6.2.5 Blanco: Efectuar una determinación en blanco, siguiendo el mismo procediendo, usando la misma cantidad de solución diluida del blanco y la misma cantidad de reactivos.

6.3 PROCEDIMIENTO DE SILICE DISUELTA POR EL METODO FOTOMETRICO

a) Aplicación: Este método es aplicable a la determinación de sílice cristaloidal (no coloidal) en todas las soluciones acuosas, excepto aquellas con interferencias excesivas de color (tanino, etc.), la sílice total no la determinará el método, es particularmente aplicable al análisis de control rápido de sílice cristaloidal por debajo de 10 ppm.

b) Resumen del Método: La Sílice cristaloidal (no coloidal) reacciona con el ión Molibdato en solución ácida (óptimo de 1,2 pH a 1,5 pH) para formar un complejo de sílice – molibdato de color amarillo verdoso. Esto es aproximadamente proporcional a la concentración de sílice de la solución, pero no sigue perfectamente la ley Beer. Los complejos coloreados son evaluados cuantitativamente por comparación con los colores standard, usando un fotómetro fotoeléctrico.

c) Preparación de la curva de calibración:

c.1 Preparar una serie de soluciones de sílice de concentración conocida, variando de 0,0 a 0,5 mmoles /L, diluyendo porciones de la solución stock de silicato de sodio (sección 4.3.8), transferir las porciones de solución de silicato de sodio a frascos volumétricos de 100 mL, ocupando cerca de la mitad con agua. Adicionar 2 mL de la solución de molibdato de amonio y 1 mL de HCl (1:1) y agitar en remolino el frasco. Dejar la solución en reposo por 15 minutos a temperatura ambiente. Adicionar 1,5 mL \pm 0,2 mL de la solución de ácido oxálico, llenar el frasco con

agua hasta el aforo y mezclar completamente. Dejar la solución en reposo por 5,0 minutos \pm 0,1 minutos.

c.2 Leer en el fotómetro la transmitancia a una aproximación 410 m μ , todas las soluciones, en comparación con una solución de referencia que contiene. Todos los reactivos pero no Sílice, en 100 mL de agua.

c.3 Preparar una curva de calibración ploteando las lecturas de transmitancia en porcentaje Vs. Concentraciones conocidas de Sílice de cada solución.

6.4 REDUCCION DE ALCALINIDAD

a) Procedimiento: Transferir una alícuota de 20 mL de la solución diluida (sección 6.1.5) a un frasco Erlenmeyer de 125 mL, adicionar 2 ó 3 gotas de solución de fenolftaleína y titular con 0,05 N de HCl al punto final de la fenolftaleína (Nota 8).

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 CALCULO DE SILICE POR EL METODO GRAVIMETRICO

7.1.1.1 Calcular la concentración de SiO₂, de la solución de NaOH filtrada del material de agregado como sigue (Nota 7).

$$Se = (W_1 - W_2) \times 3330$$

Donde:

Se = Concentración de SiO₂ en milimoles por litro en el filtrado original.

W1 = Gramos SiO₂ fundido en 100 mL de la solución diluida (ítem 6.2.4)

W2 = Gramos de SiO₂ fundido de la solución en Blanco (ítem 6.2.5).

Nota 7. La solución diluida analizada es equivalente a 5 mL del filtrado original y contiene (W₁ - W₂) gramos o (W₁ - w₂) x1000/60,06 milimoles de SiO₂, por consiguiente un litro de filtrado original contendría (1000/5) (1000/60,06) (W₁-W₂) ó (W₁ - W₂) milimoles de SiO₂.

7.1.2 CALCULO PARA DETERMINAR LA SILICE DISUELTA POR EL METODO FOTOMETRICO

7.1.2.1 Transferir una alícuota de 10 mL de la solución diluida (Sección 6.1.5) a un frasco volumétrico de 100 mL y proceder como se indica en la sección (6.3.c.1 y 6.3.c.2). Leer la concentración de Sílice en la solución directamente de la curva de calibración, previamente preparada que correlaciona la transmisión de luz de esta longitud de onda con la concentración de Sílice. Si la transmitancia está por debajo del 30% ó por encima del 50% se usará una alícuota mayor o menor de la solución diluida.

7.1.2.2 CALCULO:

Calcular la concentración de SiO₂ de la solución filtrada de NaOH del material de agregado, como sigue:

$$Sc = 20 \times \frac{100}{V} \times C$$

Donde:

Sc = Concentración de SiO₂ en milimoles por litro en el filtrado original.

C = Concentración de sílice en la solución medida en el fotómetro, milimoles por litro.

V = Milimoles de la solución diluida usada en la Sección 6.1.5.

7.1.3 CALCULO PARA DETERMINAR REDUCCION DE ALCALINIDAD

Calcular la reducción de alcalinidad como sigue (Nota 8):

$$Rc = (20N/V_1)(V_3 - V_2) \times 1000$$

Donde:

- Rc = La reducción en alcalinidad, milimoles por litro.
- N = Normalidad del HCl usado para la titulación.
- V1 = Mililitros de solución diluida usada en la sección 6.1.5.
- V2 = Mililitros de HCl usado para obtener el punto final de la fenoltaleína en la muestra por ensayar.
- V3 = Mililitros de HCl usado para obtener el punto final de la fenolftaleína del ensayo en blanco.

Nota 8. El procedimiento y cálculo descrito anteriormente, efectuados en la obtención de valores para Rc a ser usadas juntamente con los valores de Sc para evaluar la reactividad potencial de los agregados. Se puede obtener una información adicional si además se efectúa la titulación al punto final del anaranjado de metilo, y se hacen cálculos adicionales. Después que el punto final con la fenoltaleína se haya logrado, adicionar 2 ó 3 gotas de solución de anaranjado de metilo en 100 mL de agua y titular hasta el punto final del anaranjado de metilo. Asumir P igual a mL de HCl usado para obtener el punto final de fenolftaleína y T igual al total de mL usado para obtener el punto final de anaranjado de metilo. Calcular un valor de Rc basado en los dos puntos finales, usando la fórmula dada y sustituyendo los valores de V2 y V3 obtenido de la ecuación

$$V2, V3 = 2P - T$$

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 Repetibilidad: Dos resultados obtenidos con el mismo material por el mismo operador en tiempos diferentes deberán ser considerados dudosos si ellos difieren en más del 9% en los gramos de carga o 4,5% en KU, de su valor medio.
- 8.1.2 Reproducibilidad: Dos resultados, cada uno de la media de cuatro mediciones con el mismo material, obtenido por operadores en diferentes laboratorios deberán ser considerados dudosos si ellos difieren en más del 30% en gramos de carga o 12% en KU, de su valor medio.



MTC E 218

DETERMINACION CUANTITATIVA DE LOS COMPUESTOS DE AZUFRE EN LOS AGREGADOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Indicar un procedimiento para la determinación cuantitativa, en los agregados para concretos, de los compuestos de azufre que se encuentran en las formas tanto de sulfatos como sulfuros, atacables y no atacables por ácido clorhídrico.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 En este método se determinan:
- 2.1.1 Los sulfatos y sulfuros totales (atacables y no atacables por ácido clorhídrico) extraíbles por disgregación alcalina oxidante.
 - 2.1.2 Los sulfatos extraíbles sólo por disgregación alcalina no oxidante.
 - 2.1.3 Determinación de sulfuros totales.
 - 2.1.4 El muestreo y el ensayo son importantes, por lo tanto el operador deberá tener siempre la precaución de obtener muestras que denoten la naturaleza y condiciones del material al cual representan.
- 2.2 La influencia en los resultados, debida a la cantidad eventual y muy pequeña de sulfitos, se considera despreciable.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 INV-E 233: Determinación cuantitativa de los compuestos de azufre en agregados

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Tamices: 75-37.5-19-9.5-4.75 y 1,18 mm y 320 y 75 mm (3" - 1 1/2" - 3/4" - 3/8" - Nº 4, Nº 16, Nº 50 y Nº 200).
 - 4.1.2 Una báscula de 100 kg de capacidad mínima, con precisión de 50 g.
 - 4.1.3 Una trituradora.
 - 4.1.4 Un mortero de ágata o molino para finos.
 - 4.1.5 Una estufa.
 - 4.1.6 Una balanza con capacidad de 20 kg y precisión de 1 g.
 - 4.1.7 Un divisor de muestra
- 4.2 Equipos para la determinación de azufre
- 4.2.1 Una balanza analítica con precisión de 0,1 mg
 - 4.2.2 Estufa para desecación.
 - 4.2.3 Mufla que alcance 1000 °C
 - 4.2.4 Desecador con llave de cierre hermético. Agente deshidratante: ácido sulfúrico (d= 1,84).
 - 4.2.5 Baño de agua hirviente.
 - 4.2.6 Mecheros tipo Bunsen.
 - 4.2.7 Cápsula de porcelana de 130 mm de diámetro y 50 mm de altura.
 - 4.2.8 Vasos de precipitados, forma alta, de 500, 250 y 50 mL.

- 4.2.9 Crisol de hierro de las siguientes medidas aproximadas: 25 mm de diámetro de base y 45 mm de altura, provisto de tapa del mismo material
- 4.2.10 Crisol de platino provisto de tapa del mismo material. Capacidad 10 mL (25 x 25 mm)
- 4.2.11 Embudos de filtración.
- 4.2.12 Triángulos de tierra refractaria.
- 4.2.13 Epirradiador de 375 W, como mínimo.
- 4.2.14 Agitador magnético provisto de calefacción, y un índice magnético recubierto de politetrafluoretileno.
- 4.2.15 Termómetro de mercurio de hasta 250 °C, con precisión de 1 °C
- 4.2.16 Pinzas de acero inoxidable.
- 4.2.17 Papel de filtro de porosidad fina y media.
- 4.2.18 Papel indicador de pH.
- 4.2.19 Una varilla de acero inoxidable
- 4.3 INSUMOS
- 4.3.1 Hidróxido sódico de lentejas R.A.
- 4.3.2 Peróxido sódico R.A.
- 4.3.3 Agua destilada.
- 4.3.4 Ácido clorhídrico concentrado (d= 1,19).
- 4.3.5 Ácido clorhídrico diluido (1:1),
- 4.3.6 Ácido clorhídrico diluido (1:3).
- 4.3.7 Ácido nítrico diluido (1:1).
- 4.3.8 Ácido sulfúrico concentrado exento de SO₃ (d= 1,84)
- 4.3.9 Ácido sulfúrico diluido (1:1)
- 4.3.10 Anhídrido acético R.A.
- 4.3.11 Disolución de cloruro bórico al 10%
- 4.3.12 Disolución de nitrato de plata al 1,7%
- 4.3.13 Disolución acuosa saturada de bromo.
- 4.3.14 Disolución al 5% de clorhidrato de hidroxilamina

5.0 MUESTRA

- 5.1 La toma de muestra bruta de los agregados debe hacerse de acuerdo con la norma MTC E-201.

De no venir ya clasificada por fracciones, la muestra de laboratorio se separa, mediante el empleo del tamiz de 4,75 mm (Nº 4), en:

- Agregado grueso, y
- Agregado fino,

Teniendo en cuenta que es necesario obtener, según el tamaño máximo del agregado, las cantidades mínimas indicadas en la Tabla 1.

Tabla 1

Si el tamaño máximo es de: mm	Separar una muestra	
	Mínima de:	recomendada de:
75	40 kg	64 kg
37	20 kg	32 kg
19	10 kg	16 kg
9,5	5 kg	8 kg
4,75	2 kg	4 kg

Los agregados finos y gruesos se deben analizar independientemente para evitar cualquier pérdida de sulfuros, ya que por segregación éstos tienden a acumularse en los finos.

5.2 Árido grueso

5.2.1 Del agregado grueso, obtenido antes, se separa mediante cuarteo y en función del tamaño máximo del agregado la cantidad de muestra se indica en la Tabla 1.

5.2.2 Esta muestra se seca durante 24 h a 60 °C, en estufa con aireación, y a continuación se tritura hasta que toda ella pase por el tamiz de 4,75 mm (Nº 4).

5.2.3 Se homogeneiza y cuarteo para obtener una muestra de 2 kg, evitando cualquier pérdida de finos.

5.2.4 El total de esta muestra se tritura hasta que toda ella pase por el tamiz de 1,18 mm (Nº16), se homogeneiza y, por cuarteo, se obtiene una muestra de 250 g que se muele íntegramente hasta que pase por el tamiz de 320 µm (Nº 50). Se homogeneiza y cuarteo para obtener una nueva muestra de unos 60 g.

5.2.5 A continuación se muele hasta que la totalidad de la muestra pase por el tamiz de 75 mm (Nº 200) y se homogeneiza para obtener la muestra final de 60 g, aproximadamente.

5.3 Agregado fino

5.3.1 Del agregado fino, obtenido según se indicó antes, se separa mediante cuarteo y en función del tamaño máximo del agregado, la cantidad de muestra indicada en la Tabla 1.

5.3.2 Esta muestra se seca durante 24 h, a 60 °C, en estufa con aireación, se homogeneiza y de ella se toma, utilizando el divisor de muestras, una cantidad de 2 kg. Se muele y se tamiza hasta que pase íntegramente por el tamiz 320 µm (Nº 50). Se homogeneiza N divide para reducirla a unos 60 g. Esta cantidad se muele hasta que pase en su totalidad por el tamiz de 75 µm (Nº 200) y se homogeneiza para obtener la muestra final de 60 g aproximadamente.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 DETERMINACION DEL CONTENIDO DE LOS COMPUESTOS DE AZUFRE TOTALES

6.1.1 Fundamentos del método

La muestra se disgrega por fusión alcalina oxidante. Se disuelve en medio oxidante y se pone en medio ácido clorhídrico. Se separa la sílice por evaporación a sequedad, se extraen en frío los iones solubles en ácido del residuo seco y se determinan en el filtrado los sulfatos por gravimetría. La separación de la sílice debe ser la máxima posible para evitar interferencia por coprecipitación durante la digestión.

6.1.2 Procedimiento

6.1.2.1 En un crisol de hierro, situado sobre un triángulo de tierra refractaria, se introducen 4 g de hidróxido sódico en lenteja. Se funden lentamente y evitándola producción de espuma, sobre un mechero Bunsen con poca llama hasta que la fusión sea lenta. Se añaden, poco a poco, otros 4 g más en las mismas condiciones.

6.1.2.2 Seguidamente se añade 1 g de peróxido de sodio y se deja enfriar este líquido disgregante hasta solidificación. Se añaden $4 \pm 0,05$ g con una precisión de $\pm 0,0001$ g de muestra,

previamente desecada a los 105 °C hasta peso constante. Se cubre el crisol con su tapa y se funde nuevamente su contenido a una temperatura que no sobrepase la del rojo sombra (400 °C).

Cuando el disgregante esté totalmente fundido, y con el crisol destapado, se incorpora la muestra lentamente en el seno de la masa fundida con la ayuda de una varilla de acero inoxidable, tratando de evitar tanto que se produzca cualquier proyección, como que queden restos de muestras sin atacar.

Cuando esto se ha conseguido, se cubre nuevamente y se continúa la disgregación durante unos 30 min.

- 6.1.2.3 Se deja enfriar el crisol y, con las pinzas, se introduce inclinado dentro de una cápsula de porcelana que contenga unos 80 mL de agua destilada, a 90 °C. Luego se introduce en ella la tapa de crisol y la varilla auxiliar. Se mantiene la temperatura indicada hasta la disolución completa del producto disgregado.

Con las pinzas se toma primero la tapa, luego el crisol y la varilla, se lavan sobre la cápsula y se retiran. Se enfría la cápsula a una temperatura inferior a los 40 °C, se añaden 5 mL de disolución acuosa saturada de bromo y, poco a poco y con precaución, ácido clorhídrico (1:1) hasta acidez fuerte, que se comprueba con papel indicador. Después se añaden 20 mL más de ácido clorhídrico concentrado.

- 6.1.2.4 Para insolubilizar la sílice, el líquido de la cápsula se evapora bajo el epirradiador. El residuo seco se humedece con unas gotas de ácido clorhídrico concentrado, se deshacen los grumos mediante una varilla de vidrio aplanada y de nuevo se lleva a sequedad bajo el epirradiador. Luego se deja la cápsula unos 30 min bajo el epirradiador, de modo que la temperatura del residuo seco esté a 170 °C ± 5 °C. Con un termómetro, cuyo bulbo esté en contacto con el fondo de la cápsula seca, se comprueba esta temperatura. Después se añaden 10 mL de anhídrido acético y se evapora nuevamente a sequedad a la misma temperatura. Se deja enfriar hasta temperatura ambiente.
- 6.1.2.5 Para determinar los sulfatos del residuo seco, se extraen los iones solubles en frío, añadiendo 40 mL de ácido clorhídrico (1:3) frío y se espera unos 20 minutos. Durante este tiempo se deshacen, mediante una varilla de vidrio aplanada, los grumos formados, se filtra por un filtro de porosidad media sobre un vaso de precipitado de forma alta de 250 mL y se lava con agua fría. En estas condiciones, la sílice que queda disuelta es mínima.

Nota 1. En el caso de la presencia de cantidades considerables de hierro es necesario reducir el Fe⁺⁺⁺ a Fe⁺⁺, antes de la precipitación de los sulfatos con lo ml de solución 5% de clorhidrato de hidroxilamina.

- 6.1.2.6 El filtrado contenido en el vaso de 250 mL se calienta a ebullición. Al mismo tiempo, en un vaso de precipitado de 50 mL se calientan a ebullición 15 min de disolución de cloruro bórico al 10%. La disolución hirviente de cloruro bórico se vierte sobre el filtrado, igualmente en ebullición, y ésta se mantiene durante unos 10 minutos. El vaso de 250 mL y su contenido se mantiene sobre el baño de agua hirviendo al menos durante 12 h y luego se enfría a temperatura ambiente.

- 6.1.2.7 Se filtra por un filtro de porosidad fina y se lava con agua, fría hasta eliminación de cloruros. (Comprobar con disolución de nitrato de plata).

Nota 2. Se comprueba, visualmente, que el sulfato bórico no haya pasado al filtrado. En caso de que pase, se debe repetir la filtración. Es inconveniente refiltrar la primera parte filtrada.

- 6.1.2.8 El filtro, con el precipitado, se introduce en el crisol de platino previamente tarado, se seca en la estufa y se incinera a baja temperatura, por debajo de la del rojo sombra (400 °C), hasta combustión total del papel a ceniza blanca. Se deja enfriar el crisol, se humedece el residuo con 2 gotas de ácido nítrico (1:1) y una gota de ácido sulfúrico (1:1). Se tapa el crisol y se evapora hasta eliminación de humos calentando con un Bunsen con poca llama

y a distancia para prevenir cualquier proyección. El crisol se coloca sobre un triángulo de tierra refractaria "limpio" y se calcina 30 minutos a 950 °C en una mufla. El crisol se enfría en el desecador con llave, cuyo cierre hermético será comprobado, y se pesa.

6.1.3 Cálculo y expresión de los resultados.

La diferencia de pesos entre la tara de crisol y el crisol con el residuo de sulfato de bario, da el peso P_1 de sulfato de bario. El resultado se expresa como ión sulfato SO_4 , en tanto por ciento, según la ecuación:

$$\% \text{ de } SO_4 = \frac{P_1}{P_{mBaSO_4}} P_{mSO_4} = \frac{100}{m}$$

Donde:

P_1	=	es el peso de sulfato de bario, en gramos
$P_{m Ba SO_4}$	=	233,40 (peso molecular $BaSO_4$)
$P_{m SO_4}$	=	96,06 (Peso molecular SO_4)
m	=	es el peso de la muestra seca, en gramos

El resultado obtenido es el contenido total de compuestos de azufre extraíbles por disgregación alcalina oxidante, expresados como **$SO_4 = \%$**

6.1.4 Valores obtenidos de repetibilidad

6.1.4.1 La desviación típica de repetibilidad (R-1) es de 0,02

6.2 DETERMINACION DEL CONTENIDO DE COMPUESTOS DE AZUFRE EN ESTADO DE SULFATOS

6.2.1 Fundamento del método

La muestra se disgrega por fusión alcalina en ausencia de oxidantes, se disuelve y se ataca en ácido clorhídrico, para eliminar todos los sulfuros presentes. Se separa la sílice por evaporación a sequedad del residuo seco, se extrae en frío y se determinan en el filtrado los sulfatos por gravimetría. La separación de la sílice debe ser la máxima posible para evitar interferencias por coprecipitación durante la digestión.

6.2.2 Aparatos necesarios

6.2.2.1 Los mismos que los indicados en el apartado 4.2.

6.2.3 Reactivos

6.2.3.1 Los mismos que los indicados en el apartado 4.3, excepto la disolución acuosa saturada de bromo y el peróxido de sodio.

6.2.4 Procedimiento operativo

6.2.4.1 Se sigue el apartado 6.1.2 en todos sus detalles, excepto que se suprimen los procesos empleados de oxidación, es decir, no se añaden ni peróxido de sodio, ni agua de bromo (se utiliza igualmente una muestra de $4 \pm 0,05$ g con una precisión de 0,0001 g, previamente desecada a 105 °C hasta peso constante).

6.2.5 Cálculos y expresión de resultados

La diferencia de pesos entre la tara de crisol y el crisol con el residuo de sulfato de bario, nos da el peso P_2 de sulfato de bario. El resultado se expresa como ión sulfato $SO_4^{=}$, en tanto por ciento, según la ecuación:

$$\% \text{ de } SO_4 = \frac{P_2}{P_{mBaSO_4}} P_{mSO_4} = \frac{100}{m}$$

Donde:

P_2	=	es el peso de sulfato de bario, en gramos
$P_{m Ba SO_4}$	=	233,40 (peso molecular $BaSO_4$)

$P_m \text{ SO}_4 = 96,06$ (Peso molecular SO_4)
 $M =$ es el peso de la muestra seca, en gramos

El resultado obtenido corresponde al contenido total de compuestos de azufre en estado de SO_4 extraíble por disgregación alcalina en ausencia de oxidantes.

6.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SULFUROS TOTALES

6.3.1 La diferencia entre el sulfato de bario, P_1 , obtenido en el apartado 6.1.3, el sulfato de bario, P_2 , obtenido en el apartado 6.2.5, da la cantidad de sulfato de bario correspondiente al azufre procedente de sulfuros contenidos en la muestra. El valor, expresado en tanto por ciento de S, se obtiene según la ecuación:

$$\% \text{ de SO}_4 = \frac{PaS}{PmBaSO_4} \left[\frac{P_1}{m_1} - \frac{P_2}{m_2} \right] 100 = 13,378 \left[\frac{P_1}{P_2} - \frac{P_2}{m_2} \right]$$

Donde:

$P_1 =$ es el peso de sulfato de bario, en gramos (del apartado 6.1.3)
 $P_2 =$ es el peso de sulfato de bario, en gramos (del apartado 6.2.5)
 m_1 y $m_2 =$ son los pesos de las muestras respectivas secas en gramos
 $Pa S = 32,06$ (Peso atómico S)
 $Pm Ba SO_4 = 233,40$ (peso molecular Ba SO_4).

Este valor incluye la suma de sulfuros atacables y no atacables por ácido, así como la pequeña cantidad eventual de SO_3 , que se considera despreciable en cualquier caso.

Nota 3. Se obtienen los resultados deseados con igual precisión y mayor rapidez, cuando las masas de las muestras son distintas (m_1 y m_2)

7.0 CÁLCULO E INFORME

7.1 CALCULO

7.1.1 Indicado en los apartados 6.1.3 y 6.2.5

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

Indicado en el apartado 6.1.4

MTC E 219**SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer el procedimiento analítico de cristalización para determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos empleados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Una muestra de agregado pétreo se somete a continuos lavados con agua destilada a la temperatura de ebullición, hasta la extracción total de las sales. La presencia de éstas se detecta mediante reactivos químicos que, al menor indicio de sales, forman precipitados fácilmente visibles. Del agua total de lavado se toma una alícuota y se procede a cristalizar para determinar la cantidad de sales presentes.
- 2.2 El método es aplicable en controles de obra, debido a la rapidez de visualización y cuantificación del contenido de sales.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 Manual de Carreteras Vol. Nº 8 – 8.202.14: Agregados Pétreos: Método para determinar sales solubles (LNV 8) – Chile
- 3.2 Manual de Carreteras Vol. Nº 8 – 8.202.1: Agregados Pétreos: Método para extraer y preparar muestras (LNV 64) – Chile
- 3.3 Manual de Carreteras Vol. Nº 8 – 8.202.18: Agregados Pétreos: Método para determinar el contenido de cloruros y sulfatos (LNV 76) – Chile

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Balanza analítica, con sensibilidad de 0,01 g
- 4.1.2 Estufa, capaz de mantener temperaturas de 105 ± 5 °C
- 4.1.3 Plancha de calentamiento

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Mecheros
- 4.2.2 Matraces aforados
- 4.2.3 Vasos de precipitado
- 4.2.4 Pipetas
- 4.2.5 Tubos de ensayo

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Agua destilada
- 4.3.2 Solución de Nitrato de Plata
- 4.3.3 Solución de Cloruro de Bario

5.0 MUESTRA

- 5.1 La cantidad de muestra y aforo debe ajustarse a lo que se indica en la tabla adjunta:

Agregado Pétreo	Cantidad mínima (g)	Aforo mínimo (mL)
Grava 50 – 20 mm	1000	500
Grava 20 – 5 mm	500	500
Arena 20 mm	100	500

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Secar la muestra en horno a 110 ± 5 °C hasta masa constante, aproximando a 0,01 g. Registre esta masa como A.
- 6.2 Colocar la muestra en un vaso de precipitado, agregue agua destilada en volumen suficiente para cubrir unos 3 cm sobre el nivel de la muestra y caliente hasta ebullición.
- 6.3 Agitar durante 1 min. Repetir la agitación a intervalos regulares, hasta completar cuatro agitaciones en un período de 10 min.
- 6.4 Decantar mínimo 10 min hasta que el líquido se aprecie transparente y transvase el líquido sobrenadante a otro vaso. Determine en forma separada, en dos tubos de ensaye, las sales solubles con los respectivos reactivos químicos. La presencia de cloruros se detecta con unas gotas de nitrato de plata, formándose un precipitado blanco de cloruro de plata y la de sulfatos con unas gotas de cloruro de bario, dando un precipitado blanco de sulfato de bario.
- 6.5 Repetir los pasos desde 6.2 a 6.4 hasta que no se detecte presencia de sales, juntando los líquidos sobrenadantes.
- 6.6 Una vez enfriados, vacíe todos los líquidos sobrenadantes acumulados, a un matraz aforado y enrase con agua destilada. En caso de tener un volumen superior, concentre mediante evaporación. Registre el aforo como B.
- 6.7 Tomar una alícuota de un volumen entre 50 y 100 mL, de la muestra previamente homogeneizada, del matraz aforado y registre su volumen como C.
- 6.8 Cristalizar la alícuota en un horno a 100 ± 5 °C, hasta masa constante y registre la masa como D.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 El cálculo está dado por la siguiente relación:

$$\text{Sales solubles (\%)} = \frac{1}{\frac{C \times A}{D \times B} - 1} \times 100$$

7.2 INFORME

- 7.2.1 Se informará el porcentaje de sales solubles

Nota 1. En caso de necesitar mayor precisión en la determinación de sales o cuando se esté en el límite de la exigencia, emplee el Método 8.202.18

MTC E 220**ADHESIVIDAD DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS ARIDOS FINOS
(PROCEDIMIENTO RIEDEL-WEBER)****1.0 OBJETO**

- 1.1 Describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos, arenas naturales o chancadas, de empleo en construcción de carreteras.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El método de ensayo es empleado para determinar el grado de afinidad del par agregado fino - ligante bituminoso.
- 2.2 Este método puede aplicarse a todo tipo de ligante bituminoso, como betunes de penetración modificados o sin modificar, fluidificados, fluxados, emulsiones bituminosas y alquitranes

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NLT - 355: Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (Procedimiento Riedel Weber)

4.0 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS**4.1 EQUIPOS Y MATERIALES**

- 4.1.1 Tamices. tamices N° 30 y N° 70 respectivamente.
- 4.1.2 Balanza. Suficiente para determinar masas de 200 g, con precisión de 0,01 g.
- 4.1.3 Estufa. Adecuada para alcanzar y mantener la temperatura de $145 \pm 5^{\circ}\text{C}$. La estufa dispondrá de sistemas de ventilación forzada de aire y de regulación termostática.
- 4.1.4 Tubos de ensayo. Doce (12) tubos de ensayo de unos 200 mm de altura y 20 mm de diámetro interior.
- 4.1.5 Material auxiliar y general de laboratorio. Cuarteador de agregado fino, cazos de porcelana, gradilla para los tubos de ensayo, vasos de cristal de unos 50 cm^3 de capacidad, pinzas, varillas de cristal, etc.

4.2 REACTIVOS

- 4.2.1 Disoluciones de carbonato sódico, de concentraciones molares crecientes, M/256 a M/1, preparadas como se refiere en el procedimiento, siguiente.
- 4.2.1.1 Las disoluciones de carbonato sódico se preparan a partir de carbonato sódico, Na_2CO_3 puro, anhidro y agua, H_2O , destilada.
- 4.2.1.2 La disolución de concentración molar, M/1, se obtiene disolviendo 106 g (masa molecular) de carbonato sódico anhidro en agua destilada hasta totalizar un litro de disolución (carbonato más agua).
- 4.2.1.3 Las disoluciones de concentración molar M/2, M/4, M/8... M/256 se elaboran diluyendo, sucesivamente, la disolución molar M/1, prevenida según 4.2.1.2, o disolviendo las cantidades adecuadas de carbonato sódico anhidro en agua destilada hasta completar un litro de disolución. Las cantidades de carbonato sódico precisas se muestran en la siguiente tabla 1.

Tabla 1
Soluciones de Ensayo

Molaridad	G de Na ₂ CO ₃ /1 disolución
M/256	0,414
M/128	0,828
M/64	1,656
M/32	3,312
M/16	6,625
M/8	13,25
M/4	26,5
M/2	53,0
M/1	106,0

Nota 1. Preferentemente las disoluciones se prepararán de nuevo para cada ensayo o tandas de ensayo a realizar, y no se utilizarán aquellas que lleven elaboradas más de 4 días

5.0 MUESTRA

5.1 Preparación del agregado.

- 5.1.1 Sí la muestra de agregado recibido en el laboratorio procede de piedra de cantera o de "todo uno" de gravera, se efectúa el cuarteo y posterior chancado hasta obtener una arena de tal material.
- 5.1.2 Sí la muestra de agregado recibida es una arena natural o chancada se separa por sucesivos cuarteos la cantidad necesaria del material para ensayo.
- 5.1.3 La cantidad de material, agregado fino, necesaria, previa al ensayo, independientemente de su naturaleza, origen y distribución granulométrica del mismo (ver 5.1.1 y 5.1.2), es de unos 200 g.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se tamizan los 200 g del agregado fino, obtenidos anteriormente mediante cuarteo, por los tamices N° 30 y N° 70, desechando el material pasante la malla N° 70 y el retenido en la malla N° 30. El material retenido entre estos dos tamices constituye la muestra para ensayo.
- 6.2 La fracción de material así obtenido se lava sobre el tamiz N° 70, con agua para eliminar totalmente el polvo que pueda estar adherido a las partículas del agregado. Una vez lavada la muestra para ensayo, se seca ésta en la estufa a temperaturas de $145 \pm 5^\circ \text{C}$ durante 1 hora, aproximadamente, o hasta masa constante.
- 6.3 Preparación de la mezcla agregado-ligante.
 - 6.3.1 Si el ligante bituminoso a emplear en el ensayo es un betún asfáltico de penetración, fluidificado o fluxado, o un alquitrán, la mezcla agregado – ligante se realiza mezclando 71 volúmenes del agregado seco con 29 volúmenes de ligante (la relación correspondiente de masas se calcula a partir de las densidades respectivas). Alternativamente puede emplearse la proporción en peso de 71 y 29 de óxido y ligante respectivamente.
 - 6.3.2 Si el ligante bituminoso para emplear en el ensayo es una emulsión bituminosa, la mezcla agregado – ligante se efectúa mezclando 71 volúmenes del agregado seco con 95 volúmenes de emulsión al 50%.
 - 6.3.3 Las temperaturas de mezcla son las siguientes (orientativo):

Tabla 2

Mezcla con	Temp. °C
Betún	140 – 175
Betún fluidificado	25 – 110
Betún fluxado	50 – 110
Alquitrán	70 – 110
Emulsión bituminosa	Ambiente

Nota 2. Es la viscosidad del ligante la que en última instancia determina la temperatura más adecuada para lograr una envuelta completa y uniforme del agregado por el ligante.

- 6.3.4 Se mezclan el agregado y el ligante, en las cantidades prescritas, a la temperatura requerida, en un cazo de porcelana, previamente calentado a una temperatura análoga a la de la mezcla. Se agitan los materiales con una varilla de vidrio hasta conseguir una masa y envuelta homogéneas. Una vez preparada la muestra se deja enfriar a temperatura ambiente, sin tapar el cazo, durante aproximadamente 1 hora. Si es el caso de una emulsión bituminosa, transcurrida esta hora, se decanta el líquido en exceso que acompaña a la mezcla y se deja en reposo durante otras 24 horas, sin tapar el cazo.
- 6.4 Realización de ensayo.
- 6.4.1 De la mezcla, preparada como se indica en los numerales 6.3.2 al 6.3.4, se pesan en la balanza once (11) porciones de unos 0,50 g de la misma con una precisión de 0,01 g.
- 6.4.2 Cada una de las porciones de la mezcla se introducen en cada uno de los tubos de ensayo. Estos tubos de ensayo se enumeran del 0 al 10.
- 6.4.3 A continuación, en el tubo de ensayo marcado con el número 0 se vierten, sobre los 0,5 g de mezcla, 6 cm³ de agua destilada y se marca en el tubo el nivel que alcanza la superficie libre del agua en aquél. Se sujeta el tubo de ensayo con la pinza de madera y se calienta cuidadosamente, para evitar proyecciones, sobre la llama de un mechero de gas, hasta ebullición suave del agua, ebullición que se mantiene durante 1 minuto, aproximadamente.
- 6.4.4 Terminado el periodo de ebullición se restablece el volumen de líquido perdido por evaporación, añadiendo la cantidad de agua destilada bastante para que ésta alcance en el tubo de ensayo el nivel anterior, marcado previamente. Una vez realizado el ajuste del volumen, se agita el tubo de ensayo con su contenido, vigorosamente, durante diez (10) segundos.
- 6.4.5 En seguida, se procede a la observación visual del aspecto que ofrece la mezcla agregado-ligante dentro del tubo de ensayo, juzgándolo con los siguientes criterios:
- a) El desplazamiento entre el ligante y el agregado se considera total cuando prácticamente todas las partículas del agregado aparecen limpias; en esta situación las partículas están sueltas y si se hace rodar entre los dedos del tubo de ensayo, deslizan libre e individualmente por la superficie interior del mismo.

Nota 3. Se puede utilizar como prueba de referencia un tubo de ensayo con el agregado sin ligante y 5 ó 6 cm³ de agua destilada y comparar el aspecto y el movimiento al rodar el tubo entre los dedos.

- b) El desplazamiento entre el ligante y el agregado se considera parcial cuando en las partículas del agregado aparecen zonas limpias, aunque se mantiene una cierta cohesión entre ellas; en este caso las partículas del agregado, todavía parcialmente envueltas por el ligante, permanecen aglomeradas en el fondo del tubo de ensayo.
- c) Para la apreciación de la adhesividad de una mezcla agregado-ligante, después de actuar sobre ella cada solución de ensayo, no se tendrá en cuenta el ligante que aparezca sobrenadando en la superficie del líquido durante la ebullición; solo se tendrá en cuenta el aspecto que ofrezca la masa de mezcla que queda en el fondo del tubo.
- 6.4.6 Si realizada la primera prueba, como se describe en los apartados 6.4.3, 6.4.4 y 6.4.5, se observa que la adhesividad de la mezcla ligante-agregado es buena, es decir, que no hay desplazamiento del ligante por el agua destilada, se vuelve a repetir todo el proceso referido en los apartados anteriores, utilizando, ahora, el tubo de ensayo marcado con el número 1, añadiéndole 6 cm de la solución de carbonato sódico de concentración M/256. Se repiten las acciones especificadas en los apartados 6.4.3 y 6.4.4, y finalmente, se comprueba si se ha producido o no desplazamiento total en la forma que se indica, en el apartado 6.4.5 a).

6.4.7 Si el desplazamiento es sólo parcial se vuelve a repetir todo el proceso, tal como se ha referido en los apartados precedentes, 6.4.3 a 6.4.6, pero utilizando ahora el tubo de ensayo marcado con el número 2. Se prosigue de esta forma, utilizando, sucesivamente, las soluciones de carbonato sódico de concentración creciente, M/128, M/64, M/32..., y los tubos de ensayo marcados con los números 2, 3, 4..., que se les hace corresponder recíprocamente, hasta que se consiga alcanzar el desplazamiento total del ligante.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 Se define como índice de adhesividad Riedel-Weber, al número correspondiente a la disolución de concentración menor de las utilizadas que haya producido el desplazamiento total del ligante que recubre la superficie de las partículas del agregado muestra ensayado. La Tabla 3 relaciona las disoluciones de carbonato sódico de concentración molar creciente con los números asignados a cada una, y que determinarán, en cada caso, el mencionado índice de adhesividad.

Tabla 3
Índice de Riedel Weber

Solución de Ensayo	Índice de adhesividad Riedel - Weber
Desplazamiento total con: Agua destilada	0
Carbonato sódico.	
M/256	1
M/128	2
M/64	3
M/32	4
M/16	5
M/8	6
M/4	7
M/2	8
M/1	9
Si no hay desplazamiento total con la solución M/1	10

7.2 Si se produjera un desplazamiento parcial (no total) del ligante con alguna de las disoluciones referidas en la Tabla 3, el índice de adhesividad Riedel Weber se podrá expresar con dos números: el correspondiente, a la concentración menor con la que se produce desplazamiento parcial y el correspondiente a la que produce el desplazamiento total.

7.3 Si se produjese desplazamiento total del ligante con solamente agua destilada, se asignará de acuerdo con la Tabla 3, el índice 0 de adhesividad.

Si la solución molar de carbonato sódico M/1 no produce desplazamiento del ligante bituminoso, el índice de adhesividad de la mezcla en estudio es 10.

MTC E 221

INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS

1.0 OBJETO

- 1.1 Describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento, de los agregados que se van a emplear en la construcción de carreteras.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este modo operativo se aplica a los agregados de origen natural o artificial, incluyendo los agregados ligeros y no es aplicable a los tamaños de partículas menores de 6.3mm (1/4") o mayores de 63mm (2 1/2").
- 2.2 Se define como índice de aplanamiento de una fracción de agregado el porcentaje en peso, de las partículas que la forman, cuya dimensión mínima (espesor) es inferior a 3/5 de la dimensión media de la fracción.
- 2.3 Se define como índice de alargamiento de una fracción de agregado el porcentaje en peso, de las partículas que la forman, cuya dimensión máxima (longitud) es superior a 9/5 de la dimensión media de la fracción.
- 2.4 Este modo operativo no intenta indicar todo lo concerniente acerca de la seguridad que se debe tener al momento de realizar la prueba. Es responsabilidad del usuario de este modo operativo establecer la seguridad apropiada y prácticas de salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTL - 354: Índice de lajas y agujas de los áridos para carreteras

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS Y MATERIALES

- 4.1.1 Tamices. De los siguientes tamaños de abertura: 6,3 mm (1/4"); 9,5 mm (3/8"); 12,5mm (1/2"); 19 mm (3/4"); 25 mm (1"); 37,5 mm (1 1/2"); 50 mm (2") y 63 mm (2 1/2")
- 4.1.2 Balanza. Con una sensibilidad mínima de 0,1% del peso de la muestra del agregado a ensayar.
- 4.1.3 Calibradores metálicos. Dos juegos de calibradores metálicos, uno de ranuras (calibrador de espesores) y otro de barras (calibrador de longitudes), cuyas dimensiones estarán de acuerdo con lo especificado en las figuras 1 y 2.
- 4.1.4 Horno ventilado. Horno regulado por un termostato que mantenga la temperatura a 110 ± 5°C.
- 4.1.5 Material auxiliar y general de laboratorio. Cuarteador de agregados, bandejas, etc.

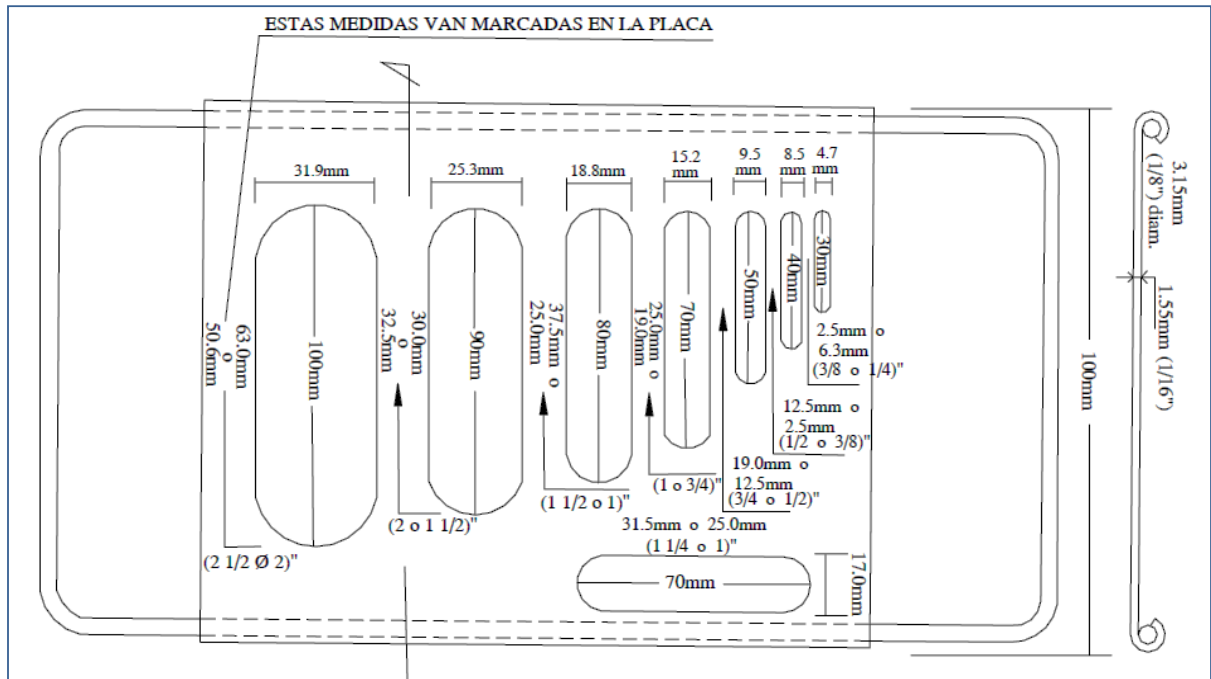


Figura 1. Calibrador de espesores

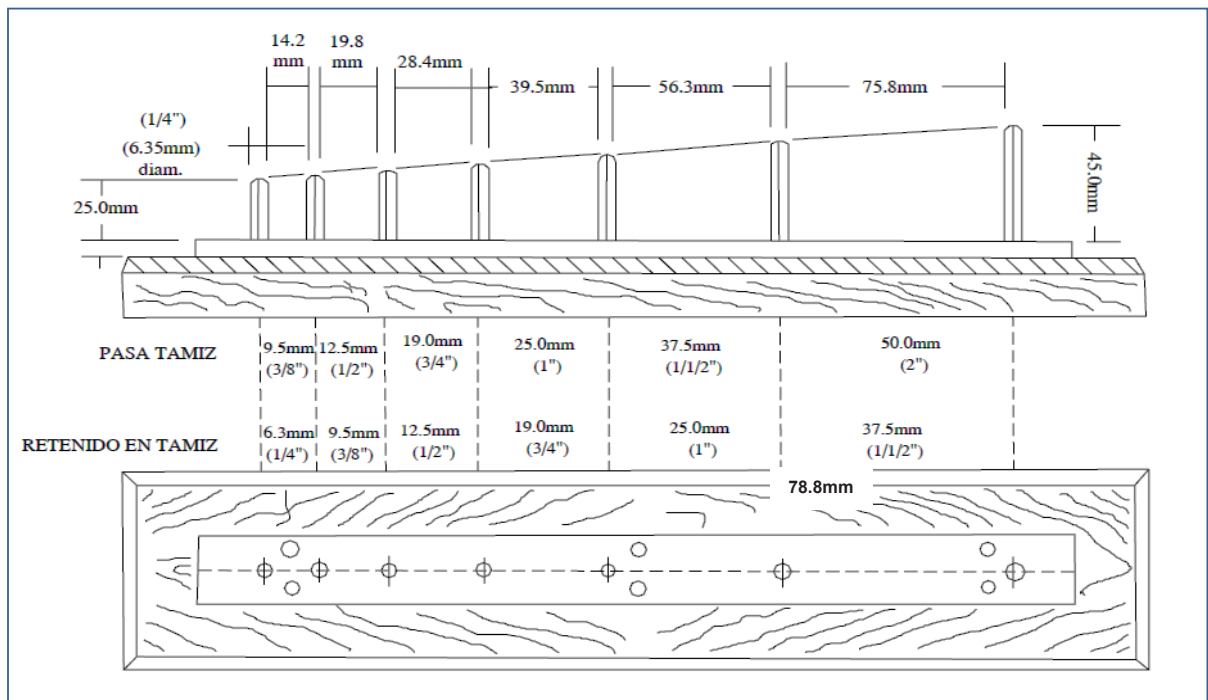


Figura 2. Calibrador de longitudes

Tabla 1

Dimensiones de los calibradores grosor y longitud y peso mínimo para subdivisión de la fracción						
Tamices				Dimensiones del calibrador (mm)		Peso mínimo para subdivisión (kg)
Pasa		Retiene		Aplanamiento	Alargamiento	
mm	(pulg)	mm	(pulg)	Abertura de la ranura ⁽¹⁾	Separación de las barras ⁽²⁾	
63,0	(2 ½")	50,0	(2")	33,9	-----	50
50,0	(2 ")	37,5	(1 ½")	26,3	78,8	35
37,5	(1 ½")	25,0	(1")	18,8	56,3	15
25,0	(1 ")	19,0	(¾")	13,2	39,6	5
19,0	(¾")	12,5	(½")	9,5	28,4	2
12,5	(½")	9,5	(⅜")	6,6	19,8	1
9,5	(⅜")	6,3	(¼")	4,7	14,2	0,5

⁽¹⁾ Esta dimensión es igual a 0,6 veces el promedio de las aberturas de los tamices que definen la fracción.

⁽²⁾ Esta dimensión es igual a 1,8 veces el promedio de las aberturas de los tamices que definen la fracción.

5.0 MUESTRA

5.1 Como se indica el numeral 6.1.1

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Preparación de la muestra

6.1.1 El material recibido en el laboratorio, se reduce por cuarteo hasta obtener una muestra representativa, en cantidad suficiente para la realización del ensayo. Las cantidades requeridas de peso del agregado (previamente desechados los tamaños no comprendidos entre 63,0 mm (2 ½") y 6,3 mm (¼")), en función del tamaño nominal de la muestra, se refieren en la Tabla 2.

Tabla 2

TAMAÑO NOMINAL DEL AGREGADO mm (pulg)		PESO MÍNIMO DEL MATERIAL PARA ENSAYO, TAMAÑO DEL AGREGADO ENTRE 63,0 mm (2 ½") Y 6,3 mm (¼") kg
mm	(Pulg)	kg
50,0	(2)	35
40,0	(1 ½)	15
25,0	(1)	5
20,0	(¾)	2
12,5	(½)	1
10,0	(⅜)	0,5

6.1.2 Una vez así separada la muestra para ensayo, se seca en el horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta peso constante y luego se procede a determinar su análisis granulométrico, de acuerdo con la norma MTC E 204, usando los tamices indicados en la Tabla 1. Se descarta todo el material que quede retenido en el tamiz 63 mm (2 ½") y el que pase el tamiz 6,3mm (¼"). Se

determina el peso P_i , con aproximación del 0,1%, de cada fracción retenida y se ponen estas en bandejas separadas e identificadas con el tamaño definido de la fracción. (Nota 1).

Nota 1. Si el peso de cualquiera de las fracciones consideradas resultase excesiva, esta fracción se puede subdividir en otras dos, siempre que el peso de la fracción subdividida no sea menor que la mitad de la mínima apropiada, y esté según la tabla 2. En tales circunstancias se modificará el resto del procedimiento adecuadamente y se aplicarán los factores de corrección, pertinentes en la determinación del peso de las partículas, aplanadas o alargadas, que hubieran sido obtenidas, con respecto al peso total de la fracción considerada.

6.1.3 Al porcentaje del peso retenido entre cada dos tamices consecutivos de los utilizados en el ensayo se le denomina R_i , siendo la i la luz del tamiz de abertura menor. Las fracciones del agregado cuyo peso sea inferior al 10% de la muestra no se ensayan.

6.1.4 Ejecución del ensayo.

6.1.5 Para separar el material con forma aplanada de cada una de las fracciones de ensayo, preparado como se indica en el numeral 5.1, se hace pasar cada partícula por la ranura del calibrador de grosores, cuya abertura corresponda a la fracción que se ensaya, de acuerdo con la tabla 1 (nota 2).

Nota 2. Hay en uso calibradores de grosor que disponen de una ranura adicional para la fracción (31,5)/25 mm (1 ¼")/(1"); las dimensiones de esta ranura, calculadas con el mismo criterio que en las otras.

6.1.6 La cantidad total de partículas de cada fracción que pasa por la ranura correspondiente, se pesa (P_i) con aproximación del 0,1% del peso total de la muestra en ensayo.

6.1.7 Para separar el material con forma alargada de cada una de las fracciones de ensayo, preparadas como se indica en el numeral 6.1, se hace pasar cada partícula en el calibrador de alargamiento por la separación entre barras correspondiente a la fracción que se ensaya, de acuerdo con la tabla 1.

6.1.8 La cantidad total de partículas de cada fracción retenida entre las dos barras correspondientes, se pesa (P_i) con aproximación del 0,1% del peso total de la muestra de ensayo.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 El índice de aplanamiento de cada fracción de ensayo se calcula, en tanto por ciento, mediante la relación entre el peso de las partículas, P_{ai} , que pasa a través de la correspondiente ranura y el peso inicial, P_i , de dicha fracción.

$$\text{Índice de aplanamiento de la fracción (I}_{ai}) = \frac{P_{ai}}{P_i} \times 100$$

7.1.2 El índice de alargamiento de cada fracción de ensayo se calcula, en tanto por ciento, mediante la relación entre el peso de las partículas, P_{li} , retenidas entre las correspondientes barras y el peso inicial, P_i , de dicha fracción.

$$\text{Índice de alargamiento de la fracción (I}_{li}) = \frac{P_{li}}{P_i} \times 100$$

7.1.3 El valor obtenido para cada fracción ensayada, tanto del porcentaje de aplanamiento como del porcentaje de alargamiento, se redondeará al número entero más próximo.

7.2 INFORME

- 7.2.1 Los resultados obtenidos mediante esta norma pueden expresarse para cada fracción ensayada o para el total de la muestra.
- 7.2.2 La expresión de los índices de aplanamiento y alargamiento de cada fracción serán los obtenidos directamente en el ensayo, según se indica en los numerales 7.1.1 y 7.1.2, indicando expresamente la fracción ensayada.
- 7.2.3 Para expresar los índices de aplanamiento y alargamiento totales, se calcula el promedio ponderado de los respectivos índices de todas las fracciones ensayadas, empleando como factores de ponderación los porcentajes retenidos, R_i , de acuerdo con las siguientes fórmulas.

$$\text{Índice de aplanamiento } (I_a) = \frac{\sum(I_{ai} \times R_i)}{\sum R_i} \quad \text{Índice de alargamiento } (I_l) = \frac{\sum(I_{li} \times R_i)}{\sum R_i}$$

Donde:

- I_{ai} = Índice de aplanamiento de la fracción i
 I_{li} = Índice de alargamiento de la fracción i
 R_i = Porcentajes retenidos en cada fracción i

- 7.2.4 En el informe de los resultados de ensayo se incluirá, además de los índices de aplanamiento y alargamiento, el análisis granulométrico de la muestra.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 La repetibilidad (r) y reproducibilidad (R) calculada para el índice de aplanamiento (I_a) es la siguiente:

Repetibilidad, $r_a = 4,9$

Reproducibilidad, $R_a = 9,1$

MTC E 222**ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar mediante el cálculo de vacíos de aire y la angularidad de los agregados finos, la cual se correlaciona con la resistencia al ahuellamiento.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Se define como angularidad del agregado fino el porcentaje de vacíos con aire presente en las partículas menores de 2,36 mm (pasante malla N° 8), levemente compactados.
- 2.2 Este modo operativo no intenta indicar todo lo concerniente acerca de la seguridad que se debe tener al momento de realizar la prueba. Es responsabilidad del usuario de este modo operativo establecer la seguridad apropiada y prácticas de salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 National aggregates association

4.0 EQUIPOS

- 4.1 Tamices; 2,36mm (No 8) y 75µm (N° 200)
- 4.2 Cilindro metálico de volumen conocido
- 4.3 Embudo metálico
- 4.4 Marco metálico

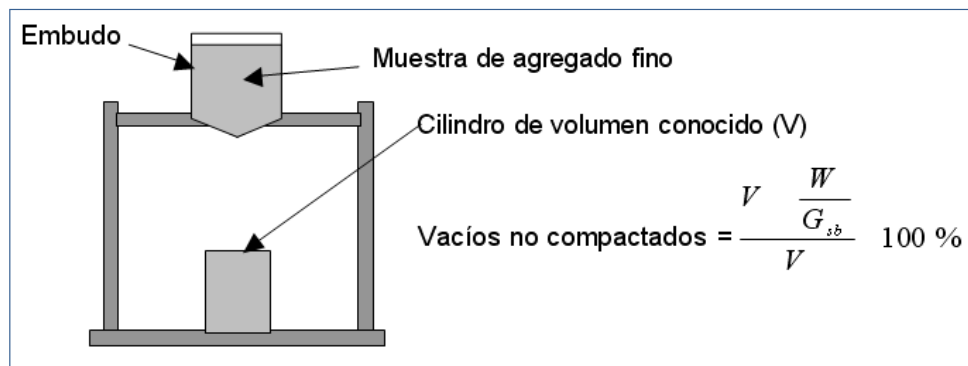


Figura 1. Aparato para medir la angularidad del agregado fino

5.0 MUESTRA

- 5.1 La muestra será la misma de los agregados utilizados en la elaboración de la mezcla asfáltica.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se separa material que pase el tamiz 2,36 mm (N° 8) y sea retenido en el tamiz 75µm (N° 200).
- 6.2 Se determinará la gravedad específica bruta del agregado seleccionado (G_{sb})
- 6.3 Se vierte la arena por el embudo hasta que rebose el cilindro de volumen conocido. Se enrasa y se pesa el material retenido en el cilindro.

7.0 CALCULOS E INFORME

- 7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Determinando el peso del agregado fino (w) que llena el cilindro de volumen conocido (v), el contenido de vacíos puede calcularse como la diferencia entre el volumen del cilindro y el volumen del agregado fino en el cilindro así:

$$A^{\circ} = \frac{V - \frac{W}{G_{sb}}}{V} \times 100$$

- 7.1.2 La Tabla 1 muestra los valores mínimos requeridos para la angularidad (A°) del agregado fino en función del nivel del tránsito y la posición del pavimento.

Tabla 1

Tránsito en 10⁶ ESALS	Prof. desde superf. <100 mm	Prof. desde superf. >100 mm
< 0.3	-----	----
< 1	40	----
< 3	40	40
< 10	45	40
< 30	45	40
< 100	45	45
≥ 100	45	45

MTC E 223**PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN AGREGADOS****1.0 OBJETO**

- 1.1 Método de determinación de los porcentajes de partículas chatas o alargadas en el agregado grueso.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Las partículas chatas o alargadas pueden interferir con la consolidación y dificultar la colocación de los materiales.
- 2.2 Este método provee el medio para verificar si se cumple con las especificaciones que limitan tales partículas o, para determinar la forma característica del agregado grueso.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

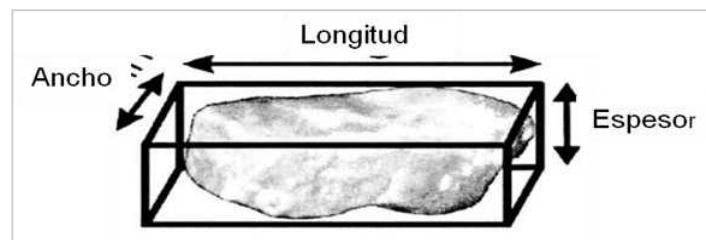
- 3.1 ASTM D 4791: Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate

4.0 EQUIPOS, MATERIALES**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 El aparato utilizado será un equipo apropiado para ensayar las partículas de agregado para cumplir con las relaciones descritas en el capítulo 4.1.2.
- 4.1.2 Dispositivo calibrador proporcional: El dispositivo mostrado en las figuras 1; 2; 3, es el utilizable para método de ensayo, consiste en una base plana con dos postes fijos y un brazo giratorio entre ellos de tal modo que las distancias entre los extremos del brazo y los postes, mantengas una relación constante. La posición de eje de giro del brazo, puede ser cambiada para dar diferentes relaciones entre las distancias, figura 1 ilustra un dispositivo que puede fijarse para relaciones de 1:2,1:3,1:4 y 1:5.
- 4.1.3 Balanza.- con exactitud a 0,5% del peso de la muestra

5.0 MUESTRA

- 5.1 Mezclar totalmente la muestra y reducir a una cantidad apropiada por cuarteo, según MTC E 201 la cantidad de agregado no será de un peso predeterminado, sino el resultante del cuarteo, una vez secado y conformará los mínimos requeridos de acuerdo a lo indicado en la tabla 1.
- 5.2 Partículas chatas y alargadas del agregado las partículas con una relación de longitud a espesor superior a un valor especificado.
- 5.3 Longitud: máxima dimensión de la partículas, ancho: máxima dimensión en el plano perpendicular a la longitud, espesor: máxima dimensión perpendicular a lo largo y ancho.



Tamaño máximo nominal malla cuadrada mm – (pulgada)	Peso mínimo de la muestra de ensayo kg – (lb)
9,5 – (3/8)	1 – (2)
12,5 – (1/2)	2 – (4)
19,0 – (3/4)	5 – (11)
25,0 – (1)	10 – (22)
37,5 – (1.1/2)	15 – (33)
50 – (2)	20 – (44)
63 – (2.1/2)	35 – (77)
75 – (3)	60 – (130)
90 – (3.1/2)	100 – (220)
100 – (4)	150 – (330)
112 – (4.1/2)	200 – (440)
125 – (5)	300 – (660)
150 – (6)	500 – (1100)

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Si se requiere determinación por peso, secar la muestra al horno a peso constante a la temperatura de 110 ± 5 C, si la determinación es por número de partículas, el secado no es necesario.
- 6.2 Tamizar la muestra conforme a lo especificado a la MTC E 205, reduzca cada fracción mayor a 9,5 mm (3/8 pulg) O 4,75 N°4 si es requerido, en un 10% o más de su peso original, conforme a la MTC 201, hasta obtener aproximadamente 100 partículas.
- 6.3 Ensayar cada partícula de cada fracción medida y colocarlas en uno de los tres grupos: 1) Chatas, 2) Alargadas y 3) Ni chatas ni alargadas.
 - 6.3.1 Utilizar el calibre mostrado en el anexo B como sigue:
 - 6.3.1.1 Ensayo de partículas chatas: Ajustar la abertura entre el brazo mayor y el poste, al ancho de la partículas .La partícula es chata si su espesor pasa por la abertura menor (Figura 2-a).
 - 6.3.1.2 Ensayo de partícula alargada: Ajustar la abertura mayor a la longitud de la partícula. La partícula es alargada si su ancho pasa por la abertura menor. (Figura 2-b).
 - 6.3.2 Luego de la clasificación en los grupos descritos en el apartado 6.3 determinar la proporción de la muestra por cada grupo, ya sea o por conteo, de acuerdo a lo requerido.

7.0 CALCULOS E INFORME

- 7.1 CALCULO
 - 7.1.1 Calcular el porcentaje de partículas chatas y alargadas con aproximación 1% para cada malla mayor de 9,5 mm (3/8" pulg) o 4,75 (N°4) según sea necesario.
 - 7.1.2 Cuando se requiere el promedio de partículas chatas y alargadas de alguna muestra asumir que la medida de malla no ensayada (aquella que representa menos del 10% de la muestra) tiene el mismo porcentaje de partículas chatas y alargadas que la siguiente malla menor o la siguiente malla mayor, o utilizar el promedio de ambas mallas dado el caso.
- 7.2 INFORME
 - 7.2.1 Identificación del agregado.
 - 7.2.2 Gradación de la muestra, indicando los porcentajes retenidos en cada malla.
 - 7.2.3 Para partículas Chatas y partículas Alargadas.
 - 7.2.4 Número de partículas ensayadas en cada malla.

- 7.2.5 Porcentaje calculado por número o por peso de a) Partículas Chatas, b) Partículas Alargadas y c) Total de partículas chatas y alargadas por cada malla ensayada.
- 7.2.6 Relación dimensional utilizada para el ensayo.
- 7.2.7 Para partículas Chatas y Alargadas.
- 7.2.8 Número de partículas ensayadas en cada malla
- 7.2.9 Porcentaje calculado por número o por peso de total de partículas chatas y alargadas por cada malla ensayada.
- 7.2.10 La proporción dimensional utilizada en las pruebas.
- 7.2.11 Cuando solicite porcentajes promedio de peso basados en las proporciones reales asumidas de las diferentes mallas ensayadas. Reportar la gradación utilizada para el promedio de los pesos si difieren de 7.2.2

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 La precisión de este ensayo está siendo determinada.

8.2 DESVIACION

8.2.1 Dado que no hay material de referencia aceptado capaz de determinar la desviación de este método de ensayo no hay declaración del mismo.

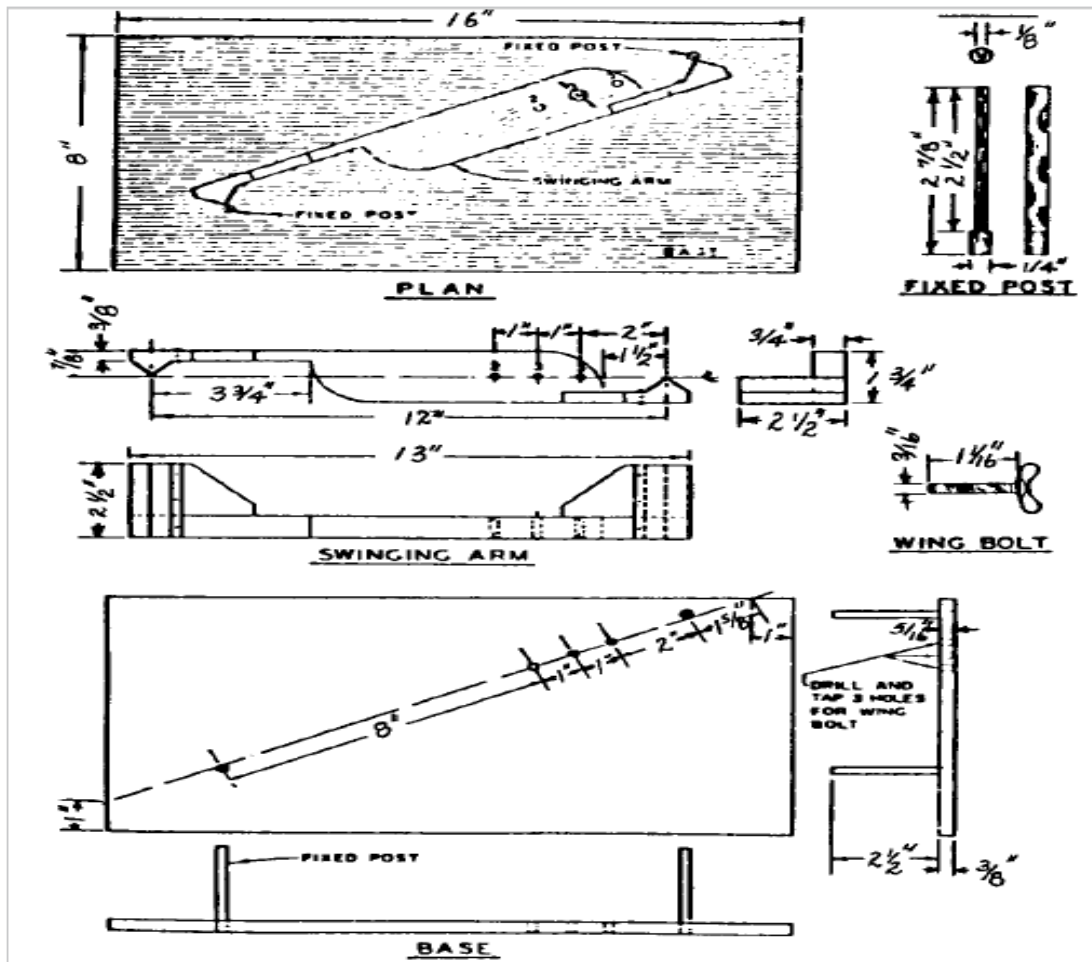


Figura 1: Calibrador proporcional.

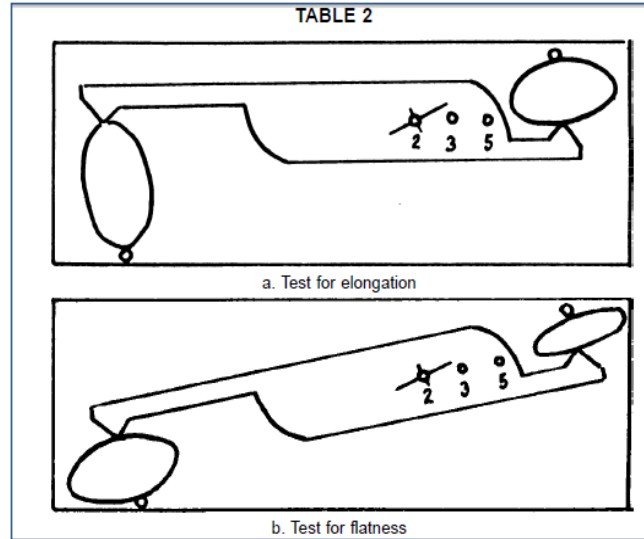


Figura 2: Uso de calibrador proporcional.

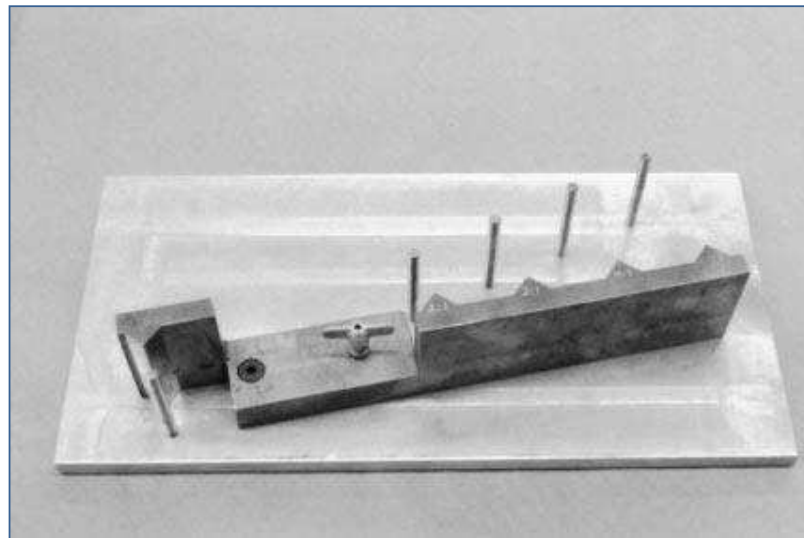


Figura 3: Calibrador proporcional.



SECCION N° 3 BITUMENES

MTC E 301

MUESTREO DE MATERIALES BITUMINOSOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el procedimiento que se debe seguir para la toma de muestras de asfaltos líquidos, semisólidos, sólidos y emulsionados en los sitios de producción, almacenamiento y entrega.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El muestreo es tan importante como el ensayo, se deben tomar las precauciones para obtener las muestras que reflejen la verdadera naturaleza y condiciones de los materiales.
- 2.2 Las muestras son tomadas para cualquiera de los siguientes propósitos:
- 2.2.1 Para representar lo más cercanamente posible un promedio del total de los materiales muestreados ó
- 2.2.2 Para determinar la variación máxima en las características que poseen los materiales.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 140: "Standard Practice for Sampling Bituminous Materials".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

- 4.1 Los recipientes para materiales bituminosos líquidos, excepto los de las emulsiones, serán latas de boca ancha, con tapa de rosca ó latas con triple sello de fricción en su parte superior.
- 4.2 Los recipientes para materiales bituminosos emulsionados serán tarros ó botellas de plástico de boca ancha con tapa de rosca ó con triple sello de fricción en su parte superior.
- 4.3 Los recipientes para materiales bituminosos en polvo ó triturados serán latas con triple sello de fricción en su parte superior ó bolsas de plástico, introducidas en cualquier recipiente adecuado que asegure su transporte.
- 4.4 El tamaño de los distintos recipientes estará de acuerdo con la cantidad de muestra requerida.

5.0 MUESTRA

5.1 TOMA DE MUESTRAS

- 5.1.1 Siempre que sea posible se tomarán las muestras de los materiales asfálticos en el lugar de su producción de manera que se puedan realizar los ensayos antes de efectuar el envío, con el fin de que se pueda admitir o rechazar el material con anticipación.
- 5.1.2 Cuando no sea posible realizar la toma de las muestras en el lugar de producción, se tomarán del envío inmediatamente antes de su entrega.

5.2 TAMAÑO DE LA MUESTRA

- 5.2.1 Los tamaños de las muestras que se enviarán al laboratorio para realizar los ensayos, según su consistencia, serán los que se indican a continuación:

Materiales líquidos

- Para ensayos rutinarios en el laboratorio 1L. En el caso de emulsiones 4 L.
- De lugares de almacenamiento durante la carga o el llenado de los depósitos, carrotaques o camiones, 4 L.
- De barriles o cilindros, 1 L.

Materiales semisólidos o sólidos

- De barriles, cilindros o bloques de 1 a 2 kg.
- De materiales molidos o en polvo a granel o en sacos, de 1 a 2 kg.

5.3 PROTECCION Y CONSERVACION DE LAS MUESTRAS

- 5.3.1 Los recipientes serán nuevos. No se lavarán ni se enjuagarán con productos aceitosos y no podrán usarse si presentan rastros de elementos fundentes de soldadura o si no están perfectamente limpios y secos. El recipiente y su tapa deberán encajar perfectamente.
- 5.3.2 Se tomarán precauciones para que las muestras no se contaminen. Inmediatamente después de llenado, el recipiente se cerrará herméticamente y se sellará.
- 5.3.3 El recipiente con la muestra no debe limpiarse exteriormente con ningún disolvente.
- 5.3.4 Las muestras de emulsiones serán protegidas del congelamiento por correcto empaquetamiento.

Nota 1. Cuando se muestrean emulsiones, se tendrá cuidado de no muestrear material bajo presión a tal velocidad que tienda a causar entrapamientos de aire el cual podría ocasionar resultados erróneos de ensayos. Cualquier burbujeo visual del material es indicación de que el aire ha sido atrapado. Así mismo el recipiente de muestra estará completamente lleno para minimizar la formación de película en la interface aire-emulsión

- 5.3.5 Las muestras no deberán ser transferidas de un contenedor a otro excepto cuando es requerido por el procedimiento de muestreo.
- 5.3.6 Inmediatamente después de lleno, cerrado y sellado, se marcará para su identificación, pero no en su tapa, utilizando cualquier tipo de etiquetas, siempre que se coloque perfectamente con objeto de evitar su pérdida durante el transporte. Todo material de identificación debe mantenerse íntegro a temperaturas de hasta 200°C.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 TOMA DE MUESTRAS EN EL SITIO DE PRODUCCION

- 6.1.1 Tanques verticales sin mecanismo de agitación, de 800 m³ de capacidad o más, con materiales líquidos o materiales que adquieran consistencia líquida al calentarlos.

Se recomiendan tres métodos para la toma de las muestras. Durante la aplicación de cualquiera de ellos se deberán mantener cerradas las bocas de carga y descarga del tanque.

- Método de la válvula tomamuestras. El tanque deberá contar con tres válvulas de acceso fácil y seguro, localizadas en las siguientes posiciones: la primera en el tercio superior del tanque, a una distancia no mayor de 1 m de su parte superior; la segunda, en el tercio medio, y la tercera en el tercio inferior del tanque, pero a una distancia no menor de 1.1m del fondo. La Figura 1 muestra un modelo recomendado de válvula con tubería de 19 mm de diámetro interior.
- Antes de tomar la muestra de ensayo, se deberá sacar y desechar un mínimo de 4 L del producto de cada válvula. Para la muestra de ensayo se sacará entre 1 L y 4 L de cada válvula.

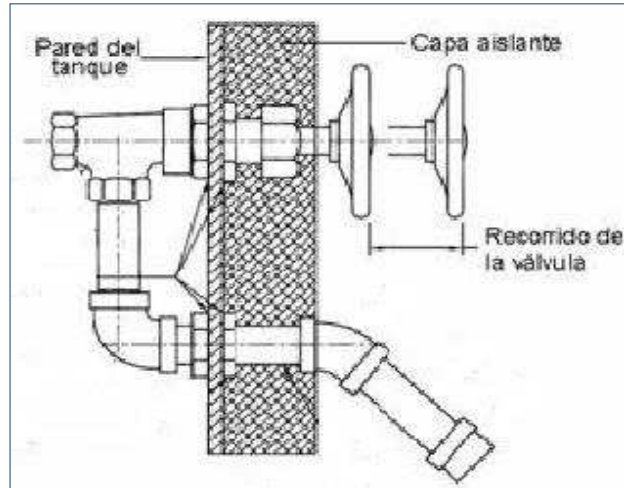


Figura 1. Válvula tomamuestras

- Método del tubo tomamuestras. El método no es adecuado para asfalto sólido. Las muestras se tomarán en las secciones superior, media e inferior de los niveles, del tanque indicados en Método de la válvula tomamuestras, introduciendo el tubo tomamuestras en el material. La Figura 2 muestra un modelo apropiado.

Nota 2. La mayoría de materiales bituminosos en el estado líquido son de tales características viscosas y adhesivas que después del vaciado, por vertido, de los contenedores, estos retienen suficiente material como para causar contaminación significativa de cualquier segunda muestra así se asegure que el contenedor fue previamente lavado. Las características antes indicadas de los materiales bituminosos hacen también que la limpieza de los contenedores sea difícil, tediosa con el consiguiente excesivo consumo de tiempo.

Nota 3. Este dispositivo puede emplearse en una toma repetitiva de muestra, ya que evita la contaminación debida a la retención del material procedente por su acción de autolimpieza, al paso del material a través del tubo que está abierto en ambos extremos. Se recomienda por esto subir y bajar el tubo toma muestras tres o cuatro veces a lo largo de una distancia aproximada de 1 m.

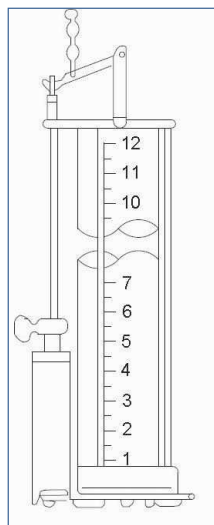


Figura 2. Tubo tomamuestras

Nota 4. Se introduce el dispositivo en el tanque con la válvula del fondo abierta (la parte superior no tiene cierre). Cuando se alcanza la profundidad conveniente, se da un tirón a la cadena con lo cual se cierra la válvula del fondo. Se saca entonces del tanque el tubo tomamuestras y se vierte su contenido en el recipiente adecuado. Este dispositivo puede usarse repetidas veces en el mismo tanque.

- Método del recipiente desechable. Las muestras se tomarán en las secciones alta, media y baja, introduciendo en el material el recipiente montado en un soporte con lastre.

Lo fundamental del Método es emplear un recipiente limpio para tomar la muestra, verter ésta en otro recipiente también limpio y desechar el recipiente introducido en el tanque. Un modelo satisfactorio se indica en la Figura 3 (Nota 2).

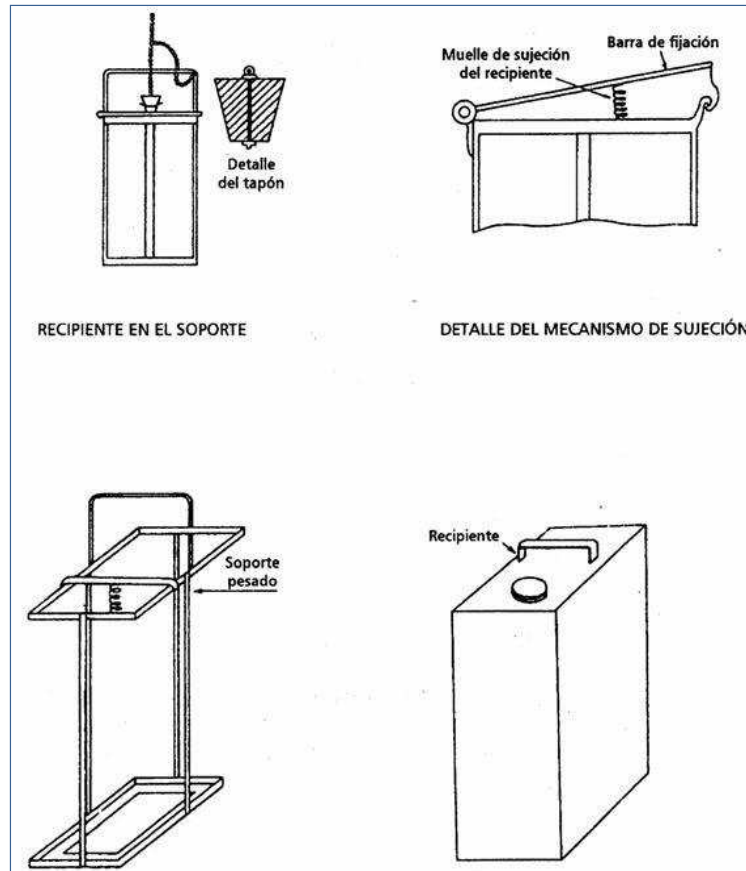


Figura 3. Recipiente desechable para toma de muestras por inmersión

Nota 5. Se introduce el conjunto en el tanque con el tapón en posición. Cuando se alcanza la profundidad conveniente se quita el tapón tirando de la cadena de sujeción, con lo cual comienza a llenarse el recipiente. El cese de desprendimiento de burbujas indica que este se ha llenado completamente; se saca a continuación del tanque y se vierte su contenido en un recipiente adecuado. Debe emplearse un recipiente distinto para cada toma de muestra.

- Las tres muestras procedentes de los depósitos de almacenamiento se pueden ensayar por separado mediante ensayos de consistencia para detectar su estratificación. También pueden mezclarse totalmente y tomar una muestra (de 1 a 4 L) para realizar otros ensayos que puedan requerirse para determinar las características medias del material.

6.1.2 Tanques de almacenamiento equipados con mecanismos de agitación, con materiales líquidos o materiales que adquieren consistencia líquida al calentarlos. Cuando el tanque esté equipado de un mecanismo de agitación de eficacia comprobada, una sola muestra tomada

por cualquiera de los procedimientos descritos en el numeral 6.1.1 puede ser satisfactoria para realizar los ensayos necesarios.

6.2 TOMA DE MUESTRAS DE LOS CARROTANQUES, CAMIONES DISTRIBUIDORES O TANQUES DE ALMACENAMIENTO CON RECIRCULACION

6.2.1 La muestra se tomará de la válvula tomamuestras o del grifo, si los tanques disponen de ellos; de lo contrario, deben acoplarse estos dispositivos en el tanque.

Un dispositivo de este tipo se indica en la Figura 5. Antes de tomar la muestra definitiva, se deberán sacar de la válvula tomamuestras 4 L del producto, los cuales no serán considerados como muestra para ensayo.

6.2.2 Las muestras de materiales líquidos y de los que adquieren esta consistencia por calentamiento, pueden tomarse por el método de inmersión, empleando recipientes de boca ancha sostenidos en un soporte adecuado como el indicado en la Figura 4 (Nota 3). Se debe emplear un recipiente limpio para cada toma y el material obtenido se pasa a otro recipiente nuevo y limpio para formar la muestra de ensayo.

Nota 6. El recipiente se fija en el soporte y se introduce en el tanque hasta la profundidad deseada, donde se deja hasta que se llene completamente. Se saca y se vierte su contenido en el recipiente adecuado. Debe emplearse un recipiente distinto para cada toma de muestra

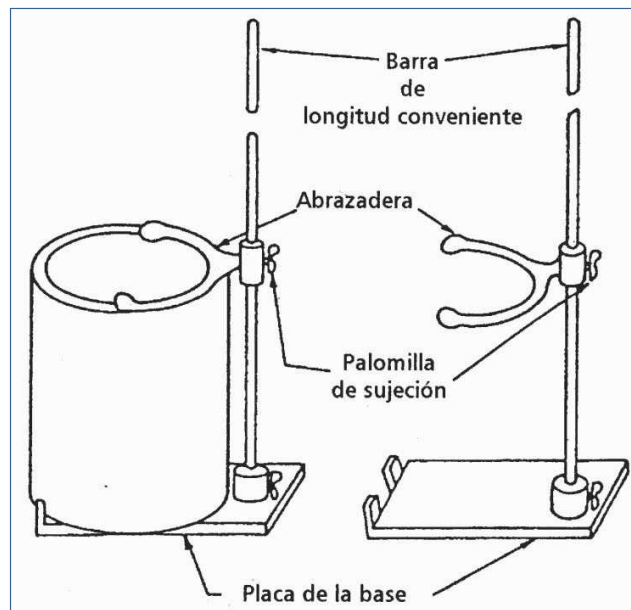


Figura 4. Recipiente de boca ancha para la toma de muestras por impresión

6.2.3 Un dispositivo desmontable similar al que se indica en la Figura 5, puede ser insertado en la línea de descarga. Antes de tomar la muestra definitiva se deben sacar 4 L del producto, de la válvula de muestreo, y ser descartados.

6.3 TOMA DE MUESTRAS DE BARCOS TANQUES Y BARCAZAS

6.3.1 Para materiales líquidos, incluidos los asfaltos que se licuen por calentamiento, se tomarán muestras en la parte superior, media e inferior, siguiendo los métodos del tubo toma muestras y del recipiente desechable ver numeral 6.1.1.

6.3.2 Para los restantes materiales asfálticos que adquieren consistencia líquida por calentamiento, se tomará solamente una muestra de la parte superior por cualquiera de los métodos de inmersión ya descritos (métodos del tubo toma muestras y del recipiente desechable ver numeral 6.1.1).

- 6.4 TOMA DE MUESTRAS DE TUBERIAS DURANTE LA CARGA Y DESCARGA
- 6.4.1 Cuando se están cargando o descargando buques-tanques y barcasas, pueden tomarse las muestras en forma conveniente de la tubería a través de la cual está fluyendo el material, intercalando un grifo tomamuestras dentro de una sección ascendente de la tubería en la zona de descarga de la bomba, o en una parte de la tubería completamente llena de material, en la cual este fluya por gravedad. Un dispositivo de este tipo se muestra en la Figura 5. El tubo del grifo tomamuestras de la tubería de conducción y su abertura estarán cortados en bisel para facilitar la entrada del material.
- 6.4.2 El grifo tomamuestras estará provisto de una válvula o tapón de cierre que permita la descarga del material dentro de los recipientes para muestreo. Se tomarán por lo menos tres muestras de 4 L a intervalos uniformes durante el tiempo que dure la carga o descarga del material. Al final del periodo de carga o descarga, las muestras individuales de 4 L se mezclarán totalmente sin alterar sus características, y del conjunto se tomará una muestra de 4 L.
- 6.4.3 Cuando la toma de muestras se efectúa en buques-tanque y barcasas de una capacidad inferior a 4000 m³ se tomarán por lo menos cinco muestras de 4 L a intervalos uniformes durante el tiempo que dure la carga o descarga. Para capacidades mayores de 4000 m³ se tomarán por lo menos diez muestras de 4 L cada una. Al final del período de carga o descarga, las muestras individuales de 4 L se mezclarán totalmente sin alterar sus características y del conjunto se tomará una muestra de 4 L.
- 6.5 TOMA DE MUESTRAS DE CILINDROS Y BARRILES
- 6.5.1 Después de su completo mezclado, las muestras de materiales bituminosos líquidos provenientes de barriles ó cilindros se pueden tomar con precisión por medio del tubo toma muestras, sacando 1 L de material de cilindros elegidos al azar, de acuerdo con el numeral 6.6.
- 6.6 TOMA DE MUESTRAS DE MATERIALES SEMISOLIDOS O SÓLIDOS SIN TRITURAR
- 6.6.1 Cilindros, barriles y sacos. Cuando no exista duda de que el lote del material procede de una sola partida de producción, será elegido al azar un envase, del cual se tomará la muestra de la manera como se indica más adelante. Cuando haya dudas de sí el lote del material procede o no de una sola partida, o cuando la muestra única no cumpla con los requisitos de las especificaciones al realizar los ensayos, se elegirá al azar un determinado número de cilindros, equivalente a la raíz cúbica del número de envases del lote. Para facilitar esta selección se da a continuación una tabla en la cual se indica el número de muestras que deben elegirse de un cargamento, de acuerdo con el número de envases que lo componen, como se indica en la Tabla 1.
- 6.6.2 Las muestras se tomarán al menos a 75 mm por debajo de la superficie y a 75 mm de las Paredes del recipiente. Si el material es suficientemente duro para que pueda fragmentarse, puede emplearse una pequeña hacha limpia y, si el material es blando, una espátula de hoja dura y ancha. Cuando se tomen muestras de más de un envase, cada una de ellas tendrá un peso mínimo de 100 g.

Tabla 1

Número de envases del cargamento	Número de envases elegidos
de 2 a 8	2
de 9 a 27	3
de 28 a 64	4
de 65 a 125	5
de 126 a 216	6
de 217 a 343	7
de 344 a 512	8

Número de envases del cargamento	Número de envases elegidos
de 513 a 729	9
de 730 a 1000	10
de 1001 a 1331	11

- 6.6.3 Cuando no haya duda de que el material procede de una sola partida de producción, todas las muestras tomadas del lote se fundirán y se mezclarán bien, tomando de esta mezcla una muestra de material de 4 L para realizar con ella los ensayos.
- 6.6.4 En el caso de que haya material procedente de una sola partida o de que los lotes de las distintas partidas puedan diferenciarse claramente, se preparará una muestra compuesta de 4L de cada lote. Cuando no sea posible diferenciar los distintos lotes, cada muestra tomada se ensayara por separado.



Figura 5: Aparato de Muestreo Asfáltico en Línea.

- 6.7 TOMA DE MUESTRAS DE MATERIALES TRITURADOS EN FRAGMENTOS O EN POLVO
- 6.7.1 Almacenamiento a granel. Las muestras de materiales asfálticos sólidos machacados en fragmentos o en polvo, se tomarán de acuerdo con la norma sobre muestreo ASTM D 346. El peso bruto de la muestra será superior a 25 kg, de la cual se seleccionará una muestra de 1 a 2 kg para su ensayo.
- 6.7.2 Cilindros, barriles, sacos. Cuando el material se suministra envasado (en tambores, barriles, sacos y bolsas), se elegirá al azar un número de muestras de ensayo conforme se describe en el numeral 6.6. Se tomará de la parte central de cada uno de los envases, una muestra con un peso mínimo de 0,5 kg formando con todas ellas una muestra compuesta con un peso superior a 25 kg de la cual, después de mezclarla bien, se seleccionará una muestra de 1 a 2 kg para su ensayo, de acuerdo con la norma ASTM D 346 ya mencionada.
- 6.8 TOMA DE MUESTRAS AL RECIBO DEL MATERIAL
- 6.8.1 La toma de muestras de los materiales asfálticos se hará tan pronto como sea posible, después que el material haya llegado al lugar de almacenamiento o durante su descarga.
- 6.8.2 Se tomará un número adecuado de muestras de cada partida de material asfáltico. En el caso de pequeñas partidas, como las provenientes de carrotanques, las muestras deben ser representativas de una cantidad máxima de 40 m³ de material.
- 6.8.3 La toma de muestras se hará por cualquiera de los tres procedimientos siguientes:
- De acuerdo con lo descrito en el numeral 6.1.
 - Por medio de una válvula tomamuestras o grifo acoplado en la tubería de descarga, extrayendo la muestra de aproximadamente el tercio medio de la capacidad del tanque.



- Por medio de un dispositivo tomamuestras introducido en el tanque, hasta un nivel de aproximadamente el tercio medio de su capacidad.
- 6.8.4 Los ensayos para la aceptación del material deberán realizarse sobre una de las muestras tomadas. Las muestras restantes se reservarán para el caso en que sea necesario comprobar los resultados obtenidos, cuando la muestra ensayada no cumple con las especificaciones.
- 6.9 PRECAUCIONES
- 6.9.1 Debido a la diversidad de los tipos de materiales asfálticos que pueden ser suministrados y almacenados alternativamente en el mismo depósito o en similares, existe siempre el peligro de su contaminación con residuos de los mismos o con los disolventes de limpieza. También, se corre el riesgo de obtener muestras que no sean estrictamente representativas del material o que se contaminen después de obtenidas. Por tanto, es de incumbencia del personal que toma las muestras, adoptar las debidas precauciones para el muestreo y para la manipulación de estos materiales.

MTC E 302

SOLUBILIDAD DE MATERIALES ASFÁLTICOS EN TRICLOROETILENO

1.0 OBJETO Y ALCANCE

- 1.1 Determinar el grado de solubilidad en tricloroetileno de materiales asfálticos que tengan poco material mineral o que carezcan de él.

2.0 SIGNIFICADO Y USO

- 2.1 Este método de prueba es una medida de la solubilidad del asfalto en tricloroetileno. La porción que es soluble en tricloroetileno representa los componentes activos cementantes.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 2042: "Standard Test Method for Solubility of Asphalt Materials in Trichloroethylene".
3.2 AASHTO T 44: "Solubility of Bituminous Materials in Organic Solvents".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

4.1 EQUIPOS

- Estufa que pueda mantener la temperatura de 110 ± 5 °C.
- Balanza Analítica, Clase A de acuerdo a la especificación AASHTO M 231

4.2 MATERIALES

El conjunto del aparato filtrante, ilustrado en la Figura 1, tiene las siguientes partes componentes:

- Crisol Gooch vidriado interior y exteriormente con excepción de la parte inferior de la superficie externa. Sus dimensiones aproximadas deberán ser: diámetro de 44 mm en la boca superior, ahusado hasta un diámetro de 36 mm en el fondo y profundidad de 24 a 28 mm.
- Almohadillas de fibra de vidrio de $3,2 \text{ cm}^2$.
- Frasco de vidrio, de pared gruesa con tubo lateral, de 250 mL ó 500 mL de capacidad.
- Tubo filtrante de 40 a 42 mm de diámetro interior.
- Adaptador de caucho para el tubo, para mantener el crisol sobre el tubo filtrante.

Nota 1. Pueden emplearse otros dispositivos que permitan, filtración en vacío utilizando el crisol GOOCH.

- Frasco Erlenmeyer de 125 mL

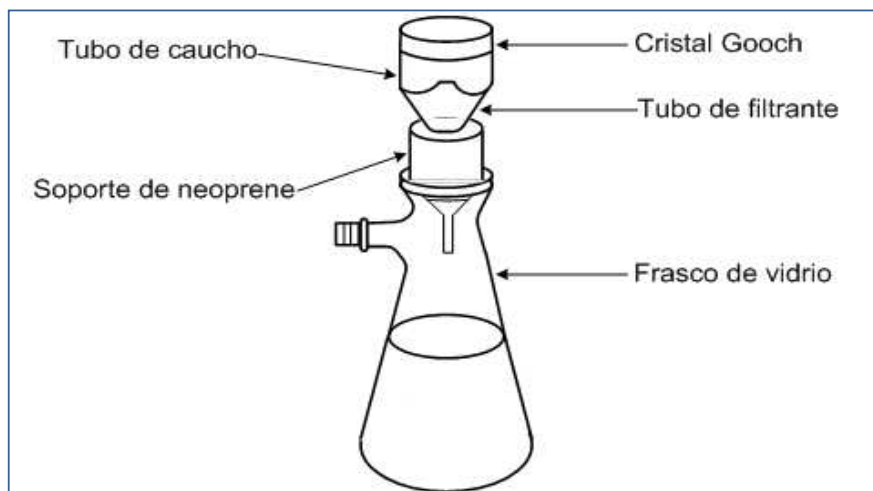


Figura 1. Aparato filtrante

4.3 REACTIVOS

Disolvente Tricloroetileno de grado técnico.

Nota 2. El Tricloroetileno es tóxico requiriendo buena ventilación el ambiente de trabajo. Es más inflamable que el Tetracloruro de carbono. El Tricloroetileno en presencia del calor y de la humedad puede formar ácidos que son extremadamente corrosivos.

5.0 MUESTRA

5.1 Si la muestra no es líquida, caliéntese a cualquier temperatura conveniente pero en ningún caso mayor de 111 °C por encima del punto de ablandamiento. Normalmente la temperatura a la cual esta prueba se lleva a cabo no es crítica y puede ser realizada en el laboratorio a temperatura ambiente. Para pruebas de referencia, sin embargo, el matraz y la muestra en solución serán colocados en un baño de agua mantenido a $37,8 \pm 0,3$ °C por 1 hora antes de la filtración.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Preparación del Crisol

Colocar el crisol gooch más una capa del filtro de fibra de vidrio en un horno a 110 ± 5 °C por 15 min. Dejar que enfríe en un desecador y luego determine el peso lo más próximo a 1mg. Designar este peso como "A". Guardar en el desecador hasta que esté listo para su uso.

6.2 Vea las precauciones de seguridad en la Nota 2. Transfiera aproximadamente 2 g de la muestra a un frasco Erlenmeyer de 125 mL, tarado o a otro recipiente adecuado. Dejar que la muestra se enfríe a temperatura ambiente y luego determine la masa lo más cercano a 1 mg. Designe este peso como "B". Añadir 100 mL de tricloroetileno al recipiente en porciones pequeñas con agitación continua hasta desaparecer todos los grumos y disolver las muestras adheridas al recipiente. Tapar el frasco o de lo contrario cubra el recipiente y coloque aparte por lo menos 15 min (ver sección).

6.3 Colocar el crisol gooch previamente preparado y pesado en el tubo de filtración. Mojar el filtro de fibra de vidrio con porciones pequeñas de tricloroetileno y decantar la solución a través del filtro de fibra de vidrio del crisol gooch con o sin succión como sea necesario. Cuando el material insoluble es apreciable conservar en el recipiente tanto como sea posible hasta que la solución haya drenado a través del filtro. Lavar el recipiente con una cantidad pequeña de solvente, utilizando un chorro de solvente desde una botella de lavado, transferir todo el material insoluble al crisol. Utilice una "varilla" si es necesario para remover cualquier material insoluble adherido al recipiente. Enjuague la "varilla" y el recipiente completamente. Lavar el material insoluble en el crisol con solvente hasta que lo filtrado sea substancialmente incoloro, entonces aplicar succión fuerte para remover el solvente sobrante.

6.4 Remover el crisol del tubo, lavar la parte inferior libre de cualquier sustancia disuelta, y colocar el crisol en la parte superior de un horno o en un baño de vapor hasta que todo el olor del tricloroetileno se haya quitado (ver precauciones de seguridad Nota 2). Colocar el crisol en un horno a 110 ± 5 °C por no menos de 20 min. Enfriar el crisol en un desecador por 30 ± 5 min. Y determine este peso lo más próximo a 0.1mg. Repita secando y pesando hasta que el peso constante (0,3 mg) sea obtenida. Designe este peso como "C".

Nota 3. Para obtener resultados precisos, el tiempo de enfriamiento en el desecador sería aproximadamente el mismo (dentro ± 5 min) después de los calentamientos. Por ejemplo, si el peso del crisol vacío es determinado después de 30 min de un periodo de enfriamiento en el desecador, el peso del crisol conteniendo el material insoluble debería ser determinado después de 30 ± 5 min del periodo de enfriamiento en el desecador. Cualquiera de los crisoles vacíos o crisoles conteniendo material insoluble sobrante que tienen que estar en un desecador durante la noche debería ser recalentada en horno por lo menos 30 min, luego dejar enfriar por el periodo prescrito antes que el peso sea determinado.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Calcule cualquiera, el porcentaje de materia insoluble o el porcentaje de la muestra soluble en el solvente usado como sigue:

$$\% \text{ Insoluble} = [(C - A) / B] \times 100$$

$$\% \text{ Soluble} = [B - (C - A) / B] \times 100$$

Donde:

A = Peso del crisol y filtro

B = Peso de la muestra

C = Peso del crisol, filtro y material insoluble

7.2 INFORME

7.2.1 Para porcentajes de materia insoluble menor que 1,0 reporte los más próximo a 0,01%.

7.2.2 Para porcentajes de materia insoluble de 1,0 o más reporte lo más próximo a 0,1%

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 El siguiente informe de precisión fue formulado cuando estaba permitido el uso de carbón disulfido, tetracloruro de carbono y benceno y también el tricloroetileno y antes de la sustitución del papel filtro de fibra de vidrio por los asbestos. Estos se incluyeron en el método de prueba como solo una guía.

8.2 Estimaciones de la desviación estándar ($\sigma p'$) para este procedimiento y el criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% nivel de confianza) son como sigue:

CRITERIOS PARA LA ACEPTACIÓN DE LOS RESULTADOS

8.3 La estimación de la desviación Standard están basadas en lo siguiente:

Solubilidad de asfaltos, más que 99% (aplicable para cualquiera Carbón disulfuro, tetracloruro de carbono, tricloroetileno o benceno) son usados	Dentro del laboratorio (variabilidad)		Entre laboratorios (variabilidad)	
	Desviación Estándar	Repetibilidad	Desviación Estándar	Reproducibilidad
	0,035	0,10	0,090	0,26

Materiales	4
Replicas	3
Solventes	4
Laboratorios	26
Grados de libertad	
Dentro del laboratorio, variabilidad	159
Entre laboratorios, variabilidad	81
Desviación Standard (s) de datos	
Dentro del laboratorio, variación	0,035
Entre laboratorios, variación	0,090

8.4 Los Materiales de Referencia AASHTO de laboratorio (AMRL) datos para método de prueba D-2042 (y su norma equivalente AASHTO T-44) fueron analizados en el 2001. Estos datos representan aproximadamente 13 200 repeticiones de la prueba guiada en 132 muestras teniendo valores de solubilidad entre 99,5% y 100,0%.

8.5 Para muestras dentro de este rango, los análisis sugieren los siguientes valores de precisión.
 Desviación Standard - Multilaboratorio (1s) = 0,01 + (0,75% x %insoluble)
 Desviación Standard - un solo operador (1s) = 0,01 + (0,25% x %insoluble)

MTC E 303**PUNTOS DE INFLAMACION Y DE LLAMA (COPA ABIERTA) CLEVELAND****1.0 OBJETO**

- 1.0 Tiene por objeto determinar los puntos de inflamación y de llama, mediante la copa abierta Cleveland, de productos de petróleo y de otros líquidos con excepción de los aceites combustibles y de los materiales que tienen un punto de ignición, en copa abierta de Cleveland, por debajo de 79 °C.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Deberá emplearse para medir y describir las propiedades de materiales, productos o sistemas, en respuesta al calor y la llama bajo condiciones de laboratorio controladas y no deberá considerarse ni emplearse para la descripción o para la apreciación de materiales, productos o sistemas que presenten riesgo de incendio bajo condiciones reales.
- 2.2 El punto de inflamación es una medida de la tendencia del espécimen de ensayo de formar una mezcla inflamable con el aire bajo condiciones controladas de laboratorio. Este es solo uno de un número de propiedades que deben ser consideradas al momento de valorar los daños por inflamación de un material.
- 2.3 El punto de inflamación es empleado en normativas de embarque y seguridad para definir materiales combustibles é inflamables.
- 2.4 El punto de inflamación puede indicar la presencia positiva de materiales altamente volátiles é inflamables en un material relativamente no volátil ó no inflamable. Por ejemplo un punto de inflamación anormalmente bajo en un espécimen de ensayo de petróleo de un motor puede indicar contaminación con gasolina.
- 2.5 Este método de ensayo debe ser empleado para medir y describir las propiedades de materiales y productos en respuesta al calor y a una llama de ensayo bajo condiciones controladas de laboratorio. Sin embargo los resultados de este método de ensayo pueden ser empleados como elementos para el establecimiento de riesgos de incendios que nos lleva a cuantificar todos los factores que sean pertinentes

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

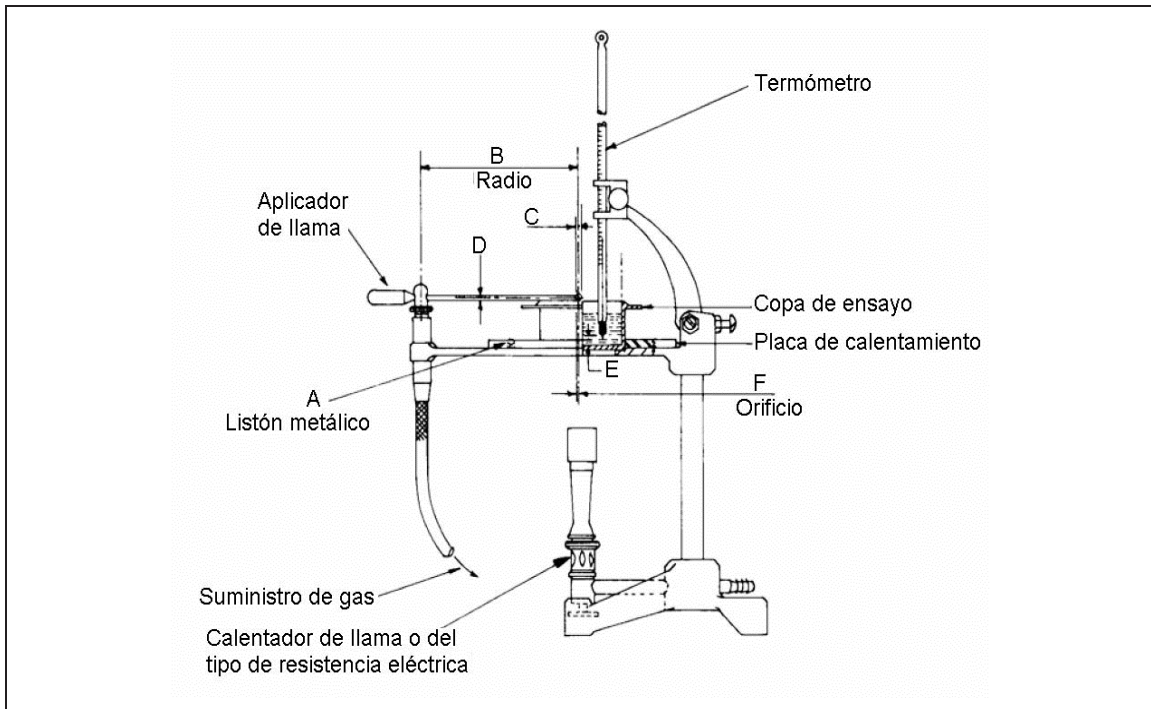
- 3.1 ASTM D 92: "Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester".
- 3.2 AASHTO T 48: "Standard Method of Test for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup"

4.0 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Aparato de Copa Abierta Cleveland.- Este aparato consta de la copa de ensayo, placa de calentamiento. Aplicador de la llama, calentador y soportes. En las figuras 1, 2 y 3, se ilustran el aparato ensamblado, la placa de calentamiento y la copa, respectivamente.

La copa de ensayo de latón o bronce deberá cumplir con las dimensiones de la Figura 3 y deberá tener un mango. La placa de calentamiento se compondrá de dos platinas, una metálica, de bronce, hierro dulce o de acero y la otra de asbesto duro. La platina metálica deberá tener un orificio en el centro y un área de depresión plana alrededor del orificio, a manera de escalón, en la cual se soporta la copa. La platina de asbesto también tendrá un orificio en el centro, pero de diámetro mayor, de tal forma que al colocarla sobre la platina metálica, no cubra el escalón de ésta. En la Figura 2 se muestran las dimensiones esenciales de la placa de calentamiento; sin embargo, puede ser cuadrada en lugar de redonda, y puede tener extensiones adecuadas para montar el dispositivo aplicador de la llama de ensayo y el soporte del termómetro. Como se menciona en el numeral siguiente, puede montarse una

pequeña esfera metálica sobre la placa, de tal manera que sobresalga ligeramente por encima de la platina de asbesto.



	Milímetros		Pulgadas	
	Mínimo	máximo	mínimo	máximo
A O del aplicador	-	5,0	-	0,20
B O den la punta	1,6	5,0	0,06	0,20
C O del orificio	(0,8 aprox)	-	(0,031 aprox)	-
D Radio o vaiven	15,0	-	6	-
E Fondo de la copa hasta la punta del termómetro	(6,4 aprox)	-	(0,25 aprox)	-
F O de la cuneta de comparación opcional	3,8	5,4	0,15	0,21

Figura 1. Aparato Cleveland de copa abierta

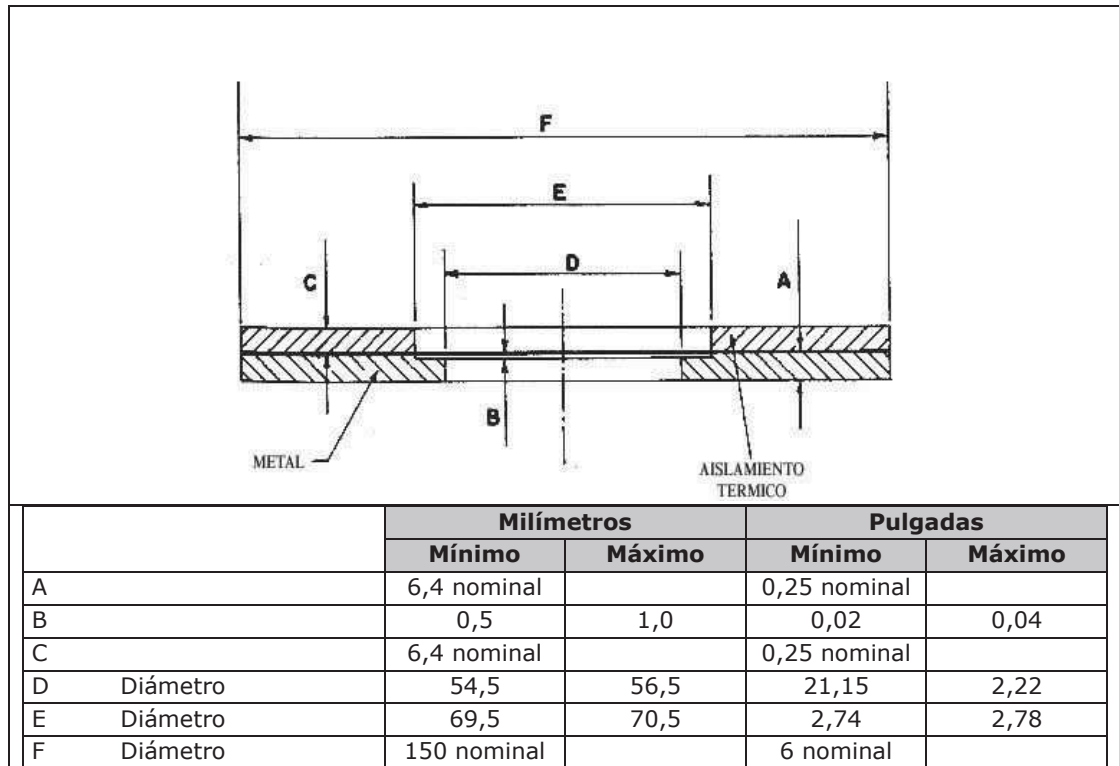


Figura 2. Placa de calentamiento.

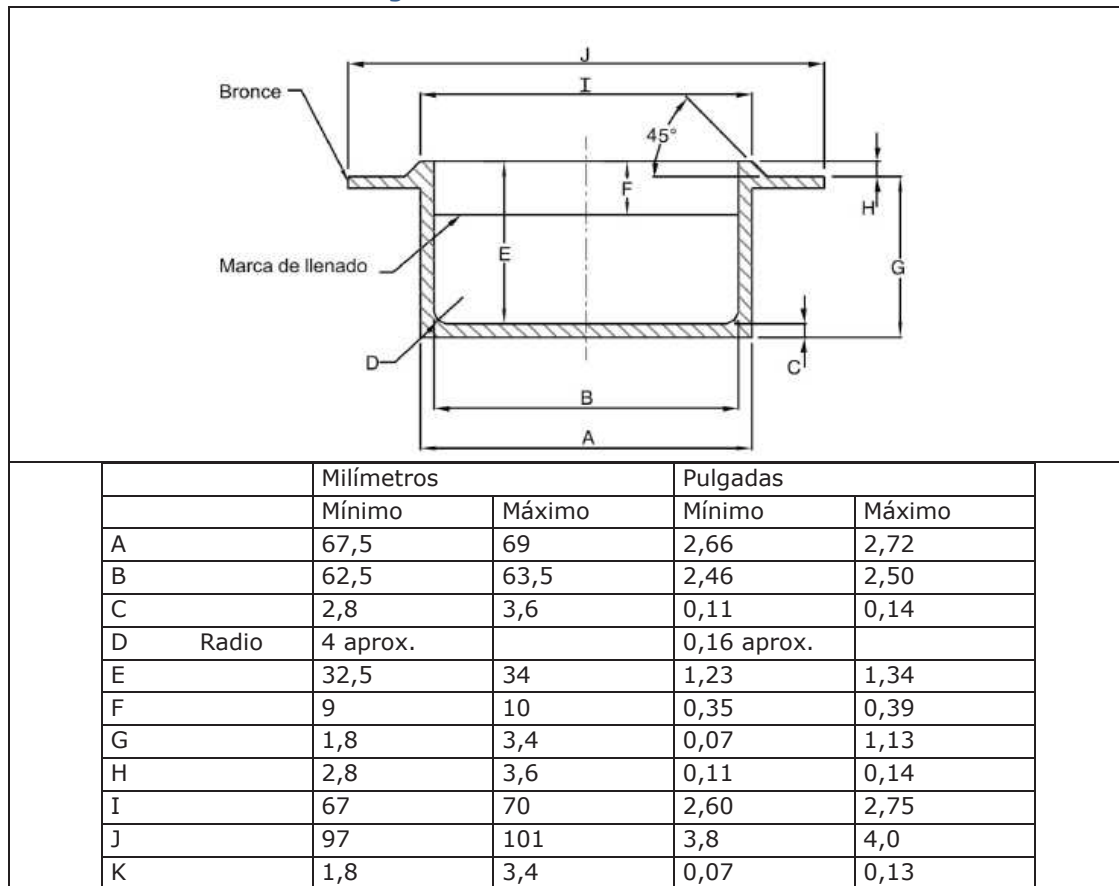


Figura 3. Copa abierta Cleveland.

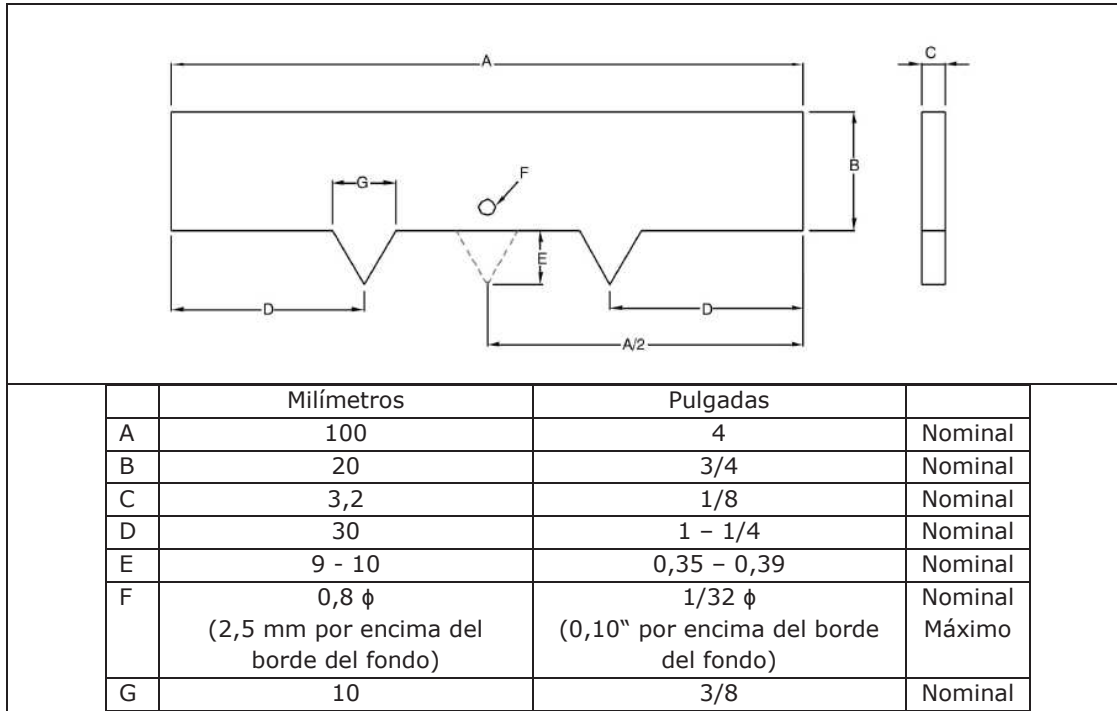


Figura 4. Medidor de nivel hasta donde queda lleno

El aplicador de la llama de ensayo deberá ser de cualquier diseño adecuado, pero la boquilla deberá ser de 1,6 a 5,0 mm de diámetro en el extremo y el orificio deberá tener un diámetro aproximado de 0,8 mm. Deberá estar montado de tal forma que permita la repetición automática del barrido de la llama de ensayo sobre la muestra, el cual puede hacerse girando el orificio de la boquilla en un arco de circunferencia con un radio no menor de 150 mm (6"). El centro del orificio se moverá siempre en un plano horizontal que esté a no más de 2,0 mm a 2,5 mm por encima de la copa. Es conveniente que se monte una pequeña esfera patrón que tenga un diámetro de 3,8 a 5.4 mm en una posición tal que la llama pueda compararse con ésta.

4.1.2 Aparato Automatizado:

El aparato automatizado será capaz de realizar el procedimiento según descrito en el 10, incluyendo el control del ritmo de calefacción, aplicación de la llama de prueba, detección del punto de inflamación, o el punto de combustión, o ambos, y registrando el punto de inflamación o el punto de combustión, o ambos.

4.1.3 Protector. Se recomienda utilizar un protector (caja protectora) con base cuadrada de 460 mm de lado por 610 mm de altura y que tenga un frente abierto.

4.1.4 Termómetro. Un termómetro que tenga los siguientes rangos de temperatura

Rango de Temperatura	Termómetro ASTM IP
-6 a +400° C	11C 28C

Nota 1. Existen probadores automáticos para determinación del punto de ignición cuyo uso puede ser ventajoso, ya que ahorran tiempo y permiten el empleo de muestras más pequeñas. Si se utilizan tales probadores, el usuario debe asegurar que se cumplan todas las instrucciones del fabricante en cuanto a la calibración, ajuste y operación del probador. En casos de disputa, el punto de inflamación determinado manualmente se considera como el de referencia.

4.2 REACTIVOS

- 4.2.1 Solventes de Limpieza- Use un solvente grado técnico adecuado capaz de limpiar el espécimen de prueba hacia fuera de la copa de prueba y secar la copa de prueba. Algunos solventes usados comúnmente son tolueno y acetona.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Productos de petróleo y de otros líquidos con excepción de aceites combustibles y de materiales con puntos de ignición en copa abierta de Cleveland por debajo de 79 °C.

5.2 Precauciones Durante la Preparación de la Muestra

- 5.2.1 Cuando no se tienen precauciones para evitar la volatilización de la muestra, erróneamente se obtienen puntos de ignición altos. No debe abrirse innecesariamente el recipiente donde se guarda la muestra, ni deben hacerse transferencias a menos que la temperatura de la muestra se encuentre bajo 10 °C anteriores al punto de ignición esperado. No deben usarse muestras que se encuentren en recipientes agrietados o permeables.
- 5.2.2 No deben guardarse muestras en recipientes plásticos (polietileno, polipropileno, etc.), pues el material volátil puede escaparse por entre las juntas.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Preparación del Equipo

- 6.1.1 Apóyese el aparato de copa abierta Cleveland sobre una mesa firme, a nivel, en un cuarto o compartimiento, libre de corrientes de aire. Protéjase de la luz fuerte la parte superior del aparato, empleando cualquier medio adecuado para detectar fácilmente el punto de ignición. No son confiables aquellos ensayos efectuados en sitios donde existan corrientes de aire.

Nota 2. Para algunas muestras cuyos vapores o productos de la pirolisis son objetables, es permisible colocar el aparato con un protector en una cámara aislante, cuyo escape debe ser ajustable de tal manera que puedan extraerse los vapores sin que se produzcan corrientes de aire sobre la copa de ensayo durante los últimos 56,0 °C de elevación de la temperatura, antes del punto inflamación.

- 6.1.2 Lávese la copa de ensayo con un disolvente apropiado para remover cualquier aceite, trazas de goma o residuo remanente de algún ensayo previo. Cualquier clase de residuo de carbón deberá removerse con una esponjilla metálica. Lávese ahora la copa con agua fría y séquese por unos pocos minutos sobre una llama abierta o sobre un calentador para remover los últimos restos de solvente y agua. Antes de su empleo, enfríese la copa hasta por lo menos 56 °C por debajo del punto de ignición esperado.
- 6.1.3 Sosténgase el termómetro en una posición vertical, con su extremo inferior a 6,4 mm del fondo de la copa y localizado en un punto medio entre el centro y la pared de la misma, sobre el diámetro perpendicular al arco (o línea) de barrido de la llama de ensayo y del lado opuesto al brazo del aplicador de la misma.

Nota 3. Cuando el termómetro esté en posición, la línea de inmersión grabada en el deberá estar 2 mm por debajo del nivel del borde de la copa.

6.2 Medidas de Seguridad

- 6.2.1 El operador deberá tomar las medidas de seguridad apropiadas durante el ensayo, sobre todo las primeras veces que se aplica la llama de ensayo, pues en tales ocasiones algunas muestras pueden producir llamas anormales.

- 6.3 Llénese la copa a cualquier temperatura (véase Nota 4) que no exceda de 56 °C por encima del punto de ablandamiento de la muestra de tal manera que la parte superior del menisco quede en la línea de llenado. Si se ha vertido demasiada muestra en la copa, remuévase el exceso empleando una pipeta u otro dispositivo apropiado; sin embargo, si hay muestra en

la parte exterior del aparato, vacíese, límpiase y vuélvase a llenar. Desháganse todas las burbujas de aire sobre la superficie de la muestra (Nota 5).

Nota 4. Las muestras viscosas deberán calentarse hasta que sean razonablemente fluidas antes de ser vertidas dentro de la copa. La temperatura durante el calentamiento, para asfaltos sólidos, no debe exceder de 56 °C por encima del punto de ablandamiento esperado. Debe tenerse cuidado especial con los asfaltos líquidos, los cuales deberán calentarse únicamente hasta la temperatura más baja a la cual puedan verterse.

Nota 5. La copa para la muestra deberá llenarse lejos del resto del equipo, el cual debe estar previamente montado, con la copa en su sitio y el nivel de la muestra verificado. Una cuña de 6,4 mm de espesor es útil para obtener la corrección de la distancia entre el extremo inferior del termómetro y el fondo de la copa.

- 6.4 Enciéndase la llama de ensayo y ajústese a un diámetro entre 3,3 y 4,8 mm.
- 6.5 Aplíquese calor inicialmente de tal manera que la tasa de incremento de temperatura de la muestra sea de 10 a 20 °C por minuto. Cuando la temperatura de la muestra sea de aproximadamente 56 °C por debajo del punto de llama esperado, disminúyase el calor de manera que la temperatura se aumente, para los últimos 28 °C antes de llegar al punto de ignición, en 4 a 7 °C por minuto.
- 6.6 Por lo menos a 28 °C bajo el punto de ignición, empíese a aplicar la llama de ensayo, una vez por cada aumento de 2 °C. Pásese la llama de ensayo a través del centro de la copa, en ángulos rectos con el diámetro que pasa a través del termómetro, con un movimiento suave y continuo, bien sea en una línea recta o a lo largo del arco de una circunferencia que tenga un radio de al menos 150 mm. El centro de la llama de prueba debe moverse en un plano horizontal que este a no más de 2,0 mm por encima del plano del borde superior de la copa, pasando primero en una dirección, y la siguiente vez en la dirección opuesta. El tiempo empleado para efectuar barrido de la llama de ensayo a través de la copa deberá ser de alrededor de 1s. Durante los últimos 28 °C de aumento de temperatura antes del punto de ignición, debe evitarse la perturbación de los vapores en la copa de ensayo por movimientos repentinos o por respirar cerca de la copa.
- Nota 6.** Si se formara una costra antes de alcanzar el punto de ignición o de llama, muévasela cuidadosamente hacia el lado con una espátula pequeña o una varilla agitadora y continúese el ensayo.
- 6.7 Regístrese como punto de inflamación, la lectura de temperatura sobre el termómetro cuando aparezca una llama en cualquier punto sobre la superficie. No debe confundirse la llama verdadera con el halo azulado que algunas veces rodea la llama de ensayo.
- 6.8 Para determinar el punto de llama, continúese calentando la muestra de tal manera que la temperatura se aumente a una tasa de 4 a 7°C por minuto. Continúese la aplicación de la llama de ensayo a intervalos de 2 °C hasta que el aceite se encienda y permanezca quemándose por lo menos durante 5 s, regístrese la temperatura en este punto, como el punto de llama.
- 6.9 **Corrección para la Presión Barométrica**
- 6.9.1 Si la presión barométrica real en el momento del ensayo es menor de 715 mm de mercurio, regístrese esta presión y súmese la correspondiente corrección tomada de la siguiente tabla, a los puntos de ignición y de llama determinados.

Presión barométrica (mm)	Corrección °C
715 a 665	2
715 a 635	---
664 a 610	4
635 a 550	---
609 a 550	6

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Corrijanse los puntos de inflamación de llama, o ambos, de acuerdo con el numeral 6.9.1.

7.2 INFORME

7.2.1 Infórmese el punto de inflamación o de llama corregido, o ambos, como el punto de inflamación o de llama mediante la copa abierta Cleveland, o ambos.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

Los siguientes datos deberán emplearse para juzgar la aceptabilidad de resultados (95% de confianza).

8.1.1 Resultados duplicados por el mismo operador deberán considerarse sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

Punto de ignición (°C) 8 °C

Punto de llama (°C) 8 °C

8.1.2 Resultados suministrados por Laboratorios distintos deberán considerarse sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

Punto de ignición (°C) 17 °C

Punto de llama (°C) 28 °C

MTC E 304

PENETRACION DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Este método describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la penetración de los materiales bituminosos sólidos y semisólidos.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Los aparatos y el procedimiento descrito en este método de ensayo son proveídos para la determinación de la penetración hasta de 500.
- 2.2 El ensayo de penetración es empleado como una medida de consistencia. Valores altos de penetración indican una consistencia más suave.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 5: "Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials"

4.0 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Aparato de penetración. Será aceptable cualquier aparato que permite al sostén de la aguja (vástago) moverse verticalmente sin fricción y que sea capaz de indicar la profundidad de penetración al 0,1 mm más cercanos. El peso del vástago deber ser $47,5 \pm 0,05$ g, el peso total de la aguja ensamblada en el vástago debe ser $50,0 \pm 0,05$ g. Pesos de $50,0 \pm 0,05$ g y $100 \pm 0,05$ g deben también mantener la carga total de 100g y 200g requeridos para algunas condiciones de prueba. La superficie en que reposan los recipientes de muestra será llana y el eje del vástago estará aproximadamente en 90° a esta superficie. El aparato tendrá un indicador de nivelación. El vástago se desarmará fácilmente para verificar su peso.

Nota 1. El indicador de nivelación se verificará por lo menos anualmente con un nivel portátil.

- 4.1.2 Aguja de Penetración. Deberá estar hecha de acero inoxidable templado y totalmente endurecido, grado 440-C o igual, HRC 54 a 60. La aguja Standard deberá ser de aproximadamente 50mm (2pulg) de longitud. El diámetro de todas las agujas deberán ser de 1,00 a 1,02mm (0,0394 a 0,0402 pulg). Esta deberá ser disminuida simétricamente de la punta, por molienda hasta tener forma cónica, teniendo un ángulo entre $8,7^\circ$ y $9,7^\circ$ sobre la longitud total del cono. La forma cónica deberá ser coaxial con el cuerpo recto de la aguja. La variación axial total de la intersección entre lo cónico y las superficies rectas no deberá exceder de 0,2mm. El extremo truncado de la parte cónica deberá estar cerca del diámetro límite de 0,14 y 0,16mm y la coordenada del eje de la aguja cerca de 2° . El borde completo de la superficie truncada de la punta debe ser puntiagudo y libre de rebabas. Cuando la textura de la superficie es medida de acuerdo con las normas nacionales americanas B 461 ó ISO 468. La superficie áspera del punto más alto, Ra de la parte cónica disminuida será de 0,2 a 0,3 μ m promedio aritmético. La altura de rugosidad de superficie, Ra del astil de la aguja debe ser de 0,025 a 0,125 μ m. La aguja deber ser montada en un casquillo de metal antioxidante.

El casquillo debe ser $3,2 \pm 0,05$ mm de diámetro y 38 ± 1 mm de longitud.

La longitud expuesta de la aguja Standard debe estar cerca de los límites de 40 a 45mm y la longitud expuesta de la aguja larga será de 50 a 55mm. La aguja debe ser montada rígidamente en el casquillo. El deslizamiento (lectura del indicador total) de la punta de la aguja y cualquier porción de la aguja relativa al eje del casquillo axial no debe exceder de 1mm El peso del casquillo y la aguja ensamblada debe ser de $2,50 \pm 0,05$ g. (Un agujero hecho con taladro en el borde del casquete ó una aplanadura sobre el costado se permiten como manera de controlar el peso). Se harán marcas de identificación individual en el

casquete de cada aguja; las mismas marcas no deben ser repetidas por algún fabricante dentro de un período de 3 años.

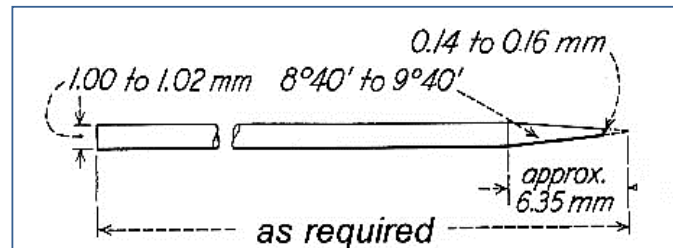


Figura 1: Aguja para prueba de penetración

4.1.3 Recipiente de prueba. cilíndrico, de metal o vidrio con fondo plano. Se usará las dimensiones siguientes:

4.1.3.1 Para penetraciones menores de 200
Diámetro, mm 55
Profundidad interna, mm 35

4.1.3.2 Para penetraciones entre 200 y 350
Diámetro, mm 55 - 75
Profundidad interna, mm 45 - 70

4.1.3.3 Para penetraciones de 350 a 500
Diámetro, mm 55
Profundidad interna, mm 70

4.1.4 Baño de agua. Capaz de mantener una temperatura de $25 \pm 0,1$ °C o cualquiera otra temperatura de prueba dentro de $0,1$ °C. El baño tendrá una placa perforada que estará colocada a una distancia por debajo del líquido del baño. Si las pruebas de penetración son hechas en el propio baño, se requerirá un estante adicional para apoyar bien el Penetrómetro. El agua con sal puede usarse en el baño para las determinaciones a temperaturas bajas.

Nota 2. Se recomienda el uso de agua destilada para el baño. Se debe tener cuidado para evitar la contaminación del agua del baño por los agentes activos u otros químicos; porque su presencia puede afectar los valores de penetración obtenidos.

4.1.5 Plato de Transferencia. Cuando se use el plato de transferencia tendrá una capacidad de por lo menos 350 mL y de profundidad suficiente para que el agua cubra la superficie del recipiente de la muestra. Se proporcionará algunos medios para obtener una posición firme y prevenir el movimiento del recipiente. Un parante de tres patas con tres puntos de contacto para el recipiente de la muestra es una manera conveniente de asegurar esto.

4.1.6 Dispositivo de tiempo. Para penetrómetros de operación manual cualquier dispositivo medidor de tiempo, tal como cronómetro eléctrico, un reloj de detención u otro dispositivo puede usarse con tal de que este graduado en $0,1$ s o menos y con exactitud de $\pm 0,1$ s para intervalos de 60 s. También puede usarse un contómetro de segundos audible, regulado para obtener un golpe cada $0,5$ s. El tiempo para el intervalo de cuenta debe ser $5 \pm 0,1$ s. Cualquier dispositivo automático elegido conectado a un Penetrómetro debe calibrarse para proporcionar el intervalo de prueba deseado con precisión de $\pm 0,1$ s.

4.1.7 Termómetros. de líquido en vidrio. Termómetros calibrados con rango y subdivisiones convenientes y error máximo de $0,1^{\circ}$ C, o cualquier otro dispositivo termométrico de precisión y sensibilidad igual se usará. Los termómetros deben de cumplir con los requerimientos de la especificación E1 o la especificación E 2251. Otro dispositivo termométrico deberá cumplir con los requerimientos de la especificación E 1137. Los termómetros usados para el baño de agua deberán ser calibrados periódicamente de acuerdo

con el método E-77. Un dispositivo termométrico alternativo se calibrará periódicamente de acuerdo con la especificación E 1137.

TERMINOLOGIA

Penetración.- Consistencia de un material bituminoso expresado como la distancia en décimas de milímetro que una aguja estándar penetra verticalmente una muestra del material bajo condiciones conocidas de carga, tiempo y temperatura.

5.0 MUESTRA

5.1 Preparación de los Especímenes de Prueba. Se tomarán las precauciones necesarias para que la muestra del ensayo sea verdaderamente representativa, de aspecto homogéneo y sin contaminación. De la muestra de laboratorio, se separarán con una espátula caliente unos 400 a 500 g de material que se colocarán en un recipiente, que se calienta cuidadosamente agitándolo para evitar sobrecalentamientos locales y para homogeneizar el material, hasta que alcance la fluidez que permita su vertido en los moldes para las probetas.

5.2 En ningún caso la temperatura debe elevarse a más de 60 °C sobre su punto de ablandamiento esperado para la brea de acuerdo con el método de ensayo MTC E 307, ó a más de 90 °C sobre éste, para el asfalto de petróleo (bitumen). No calentar la muestra por más de 60 minutos. Remover la muestra hasta asegurar que sea homogénea. Evite incorporar burbujas a la muestra. Verter la muestra en el recipiente a una profundidad tal que, cuando se enfríe a la temperatura de prueba, la profundidad de la muestra sea por lo menos 120% de la profundidad a la que la aguja se espere penetre. Vierta porciones separadas para cada variación en las condiciones de la prueba. Si el recipiente de la muestra es menor de 65 mm de diámetro y la penetración esperada es mayor que 200, vierta cuatro porciones separadas para cada variación en las condiciones de la prueba.

Nota 3. Si el material es suficiente se recomienda llenar el recipiente de la muestra cerca al borde.

Dejar enfriar al aire a una temperatura entre 15 y 30 °C por 1 a 1,5 horas para el recipiente pequeño (55×35mm) y de 1,5 a 2 horas para recipientes mas grandes. Luego ponga las muestras juntas con el plato de transferencia, si es que lo emplea, en el baño de agua mantenido a la temperatura indicada de ensayo. Permita que el recipiente pequeño (55×35mm) permanezca por 1 a 1,5 horas y el recipiente más grande por 1,5 a 2,0 horas.

Nota 4. Si las condiciones lo garantizan, es apropiado cubrir ligeramente cada recipiente como una protección contra el polvo. Una manera conveniente de hacer esto es cubriéndolos con un vaso.

5.3 Condiciones de la prueba.- Cuando las condiciones de la prueba no están descritas específicamente se sobreentiende que la temperatura, carga y tiempo son 25°C (77 °F), 100g y 5s respectivamente. Otras condiciones pueden usarse para pruebas especiales, como las siguientes:

Temperatura, °C	Carga, g	Tiempo, s
0	200	60
4	200	60
45	50	5
46,1	50	5

En tales casos se reportarán las condiciones específicas de las pruebas.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Examine el sujetador de la aguja y guía para establecer la ausencia de agua u otro material extraño. Si se espera que la penetración exceda 350 usar una aguja larga, de lo contrario una aguja corta. Limpie la aguja de penetración con tolueno u otro solvente conveniente,

seque con una tela limpia e inserte la aguja de penetración en el Penetrómetro. Salvo que se especifique de otra manea colocar el peso de 50g haciendo la carga movable de $100 \pm 0,1g$.

- 6.2 Si la prueba es hecha con el Penetrómetro en el baño, ponga el recipiente de la muestra directamente en el parante sumergido del Penetrómetro, mantenga el contenedor de la muestra completamente cubierto con agua en el baño. Si la prueba es hecha en el Penetrómetro fuera del baño, ponga el recipiente de la muestra en el plato de transferencia, cubra el contenedor completamente con agua del baño y coloque el plato de transferencia sobre el parante del Penetrómetro.
- 6.3 Usando el indicador de nivel, asegure que el aparato está nivelado.
- 6.4 Anote la lectura del dial del penetrómetro ó lleve el punto a cero. Posicione la aguja lentamente bajándola hasta que la punta roce con la superficie de la muestra. Esto se logra trayendo la punta de la aguja real al contacto con su imagen reflejada en la superficie de la muestra con una fuente de luz colocada adecuadamente. Rápidamente suelte al poseedor de la aguja para el período especificado de tiempo y ajuste el instrumento para medir la distancia penetrada en décimas de milímetro. Si el recipiente se mueve, ignore el resultado.
- 6.5 Haga por lo menos tres determinaciones en puntos de la superficie de la muestra, a no menos de 10 mm del borde del recipiente y no menos de 10 mm separadamente entre ellos. Si el plato de transferencia se usa, devuelva la muestra y transfiera el plato al baño de temperatura constante entre las determinaciones. Use una aguja limpia para cada determinación. Si la penetración es mayor que 200, use tres agujas dejándolas en la muestra hasta que las tres determinaciones hayan sido completadas. Si el recipiente de la muestra es menor que 65 mm de diámetro y la penetración esperada es mayor que 200, haga una penetración en cada uno de los tres recipientes separados y preparados según sección 7.2

Nota 5 - Con un recipiente de 55mm y una muestra con la penetración esperada mayor que 200, no es a menudo posible posicionar el sujetador de la aguja para una tercera determinación sin golpear el lugar de las otras dos agujas. Para ensayos de rutina es aceptable usar un solo recipiente para todas las tres penetraciones de la aguja, moviendo las primeras dos agujas cuando sea necesario, con tal de que la diferencia entre los valores de penetración más altos y más bajos no excedan los valores especificados en sección 4.1.2

7.0 CALCULOS E INFORME

Calcular el promedio de las tres penetraciones ejecutadas sobre la muestra de ensayo.

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcular el promedio de las tres penetraciones ejecutadas sobre la muestra de ensayo.

7.2 INFORME

Reporte a la unidad entera más cercana el promedio de tres penetraciones cuyos valores no difieran por más de lo siguiente:

Penetración	0 a 49	50 a 149	150 a 249	250 a 500
Máxima diferencia entre la penetración más alta y la más baja.	2	4	12	20

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

Para juzgar la aceptabilidad de los resultados, se seguirán los siguientes criterios (95% de probabilidad):

8.1.1 Repetibilidad. Los ensayos por duplicado por un mismo operador y equipo en tiempos diferentes y sobre una misma muestra, se considerarán dudosos si difieren en más de las siguientes cantidades (ensayos a 25 °C):

Material asfáltico Ensayo a 25 °C	Diferencia
Asfalto con penetración menor de 50	1 unidad
Asfalto con penetración igual o mayor de 50	3% del valor medio

8.1.2 Reproducibilidad. Los ensayos realizados por distintos operadores en diferentes laboratorios y sobre una misma muestra, se considerarán dudosos si difieren en más de las siguientes cantidades (ensayos a 25 °C).

Asfalto con penetración menor de 50 4 unidades

Asfalto con penetración igual o mayor de 50 8% del valor medio

Los valores de precisión indicados anteriormente, se han obtenido multiplicando los estimativos de las desviaciones típicas de las poblaciones que se indican a continuación, por $2\sqrt{2}$.

Los estimativos de precisión anteriores están basados en los siguientes datos:

Material asfáltico Ensayos a 25 °C	Estimación de la desviación típica	
	En un laboratorio	Entre laboratorios
Asfalto con penetración menor de 50	0,35 unidades	1,4 unidades
Asfalto con penetración igual o mayor de 50	1,1 % del valor medio	2,8 % del valor medio

	Asfaltos de Penet. < 50	Asfaltos de Penet. ≥ 50
Muestras	2	7
Laboratorios	16	27
Repeticiones por muestra	3	3
Grados de libertad dentro del laboratorio	32	185
Entre laboratorios	14	89

DISPERSION

Este método de prueba no tiene dispersión porque los valores determinados son definidos únicamente en términos del método de ensayo.

MTC E 305**FLOTACION PARA MATERIALES BITUMINOSOS (FLOAT TEST)****1.0 OBJETO**

1.1 Determinar la consistencia de los ligantes semi-líquidos.

1.1 FINALIDAD Y ALCANCE

2.1 El ensayo de flotación caracteriza el comportamiento de flujo ó consistencia de ciertos materiales bituminosos.

2.2 Este método de ensayo es útil para determinar la consistencia del bitumen como un elemento para establecer la uniformidad de ciertos embarques ó fuentes de abastecimiento.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

3.1 ASTM D 139: "Standard Test Method for Float Test for Bituminous Materials".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS**4.1 EQUIPOS**

4.1.1 Flotador. Deberá estar confeccionado de aluminio o aleación de aluminio y estar de acuerdo con los siguientes requerimientos:

	min	normal	máx
Peso del flotador (g)	37,70	37,90	38,10
Altura total (mm)	34,0	35,0	36,0
Altura del borde sobre la parte inferior del reborde (mm)	26,5	27,0	27,5
Espesor del reborde (mm)	1,3	1,4	1,5
Diámetro de la abertura (mm)	11,0	11,1	11,2

4.1.2 Cuello (reborde). Estará confeccionado de latón de acuerdo a los siguientes requerimientos:

	min	normal	máx
Peso del collar (g)	9,60	9,80	10,00
Altura total (mm)	22,30	22,50	22,70
Diámetro interior (fondo) (mm)	12,72	12,82	12,92
Diámetro interior (superior) (mm)	9,65	9,70	9,75

La tapa del cuello o collar deberá entornillar ajustadamente sobre la parte inferior del reborde.

4.1.3 Calibración de la unión. La unión del flotador con el collar, con el collar lleno de agua con el fondo y con un peso total de 53,2 g deberá flotar sobre agua con el borde a: $8,5 \pm 1,5$ mm sobre la superficie del agua. Este ajuste del peso total de la unión es solo con el propósito de calibrar la profundidad de inmersión en el baño de ensayo.

4.1.4 Termómetro. Un termómetro ASTM de Bajo punto de Ablandamiento graduado tanto en grados Celsius o Fahrenheit como se especifica, y con un rango de -2 a $+80^{\circ}\text{C}$ conforme a los requerimientos para termómetros 15C tal como prescriben las Especificaciones del ASTM E 1.

4.1.5 Baño de Agua. Un baño de agua con un diámetro interno mínimo de 185 mm y conteniendo agua al menos en una profundidad 185 mm, ó un baño rectangular con dimensiones mínimas de 150 mm de ancho por 300 mm de longitud y conteniendo agua al menos en 110 mm de su profundidad, la altura de la superficie del contenedor por encima del agua será por lo menos de 40 mm. El baño será calentado por medio de gas, electricidad ú otros medios

adecuados. Un parante ú otro apoyo adecuado será capaz de sostener el termómetro en la posición adecuada en el baño durante el ensayo.

- 4.1.6 Baño de Agua.- a 5°C Un baño de agua de dimensiones adecuadas mantenido a temperatura de $5,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$, el cual podrá estar acondicionado por medio de hielo fundido (derretido).
- 4.1.7 Plato de Latón para vertido.- Un plato de latón pulido aproximadamente de 75 por 50 mm el cual ha debido ser tratado para prevenir que el material bituminoso se adhiera a él. Un tratamiento adecuado es cubrir el plato antes de su uso con una capa delgada de una mezcla de glicerina y dextrin, talco ó kaolin (arcilla china). Otros platos ó cubrimientos ó ambos pueden ser empleados, siempre y cuando se haya probado que se obtienen resultados similares.

5.0 MUESTRA

- 5.1 La muestra deberá estar completamente derretida, a la temperatura más baja posible que lo llevara a una condición suficientemente fluida para un fácil vertido, exceptuando a los residuos de creosota – aceite, los cuales deberán ser mezclados y fluidificados a temperaturas de 100 a 125°C. Agitar la mezcla completamente hasta conseguir su homogeneidad y mantenerla libre de burbujas de aire

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Precauciones previas, Se debe tener cuidado de asegurarse que el collar encaje firmemente dentro del flotador y ver que no hay películas de agua entre el collar y el flotador durante el ensayo.
- 6.2 Colocar el collar de latón con el extremo mas estrecho sobre el plato de latón recubierto.
- 6.3 Luego viértase la muestra dentro del collar en cualquier forma conveniente hasta ligeramente más que el nivel del borde.
- 6.4 Asfaltos Emulsionados. Ensayar el residuo de destilación de acuerdo a la sección 96.1 del ensayo de flotación ASTM D 244. La temperatura de vertido para los residuos de emulsión de alta flotación pueden ser críticos. Si una muestra de residuo de alta flotación falla o aparenta haber sido vertida a una temperatura más fría que la especificada; la temperatura de vertido especificada será confirmada en una muestra de referencia mediante un instrumento y sonda de termocupla de 30. Colocar la sonda de la termocupla en el centro superior del collar desde la parte superior. Registrar la máxima temperatura medida mientras que el residuo está siendo vertido en el collar. Llenar el collar más del nivel del tope, y rápidamente retire la termocupla.
- 6.5 Las muestras, cuya lectura de temperatura mínima de 218°C, no fue obtenida no se ensayarán por flotación.
- 6.6 Asfalto y Productos Asfálticos. Enfríe los asfaltos y los productos asfálticos a temperatura ambiente durante 15 a 60 min, luego colóquelos durante 5 min en el baño de agua a 5°C. Después limpie el material excedente que se encuentra adherido al reborde del collar por medio de una espátula o de un cuchillo de acero que haya sido ligeramente calentado. Luego coloque el collar y el plato en un baño de agua a 5°C y manténgalo en el baño por no menos de 15 min y no más de 30 min.
- 6.7 Productos alquitranados. Sumerja inmediatamente los productos alquitranados por 5 min en el baño de agua a 5°C, luego de lo cual elimine el material excedente del borde del collar por medio de una espátula o cuchillo de acero ligeramente calentado. Luego coloque el collar y el plato con el baño de agua a 5°C y manténgalo allí por no menos de 15 min y no más de 30 min.
- 6.8 Caliente el agua en el baño de ensayo a la temperatura al cual se realiza el ensayo. Esta temperatura deberá ser mantenida cuidadosamente sin cambios variables, no deberá permitirse a través de todo el ensayo que la temperatura varíe más de 0.5°C de la temperatura especificada. Dicha temperatura deberá ser determinada mediante la inmersión

- del termómetro con el fondo del bulbo a una profundidad de 40 ± 2 mm bajo la superficie del agua.
- 6.9 Luego que el material a ser ensayado ha sido mantenido en el baño de agua a 5°C por no menos de 15 y no más de 30 min traslade el collar con su contenido del plato e introdúzcalo dentro del flotador de aluminio. Sumerja completamente la unión por un minuto en el baño de agua a 5°C . Luego elimine el agua que se encuentra dentro del flotador e inmediatamente ponga a circular la unión en el baño de ensayo. Se permitirá el ladeo de la unión pero no debe impartírsele un impulso rotatorio intencionalmente. Mientras la pasta del material se entibia y fluidifica éste es forzado hacia fuera del collar hasta que el agua logra penetrar dentro del platillo obligándolo a hundirse.
- 6.10 El tiempo, en segundos, entre la colocación del aparato en el agua y la impulsión del agua a través del material se determinará por medio de un cronometro y podrá ser tomado como una medida de la consistencia del material que es examinado.

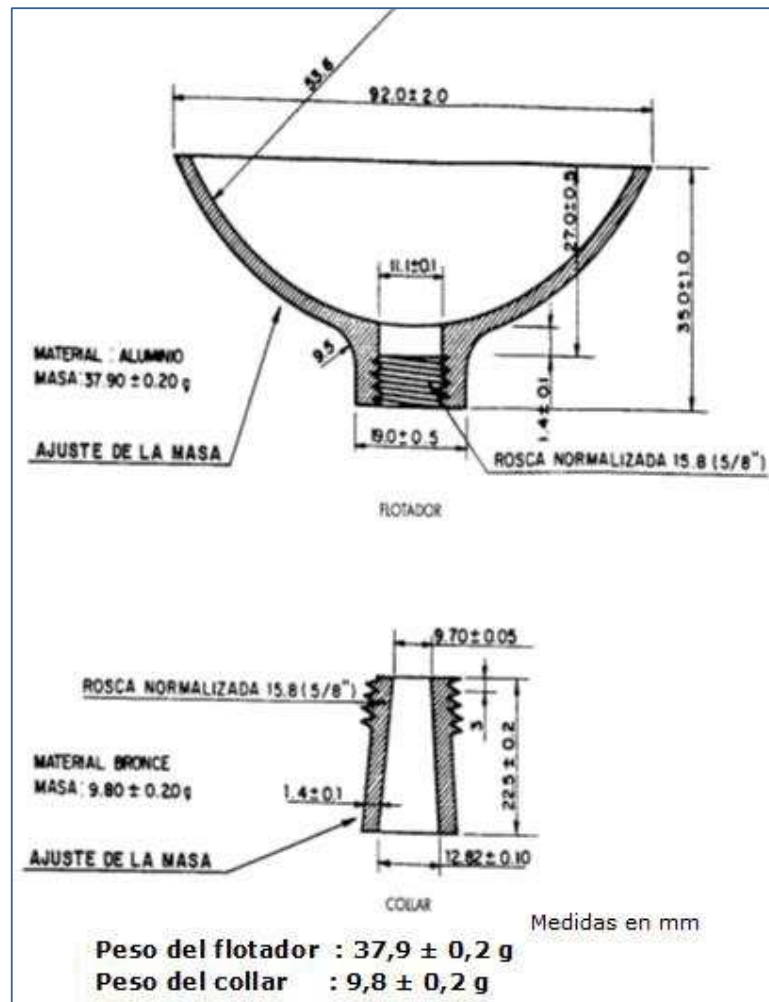


Figura 1. Esquema del Aparato

MTC E 306**DUCTILIDAD DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS****1.0 OBJETO**

1.1 Método de ensayo para determinar la ductilidad de los materiales asfálticos, de consistencia sólida y semisólida.

1.2 FINALIDAD Y ALCANCE

2.1 Consiste en someter una probeta del material asfáltico a un ensayo de tracción, en condiciones determinadas de velocidad y temperatura, en un baño de agua de igual densidad, siendo la ductilidad la distancia máxima en cm, que se estira la probeta hasta el instante de la rotura.

2.2 A menos que se especifique lo contrario, la prueba se hará a una temperatura de $25 \pm 0,5$ °C y con una velocidad de 5cm/min $\pm 5,0$ %. A otras temperaturas la velocidad debe especificarse.

2.3 La Ductilidad de un material bituminoso se mide por la distancia a la cual se alargará antes de romperse cuando dos extremos de un espécimen del material, de la forma descrita en la sección 5, son separados a una velocidad y temperatura específicas.

2.4 Este método de ensayo proporciona una medida de las propiedades de tensión de materiales bituminosos y puede ser usada para medir la ductilidad para requisitos de especificaciones.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

3.1 ASTM D 113-99: "Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 Molde – El molde debe ser similar a lo mostrado en la figura 1. El Molde debe ser hecho de bronce, los extremos b y b' son conocidos como sujetadores, y las partes a y a' como lados del molde. Las dimensiones del molde ensamblado serán como lo muestra la figura 1 con las variaciones permisibles indicadas.

4.2 Placa.- Para el llenado de los moldes, se dispondrá de una placa de bronce plana, provista de un tornillo lateral de sujeción y con la forma y dimensiones que se detallan en la Figura 1.

4.3 Baño de agua.- Un baño de agua que pueda mantener la temperatura de ensayo con una variación máxima de $0,1^{\circ}$ C. Su volumen no será inferior a 10 litros y estará equipado con una placa perforada para la colocación de los especímenes, situada a una distancia mínima de 50 mm del fondo y 100 mm de la superficie.

4.4 Ductilómetro. El aparato se denomina ductilómetro y en esencia, consta de un tanque de agua en el que se sumergen los especímenes, provisto de un mecanismo de arrastre que no produzca vibraciones, capaz de separar a la velocidad especificada un extremo de la probeta del otro, que permanece fijo. La tolerancia máxima admitida en la velocidad especificada será del 5%.

4.5 Termómetro – Un termómetro que tenga un rango como lo mostrado abajo y conforme a los requisitos preescritos en la Especificación E1 (Nota 1).

Rango de temperatura	Termómetro ASTM N°
- 8 a 32 °C	63C

Nota 1. En caso donde los especímenes de ductilidad son envejecidos en el baño de penetración Standard a 25°C, el termómetro preescrito para el método de ensayo ASTM D 5, puede sustituirse en lugar del anterior.

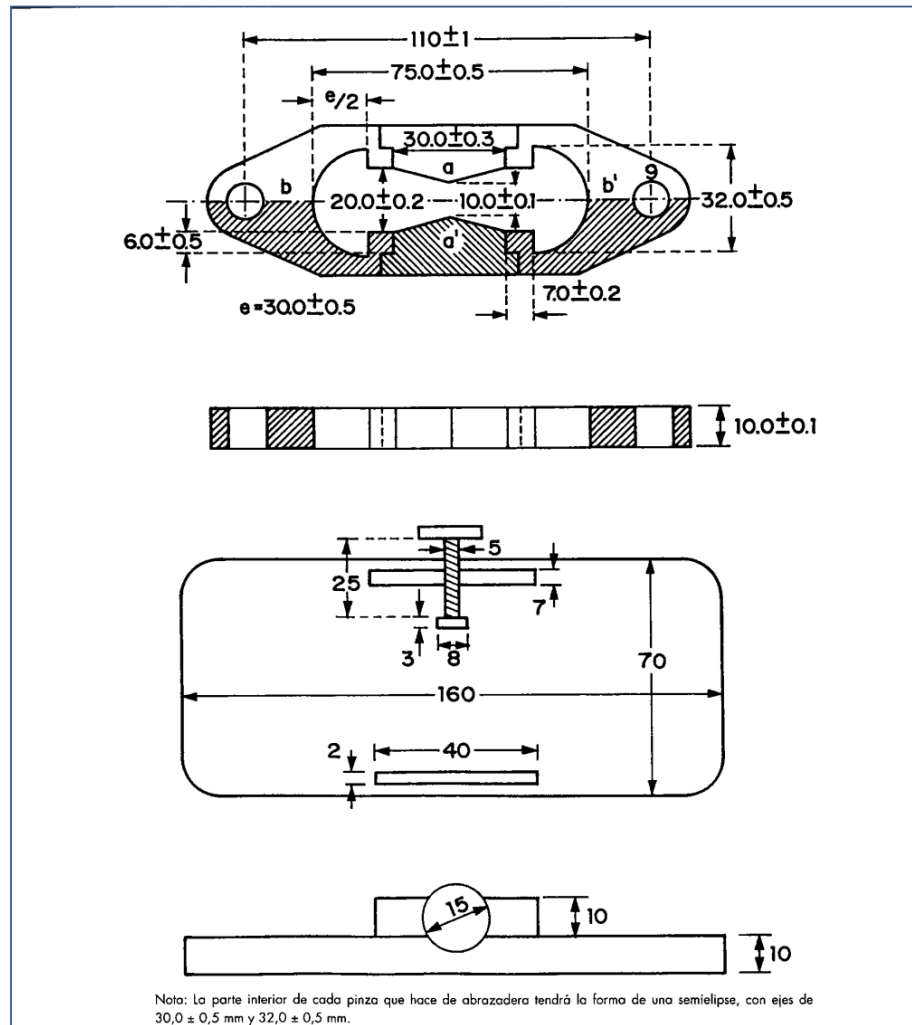


Figura 1. Molde y placa para ductilómetro

5.0 PROCEDIMIENTO

- 5.1 Ensamble el molde en la placa de bronce. Cubra completamente la superficie de la plancha y superficies interiores de los lados a y a', Figura 1, del molde con una capa delgada de una mezcla de glicerina y dextrin, talco o caolín (arcilla de loza) para impedir que el material bajo la prueba se adhiera. La plancha en la que se pondrá el molde será absolutamente llana y nivelado para que la superficie del fondo del molde este en contacto. Calentar cuidadosamente la muestra previniendo el sobrecalentamiento local hasta que se haya puesto suficientemente fluido para verter. Colar la muestra derretida a través de un tamiz de 300 μ m conforme a lo especificado en E11. Después de un agitado continuo, vacíe dentro del molde. Llenando el molde, tenga cuidado de no desarreglar las partes y por lo tanto no deformar el bloque. En el llenado, vierta el material en un ligero torrente atrás y delante de extremo a extremo del molde hasta rebalsar el molde. Dejar el molde, conteniendo el material a una temperatura ambiente por un periodo entre 30 a 40 minutos y luego ponerlo en el baño de agua manteniéndolo a una temperatura de prueba especificada por 30 minutos; entonces eliminar el exceso de bitumen con un emparejador o espátula justo al ras del molde.
- 5.2 Manteniendo el espécimen a temperatura normal – Colocar la plancha de bronce y el molde, con el espécimen, en el baño de agua y mantener a temperatura especificada por un periodo de 85 a 95 minutos. Luego quite la briqueta de la plancha, separe los trozos laterales, e inmediatamente ensaye la briqueta.

- 5.3 Prueba – Ajuste los anillos de cada extremo de los sujetadores a los broches de la máquina de prueba y estire los dos sujetadores separadamente a una velocidad uniforme como lo especificado hasta la ruptura de la briqueta. Una variación de $\pm 5\%$ de la velocidad especificada será permisible. Mida la distancia en centímetros a través de la cual se han estirado los sujetadores produciendo la ruptura. Mientras la prueba se realiza, el agua del tanque de la máquina de prueba cubrirá el espécimen por arriba y abajo por lo menos 2,5 cm. y deberá estar protegido continuamente a temperatura especificada dentro de los 0,5°C.
- 5.4 Si el material bituminoso entra en contacto con la superficie del agua o el fondo del baño, la prueba no será considerada normal. Ajustar la gravedad específica del baño con la adición de alcohol etílico o cloruro de sodio para que el material bituminoso no llegue a la superficie del agua o no toque el fondo del baño en cualquier instante durante la prueba.

6.0 CALCULOS E INFORME

6.1 CALCULOS

- 6.1.1 La distancia en cm que se han separado desde su posición inicial hasta que se produce la rotura en un ensayo normal, es del valor de la ductilidad de una probeta.
- 6.1.2 Calcular el promedio de tres pruebas normales.
- 6.1.3 Una prueba normal es una en la cual el material entre los dos sujetadores se estiran a un punto de hebra hasta que ocurra la ruptura al punto donde la hebra no tenga prácticamente ninguna área transversal.
- 6.1.4 Si el material bituminoso entra en contacto con la superficie del agua o el fondo del baño, la prueba no será considerada normal. Ajustar la gravedad específica del baño con la adición de alcohol etílico o cloruro de sodio para que el material bituminoso no llegue a la superficie del agua o no toque el fondo del baño en cualquier instante durante la prueba.

6.2 INFORME

- 6.2.1 Reportar el promedio de tres pruebas normales como la ductilidad de la muestra, especificando las condiciones de velocidad y temperatura a las que se haya realizado el ensayo
- 6.2.2 Si no puede conseguirse que un ensayo se desarrolle en las condiciones normales, se informará que la ductilidad no se puede realizar en esas condiciones.

7.0 PRECISION Y DISPERSION

- 7.1 El criterio para considerar la aprobación del resultado de ensayo de Ductilidad a 25°C, obtenidos por este método de prueba se muestran en la Figura 2.

Nota 2: La precisión certera para la ductilidad, tal como se muestra en la figura 2, es en base a pruebas realizadas en cementos asfálticos. La precisión de pruebas en residuos, como los obtenidos por métodos de ensayos MTC E 315 y MTC E 316, no se ha establecido.

Nota 3: Los números ploteados en la Figura 2 representan los límites (1S) y (D2S) para la precisión de un solo operador y precisión multilaboratorio como lo descrito en C 670.

Nota 4: No hay datos suficientes para definir propiamente la precisión a los 15,6°C. Sin embargo, el análisis de datos resultantes en ensayos por 13 laboratorios en un asfalto para el resultado promedio de ensayo de ductilidad que fue de 45 cm. muestra una precisión en multilaboratorios (D2S) de 23 cm.

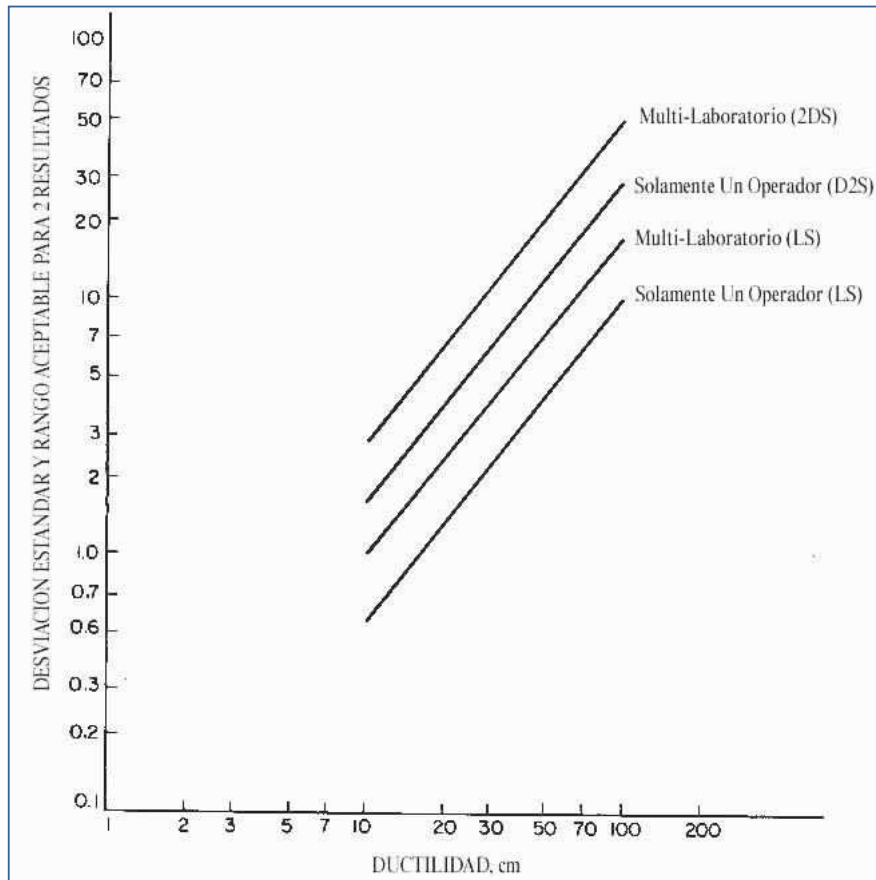


Figura 2. Precisión de los datos

MTC E 307**PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS (ANILLO Y BOLA)****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar el punto de ablandamiento de productos bituminosos en el intervalo de 30 a 157 °C, utilizando el aparato de anillo y bola, sumergido en agua destilada (30 a 80 °C), glicerina USP (encima de 80 a 157 °C), o glicol etileno (30 a 110°C).

1.1 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Los productos bituminosos son materiales viscoelásticos y no cambian del estado sólido al estado líquido a una temperatura definida, sino que gradualmente se tornan más blandos y menos viscosos cuando la temperatura va en aumento. Por esta razón, el punto de ablandamiento debe determinarse por medio de un método arbitrario fijo pero definido, que produzca resultados reproducibles y comparables.
- 2.3 El punto de ablandamiento es útil para clasificar productos bituminosos y es un valor índice de la tendencia del material a fluir cuando está sometido a temperaturas elevadas, durante su vida de servicio. También puede servir para establecer la uniformidad de los embarques o fuentes de abastecimiento

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 36: "Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring and Ball Apparatus)"
- 3.2 AASHTO T-53: "Standard Method of Test for Softening Point of Bitumen (Ring and Ball Apparatus)"

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Anillos de bronce, de bordes cuadrados, conforme con las dimensiones mostradas en la Figura 1.
- 4.1.2 Platos de base, hechos de material no absorbente, con espesor suficiente para prevenir la deformación y de tamaño adecuado para mantener dos o más anillos. Los platos serán planos.
- 4.1.3 Bolas de acero, Dos de 9,5 mm de diámetro (3/8"), pesando cada una $3,5 \pm 0,05$ g.
- 4.1.4 Guías de contacto de las bolas, Dos guías de bronce para centrar las bolas de acero, una para cada anillo, con la forma, apariencia y dimensiones de la Figura 1b.

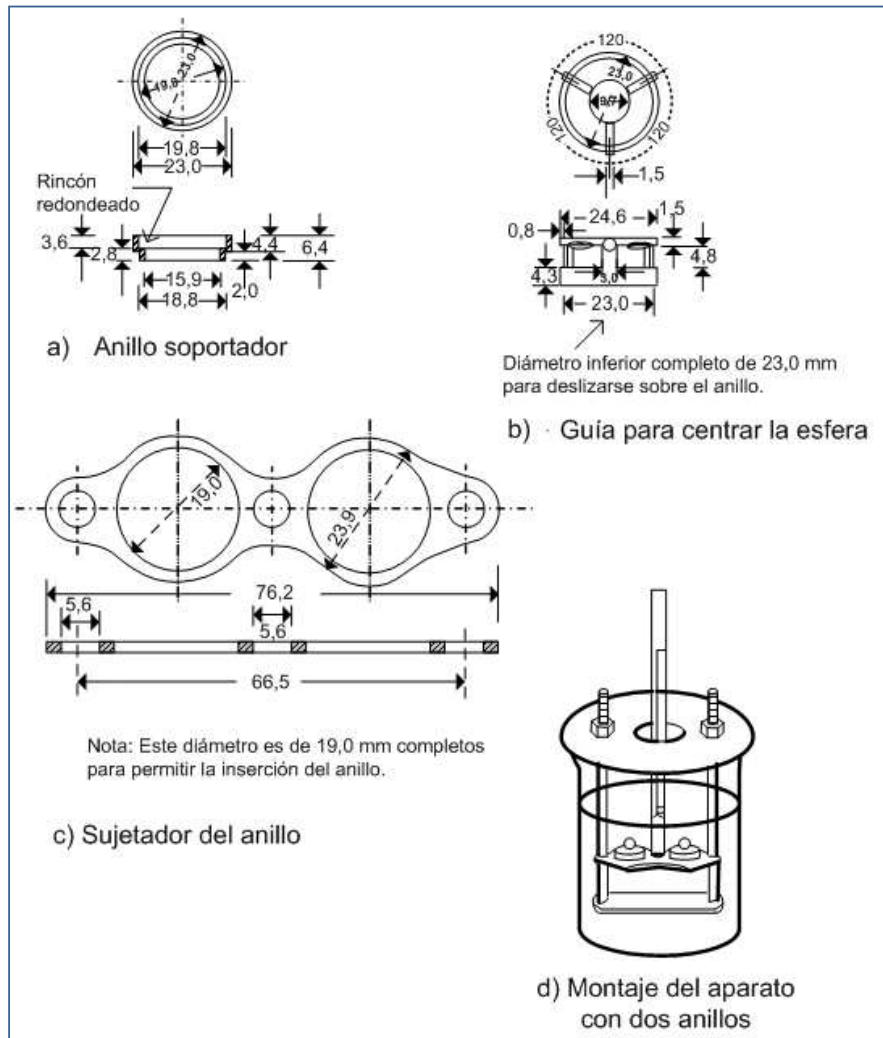


Figura 1. Anillo soportador sujetador de anillo bola para centrar esfera y montaje que muestra dos anillos del aparato

- 4.1.5 Baño, recipiente de vidrio que se pueda calentar, con un diámetro interno no menor de 85 mm, y altura entre la base y el borde de 120 mm como mínimo, con capacidad de 800 mL.
- 4.1.6 Soporte de anillos y montaje completo: un soporte de bronce diseñado, para sostener los anillos en posición horizontal con la forma y dimensiones mostradas en la Figura 1c.
- 4.1.7 El montaje completo está indicado en la Figura 1d, con la base de los anillos colocada $25 \pm 0,8$ mm ($1 \pm 0,03$ ") por encima de la superficie superior del plato de base. La superficie inferior de este último deberá estar 16 ± 3 mm ($5/8 \pm 1/8$ ") por encima del fondo del baño.
- 4.1.8 Termómetros: serán de tres tipos, con las características definidas en Ia Especificación ASTM E1:

Termómetro	Intervalo de temperaturas
15 C	-2 a + 80 °C
16 C	30 a 200 °C

El termómetro adecuado se colocará en el montaje como se indica en Ia Figura 1, cuidando que el extremo del bulbo esté a nivel con el fondo de los anillos y dentro de los 13 mm (0,5")

alrededor de ellos, pero sin tocar los anillos ni el soporte. La sustitución de otros termómetros no será permitida

4.2 REACTIVOS

- 4.2.1 Agua destilada recién hervida, para evitar la formación de burbujas sobre la superficie del espécimen.
- 4.2.2 Glicerina USP; se debe tener mucho cuidado porque su punto de ignición es de 160 °C (320 °F), según el método de ensayo ASTM D 92.
- 4.2.3 Glicol etileno, con punto de ebullición entre 195 y 197 °C.

Deben tomarse precauciones porque esta sustancia es tóxica cuando se ingiere o sus vapores son inhalados. Su contacto prolongado con la piel es dañino. Su punto de inflamación es de 115°C. Cuando se usa este líquido en el baño, el ensayo deberá efectuarse en un laboratorio ventilado y con campana extractora de vapores, con capacidad para asegurar la remoción de los gases tóxicos.

- 4.2.4 Agentes aislantes: consisten en aceites o grasas con siliconas que se usan para evitar la adherencia del producto bituminoso sobre el plato de base, cuando se hacen los discos. Se coloca en una ligera capa sobre la superficie que se quiere proteger. También se pueden usar mezclas de glicerina con talco, dextrin o arcilla china. Cuando se usen siliconas, se debe evitar la contaminación de otros elementos del equipo de ensayo, pues puede producir errores en las determinaciones de penetración o punto de ignición. En estos casos, se deben emplear guantes desechables de caucho.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Preparación de Especímenes.- Antes de iniciar labores debe verificarse que todo haya sido planeado (equipos, materiales, etc.) para terminar el ensayo dentro de 6 horas. Caliéntese la muestra de material bituminoso en forma cuidadosa, agitándola frecuentemente para evitar sobrecalentamientos localizados, hasta asegurar que esté suficientemente fluida para poderla verter. Al agitarse, deberá evitarse la formación de burbujas.
 - 5.1.1 El calentamiento de la muestra no debe tomar más de 2 horas; y, en ningún caso, la temperatura será mayor que 110 °C por encima del punto de ablandamiento esperado. Si el ensayo debe repetirse, no se recalentará la muestra sino que deberá utilizarse una muestra fresca.
 - 5.1.2 Caliéntense los dos anillos de bronce sin el plato de base, aproximadamente a la misma temperatura del producto asfáltico, y colóquense sobre el plato de base, tratado con un agente aislante.
 - 5.1.3 Viértase, con un ligero exceso, el producto bituminoso dentro de los anillos y déjese enfriar a temperatura ambiente durante 30 minutos.
 - 5.1.4 Para materiales que estén blandos a la temperatura ambiente, enfríense los especímenes, al menos durante 30 minutos a una temperatura inferior 10 °C por debajo del punto de ablandamiento esperado. Desde el momento en que se forman los discos, no deberán transcurrir más de 240 minutos hasta la terminación del ensayo.
 - 5.1.5 Cuando los especímenes estén fríos, córtese el exceso de material de la parte superior, con un cuchillo o espátula precalentada, para que la superficie del disco coincida con el nivel superior del anillo.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Seleccione, dependiendo del punto de ablandamiento esperado, el baño líquido y el termómetro adecuado, entre los siguientes casos:

- Baño con agua destilada recién hervida, para ablandamiento esperado entre 30 y 80 °C; úsese un termómetro 15 C. La temperatura al comenzar el baño deberá ser de 5 ± 1 °C.
- Baño con glicerina USP, para obtener ablandamientos por encima de 80 °C y hasta 157 °C; úsese un termómetro 16 C. La temperatura de iniciación del baño deberá ser de 30 ± 1 °C.
- Baño con glicol etileno para ablandamiento entre 30 °C y 110 °C; úsese un termómetro 16 C. La temperatura de iniciación del baño deberá ser de 5 ± 1 °C.

Para propósitos de arbitraje todos los puntos de ablandamiento hasta 80° C serán determinados en un baño maría (de agua) y todos los puntos de ablandamientos mayores de 80° C serán determinados en un baño de glicerina.

- 6.2 Armar el aparato bajo la campana extractora; colocando los anillos, con los especímenes, las guías para las bolas y los termómetros en posición, y llénese el baño con el líquido apropiado hasta una altura de 105 ± 3 mm. Si se usa glicol etileno, asegúrese que el ventilador de la campana extractora esté funcionando antes de depositar el líquido.

Usando unas tenazas apropiadas, colóquense las dos bolas en el fondo del baño para que adquieran la misma temperatura de iniciación que el resto del montaje.

- 6.3 Colóquese todo el conjunto del baño en agua con hielo o caliéntese muy suavemente, para alcanzar y mantener durante 15 minutos la temperatura de iniciación apropiada. Cuídese de no contaminar el líquido del baño.
- 6.4 Usando otra vez las tenazas, colóquese cada una de las bolas en la guía para su centrado.
- 6.5 Caliéntese el baño en forma pausada para asegurar que la velocidad de elevación de la temperatura sea constante a 5°C/minuto. Protéjase el baño de corrientes de aire usando pantallas, si es necesario. No promedie la velocidad de elevación de temperatura durante el periodo del ensayo.

La máxima variación permitida para un período de 1 minuto, después de transcurridos los 3 primeros minutos, será de $\pm 0,5$ °C. Repítase cualquier ensayo en el cual la velocidad de elevación de la temperatura no caiga dentro de estos límites.

Nota 1. El control rígido de la velocidad de calentamiento prescrita es esencial para la reproducibilidad de resultados. Se puede usar un quemador de gas o calentador eléctrico, pero el último debe ser de energía de salida variable de bajo retraso para mantener el ritmo de calentamiento prescrito.

- 6.6 Anótese para cada anillo y bola, la temperatura indicada por el termómetro en el momento en que el producto bituminoso rodeando la bola, toca el fondo del baño. No se debe hacer corrección por la parte emergente del termómetro. Si la diferencia entre las dos temperaturas excede de 1 °C, repítase el ensayo.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Para un espécimen de un producto bituminoso dado, el punto de ablandamiento determinado en un baño con agua, será inferior que el determinado con glicerina. Ya que la determinación del punto de ablandamiento es necesariamente arbitraria, esta diferencia es importante solamente para puntos de ablandamiento ligeramente por encima de los 80 °C.
- 7.1.2 El cambio de agua por glicerina para puntos de ablandamiento por encima de 80 °C, crea una discontinuidad. Los más bajos puntos de ablandamiento que es posible obtener con baños de glicerina, son del orden de 84,5 °C. En estos casos, la corrección será de -4.2 °C. Si se necesita resolver una discrepancia, se repetirá el ensayo.
- 7.1.3 Bajo cualquier circunstancia, si el valor medio de las dos temperaturas determinadas en glicerina es de 80,0 °C, o más bajo, repítase el ensayo utilizando baño de agua.

- 7.1.4 Para convertir puntos de ablandamiento ligeramente por encima de 80°C determinados en agua, en aquellos determinados en glicerina, la corrección es de $\pm 4,2$ °C. Para dilucidar discrepancias, repítase el ensayo en glicerina.
- 7.1.5 Bajo cualquier circunstancia, si el valor medio de las dos temperaturas determinadas en agua es de 85 °C o más alto, repítase el ensayo en glicerina.
- 7.1.6 Los resultados obtenidos usando glicol etileno, variarán de los obtenidos usando agua y glicerina, en cantidades calculadas con las siguientes fórmulas:

Por asfalto:

$$\begin{aligned} \text{PAg} &= 1,026583 \times \text{PAge} - 1,334968 \text{ °C} \\ \text{PAa} &= 0,974118 \times \text{PAe} - 1,44459 \text{ °C}. \end{aligned}$$

Donde:

$$\begin{aligned} \text{PAg} &= \text{Punto de ablandamiento en glicerina} \\ \text{PA.1} &= \text{Punto de ablandamiento en agua} \\ \text{PAge} &= \text{Punto de ablandamiento en glicol etileno.} \end{aligned}$$

7.2 INFORME

- 7.2.1 Cuando se utilicen termómetros 15 C, repórtese el promedio ó promedio corregido de las temperaturas registradas, como el punto de ablandamiento, con aproximación de 0,2 °C.
- 7.2.2 Cuando se utilicen los termómetros 16 C, repórtese el promedio ó promedio corregido de las temperaturas registradas, como el punto de ablandamiento con aproximación de 0,5 °C.
- 7.2.3 Infórmese la clase de líquido que fue utilizado para el baño durante el ensayo.

8.0 PRECISION

- 8.1 Cuando se utiliza agua destilada o glicerina USP, los siguientes criterios se emplearán para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% de probabilidad):
- Precisión de un operador se ha encontrado que la desviación estándar para un operador de este ensayo, es de 0,41 °C. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos efectuados correctamente por el mismo operador, sobre la misma muestra de asfalto, no deberán diferenciarse en más de 1,2 °C.
 - Precisión entre distintos laboratorios: La desviación estándar para este caso es de 0,70 °C. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos efectuados correctamente por dos laboratorios sobre la misma muestra de asfalto, no se deberían diferenciar en más de 2,0 °C.
- 8.2 Para el caso de glicol etileno las discrepancias admisibles serán:
- Precisión del mismo operador, no mayor que 2,0 °C.
 - Precisión entre distintos laboratorios, no mayor que 3 °C.
- 8.3 El procedimiento en el método de prueba MTC E 307 no tiene dispersión debido a que el valor del ensayo de punto de ablandamiento del asfalto es definido en términos de este método de prueba.

MTC E 308

VISCOSIDAD DEL ASFALTO CON EL METODO DEL VISCOSIMETRO CAPILAR DE VACIO

1.0 OBJETO

- 1.1 Establece el procedimiento para determinar la viscosidad del asfalto (bitumen), con el viscosímetro capilar de vacío a 60 °C. Se aplica a materiales que tengan viscosidades entre 0,036 y 200,000 poises.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 La viscosidad a 60 °C se caracteriza por el comportamiento del flujo y puede usarse para requerimientos específicos de asfaltos líquidos, semisólidos o sólidos.
- 2.2 Líquido Newtoniano.- Es el líquido en el cual la velocidad de corte es proporcional al esfuerzo de corte. La razón constante del esfuerzo de corte a la velocidad de corte es la viscosidad del líquido. Si la razón no es constante entonces el líquido es no newtoniano.
- 2.3 Viscosidad.- La razón entre el esfuerzo de corte aplicado y la velocidad de corte se llama coeficiente de viscosidad. Este coeficiente es una medida de la resistencia al flujo del líquido. Comúnmente se le conoce simplemente como "la viscosidad" del líquido. La viscosidad se mide en el sistema SI en Pas (Pascal-segundo), equivale a N.s/m² (Newton-segundo por metro cuadrado). La unidad cgs de viscosidad es g/cm.s (equivale a dina.s/cm²) y se llama Poise (P). 1 Pa.s (Pascal -segundo) equivale a 10P (Poises).

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 2171-01: Método de Ensayo Estándar para la Viscosidad de Asfaltos por el Viscosímetro Capilar de Vacío.
- 3.2 AASHTO 202-03: Viscosidad de Asfaltos por el Viscosímetro Capilar de Vacío.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES Y EQUIPO

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Viscosímetro. Tipo capilar, construido de vidrio de borosilicato, templado adecuado para este ensayo. Se tiene varios tipos, entre otros:
 - Viscosímetro de vacío. Cannon – Manning (CMVV). Figura 1
 - Viscosímetro de vacío. Instituto del Asfalto (AIVV). Figura 2.
 - Viscosímetro de vacío. Koppers Modificado (MKVV). Figura 3.

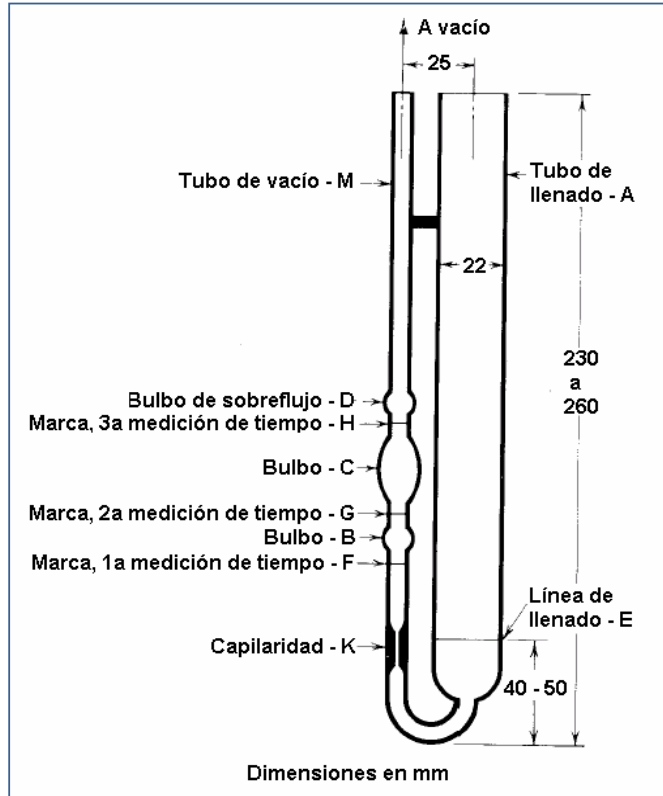


Figura 1. Viscosímetro de vacío capilar Cannon - Manning

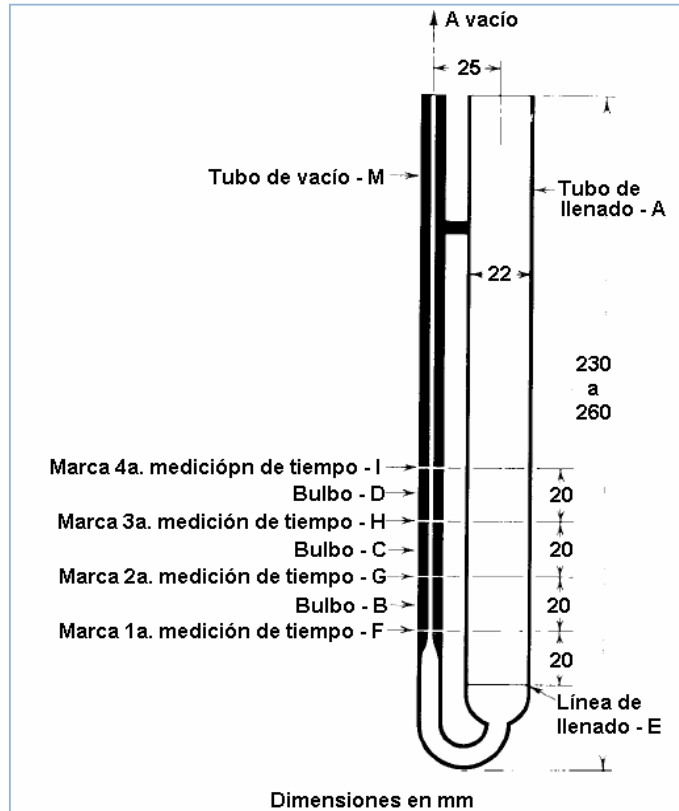


Figura 2. Viscosímetro de vacío capilar del Instituto del Asfalto

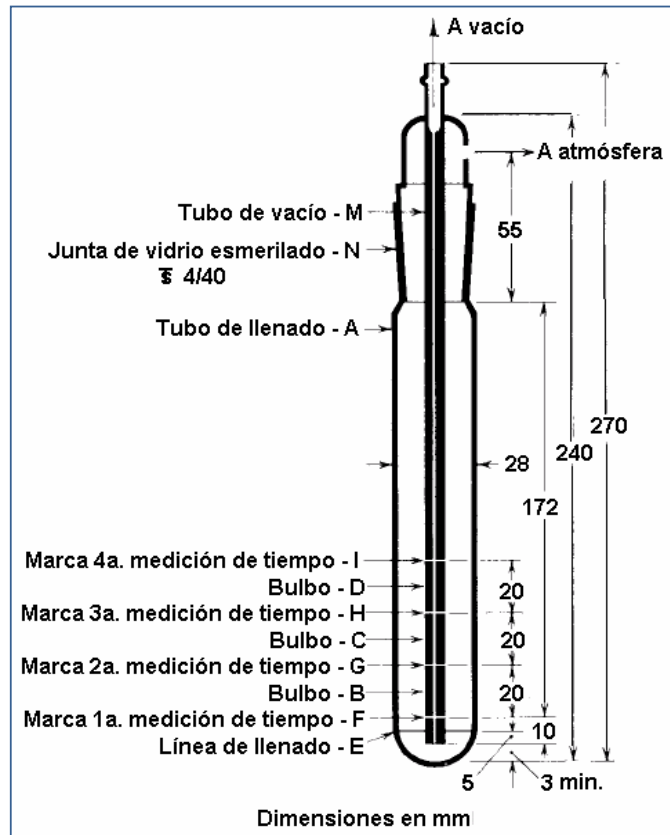


Figura 3. Viscosímetro Capilar de Vacío Koppers Modificado

Nota 1. La viscosidad medida en un CMVV puede ser de 1 a 5% más baja de aquella medida en el AIVV ó MKVV, teniendo el mismo rango de viscosidad. Cuando se encuentre esta diferencia puede que se trate de un flujo no newtoniano.

- 4.1.2 Termómetro. De líquido en vidrio calibrados con una precisión de 0,02 °C, capaces de medir temperaturas del orden de 60 °C. Cualquier otro dispositivo termométrico de igual exactitud puede ser empleado. Los termómetros de viscosidad cinemática ASTM 47C son apropiados para la temperatura más comúnmente empleada que es la de 60 °C.

Los termómetros especificados son estandarizados a "Inmersión total", lo cual significa que se sumerge hasta el tope de la parte más alta de la columna de mercurio dejando el resto del vástago, y la parte expandida del termómetro en su extremo superior, a la temperatura ambiente. La práctica de sumergir completamente el termómetro no se recomienda. Si éste es sumergido totalmente en el baño durante el ensayo, la presión del gas en la cámara de expansión puede ser mayor o menor que con la "Inmersión total", obteniéndose lecturas mayores o menores. Es esencial la calibración periódica del termómetro de vidrio usando la técnica E 77.

- 4.1.3 Baño. Un baño apropiado para sumergir el viscosímetro, en forma tal que el recipiente del líquido o el tope del tubo capilar, cualquiera que esté más alto, quede por lo menos 20 mm por debajo de la superficie del agua, con espacio suficiente para ver el viscosímetro y el termómetro, que se encuentra bien asegurado a él.

La eficiencia del agitador y el balance entre la pérdida de calor y la entrada de calor del baño, deben ser tales que la temperatura media del baño no deba variar más de $\pm 0,03$ °C, a lo largo de la longitud del viscosímetro o entre diversas posiciones del viscosímetro dentro del baño.

- 4.1.4 Sistema de Vacío. Se requiere un equipo capaz de mantener un vacío dentro de $\pm 0,5$ mm del nivel requerido, sobre una medida de 300 mm de Hg. En la Figura 4, se muestra esquemáticamente. Debe usarse el tubo de vidrio de 6,35 mm (1/4") de diámetro interno, teniendo en cuenta que

todas las uniones de vidrio deben ser herméticas, para que cuando el sistema esté cerrado no haya pérdidas de vacío, indicadas por el extremo abierto del manómetro de mercurio, el cual tiene graduaciones de 1 mm. Una bomba de vacío debe usarse como fuente de vacío.

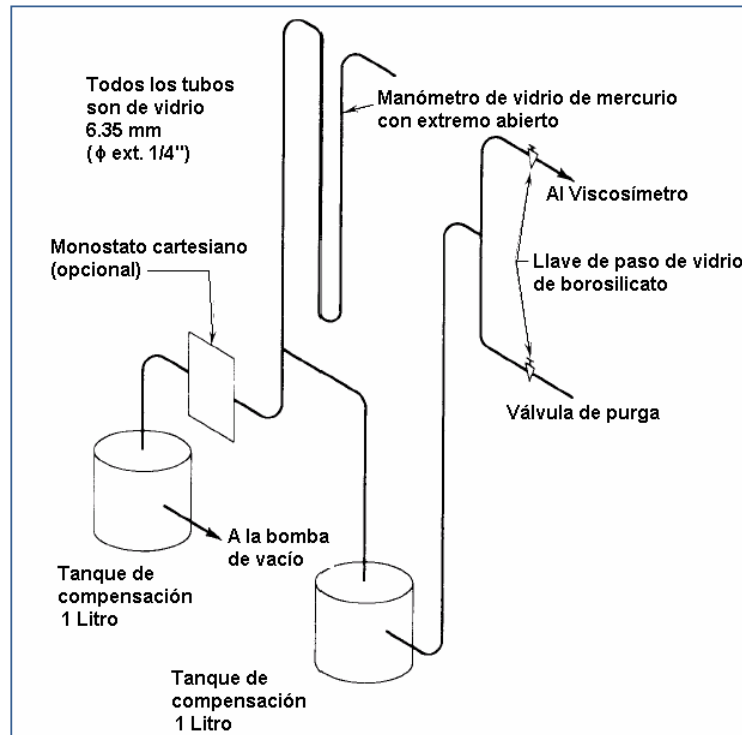


Figura 4. Sistema sugerido de vacío para los viscosímetros capilares de vacío

- 4.1.5 Cronómetro. Un reloj u otro medidor de tiempo, con divisiones de 0,1 s, o menos, y precisión dentro del 0,05%, cuando se hace el ensayo, sobre intervalos no menores de 15 minutos.
- 4.1.6 Aparato eléctrico regulador de tiempo. Puede usarse solamente sobre los circuitos eléctricos cuyas frecuencias deban controlarse con una precisión del 0,05% o menor.

Los cambios de voltaje, tal como son suministradas por la mayoría de las empresas de energía pública, pueden causar grandes errores, particularmente en intervalos pequeños, cuando se usan para activar aparatos eléctricos de control de tiempo.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Caliéntese la muestra, tomando precauciones para prevenir un sobrecalentamiento, hasta que se haga suficientemente fluida, para verterla; ocasionalmente debe usarse el agitador para hacer que el calor sea uniforme en la muestra.
- 5.2 Transfírase un mínimo de 20 mL a un recipiente apropiado y caliéntese a $135 \pm 5,5^{\circ}\text{C}$, agitando ocasionalmente, para prevenir sobrecalentamientos locales y teniendo cuidado de evitar las burbujas de aire.

6.0 PROCEDIMIENTO

Los detalles específicos de operación varían algo con el tipo de viscosímetro, debiendo tenerse las instrucciones de los fabricantes. Sin embargo, todos siguen el procedimiento general que se describe a continuación:

- 6.1 Mantener el baño a la temperatura de ensayo con $\pm 0,03^{\circ}\text{C}$. Aplíquense las correcciones necesarias, si las hubiere, a todas las lecturas del termómetro.
- 6.2 Selecciónese un viscosímetro limpio y seco, el cual debe dar un tiempo de flujo mayor de 60 s y precaliente de $135 \pm 5,5^{\circ}\text{C}$.

- 6.3 Cárgetse el viscosímetro vertiendo la muestra preparada dentro de él y llénese hasta la línea E ± 2 mm, figuras 2; 3 y 4.
- 6.4 Colóquese el viscosímetro cargado en un horno o baño, manteniendo la temperatura a $135 \pm 5,5$ °C, por un período de 10 ± 2 min, permitiendo que escapen las burbujas grandes de aire.
- 6.5 Retírese el viscosímetro del horno o del baño, dentro de un lapso de 5 minutos y colóquese en un soporte en posición vertical dentro del baño, en forma que la marca reguladora de tiempo más alta, esté por lo menos 20 mm por debajo de la superficie del líquido del baño.
- 6.6 Hágase un vacío de $40 \pm 0,07$ Kpa ($300 \pm 0,5$ mm de Hg) bajo la presión atmosférica en el sistema de vacío, y conéctese el sistema al viscosímetro, abriendo la llave de la válvula a la línea de carga del viscosímetro.
- 6.7 Después que el viscosímetro ha estado 30 ± 5 min dentro del baño, inicie el flujo del asfalto en el viscosímetro abriendo la válvula en la línea que conecta el sistema de vacío.
- 6.8 Mídase con precisión de 0,1 s el tiempo requerido para que el borde del menisco pase entre los pares sucesivos de marcas reguladoras de tiempo. Repórtese el primer tiempo de flujo que sobrepase de 60 s entre un par de marcas de regulación de tiempo, registrando la identificación del par de marcas.
- 6.9 La limpieza del viscosímetro es en extremo importante. Al terminar el envase, retire el viscosímetro del baño y colóquese en posición invertida en un horno a $135 \pm 5,5$ °C hasta cuando todo el asfalto sea expulsado completamente del viscosímetro. Límpiase el viscosímetro totalmente con varios enjuagues de solvente apropiado completamente miscible con la muestra, seguido de un solvente totalmente volátil. Secar el tubo pasando una ligera corriente de aire seco a través del capilar, por 2 minutos, hasta remover la última traza de solvente. Alternativamente el viscosímetro puede ser lavado en un horno limpiador de vidrio a una temperatura que no exceda los 500 °C, seguido por enjuagues con agua destilada ó agua desionizada, acetona libre de residuos y aire seco filtrado. Periódicamente, limpiar el aparato con solución de ácido crómico para remover los depósitos orgánicos lavando totalmente con agua destilada y acetona libre residual, y secando con aire seco filtrado.
- 6.10 La solución limpiadora de ácido crómico puede ser preparada adicionando, con la debida precaución, 800 mL de ácido sulfúrico concentrado a una solución de 92 g de dicromato de sodio en 458 mL de agua. El empleo de soluciones comerciales similares es aceptado. Soluciones limpiadoras no crómicas que contengan ácidos fuertemente oxidantes pueden ser sustituidas de manera de evitar los problemas por los depósitos en soluciones que contengan cromo.
- 6.11 El uso de soluciones alcalinas para la limpieza puede producir cambios en la calibración del viscosímetro, y no son recomendables.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Seleccíonese el factor de calibración que corresponde a un par de marcas con determinación de tiempo, usadas en el ensayo. Calcúlese la viscosidad usando la siguiente ecuación:

$$\text{Viscosidad .Pa.s} = (Kt)$$

Donde:

- K = Factor de calibración seleccionado, Pa.s/s y
t = Tiempo de flujo, en segundos.

Si la constante del viscosímetro (K_{cgs}) se conoce en unidades cgs (Poise/s) calcule el factor de calibración (K_{si}) en unidades SI (pascal.segundos/segundos) como sigue:

$$K_{si} = (\text{Pa.s/s}) = K_{cgs}/10 \text{ ó } (P/s)/10.$$



7.2 INFORME

7.2.1 Reportar la viscosidad con tres cifras significativas.

7.2.2 En el ensayo siempre se informará la temperatura y el vacío, con el resultado del ensayo. Por ejemplo, viscosidad a 60 °C y 300 mm Hg de vacío, en Pa.s.

8.0 PRECISION

8.1 PRECISION

8.1.1 Se puede usar el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% probabilidad).

8.1.2 Repetibilidad. Duplicando resultados por el mismo operario, usando el mismo viscosímetro, no se considerarán sospechosos al menos que difieran en más del 7% del promedio.

8.1.3 Reproducibilidad. Los resultados presentados por dos laboratorios no se considerarán sospechosos, a menos que los dos resultados difieran más que el 10% de su valor medio.

MTC E 309

VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL DE ASFALTOS LIQUIDOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Describir los procedimientos para determinar la viscosidad Saybolt Universal o Saybolt Furol de productos del petróleo (asfalto líquido) a temperaturas especificadas entre 21 y 99 °C. Se incluye un procedimiento especial para productos parafinados.

Nota 1. Los métodos y MTC E-310 Y ASTM D 445 se prefieren para determinar la viscosidad cinemática. Ellos requieren muestras más pequeñas, menor tiempo de ejecución y proporcionan mayor precisión. La viscosidad cinemática puede convertirse a Saybolt mediante las tablas de la norma ASTM D 2161. Se recomienda que los índices de viscosidad se calculen a partir de la viscosidad cinemática y no de Saybolt.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método es útil para caracterizar ciertos productos del petróleo, como un medio para establecer la uniformidad de los embarques y de las fuentes de suministro.
- 2.2 La determinación de la viscosidad Saybolt de materiales a temperaturas mayores, es cubierta por la norma ASTM E 102.
- 2.3 Viscosidad Saybolt Universal.- Es el tiempo en segundos, corregido, durante el cual fluyen 60 mL de muestra a través de un orificio universal calibrado bajo condiciones específicas. El valor de la viscosidad se informa en segundos Saybolt Universales (SSU) a una temperatura especificada.
- 2.4 Viscosidad Saybolt Furol.- Es el tiempo en segundos, corregido, durante el cual fluyen 60 mL de muestra a través de un orificio Furol calibrado bajo condiciones específicas. El valor de la viscosidad se informa en segundos Saybolt Furol (SSF) a una temperatura especificada.
- 2.5 La palabra Furol es una contracción de las palabras "Fuel and road oils" (aceites y combustibles para carreteras).
- 2.6 La viscosidad Saybolt Furol es, aproximadamente, 1/10 de la viscosidad Saybolt Universal, y es recomendada para la caracterización de los productos del petróleo tales, como el combustible (Fuel-oil) y otros materiales residuales, que tengan viscosidades Saybolt Universales mayores de 1000 segundos.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 88 2007: "Standard Test Method for Saybol Viscosity"

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Viscosímetro Saybolt (Figura 1). El viscosímetro deberá construirse de metal no corrosivo, con las dimensiones mostradas. La punta del orificio, Furol o Universal, puede fabricarse como una parte sustituible. Debe tener una tuerca en el extremo inferior del mismo para asegurarlo en el baño. Se debe contar con un corcho u otro medio para evitar el flujo de la muestra antes de iniciar el ensayo. Una pequeña cadena o una cuerda puede unirse al corcho para facilitar su remoción.
- 4.1.2 Baño (Figura 6). Es un recipiente con un líquido, en el cual se introduce el viscosímetro, con el fin de garantizar una posición vertical del mismo, y proporcionar un aislamiento térmico, provisto con una espiral controlada termostáticamente, que calienta o enfría el baño para que este dentro de los valores medios especificados en la Tabla 2. Los calentadores y la espiral deben colocarse a Una distancia mínima de 75 mm (3") del viscosímetro. Debe contar con dispositivos para mantener el líquido del baño al menos a 6 mm por encima del borde del rebosadero de flujo (Figura 1).

- 4.1.3 Un tubo en forma de pipeta, diseñado como el de la Figura 3.
- 4.1.4 Un soporte para termómetro, igual o similar al mostrado en la Figura 2.
- 4.1.5 Un termómetro para el viscosímetro Saybolt, según ASTM E-1 conforme se indica en la Tabla 1, para la lectura de la temperatura de la muestra.
- 4.1.6 Termómetro para el baño, pueden ser los mismos utilizados para el viscosímetro o de otro tipo, pero de precisión similar.

Tabla 1
Termómetros ASTM para viscosidad Saybolt

Temperatura Normal para el Ensayo °C	Termómetro ASTM No.	Termómetro	
		Rango °C	Subdivisión °C
21,1	17 C	19 a 27	0,1
25,0	17 C	19 a 27	0,1
37,8	18 C	34 a 42	0,1
50,0	19 C	49 a 57	0,1
54,4	19 C	49 a 57	0,1
60,0	20 C	57 a 65	0,1
82,2	21 C	79 a 87	0,1
98,9	22 C	95 a 103	0,1

- 4.1.7 Embudo con filtro (Figura 4) equipado con tamices intercambiables de 850 mm (Nº 20) ,150 mm (Nº 100) y 75 mm (Nº 200). También pueden emplearse embudos con filtro de diseño adecuado.
 - 4.1.8 Frasco recibidor, como el que se muestra en la Figura 5.
 - 4.1.9 Cronómetro graduado en décimas (1/10) de segundo y aproximación hasta del 0,1%, cuando se realiza el ensayo durante un período de 60 minutos. Pueden aceptarse cronómetros eléctricos si son operados en un circuito de frecuencia controlada.
- 4.2 PREPARACION DE LOS APARATOS
- 4.2.1 Para obtener la precisión deseada, usar un Tubo con orificio Universal para lubricantes y destilados con tiempos de flujo mayores de 32 s. Para líquidos con tiempos de flujo superiores a 1000 s, no es conveniente usar este orificio.

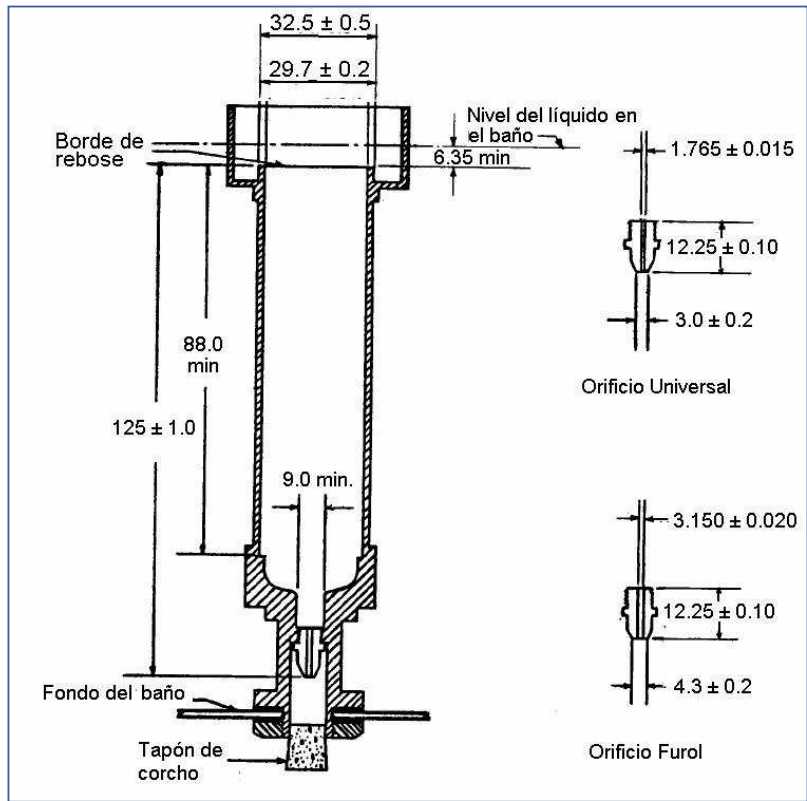


Figura 1. Viscosímetro Saybolt con orificio universal y Furoil

Nota: todas las dimensiones están en mm.

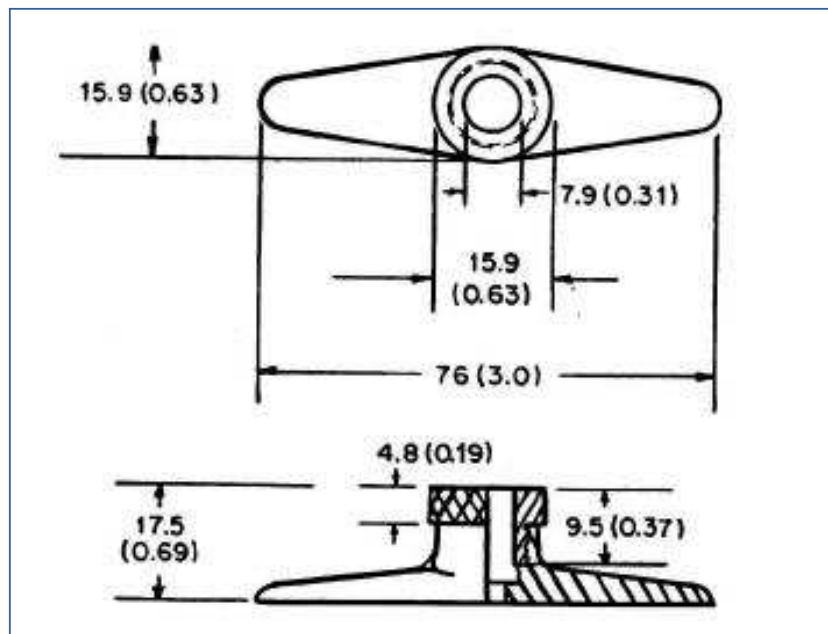


Figura 2. Soporte para el termómetro

Nota : Las dimensiones aparecen en mm (pulg.)

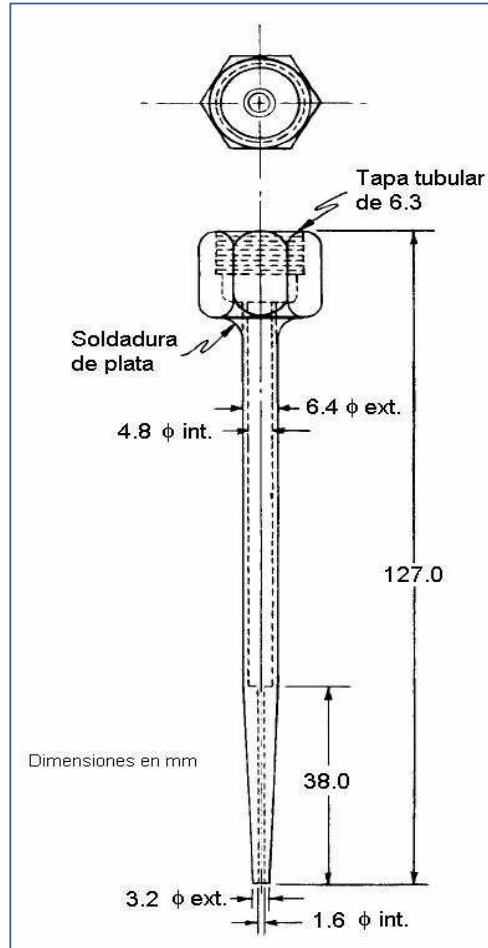


Figura 3. Tubo en forma de pipeta para usarlo con el viscosímetro Saybolt
Nota: todas las dimensiones están en mm.

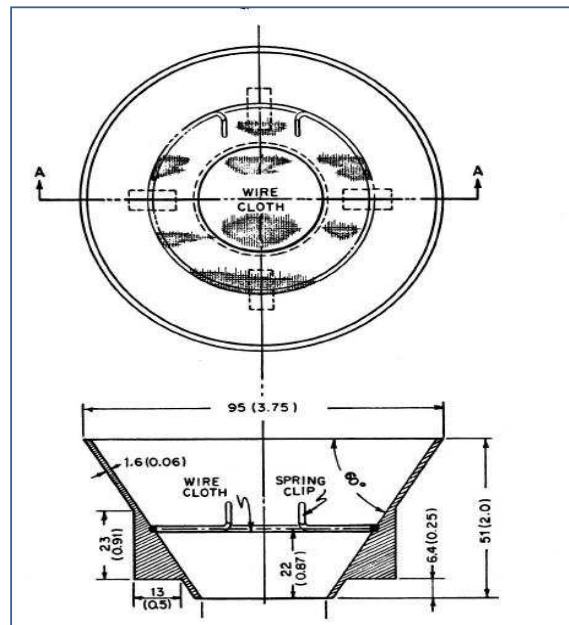


Figura 4. Embudo filtrador para usarlo en el viscosímetro Saybolt

Nota : Las dimensiones aparecen en mm (pulg.)

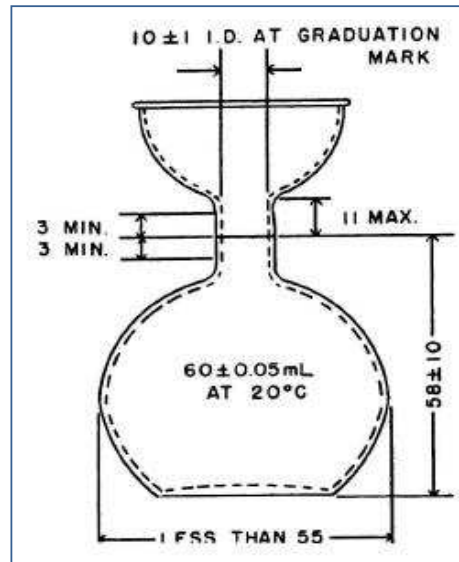


Figura 5. Frasco recibidor

Nota : Las dimensiones aparecen en mm

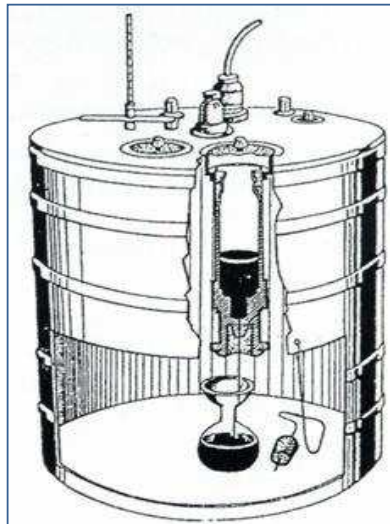


Figura 6. Conjunto baño viscosímetro durante ensayo

- 4.2.2 Usar un Tubo con orificio Furol para materiales residuales con tiempos de flujo superiores a 25 s, para lograr la precisión deseada (véase también el numeral 2.6).
- 4.2.3 Límpiase completamente el viscosímetro con un solvente apropiado de baja toxicidad; enseguida, extráigase todo solvente del viscosímetro. Así mismo, límpiase el frasco recibidor.
Nota 2. El émbolo suministrado comúnmente con el viscosímetro nunca deberá emplearse para limpieza, ya que puede dañar el borde de rebose y las paredes del viscosímetro.
- 4.2.4 Colóquese el viscosímetro y el baño en un lugar donde se eviten corrientes de aire, cambios bruscos de temperatura ambiente, polvo o vapores que puedan contaminar la muestra.
- 4.2.5 Colóquese el frasco recibidor debajo del viscosímetro, de tal manera que su marca quede entre 100 y 130 mm por debajo del fondo del tubo del viscosímetro, y que la descarga de material apenas toque el cuello del matraz.

- 4.2.6 Llénese el baño hasta una cota 6 mm por, encima del borde de rebose del viscosímetro, con el líquido adecuado, escogido de acuerdo con las indicaciones de la Tabla 2, para la temperatura de ensayo.
- 4.2.7 Prodúzcase la agitación y control térmico adecuado para el baño, de manera que la muestra de ensayo en el viscosímetro no varíe en más de $\pm 0,03$ °C después de alcanzar la temperatura escogida para el ensayo.
- 4.2.8 No deben efectuarse medidas de viscosidad por debajo de un punto inferior de temperatura en la atmósfera de la habitación.
- 4.2.9 Para ensayos de calibración y referencia, manténgase la temperatura ambiente de laboratorio entre 20 y 30 °C y regístrese la temperatura real. Sin embargo, temperaturas ambiente hasta de 37,8 °C, causarán errores en exceso del 1%.
- 4.3 CALIBRACION Y ESTANDARIZACION
- 4.3.1 Calíbrese el viscosímetro Saybolt Universal por períodos no mayores de 3 años, midiendo el tiempo de flujo a 37,8 °C de un aceite de viscosidad estándar, siguiéndose el procedimiento dado en el numeral 4.3; La Tabla A-1 indica los aceites de viscosidad normal que más se usan.

Tabla A-1
Aceites de viscosidad normal Saybolt*

Aceites de Viscosidad normal	SSU a 37.8 °C	SSU a 98.9 °C	SSF a 50°C
S3	36	---	---
S6	46	---	---
S20	100	---	---
S60	290	---	---
S200	930	---	---
S600	---	150	120

Tabla 2
Medios recomendados para el baño

Temperatura normal del ensayo °C	Medios recomendados para el baño	Max. Diferencial de temperatura * °C	Precisión para el control funcional de la temperatura del baño °C
21,1	Agua	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$
25,0	Agua	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$
37,8	Agua o aceite de 50 a 70 SSU de viscosidad a 37.8 °C	$\pm 0,15$	$\pm 0,03$
50,0	Agua o aceite de 120 a 150 SSU de viscosidad a 37.8 °C	$\pm 0,20$	$\pm 0,03$
54,4	Agua o aceite de 120 a 150 SSU de viscosidad a 37.8 °C	$\pm 0,30$	$\pm 0,03$
60,0	Agua o aceite de 120 a 150 SSU de viscosidad a 37,8 °C	$\pm 0,50$	$\pm 0,06$
82,2	Agua o aceite de 300 a 370 SSU de viscosidad a 37.8 °C	$\pm 0,80$	$\pm 0,06$
98,9	Aceite de 330 a 370 SSU de viscosidad a 37,8 °C	$\pm 1,10$	$\pm 0,06$

* Diferencia permisible máxima entre el baño y la temperatura de la muestra en el momento de ensayo.

- 4.3.2 El tiempo de flujo del aceite de viscosidad normal deberá ser igual al valor certificado de la viscosidad Saybolt. Si el tiempo de escurrimiento difiere del valor certificado en más de 0,2%, Calcúlese un factor de corrección, F , para el viscosímetro así:

$$F = \frac{V}{t}$$

Donde:

- V = Valor certificado de viscosidad Saybolt del aceite de viscosidad normal.
 t = Tiempo de flujo medido a 37,8 °C.

Nota 3. Si la calibración se basa en una viscosidad normal que tenga un tiempo de flujo entre 200 y 600 segundos, el factor de corrección se aplica a todos los niveles de viscosidad, a todas las temperaturas.

- 4.3.3 Calíbrese el viscosímetro Saybolt Furol a 50 °C de la misma manera que arriba, empleando un aceite de viscosidad normal que tenga un tiempo mínimo de flujo de 90 segundos.
- 4.3.4 No deberán emplearse para ensayos de referencia, viscosímetros de orificios que requieren correcciones mayores del 1,0%.

5.0 MUESTRA

- 5.1 El muestreo del material deberá efectuarse de acuerdo con la norma MTC E301.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Obténgase y contrólase la temperatura del baño para que sea la escogida para el ensayo.
- 6.1.1 Las temperaturas normales de ensayo para medir viscosidades Saybolt Universal son 21,1; 37,8; 54,4 y 98,9 °C.
- 6.1.2 Las temperaturas de ensayo para medir viscosidades Saybolt Furol son 25,0; 37,8; 50,0 y 98,9 °C.
- 6.1.3 Otras temperaturas de ensayo que se emplean son 60,0 y 82,2 °C.
- 6.2 Insértese un tapón de corcho, que tenga una cuerda unida para removerlo fácilmente, dentro de la cámara de aire en el fondo del viscosímetro. El corcho deberá ajustar suficientemente, para evitar el escape de aire, lo cual se evidencia por la ausencia de aceite sobre el corcho cuando éste se retira más tarde.
- 6.3 Si la temperatura escogida para el ensayo está por encima de la temperatura ambiente, el ensayo se puede apresurar calentando previamente la muestra en su recipiente original, no más de 1,7 °C por encima de la temperatura de ensayo. Nunca debe precalentarse la muestra dentro de los 28 °C cercanos a su punto de inflamación, puesto que las pérdidas por volatilidad, pueden alterar su composición.
- 6.4 Agítase bien la muestra y tamícese a través del embudo filtrador con malla de alambre de 150 mm (Nº 100), forzándola a caer directamente dentro del viscosímetro, hasta que el nivel quede por encima del borde de rebose.
- 6.5 Para los asfaltos líquidos que se usan para carreteras y que tienen componentes altamente volátiles, como los de curado rápido y medio, no debe permitirse el precalentamiento en un recipiente abierto.
- 6.5.1 El material deberá vaciarse dentro del viscosímetro a la temperatura ambiente; si el material es demasiado viscoso para vaciarlo a esta temperatura, se debe calentar colocando la muestra en el recipiente original en un baño con agua a 50 °C por unos pocos minutos antes de verterla. Deberá omitirse el filtrado a través de la malla de alambre.
- 6.5.2 Para ensayos por encima de la temperatura ambiente, se permite durante el período de calentamiento un mayor diferencial de temperatura que el indicado en la Tabla 2, pero la

temperatura del baño debe ajustarse dentro de los límites prescritos, antes del minuto final de agitación, minuto en el cual la temperatura de la mezcla debe permanecer constante.

- 6.5.3 Agítase la muestra dentro del viscosímetro con el termómetro de viscosidad instalado sobre su soporte (Figura 3). Empléese un movimiento circular, girando entre 30 y 50 rpm en un plano horizontal. Cuando la temperatura de la mezcla permanezca constante a la temperatura de ensayo $\pm 0,03$ °C, durante 1 minuto de agitación continua, retírese el termómetro.

Nota 4. No debe intentarse nunca ajustar la temperatura sumergiendo cuerpos calientes o fríos en la muestra, ya que esta forma de tratamiento térmico puede afectar la muestra y la precisión del ensayo.

- 6.6 Introdúzcase inmediatamente la punta de la pipeta extractora (Figura 2) dentro de la galería, y aplíquese succión para extraer material, hasta que su nivel en la galería llegue por debajo del borde de rebose. No debe tocarse el borde del rebose con la pipeta; la altura de carga efectiva de la muestra podría reducirse.
- 6.7 Asegúrese que el frasco receptor se halle en la posición adecuada; jálese el corcho del viscosímetro usando el Cordel que tiene unido. Póngase en el mismo instante a funcionar el cronómetro y deténgase en el instante en que el fondo del menisco de material alcance la marca de graduación en el frasco receptor. Anótese el tiempo de flujo en segundos, con aproximación a 0,1s.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Multiplíquese el tiempo de flujo por el factor de corrección del viscosímetro (numeral 4.3.2).

7.2 INFORMES

- 7.2.1 Infórmese el tiempo de flujo corregido como la viscosidad Saybolt Universal o Furol del material, a la temperatura a la cual se hizo el ensayo. Infórmese los valores con aproximación al segundo.

MTC E 310

VISCOSIDAD CINEMATICA DE ASFALTOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer los procedimientos para determinar la viscosidad cinemática, asfaltos líquidos, aceites para carreteras y residuos de destilaciones del asfalto líquido todos a los 60 °C, y de cemento asfáltico a 135 °C. Los resultados de este método pueden ser usados para calcular la viscosidad cuando la densidad del material que se ensaye y la temperatura son conocidos o pueden determinarse.

Nota 1. Este método es apropiado para ser usado a otras temperaturas, pero la precisión está basada solamente en la determinación en asfaltos cortados y aceites de caminos a 60 °C y cementos asfálticos a 135°C en el rango de viscosidad de 30 a 6.000 cSt.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 La viscosidad cinemática caracteriza el comportamiento de un determinado flujo, el método es usado para determinar la consistencia del bitumen como un elemento para establecer la uniformidad de envíos o fuentes de abastecimiento. Las especificaciones son generalmente con temperaturas de 60 °C y 135 °C.
- 2.2 Viscosidad cinemática.- Es la relación entre la viscosidad dinámica o absoluta y la densidad de un líquido; es una medida de la resistencia al flujo bajo la acción de la gravedad. La unidad SI es m^2/s ; es más conveniente, para uso práctico, el submúltiplo mm^2/s . La unidad cgs es $1 cm^2/s$ y se llama Stoke (St). La unidad que se acostumbra a utilizar es 1 centistoke ($1 cSt = 10^{-2} St$) que equivale a $1 mm^2/s$.
- 2.3 Viscosidad dinámica o absoluta – La relación entre el esfuerzo de corte aplicado y la rata de corte se llama el coeficiente de viscosidad. Este coeficiente es una medida de la resistencia al flujo de un líquido. La unidad cgs es $1 g/cm \cdot s$ ($1 dina \cdot s/cm^2$) y se llama un Poise (P). La unidad SI de la viscosidad es $1 Pa \cdot s$ ($1 N \cdot s/m^2$) y es equivalente a 10P. Frecuentemente, se usa el centipoise ($1cP = 10^{-2}P$)

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 2170 "Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Asphalts (Bitumens)".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES Y RECTIVOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Viscosímetro con capilares hechos con un tipo de vidrio borosilicato, recocido adecuado para el ensayo como se describe en el anexo A.2 e incluidos como sigue:

- Viscosímetro Cannon-Fenske para líquidos opacos.
- Viscosímetro de brazo transversal Zeitfuchs.
- Viscosímetro Lantz-Zeitfuchs.
- Viscosímetro BS de tubo U modificado para flujo invertido.
- Viscosímetros calibrados son disponibles de proveedores comerciales. Los detalles están descritos en el anexo A.3.

- 4.1.2 Termómetros, Se pueden utilizar termómetros calibrados de vidrio con líquido, con una precisión, después de la corrección de 0,02 °C o cualquier otro dispositivo termométrico de igual precisión. Los termómetros para la viscosidad cinemática ASTM 47C e IP 35 C son adecuados para la temperatura de 60 °C y los termómetros ASTM para viscosidad cinemática 110C, son adecuados para emplearlos a 135 °C.

Los termómetros especificados están normalizados a "Inmersión total", lo cual significa inmersión hasta el tope de la columna de Mercurio, con el residuo de vapor y con la cámara de expansión al tope del termómetro expuesto a la temperatura ambiente. No es

recomendable la práctica de sumergir completamente el termómetro. Cuando los termómetros están completamente sumergidos, deben determinarse y aplicarse correcciones para cada termómetro individual basadas en la calibración bajo condiciones de inmersión completa. Si el termómetro está completamente sumergido en el baño durante su empleo, la presión del gas en la cámara de expansión será más alta o más baja que durante la normalización y puede causar lecturas más altas o bajas en el termómetro.

Los dispositivos termométricos para este ensayo pueden estandarizarse por un mínimo de 6 meses.

4.1.3 Es esencial que el líquido del termómetro de vidrio sean calibrados periódicamente usando la técnica descrita en la norma ASTM E 77 (ver anexo X1).

4.1.4 Baño, Debe ser adecuado para la inmersión del viscosímetro y tal modo que el reservorio de líquido o la parte superior del capilar, cualquiera que esté más elevada, esté al menos a 20 mm por debajo del nivel superior del baño y con aditamentos para visibilidad del viscosímetro y del termómetro. Deberán proporcionarse soportes firmes para el viscosímetro o este podrá ser una parte integral del baño. La eficiencia de la agitación y el balance entre la pérdida y el suministro de calor deben ser tales que la temperatura del medio del baño no cambie en más de $\pm 0,03$ °C sobre la longitud del viscosímetro, o de viscosímetro a viscosímetro en las diferentes posiciones del baño a 60 °C. La variación a 135 °C no debe exceder de $\pm 0,03$ °C.

Nota 2. El agua destilada es un líquido adecuado para el baño, cuando se hagan determinaciones a 60 °C; para las determinaciones a 135 °C, se ha encontrado adecuado el aceite blanco USP con un punto de ignición por encima de 215 °C. El punto de inflamación se determina de acuerdo con el método MTC E 303.

4.1.5 Cronómetros. Un dispositivo de tiempo, activado con resorte, graduado en divisiones de 0,1 segundo o menos y con precisión de 0,05% cuando se ensaya a intervalos no menores de 15 minutos. Los temporizadores pueden ser calibrados por un mínimo de 6 meses.

4.1.6 Temporizadores eléctricos puede ser usados solo en circuitos eléctricos con frecuencias los cuales son controlados para una aproximación de 0,05% o mejor.

4.1.7 Cuando se empleen dispositivos eléctricos de control de tiempo, deben evitarse corrientes alternas cuyas frecuencias sean intermitentes y no se controlen continuamente, como las proporcionadas por algunos sistemas de suministro público de corriente, ya que pueden causar grandes errores, particularmente en cortos intervalos de tiempo.

5.0 MUESTRA

5.1 Para minimizar la pérdida de los constituyentes volátiles y para obtener resultados reproducibles, proceder como sigue:

5.1.1 Procedimientos para asfaltos líquidos y aceites para carreteras. Dejar las muestras, selladas tal como se recibieron hasta que alcancen la temperatura ambiente. Abrir el recipiente que contiene la muestra y mezclarlo cuidadosamente mediante agitación durante 30 segundos, teniendo el cuidado de evitar que la muestra atrape aire. Si la mezcla es demasiado viscosa para tal agitación, colóquese la muestra contenida en el recipiente sellado, en un baño u horno mantenido a 63 ± 3 °C hasta que se vuelva suficientemente líquida para agitarla.

5.1.2 Cárguese inmediatamente el viscosímetro o si el ensayo se va a realizar en un tiempo posterior, viértanse aproximadamente 20 mL en uno o más recipientes limpios, secos, que tengan una capacidad de aproximadamente 30 mL y séllese herméticamente.

5.1.3 Para materiales con viscosidades cinemáticas a 60 °C por encima de 800 cSt, caliéntese la muestra de 20 mL en el recipiente sellado en un horno o en un baño mantenido a 63 ± 3 °C hasta que esté suficientemente líquida para una transferencia conveniente dentro del viscosímetro. Tal calentamiento no deberá exceder de 30 minutos.

- 5.1.4 Procedimiento para el cemento asfáltico. Caliéntese la muestra con cuidado para evitar sobrecalentamiento local hasta que llegue a ser suficientemente fluida para vaciarla, agitando ocasionalmente para ayudar a la transferencia del calor y asegurar la uniformidad.
- 5.1.5 Transferir un mínimo de 20 mL en un recipiente adecuado y caliéntese a $135 \pm 5,5$ °C, agitando constantemente para evitar sobrecalentamiento local y teniendo cuidado de evitar que la muestra atrape aire.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Los detalles específicos de la operación varían para los diferentes tipos de viscosímetros. Ver las descripciones detalladas de operación en el Anexo A.2, de acuerdo con el tipo de viscosímetro escogido. En todos los casos, sin embargo, debe seguirse el procedimiento general que se describe en los numerales 6.2 a 6.8.
- 6.2 Mantener el baño a la temperatura de prueba dentro de $\pm 0,01$ °C para la temperatura de 60 °C y dentro de $\pm 0,03$ °C para la temperatura de prueba 135 °C con tolerancia de $\pm 0,06$ °C. Aplicar las correcciones necesarias si hubiera necesidad a todas las lecturas de los termómetros.
- 6.3 Se introducen en la estufa, durante el mismo tiempo, dos vasos de 500 cm³, uno con agua destilada y otro con asfalto líquido tipo RC-250.
- 6.4 Seleccionar un viscosímetro limpio y seco, que dé tiempo de flujo mayor de 60 segundos y precaliéntese a la temperatura de prueba.
- 6.5 Cárguese el viscosímetro de la manera indicada por el diseño del instrumento, como se indica en el Anexo A.2.
- 6.6 Permitir que el viscosímetro cargado permanezca en el baño suficiente tiempo (30 minutos) para alcanzar la temperatura de ensayo, como se indica en el Anexo A.2.
- 6.7 Empezar con el flujo del asfalto en el viscosímetro como se detalla en el Anexo A.
- 6.8 Cuando concluya el ensayo, límpiase completamente el viscosímetro mediante varios enjuagues con un solvente apropiado completamente miscible con la muestra, seguido por un solvente volátil. Séquese el tubo pasando una corriente lenta de aire seco y filtrado a través del capilar durante dos minutos, o hasta que la última traza de solvente sea removida. Límpiase periódicamente el viscosímetro con ácido crómico para remover depósitos orgánicos, enjuáguese completamente con agua destilada y con acetona libre de residuos y séquese con aire filtrado y seco.
- 6.9 Medir con tolerancia de 0,1 s, el tiempo requerido para que el borde guía del menisco pase por la primera hasta la segunda marca. Si este tiempo de flujo es menor que 60 segundos seleccionar un viscosímetro con diámetro capilar más pequeño y repita la operación.
- 6.10 Cuando se haya terminado el ensayo limpiar el viscosímetro hasta el fondo con varios enjuagues hasta que quede limpio el capilar, con solvente volátil. Alternativamente el capilar se puede limpiar en un horno que llegue a 500 °C, realizando varios enjuagues, con agua destilada o desionizada, acetona libre de residuo, y aire seco filtrada. Periódicamente limpiar el instrumento con un ácido concentrado o solución de limpieza para remover los depósitos orgánicos, enjuague a fondo con agua destilada o desionizada y con aire seca filtrada.

Nota 3. El horno de limpieza puede quemar los pegamentos que conecta el tubo viscosímetro del soporte.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcúlese la viscosidad cinemática con tres (3) cifras significativas empleando la siguiente ecuación:

$$\text{Viscosidad cinemática en mm}^2/\text{s} = Ct.$$

Donde:

C = Constante de calibración del viscosímetro, mm^2/s^2 (cSt/s)

t = Tiempo de flujo, s.

7.2 INFORME

7.2.1 Siempre se reporta la temperatura de ensayo con el resultado, por ejemplo:

Viscosidad cinemática a 60 °C = 75,6 mm^2/s (cSt).

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados se dan en la tabla 1

TABLA 1

Material y tipo de índice	Coefficiente de variación (%) de la media (1)	Diferencia aceptable entre dos resultados del ensayo (% de la media) (1)
Precisión de un solo operario		
Cemento asfáltico a 135 °C	0,64	1,8
Asfalto líquido a 60 °C:		
Por debajo de 3,000 mm^2/s , cSt	0,53	1,5
De 3,000 a 6,000 mm^2/s , cSt	0,71	2,0
Por encima de 6.000 mm^2/s , cSt	3,2	8,9
Precisión en varios laboratorios		
Asfalto sólido a 135 °C	3,1	8,8
Asfalto líquido a 60 °C:		
Por debajo de 3,000 mm^2/s , cSt	1,06	3,0
De 3,000 a 6,000 mm^2/s , cSt (2)	3,11	9,0
Por encima de 6,000 mm^2/s , cSt (2)	3,6	10,0

ANEXOS

A.1 **CALCULO DE LA VISCOSIDAD DINAMICA DE UN LIQUIDO NEWTONIANO**

La Viscosidad dinámica de un líquido newtoniano se calcula a partir de su viscosidad cinemática Multiplicada por la densidad del líquido a la temperatura de ensayo. Para asfaltos a 135 °C, la viscosidad puede determinarse convenientemente a partir del peso específico a 25/25 °C multiplicando por un factor 0,934 g/cm³; o a partir del peso específico a 15,5/15,5 °C multiplicando por un factor 0,931 g/cm³. Estos factores se basan en un coeficiente promedio de expansión para el cemento asfáltico de 0,00061/°C.

Cuando la gravedad específica del asfalto no es conocida, una determinación satisfactoria de la viscosidad a 135 °C puede obtenerse multiplicando la viscosidad cinemática a 135 °C por un peso unitario asumido de 0,948 g/cm³. Este valor de peso unitario es equivalente a un peso específico de 1,015 a 25/25 °C. Ensayos sobre un gran número de asfaltos indican que el error introducido por esta suposición no excederá de ± 3%.

A.2 **VISCOSIMETROS DE FLUJO INVERTIDO**

A.2.1 Objeto

Los viscosímetros de flujo invertido para líquidos transparentes y opacos, incluyen los viscosímetros Cannon-Fenske, el de brazo transversal Zeitfuchs, BS/IP/RF y el Lantz-Zeitfuchs. A diferencia del viscosímetro Ostwald modificado y los de nivel suspendido, la muestra de líquido fluye dentro de un bulbo para medir el tiempo, el cual no había sido humedecido anteriormente por la muestra, permitiendo así el cronometraje de líquidos cuyas películas delgadas sean opacas. Los viscosímetros de flujo invertido se emplean en la medida de viscosidades cinemáticas de líquidos opacos y transparentes hasta de 100,000 cSt.

A.2.2 Equipo

En las figuras 1 a 4 se muestran dibujos detallados de las dimensiones, constantes aproximadas, rango de viscosidad cinemática, diámetro capilar y volúmenes del bulbo para cada uno de los viscosímetros de flujo invertido. En este método, el intervalo de viscosidad cinemática se basa en un tiempo de flujo mínimo de 60 s, a diferencia de otros ensayos en donde los rangos de viscosidad se basan en un tiempo de flujo mínimo de 200 s.

A.2.3 Instrucciones de Operación

En el numeral 6 se ha descrito un procedimiento normalizado de operación. Algunas instrucciones adicionales de operación para viscosímetros de flujo invertido, se muestran rápidamente en los párrafos siguientes, con énfasis en procedimientos específicos para un instrumento en particular o para este grupo de instrumentos:

A.2.3.1 Escójase un viscosímetro limpio y seco, que dé un tiempo de flujo mayor de 60 s.

A.2.3.2 Cárguese el viscosímetro de la manera indicada por el diseño del instrumento; esta operación debe estar de acuerdo con la empleada en la calibración del mismo. Si la muestra puede contener hilachas, partículas sólidas, etc., fíltrese como se indica en el método D 445 de la ASTM.

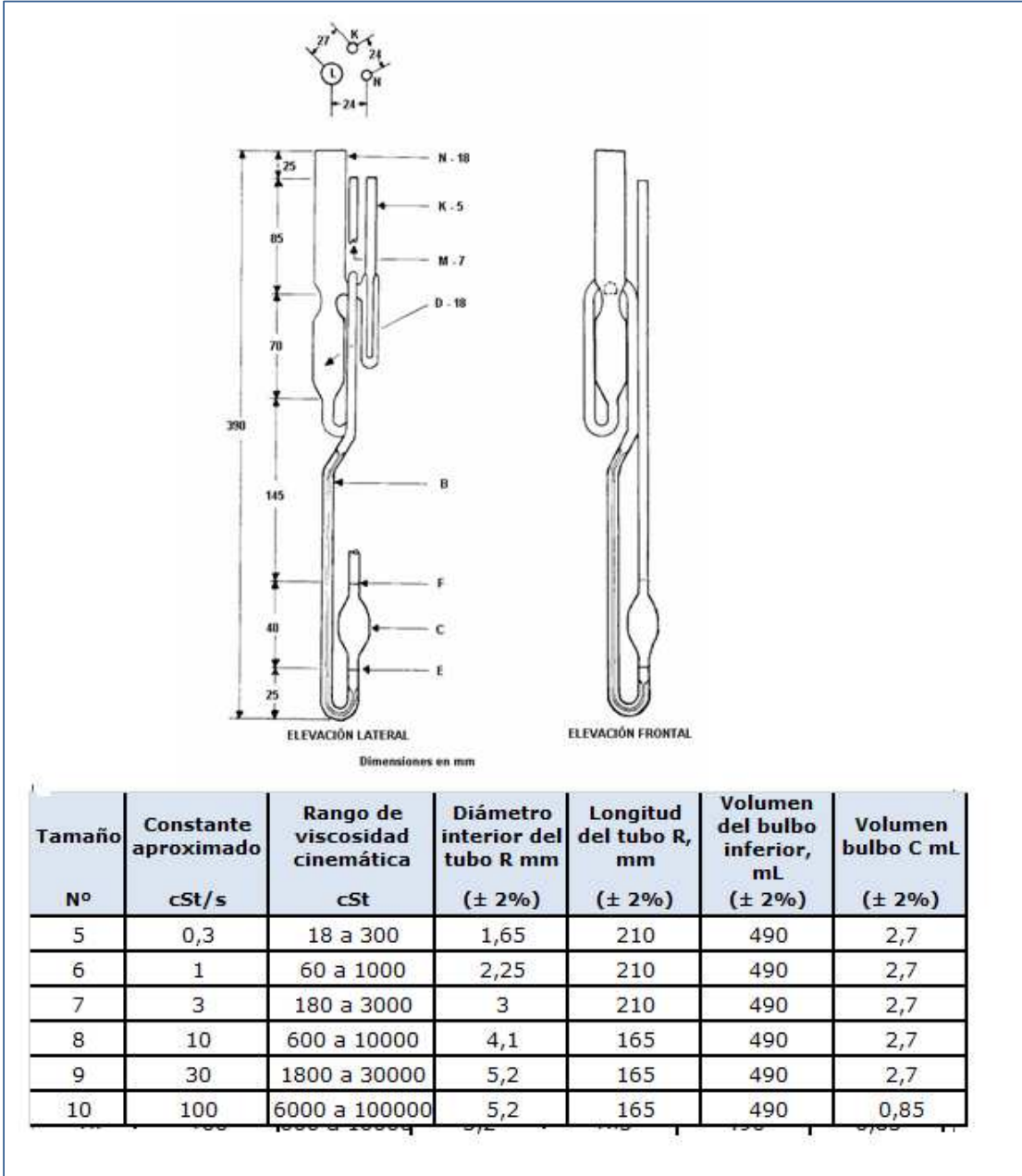
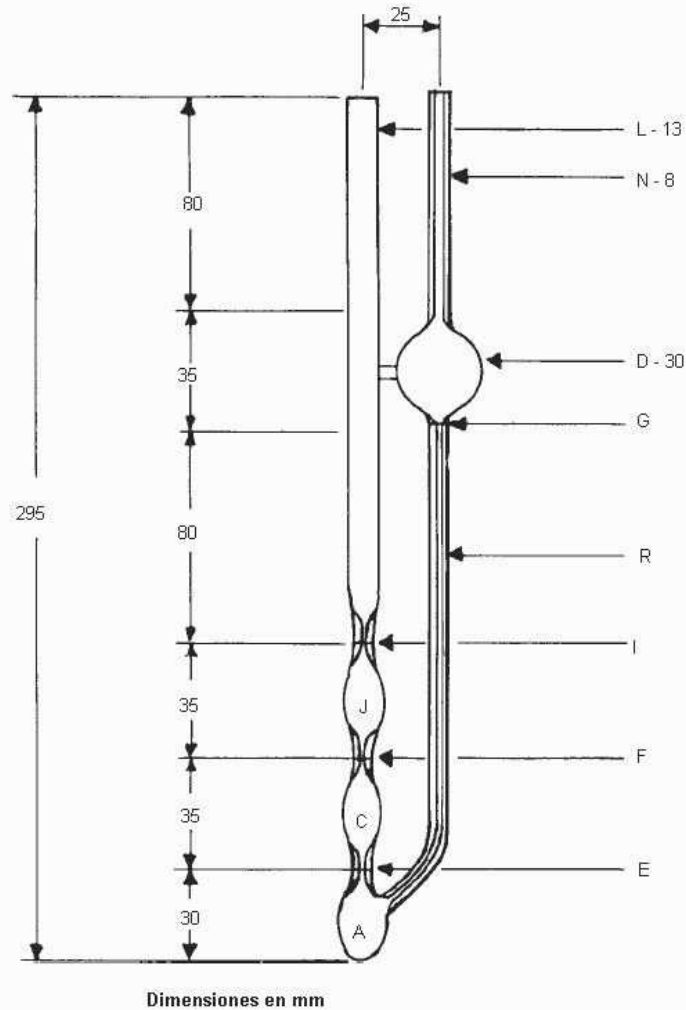


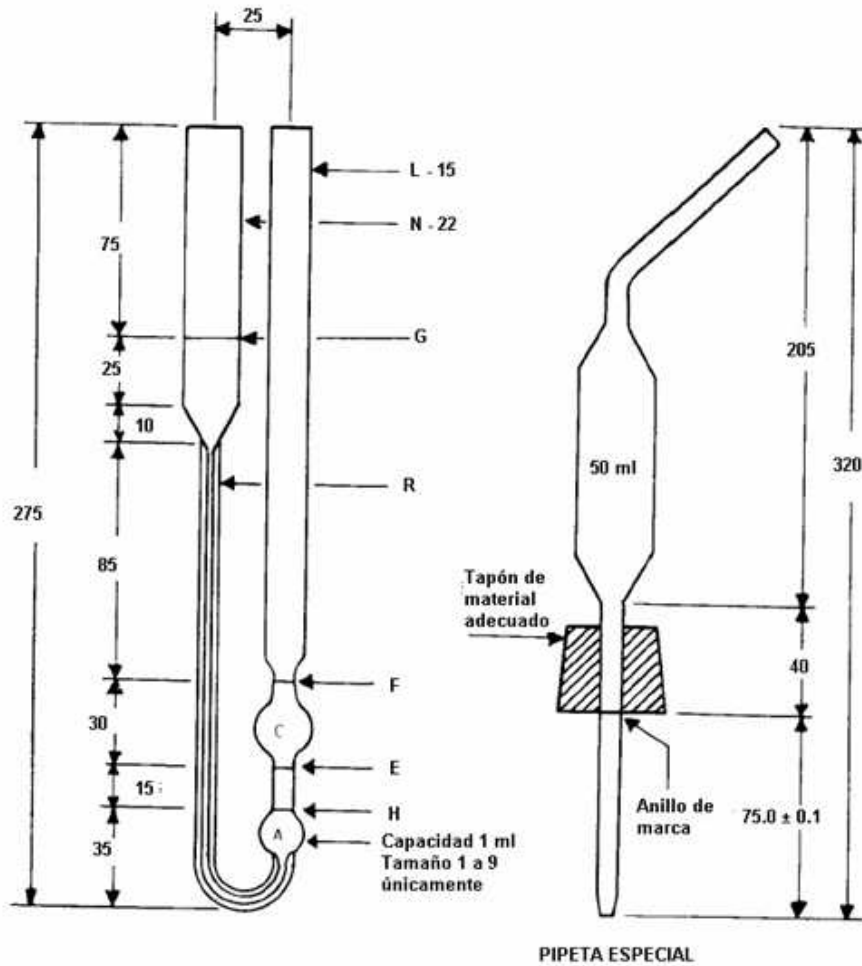
Figura 1. Viscosímetro de flujo invertido tipo Lantz-Zeitfuchs para líquidos opacos



Dimensiones y rangos de viscosidad cinemática

Tamaño No.	Constante aproximada, mm ² /s (cSt/s)	Rango de viscosidad cinemática, mm ² /s (cSt)	Diámetro interno del tubo R, mm (± 2%)	Diámetro interno del tubo N y G, tubos E, F e I, mm (± 5%)	Volumen de bulbos A, C y J, ml (± 5%)	Volumen del bulbo D, ml (± 2%)
200	0,1	6 a 100	1,02	3,2	2,1	11
300	0,25	15 a 250	1,26	3,4	2,1	11
350	0,5	30 a 500	1,48	3,4	2,1	11
400	1,2	72 a 1200	1,88	3,4	2,1	11
450	2,5	150 a 2500	2,2	3,7	2,1	11
500	8	480 a 8000	3,1	4	2,1	11
600	20	1200 a 20000	4	4,7	2,1	13

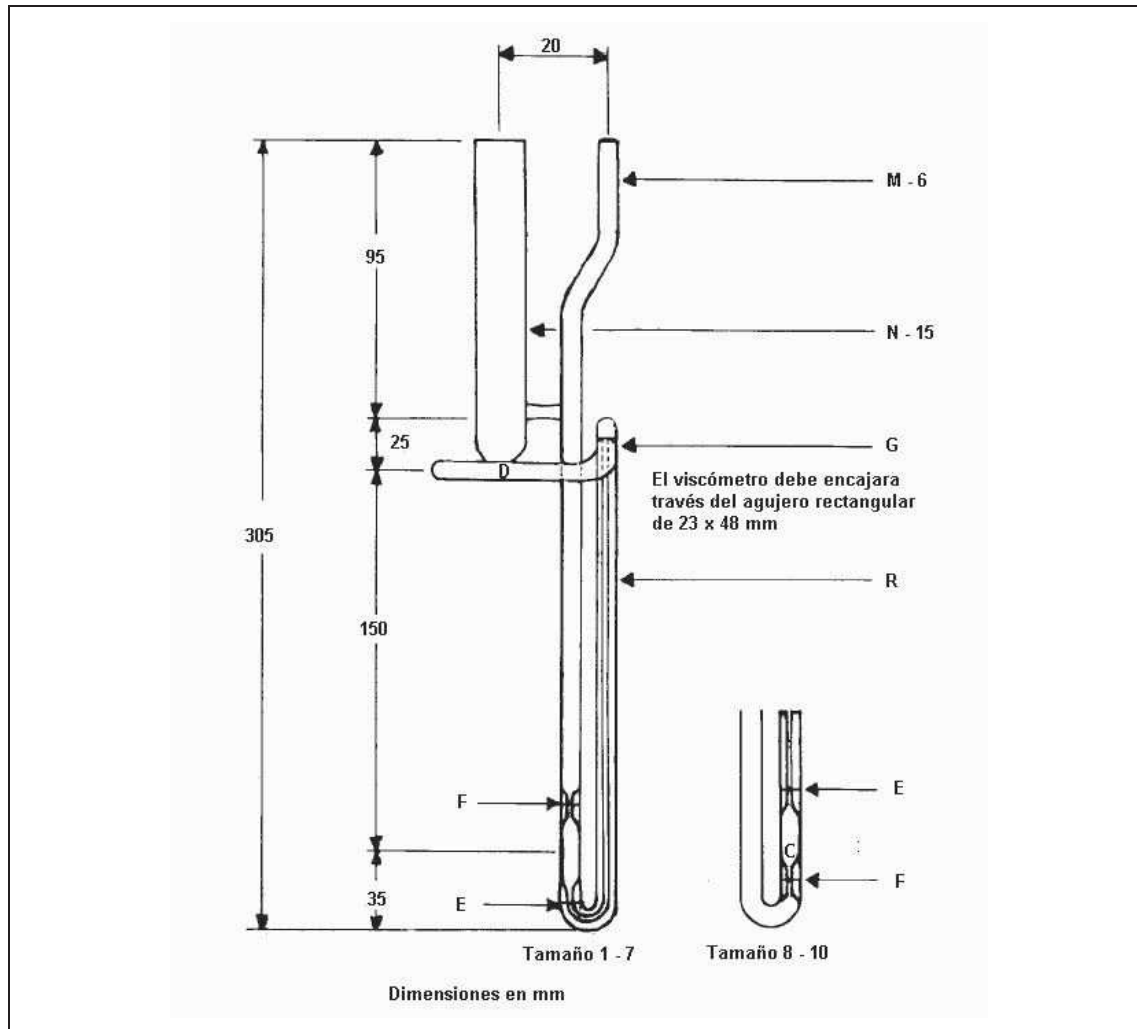
Figura 2. Viscosímetro Canon – Fenske para líquidos opacos y transparentes



Dimensiones en mm

Tamaño No.	Constante aproximada, mm^2/s (cSt/s)	Rango de viscosidad cinemática, mm^2/s (cSt)	Diámetro interno del tubo R, mm ($\pm 2\%$)	Longitud del tubo R, mm ($\pm 2\%$)	Diámetro interno de E, F y G, mm ($\pm 2\%$)	Volumen bulbo C mL ($\pm 5\%$)
4	0,1	6 a 100	1,26	185	3,0 a 3,3	4
5	0,3	18 a 300	1,64	185	3,0 a 3,3	4
6	1	60 a 1000	2,24	185	3,0 a 3,3	4
7	3	180 a 3000	2,93	185	3,3 a 3,6	4
8	10	600 a 10000	4	185	4,4 a 4,8	4
9	30	1800 a 30000	5,5	185	6,0 a 6,7	4
10	100	6000 a 100000	7,7	210	7,7	4
11	300	8000 a 30000	10	210	10	4

Figura 3. Viscosímetro BS/IP/RF de tubo en U y de flujo invertido para líquidos opacos



Tamaño No.	Constante aproximada, mm ² /s (cSt/s)	Rango de viscosidad cinemática, mm ² /s (cSt)	Diámetro interno del tubo R, mm (± 2%)	Longitud del tubo R mm (± 2%)	Volumen del bulbo inferior mL (± 5%)	Diámetro de tubo horizontal mm (± 5%)
4	0,1	6 a 100	0,64	210	0,3	3,9
5	0,3	18 a 300	0,84	210	0,3	3,9
6	1	60 a 1000	1,15	210	0,3	4,3
7	3	180 a 3000	1,42	210	0,3	4,3
8	10	600 a 10000	1,93	165	0,25	4,3
9	30	1800 a 30000	2,52	165	0,25	4,3
10	100	6000 a 100000	3,06	165	0,25	4,3

Figura 4. Viscosímetro de brazo transversal Zeitfuchs para líquidos transparentes y opacos

- Para cargar el viscosímetro opaco Cannon-Fenske, inviértase el viscosímetro y aplíquese succión al tubo L, sumergiendo el tubo N en la muestra de líquido y llenando el bulbo D hasta la marca de llenado G límpiase el exceso de muestra del tubo N y colóquese el viscosímetro en posición normal. Colocar el viscosímetro en el baño de temperatura constante manteniendo vertical el tubo L. Cuando la muestra pase a través de R, llénese el bulbo A aproximadamente hasta la mitad, y deténgase el flujo conectando un tapón en el tubo L.

- Colocar el viscosímetro Zeitfuchs de brazo transversal en el baño de temperatura constante manteniendo vertical el tubo N. Introdúzcase muestra a través del tubo N, teniendo cuidado de no humedecer los lados de dicho tubo, dentro del brazo transversal D hasta que el borde guía esté dentro de 0,5 mm de la marca de llenado G sobre el tubo sifón.
 - Móntese el viscosímetro Lantz-Zeitfuchs en el baño de temperatura constante, manteniendo vertical el tubo N. Introdúzcase muestra suficiente a través del tubo N hasta llenar completamente el bulbo D, añadir un ligero exceso dentro del bulbo K. Si la muestra está a una temperatura por encima de la del ensayo, espérense 15 minutos para que la muestra en el viscosímetro alcance la temperatura del baño y adicionar más muestra para que rebose ligeramente dentro del bulbo K.
 - Móntese el viscosímetro BS/IP/RF en el baño de temperatura constante manteniendo vertical el tubo L. Viértase la muestra a través del tubo N hasta un punto exactamente por encima de la marca de llenado G; permítase que la muestra fluya libremente a través del capilar R, teniendo cuidado de que la columna del líquido permanezca sin romperse, hasta que el menisco inferior esté cerca de 5 mm por debajo de la marca de llenado H y deténgase entonces su flujo cerrando el tubo de medición de tiempo con un tapón de corcho o de caucho en el tubo L. Si fuere necesario, agréguese más líquido para llevar el menisco superior ligeramente por encima de la marca G. Después de permitir que la muestra alcance la temperatura del baño (véase párrafo siguiente) y que cualquier burbuja de aire alcance la superficie, suéltese suavemente el tapón permitiendo que la muestra fluya hasta la marca de llenado inferior H y deténgase el flujo de nuevo. Remuévase el exceso de muestra por encima de la marca de llenado G, insertando la pipeta especial hasta que su corcho permanezca sobre la parte superior del tubo N y aplicando suavemente succión hasta que el aire suba a través de la pipeta. El menisco superior deberá coincidir con la marca G.
- A.2.3.3 Permita que el viscosímetro permanezca en el baño a temperatura constante el tiempo suficiente que asegure que la muestra alcance la temperatura de equilibrio (mínimo 10 minutos, máximo 30 minutos).
- A.2.3.4 Para los viscosímetros Cannon-Fenske y BS/IP/RF, remuévase el tapón en el tubo L y déjese que la muestra fluya por gravedad. Para el viscosímetro de brazo transversal Zeitfuchs, aplíquese un ligero vacío al tubo M o una ligera presión al tubo N para hacer que el menisco se mueva sobre el tubo sifón y alrededor de 30 mm por debajo del nivel del tubo D en el capilar R; de esta forma se inicia el flujo por gravedad. Para el viscosímetro Lantz-Zeitfuchs, aplíquese un ligero vacío al tubo M (o presión al tubo N con el tubo K cerrado) hasta que el menisco inferior este opuesto a la marca inferior de tiempo E; déjese que la muestra fluya por gravedad.
- A.2.3.5 Mídase, con una precisión de 0,1 s, el tiempo requerido para que el menisco pase de la marca de tiempo a la marca F, tal como se indica en el numeral 4.
- A.2.3.6 Calcúlese la viscosidad de acuerdo con el numeral 7 de este método.

A.3 CALIBRACION DE VISCOSIMETROS

A.3.1 Objeto

Este anexo describe los materiales y procedimientos usados para calibrar, o verificar la calibración, de los viscosímetros empleados en este método.

A.3.2 Materiales de Referencia

Viscosidades de aceites estándar de conformidad con las Normas ASTM, que tienen viscosidades cinemáticas aproximadas mostradas en la Tabla 2. Los valores certificados de viscosidad cinemática que se establezcan, son suministrados con cada muestra.

Tabla 2
Estándares de viscosidad de aceites

Estándares de viscosidad de aceites ASTM	Viscosidad cinemática aproximada, cSt		
	A 37,8 °C	A 50 °C	A 99 °C
S 60	60	----	----
S200	200	----	----
S600	600	280	32
S2000	2000	----	----
S8000	8000	----	----
S30000	27000	11000	----

A.3.3 Calibración

A.3.3.1 Calibración del viscosímetro de rutina utilizando líquidos de viscosidad normal: seleccionar de la Tabla 2 un líquido estándar que tenga un tiempo de flujo mínimo de 200 s a la temperatura de calibración, preferiblemente 37.8 °C. Determínese el tiempo de flujo con aproximación a 0.1 s mediante el procedimiento descrito en el numeral 6 y calcúlese la constante del viscosímetro C, en la siguiente forma.

$$C = \frac{V}{t}$$

Donde:

V = Viscosidad para el líquido estándar, cSt

t = Tiempo de flujo S.

A.3.3.2 La constante del viscosímetro es independiente de la temperatura para los viscosímetros Zeitfuchs de brazo transversal Lantz-Zeitfuchs y BS/IP/RF de tubo en U.

A.3.3.3 El viscosímetro Cannon-Fenske para líquidos opacos tiene un volumen fijo de muestra cargada a la temperatura de llenado. Si la temperatura de ensayo difiere de la del llenado, la constante del viscosímetro se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Constante del viscosímetro, } C_t = C_o [1 + F (T_t - T_f)]$$

Donde:

C_o = Constante del viscosímetro cuando se llena y ensaya a la misma temperatura.

T = Temperatura.

F = Factor de dependencia de la temperatura (véase párrafo siguiente)

t, f = Subíndices de valores a la temperatura de ensayo y la temperatura de llenado, respectivamente.

A.3.3.4 Calcúlese el factor que hace que la constante dependa de la temperatura, mediante la siguiente expresión:

$$F = 4 \cdot \alpha \cdot \frac{V}{\pi} \cdot d^2 \cdot h$$

$$F = \left[4 \cdot V \cdot \frac{(\rho_f - \rho_t)}{\pi \cdot d^2 \cdot h \cdot \rho_t \cdot (T_t - T_f)} \right]$$

Donde:

- V = Volumen de carga, cm³.
- d = Diámetro promedio, en cm, del menisco, en el recipiente superior.
- h = Cabeza promedio guía, cm.
- a = Coeficiente de expansión térmica de la muestra de ensayo entre la temperatura de llenado y la temperatura de ensayo.
- ρ = Densidad, g/cm³.
- t, f = Valores de las temperaturas de ensayo y de llenado respectivamente.

- A.3.3.5 Si el viscosímetro se usa en un sitio diferente del laboratorio de calibración, la constante C debe corregirse debido a la diferencia de la aceleración de la gravedad g, de la siguiente manera:

$$C_2 = (g_2 / g_1) \times C_1$$

Donde:

- C₂ = Constante de calibración en el laboratorio de ensayo.
- C₁ = Constante de calibración en el laboratorio de calibración.
- g₂ = Aceleración de la gravedad en el laboratorio de ensayo.
- g₁ = Aceleración de la gravedad en el laboratorio de calibración.

Los certificados para viscosímetros deben establecer el valor de g en el sitio del laboratorio de calibración. La falta de corrección de la gravedad puede ocasionar errores del 0,2%.

- A.3.3.6 Calibración de viscosímetros de rutina por medio del viscosímetro estándar: seleccione cualquier aceite de petróleo que tenga un tiempo de flujo de por lo menos 200 s. Escójase también un viscosímetro estándar de constante C conocida. Este viscosímetro puede ser un viscosímetro patrón que ha sido calibrado por medio de un ensamblaje con viscosímetros de diámetros sucesivamente mayores, iniciando con agua destilada a la viscosidad básica normal (véase método ASTM D 2162) o uno de rutina del mismo tipo que ha sido calibrado mediante comparación con el viscosímetro patrón.

Móntese el viscosímetro estándar conjuntamente con el viscosímetro que va a ser calibrado en el mismo baño y determínese el tiempo de flujo del aceite mediante el procedimiento descrito en el numeral 6.

Calcúlese la constante C, como sigue.

$$C_1 = (t_2 \times C_2) / t_1$$

Donde:

- C₁ = Constante C del viscosímetro de rutina.
- t₁ = Tiempo de flujo con aproximación a 0,1 s en el viscosímetro de rutina.
- C₂ = Constante C del viscosímetro estándar.
- t₂ = Tiempo de flujo con aproximación a 0,1 s en el viscosímetro estándar.

MTC E 311**PUNTO DE FRAGILIDAD FRAASS****1.0 OBJETO**

- 1.1 Describe el procedimiento para la determinación del punto de fragilidad (Fraass) de los materiales bituminosos.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Se define como punto de fragilidad Fraass a la temperatura en °C a la cual se observa la primera fisura ó el primer rompimiento en la superficie de la película asfáltica a causa de la rigidez que va adquiriendo el material al enfriarse.
- 2.2 El ensayo se aplica a aquellos materiales de consistencia sólida y semisólida y consiste en someter una película del material que recubre una placa de acero, a ciclos sucesivos de flexión a temperaturas decrecientes.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NLT 182/99: "Punto de Fragilidad Fraass de los Materiales Bituminosos".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Mecanismos de flexión. Está formado por dos tubos concéntricos A, uno exterior fijo y otro interior móvil, construidos con un material aislante, Como vidrio Pírex o porcelana. En su parte inferior cada tubo termina en una mordaza de acero y sólidamente fijada al mismo y separada una distancia máxima de $40 \pm 0,1$ mm la una de la otra. El tubo interior móvil lleva en la zona comprendida entre las mandíbulas, unas acanaladuras longitudinales, con el fin de que el bulbo del termómetro que va alojado en su interior quede al descubierto. En su parte superior, dicho tubo está unido con una espiga metálica que, apoyada sobre un cono gobernado por la manivela C, sirve para mover al tubo móvil en relación con el fijo, modificando así la distancia entre las mordazas. De 10 a 12 vueltas de esta manivela deben producir un acortamiento entre las mismas de $3,5 \pm 0,1$ mm, desde un máximo de $40,0 \pm 1$ mm (Figura 1).
- 4.1.2 Placas de ensayo. Son láminas elásticas planas, de acero inoxidable y forma rectangular, con las siguientes dimensiones: longitud de $41 \pm 0,05$ mm, ancho de $20 \pm 0,2$ mm y espesor de $0,15 \pm 0,02$ mm. Cuando no se utilicen, las placas deben guardarse de modo que queden apoyadas sobre una superficie plana.
- 4.1.3 Dispositivo de enfriamiento. Está formado por un tubo ancho de vidrio E, colocado excéntricamente en el interior de un segundo tubo también de vidrio y de mayor diámetro G, por medio de un tapón de caucho F, atravesado a su vez por un pequeño embudo H. El conjunto va suspendido mediante un tapón de caucho o corcho en el interior de un tercer tubo de vidrio de mayor diámetro, K. Todos los tubos están cerrados en su parte inferior: en el fondo de los denominados como E y K se coloca una pequeña cantidad de un producto desecante, como cloruro de calcio o anhídrita. El mecanismo de flexión se aloja en el interior del tubo E por medio de un tapón de caucho D. Los tubos G y K pueden sustituirse por un vaso Dewar no plateado, de dimensiones apropiadas (Figura 2).

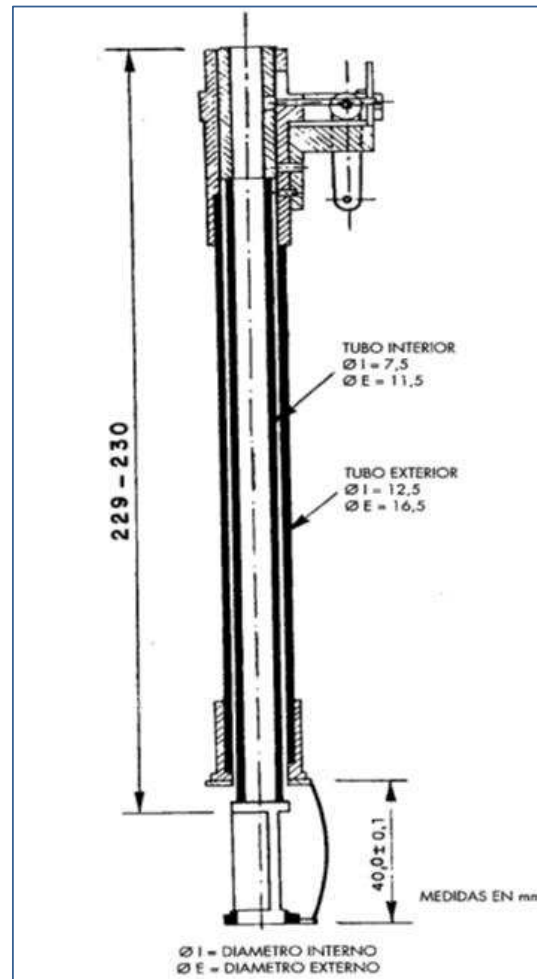


Figura 1. Mecanismo de Flexión

4.1.4 Termómetro. Un termómetro de varilla, con bulbo cilíndrico y con las siguientes características:

Escala	: -38 C a 80 C
Graduación	: 0,5 -C
Inmersión (mm)	: 250
Longitud total (mm)	: 370 ± 10
Longitud del bulbo (mm)	: 10 a 16
Diámetro de la varilla (mm)	: 6,0 a 7,0
Diámetro de bulbo (mm)	: No mayor que el de la varilla
Longitud de la parte graduada (mm)	: No menor de 60
Error máximo de la escala	: $\pm 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

La escala del termómetro deberá ir marcada con líneas más largas cada 1 °C y numerada cada 5 °C. La cámara de expansión deberá permitir un calentamiento del termómetro hasta 80 °C. Además, y para la correcta inmersión del termómetro en el aparato, la varilla deberá llevar un ensanchamiento uniforme de 8 a 10 mm de diámetro y a una distancia del fondo del bulbo de 250 ± 2 mm.

Nota 1. Para las restantes características del termómetro, puede consultarse la especificación del Instituto del Petróleo 42 C.

4.1.5 Placa de calefacción y apoyo. Para extender la muestra de manera uniforme sobre la placa de ensayo, se utilizará una placa metálica de unos 5 mm de espesor y cuya cara superior sea

perfectamente plana. Esta placa irá montada sobre un trípode con tornillos de nivelación, provisto de una plancha deflectora del calor, de 1 a 2 mm de grosor y situada a unos 50 mm de la cara superior de la placa de calentamiento.

5.0 MUESTRA

5.1 Si la muestra contiene agua, se le elimina mediante calentamiento uniforme a una temperatura que no exceda de 130°C y con agitación constante.

5.2 Para materiales con punto de ablandamiento inferior a 70°C, sobre una placa de ensayo plana, limpia, seca tarada y colocada sobre la placa de calefacción perfectamente nivelada, se deposita una cantidad de muestra que corresponda a un volumen a la temperatura ambiente de $0,40 \pm 0,01 \text{ cm}^3$.

Nota 2. En materiales asfálticos normales, sin aditivos, de peso específico a 25/25 °C comprendido entre 0,99 y 1,07; puede pesarse una cantidad de muestra de $0,40 \pm 0,01 \text{ g}$.

5.3 Se empieza a calentar en forma suave la placa de calefacción para que la muestra se vaya extendiendo por la placa de ensayo, pudiendo ayudarse para esta operación de un alambre fino (Nota 3), hasta que esta última quede completa y uniformemente cubierta. Se deja horizontal y en caliente durante un corto tiempo para conseguir una superficie lisa del material. Se enfría la placa y se pesa de nuevo.

Nota 3. No es recomendable para facilitar la extensión de la muestra inclinar momentáneamente la placa de calefacción, por la posibilidad de pérdida de la horizontalidad final que ello implica.

5.4 Materiales con punto de ablandamiento superior a 70 °C.

Sobre una placa plana, limpia, seca, tarada y colocada sobre la placa de calefacción perfectamente nivelada, se deposita una cantidad de muestra que corresponda a un volumen a la temperatura ambiente de $0,40 \pm 0,01 \text{ cm}^3$ (Nota 2).

5.5 Se comienza a calentar en forma suave la placa de calefacción, hasta que la muestra sobre la placa de ensayo alcance la consistencia apropiada para dejarse moldear por los dedos, pero sin que se adhiera a estos. Se extiende así la muestra hasta cubrir toda la placa, dejándola finalmente en reposo y en caliente hasta obtener una superficie uniforme de material. Se deja enfriar la placa y se pesa de nuevo.

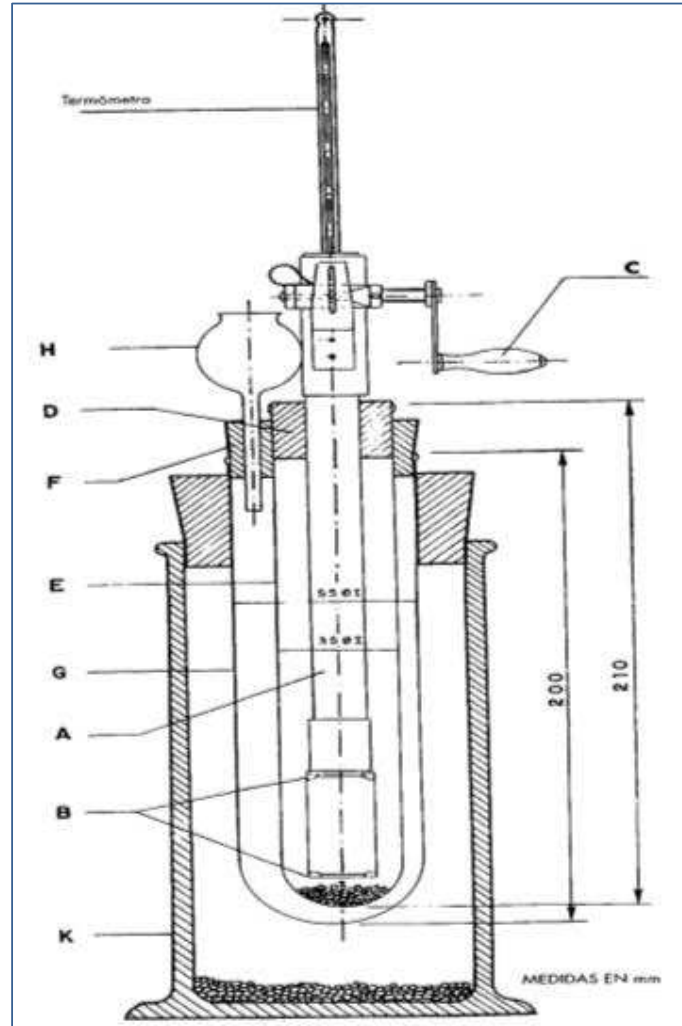


Figura 2. Conjunto del Aparato

- Nota 4.** En materiales asfálticos con elevado punto de ablandamiento o muy volátiles puede ser aconsejable, en la preparación de las placas de ensayo, emplear una prensa con dos bloques metálicos y cuya temperatura puede controlarse, de caras planas y paralelas, entre los cuales se coloca la placa de ensayo con una cantidad de muestra algo superior a la especificada. Mediante espaciadores o rebajes superficiales en alguno de los bloques, se comprime y extiende el material hasta que tenga el espesor calculado correspondiente al volumen especificado. Para evitar que el material se adhiera a las caras de la prensa, pueden interponerse láminas de celofán virgen, que se despegan posteriormente de la muestra por inmersión en agua fría. Finalmente, se recorta el exceso de material que sobresalga de la placa de ensayo.
- 5.6 Para la eliminación de burbujas eventuales en la película del material, se recomienda un enfriamiento brusco de la muestra, comprimiéndola con hielo seco y calentando posteriormente para obtener una superficie lisa y uniforme.
- 5.7 En general, es recomendable para evitar alteraciones en la composición de las muestras, que los periodos de calentamiento no excedan de 10 minutos ni que la temperatura del material exceda en 70 a 80 °C de la de su punto de ablandamiento. En ningún caso se permitirá que el material sobre la placa de ensayo pueda desprender vapores.

- 5.8 Se preparará un mínimo de 3 placas de ensayo por material, las cuales, una vez preparadas, se dejarán en reposo en posición horizontal y resguardada del polvo, debiendo ensayarse entre 1 y 4 horas después de su preparación.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se llena hasta la mitad de su altura el espacio anular entre los tubos E y G con alcohol o acetona. Después de comprobar y si fuere el caso, ajustar las distancias máxima y mínima entre las mordazas del aparato de flexión, según el numeral 4.1.1, se monta, curvando suavemente, la placa que se va a ensayar entre ambas mordazas y se coloca el aparato en el interior del tubo E. Después de dejar el termómetro en el interior del tubo móvil, se comienza a añadir hielo seco a la acetona (líquido de enfriamiento) a través del embudo, regulando su adición de manera que se logre un descenso uniforme de la temperatura a una rata de 1 °C por minuto. Cuando se alcance una temperatura superior al menos en 10 °C a la supuesta para el punto de fragilidad, se realiza cada minuto una prueba de flexión, girando la manivela a la velocidad de una vuelta por segundo hasta el tope final y volviéndola a girar sin interrupción en sentido contrario y a la misma velocidad, hasta volver a la posición inicial.
- 6.2 Se observa y anota la temperatura a la cual aparece la primera fisura o la primera rotura a la flexión en la superficie del material.
- 6.3 Para la mejor apreciación del punto de fragilidad, es conveniente iluminar la muestra con una lámpara de 10 W, convenientemente colocada a unos 100 mm de distancia para iluminar su superficie y la cual deberá encenderse únicamente durante la flexión.

7.0 CALCULOS E INFORME

- 7.1 Reportar el Punto de Fragilidad Fraass a la temperatura en °C obtenida como valor medio de tres determinaciones que no difieran en más de 3°C. Expresar el resultado con aproximación de 1 °C.

8.0 PRECISION Y DISPERSIÓN

- 8.1 Repetibilidad. Los ensayos realizados por duplicado por un mismo operador y equipo y sobre una misma muestra, no deberán diferir en más de 2°C.

Nota 5: No se han establecido aún los límites de reproducibilidad del ensayo.

MTC E 312

PUNTO DE INFLAMACION MEDIANTE LA COPA ABIERTA TAG

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el punto de inflamación de asfaltos líquidos que tengan punto de inflamación menores de 93,3 °C mediante el aparato de copa abierta TAG.

Nota 1. Generalmente las especificaciones asignan el método de la copa abierta Cleveland para asfaltos sólidos y asfaltos líquidos que tengan puntos de inflamación por encima de 79,5 °C

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método es utilizado en la determinación del rango deseado de inflamación de un asfalto rebajado (cutback) preparado con solventes que cumplen con un rango de inflamación, y que el producto no sea contaminado con los puntos de solventes en un bajo punto de inflamación.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 3143: "Standard Test Method for Flash Point of Cutback Asphalt with Tag Open Cup Apparatus".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Probador de Inflamación; copa abierta TAG, (Figura 1) como se describe el anexo A.1.
- 4.1.2 Protector como se describe detallado en el anexo A.1.
- 4.1.3 Termómetros. Un termómetro Martes Pensky de bajo rango (- 7 a 110°C) conforme con los requerimientos para termómetro 9C será usado como esta descrito en la especificación E-1.

4.2 PREPARACION DEL EQUIPO Y ENSAMBLAJE

- 4.2.1 El equipo: copa abierta TAG deberá colocarse en una posición a nivel sobre una mesa sólida, libre de vibraciones, en un lugar aislado de corrientes de aire, o bien contra la parte oscura de un protector de corrientes de aire como el descrito en el anexo A.1. La parte superior del probador deberá protegerse de la luz fuerte, de tal manera que la llama pueda ser fácilmente vista. Durante el ensayo, deberá mantenerse una temperatura ambiente de 25 ± 5 °C.
- 4.2.2 Ajústense las posiciones horizontales y verticales del aplicador de la llama de ensayo. El centro del orificio del aplicador deberá moverse sobre una circunferencia que tenga un radio de 152 mm y un plano a nivel a 3,2 mm por encima del borde exterior de la copa. La llama de ensayo deberá pasar a través del centro de la copa. Estos ajustes deberán hacerse únicamente cuando se requieran, ya que usualmente el aparato se emplea continuamente para series de ensayos.

Nota 2. El dispositivo de nivelación es empleado como un calibrador para ajustar la altura del aplicador.

- 4.2.3 Establecer el lugar alrededor de todo el probador que formen ángulos rectos entre sí, y si el probador está bien hacia la parte del protector. Si el lugar de trabajo está en un lugar cubierto o libre de inflamación entonces el protector no será necesario.

4.3 REACTIVOS

- 4.3.1 Agua para punto de inflamación a 79 °C.
- 4.3.2 Solución con agua glycol (1 + 1) para puntos de inflamación por encima de los 79 °C.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Se utilizara asfaltos rebajados (cutback).

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Colocar la copa de vidrio en el baño metálico y ajústese el soporte del termómetro de tal manera que éste quede firmemente soportado en una posición vertical, en la mitad entre el centro y la pared de la copa, y sobre una línea que pase a través del centro de la copa y del eje de rotación del aplicador. Colóquese el termómetro de tal manera que su extremo inferior se halle a 6,4 mm por encima del fondo interior de la copa.

6.2 Llénese el recipiente metálico con agua (fría de grifo), o con solución de agua-glicol que tenga una temperatura al menos de 16,5 °C por debajo del punto de llama probable del material que va a ser ensayado. El agua fría de grifo es satisfactoria en muchos casos cuando se emplea agua y puede llenarse dentro recipiente, hasta que un ligero exceso de flujo se note en el pico de rebose. El recipiente deberá llenarse hasta un nivel aproximadamente de 3,2 mm a partir de la parte superior, cuando la copa de ensayo está en su sitio.

6.3 Colocar el dispositivo metálico de nivelación sobre el borde de la copa y llénese ésta con el material que va a ser ensayado, hasta que el nivel toque exactamente los indicadores del dispositivo de nivelación (éste deberá ser aproximadamente de 3,2 mm por debajo del borde de la copa).

Nota 3. El nivel del dispositivo esta acondicionado a la altura de la llama de la vela.

Nota 4. La muestra deberá estar al menos 11° C por debajo del punto de inflamación.

6.4 Enciéndase la llama de ensayo, ajústese hasta aproximadamente el mismo tamaño que la esfera-patrón o el agujero de referencia en el dispositivo de nivelación, pero nunca mayor de 4mm.

Nota 5. Algunos instrumentos tiene el agujero de 4mm en el aparato para la comparación en vez del punto de mira.

6.5 Aplicar calor al baño de tal manera que la temperatura de la muestra se eleve a la velocidad de $1 \pm 0,25$ °C por minuto.

Nota 6. Cuando estas determinando el punto de inflamación o punto de llama o ambos de asfaltos diluidos los líquidos tienden a formar una película en la superficie siguiendo el procedimiento dado. Cerca de 15 segundos antes de que la vela pase sobre la superficie, insertar una varilla por el extremo para agitar el fondo a 13 mm de aproximadamente en posición vertical. Mover de lado a lado del extremo de la copa, pasar de tres cuatro veces siguiendo el camino de la vela, mover continuando el ensayo.

6.6 Comience en un punto de $13,8 \pm 2,8$ °C por debajo del punto de inflamación, realizar un ajuste final en la muestra que está en la copa. (una jeringa o gotero de medicina proporciona un medio conveniente de añadir o remover la muestra de la copa), en intervalos sucesivos pasar la vela por ignición a través de la muestra con un movimiento continuo, de tal manera que el tiempo de cada paso sea 1 segundo. El primer pase debe ser inmediatamente después que haya pasado el nivel de ajuste.

Nota 7. Cada paso debe ser hecho solo en una dirección, debe estar apagado en uno o el otro extremo, excepto cuando este en movimiento y la llama de la vela este aplicándose en la muestra.

6.7 registrar la temperatura del termómetro en el tiempo en que la aplicación de la llama de la vela causa un relámpago visible en el interior de la copa de ensayo.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME

7.1.1 Informar la temperatura mas baja en grados Celsius °C, en que se ha notado el primer relámpago en la copa TAG abierta de punto inflamación.



8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 Para un mismo operador la desviación estándar se ha encontrado que es de 3,7 °C, por lo tanto los resultado de la segunda prueba con un mismo operador, mismo asfalto, no debería diferir por mas que 10 °C.
- 8.1.2 Para una prueba interlaboratorio mismo operador la desviación estándar se ha encontrado que es de 5,4 °C, por lo tanto los resultado de la segunda prueba con un mismo operador, dos diferentes operadores con un mismo asfalto, no debería diferir por mas que 15 °C.

ANEXO

EQUIPOS

- A.1. Equipo de ensayo copa abierta de TAG – (Figura 1). Este aparato está conformado por las siguientes partes:
- A.1.1 Un baño de cobre que estará equipado con un rebosadero a nivel colocado en tal forma que mantenga constante el nivel del líquido, a 3,2 mm por debajo del borde superior de la copa de vidrio. (Figura 2).
 - A.1.2 Un soporte del termómetro, montado sobre el equipo de ensayo, como se muestra en la Figura 1; deberá mantener firmemente el termómetro, en posición vertical.
 - A.1.3 La copa de ensayo (Figura 2), de vidrio claro, moldeado, recocido, resistente al calor y libre de defectos superficiales.

Para ajuste adecuado del nivel de líquido en la copa, se dispondrá de un medidor de nivel lleno, que deberá estar fabricado con algún metal disponible, al menos con 3,2 mm de espesor, con dos proyecciones para ajustar el nivel del líquido en la copa de vidrio, hasta $3,18 \pm 0,25$ mm por debajo del borde superior de rebose de la copa. También tendrá dos agujeros que se pueden emplear para ajustar el tamaño de la llama de ensayo, y para calibrar la altura del aplicador de ésta por encima del borde de la copa. (Ver Figura 3).

El quemador será de gas, pequeño, de dimensiones adecuadas para calentar el baño. Se puede emplear una abrazadera de tornillos para ayudar a regular el gas. También, se puede emplear un calentador eléctrico pequeño, controlado mediante un transformador de potencia variable.

El aplicador de la llama de ensayo consistirá en un pequeño quemador de gas tipo soplete. La boquilla del aplicador deberá ser aproximadamente de 1,6 mm de diámetro. El aplicador se deberá mantener en un plano horizontal, por encima de la copa de ensayo, mediante un dispositivo de eslabón giratorio en una circunferencia que tenga un radio de al menos 152,4 mm.

Es conveniente instalar una pequeña esfera-patrón de 4,0 mm sobre algún soporte del equipo, de manera que la llama de ensayo se pueda comparar con ésta. Si se monta sobre el aplicador de la llama de ensayo, una parte de la punta de la boquilla, se deberá extender al menos 3 milímetros más allá de la esfera.

Se puede colocar un protector de corrientes de aire, con dos hojas rectangulares de material no combustible de 610 x 710 mm unidos por el lado de 710 mm, preferiblemente mediante bisagras. Una hoja triangular de 610 x 610 x 860 mm se fija mediante bisagras a una de las hojas laterales (para formar un tope cuando el protector esté abierto). El interior del protector de corriente se deberá pintar con pintura negro mate.

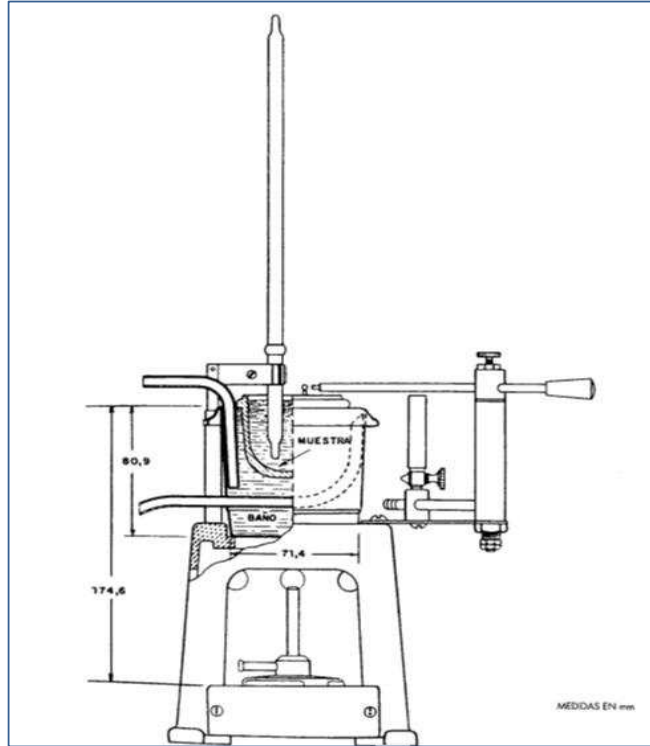


Figura 1. Equipo para ensayo de Punto de Inflamación copa TAG

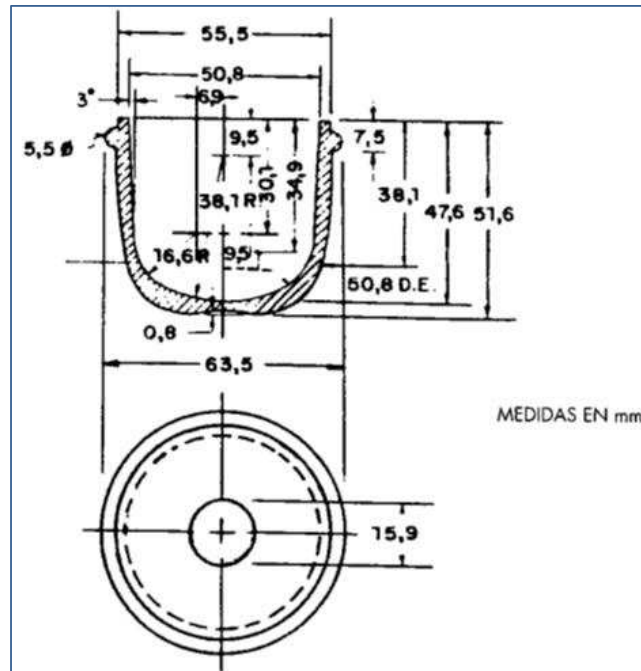


Figura 2. Copa de vidrio para el ensayo

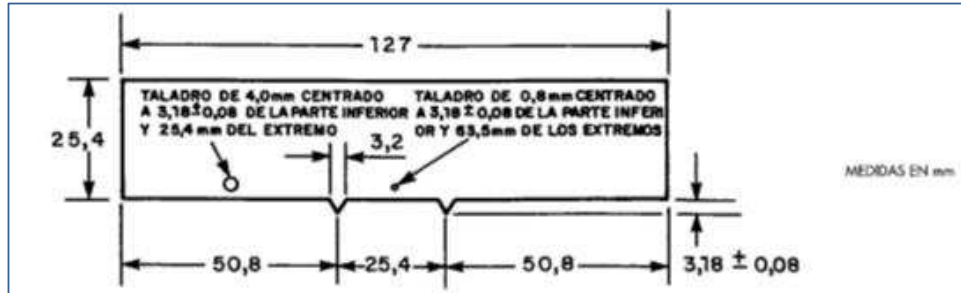


Figura 3. Nivel del Dispositivo para el ajuste del nivel liquido en la copa de ensayo, la altura de la vela por encima de la copa y el tamaño de la llama de prueba.

MTC E 313

DESTILACION DE ASFALTOS LIQUIDOS

1.0 OBJETO Y ALCANCE

- 1.1 Establecer el procedimiento para efectuar el ensayo de destilación de los asfaltos líquidos para definir su clasificación.
- 1.2 Consiste el ensayo en destilar una muestra de 200 cm³ en un matraz, de 500 cm³ a una velocidad controlada, midiendo los volúmenes de destilación obtenidos a las temperaturas especificadas. El residuo que queda, después de haber alcanzado una temperatura de 360 °C, se puede caracterizar empleando los métodos apropiados.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Consiste el ensayo en destilar una muestra de 200 cm³ en un matraz, de 500 cm³ a una velocidad controlada, midiendo los volúmenes de destilación obtenidos a las temperaturas especificadas. El residuo que queda, después de haber alcanzado una temperatura de 360 °C, se puede caracterizar empleando los métodos apropiados.
- 2.2 Este procedimiento mide la cantidad de los constituyentes más volátiles en productos asfálticos rebajados. Las propiedades del residuo después de la destilación no son necesariamente características del bitumen empleado en la mezcla original, ni del residuo el cual puede quedar después de la aplicación en campo del producto asfáltico rebajado. La presencia de siliconas en el líquido puede afectar el residuo de destilación, retardando la pérdida de materia volátil después que el residuo haya sido vaciado en su contenedor.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 402: "Standard Test Method for Distillation of Cut-Back Asphaltic (Bituminous) Products".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Matraz. Un matraz de destilación Flash con tubo de desprendimiento lateral, de 500 cm³, de la forma y dimensiones que se indican en la Figura 1.
- 4.1.2 Refrigerante recto. Un dispositivo de condensación con camisa de vidrio de 200 a 300 mm de largo total de tubo de 450 ± 10 mm (ver Figura 3).
- 4.1.3 Alargadera. Una alargadera acondicionada de paredes gruesas (1 mm) y borde reforzado, que tenga un ángulo de unos 105 ° y un diámetro, en la parte más ancha de unos 18 mm y en la parte más estrecha no menor de 5 mm. La superficie inferior de la alargadera tendrá una curvatura suave descendente en todo su recorrido. La línea inferior del extremo de salida será vertical y la punta estará cortada en bisel con un ángulo de 45 ± 5° C.
- 4.1.4 Protector. Un protector de hierro galvanizado, forrado interiormente con amianto ó un aislante contra el fuego de 3 mm de grosor y provisto de ventanas rectangulares cubiertas de mica transparente, con la forma y dimensiones que se muestran en la Figura 2. Este dispositivo sirve para proteger el matraz de las corrientes de aire y evitar la radiación.

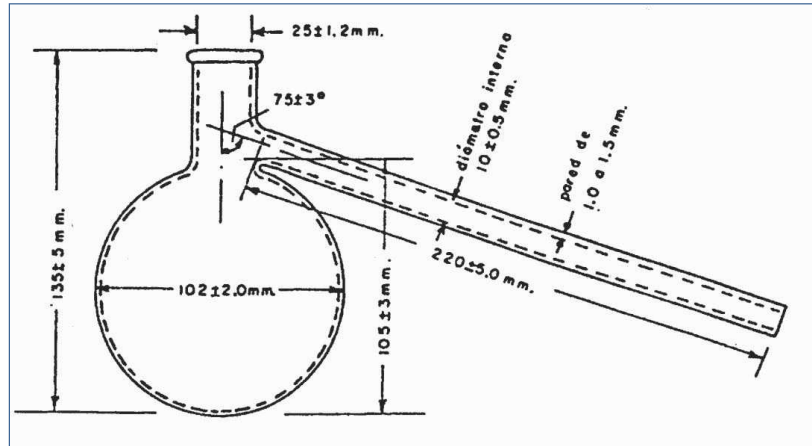


Figura 1. Matraz de destilación

La tapa debe estar dividida en dos partes, con aislamiento contra el fuego de 6,4mm (podrá ser de hierro galvanizado, forrado con amianto, o de Uralita).

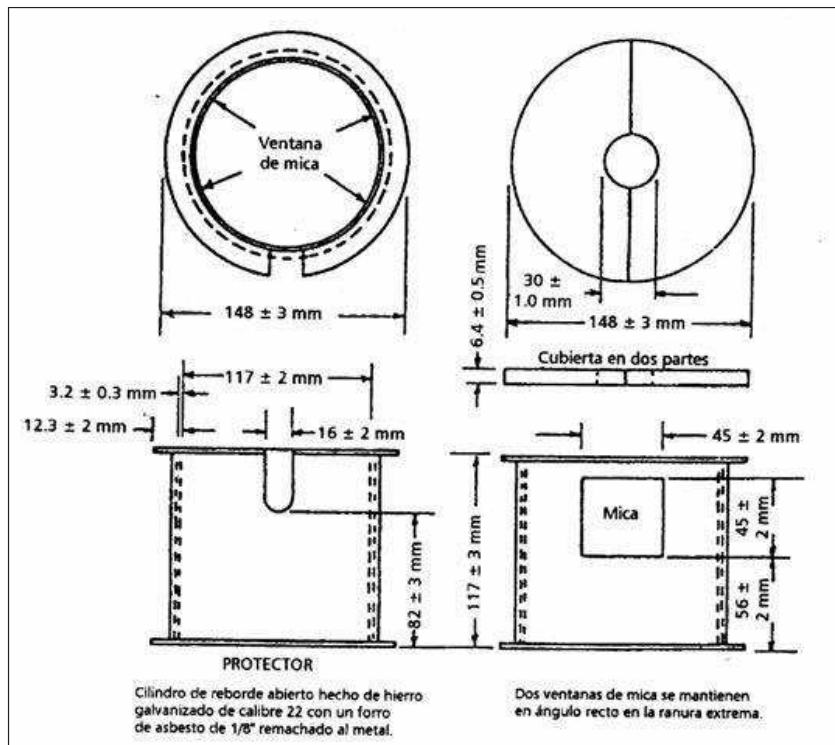


Figura 2. Protector

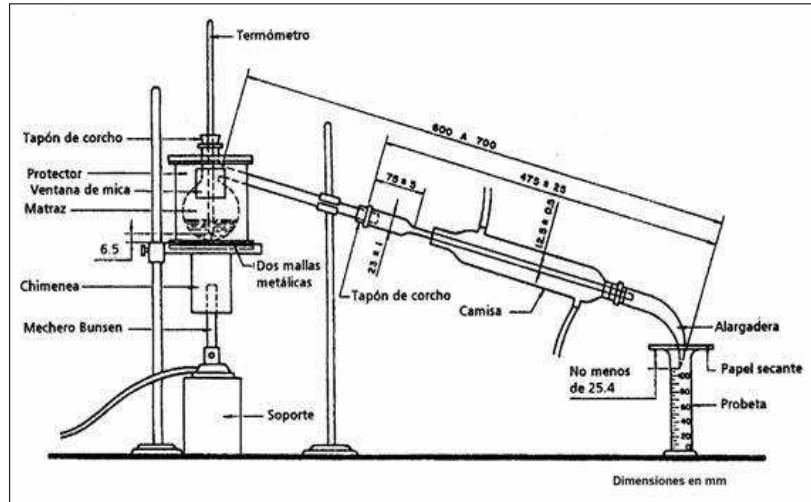


Figura 3. Montaje del aparato de destilación

- 4.1.5 Soportes para el matraz y el protector, dos hojas de 15 cm² de alambre de cromo tejido N° 16, posadas sobre un trípode ó anillo.
 - 4.1.6 Fuente de calor: Mechero de gas tipo Tirril ajustable ó equivalente.
 - 4.1.7 Un calentador eléctrico equipado con transformador capaz de controlar desde 0 a 750 W. El protector y el soporte deberán ser refractarios con una abertura de 79 mm, con la parte superior biselada a 86 mm para acomodar el matraz especificado de 500 mL. Cuando el matraz es colocado en el refractario, debe haber una distancia de aproximadamente 3 mm entre la base del matraz y los elementos transmisores de calor.
 - 4.1.8 Recibidor- Una probeta estándar de 100 mL, graduada y conforme a las dimensiones de la especificación E133, ó un pico (crow) recibidor de 100 mL como se muestra en la figura 4 de este método de ensayo.
- Nota 1.** Recibidores de menor capacidad con divisiones de 0,1 mL pueden emplearse cuando se esperan bajos volúmenes de destilación y la exactitud consiguiente requerida.
- 4.1.9 Recipiente para el residuo. Una caja metálica de 150 g y con dimensiones aproximadas de 75 ± 5 mm de diámetro y 55 ± 5 mm de altura.
 - 4.1.10 Termómetros. Un termómetro de destilación para temperaturas elevadas de acuerdo con los requisitos de la norma ASTM E-1 y con las siguientes características:

Referencia ASTM	Escala °C	Graduación °C	Longitud total mm	Error máx. °C
8C - 62	-6 + 400	1	386	1

5.0 MUESTRA

- 5.1 La muestra, como se reciba, se agita bien para conseguir su homogeneidad, calentándola si fuere necesario y separando a continuación la porción para el ensayo.
- 5.2 Si hay suficiente agua presente como para causar espuma ó burbujeo, deshidratar una muestra de no menos de 250 mL, calentándola en un matraz de destilación lo suficientemente grande para prevenir que la espuma ingrese en el interior del brazo. Cuando la espuma haya aumentado parar la destilación. Si cualquier aceite ligero ya ha sido destilado, separar y vaciarlo nuevamente en el matraz cuando los contenidos se hayan enfriado lo suficiente para prevenir pérdida de aceites volátiles. Mezclar los contenidos del matraz completamente antes de removerlos para su análisis. Se describe un procedimiento alternativo en ASTM D 370.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Montaje del Aparato

6.1.1 Calcular el peso de 200 mL de muestra a partir de la gravedad específica del material a 15,6/15,6 °C. Pesar esta cantidad $\pm 0,5$ g dentro del matraz de 500 mL

6.1.2 Se coloca el matraz, rodeándolo con el protector, sobre el trípode o soporte con dos telas metálicas de malla, cuadradas, de 150 mm de lado, como puede verse en la Figura 3. El mechero debe protegerse de las corrientes de aire por medio de una chimenea de hierro. En el extremo del tubo de desprendimiento se conecta el refrigerante por medio de un tapón de corcho. El tubo refrigerante debe estar limpio y seco.

Todas las conexiones del aparato deben quedar herméticamente cerradas debido a los vapores inflamables que se destilan.

6.1.3 En el cuello del matraz se coloca el termómetro por medio de un corcho, de manera que la parte inferior del bulbo quede a 6,5 mm del fondo del matraz. El eje del cuello del matraz deberá quedar vertical y el termómetro alineado con respecto a este eje.

6.1.4 Se monta la alargadera en el extremo del tubo refrigerante y para recoger el destilado, se coloca debajo de ella la probeta graduada, cubriéndola durante la destilación con un trozo de papel secante, cortado de tal modo que se adapte perfectamente. La distancia desde el cuello del matraz hasta el extremo de la salida de la alargadera, estará comprendida entre 600 mm y 700 mm.

6.1.5 La alargadera deberá introducirse por lo menos 25 mm en la probeta graduada, pero su extremo ha de quedar siempre por encima de la graduación de los 100 cm³.

6.1.6 Tanto el matraz como el tubo condensador, la alargadera, y el recipiente, deberán limpiarse y secarse antes de la destilación. Colóquese, así mismo, el recipiente de 8 onzas sobre su tapa, en un área libre de corrientes de aire.

6.1.7 Se hace pasar agua fría a través del forro del condensador. Si fuera necesario, empléese agua caliente para evitar la formación de sólido condensado en el tubo del condensador.

6.2 Procedimiento de Ensayo

6.2.1 Corrijanse las temperaturas que puedan observarse en la destilación, si la altitud del laboratorio en el cual se efectúa el ensayo es de 150 m o más sobre el nivel del mar. Si se conoce la presión barométrica equivalente en mm de mercurio, corrijase así mismo con aproximación a 1 °C.

6.2.2 Se pesan en el matraz 200 cm³ (mL) de la muestra, cuyo peso se ha calculado por medio del peso específico del material, 15,6/15,6 °C, con aproximación a 0,5 g.

6.2.3 Se monta el matraz y se aplica el calor, regulándolo de tal forma que la primera gota de destilado, sea de agua o de aceite, caiga desde el extremo del tubo de desprendimiento del matraz, entre cinco y quince minutos después del comienzo de la calefacción.

6.2.4 La velocidad de destilación deberá mantenerse cuidadosamente y se continuará el proceso de manera que se consigan las siguientes velocidades, contadas las gotas en la punta de la alargadera:

- Hasta 260 °C de 50 a 70 gotas por minuto.
- Entre 260 °C y 316 °C de 20 a 70 gotas por minuto.
- No se emplearán más de 10 minutos en terminar la destilación desde 316 hasta 360 °C.

6.2.5 Si la muestra produce espuma, se reduce la velocidad de destilación, normalizándola tan pronto como sea posible.

- 6.2.6 Si el exceso de espuma persiste, se puede controlar la destilación aplicando la llama cerca del borde del matraz, en vez de hacerlo hacia el centro.
- 6.2.7 El destilado se recoge en la probeta y se toma nota de los volúmenes destilados, con aproximación a 0,5 cm³, a las temperaturas especificadas. También se anota, si lo hubiera, el volumen de agua destilada.
- 6.2.8 Si el volumen destilado resultara excesivo, pueden emplearse recipientes graduados y adecuados, con divisiones de 0,1 cm³ y sumergidos en un baño de agua transparente mantenido a 15,6 ± 3 °C.
- 6.2.9 Cuando se alcance en el termómetro la temperatura máxima de 360 °C, se apaga la llama, se desmonta el matraz e inmediatamente se vierte el residuo en el recipiente metálico, colocándolo sobre la tapa y procurando que la parte inferior no se enfríe demasiado rápido. El tiempo total empleado desde cuando se apaga la llama hasta cuando se comienza a verter el residuo, deberá ser menor de 15 segundos. Cuando se está vertiendo, el tubo de desprendimiento se mantendrá prácticamente horizontal para evitar que el condensado pueda incorporarse al residuo.
- 6.2.10 Después de dejar que escurran todos los aceites que queden en el tubo del condensador, se tomará nota del volumen total destilado a 360 °C.
- 6.2.11 El residuo se deja enfriar en un lugar sin corrientes de aire, hasta que no se desprendan vapores, pero conservando la suficiente fluidez para poderlo verter.
- 6.2.12 Se agita entonces el residuo dentro de la caja y se vierte en los moldes apropiados, para realizar con él los ensayos requeridos de penetración, viscosidad y punto de ablandamiento.
- 6.2.13 Ya que al verter el residuo en la caja metálica puede producirse la inflamación espontánea de los vapores que quedan en el matraz, debe realizarse la operación protegiendo las manos con guantes de amianto.
- 6.2.14 Durante el proceso de la destilación el termómetro permanecerá en su posición original. No se realizarán correcciones por la parte del vástago del termómetro no sumergida.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULO

- 7.1.1 Residuo asfáltico. Calcúlese el porcentaje de residuo con aproximación a 0,1 en la siguiente forma:

$$R = [(200 - TD) / 200] \times 100.$$

Donde:

R = Residuo, como porcentaje de volumen y

TD = Destilado total recobrado a 360 °C, mL.

- 7.1.2 Destilado total. Calcúlese el porcentaje total destilado con aproximación a:

$$TD\% = (TD / 200) \times 100$$

- 7.1.3 Fracciones destiladas. Determinéense el porcentaje por volumen de la muestra original dividiendo el volumen observado (en mililitros) de la fracción por 2.

- 7.1.4 Determinéense los porcentajes en volumen del destilado total dividiendo el volumen observado, en mL de cada fracción por los mL recuperados hasta 360 °C y multiplicándolos por 100.

Cuando se verifiquen ensayos de penetración, viscosidad u otros, hágase referencia al método que se haya empleado.

7.2 INFORME

7.2.1 Residuo asfáltico.

Repórtese este resultado como el residuo de destilación a 360 °C, en porcentaje del volumen total de la muestra.

7.2.2 Destilado Total

Repórtese este resultado como el total destilado a 360 °C, en porcentaje del volumen total de la muestra.

7.2.3 Fracciones destiladas. Porcentajes por volumen de la muestra original, reportar con aproximación al 0,1%, como porcentajes en volumen como sigue:

Hasta 190 °C.

Hasta 225 °C.

Hasta 260 °C.

Hasta 316 °C.

7.2.4 Porcentajes por volumen del destilado total, reportar con aproximación al 0,1%, como porcentajes en volumen de las fracciones del destilado total hasta 360°C:

Hasta 190 °C.

Hasta 225 °C.

Hasta 260 °C.

Hasta 316 °C.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 Los resultados de dos ensayos efectuados por un mismo operador, sobre la misma muestra, no se considerarán sospechosos, a menos que difieran en más del 1% entre ellos.

8.1.2 Los resultados de dos ensayos efectuados por laboratorios distintos, sobre la misma muestra, no se considerarán sospechosos, a menos que difieran entre ellos en más de lo siguiente:

- Fracciones destiladas, en porcentaje del volumen total de la muestra original:

Hasta 175 °C	:	3,5%
Por encima de 175 °C	:	2,0%
- Residuo de destilación a 360 °C, en porcentaje del volumen total de la muestra 2,0%

MTC E 314

ENSAYO DE LA MANCHA (OLIENSIS) DE MATERIALES ASFÁLTICOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el equivalente de heptano – xileno (la cantidad de xileno requerido para suprimir la mancha producida por dispersión en heptano normal), el cual indica si un asfalto ha sufrido descomposición térmica (cracking) ó ha sido alterado por sobrecalentamiento durante o posteriormente a su producción (proceso de refinamiento).
- 1.2 Este método de prueba es aplicable solo para productos asfálticos derivados del Petróleo y no debe aplicarse para asfaltos naturales conteniendo materia no bituminosa insoluble en xileno.
- 1.2. Materiales, que por uso de solvente Standard son clasificados como positivos, pueden además ser ensayados para determinar su grado de positividad por medio de su "equivalente de Xileno". El equivalente de xileno será el porcentaje más bajo por volumen de xileno en un solvente compuesto de Xileno y Nafta Standard o Xileno y Heptano normal, según se especifique, el cual produce una "mancha negativa" para el material en cuestión. Estos deben ser conocidos como el equivalente Nafta-Xileno y equivalente y Heptano-Xileno equivalente, respectivamente. El porcentaje de Xileno en el solvente debe estar declarado en 5,0 igual porcentaje incrementado. Cuando ningún Xileno equivalente es especificada, la Nafta estándar solo debe ser usado como el solvente.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método de prueba es aplicable solo para productos asfálticos derivados del Petróleo y no debe aplicarse para asfaltos naturales conteniendo materia no bituminosa insoluble en xileno.
- 2.2 Materiales, que por uso de solvente Standard son clasificados como positivos, pueden además ser ensayados para determinar su grado de positividad por medio de su "equivalente de Xileno". El equivalente de xileno será el porcentaje más bajo por volumen de xileno en un solvente compuesto de Xileno y Nafta Standard o Xileno y Heptano normal, según se especifique, el cual produce una "mancha negativa" para el material en cuestión. Estos deben ser conocidos como el equivalente Nafta-Xileno y equivalente y Heptano-Xileno equivalente, respectivamente. El porcentaje de Xileno en el solvente debe estar declarado en 5,0 igual porcentaje incrementado. Cuando ningún Xileno equivalente es especificada, la Nafta estándar solo debe ser usado como el solvente.
- 2.3 Este método de ensayo se emplea para determinar el equivalente de heptano – xileno (la cantidad de xileno requerido para suprimir la mancha producida por dispersión en heptano normal), el cual indica si un asfalto ha sufrido descomposición térmica (cracking) ó ha sido alterado por sobrecalentamiento durante o posteriormente a su producción (proceso de refinamiento).

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 AASHTO T 102: "Spot Test of Asphaltic Materials".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

- 4.1 EQUIPOS
 - 4.1.1 Frasco, capacidad de 50 mL, cualquier modelo Florencia o boca-ancha fondo-liso diseño soxhlet aproximadamente de 45 mm de diámetro con 60 mm de altura.
 - 4.1.2 Tapón de corcho para frasco provisto con 200 mm de tubería de vidrio de 6,4 mm.
 - 4.1.3 Papel filtro Whatman N°50 (el de 70 mm es suficiente).

- 4.1.4 Placa de vidrio, lisa, debe ser primero limpiada con bencina o tetracloruro de carbono, luego lavada con jabón y agua, secada, y limpiada con un limpiador de vidrios adecuado, secada y que quede libre de polvo y pelusa. Después este tratamiento de limpieza, una gota de la mezcla asfáltica cuando se aplique al vidrio debe fluir hacia fuera uniformemente para formar una mancha límite suavemente elíptica. Si la mancha es dentada y desigual en su contorno, se deberá nuevamente limpiar el vidrio con un adecuado limpia vidrios líquidos hasta que una gota de mezcla asfáltica fluya adecuadamente como ha sido descrito.
- 4.1.5 Pipeta o bureta con graduaciones de 0,1 mL.
- 4.1.6 Termómetro, un termómetro de precisión ASTM 64 °C conforme a requerimientos de ASTM E 1.
- 4.1.7 Balanza, la balanza debe tener suficiente capacidad y ser conforme a la especificación M 231, Clase G 1.
- 4.2 MATERIALES
- La Nafta estándar será de un destilado alto directo, libre de productos craqueados de cualquier tipo y cumplirá los requerimientos indicados en la Tabla 1.

Tabla 1 Nafta

Gravedad A.P.I.	49 – 50
Destilación:	
Punto de ebullición inicial	Sobre 149 °C
50 % encima	168 – 179 °C
Punto final	Debajo de 210 °C
Numero anilina	59 a 63 °C

- 4.2.1 El número de anilina del solvente se determinará como se describe en el Método de ensayo estándar ASTM para punto de Anilina y punto de mezcla de Anilina de productos de petróleo y solventes hidrocarburos, D 611-64.
- Nota 2.** La nafta que cumpla con estos requerimientos puede ser obtenida bajo el nombre de Solvente "S" Skelly de Solventes Barton, 201 S. Cedar Valley Center, KS.
- 4.2.2 Cuando se especifiquen equivalentes de xileno, el xileno empleado será químicamente puro y que muestre un rango de ebullición de 137 ° a 140 °C cuando se destila de acuerdo al Método de ensayo estándar para destilación de Gasolina, Nafta, Kerosene, y productos de petróleo similares (AASHTO T 115).
- 4.2.3 El Heptano normal debe cumplir con los requerimientos indicados en la Tabla 2.

Tabla 2 Heptano

ASTM Numero de Motor Octano	0,0 ± 0,2
Densidad a 20 °C, g/mL	0,68375 ± 0,00015
Índice de refracción, N_D a 20 °C	1,38775 ± 0,00015
Punto de congelamiento, °C	-90,72 mínimo
Destilación:	
50 % recuperado	98,43 ± 0,05
Incremento de 20 a 80 % recuperado	0,20 Máximo

5.0 MUESTRA

- 5.1 Para asfaltos sólidos y semisólidos las pruebas serán conducidas en el material original. Para líquidos asfálticos de tipo curado lento tienen menos de 15 por ciento por destilación de volumen debajo de 360 °C por el Método de prueba Standard para destilación de productos asfálticos Cutback (AASHTO T 78), la prueba puede estar hecha en el material original excepto en casos de disputa, que será ejecutada en el residuo del ensayo de destilación anteriormente especificado. Para otros líquidos asfálticos la prueba en todos los casos debe

estar ejecutada solamente en el residuo de la prueba de destilación especificada anteriormente.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Una muestra de $2,00 \pm 0,02$ g se colocará en el frasco. Si es que esta no fluye rápidamente a temperatura ambiente, se calentará cuidadosamente el frasco hasta que la muestra pueda ser extendida en una película delgada que cubra el fondo de la parte inferior del frasco la cual luego se enfriará a temperatura ambiente.
- 6.2 Con la pipeta o bureta, colocar en el frasco 10,2 mL del solvente especificado. Coloque rápidamente dentro del cuello del frasco el tapón de corcho con sus 200 mm de longitud y enroscar con un rápido movimiento circular en cinco segundos. El frasco será sumergido luego hasta su cuello en un baño de agua de suave ebullición por 55 segundos (a menos que la muestra sea un líquido delgado en cuyo caso el calentamiento es innecesario).
- 6.3 El frasco debe ser removido del baño y removido por cinco segundos, y cada minuto después de esto el frasco debe estar inmerso alternadamente por 55 segundos y remover y alternadamente por cinco segundos hasta lograr la dispersión completa.
- 6.4 Después de completada la dispersión, juzgada por la inclinación del frasco, el extremo del tubo de vidrio deberá ser sumergido bajo el nivel de la solución y el frasco dejado para que se enfríe por 30 minutos a temperatura ambiente.
- 6.5 La mezcla de solvente y asfalto luego será calentada por 15 minutos en un baño de agua mantenido a una temperatura de $32,0^\circ \pm 0,5^\circ\text{C}$. La mezcla de solvente y asfalto será batida completamente y por medio de una barra removedora limpia se colocará una gota de la mezcla tibia en el papel de filtro Whatman N° 50. Después de cinco minutos la mancha debe ser examinada en toda su área con el plano del papel aproximadamente en ángulo recto a la línea de visión con una buena fuente de luz (preferentemente a la luz del día) situada a espaldas del observador. Si la gota forma una mancha redonda marrón o marrón-amarillento de, con un sólido oscuro o núcleo anular en el centro, la prueba se informara como positivo.
- 6.6 Sin embargo si la gota forma una mancha circular marrón uniforme, el juicio debe reservarse y la mezcla del solvente y asfalto se apartará en un frasco fuertemente tapado a la temperatura ambiente en un lugar aparte, para que repose 24 horas después de la primera examinación. La mezcla calentada a $32,0^\circ \pm 0,5^\circ\text{C}$ por 15 minutos como antes, deberá entonces ser sacudida vigorosamente hasta que se uniformice para luego nuevamente colocar una gota en el papel filtro. Si la gota proveniente de la mezcla que reposó por 24 horas aún forma una mancha circular marrón no uniforme, entonces el resultado será reportado como "negativo" pero si un núcleo anular ó sólido oscuro, como se describió en el párrafo precedente, se forma en el centro de la mancha, la prueba debe reportarse como "positivo".
- 6.7 Procedimiento en casos de disputa
 - 6.7.1 En casos de disputa la prueba completa será repetida. Cualquier pérdida en masa de solvente durante la dispersión será reemplazado por solvente adicional y el frasco después que la dispersión se haya completado se mantendrá en a luz tenue a una temperatura de $25,0^\circ \pm 1,7^\circ\text{C}$ hasta las 24 horas en que los ensayos son ejecutados. Una gota de la mezcla de solvente y asfalto calentada por 15 minutos a $32,0^\circ \pm 0,5^\circ\text{C}$ será colocada en ambos, el papel filtro y sobre la placa de vidrio. Si la apariencia de la gota sobre el papel filtro, hecha ya sea con mezcla recién preparada ó con la que reposó por 24 horas está aún en disputa entonces la prueba hecha sobre la placa de vidrio se tomará como la final.
 - 6.7.2 La gota de la mezcla de 24 horas, será colocada en una placa de vidrio a 45° con la horizontal. Si, conforme la gota fluye hacia fuera, desarrolla en el centro de su trazo, una ralla tenue, el borde bien definido contra la zona exterior marrón, suave y clara, cuando el vidrio es examinado por una luz refleja contra un fondo oscuro, el ensayo se reportará como positivo.

- 6.7.3 Si la gota de la mezcla de 24 horas fluye hacia fuera como una película marrón clara, sin la línea central descrita arriba, el ensayo se reportará como negativo.
- 6.8 Xileno equivalente
- 6.8.1 El método usado en pruebas para "Equivalentes de Xileno" deberá ser el mismo que del párrafo precedente, excepto que el solvente sea compuesto ya sea de xileno y de nafta estándar ó de xileno y heptano normal según se especifique.
- 6.8.2 Para determinar el equivalente de xileno dos o mas muestras del asfalto a ser examinadas serán dispersadas en la mezcla de solvente prescrita, el porcentaje de Xileno variará en porcentajes sucesivos en incrementos de 5% (volumen), hasta que se encuentren dos soluciones asfálticas, una de las cuales muestre una mancha positiva mientras que la otra (en la cual el solvente contiene cinco por ciento más de Xileno) muestra una mancha negativa. El equivalente Xileno sería reportado entonces por el porcentaje de Xileno en los dos solventes empleados esas dos soluciones, por ejemplo como: "10-15 por ciento de Nafta-Xileno equivalente" o "20-25 por ciento de Heptano-Xileno equivalente" según sea el caso.
- 6.8.3 Cuando la aceptación de un material está basada en equivalente xileno especificado, el porcentaje más bajo exacto de Xileno que produce una "mancha negativa" no necesita ser determinado. La muestra puede ser probada con solvente compuesto de los porcentajes especificados de Xileno y Nafta Standard o Xileno y Heptano normal como se requiera, y cualquier material que presente resultado negativo para este solvente debe ser reportado como si fuera menos que el específico Xileno equivalente que ha sido designado, por ejemplo: "menos que 20 por ciento Nafta-Xileno equivalente" o "menos que 25 por ciento Heptano-Xileno equivalente".

MTC E 315

EFFECTO DEL CALOR Y AIRE EN MATERIALES ASFÁLTICOS (ENSAYO DEL HORNO DE PELÍCULA DELGADA-TFOT)

1.0 OBJETO

- 1.1 Medir el efecto del calor y el aire en una película de material asfáltico semisólido. Los efectos de este procedimiento son determinados a partir de las mediciones de propiedades seleccionadas del asfalto, antes y después del ensayo.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método de ensayo indica el cambio aproximado en las propiedades del asfalto durante el proceso convencional de mezclado en caliente, aproximadamente a 150 °C tal como el indicado por las medidas de la viscosidad, penetración ó ductilidad. Este deja un residuo que se asemeja a la condición del asfalto cuando es colocado en el pavimento. Si la temperatura de mezclado difiere apreciablemente de 150°C ocurrirán ciertos efectos en sus propiedades.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 1754: Standard Test Method for Effect of Heat and Air on Asphaltic Materials (Thin-Film Oven Test).

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Horno: Deberá ser calentado eléctricamente y de acuerdo a los requerimientos de desempeño de la especificación E 145, para el tipo IB/Gravedad Convección y para ser operado a temperaturas de hasta 180 °C. Durante los ensayos y para cumplimiento de la especificación E 145, la repisa del horno estará centrada adecuadamente como se describe en 4.1.2.
- 4.1.2 Construcción: El horno será rectangular, y cada dimensión interior (excluyendo el espacio ocupado por los elementos de calentamiento) deberá ser un mínimo de 330 mm y un máximo de 535 mm. El horno deberá tener una puerta estrechamente ajustada que proporcionará una abertura libre substancialmente igual a la altura interior y al ancho del horno. La puerta puede contener una ventana con dimensiones de al menos 100 por 100 mm y con dos hojas de vidrio separadas por un espacio por donde pueda leerse un termómetro en posición vertical, localizado como se indica más adelante, sin necesidad de abrir la puerta; ó también el horno puede estar provisto de una puerta interna de vidrio, a través de la cual el termómetro pueda ser observado al abrir momentáneamente la puerta exterior. El horno estará adecuadamente ventilado por corrientes de convección de aire, para este propósito estará provisto con aberturas para la entrada del aire y para la salida de aire caliente y vapores. Las aberturas pueden ser de cualquier tamaño y dispuestas de tal forma que cumplan requerimientos de la especificación E 145, tipo IB.
- 4.1.3 Bandeja Rotatoria: El horno estará provisto con una bandeja circular de metal con un diámetro mínimo de 250 mm y un máximo diámetro de 450 mm. La bandeja será tal que provea una superficie plana para el soporte de los contenedores de muestra sin bloquear la circulación del aire a través de la bandeja cuando los contenedores estén colocados. La bandeja debe estar suspendida por un eje vertical y centrada respecto a las dimensiones horizontales interiores del horno, también estará provista de mecanismos para su rotación a una velocidad de $5,5 \pm 1,0$ r/min. La correcta posición de la bandeja es de 150 mm por encima de la base del horno (excluyendo los espacios ocupados por los elementos de calentamiento). La bandeja estará colocada tan cerca a esta posición como lo permita el cumplimiento de lo indicado en el ítem de localización del termómetro. La bandeja será construida ó marcada de tal manera que los contenedores de las muestras puedan ser colocados en la misma posición durante cada ensayo. Habrá un mínimo de dos y un máximo de 6 posiciones para los contenedores de las muestras. Cada posición del contenedor de la

- muestra será simétrica con respecto al eje y cualquier orificio en la bandeja. El número de las posiciones de los contenedores de muestras será el máximo que quepan en la bandeja sin incumplir los requerimientos indicados arriba y sin saturarse.
- 4.1.4 Termómetro: Para determinar la temperatura de ensayo se necesita un termómetro ASTM de pérdida en calor con un rango de 155 a 170 °C y de acuerdo a los requerimientos del termómetro 13 C, tal como lo prescribe la especificación E1. Estará suspendido en forma coaxial al eje de la bandeja circular en una posición vertical en un punto equidistante del centro y del borde exterior de la bandeja. La base del bulbo del termómetro deberá estar a 40 mm por encima de la bandeja. El termómetro estará centrado exactamente sobre una posición de los contenedores de muestra.
- 4.1.5 Contenedor: Una bandeja de 140 mm de diámetro interior y 9,5 mm de profundidad con la base plana. Una muestra de 55 milímetros en este contenedor da un espesor de película de aproximadamente 3,2 mm. Las bandejas deben ser hechas de acero inoxidable y tendrán un espesor de 0,64 mm.

Nota 1. Las bandejas tienden a doblarse ó alabearse con el uso. Aunque los ensayos indican que una pequeña cantidad de alabeo no afecta significativamente a los resultados, Por ello se aconseja hacer una revisión frecuente de estos recipientes. El espesor indicado del metal es el ideal para proveer adecuada rigidez al contenedor sin excesivo peso.

MUESTRA

- 4.2 Colocar suficiente material para el ensayo en un recipiente y calentarlo a una condición fluida. Se debe tener extremo cuidado de tal forma que no haya excesivo sobrecalentamiento y que la temperatura más alta que se alcance no sea más de 150 °C. Batir la muestra durante el período de calentamiento evitando incorporar burbujas de aire. Pesar $50 \pm 0,5$ g dentro de dos o más contenedores para el ensayo tarados.
- 4.3 Al mismo tiempo, verter una porción de la muestra dentro de los contenedores especificados para medir las propiedades originales del asfalto. Completar los ensayos por los Métodos MTC adecuados.
- 4.4 Si se requiere el valor de variación de la masa, enfríe las muestras a temperatura ambiente y pese cada muestra separadamente con aproximación de 0,001 g Si no se requiere el valor de variación de la masa, permita que las muestras se enfríen a temperatura ambiente antes de colocarlas en el horno como se indica en 6.2.

5.0 PROCEDIMIENTO

- 5.1 Nivele el horno de tal forma que el horno rote en un plano horizontal. La máxima desviación durante la rotación será no más de 3°C respecto a la horizontal.
- 5.2 Colocar un contenedor vacío en cada una de las posiciones predeterminadas de la bandeja rotativa. Ajustar el control de temperatura de tal forma que el termómetro especificado lea 163 ± 1 °C cuando se equilibre. Una vez el ajuste se haya completado, los contenedores vacíos se removerán a discreción del operador. Sin embargo el control de temperatura no será reajustado una vez cualquiera de los contenedores sean removidos.
- 5.3 Con el horno precalentado y ajustado como se ha descrito en 6.2 rápidamente coloque las muestras de asfalto en las posiciones predeterminadas de la bandeja circular (ver Notas 2 y 3). Llene cualquier posición vacía con contenedores vacíos, de tal forma que cada posición para contenedores esté ocupada. Cierre la puerta del horno y empiece a rotar la bandeja. Mantenga el rango especificado de temperatura por 5 horas después que la muestra haya sido introducida y el horno alcance otra vez dicha temperatura. El período de 5 horas empezará cuando la temperatura alcance 162 °C, en ningún caso el tiempo que permanezca una muestra en el horno excederá las $5 \frac{1}{4}$ de hora. Al concluir el período de calentamiento, remover las muestras del horno. Si el cambio en la masa no se va a determinar, proceder de acuerdo con 6.5. Si se va a determinar el cambio en la masa, enfriar a temperatura ambiente,

pesar con aproximación de 0,001 g y calcular el cambio de masa en función del asfalto en cada contenedor (Nota 5).

Nota 2. Materiales con diferentes características en el cambio de masa generalmente no deberían ser ensayados al mismo tiempo debido a la posibilidad de absorción cruzada.

Nota 3. Este método no prohíbe colocar una muestra de asfalto en la posición bajo el termómetro. Sin embargo, se recomienda que esta posición no sea empleada por una muestra y que el contenedor vacío permanezca en esa posición, con la finalidad de minimizar el riesgo asociado con la ruptura del termómetro.

Nota 4. Cuando los ensayos completos no pueden ser ejecutados el mismo día, y si el cambio de la masa va a ser determinado, pesar los residuos y almacenarlos durante la noche antes de recalentarlos. Si no se va a determinar el cambio de la masa, transfiera el residuo a un contenedor de 240 mL como se describe en 6.5 antes de almacenarlo durante la noche.

- 5.4 Después de pesar las muestras, colocarlas en una superficie refractaria y luego en la bandeja del horno manteniéndola a 163°C. Cerrar el horno y rotar la bandeja por 15 minutos, remover las muestras y superficie é inmediatamente proceder como en 6.5.
- 5.5 Transferir el material de cada recipiente dentro de una lata de 240 mL. Remover todo el material de los contenedores por medio de raspado con una espátula ó cuchillo. Batir los residuos completamente. Colocar el contenedor de 240 mL en una placa de calentamiento para mantener al material en su condición fluida si es necesario. Completar los ensayos de acuerdo a Normas MTC dentro de las 72 horas de haber ejecutado este ensayo.

Nota 5. Se debe tener cuidado si se recalienta la muestra más de una vez pues esto puede afectar la aparente severidad del ensayo.

6.0 CALCULOS E INFORME.

- 6.1 Reportar los valores de las propiedades originales del asfalto medidas en 5.2 y las propiedades del residuo como fuera medidas en 6.5. El cambio en la viscosidad también puede ser expresado como la razón entre los valores del asfalto residual al asfalto original. El cambio en la penetración es evaluado como la penetración del residuo expresado como un porcentaje de la penetración original.
- 6.2 Reportar la ductilidad ú otros resultados de ensayos de acuerdo con los métodos MTC.
- 6.3 Cuando se determine, reportar el promedio de cambio de masa del material en todos los contenedores como el porcentaje de la masa del material original. Una pérdida de masa debe reportarse como un número negativo mientras que la ganancia de la misma será reportada como un número positivo.

Nota 6. Este ensayo puede resultar ya sea en pérdida ó en ganancia de masa. Durante el ensayo, los componentes volátiles se evaporan causando una disminución de la masa, mientras que cuando el oxígeno reacciona con la muestra, causa un aumento de la masa. El efecto combinado determina que la muestra tenga una sobre ganancia ó sobre pérdida de masa. Las muestras con un porcentaje muy bajo de componentes volátiles usualmente tienen una ganancia de masa, mientras las muestras con un alto porcentaje de componentes volátiles normalmente exhiben una pérdida de masa.

7.0 PRECISION Y DISPERSION

- 7.1 El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados de la viscosidad a 60°C y 135 °C, el cambio de la viscosidad a 60°C, cambio en la penetración a 25 °C y el cambio de la masa obtenidos por este método se dan en la Tabla 1. Las cifras. Los valores dados en la columna 2 son las desviaciones estándar que han sido encontradas apropiadas para los materiales y las condiciones del ensayo descrito en la columna 1. Los valores dados en la columna 3 son los límites que no deben ser excedidos por la diferencia entre resultados de dos ensayos adecuadamente conducidos. Los valores dados en la columna 4 son los coeficientes de variación que han sido hallados adecuados por los materiales y condiciones del ensayo

descrito en la columna 1. Los valores dados en la columna 5 son los límites que no deben ser excedidos por la diferencia entre dos resultados de dos ensayos adecuadamente conducidos, expresados como un porcentaje del promedio.

- 7.2 El criterio para juzgar la aceptabilidad de los datos de ductilidad a 15,6 °C se dan en la tabla 1. Cada resultado de ensayo es el promedio de tres medidas de ductilidad.

Tabla 1: Precisión de Ensayos Sobre el Residuo

Material y Tipo de Índice	Desviación Estándar (1s)	Rango Aceptable de 2 Resultados (d2s)	Coefficiente de Variación (% de la media) (1s%)	Rango Aceptable de 2 Resultados (% de la media) (d2s%)
Precisión de un solo operador:				
Penetración retenida (%)	1,43	4	.....	.....
Cambio de masa (%):				
No más de 0,4 % (máx)	0,014	0,04	.....	.....
Mayor de 0,4 %	.....	.....	2,9	8,0
Viscosidad a 60 °C	.....	.....	3,3	9,3
Viscosidad a 135 °C	.....	.....	2,0	5,7
Razón:				
Viscosidad a 60 °C después	.....	.....	5,6	16
Viscosidad a 60 °C antes				
Ductilidad a 15,6 °C, cm ^A	7	20		
Precisión Multilaboratorio:				
Penetración retenida (%)	2,90	8,0		
Cambio de masa (%):				
No más de 0,4 % (máx)	0,055	0,16	.....	.....
Mayor de 0,4 %	.....	.....	14,0	40,0
Viscosidad a 60 °C	.....	.....	11,6	33,0
Viscosidad a 135 °C	.....	.....	6,4	18,0
Ratio: ^B				
Viscosidad a 60 °C después				
Viscosidad a 60 °C antes				
Ductilidad a 15,6 °C, cm ^A	12	34		

- A. Está basado en el análisis de data resultante de ensayos por 60 laboratorios en 04 tipos de asfaltos con ductilidades promedio de 20 a 40 cm.
- B. Precisión Multilaboratorio aplicable a cementos asfálticos con valores de viscosidad menores de 3,0. La precisión para valores mayores de 3,0 no han sido establecidas.

MTC E 316

EFFECTO DEL CALOR Y AIRE EN UNA PELICULA DE ASFALTO EN MOVIMIENTO (ENSAYO DEL HORNO DE PELICULA DELGADA RODANTE - RTFOT)

1.0 OBJETO

- 1.1 Medir el efecto del calor y el aire en una película de materiales asfálticos semisólidos en movimiento. Los efectos de este procedimiento son determinados a partir de las mediciones de propiedades seleccionadas del asfalto, antes y después del ensayo.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método de ensayo indica el cambio aproximado en las propiedades del asfalto durante el proceso convencional de mezclado en caliente, aproximadamente a 150 °C tal como el indicado por la viscosidad y otras mediciones geológicas (penetración, ductilidad, etc.). Este deja un residuo que se asemeja a la condición del asfalto cuando es colocado en el pavimento. Si la temperatura de mezclado difiere apreciablemente de 150°C ocurrirán ciertos efectos en sus propiedades. Este método de ensayo también puede emplearse para determinar el cambio en la masa, la cual es una medida de la volatilidad del asfalto.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 2872-04: "Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)".

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Horno: Deberá ser de doble pared, calentado eléctricamente por convección. Sus dimensiones internas serán de 381 mm de alto, 483 mm de ancho (incluyendo la cámara) y de 445 ± 13 mm de fondo (con la puerta cerrada). La puerta debe contener una ventana simétricamente localizada con dimensiones de 305 a 330 mm de ancho por 203 a 229 mm de alto. La ventana deberá contener dos hojas de vidrio resistente al calor separadas por un espacio. La ventana permitirá una visión libre del interior del horno. La parte superior del elemento de calentamiento deberá tener 25 ± 3 mm bajo el piso del horno.

- 4.1.1.1 El horno será ventilado por la parte superior é inferior. Las ventilaciones de la base serán localizadas simétricamente para abastecer internamente aire alrededor de los elementos de calentamiento. Deben tener un área abierta de 15,0 ± 0,7 cm². Las ventilaciones de la parte superior estarán dispuestas simétricamente y tendrán un área abierta de 9,3 ± 0,45 cm².

- 4.1.1.2 El horno deberá tener una cubierta completa de aire que cubra las paredes laterales y su techo. El espacio por donde circule el aire será de 38,1 mm separado de las paredes y el techo. En el punto medio del ancho del horno y a 152,4 mm de la cara del carril circular metálico a su eje, girará un ventilador tipo jaula de ardilla a 1725 rpm, accionado por un motor montado externamente. El ventilador se acondicionará de tal forma que gire en dirección opuesta a sus astas. Las características del flujo de aire del sistema de ventilación serán la succión desde el piso del horno a través de todas las paredes y extracción del aire a través del ventilador. Las Figuras 1 y 2 muestran detalles del sistema completo.

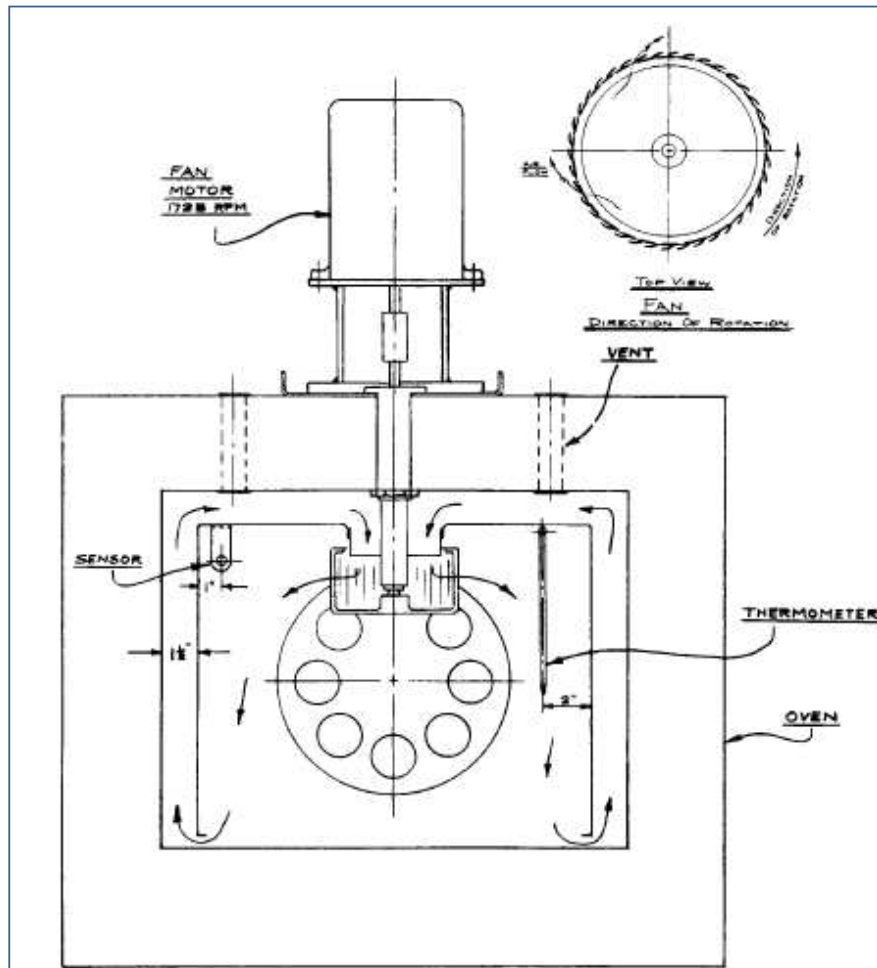


Figura 1. Esquema del Flujo de Aire - Vista Frontal

- 4.1.1.3 El horno estará equipado con un control Termostático proporcional capaz de mantener una temperatura de $163\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. El elemento sensor del termostato puede ser colocado en cualquier lugar que haga posible que el horno mantenga el control de la temperatura tal como lo especifica esta norma.
- 4.1.1.4 El termómetro será acondicionado a un montaje en el techo a 50,8 mm del lado derecho del horno al punto medio del fondo del horno. El termómetro penderá dentro del horno de tal forma que el bulbo del mismo esté a 25,4 mm de una línea imaginaria con el eje del carrete metálico circular. Los controles de calentamiento serán capaces de llevar la carga completa del horno a la temperatura de ensayo dentro de un período de 10 minutos después de la inserción de las muestras en el horno precalentado.
- 4.1.1.5 El horno estará proveído de un carrete circular vertical (ver figura 2 para detalles). Este carrete estará provisto con ganchos y aberturas adecuadas para el sostén firme de los vasos contenedores en posición horizontal (ver figura 3). El carrete vertical estará mecánicamente conducido a través de un eje de 19 mm de diámetro a una velocidad $15 \pm 0,2\text{ r/min}$
- 4.1.1.6 El horno estará equipado con un surtidor de aire posicionado para soplar calor dentro de cada botella en su punto más bajo de recorrido. El surtidor de aire tendrá un orificio de 1,016 mm de diámetro conectado a un tubo de cobre de refrigeración de diámetro externo de 8 mm. Este tubo será embobinado para que descansa sobre el piso del horno y conduzca a una fuente de aire fresco, seco y libre de polvo.

Nota 1. El Sílica Gel activo tratado con un indicador es un desecador satisfactorio para el aire seco.

- 4.2 Medidor de Flujo: De tipo adecuado, capaz de medir exactamente el flujo de aire a una tasa de 4000 mL/min. El medidor de flujo estará colocado por debajo de todos los dispositivos reguladores y por encima de la bobina de cobre. El medidor de flujo estará posicionado de tal forma que se mantenga a temperatura ambiente. Será calibrado periódicamente empleando un probador de humedad ú otro método de desplazamiento. Esta calibración estará basada en el flujo saliente del surtidor de aire y será conducida con el horno a temperatura ambiente.

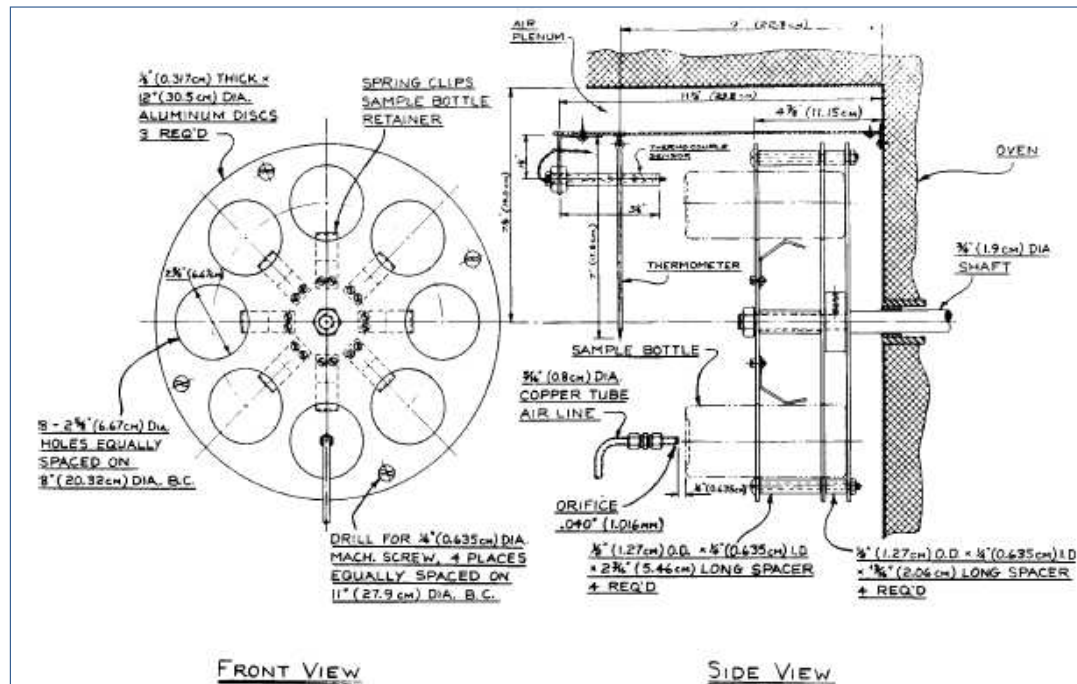


Figura 2. Carrete Circular de Metal

- 4.3 Termómetro: Será uno ASTM de acuerdo a los requerimientos para un termómetro tipo 13C como lo indica la especificación E1. Este termómetro debe ser usado para hacer todas las mediciones de temperatura que requiera este método. Con la finalidad de reducir los riesgos asociados con la rotura del termómetro, este estará parcial ó totalmente encapsulado en una lámina de polímero transparente que tenga un grosor máximo de 0,25 mm, será instalada de tal forma que haya contacto mecánico con el termómetro. El termómetro será recalibrado después de la instalación del forro.

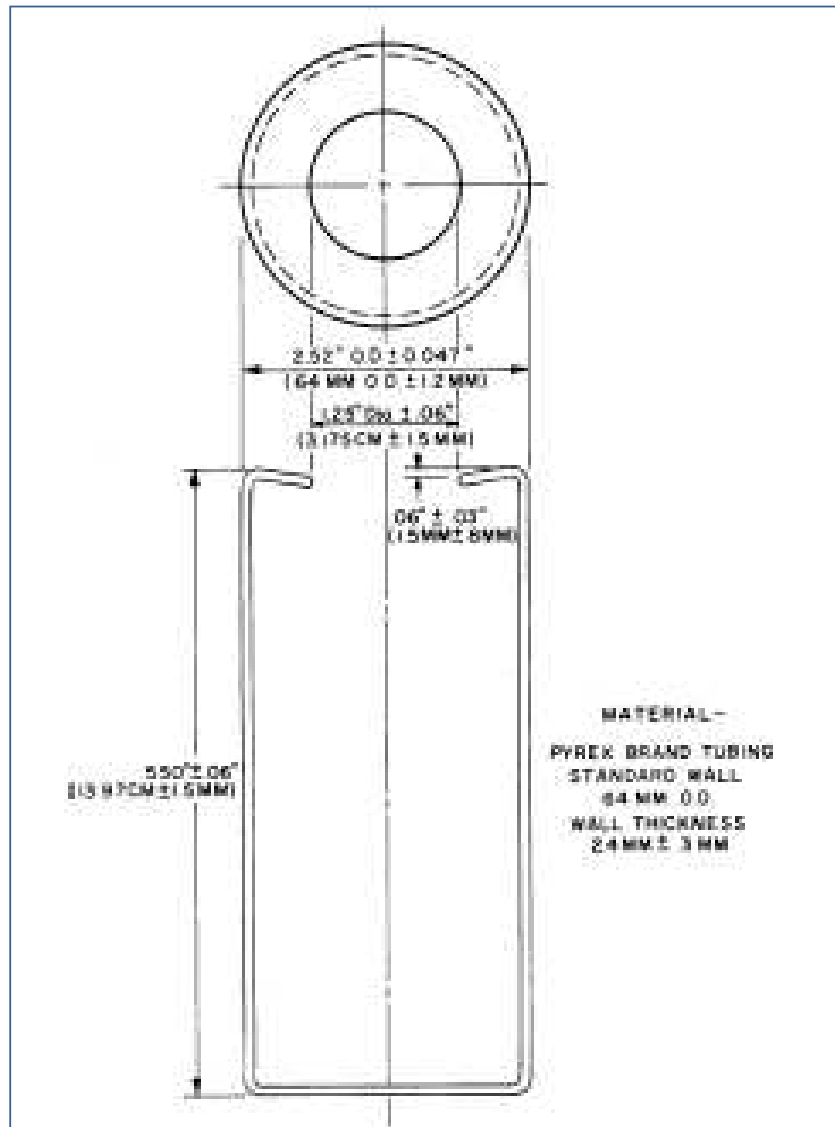


Figura 3. Contenedor para Muestras de Ensayo

- 4.4 Contenedor: El contenedor en el cual la muestra será probada será de vidrio transparente y resistente al calor de acuerdo a las dimensiones mostradas en la Figura 3.
- 4.5 Rack de Enfriamiento: Un rack de metal ó alambre, hecho de acero inoxidable ó aluminio que permita enfriarse a los contenedores de las muestras en posición horizontal, con cada contenedor en el mismo plano horizontal. El rack estará construido de tal forma que permita al aire fluir libremente alrededor de cada contenedor al menos con 2,5 cm. de claro entre contenedores y al menos 2,5 cm de claro entre los contenedores y cualquier superficie sólida.

5.0 MUESTRA

- 5.1 La muestra tal como es recibida estará libre de agua. Calentar la muestra en su contenedor con la tapa suelta en un horno que no exceda 150 °C por un tiempo mínimo necesario para asegurar que esté completamente fluida. Bata manualmente la muestra evitando incorporar burbujas de aire.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Preparación del Horno

- 6.1.1 Ponga el orificio por donde sale el aire a una posición de $6 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ separado de la abertura del contenedor de vidrio. El orificio estará así posicionado de tal forma que el surtidor sople horizontalmente dentro del arco central de la abertura del contenedor de vidrio giratorio.
- 6.1.2 Coloque el termómetro especificado en 4.3 de tal forma que la punta del bulbo esté dentro de $25,4 \text{ mm}$ de una línea de nivel imaginaria con el centro del eje que sostiene el carrete giratorio.
- 6.1.3 Nivela el horno de tal forma que los ejes horizontales de los contenedores de vidrio cuando estén colocados en el carrete estén nivelados dentro de $\pm 1^\circ$.
- 6.1.4 Encienda el ventilador. El ventilador permanecerá encendido en tanto el calentador del horno lo esté y la puerta del horno esté cerrada. Esta norma permite (pero no requiere) que el ventilador se detenga cuando la puerta del horno esté abierta. La detención del ventilador puede ser completada manualmente, con un bloqueador electrónico de la puerta o por otros medios.
- 6.1.5 Precaliente el horno por un mínimo de 16 horas antes de probarlo con el control termostático ajustado al punto que será empleado durante el ensayo. Este punto será seleccionado de tal manera que cuando el horno esté totalmente lleno y el aire encendido, este se equilibre a $163 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ como lo indique el termómetro de ensayo.

Nota 2. Debido a la presencia de los contenedores de las muestras se afecta la distribución de la temperatura en los contenedores del horno, los contenedores deben estar presentes en el horno cuando se ajusta el termostato. El uso de contenedores vacíos es aceptable para este propósito.

- 6.2 Vierta $35 \pm 0,5 \text{ g}$ de la muestra dentro de cada uno de los contenedores requeridos, ponga suficiente material para ensayos de caracterización que serán corridos en el residuo.
- 6.3 Inmediatamente luego de vaciar la muestra dentro del contenedor voltee el contenedor a una posición horizontal. Rotar el contenedor suavemente al menos por una vuelta completa, y con la intención de cubrir su superficie cilíndrica. No es necesario pre cubrir el borde abierto, se tendrá cuidado de no permitir que la muestra fluya hacia afuera del contenedor durante este paso. Coloque el contenedor horizontalmente en el rack de enfriamiento que será mantenido a temperatura ambiente lejos de hornos y otras fuentes de calor.

Nota 3. El pre- recubrimiento puede que no sea posible para ciertos asfaltos.

Nota 4. Para una máxima precisión en determinar el cambio de masa, el rack de enfriamiento deberá estar en un lugar que esté a la misma temperatura y humedad que la balanza usada para medir la masa de los contenedores.

Nota 5. La electricidad estática puede causar medidas inestables de masa, debido en parte a las características de los contenedores de vidrio. Este problema puede ser minimizado montando una fuente iónica pasiva dentro de la carcasa de la balanza.

- 6.3.1 Deje enfriar el contenedor de vidrio en su rack por un mínimo de 60 min y no más de 180 min.
- 6.3.2 Cuando se esté determinando el cambio de masa, emplee dos contenedores separados para su determinación. Después de enfriar, determine la masa de estos contenedores empleando una balanza analítica con una resolución de 0.001 g ó mejor. Coloque cada contenedor separadamente y en forma vertical en la balanza, registre la masa con todos los decimales de la balanza.
- 6.4 Con el horno a temperatura de operación y el flujo de aire en $4000 \pm 200 \text{ mL/min}$, disponga los contenedores conteniendo el asfalto en el carrete de tal manera que esté balanceado. Llene cualquier espacio vacío en el carrete con contenedores vacíos. Cierre la puerta y rote el carrete a una velocidad de $15 \pm 0,2 \text{ r/min}$. Mantenga las muestras en el horno con el aire

fluyendo y el carril rotando por 85 min. La temperatura de ensayo de $163 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ será alcanzada dentro de los 10 min; si no es así detener el ensayo.

- 6.5 Después de concluir el período de ensayo, remueva cualquiera de las muestras para la determinación del cambio de masa y colóquelas horizontalmente en el rack de enfriamiento. Remover cada contenedor, uno a uno, y transfiera su contenido a un recipiente recolector que tenga al menos una capacidad 30% más grande que el volumen total esperado del residuo. Esta transferencia será completada primero por vaciado de cualquier residuo que fluya libremente desde el contenedor de vidrio y luego por raspado del residuo remanente hasta donde sea posible. Mientras el residuo esté siendo removido de cada contenedor, la puerta del horno deberá permanecer cerrada, con el calentador encendido así como el flujo de aire y las muestras remanentes rotando en el carril. El último contenedor será removido del horno dentro de los 5 min de haber removido el primer contenedor.

TABLA 1: Precisión del ensayo sobre el Residuo

Método de Ensayo	Desviación Estándar (1s)	Rango Aceptable de 2 Resultados (d2s)	Coefficiente de Variación (Promedio %) (1s%)	Rango Aceptable de 2 Resultados (d2s%)
Precisión de un solo operador:				
Viscosidad a 60 °C	...	...	2,3	6,5
Ductilidad a 15,6 °C ^A	3 cm	9 cm	...	...
Precisión Multilaboratorio:				
Viscosidad a 60 °C	.....	.....	4,2	11,9
Viscosidad a 15,6 °C ^A	6 cm	16 cm	...	...

^A Basado en el análisis de datos resultantes de ensayos de 16 laboratorios en dos asfaltos en el rango de 13 a 30 cm.

Nota 6. Cualquier herramienta ó técnica para raspar puede ser empelada, mientras un promedio de 90% ó más del residuo sea removido de o los contenedores. Se ha determinado que el raspado en sentido circular tiende a ser más efectivo que el de sentido longitudinal.

- 6.6 Después de remover el residuo de cada contenedor, suavemente sacuda el contenedor colector para homogenizar el residuo sin introducir aire. Ensaye el residuo dentro de las 72 horas siguientes de haber efectuado el ensayo RTFO.
- 6.7 Si se está determinando el cambio de masa, deje que los contenedores con su residuo se enfríen por un mínimo de 60 min y un máximo de 180 min. Después del enfriado, determinar la masa de estos contenedores empleando una balanza analítica con una resolución de 0,001 g ó mejor. Separadamente coloque cada contenedor verticalmente en la balanza, y registre la masa con toda la resolución de la balanza. Anotar si alguna muestra pareciera haber fluido hacia afuera de la botella.

Nota 7. Algunos laboratorios han reportado problemas con la muestra que haya fluido por la botella durante el ensayo. Si esto ocurre, ambos, el nivel del horno y la longitud de la botella deben ser chequeados. Las botellas con abertura circular pequeña parecen ser susceptibles a este problema. Las botellas que no cumplan con los requerimientos deben ser removidos del servicio.

Nota 8. Para mejorar la precisión en el cambio de masa, los contenedores empleados deben ser manipulados con guantes limpios, y la transferencia hacia la balanza debe hacerse con tenazas para prevenir la contaminación y cambios de temperaturas que puedan distorsionar la medida de la masa.

7.0 CALCULOS E INFORME

- 7.1 Reportar los resultados del ensayo RTFO en términos de los cambios físicos en el asfalto obtenido por este método. Estos valores son obtenidos de haber ejecutado adecuadamente los ensayos (según Normas del MTC) en el asfalto antes y después del ensayo RTFO.
- 7.2 Cuando se determine, reportar el promedio del cambio de masa del material en dos contenedores como un porcentaje del material original. Reportar este resultado al 0,001 %. La pérdida de masa será reportada como un número negativo mientras la ganancia de masa como un número positivo.

Nota 9. Este ensayo puede resultar ya sea en pérdida ó en ganancia de masa. Durante el ensayo, los componentes volátiles se evaporan causando una disminución de la masa, mientras que cuando el oxígeno reacciona con la muestra, causa un aumento de la masa. El efecto combinado determina que la muestra tenga una sobre ganancia ó sobre pérdida de masa. Las muestras con un porcentaje muy bajo de componentes volátiles usualmente tienen una ganancia de masa, mientras las muestras con un alto porcentaje de componentes volátiles normalmente exhiben una pérdida de masa.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados de la viscosidad a 60°C y la ductilidad a 15,6 °C en el residuo después del calentamiento están dados en la tabla 1. Los valores dados en la columna 2 son las desviaciones estándar que han sido encontradas apropiadas para los materiales y las condiciones del ensayo descrito en la columna 1. Los valores dados en la columna 3 son los límites que no deben ser excedidos por la diferencia entre resultados de dos ensayos adecuadamente conducidos. Los valores dados en la columna 4 son los coeficientes de variación que han sido hallados adecuados por los materiales y condiciones del ensayo descrito en la columna 1. Los valores dados en la columna 5 son los límites que no deben ser excedidos por la diferencia entre dos resultados de dos ensayos adecuadamente conducidos, expresados como un porcentaje del promedio.
- 8.2 La precisión de las medidas de cambio de masa han sido estimadas basadas en el análisis de datos AMTL que representan aproximadamente a 5 900 repeticiones de este ensayo. El análisis indica que la desviación estándar del ensayo (1S) puede ser expresado como una función del cambio de masa (X) empleando las ecuaciones siguientes.

Cambio de Masa (X)	Un operador Desviación estándar (1S)	Multi Laboratorio Desviación estándar (1S)
Si $X \leq -0,1\%$	$1S = 0,013 - 0,070 (X)$	$1S = 0,020 - 0,200 (X)$
Si $X > -0,1 \%$	$1S = 0,020$	$1S = 0,040$

- 8.3 El límite de confianza al 95% para el rango aceptable de dos resultados (D2S) puede ser determinado multiplicando la desviación estándar (1S) estimada dada en 8.2 por el factor 2,83.
- 8.4 Este método de ensayo no tiene desviación porque los valores determinados son definidos solo en términos del método de ensayo.

MTC E 317**PESO ESPECIFICO ALQUITRANES (METODO DEL DESPLAZAMIENTO)****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinación del peso específico mediante el desplazamiento del agua, de alquitranes, brea con puntos de ablandamiento superiores a 70 °C.

2.0 SIGNIFICADO Y USO

- 2.1 El peso específico del asfalto deberá determinarse, cuando sea posible, sobre fragmentos naturales, homogéneos, libres de grietas. No se recomienda el empleo de cubos fundidos debido a la dificultad de evitar la incorporación de burbujas de aire.
- 2.2 Este modo operativo es útil para caracterizar alquitranes, brea y como un elemento para establecer la uniformidad de los embarques y de las fuentes de suministro.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D71: "Standard Test Method for Relative Density of Solid Pitch and Asphalt (Displacement Method)".

4.0 EQUIPOS

- 4.1 EQUIPOS
- 4.1.1 Balanza analítica: para su empleo como balanza hidrostática.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Materiales bituminosos
- 5.1.1 Las muestras de embarques deberán tomarse de acuerdo con los métodos del Modo Operativo MTC E 318 y deberán estar libres de sustancias extrañas. Agitar completamente la muestra antes de tomar una porción representativa para el ensayo.

6.0 PROCEDIMIENTO**6.1 ESPECIMENES PARA EL ENSAYO**

- 6.1.1 Escoger dos fragmentos de la muestra en bruto que pesen entre 5 g y 20 g, cada uno. Inspeccionar cuidadosamente los fragmentos para asegurar la utilización de especímenes libres de grietas y de otros defectos superficiales.
- 6.1.2 Si la naturaleza del material es tal que puede fundirse el espécimen sin la incorporación de burbujas de aire, seguir las instrucciones para la preparación y vaciado del método ASTM D 61 "Punto de ablandamiento de alquitranes". Pueden utilizarse moldes cúbicos que tengan un mínimo de 12,7 mm de lado o más grandes. Ensamblar los moldes de tal manera que puedan fundirse cubos sólidos sin perforaciones. Una placa, como la base del molde para el punto de ablandamiento, puede invertirse para que proporciones la superficie plana requerida sobre la cual se ensambla el molde cubico antes del vaciado.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.2.1 Tarar la balanza con una hebra de alambre de 0,127 mm de nicromo, suficientemente larga como para que cuando el espécimen esté colgado del alambre, quede entre 20 y 30 mm por encima de la posición normal del platillo.
- 6.2.2 Pesar el espécimen suspendido, con aproximación al miligramo y registrar este peso como W_a . Llenar un vaso de 400 a 600 mL de capacidad hasta los 2/3 de su altura, con agua recién destilada que contenga una pequeña cantidad de detergente (ver Nota 1). Ajustar la temperatura del agua a $25,0\text{ °C} \pm 0,2\text{ °C}$ y mantener esta temperatura durante el resto del ensayo. Colocar el vaso con agua bajo el espécimen suspendido, de tal forma que éste quede completamente sumergido. Cuando esté correctamente colocado el vaso, no deberá

interferirse el movimiento de la balanza. Remover todas las burbujas de aire que se adhieran al espécimen o al alambre por medio de un alambre delgado, pesar luego el espécimen sumergido con aproximación al miligramo. Registrar este peso como W_b .

Nota 1: Son satisfactorios alrededor de 100 mg de detergente en 200 mL de agua.

6.2.3 Repetir la determinación con el segundo espécimen de ensayo.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Calcular el peso específico del material bajo ensayo de la siguiente manera:

$$\text{Peso específico a } 25\text{ }^{\circ}\text{C} = \frac{W_a}{(W_b - W_a)}$$

Donde:

W_a = Peso del espécimen en el aire, mg

W_b = Peso del espécimen en agua a 25 °C, mg

7.2 INFORME

7.2.1 En el informe final se hará constar:

- a) Promedio de las dos determinaciones, hasta la tercera cifra decimal, a menos que los valores individuales difieran en más de 0,005. en este caso, repetir la determinación con dos fragmentos o especímenes fundidos escogidos nuevamente. Descartar el más bajo de los cuatro valores y relacionar el promedio de los restantes como peso específico a 25 °C.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 Repetibilidad: Los valores duplicados obtenidos por el mismo operador no se consideraran sospechosos a menos que difieran en más de 0,005.

8.2 Reproducibilidad: Los valores informados para cada uno de dos laboratorios, que representen el promedio aritmético de determinaciones duplicadas, no deberán considerarse sospechosos a menos que difieran en más de 0,007.

MTC E 318**PESO ESPECIFICO Y PESO UNITARIO DE MATERIALES BITUMINOSOS****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar la densidad y densidad relativa de materiales bituminosos semisólidos, cementos asfálticos y alquitranes blandos, mediante el uso de un picnómetro.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Los valores de la densidad son usados para convertir volúmenes a unidades de masa y para corregir volúmenes medidos de una temperatura específica a una temperatura Standard usando la práctica ASTM D 4311.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 70: Standard Test Method for Density of Semi Solid Bituminous Materials (Pycnometer Method).
3.2 NLT - 122/99

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Picnómetro de vidrio, consistente en un vaso de vidrio cilíndrico o cónico el cual recibe una tapa de vidrio esmerilado, que encaja correctamente de 22 a 26 mm de diámetro. La tapa deberá estar provista de un orificio de 1,0 a 2,0 mm de diámetro, situado centralmente como referencia del eje vertical. La superficie superior de la tapa deberá estar pulida y substancialmente plana y la parte inferior deberá ser cóncava para que permita que todo el aire salga hasta el final del agujero. La altura de la sección cóncava deberá ser de 4,0 a 18,0 mm en el centro. El picnómetro tapado deberá tener una capacidad de 24 a 30 mL y deberá pesar no más de 40 g. Los picnómetros recomendados son ilustrados en la figura 1.
- 4.1.2 Baño de Agua, de Temperatura Constante, capaz de mantener la temperatura dentro de 0,1 °C de la temperatura de ensayo.

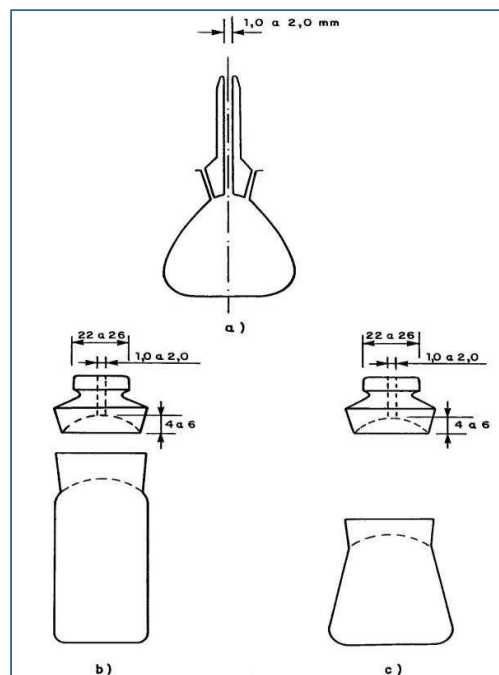


Figura 1.- Picnómetro y Tapón Adecuados

- 4.1.3 Termómetros, Calibrados, de líquido en vidrio de inmersión total, de rango adecuado, graduado al menos cada 0,1 °C, y una escala de error máximo de 0,1 °C, como lo prescrito en la Especificación E1 de la ASTM. El termómetro más comúnmente empleado es el ASTM de 63 °C. Cualquier otro aparato termométrico de igual exactitud puede ser empleado.
- 4.1.4 Balanza, capaz de efectuar las medidas adecuadas a una exactitud de al menos 0,001 g.
- 4.1.5 Beaker, de 600 mL, ó el más grande de los beaker tipo Griffin de forma achatada.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Agua.- Agua hervida fresca y agua fría destilada ó agua desionizada.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Tomar muestras de acuerdo con la Práctica D 140. La muestra estará libre de sustancias extrañas.
- 5.2 Mezclar la muestra cuidadosamente antes de retirar la porción representativa para el ensayo.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Preparación de aparatos

- 6.1.1 Parcialmente llenar un vaso Griffin de pequeña altura con agua hervida fresca y agua fría destilada ó agua desionizada a un nivel que permita que la parte superior del picnómetro se sumerja a una profundidad no menor que 40 mm.

- 6.1.2 Sumerja parcialmente el vaso en el baño de agua a una profundidad suficiente para que la parte inferior del vaso pueda ser sumergida a una profundidad de no menos que 100 mm, mientras que la parte superior del vaso esté por encima del nivel de agua en el baño. Emplee algún método para asegurar que el vaso no se vaya a ladear, mientras se asegura que la circulación del agua en el baño de acondicionamiento alrededor del vaso no se detenga. Sujetar el vaso en su lugar.

- 6.1.3 Mantener el baño de agua a una temperatura cercana a 0,1 °C de la temperatura de ensayo.

6.2 Calibración del Picnómetro

- 6.2.1 Limpiar y secar minuciosamente el picnómetro y pesarlo lo mas próximo a 0,001 g. Designar a esta masa como "A".

- 6.2.2 Retirar el vaso del baño de agua si es necesario. Llenar el picnómetro con agua hervida fresca, agua destilada ó agua desionizada, colocar la tapa suavemente en el picnómetro. Colocar el picnómetro en el vaso y presionar la tapa firmemente en su lugar. Retornar el vaso al baño de agua si previamente fue retirado.

Nota 1. La calibración puede ser efectuada a la temperatura de ensayo. Un picnómetro calibrado a una temperatura no puede ser empleado a otra temperatura diferente sin ser recalibrado a dicha temperatura.

- 6.2.3 Dejar que el picnómetro permanezca en el agua por un periodo no menor de 30 minutos. Retirar el picnómetro secar inmediatamente con una toalla seca la parte superior y la tapa, secar rápidamente el resto de su área exterior y pesar lo mas cercano a 0,001 mg. Designar a la masa del picnómetro mas el agua como "B".

Nota 2. No vuelva a secar la parte superior de la tapa incluso aun cuando una gota pequeña de agua se forme como resultado de la expansión. Si la parte superior está seca en el instante que el picnómetro es retirado del agua, la masa de los contenidos a la temperatura de ensayo será registrada. Si hay condensación sobre el picnómetro durante su pesada, rápidamente seque la parte externa del picnómetro (excluir la tapa) antes de registrar la masa.

- 6.3 Preparación de la muestra

6.3.1 Calentar la muestra con cuidado, agitando para evitar el sobrecalentamiento local, hasta que la muestra se haya puesto suficientemente fluida para verterla. En ningún caso la temperatura debe elevarse a más de 55 °C por encima del punto de ablandamiento para alquitranes o más de 110 °C por encima del punto de ablandamiento esperado para asfaltos. No calentar por más de 60 minutos y evitar la incorporación de burbujas de aire dentro de la muestra.

6.4 Procedimiento de Ensayo

6.4.1 Verter suficiente muestra calentada en un picnómetro seco y limpio, llenar hasta casi 3/4 de su capacidad. Tomar las precauciones para que el material no toque las paredes del picnómetro por encima del nivel final y prevenir la inclusión de burbujas de aire. (Nota 3). Dejar enfriar el picnómetro y su contenido a temperatura ambiente por un periodo no menor que 40 minutos y pesar con la tapa lo más próximo a 0,001g. Designar la masa del picnómetro mas la muestra como "C".

Nota 3. Si alguna burbuja de aire es inadvertidamente atrapada. Retirar por cepillado la superficie de asfalto en el picnómetro con una llama alta "suave" de un mechero Bunsen. Para evitar sobrecalentamiento no permita que la llama permanezca en contacto con el asfalto más de unos pocos segundos en cualquier instante.

6.4.2 Remover el vaso del baño de agua si es necesario. Llenar el picnómetro conteniendo el asfalto con agua fresca hervida, fría destilada o desionizada, colocar la tapa flojamente en el picnómetro. No permita que cualquier burbuja de aire permanezca en el picnómetro. Coloque el picnómetro en el vaso y presione la tapa firmemente en su lugar. Retorne el vaso al baño de agua si previamente fue removido.

6.4.3 Dejar el picnómetro para que permanezca en el baño de agua por un periodo no menor de 30 minutos. Remover el picnómetro del baño, Secar y pesar usando la misma técnica y cantidad de tiempo como el descrito en el 6.2.3. Designar esta masa del picnómetro mas muestra mas agua como "D".

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Calcule la densidad relativa lo mas cercana a 0,001; como sigue:

$$\text{Densidad Relativa} = (C - A) / ((B-A) - (D-C))$$

Donde:

- A = Masa del picnómetro (más la tapa).
- B = Masa del picnómetro llenado con agua.
- C = Masa del picnómetro parcialmente llenado con asfalto y
- D = Masa del picnómetro mas asfalto mas agua.

7.1.2 Calcule la densidad lo más cercano a 0,001; como sigue:

$$\text{Densidad} = \text{Gravedad específica} \times W_T$$

Donde:

W_T = Densidad del agua a la temperatura de ensayo. (Nota 4).

Nota 4. Densidad del agua del CRC Manual de Física Química

Temperatura, °C	Densidad del agua, kg/m ³
15,6	999,1
25,0	997,0

7.2 INFORME

7.2.1 Reportar la densidad lo más cercano a 1 kg/m^3 ($0,001 \text{ kg/L}$) y la temperatura de ensayo.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 Precisión de un solo operador. La desviación Standard de un solo operador para la densidad relativa de materiales bituminosos semisólidos deberá ser: $0,0013$ para $15,6 \text{ }^\circ\text{C}$ y $0,00082$ para $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos apropiadamente conducidos por un solo operador en el mismo material no deberán diferir por más de los siguientes valores:

Temperatura, $^\circ\text{C}$	Densidad, kg/m^3	Desviación típica (1s)	Desviación máxima entre 2 ensayos (D2s)
15,6	3,5 (0,0035)	0,0013	0,003
25,0	2,3 (0,0023)	0,00082	0,002

8.1.2 Precisión Multilaboratorio. Las desviaciones Standard Multilaboratorio para la densidad relativa de materiales bituminosos semisólidos deberán ser: $0,0024$ para $15,6 \text{ }^\circ\text{C}$ y $0,0019$ para $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Por lo tanto los resultados de dos ensayos apropiadamente conducidos por 2 laboratorios en muestras del mismo material, no deberán diferir por más de los siguientes valores:

Temperatura, $^\circ\text{C}$	Densidad, kg/m^3	Desviación típica (1s)	Desviación máxima entre 2 ensayos (D2s)
15,6	6,7 (0,0067)	0,0024	0,007
25,0	5,3 (0,0053)	0,00019	0,005

8.2 DISPERSION

8.2.1 No puede presentarse información respecto a la dispersión del procedimiento en este método de ensayo para medir la densidad, debido a que no existe un material que tenga un valor de referencia aceptado.

MTC E 319

ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO DE ASFALTOS MODIFICADOS

1.0 OBJETO Y ALCANCE

- 1.1 Determinar la estabilidad al almacenamiento de los asfaltos modificados, en particular con polímeros, de aplicación en construcción de carreteras.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 En circunstancias especiales climáticas, orográficas o de tráfico se pueden utilizar productos, generalmente polímeros, que adicionados al ligante asfáltico modifican alguna o varias de las características de éste, con el objeto de mejorarlo funcionalmente.
- 2.2 Durante el almacenamiento a temperaturas elevadas se pueden producir, en los ligantes modificados, fenómenos de cremado o de sedimentación, enriqueciéndose al ligante en polímeros en la parte inferior o superior del tanque en función de sus densidades respectivas. Este fenómeno puede ser propiciado por dispersión incorrecta del polímero en el ligante o por incompatibilidad entre ambos.
- 2.3 En el procedimiento que se describe, una muestra del ligante modificado, contenido en un recipiente conveniente, se somete a la acción de temperatura elevada durante 5 días determinándose, al final de este tiempo, el punto de ablandamiento (MTC E 307), u otras características especificadas, en partes de muestra tomadas en la zona superior e inferior del recipiente.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NLT-328/91: Estabilidad al almacenamiento de betunes asfálticos modificados.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Recipiente metálico, de la forma y especificaciones que especifican en la Figura 1.
- 4.1.2 Balanza, adecuada para masas de 200 g con precisión de con sensibilidad de $\pm 0,1$ g.
- 4.1.3 Estufa, que pueda mantener una temperatura de 165 ± 2 °C.
- 4.1.4 Capsulas, de porcelana de 8 cm de diámetro, fondo plano.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 De uso general en laboratorio, varillas de vidrio, Guantes, disolventes, capsulas, etc.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Betún asfáltico modificado.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se adoptan todas las medidas y precauciones necesarias para que la porción de muestra para ensayo sea representativa de la muestra de laboratorio que presentará aspecto homogéneo y no estará contaminada.
- 6.2 Una cantidad suficiente de muestra se calienta con cuidado y con agitación continua hasta 165 °C; si es necesario, calentar más para conseguir una consistencia de la misma que permita su vertido.

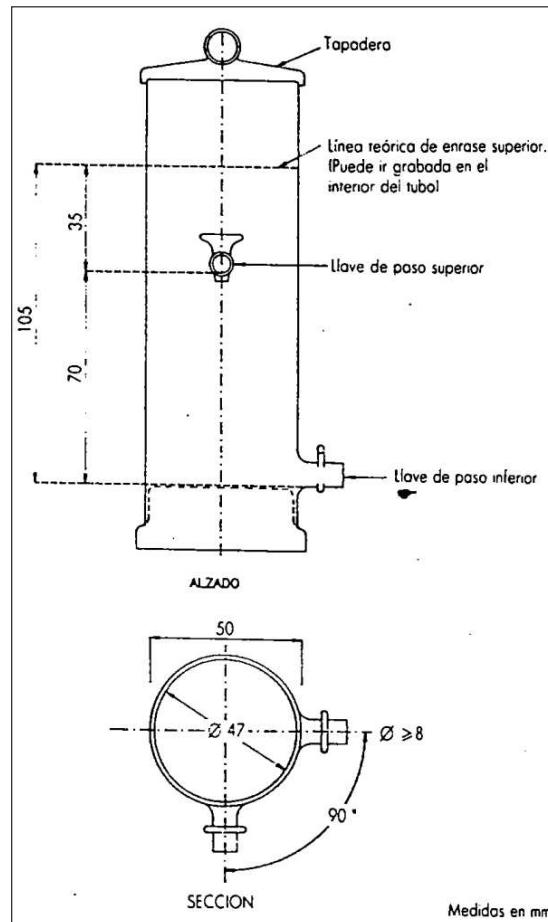


Figura 1. Esquema del recipiente para el ensayo de estabilidad al almacenamiento

- 6.3 Se transfieren 180 ± 1 g de la muestra al recipiente de ensayo, al que previamente se le han cerrado herméticamente los dos tubos de salida insertos en la superficie lateral del mismo (Nota 1).

Nota 1. Aunque en esta norma y en la Figura 1 se especifica el sistema de cierre de los tubos laterales de salida, con llaves de paso del tipo de los empleados en el servicio de suministro de gas, esta característica no es privativa del ensayo, pudiéndose adoptar cualquier otro dispositivo (tapones, etc.) que garantice la hermeticidad y facilite la toma de parte de muestra superior e inferior después del período de calentamiento en estufa.

- 6.4 En seguida se tapa el recipiente con su tapadera bien ajustada y se lleva el conjunto a la estufa regulada a 165 ± 2 °C durante 120 horas (5 días).
- 6.5 Después de transcurrido el tiempo de calentamiento, se saca el recipiente con su contenido de la estufa, evitando movimientos de aquel que puedan ocasionar desplazamiento del ligante fluido dentro del recipiente y se coloca en posición vertical sobre un soporte adecuado que permita el vaciado del contenido del recipiente como se indica a continuación.
- 6.6 Se quita la tapa del recipiente, se abre el dispositivo de cierre superior y se dejan fluir 60 ± 1 cm³ del contenido, que se recogen en una cápsula de porcelana previamente identificada con, p.ej., muestra superior. Inmediatamente después se abre el dispositivo de cierre inferior y se dejan fluir otros 60 ± 1 cm³ del contenido, que se recogen en otra cápsula de porcelana previamente identificada con, p, ej., muestra inferior (Nota 2).

Nota 2. Puede ser necesario calentar ligeramente con un mechero el dispositivo de salida inferior si, por enfriamiento, el ligante modificado no fluyese por aumento de su viscosidad.

- 6.7 Los contenidos, por separado, de cada cápsula se trasvasan a su vez a los moldes de ensayo para la posterior determinación de los puntos de reblandecimiento, penetraciones, etc., respectivos. Estas manipulaciones se efectuarán respetando estrictamente lo indicado en las normas de ensayo correspondientes (Nota 3).

Nota 3. Aunque en esta norma se especifican los ensayos de penetración y del punto de ablandamiento anillo y bola para definir y cuantificar la estabilidad al almacenamiento de la muestra en cuestión, ello no impide la realización de otro u otros tipos de ensayo que permitan poner de relieve la posible alteración de la homogeneidad de la muestra por causa del ensayo de estabilidad al almacenamiento. Estos ensayos podrían ser, p.ej., desde el examen visual o microscópico, hasta la viscosidad absoluta.

- 6.8 Se efectúan sobre las dos submuestras tratadas superior e inferior, los ensayos de penetración y de punto de ablandamiento anillo y bola, de acuerdo con las normas MTC E304 y MTC E307.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 El resultado del ensayo de estabilidad al almacenamiento se expresará como diferencia entre las penetraciones y entre los puntos de ablandamiento, determinados según el apartado 6.8, obtenidos en las submuestras superior e inferior ensayadas.

Estabilidad de almacenamiento:

Variación de penetración:

$$\Delta P = P_{sup} - P_{inf} \text{ (0,1 mm)}$$

Variación del punto de ablandamiento,

$$\Delta P = PA_{sup} - PA_{inf} \text{ (}^\circ\text{C)}$$

7.2 INFORME

- 7.2.1 Informar como resultado de ensayo según lo que indica en apartado 7.1.1.

MTC E 320

RECUPERACION ELASTICA POR TORSION DE ASFALTOS MODIFICADOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el grado de elasticidad que presentan los asfaltos modificados en particular con polímeros, de aplicación en construcción de carreteras.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 En el procedimiento que se describe, un cilindro de dimensiones especificadas se sumerge en la muestra del ligante bituminoso modificado. Mediante un dispositivo de torsión se gira el cilindro 180° y se determina, después de 30 minutos, el ángulo recuperado por él.
- 2.2 En casos particulares de clima, orográficas o de tránsito, se pueden utilizar productos, generalmente polímeros, que incorporados al ligante asfáltico modifican las características de éste, con el objeto de mejorarlo funcionalmente.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NLT- 329/91: "Recuperación elástica por torsión de betunes asfálticos modificados".

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

- 4.1 Aparato de Torsión. Un aparato para imponer un esfuerzo de torsión a la muestra con las dimensiones y forma de la figura, constituido fundamentalmente por: un cilindro metálico, semicorona con escala graduada de 0 a 180 °, baño de agua y recipiente para la muestra (figuras 1 y 2).
- 4.2 Termómetro. Para controlar la temperatura del baño de agua, graduado en 0,1 °C y escala de 19 a 27 °C (Por ejemplo, el termómetro ASTM 17C, utilizado en la norma E- 304).
- 4.3 Cronómetro o temporizador para medir tiempos de 30 minutos \pm 1 s.
- 4.4 Material de uso general en laboratorio Estufa, cápsulas, varillas de vidrio, espátulas, disolventes, etc.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Se muestrea el cemento asfáltico modificados en depósitos del aparato de torsión.
- 5.2 La muestra debe ser representativa de la muestra total, que a su vez presentará aspecto homogéneo y no estará contaminada.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se adoptan todas las medidas y precauciones necesaria para la porción de muestra para ensayo sea representativa de la muestra de laboratorio que a su vez presentara aspecto homogéneo y no estará contaminada.
- 6.2 Una cantidad suficiente de la muestra de laboratorio se calienta con cuidado y con agitación continua hasta conseguir una consistencia de la misma que permita su vertido.
- 6.3 Se ajusta el cilindro del aparato de torsión de forma que su base inferior quede a una distancia de 20 mm del fondo del recipiente para el ensayo situado en posición centrada, ajustado en el resalte que para tal fin se dispone en el fondo del baño.
- 6.4 Se transfiere, por vertido, la muestra al recipiente de ensayo en cantidad bastante para enrasarla con la marca grabada de que dispone el cilindro a 10 mm de su base inferior.
- 6.5 Se deja enfriar el conjunto recipiente-muestra a temperatura ambiente, durante 1 hora como mínimo. A continuación, se hace circular agua por el baño termostático a temperatura de 25 \pm 0,1 °C, durante al menos 90 minutos, para equilibrar la temperatura del agua del baño y

de la muestra. El nivel del agua en el baño estará suficientemente por encima del recipiente con la muestra.

- 6.6 Transcurridos los 90 minutos antes referidos, se introduce el pasador en el alojamiento que al efecto tiene el cilindro y con su ayuda se hace girar éste 180° en sentido de las agujas del reloj desde 180 a 0°, en un tiempo comprendido entre 3 y 5 segundos. Inmediatamente se retira de su alojamiento el pasador y después de 30 minutos \pm 15 segundos, se procede a la lectura indicada por la varilla sobre la semicorona graduada. La lectura al final del ensayo es el valor del ángulo recuperado.

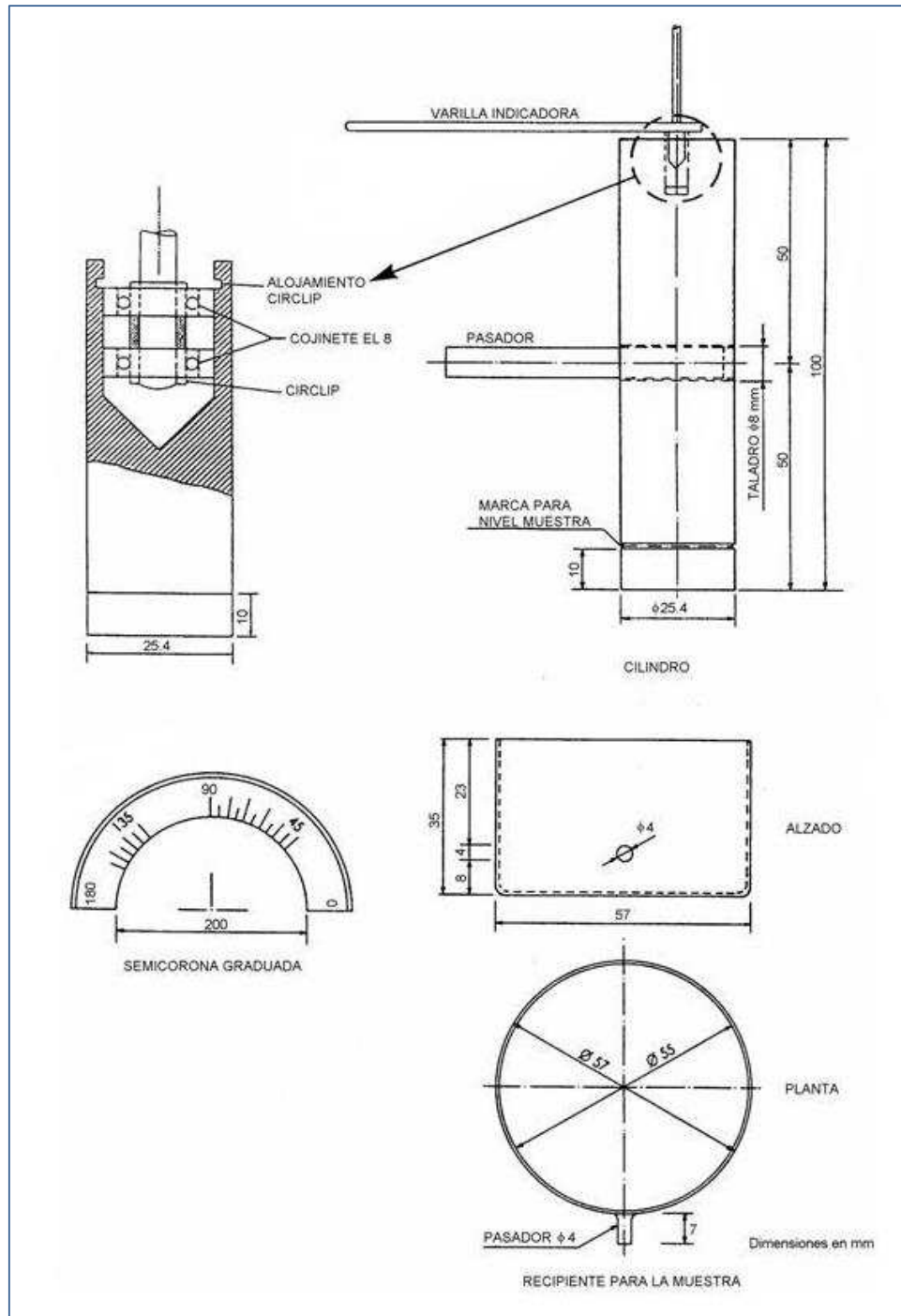


Figura 1. Cilindro, semicorona graduada y recipiente para la muestra

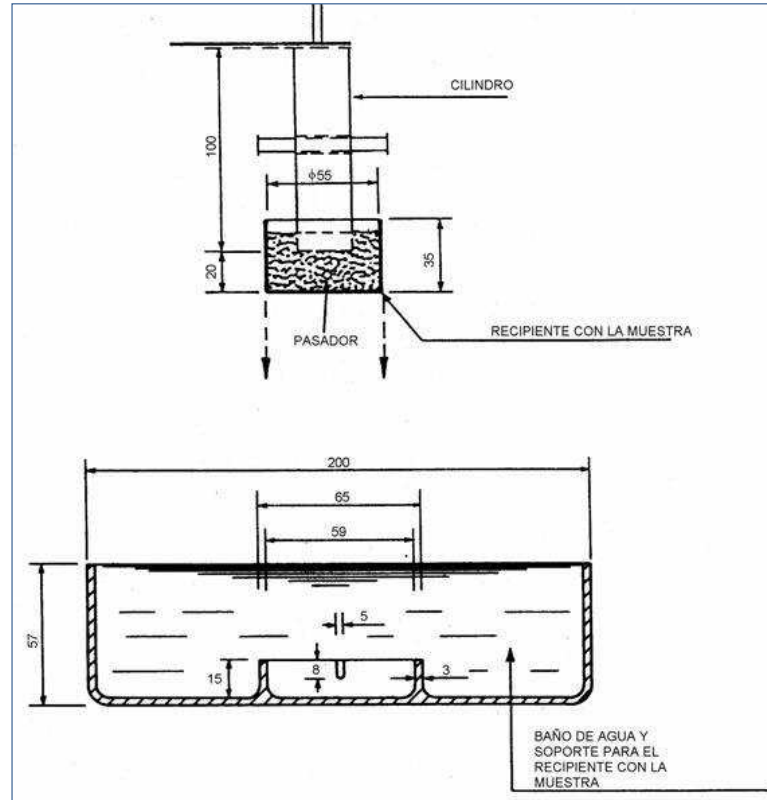


Figura 2. Esquema del dispositivo para el ensayo de recuperación elástica

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Los cálculos se da mediante la fórmula :

$$\text{Recuperación elástica por torsión } Re_t = \frac{L}{180} 100$$

Donde L = ángulo recuperado.

7.2 INFORME

7.2.1 Se informa el resultado del ensayo se expresa, como recuperación elástica por torsión, en porcentaje del ángulo recuperado con respecto al inicial de 180°.



SECCION N° 4 EMULSIONES

MTC E 401**DESTILACION DE EMULSIONES ASFALTICAS****1.0 OBJETO**

- 1.1 Realizar la determinación cuantitativa de los destilados de aceite y el residuo de los asfaltos emulsionados para obtener la aceptación de la especificación, la evaluación del servicio, el control y la investigación. También se podrá usar este método de prueba para realizar más pruebas adicionales del destilado de aceite y el residuo.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Describe el procedimiento que debe seguirse para efectuar el ensayo de destilación de las emulsiones asfálticas.
- 2.2 En este ensayo se destila una muestra de $200 \pm 0,1\text{g}$ de la emulsión hasta una temperatura de $260 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Se determina la proporción del residuo y a este material se le pueden realizar los ensayos de penetración, solubilidad, ductilidad, peso específico y cenizas para caracterizar el material asfáltico empleado.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 ASTM D 6997: "Standard Test Method for Distillation of Emulsified Asphalt".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS****4.1.1** Aparato de destilación compuesto por:

- Retorta de aleación de aluminio. Una retorta cilíndrica, tal como se detalla en la Figura 1, de aproximadamente 240 mm de altura y 95 mm de diámetro interior, provista de un mechero anular con orificios en su superficie interior para fijarlo alrededor de la parte exterior de la retorta. Las superficies de contacto entre la retorta y su tapa deben tener un acabado que proporcione un cierre lo más hermético posible. Se podría usar una variedad de materiales de empaquetadura para sellar la destiladora con tal de que resiste la máxima temperatura alcanzada durante la destilación.
- Aparato de conexión: El cual consiste de un tubo de conexión de metal o de vidrio, de la forma y dimensiones indicadas en la Figura 2, sirve de conexión entre el condensador y la retorta.
- Condensador. Un elemento refrigerante recto, con camisa metálica, de la forma y dimensiones que se indican en la Figura 2.
- Probeta. Una probeta de 100 mL de capacidad con intervalos de graduación de 1,0 mL
- Protector de zinc. Un protector de zinc para cubrir el tubo de desprendimiento, con la forma y dimensiones que se indican en la Figura 2.
- Tampones. Corcho (envuelto en papel de aluminio) u otros tampones para sellar los agujeros de la cubierta de la destiladora, mantiene el dispositivo del medidor de temperatura en posición, y asegura el tubo de conexión a la cubierta de la destiladora.

- 4.1.2 Balanza capaz de pesar 3 500 g con una precisión de $\pm 0,1 \text{ g}$.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Termómetros. Dos termómetros para destilación a baja temperatura de acuerdo con las siguientes características:

Referencia ASTM	Escala $^\circ\text{C}$	Graduación $^\circ\text{C}$	Longitud Total mm	Error máximo $^\circ\text{C}$
7 C	-2a+300	1,0	386	0,5

Como también cualquier otro dispositivo termométrico de igual exactitud.

- 4.2.2 Tamiz. Un tamiz con abertura de $300 \mu\text{m}$ (Nº 50).

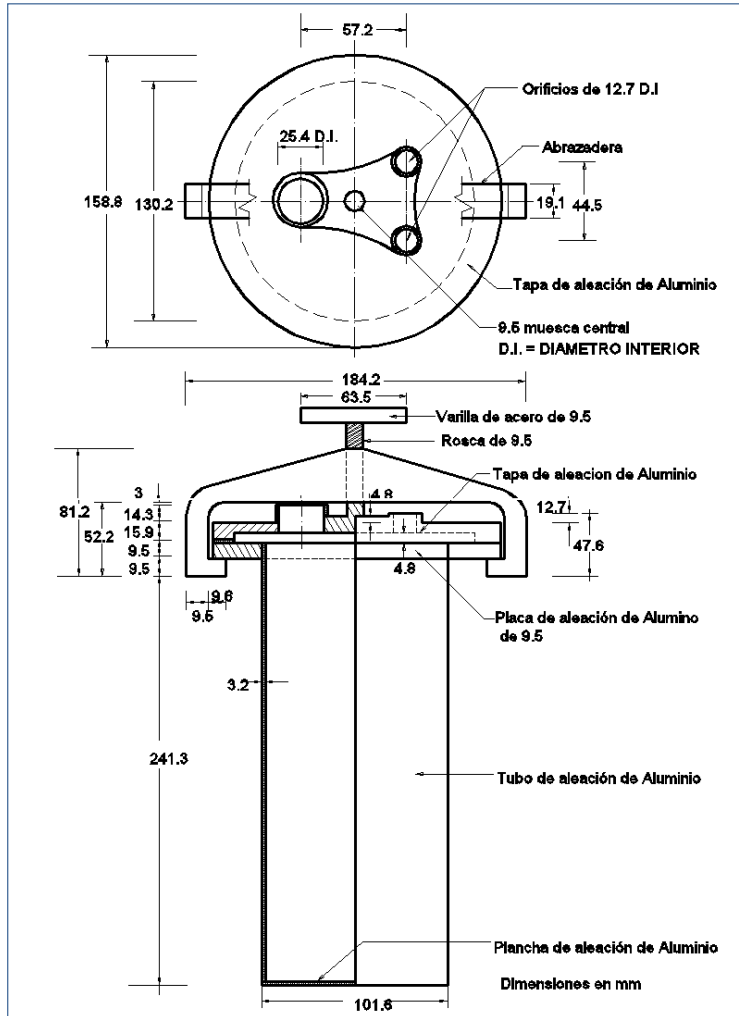


Figura 1. Retorta de aleación de aluminio

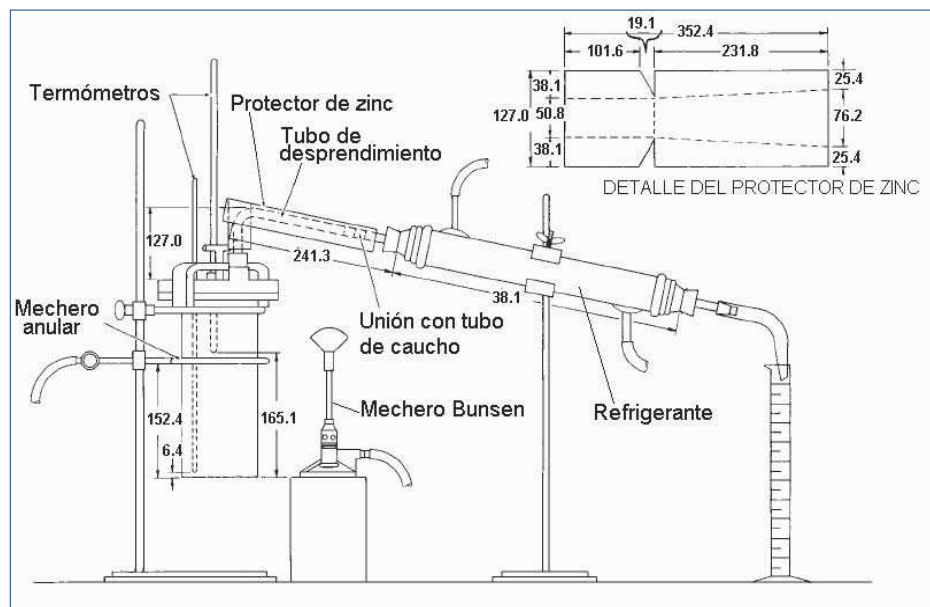


Figura 2. Aparato para el ensayo de destilación de emulsiones asfálticas

5.0 MUESTRA

Antes de realizar las pruebas, todos los asfaltos emulsionados serán agitados correctamente para lograr la homogeneidad.

- a) Todos los asfaltos emulsionados que tengan que cumplir con los requisitos de la prueba de viscosidad de 50°C serán calentados a $50 \pm 3^\circ\text{C}$ en el recipiente de la muestra original en un baño maría u horno. Se deberá ventilar el recipiente para aliviar la presión. Luego que la muestra alcance $50 \pm 3^\circ\text{C}$, revuelve la muestra para lograr la homogeneidad.
- b) Los asfaltos emulsionados que tengan que cumplir con los requisitos de la prueba de viscosidad de 25°C deberán ser mezclados o revueltos a $25 \pm 3^\circ\text{C}$ en el recipiente de la muestra original para lograr la homogeneidad.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se monta el aparato conforme se indica en la Figura 2, teniendo cuidado de que todas las conexiones queden bien ajustadas.
- 6.2 Se pesan $200 \pm 0,1$ g de la emulsión en la retorta previamente tarada. En el tarado se incluyen la retorta, la tapa, la abrazadera, los termómetros y la junta de papel impregnada (empaquetadura) si se emplea.
- 6.3 Una junta de papel impregnada (empaquetadura) en aceite mineral puede emplearse entre la retorta y su tapa o también puede conseguirse el cierre por un acabado adecuado de las superficies de contacto. La tapa se aprieta firmemente sobre la retorta.
- 6.4 Los termómetros se acoplan en los agujeros más pequeños de la tapa por medio de tapones perforados, de manera que la parte inferior del bulbo de uno de ellos quede a una distancia de 6,0 mm del fondo de la retorta; Se podría usar el otro termómetro y el bulbo de éste, aproximadamente, a una distancia de 165 mm del fondo de la retorta.
- 6.5 Se coloca el mechero anular alrededor de la retorta, aproximadamente a 150 mm de su fondo. Se enciende este mechero y se ajusta de manera que se obtenga una llama pequeña. También se calienta el tubo de conexión por medio de un mechero Bunsen, para evitar que el agua se condense en él.
- 6.6 Cuando pueda leerse la temperatura en el termómetro mas bajo, aproximadamente a 215 °C, se baja el mechero anular hasta una posición a nivel del fondo de la retorta. Se eleva la temperatura hasta 260 ± 5 °C y se mantiene ésta durante 15 minutos. La destilación se llevará a cabo en un tiempo de 60 ± 15 minutos desde el comienzo de la aplicación de calor.

Nota 1. La ubicación del mechero al comenzar el ensayo puede variarse según el desarrollo del mismo. Puede elevarse para disminuir el riesgo de formación de espuma o bajarse hasta la parte media de la retorta, cuando se ensayen emulsiones que no tengan solventes. Un repentino cambio en la lectura del termómetro superior indica que hay espuma a la altura de su bulbo, debiendo en este caso parar el calentamiento hasta que cese la formación de espuma.

- 6.7 Inmediatamente después de terminado el período de calentamiento se pesa la retorta y accesorios, tal como se describe en el numeral 6.2 y se anota el volumen de aceite destilado, con aproximación de 0,5 mL, conservándolo si se necesita su identificación

Nota 2. La retorta de aleación de aluminio pesa, debido al empuje del aire a esta temperatura 1,5 g menos que a temperatura ambiente. Para corregir este error se añaden 1,5 g al peso obtenido al final del ensayo, antes de calcular el porcentaje de residuo por destilación

- 6.8 Se quita la tapa de la retorta, se agita el residuo e inmediatamente verter las porciones adecuadas del residuo dentro de un recipiente o dentro de los moldes adecuados para realizar

cualquier prueba requerida, dejando enfriar el residuo en éstos, sin cubrirlos, a la temperatura ambiente.

Si existe una sustancia extraña en el residuo se pasa este residuo a través del tamiz de 300 µm (Nº 50) a los moldes y recipientes adecuados para realizar los ensayos necesarios, dejando enfriar el residuo en éstos, sin cubrirlos, a la temperatura ambiente.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 cálculos y expresión de los resultados. Se calcula el porcentaje de residuo por destilación, así como el de aceite destilado, referidos al total de la emulsión, de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$\text{Residuo por destilación \%} = \frac{(P_f - P_t) + 1,5}{P_i - P_t} \times 100$$

Donde:

- P_t = Peso retorta y accesorios.
- P_i = Peso retorta y accesorios + emulsión.
- P_f = Peso retorta y accesorios + residuo.

El % de aceite destilado se calcula con base en el volumen recogido en probeta, con la siguiente expresión:

$$\text{Aceite destilado \%} = \frac{\text{volumen aceite destilado en cc}}{2}$$

Los resultados se expresarán con aproximación del 1%.

7.2 INFORME

Informe el porcentaje del residuo de la muestra.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

El criterio siguiente se puede seguir para juzgar la aceptabilidad de los resultados, con el 95% de probabilidad.

Los resultados obtenidos por duplicado por el mismo operador se considerarán satisfactorios si no difieren en más de la siguiente cantidad:

Residuo por destilación % en peso Repetición % en peso	Residuo por destilación % en peso Repetibilidad % en peso
De 50 a 70	1,0

Los resultados obtenidos por dos laboratorios se considerarán satisfactorios si no difieren en más de la siguiente cantidad:

Residuo por destilación % en peso	Residuo % en peso
De 50 a 70	2,0

MTC E 402

AGUA EN EMULSIONES ASFALTICAS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el contenido de agua en las emulsiones asfálticas.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El método se basa en la destilación a reflujo de una muestra del material, junto con un disolvente volátil no miscible con el agua, el cual al evaporarse facilita el arrastre del agua presente, separándose completamente de ella al condensarse.
- 2.2 Este método de prueba mide la cantidad de agua presente en el asfalto emulsificado.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 Norma ASTM D 244: "Standard Test Methods and Practices for Emulsified Asphalts" – Sections 4-10.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 El aparato para la destilación consistirá fundamentalmente en una retorta Metálica o un matraz de vidrio, calentado por un medio apropiado y provisto de un refrigerante de reflujo que descargue en un colector graduado, el cual sirve para recoger y medir el agua condensada y devolver el disolvente al matraz. El tipo de aparato empleado no es un punto fundamental en este método.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Retorta metálica. La retorta (Figura 1) tendrá forma cilíndrica y estará provista de una pestaña en el borde, a la cual se sujeta la tapa por medio de una abrazadera, produciendo un cierre lo más hermético posible. La tapa será también metálica y estará provista de un orificio de 25,4 mm de diámetro interior.
- 4.2.2 Matraz de vidrio. El matraz de vidrio (Figura 2) será de cuello corto y fondo redondo, de vidrio resistente al calor y de una capacidad de 500 mL.
- 4.2.3 Mecheros. Con la retorta metálica se empleará un mechero de gas anular de unos 100 mm de diámetro interno, provisto de agujeros para la salida del gas en la parte interior. Con el matraz de vidrio se empleará un mechero de gas ordinario o un calentador eléctrico.
- 4.2.4 Condensador de reflujo que estará enfriado por agua y será del tipo recto, con un diámetro interior del tubo comprendido entre 9,5 y 12,7 mm y provisto de una camisa de refrigeración no menor de 400 mm de longitud. El extremo del refrigerante terminado en forma de pico de flauta con un ángulo de 30 ± 5 grados respecto al eje vertical del refrigerante. Se montará sobre el colector de la forma que indican las figuras 1 y 2.
- 4.2.5 Colector (trampa o sifón Manual de instalación doméstico de agua) será de vidrio, con la forma y dimensiones de la Figura 3 y estará graduado en divisiones 0,10 mL de 0 a 2 mL y en divisiones de 0,20 mL desde 2 a 25 mL.

4.3 INSUMOS

El disolvente será xileno o xylol u otro producto de la destilación del petróleo, con un 98% de destilado entre 120 y 250 °C.

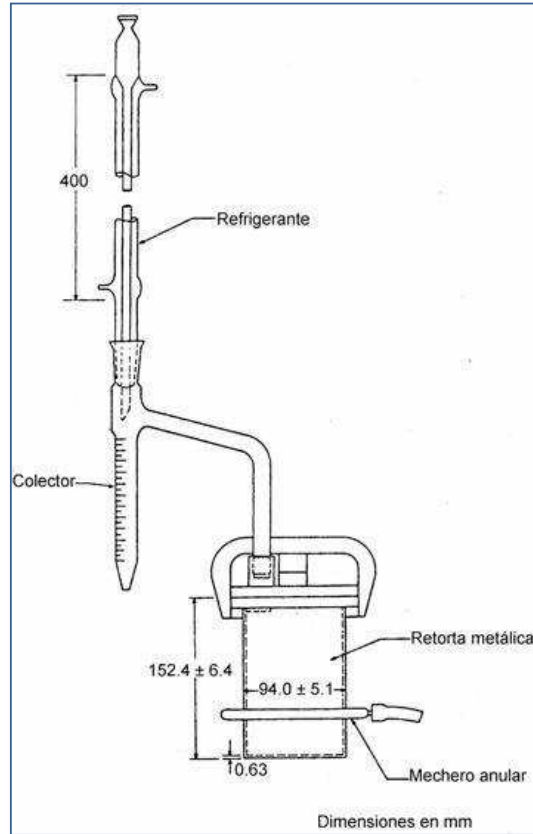


Figura 1. Aparato para la destilación

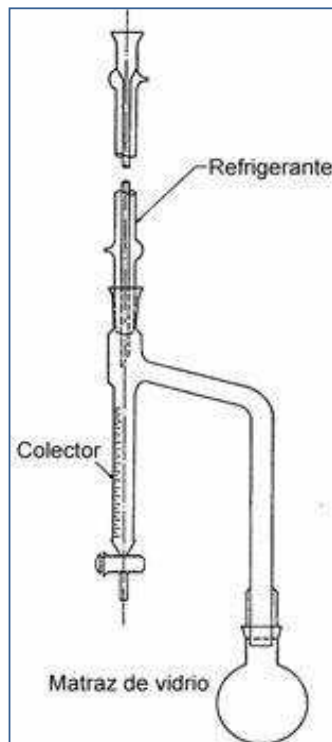


Figura 2. Destilación con matraz de vidrio

5.0 MUESTRA

La muestra de laboratorio será verdaderamente representativa del material que se vaya a ensayar.

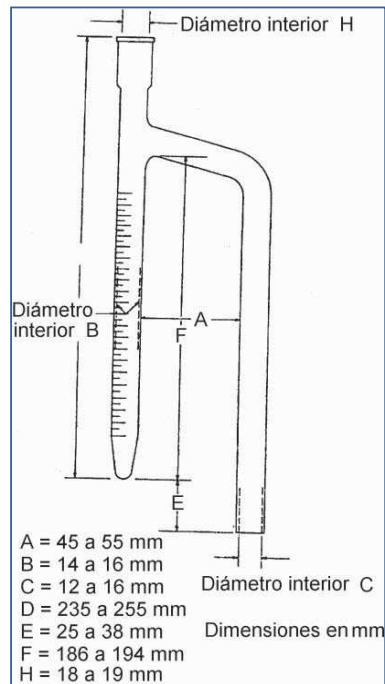


Figura 3. Colector

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Cuando el material que se va a ensayar contiene menos del 25% de agua, se vierten dentro de la retorta o matraz $100 \pm 0,1$ g de la muestra. Cuando el material contiene más del 25% de agua la muestra será de $50 \pm 0,1$ g. Una vez pesada la muestra, mezclar vigorosamente la muestra por ensayar con 200 mL de disolvente, teniendo cuidado para evitar pérdidas de material.
- 6.2 Las conexiones entre la retorta o matraz, el colector y el refrigerante, se hacen como se indica en las figuras 1 y 2. El extremo del refrigerante que entra en el colector debe tener una posición tal que su extremo quede sumergido a una profundidad menor de 1 mm por debajo del nivel del líquido en el colector después de que se han establecido las condiciones de destilación. Cuando se emplee la retorta metálica, se coloca, entre el reborde de la misma y la tapa, un papel grueso del tipo para juntas, humedecido con el disolvente. En el extremo superior del refrigerante se coloca un poco de algodón sin apelmazar, para evitar que la humedad atmosférica se condense dentro del tubo.
- 6.3 Cuando use el mechero anular con la retorta metálica coloque este aproximadamente unos 76,2 mm por encima del fondo de la retorta al comienzo de la destilación y en el transcurso de ésta, se va bajando gradualmente. El calor se aplica regulando su intensidad de tal forma que el reflujo del disolvente condensado caiga a una velocidad de 2 a 5 gotas por segundo.
- 6.4 Se continúa la destilación a la velocidad especificada hasta que no se vea agua en ninguna parte del aparato, excepto en el colector y el volumen de agua en éste se mantenga constante durante 5 minutos. Si se observa en el tubo del refrigerante un anillo de agua condensada, se puede eliminar aumentando la velocidad de destilación durante algunos minutos.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

Se calcula el contenido de agua como porcentaje, así:

$$\text{Contenido de agua, \%} = \frac{A}{B} \times 100$$

Donde:

A = Volumen de agua en el colector en mL.

B = Peso de la muestra de ensayo en gramos.

7.2 INFORME

Reporte el resultado como "porcentaje de peso de agua ASTM D 244".

8.0 PRECISION Y DISPERSION

El criterio siguiente se puede seguir para juzgar la aceptabilidad de los resultados, con un 95% de probabilidad:

- 8.1 Los resultados obtenidos por duplicado por el mismo operador se considerarán satisfactorios, para contenidos de agua entre 30 y 50%, si no difieren en más del 0,8%.
- 8.2 Los resultados obtenidos por dos laboratorios se considerarán satisfactorios, para contenidos de agua entre 30 y 50%, si no difieren en más del 2,0%.

MTC E 403**VISCOSIDAD SAYBOLT DE EMULSIONES ASFALTICAS****1.0 OBJETO Y ALCANCE**

- 1.1 Determinar la viscosidad o consistencia de las emulsiones asfálticas por medio del viscosímetro Saybolt Furol.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Las determinaciones se realizan a 25 °C o 50 °C, pudiendo emplearse el viscosímetro, aún en el caso en que el tiempo empleado para fluir, sea menor de 20 segundos.
- 2.2 La viscosidad tiene importancia en el uso de emulsiones asfálticas porque es una propiedad que afecta su empleo. Cuando es usado en diferentes tipos de aplicación en obras viales, el material debe ser lo bastante delgado para ser uniformemente aplicado a través de la barra rociadora del distribuidor, pero lo bastante grueso de modo que no fluya desde la corona o pendiente del camino. Para tipos de mezclas, la viscosidad puede afectar la misibilidad y grosor de película en el agregado. La viscosidad de muchas emulsiones es afectada por el esfuerzo de corte. Por lo tanto, se necesita estricta adherencia previa al procedimiento de prueba para lograr precisión.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 244: "Standard Test Methods and Practices for Emulsified Asphalts" – Sections 17 - 21.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Viscosímetro. Un viscosímetro del tipo Saybolt Furol, semejante al utilizado para ensayos de viscosidad Saybolt en otros materiales asfálticos (MTC E 309) con sus aditamentos (véanse figuras 1, 2, 3, 4 y 5).
- 4.1.2 Baño de agua. Que permita mantener la temperatura de prueba requerida dentro de los límites especificados según método de prueba D-88.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Tamiz. Un tamiz de tamaño adecuado con abertura de 850- μ m (Nº 20).
- 4.2.2 Termómetro. ASTM Nº 17C para pruebas a 25°C y ASTM Nº 19C para pruebas a 50°C.
- 4.2.3 Cronómetro: Graduado en decimos de un segundo, y exacto hasta dentro del 0,1% cuando es probado sobre un intervalo de 60 minutos. Los cronómetros eléctricos son aceptables si son funcionados en un circuito de frecuencia controlada.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Emulsión Asfáltica catiónica.

6.0 PROCEDIMIENTO**6.1 Ensayo a 25 °C.**

- 6.1.1 Se agita bien la muestra para que no se formen burbujas y viértala en un frasco de 100 mL, el cual se coloca en un baño de agua a la temperatura de 25 °C \pm 0,1 °C) durante 30 min, mezclando al final la muestra, para lo cual se invierte el frasco varias veces, pero lentamente para evitar que se forme espuma.
- 6.1.2 Vierta la mezcla en el viscosímetro a través del tamiz 850 mm o colador malla 20, permitiendo que una pequeña porción fluya por el tubo de salida para desecharse.

- 6.1.3 Coloque el tapón, el cual debe estar unido a un cordel que facilite su remoción, en la cámara de aire del viscosímetro; se vierte la muestra a través del tamiz de 850 mm (Nº20) directamente en el tubo del viscosímetro hasta que sobrepase el borde de rebose del tubo.

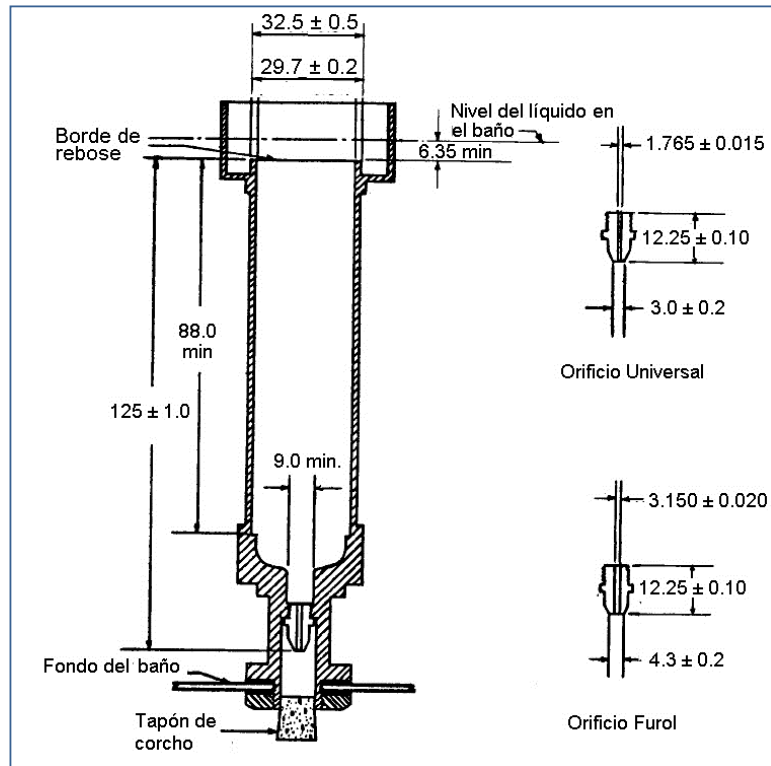


Figura 1. Viscosímetro Saybolt con orificio Universal y Furol

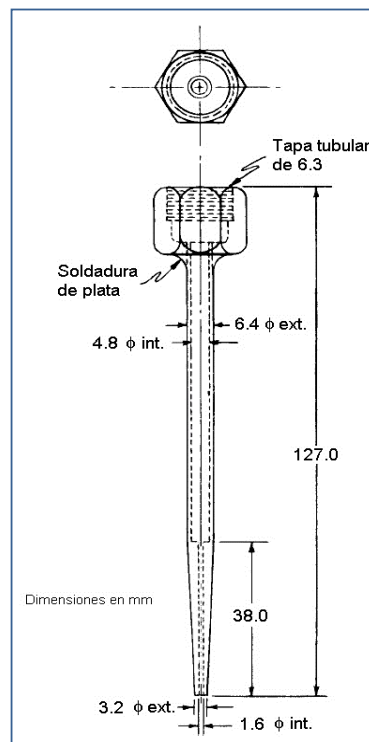


Figura 2. Tubo en forma de pipeta para usarlo con el viscosímetro Saybolt

- 6.1.4 Se agita la muestra con un termómetro de viscosidad equipado con soporte (Figura 3), mediante un movimiento circular de 30 a 50 rpm en el plano horizontal, hasta que la temperatura de la emulsión alcance la del ensayo y permanezca durante un minuto dentro de $\pm 0,05$ °C de la misma.
- 6.1.5 Se saca el termómetro de la muestra y se retira la emulsión de la galería utilizando la pipeta extractora, hasta que quede por debajo del borde de rebose, teniendo especial cuidado para que la punta de la pipeta no lo toque.
- 6.1.6 Se coloca el frasco receptor de tal manera que la emulsión que cae del viscosímetro golpee el cuello del mismo.
- 6.1.7 Se retira rápidamente el tapón del fondo del viscosímetro y en el mismo instante se pone en funcionamiento el cronómetro, el cual se detiene en el momento en que el fondo del menisco alcance la marca de graduación del frasco receptor, anotándose la lectura del cronómetro.

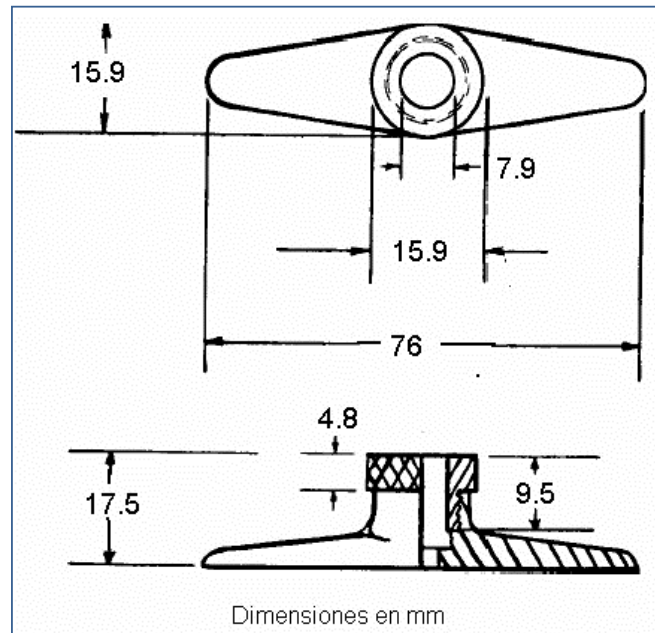


Figura 3. Soporte para el termómetro

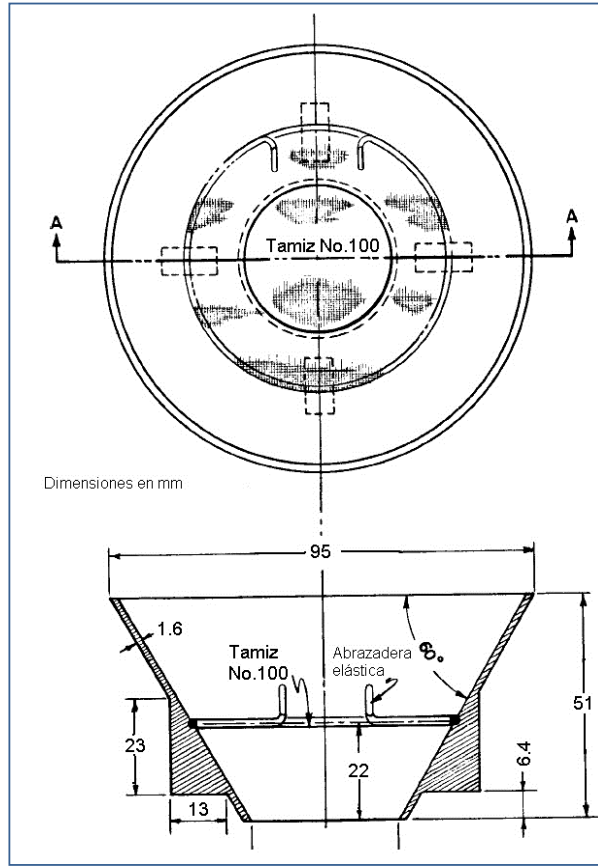


Figura 4. Embudo filtrador para usarlo con el viscosímetro Saybolt

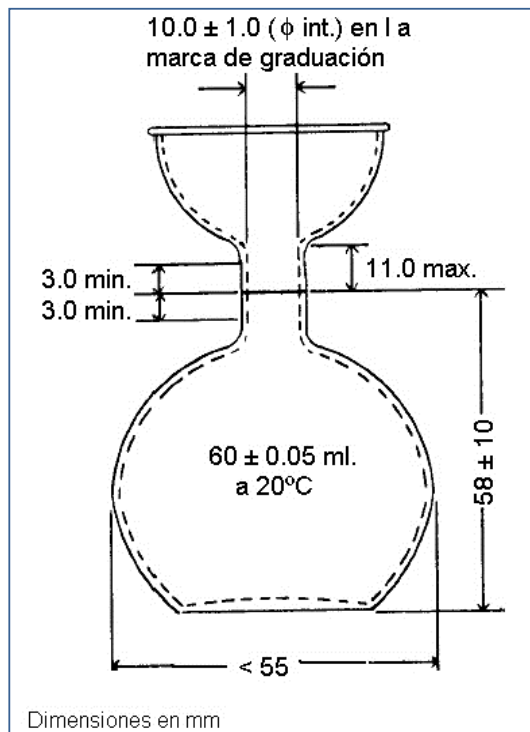


Figura 5. Matraz recibidor

6.2 Ensayo a 50 °C.

- 6.2.1 Se agita bien la muestra sin incorporar burbujas y se echan unos 100 mL en un vaso de vidrio de 400 mL. El vaso con la emulsión se sumerge en un baño de agua, de manera que el fondo quede a 50 mm de la superficie y se mantiene en posición vertical. La temperatura del baño debe ser de 71,3°C.
- 6.2.2 Con objeto de obtener una distribución uniforme de la temperatura, se agita la emulsión con el termómetro del viscosímetro mediante un movimiento circular de 60 vueltas por minuto (el termómetro deberá ir tocando las paredes y el fondo del vaso). Se tendrá cuidado para no producir burbujas.
- 6.2.3 La emulsión que se va a ensayar se calentará, dentro del baño, mantenido a la temperatura de $71 \pm 2,5$ °C, hasta que alcance $51,5 \pm 0,3$ °C.
- 6.2.4 Se coloca el tapón conforme se indicó en el numeral 6.1. Una vez que la emulsión alcance la temperatura indicada, se vierte inmediatamente a través del tamiz de 850 mm (Nº 20), en el tubo del viscosímetro, hasta que rebose en la galería del aparato.
- 6.2.5 La emulsión se sigue agitando con el termómetro, con las mismas revoluciones hasta alcanzar la temperatura del ensayo. Se tendrá cuidado para no producir burbujas durante la agitación. La temperatura del baño se regula para lograr que la emulsión se mantenga, por lo menos durante 1 minuto, a $50 \pm 0,05$ °C.
- 6.2.6 Se saca entonces el termómetro y se determina la viscosidad como se indica en los tres últimos párrafos del numeral 6.1.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 El tiempo, en segundos, que demora el flujo de los 60 cm³ de emulsión, conforme se describe en este método, corregidos por el factor de calibración, si lo hubiere, es la viscosidad Saybolt Furol o Saybolt Universal de la muestra según el orificio utilizado en el viscosímetro, a la temperatura de ensayo.

7.2 INFORME

Los resultados se expresarán con una aproximación de 1 segundo.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

Debe usarse los siguientes criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% de probabilidad).

Temperatura °C	Viscosidad Seg.	Repetibilidad % de la media	Reproducibilidad % de la media
25	de 20 a 100	6	15
50	de 75 a 400	9,6	21

MTC E 404**SEDIMENTACION EN LAS EMULSIONES ASFALTICAS****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar la capacidad de una emulsión asfáltica para permanecer como un medio disperso uniforme durante el almacenamiento.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Describe el procedimiento que debe seguirse para realizar el ensayo de sedimentación de las emulsiones asfálticas.
- 2.2 Mediante este ensayo se valora la sedimentación que se produce durante el almacenamiento de las emulsiones asfálticas.
- 2.3 Este método de ensayo es útil para determinar en un tiempo relativamente corto la estabilidad al almacenamiento o asentamiento de una emulsión asfáltica. Es una medida de la permanencia de la dispersión en relación al tiempo.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D: "Standard Test Method for Settlement and Storage Stability of Emulsified Asphalts"

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Estufa. Un horno igual al que se describe en la norma de pérdidas por calentamiento de aceites y compuestos asfálticos.
- 4.1.2 Balanza con capacidad de 500 g y precisión de $\pm 0,1g$.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Probetas. Dos probetas de vidrio, con base y tapón, de 500 mL de capacidad, con diámetro exterior de $5,0 \pm 0,5$ cm y graduadas cada 5 mL hasta la capacidad total.
- 4.2.2 Pipeta. Una pipeta de vidrio, de 50 mL de capacidad o un sifón de la forma más conveniente.
- 4.2.3 Vasos. Cuatro vasos de vidrio de boca ancha (beaker), resistentes al calor y de 600 mL de capacidad.

Nota 1. Puede utilizarse una probeta provista de dos salidas laterales a los niveles adecuados para la toma de las muestras.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Emulsión asfáltica

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Colocar una muestra representativa de 500 mL en cada una de las probetas, se tapan herméticamente y se dejan en un lugar del laboratorio a temperatura ambiente de 22°C a 28°C en completo reposo. Al final del tiempo especificado, por 24 horas ó cinco (5) días, se sacan, por medio de la pipeta o el sifón, 55 mL de la parte superior de cada probeta, procurando no alterar el resto de la muestra. Después de homogenizar independientemente las dos muestras tomadas, se pesan. exactamente $50 \pm 0,1$ g de cada una de ellas en dos vasos de vidrio de boca ancha, de 600 cm³, previamente tarados y se someten durante dos (2) horas a la temperatura de 163 ± 3 °C en el horno.

Se dejan enfriar las muestras y se pesan con precisión de 0,1 g para determinar el residuo por evaporación.

- 6.2 Después de sacar las muestras de la parte superior, se extraen cuidadosamente, con sifón o pipeta aproximadamente 390 cm³ de cada una de las dos probetas. El resto de material que queda en ellas se homogeniza y se pesan exactamente 50 ± 0,1 g de cada una de ellas en vasos de vidrio de 600 cm³, determinándose los residuos por evaporación en la misma forma indicada en el numeral 6.1.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Se calcula el residuo por evaporación en porcentaje respecto a la muestra total, para cada una de las cuatro determinaciones realizadas.

Se hace el promedio de las determinaciones, correspondientes a las muestras tomadas de la parte superior de las probetas y de las correspondientes a las muestras tomadas de la parte inferior de las mismas.

La diferencia en valor absoluto entre los dos promedios antes determinados, según la expresión que aparece adelante, es el resultado del ensayo de sedimentación.

$$\text{Sedimentación \% (5 días)} = (P_{i1} + P_{i2}) - (P_{s1} + P_{s2})$$

Donde:

P_i = Pesos del residuo parte inferior

P_s = Pesos del residuo parte superior

7.2 INFORME

- 7.2.1 Los resultados se expresarán con aproximación al porcentaje entero más próximo.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

Deberá emplearse el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados.

Ensayos duplicados realizados por el mismo operador se considerarán aceptables si no difieren en más de la siguiente cantidad:

Sedimentación % en peso	Repetibilidad
De 0 a 10	0,4 % en peso
Superior a 1,0	5% de la media

Los resultados obtenidos por dos laboratorios se considerarán aceptables si no difieren más de la siguiente cantidad:

Sedimentación % en peso	Reproducibilidad
De 0 a 10	0,8 % en peso
Superior a 1,0	10% de la media

MTC E 405**TAMIZADO DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar la cantidad de producto asfáltico mal emulsionado que hay en la emulsión.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Describe el procedimiento que debe seguirse para la realización del ensayo de tamizado de las emulsiones asfálticas.
- 2.2 Los grumos, así como la película que se forma en la parte superior, pueden ser debidos a la rotura de la emulsión, contaminaciones, mala fabricación, etc.
- 2.3 La retención de una excesiva cantidad de partículas en la malla indica que puede haber dificultades en el manejo y aplicación del material. Las partículas retenidas en el tamiz a menudo son causadas por la aglomeración de la fase dispersada. El almacenamiento, bombeo, manipuleo y la temperatura pueden contribuir a la formación de partículas. La contaminación del tanque, el transporte ó la manguera son otros factores que afectan la formación de partículas.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 6933-08: "Standard Test Method for Oversized Particles in Emulsified Asphalts (Sieve Test)".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Balanza, con capacidad de 2000g con precisión de ± 1 g y 500 g con precisión de $\pm 0,1$ g.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Tamiz. Un tamiz de abertura $850 \mu\text{m}$ (Nº 20), montado sobre un bastidor de unos 80 mm de diámetro, provisto de un aro que sirva de soporte para mantenerlo sobre un vaso o recipiente apropiado.

Fondo. De tamaño apropiado para acoplarse a la parte inferior del tamiz.

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Agua destilada ó desionizada para realizar todas las operaciones de lavado y humectación en lugar de usar la solución surfactante no iónica (1%).
- 4.3.2 Solución de oleato sódico (2%). Disolver 2 g de oleato de sodio pero en agua destilada y completar a 100 mL; puede utilizarse para lavar dependiendo del tipo de emulsión.
- 4.3.3 Solución de emulsionante catiónico al 2%; puede utilizarse para lavar dependiendo del tipo de emulsión.

5.0 MUESTRA

Condiciones de Muestreo para el Ensayo

- 5.1 Todo asfalto emulsionado debe ser adecuadamente removido para lograr su homogeneidad antes de su ensayo.
- 5.2 Todos los asfaltos emulsionados con requerimientos de ensayos de viscosidad de 50°C serán calentados a $50 \pm 3^{\circ}\text{C}$, en un baño de agua ó un horno. El recipiente que contiene la emulsión debe estar descubierto (ventilado) para liberar la presión. Después que la muestra alcance $50 \pm 3^{\circ}\text{C}$, remover la muestra para lograr su homogeneidad.

- 5.3 Los asfaltos emulsionados con requerimientos de ensayo de viscosidad de 25° C serán mezclados ó removidos a 25 ± 3°C en el recipiente original para lograr su homogeneidad.

Nota 2. Los asfaltos emulsionados con requerimientos de ensayos de viscosidad a 25 °C pueden ser calentados y removidos como se especifica en 5.2 si es necesario. En caso que se emplee el método de 5.2, la muestra será enfriada a 25 ± 3°C antes de su ensayo

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 La temperatura a la cual la prueba de tamiz debe ser efectuada está relacionada con la viscosidad de la emulsión. Para aquellos materiales cuya viscosidad es 100 s ó más a 25°C realizar el ensayo a temperatura ambiente y para aquellos materiales cuya viscosidad es más de 100 s a 25°C y aquellos cuya viscosidad es especificada a 50°C, use una temperatura de ensayo a 50°C si es necesario calentar, la muestra, puede ser colocada en un horno a baño de agua, agitando para alcanzar su homogeneidad.
- 6.2 Se taran el tamiz y el fondo. Después de tarados se moja la malla del tamiz con agua destilada ó desionizada ó solución de oleato sódico ó emulsionante catiónico, según el tipo de emulsión que se ensaya, sea aniónica o catiónica. Se pesan 1,000 g de la emulsión en un recipiente y se hacen pasar a través del tamiz. El recipiente y el residuo que queden en el tamiz se lavan perfectamente con la misma solución, hasta que el líquido de lavado salga de color claro. Se coloca entonces el fondo debajo del tamiz y se calienta durante 2 horas en un horno regulado a 105 °C. Se deja enfriar en un desecador y se pesa con aproximación a 0,1 g.
- 6.3 Es imprescindible que en el lugar elegido para dejar las probetas, éstas no sufran golpes ni vibraciones.
- 6.4 Hay que tener el máximo cuidado al sifonar las muestras de la parte superior para no alterar el resto del contenido de las probetas.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Se calcula el porcentaje de muestra retenido en el tamiz de la manera siguiente:

$$\text{Muestra retenida \%} = \frac{B - A}{10}$$

Donde:

A = Peso del tamiz y el fondo, en gramos.

B = Peso del tamiz, el fondo y residuo, en gramos.

7.2 INFORME

- 7.2.1 Los resultados se expresarán en porcentaje en peso de residuo retenido en el tamiz, respecto a la muestra total, con aproximación del 0,01%:

Si el residuo es menor de 0,1 %, informar el resultado como "menor de 0,1%"

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

Deberá emplearse el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% de probabilidad): Ensayos duplicados realizados por el mismo operador se considerarán aceptables si no difieren en más de la siguiente cantidad:

Ensayo de tamizado % en peso	Repetibilidad % en peso
De 0 a 0,1 g	0,03

- 8.1.1 Los resultados obtenidos por dos laboratorios se considerarán aceptables, si no difieren en más de la siguiente cantidad:

Ensayo de tamizado % en peso	Reproducibilidad % en peso
De 0 a 0,1 g	0,08



Nota 2. Es imprescindible un buen lavado del residuo que queda en el tamiz con la solución adecuada. No se debe sobrecalentar el residuo durante la desecación. Si la muestra se toma en la boquilla de un distribuidor, hay que evitar que se forme espuma. Si se toma en un tanque, no se debe coger la película que sobrenada en la superficie.

MTC E 406**DEMULSIBILIDAD DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS****1.0 OBJETO Y ALCANCE**

- 1.1 Determinar la cantidad de material bituminoso que se separa de la emulsión en las condiciones del ensayo, siendo una medida comparativa de la estabilidad de la misma.

2.0 SIGNIFICADO Y USO

- 2.1 Describe el procedimiento que debe seguirse para la realización del ensayo de estabilidad de las emulsiones asfálticas aniónicas y catiónicas de rotura rápida y rotura media por medio del cloruro cálcico y del dioctilsulfosuccinato de sódico, respectivamente.
- 2.2 Este método de prueba se usa para identificar o clasificar el asfalto emulsionado por medio de medir la cantidad de asfalto disponible que es roto de asfalto emulsionado al utilizar las concentraciones y las cantidades especificadas de la solución de cloruro de calcio para los asfaltos emulsionados aniónicos y el sulfosuccinato dioctil de sodio para los asfaltos emulsionados catiónicos.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 6936: "Standard Test Method for Determining Demulsibility of Emulsified Asphalt".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Estufa. Una estufa provista de control termostático capaz de mantener una temperatura de 163 ± 3 °C.
- 4.1.2 Balanza, capaz de pesar 500 g con precisión de $\pm 0,1$ g

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Tamices o Telas de alambre. Tres tamices de abertura 1,40 mm (Nº 14).
- 4.2.2 Vasos. Tres vasos metálicos de 600 mL de capacidad.
- 4.2.3 Varillas. Tres varillas de metal, con la punta redondeada y de un diámetro aproximado de 8 mm.
- 4.2.4 Bureta. Una bureta de vidrio de 50 mL de capacidad, graduada en 0,1 mL.

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Solución de cloruro cálcico $0,02 \pm 0,001$ N. Disolver 1,11 g de CaCl_2 en agua destilada y diluir hasta 1 litro. Aunque esta solución permanecerá estable, será almacenada en un recipiente hermético cuando no esté en uso.
- 4.3.2 Solución de cloruro cálcico $0,10 \pm 0,001$ N. Disolver 5,55 g de CaCl_2 en agua destilada y diluir hasta 1 litro. Aunque esta solución permanecerá estable, será almacenada en un recipiente hermético cuando no esté en uso.
- 4.3.3 Solución de dioctilsulfosuccinato sódico al 0,8%. Disolver 8 g de esta sustancia en 992 g de agua destilada ó desionizada. Esta solución se va a degradar con el tiempo y cuando no esté en uso, será almacenada en una ubicación fría y oscura dentro de un recipiente hermético de vidrio y oscuro. Si ha transcurrido más de 90 días desde el momento en que se preparó, entonces no será usado para los fines de ensayo.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Previamente a la ejecución del ensayo debe determinarse el porcentaje de residuo de la emulsión por medio de los ensayos de destilación o de residuo por evaporación, normas MTC E 401 ó MTC E 411, respectivamente.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se tara cada uno de los conjuntos de vaso, varilla y tamiz.
- 6.2 Se pesan $100 \pm 0,1$ g de la emulsión dentro de cada uno de los tres vasos de 600 mL previamente tarados, caliente la muestra pesada de emulsión y el reactivo apropiado a una temperatura de $25 \pm 1,0^\circ\text{C}$ después de un periodo de aproximadamente 2 minutos. Si la emulsión es aniónica de fraguado rápido se añaden, por medio de la bureta, 35 mL de solución de cloruro cálcico 0,02 N. Si la emulsión es aniónica de fraguado medio o asfaltos emulsionados tipo mezcla, se añaden, por medio de la bureta, 50 mL de solución de cloruro cálcico 0,01 N. Cuando se ensayen emulsiones catiónicas de fraguado rápido, usar 35 mL de diotilsulfosuccinato sódico al 0,8%, empleando en ello, aproximadamente, dos minutos.
- 6.3 Se coloca cada uno de los tamices sobre un recipiente apropiado y la mezcla de emulsión y reactivo se decanta a través de cada tamiz. Se llenan los vasos que contienen las muestras con agua destilada. Se vuelven a romper todos los grumos, y el lavado de los vasos, de las varillas y de los tamices, se continúa hasta que el agua de lavado pase incolora. Colocar el ensamble (vaso, tamiz, varilla, asfalto) en una estufa y secar a $163 \pm 3^\circ\text{C}$ hasta peso constante.

7.0 CALCULOS E INFORME

- 7.1 Reste el del vaso, la varilla y tamiz del peso del ensamble seco para obtener la demulsibilidad del residuo como sigue:

$$\text{Demulsibilidad \%} = \frac{A}{B} \times 100$$

Donde:

- A = Peso promedio del residuo en el ensayo de estabilidad de cada muestra de emulsión, en gramos.
- B = Porcentaje de asfalto de la emulsión obtenido en los ensayos de destilación o de residuo por evaporación.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 El siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados, con probabilidad del 95%. Ensayos duplicados realizados por el mismo operador se considerarán aceptables si no difieren en más de la siguiente cantidad:

Ensayo de demulsibilidad % en peso	Repetibilidad, % del promedio
De 30 a 100	5

Los resultados obtenidos por dos laboratorios se considerarán aceptables si no difieren en más de la siguiente cantidad:

Ensayo de demulsibilidad % en peso	Reproducibilidad % del promedio
De 30 a 100	30

MTC E 407**CARGA DE LAS PARTICULAS DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS****1.0 OBJETO Y ALCANCE**

1.1 Identificar las emulsiones asfálticas catiónicas.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

2.1 Emulsiones catiónicas son identificadas por la migración de las partículas a un electrodo negativamente cargado (cátodo) por medio de una corriente directa

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

3.1 Norma ASTM D 244: "Standard Test Methods and Practices for Emulsified Asphalts" – Sections 11-16.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

4.1.1 Fuente de corriente continua. Dispositivo de alimentación eléctrica de corriente continua de 12 V, provisto de un miliamperímetro y una resistencia variable, Figura 1.

4.1.2 Baño de Agua, capaces de mantener la temperatura de prueba requerida dentro de los límites específicos en este método de prueba.

4.2 MATERIALES

4.2.1 Electrodo. Dos placas de acero inoxidable, de 25 mm de ancho y 101,6 mm de largo, aisladas entre si y montadas en un dispositivo que las mantenga rígidamente paralelas, a una distancia de 13 mm.

4.2.2 Vasos de vidrio. Vasos de vidrio de 150 ó 250 mL de capacidad.

Nota 1. Para regular la profundidad de inmersión de los electrodos, éstos deben llevar una muesca o señal de enrase a 25 mm de su extremo.

4.2.3 Varilla de vidrio, 101,6 mm de largo y 6,35 mm de grueso u otro material o aparato adecuado que sea capaz de aislar y suspender el ensamble de electrodo en emulsión.

4.2.4 Termómetro, ASTM N° 19C o 19F conforme a los requerimientos de la Especificación E1.

5.0 MUESTRA

5.1 Emulsión asfáltica catiónica.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Caliente la emulsión a ser probada a $50 \pm 3^{\circ}\text{C}$, en un baño de agua de $71 \pm 3^{\circ}\text{C}$. Remueva completamente la emulsión para asegurar uniformidad de temperatura.

6.2 La muestra de emulsión se vierte en un vaso de vidrio de 250 mL en cantidad tal que permita sumergir 25 mm los electrodos dentro de ella.

6.3 Se montan los electrodos, previamente limpios y secos, y se introducen en la emulsión hasta la señal de enrase de 25 mm.

Nota 2. Electrodo nuevos y electrodos a ser reutilizados deben ser limpiados en la secuencia siguiente:

1. Lave con agua destilada,
2. Lave con un solvente adecuado para asfalto,
3. Lave con alcohol etílico o isopropílico, y
4. Lave con agua destilada.

- 6.4 Se conectan los electrodos a la fuente de alimentación y se ajusta la intensidad de la corriente, mediante la resistencia variable, hasta unos 8 mA, poniendo en marcha al mismo tiempo un reloj.

Nota 3 Los 8 mA es un valor mínimo de corriente, pudiendo establecerse niveles de mayor intensidad. Debe anotarse la intensidad de la corriente empleada.

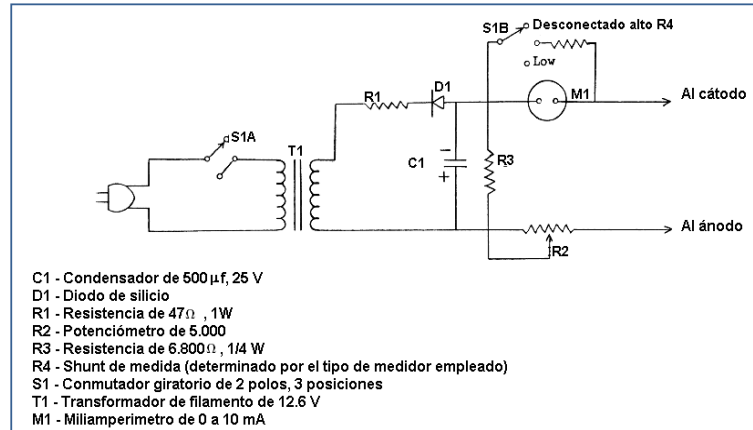


Figura 1. Esquema del circuito para el medidor de carga de las partículas

- 6.5 Cuando la intensidad de la corriente baje a 2 mA o hayan transcurrido 30 minutos, se desconecta la corriente, desmontar los electrodos y se lava con agua.
- 6.6 Finalmente, se observa el depósito que queda en los electrodos; una emulsión catiónica producirá un depósito apreciable de ligante en el cátodo (electrodo negativo), mientras que el ánodo (electrodo positivo), permanecerá limpio.

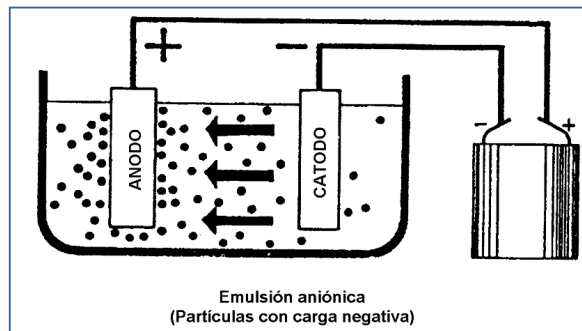


Figura 2. Emulsión aniónica (partículas con carga negativa)

7.0 CALCULOS É INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Reportar nivel de corriente usada.

7.2 INFORME

- 7.2.1 El resultado expresará que la carga de la partícula es "positiva", si la película de ligante se deposita en el cátodo, y "negativa", si se deposita en el ánodo.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

Este método de prueba, que requiere evaluación subjetiva de resultados de pruebas y reporte de sólo dos condiciones posibles, no se presta fácilmente a un ejercicio de redondeo estadístico convencional. En este momento, no hay precisión ni declaración de dispersión para este método de prueba.

MTC E 408**Ph DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar el valor de pH en las emulsiones asfálticas, definiendo este valor como el logaritmo decimal de signo contrario de la concentración de hidrogeniones (iones de hidrógeno).

2.0 SIGNIFICADO Y USO

- 2.1 El ensayo mide el pH existente en la fase acuosa de las emulsiones fabricadas con cemento asfáltico ó asfalto líquido (con disolventes).
- 2.2 El método de ensayo se basa en medidas de la diferencia de potencial, expresadas en unidades de pH entre dos electrodos (el de referencia y el de medida).

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 Norma NLT-195: "pH de las Emulsiones Bituminosas"

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 pH-metro, se empleará un pH-metro con toda la banda de pH (0 al 14), equipado con dispositivo corrector de temperatura.
- 4.1.2 Electrodos, Electrodos de referencia calomelanos, con solución saturada de cloruro potásico.
- 4.1.3 Vasos, de vidrio de 100 cm³

4.2 INSUMOS**4.2.1 Soluciones de Calibración:**

- Solución ácida de pH conocido (4) entre 20 y 20 °C.
- Solución básica de pH conocido (9) entre 20 y 30 °C.
- Solución neutra de pH conocido (7) entre 20 y 20 °C. Nota 1

Nota 1. Las tres soluciones deben conservarse en frascos de polietileno.

5.0 PROCEDIMIENTO

- 5.1 Calibración del pH- metro. Se coloca el mando de temperatura en aquella a la cual se va a realizar el ensayo (temperatura del líquido). Se sumergen los electrodos (Nota2) en la solución apropiada (ácida para las catiónicas y básica para las aniónicas), empleando vasos de 100 cm³.
- 5.2 Se ajusta la lectura al pH de la solución, con el mando corrector. Se lavan los electrodos, se espera a que se establezca la lectura del aparato y se toma nota de ella.
- 5.3 Se lavan los electrodos con agua destilada y se realiza una nueva medida del pH de la solución empleada en el numeral 5.1 para calibrar el aparato.
- 5.4 Finalmente se procede a la limpieza total de los electrodos. Primero se enjuagan con acetona, limpiándolos seguidamente con un disolvente (tricloroetileno) hasta la eliminación total del ligante depositado. Después de otro lavado con acetona se enjuaga con abundante agua destilada, finalizando con un secado total del electrodo.
- 5.5 Todas las medidas se realizarán entre 20 y 30 °C. Indicar en el resultado final, la temperatura de ejecución del ensayo.
- 5.6 Cuando se desconozca la naturaleza de la emulsión problema, se calibrará el aparato con la solución de pH neutro y se procederá con la medida del pH de la emulsión que se ensaya,

siguiendo el proceso descrito repitiendo posteriormente con la solución apropiada, siguiendo los numerales 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4.

- 5.7 Se montan los electrodos, previamente limpios y secos, y se introducen en la emulsión hasta la señal de enrase de 25 mm.

Nota 2. En ningún caso deberán sumergirse los electrodos hasta el nivel superior al que tiene la solución saturada en el interior del electrodo de referencia, con el fin de evitar la posible penetración de líquidos extraños por el orificio capilar, que debe estar siempre abierto durante las mediciones.

Nota 3. Siempre debe mantenerse el electrodo en posición vertical y el bulbo del electrodo en la parte inferior

6.0 CALCULOS E INFORME

6.1 INFORME

- 6.1.1 El resultado del pH medido se expresará con aproximación al décimo.

7.0 PRECISION Y DISPERSION

7.1 PRECISION

- 7.1.1 Deberá emplearse el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de un resultado. La diferencia entre los valores de pH en la calibración inicial (numeral 5.1) y final (numeral 5.3), no debe exceder a 0,2 unidades de pH. Ensayos duplicados se consideran satisfactorios si no difieren en más de 0,3 unidades de pH.

- 7.1.2 Repetibilidad: $\pm 0,3$ unidades de pH.

- 7.1.3 Reproducibilidad: a determinar

MTC E 409

CUBRIMIENTO Y RESISTENCIA AL DESPLAZAMIENTO POR EL AGUA DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS

1.0 OBJETO

- 1.1 Identificar emulsiones asfálticas adecuadas para mezclarse con agregados gruesos de naturaleza calcárea. Puede ser aplicado a otros agregados.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método permite establecer la capacidad de un asfalto emulsionado para (1) cubrir completamente un agregado, (2) resistir la acción del mezclado mientras se mantiene como una película en el agregado y (3) resistir la acción de lavado del agua después de completar el mezclado.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 244: "Standard Test Methods and Practices for Emulsified Asphalts" – Sections 22 - 29.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Recipientes para mezcla. Se utilizarán tazas metálicas esmaltadas con o sin mango, de unos tres litros (3 L) de capacidad.
- 4.1.2 Cabezal de Esparcido Constante de Agua. Un aparato para aplicar agua en spray a una altura constante de 774,7 mm (figura 2). El agua será abastecida desde el aparato a una velocidad baja en spray
- 4.1.3 Balanza, capaz de pesar 1000 g con aproximación de 0,1 g.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Espátulas. Con mango y hoja de acero de unos 31,8 de ancho por 88,9 mm de largo, con los bordes redondeados.
- 4.2.2 Tamices. Un tamiz de abertura 19,0 mm (3/4"), y otro de 4,75 mm (Nº 4).
- 4.2.3 Termómetro. Un termómetro con referencia ASTM 15F (ó 15C), conforme las especificaciones E-1 con las siguientes características:

Referencia ASTM	Escala °C	Graduación °C	Longitud Mm	Error °C
15C	- 2 a 80	0,2	397	0,2

- 4.2.4 Pipeta. Una pipeta de 10 mL de capacidad.

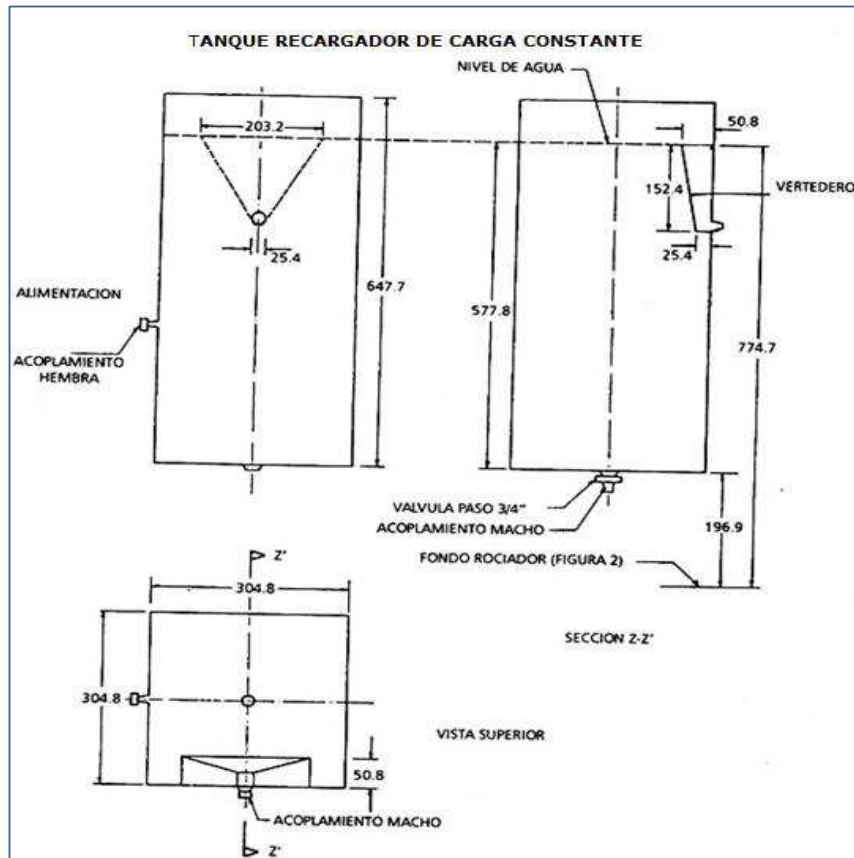


Figura 1. Tanque regador de carga constante

Nota 1. Usar láminas de acero galvanizado para el tanque. Todas las juntas deberán ser soldadas y deberán ser herméticas. Todos los acoples serán de latón estándar con ajustes tipo mangueras de jardín. La válvula de 19 mm será colocada tan cerca como sea posible a la base del tanque, permitiendo un espacio para cerrar la válvula. El tanque estará colocado en un pedestal adecuado, de tal forma que la distancia desde la base del cabezal de esparcido de agua a la parte superior de la muestra de ensayo sea de $0,914 \text{ m} \pm 25,4 \text{ mm}$.

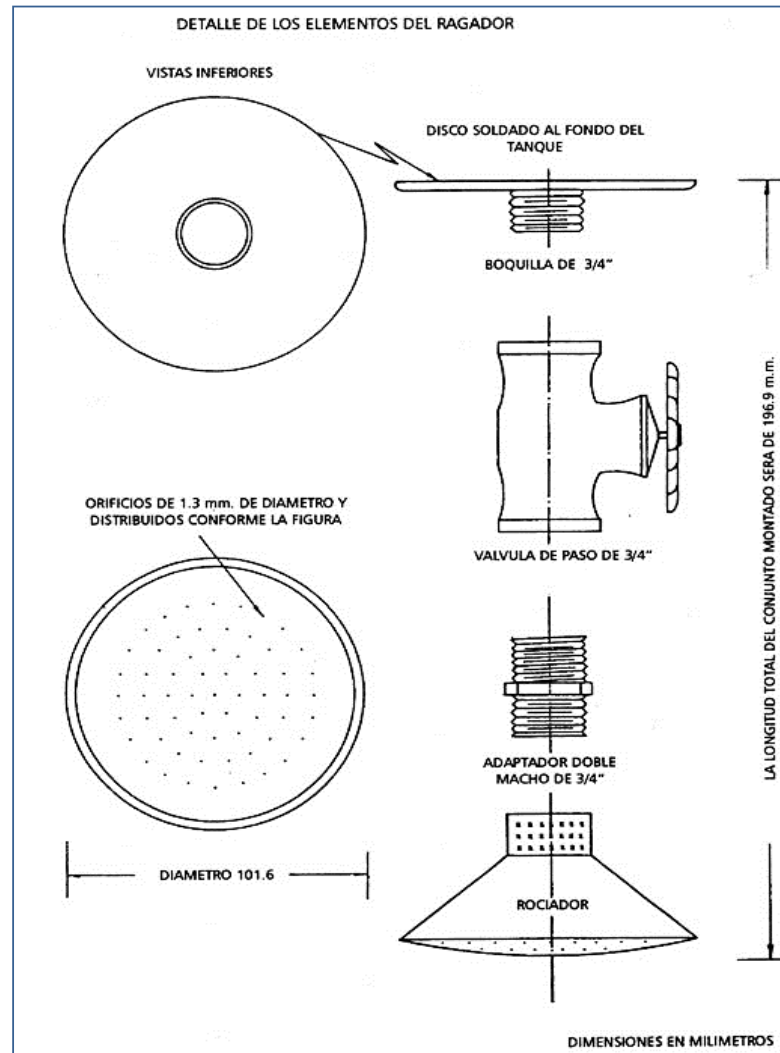


Figura 2.

4.3 INSUMOS

4.3.1 Agregado. Agregado de referencia para el ensayo, se utilizará un agregado tipo calizo, lavado y secado al aire y con tamaño comprendido entre los tamices de aberturas de 19,0 mm y 4,75 mm (3/4" y N° 4). Pueden utilizarse también otros tipos de agregados no calizos, e incluso agregados de obra. En estos casos, se omitirán tanto el lavado y secado previo del agregado, como la posterior adición de carbonato de calcio en polvo.

4.3.2 Carbonato de calcio. Se empleará carbonato de calcio químicamente puro, (CaCO_3), como polvo o llenante mineral, mezclado con el agregado calizo de referencia.

4.3.3 Agua. El agua corriente que se utilice en el ensayo deberá presentar una dureza inferior a 250 ppm de CaCO_3 .

5.0 MUESTRA

5.1 Emulsión Asfáltica

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Procedimiento con agregados secos.

A. El ensayo se llevará a cabo a una temperatura de $23,9 \pm 5,5$ °

- B. Se pesan 461 g de agregado secado al aire, en un recipiente para mezcla y se añaden como llenante mineral; 4,0 g de carbonato cálcico en polvo (Nota 1), mezclándolos con la espátula durante 1 minuto aproximadamente, hasta conseguir que el llenante quede homogéneamente distribuido.

Nota 2. Cuando se empleen agregados distintos al de referencia, como no se adiciona carbonato cálcico, se pesarán inicialmente 465 g de agregado.

- C. Pesar 35 g de emulsión asfáltica y añadir sobre el agregado en el recipiente, mezclando vigorosamente con la espátula durante 5 minutos, describiendo órbitas elípticas con movimientos alternativos en un sentido y en otro. Al terminar el mezclado se inclina con cuidado el recipiente y se vierte el exceso de emulsión que no rompió.
- D. Remover la mitad de la mezcla pasar y extender sobre un papel absorbente, evaluando visualmente y anotando el grado de cubrimiento de la misma en el proceso de mezclado con agregado seco.
- E. Inmediatamente después, se coloca el recipiente con el resto de la muestra bajo el aparato regador, a una distancia del rociador de 305 ± 75 mm (12 ± 3 ") y se le deja caer agua hasta que la mezcla quede cubierta; se elimina entonces cuidadosamente por decantación esta agua y se somete de nuevo la mezcla a otro ciclo de lluvia y decantación, repitiendo el proceso hasta que el agua de lavado salga limpia.
- F. Finalmente, esta parte de la mezcla se extiende sobre el papel absorbente y se valora y anota su grado de cubrimiento, después del riego.
- G. A continuación se seca al aire la muestra y se valora, una vez más, su grado de cubrimiento. Puede emplearse un ventilador para el secado si es que se desea.

6.2 Procedimientos con agregados húmedos.

- a) Se sigue el mismo procedimiento descrito en los dos primeros pasos del numeral 6.1.
- b) Se añaden a los agregados mediante la pipeta 9,3 mL de agua y se mezcla completamente hasta lograr un humedecimiento uniforme.
- c) El procedimiento se continúa con los cinco últimos pasos del numeral 6.1.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

Al final de cada uno de los procesos que se describen en esta norma, se valora visualmente y se anota el grado de cubrimiento (revestimiento) de la superficie de los agregados, de acuerdo a los siguientes criterios:

- Un revestimiento se define como "buena", si se aprecia un cubrimiento completo de la superficie de los agregados, exceptuando los poros y aristas agudas; si la superficie cubierta es superior a la descubierta, se define como "regular"; y si existe exceso de área descubierta se califica como "deficiente".

7.2 INFORME

- 7.2.1 Los resultados se informarán como "buenos", "regular" ó "deficientes", tanto en el procedimiento con agregados secos como húmedos, después del proceso de mezcla, después del riego de agua en forma de lluvia, y después del secado final al aire.
- 7.2.2 Se pueden incluir comentarios sobre los resultados de los distintos procesos.

MTC E 410

ESTABILIDAD DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS (MEZCLA CON CEMENTO)

1.0 OBJETO

- 1.1 Identificar ó clasificar una emulsión de rotura lenta de los tipos SS ó CSS.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El resultado de este método de ensayo indica la habilidad de una emulsión asfáltica de rotura lenta para mezclarse con un material de gran área superficial dividido finamente (como el cemento portland Tipo III de alta resistencia temprana) sin que ocurra su rotura.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 6935: "Standard Test Method for Determining Cement Mixing of Emulsified Asphalt".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Tamices. Un tamiz con abertura de 180 μm (Nº 80) y otro con abertura de 1,40 mm (Nº 14), de acuerdo a las especificaciones E-11.
- 4.1.2 Cápsulas Bandeja Circular. Una cápsula de hierro de fondo redondo o una taza de unos 500 mL de capacidad.
- 4.1.3 Varilla para agitación. Una varilla de acero con su extremo redondeado de unos 10 mm de diámetro.
- 4.1.4 Probeta graduada. Una probeta graduada, de 100 mL de capacidad.
- 4.1.5 Horno. Capaz de mantener una temperatura de $163 \pm 3^\circ\text{C}$.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Horno. Capaz de mantener una temperatura de $163 \pm 3^\circ\text{C}$.
- 4.2.2 Cemento Portland de alta resistencia inicial, que tenga una superficie especifica mínima de 1,900 cm^2 por gramo (turbidímetro de Wagner). El cemento Portland, tipo III, cumple estas condiciones.
- 4.2.2 El cemento debe guardarse en recipientes con cierre hermético y mantenerlo protegido de la humedad.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Toda muestra de emulsión asfáltica será agitada previamente para lograr la homogeneidad antes de ser ensayada.
- 5.2 Toda muestra original de emulsión asfáltica con viscosidad especificada a $50^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$, será calentada en un recipiente, en un baño de agua u horno. Después de que la muestra alcance $50 \pm 3^\circ\text{C}$, revuelva la muestra para lograr homogeneidad.
- 5.3 La emulsión asfáltica con viscosidad especificada a 25°C debe mezclarse o revolverse a los $25 \pm 3^\circ\text{C}$ para lograr homogeneidad.

Nota 1. Las emulsiones asfálticas con requerimientos de ensayo de viscosidad de 25°C serán mezcladas y calentadas como se especifica en 5.2 si es necesario. Si se procede de acuerdo a 5.2, la muestra debe ser enfriada a $25 \pm 3^\circ\text{C}$ antes del ensayo.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se diluye la emulsión que se va a ensayar con agua destilada hasta que contenga un 55% de asfalto, determinándolo, bien por destilación o bien por evaporación durante 3 horas, a 163°C .

- 6.2 Se tamiza el cemento a través del tamiz de 180 µm (Nº 80) y se pesan 50 ± 0,1g de la fracción que pasa dicho tamiz en la cápsula de hierro o taza.
- 6.3 Llevar los ingredientes y aparatos a la temperatura aproximadamente de 25 °C antes de mezclado. Adicionar 100 mL de la emulsión diluida al cemento, y agitar la mezcla inmediatamente, durante un (1) minuto, con la varilla de acero con un movimiento circular, de manera que se den 60 vueltas por minuto. Después de terminar este primer período de mezcla, se añaden 150 mL de agua destilada y se continúa la agitación durante 3 minutos más.
- 6.4 Determine el peso del tamiz y fondo con aproximación de 0,1 g y registre el peso.
- 6.5 Se pasa la mezcla a través del tamiz de 1,40 mm (Nº 14), previamente tarado, repitiendo lavados para eliminar el material que quede en el recipiente de mezcla. Se continúa el lavado sobre el tamiz, con agua destilada, cayendo desde una altura de unos 150 mm, hasta que salga clara. Se coloca el tamiz en una bandeja y se seca en un horno regulado a 163 ± 3 °C por una hora hasta peso constante. Repita el calentamiento y pesando hasta que los pesos sucesivos no difieran por más de 0,1 g.
- 6.6 Se pesa en gramos el residuo retenido en el tamiz el cual se considera como rotura de emulsión.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcular el peso de la muestra retenida sobre el tamiz y la bandeja como sigue:

$$\text{Peso Retenido} = B - A$$

Donde:

- A = Peso del tamiz y fondo, g
- B = Peso del tamiz, fondo y residuo, g.

7.2 INFORME

- 7.2.1 Se pesa en gramos el residuo retenido en el tamiz el cual se considera como rotura de emulsión.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 El siguiente criterio se empleará para juzgar la aceptabilidad de los resultados, con el 95% de probabilidad.
- 8.1.2 Ensayos duplicados realizados por el mismo operador se considerarán aceptables, si no difieren en más de la siguiente cantidad:

Mezcla con cemento % en peso	Repetitividad % en peso
0 a 2	0,2

- 8.1.3 Los resultados obtenidos por dos laboratorios se considerarán aceptables, si no difieren en más de la siguiente cantidad:

Mezcla con cemento % en peso	Reproducibilidad % en peso
0 a 2	0,4

8.2 DISPERSION

- 8.2.1 La dispersión de este método de ensayo no puede ser determinado por no haber material de referencia.

MTC E 411

RESIDUO POR EVAPORACION DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS A 163 °C

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar en forma cualitativa los residuos de los asfaltos emulsionados compuestos principalmente de una base asfáltica líquida o semisólida, agua y un agente emulsificador.

2.0 SIGNIFICADO Y USO

- 2.1 Mediante este ensayo se determina el porcentaje de asfalto que contiene una emulsión, evaporando el agua y pesando el residuo
- 2.2 Se podría usar la prueba para indicar las características compuestas del asfalto emulsionado. También se podría someter el residuo por evaporación a otras pruebas de caracterización.
- 2.3 Este método de prueba del residuo por evaporación tiende a brindar un residuo asfáltico menor en penetración y ductilidad que el método de la prueba de destilación. Se podría aceptar el material pero no se le rechazará por no haber cumplido con las especificaciones, las cuales incluyen los requisitos para determinar el residuo por destilación, de los datos obtenidos por la evaporación. Si el residuo por la evaporación no cumple con los requisitos de las propiedades especificadas del residuo de la destilación, se realizarán las pruebas de nuevo usando el método de la prueba de destilación.
- 2.4 Se describen dos procedimientos según sea o no necesario realizar ensayos sobre dicho residuo

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 6934: "Standard Test Method for Residue by Evaporation of Emulsified Asphalt".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Horno, capaz de mantener la temperatura a 163 ± 3 °C.
- 4.1.2 Balanza, capaz de pesar 500 g hasta 0,1 g.
- 4.1.3 Tamiz, un tamiz de 300 μ m de diámetro de 76,2 mm que cumple con la Especificación E11 de ASTM.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Vasos de vidrio, resistentes al calor, de boca ancha con capacidad de 1000 cm³, tres o cuatro según el procedimiento utilizado.
- 4.2.2 Varillas de vidrio, varillas de vidrio de 6 mm (1/4") de diámetro y 180 mm (7") de longitud, con extremos redondeados.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Emulsión asfáltica catiónica.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Antes de realizar los ensayos, todos los asfaltos emulsionados serán revueltos para lograr la homogeneidad.
- 6.2 Todos los asfaltos emulsionados que tengan que cumplir con los requisitos de la prueba de viscosidad de 50°C serán calentados a 50 ± 3 °C en el recipiente de la muestra original en un baño María u horno. Se deberá ventilar el recipiente para aliviar la presión. Luego que la muestra alcance 50 ± 3 °C, revuelve la muestra para lograr la homogeneidad.

- 6.3 Los asfaltos emulsionados que tengan que cumplir con los requisitos de la prueba de viscosidad de 25°C deberán ser mezclados o revueltos a $25 \pm 3^\circ\text{C}$ en el recipiente de la muestra original para lograr la homogeneidad.

Nota 1. Si es necesario, los asfaltos emulsionados que tengan que cumplir con los requisitos de la prueba de viscosidad de 25°C podrían ser calentados y revueltos tal como se especifica en el 6.2. En caso de que se use el método 6.2, se deberá enfriar la muestra a $25 \pm 3^\circ\text{C}$ antes de realizar los ensayos.

- 6.4 Procedimiento A, Este procedimiento se empleará cuando se necesite únicamente determinar el porcentaje de residuo de la emulsión.

- 6.4.1 Determine el peso de cada vaso, el cual contiene la varilla de vidrio, a 0,1 g. pese $50 \pm 0,1$ g del asfalto emulsionado el cual fue mezclado minuciosamente dentro de cada uno de los tres vasos.

- 6.4.2 Coloque los vasos que contienen las varillas y la muestra dentro del horno, el cual ha sido ajustado a $163 \pm 3,0^\circ\text{C}$, por 2 h. Al final de este periodo, retire cada vaso y revuelve el residuo minuciosamente. Colóquelo en el horno por 1 h, luego retire los vasos del horno, permítelos enfriar a la temperatura de la sala, y péсалos junto con las varillas.

Nota 2. Tenga cuidado en no ocasionar las pérdidas del asfalto del vaso debido a las espumas o las salpicaduras, o ambos. Además, se permitirá colocar los vasos y las muestras del asfalto emulsionado dentro de un horno caliente o frío y se permitirá subir el horno y la muestra a una temperatura de 163°C. Si se prefiere, se podría lograr la evaporación preliminar del agua realizando un calentado cuidadoso sobre una placa calentadora, seguido por el tratamiento por horno a 163°C por 1 h.

- 6.5 Procedimiento B, Use el Procedimiento B cuando se requiere realizar las pruebas del residuo de los asfaltos emulsionados.

- 6.5.1 Prosiga de acuerdo con 6.4.1 y 6.4.2 usando cuatro muestras de $50 \pm 0,1$ g. Luego de realizar el cálculo del porcentaje del residuo, reemplace los vasos que estén dentro del horno hasta que el residuo asfáltico esté lo suficientemente fluido para pasar por el tamiz de 300 μm (lo cual suele requerir entre 15 a 30 min). Para realizar las pruebas del residuo, verte el residuo a través del tamiz de 300 μm dentro de los moldes y los recipientes adecuados

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 A continuación, calcule el porcentaje del residuo de cada vaso:

$$\text{Residuo, \%} = 2(A - B)$$

Donde:

A = el peso del vaso, la varilla y el residuo, g, y

B = el taraje del vaso y la varilla, g.

7.2 INFORME

- 7.2.1 Informe el porcentaje del residuo por evaporación como el promedio de todos los vasos ensayados, expresados con aproximación del 0,1 %.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 Precisión. Deberá emplearse el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados, con el 95% de probabilidad. Ensayos duplicados realizados por el mismo operador se considerarán aceptables, si no difieren en más de la siguiente cantidad:



Residuo por evaporación % en peso	Repetición % en peso
De 50 a 70	0,4

- 8.1.2 Los resultados obtenidos por dos laboratorios se considerarán aceptables, si no difieren en más de la siguiente cantidad:

Residuo por evaporación % en peso	Reproducción % en peso
De 50 a 70	0,8

MTC E 412

CUBRIMIENTO DE AGREGADO CON EMULSIONES ASFALTICAS

1.0 OBJETO

- 1.1 Asegurar que una emulsión asfáltica sea lo suficientemente estable y tenga la capacidad de mezclarse con un agregado de referencia

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método alcanza a las emulsiones asfálticas para el uso de mezcla con agregados. No es aplicable para emulsiones de tipo de curado rápido o materiales diluidos usados para imprimaciones o tratamientos superficiales.
- 2.2 El propósito de este método, es para asegurar que un determinado grado de mezclado de asfalto emulsificado es suficientemente estable o si no tenga habilidad de mezclarse con piedras de referencia para un tiempo determinado, que cubra uniformemente y rigurosamente.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 ASTM D 6998: "Standard Practice for Evaluating Aggregate Coating Using Emulsified Asphalts".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

- 4.1 Tamices: tamices estándar de 19,0 mm (3/4") y 6,3 mm (1/4") conforme a las especificaciones E11 de ASTM.
- 4.2 Espátula: Una espátula de acero o equivalente a ello que tenga una hoja de 200 mm de longitud.
- 4.3 Plato o taza. Un plato que tenga alrededor acero o cacerola de aproximadamente 1 litro de capacidad.
- 4.4 Piedra (agregado): Un suministro de piedra de referencia (caliza dura, roca triturada u otro tipo) que haya sido lavada e os agregados de referencia (de naturaleza básica o ácida) que hayan sido lavados con agua y secados antes de emplearlos. La granulometría será tal que todo el agregado pase a través del tamiz de 19,0 mm (3/4") y no más del 5% y retenida a través del tamiz de 6,30 mm (1/4").
- 4.5 balanza: capaz de pesar 1000 g con precisión 0,1g

Nota 1. Cada Laboratorio deberá seleccionar su propia suministro de agregado de referencia y esto no es apto para cambio, esto es para obviar un cambio en la característica del agregado de referencia usado en algún laboratorio desde la extensión del recubrimiento pueda depender del agregado.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Todo asfalto emulsificado deberá ser agitada apropiadamente para lograr homogeneidad.
- 5.2 Todo asfalto emulsificado con requerimientos de ensayo de viscosidad de 50 °C deberá ser calentado la muestra original a 50 ± 3 °C en baño María o estufa. El contenedor debe ser ventilado para aliviar la presión. Después de que la muestra alcance los 50 ± 3 °C, agitar para lograr su homogeneidad.
- 5.3 Los asfaltos emulsificados con requerimientos de ensayo de viscosidad 25°C deberá ser mezclado y agitado a 25 ± 3 °C en el contenedor original para lograr homogeneidad.

Nota 2. Los asfaltos emulsificados con requerimientos de ensayos de viscosidad de 25 °C pueden ser calentados y agitados como especifica en 5.2, si es necesario. Si es el caso de 5.2 del método usado, la muestra deberá ser enfriada a $25 \text{ °C} \pm 3\text{°C}$.



6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se pesan $465 \pm 0,1$ g del agregado apropiado, lavado y seco, en la taza de metal.
- 6.2 Se añaden al agregado $35 \pm 0,1$ g del asfalto emulsificado y se mezcla vigorosamente con la espátula durante 3 minutos.

7.0 CALCULOS E INFORME

- 7.1 Reportar si hay o no hay apreciable separación de la base asfáltica con el agua de la emulsión asfáltica y si hay o no un recubrimiento riguroso y uniformemente con la emulsión asfáltica.

MTC E 413

MISCIBILIDAD CON AGUA DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar si se produce coagulación cuando se diluye la emulsión con agua.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Describe el procedimiento que debe seguirse para la realización del ensayo de miscibilidad con agua de las emulsiones asfálticas.
- 2.2 Se emplean dos procedimientos: el primero, de estimación visual aplicable a emulsiones de rotura rápida y el segundo cuantitativo aplicable a emulsiones de rotura lenta y media.
- 2.3 Algunas veces es necesario diluir una emulsión asfáltica empleando agua.
- 2.4 Los métodos presentados aquí están diseñados para saber si esto puede efectuarse con seguridad de no provocar la rotura de la emulsión asfáltica.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NLT-143: "Miscibilidad con Agua de las Emulsiones Bituminosas".
- 3.2 ASTM D 6999: "Standard Practice for Miscibility of Emulsified Asphalts".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Probeta, graduada de 50 cm³.
- 4.1.2 Vaso, un vaso de vidrio de boca ancha (beaker), de 400 cm³.
- 4.1.3 Tubos de Vidrio, tres tubos de vidrio de 7 mm de diámetro externo, 5 mm de diámetro interno y 150 mm de longitud, con corcho dispuesto como se describe en 6.2.1.
- 4.1.4 Soporte, Una tira de metal ó madera de aproximadamente 150 mm de largo, 25 mm de ancho y 5 mm de diámetro interno, con agujero de 10 mm de diámetro en el centro.
- 4.1.5 Crisoles, Tres crisoles de porcelana de 15 a 25 cm³ ó tres vasos de vidrio resistentes al calor de 30 cm³.
- 4.1.6 Estufa, Un horno.
- 4.1.7 Balanza, Una balanza analítica con sensibilidad de 0,1 mg.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Toda emulsión asfáltica deberá ser adecuadamente batida para lograr su homogeneidad.
- 5.2 Las emulsiones con requerimientos de ensayo de viscosidad a 50°C deben ser calentadas a 50 ± 3°C en su contenedor original en un baño de agua u horno. Este contenedor deberá ser ventilado para liberar la presión. Luego que la muestra haya alcanzado los 50 ± 3°C, bata la muestra para lograr su homogeneidad.
- 5.3 Las emulsiones asfálticas con requerimientos de ensayo de viscosidad a 25°C, deben ser mezcladas ó batidas a 25 ± 3 °C en su original contenedor hasta lograr homogeneidad.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Primer Método

- 6.1.1 Medir en una probeta 50 cm³ de emulsión, vertiéndolos en un vaso de vidrio de 400 cm³. Medir también por medio de una probeta 150 cm³ de agua destilada, añadiéndolo gradualmente a continuación sobre la emulsión mientras se está agitando. La temperatura,

aunque no afecta de manera importante el ensayo, deberá estar comprendida entre 20 y 25 °C.

6.1.2 Después de haber homogenizado la mezcla, se deja en reposo durante dos horas, pasadas las cuales se observa visualmente si se ha producido coagulación del asfalto que contiene emulsión.

6.2 Segundo Método

6.2.1 Se taladran tres corchos, se introducen los tubos de vidrio en los agujeros y se miden 200 cm³ de agua destilada entre 20 y 25 °C, dentro de un vaso de 400 cm³.

6.2.2 Colocando la tira de soporte atravesada sobre el borde del vaso, se inserta el primer tubo en el agujero ajustando la posición del corcho, de tal manera que cuando el corcho descansa sobre la tira, el extremo inferior del tubo quede sumergido en el agua 10 mm por debajo de la superficie. De la misma forma, se ajusta el segundo tubo hasta la profundidad de 25 mm. El tercer tubo se ajustará de manera que su extremo inferior esté entre 1 a 1,5 mm del fondo del vaso.

Nota 1. Debido a que los vasos comerciales tienen diferentes alturas, es necesario ajustar los tubos cada vez que se usa un vaso diferente.

6.2.3 Se miden con la probeta graduada 50 cm³ de la emulsión a la temperatura de 20 a 25 °C y se pasan al vaso de 400 cm³.

6.2.4 Se lava la probeta con tres porciones sucesivas de agua destilada de 50 cm³ cada una, a una temperatura comprendida entre 20 y 25 °C y se añaden los lavados al vaso, quedando el volumen final de la mezcla en 200 cm³.

6.2.5 Se agita la emulsión y el agua con una varilla de vidrio hasta que la mezcla esté uniforme, se cubre el vaso con una luna de reloj y se deja en reposo durante 2 horas.

6.2.6 Se pesan los tres crisoles o los tres vasos de 30 cm³, con la luna de reloj cada uno, con precisión de 0,1 mg. Después de que la emulsión haya estado en reposo por 2 horas, se quita la luna de reloj, se coloca la tira de soporte atravesada sobre el borde del vaso, se toma muestra de aproximadamente 1 g de la parte superior y se pasa a uno de los crisoles, empleando como pipeta el tubo que penetra 10 mm. Para ello se tapa el tubo con el dedo, se introduce a la profundidad indicada, se quita el dedo, dando lugar a que la emulsión suba por el tubo y antes de pasar la muestra al crisol, se seca el líquido adherido a la parte exterior con un papel filtro.

6.2.7 De la misma manera se toman otras dos muestras de la parte media y del fondo de la emulsión diluida, empleando el segundo y tercer tubo, respectivamente. Se pesan los crisoles con las muestras de emulsión tapados por la luna de reloj, y se determina el peso de cada una de las muestras por diferencia. Los crisoles se cubren con el vidrio de reloj para hacer más lenta la evaporación. Una vez pesados, se retiran las lunas de reloj y se colocan los crisoles con las muestras en el horno, sometiéndolos a una temperatura de 163 °C durante 2 horas. Se retiran del horno una vez transcurridas las dos horas, se dejan enfriar en un desecador y se pesan de nuevo cubiertos.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Primer Método

7.1.1.1 En este método se expresará únicamente si se ha producido o no coagulación después de 2 horas.

7.1.2 Segundo Método

7.1.2.1 Se calcula el residuo en porcentaje para cada una de las muestras tomadas a distinto nivel.



$$\text{Residuo \%} = \frac{P_f - P}{P_1 - P}$$

Donde:

P = Peso del crisol + Luna de reloj

P₁ = Peso del crisol + Luna de reloj + muestra.

P_f = Peso del crisol + Luna de reloj + residuo

- 7.1.2.2 Si el ensayo se ha hecho por duplicado, se halla el promedio de los residuos para cada uno de los niveles.
- 7.1.2.3 Se calculan las diferencias numéricas entre los residuos de los tres niveles, dos a dos.
- 7.1.2.4 Se expresará como resultado del ensayo, la máxima diferencia numérica obtenida entre cualquiera dos de los tres niveles.
- 7.1.2.5 Expresar el resultado con aproximación del 0,1 %.

MTC E 414

ADHESIVIDAD Y COHESIVIDAD CON EMULSIONES ASFALTICAS MEDIANTE LA PLACA VIALIT

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la adhesión global (cohesividad y adhesividad), de los agregados y su anclaje a la emulsión asfáltica extendida (tratamientos superficiales).

2.0 SIGNIFICADO Y USO

- 2.1 El procedimiento se aplica fundamentalmente a los materiales empleados en tratamientos superficiales mediante riegos con gravillas, en los que se utiliza como ligante emulsiones asfálticas.
- 2.2 El ensayo consiste en incrustar cien gravillas calibradas sobre una película de ligante extendida en una placa metálica; una vez frío o curado el ligante, se coloca la placa invertida sobre tres apoyos horizontales y se le somete al impacto producido por la caída de una bola de acero, valorando el estado de las gravillas desprendidas y de las que han permanecido adheridas a la placa.
- 2.3 Mediante este ensayo se valora la adhesividad así como la resistencia al despegue o agarre que presentan la unión árido-ligante en este tipo de materiales, tanto con áridos inicialmente en estado seco como en estado como en húmedo. Tiene igualmente utilidad para valorar la mejora de adhesividad que se puede conseguir mediante el empleo de activante.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NLT-313/87: "Áridos. Adhesividad mediante la placa Vialit".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Placa de ensayo, son placas de acero perfectamente planas y de forma cuadrada, de 20 cm de lado y 2 mm de espesor. Con los ligantes fluidos, se emplean estas mismas placas provistas de un pequeño reborde lateral que haga estanco el recipiente, bien mediante una tira soldada en su periferia o doblando en ángulo recto sus bordes. En cualquier caso, debe quedar para ensayo una superficie mínima cuadrada de 18,5 cm de lado. Es fundamental para la correcta realización del ensayo que la superficie de la placa sea rigurosamente plana, desechando las que presenten una desviación superior a 0,5 mm.

Nota 1. Se ha encontrado más práctico y seguro en todos los casos el empleo de placas con reborde, que evita además los riesgos de un posible derrame del ligante durante la manipulación.

- 4.1.2 Bola, una bola de acero de 50 mm de diámetro y 500 ± 5 g de masa.
- 4.1.3 Rodillo de compactación, un rodillo con la forma y dimensiones de la Figura 1, con banda de rodadura de caucho y que permita un lastrado hasta una masa total de 25 kg.
- 4.1.4 Dispositivo para ensayo, consta esencialmente de un bastidor metálico formado por una base de nivelación, con dos niveles de burbuja y tornillos de ajuste, de la que salen tres varillas verticales terminadas en punta, para el apoyo de la placa durante el ensayo. Unida a esta base va soldado un tubo vertical, terminado por su parte superior en una canaleta inclinada, desde la que cae la bola una altura de 50 ± 1 cm sobre el centro de la placa. En la Figura 2 se detalla la forma y dimensiones de este dispositivo.
- 4.1.5 Balanza, Una balanza con capacidad mínima de 1 kg y sensibilidad de 0,01 g.
- 4.1.6 Estufa de desecación, con regulación de temperatura hasta 150 °C y una precisión de ± 1 °C deberá disponer de bandejas horizontales para un mínimo de seis placas de ensayo.

4.2 MATERIALES

4.2.1 Tamices, tamices de 4,76; 6,35; 9,53 y 12,70 mm de abertura.

4.2.2 Aparatos auxiliares. Recipientes, papel filtro, espátulas, etc.

4.2.3 Cámara húmeda, de aire capaz de mantener una temperatura constante de 5 °C.

5.0 MUESTRA

5.1 Mezcla bituminosa.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Preparación de los materiales.

6.1.1 Áridos, se seca en la estufa a 105-110 °C una cantidad representativa y suficiente de los áridos que se vayan a utilizar en la obra (Nota 2). Según su granulometría, se tamizan para obtener una o más de las siguientes fracciones para ensayo:

Tabla N° 1

Tamices	
Malla	N° 4 a 1/4" (4,76 a 6,35 mm)
Malla	1/4" a 3/8" (6,35 a 9,53 mm)
Malla	3/8" a 1/2" (9,53 a 12,70 mm)

6.1.2 Áridos para vía seca, de cada fracción a ensayar se eligen grupos de 100 partículas de gravilla, que se reservan en recipientes aparte hasta el ensayo.

6.1.3 Áridos para vía húmeda, se eligen igualmente grupos de 100 gravillas cada uno; con el fin de saturar los áridos sin alterar su estado inicial de limpieza, se coloca cada grupo en un cestillo de tela metálica y se mantienen en una cámara húmeda saturada un mínimo de 24 horas, hasta el momento del ensayo.

Nota 2. La cantidad necesaria de áridos para cada ensayo, 3 lacas de 100 gravillas cada una, depende de su tamaño, forma y densidad, por lo que una cantidad mínima adecuada podría estar entre 1 y 2kg. La cantidad total de áridos dependerá, pues, del número de ensayos que vayan a realizarse.

Nota 3. Dado que el ensayo se debe realizar con los áridos en el mismo estado de limpieza que tengan en la obra, hay que cuidar que todas estas manipulaciones no alteren sustancialmente este estado.

6.1.4 Ligantes. En general se puede utilizar cualquier ligante que sea apropiado para los tratamientos superficiales con riego, como son algunos betunes, alquitranes, betunes fluidificados o fluxados y emulsiones. También ciertos ligantes mixtos (betún, alquitrán, etc.) o modificados mediante la adición de activantes, polímeros, etc. Que mejoren las propiedades geológicas del ligante base. En la tabla 1 se indican las dotaciones correspondientes según el ligante y tamaño de gravilla.

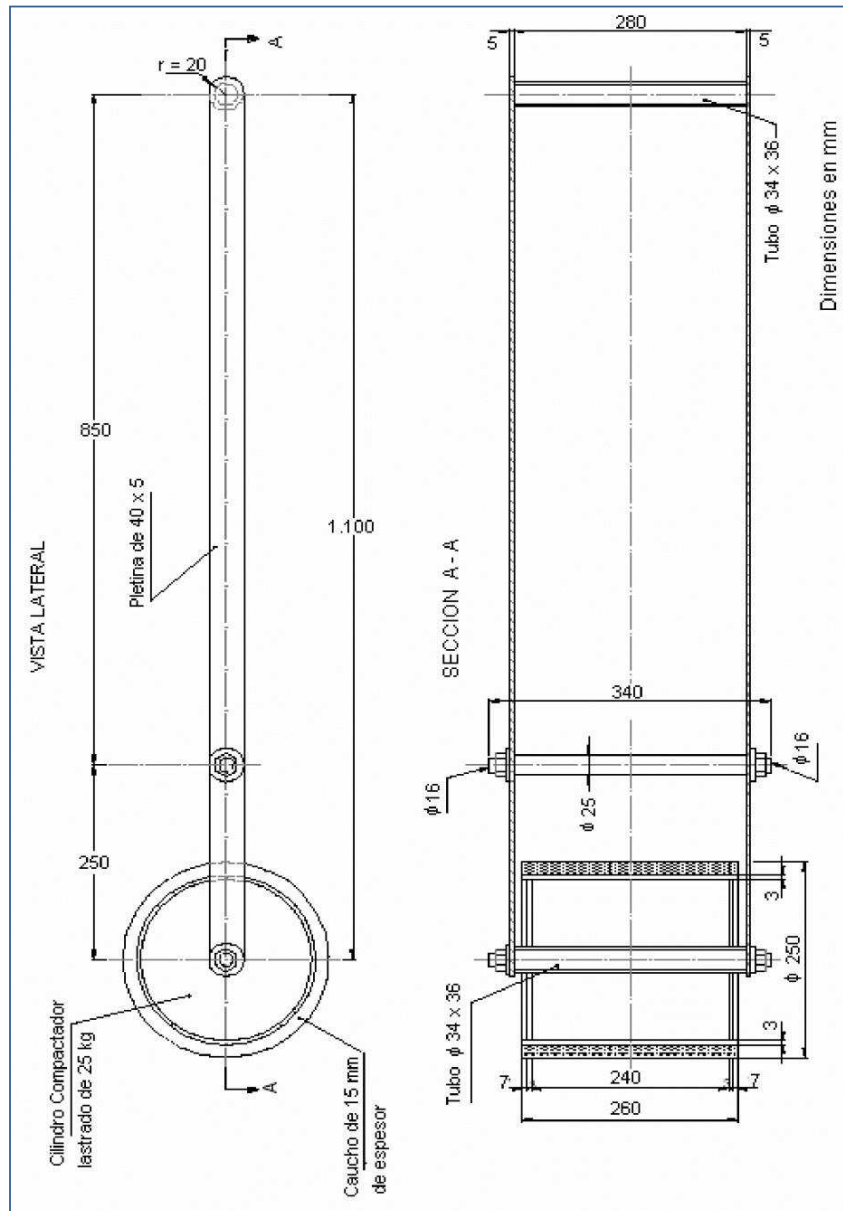


Figura 1. Rodillo de compactación

- 6.2 Preparación de las placas para ensayo.
- 6.2.1 Pesado del ligante, para cada ensayo se prepara un mínimo de tres placas perfectamente planas, limpias y secas. Se pesa directamente sobre cada una la cantidad correspondiente de ligante, según la tabla 2.

Nota 4. Para la placa de 20 cm. de lado esta cantidad representa aproximadamente unos 40 g. lo que equivale a una película de alrededor de 1 mm. de espesor; de aquí la importancia de que las placas sean rigurosamente planas.

TABLA 2

Dotaciones de ligante residual en kg/m²

LIGANTE \ GRAVILLA	GRAVILLA		
	Nº 4 a ¼"	¼" a 3/8"	3/8" a ½"
BETUNES	1,0	1,1	1,3
ALQUITRANES	1,0	1,2	1,6
BETUNES FLUIDIFICADOS	1,0	1,1	1,3
BETUNES FLUXADOS	1,0	1,1	1,2
EMULSIONES BITUMINOSAS	0,8	1,0	1,2

- 6.2.2 Ligantes viscosos, cuando se utilicen ligantes que necesiten calentarse para su empleo, se coloca continuación la placa en posición horizontal en la estufa a la temperatura adecuada, hasta que todo el ligante se haya extendido y cubra de manera uniforme la superficie total de la placa, ayudándose si fuera preciso con una varilla fina. Sobre el ligante caliente se extienden seguidamente las cien gravillas para ensayo, de forma que queden uniformemente repartidas sobre la superficie. Seguidamente se coloca la placa sobre un suelo horizontal y se le dan tres pasadas con el rodillo de compactación en un sentido y otras tres en sentido normal al anterior. Finalmente, se deja la placa en reposo y horizontal hasta que se enfríe.
- 6.2.2.1 Ensayos por vía seca y vía húmeda, el ensayo por vía seca se realiza con los áridos preparados según 6.1.2, y por vía húmeda con los áridos preparados según 6.1.3.
- 6.2.2.2 Emulsiones, cuando se utilice como ligante una emulsión bituminosa, una vez pesada sobre la placa la cantidad adecuada se añaden las cien gravillas, repartidas con el mismo criterio expuesto en 6.2.2, y se deja en reposo la placa sobre una superficie horizontal hasta que, una vez rota la emulsión, el betún residual alcance la necesaria consistencia para poder realizar el ensayo.
- 6.2.2.3 Con las emulsiones bituminosas el tiempo de curado depende tanto del tipo y estabilidad de la emulsión como de la naturaleza de los áridos, influyendo, además, su limpieza y las condiciones de temperatura y humedad ambientales. Dado que el ensayo se ha de realizar cuando la emulsión está completamente rota y el betún residual haya alcanzado su consistencia final, el principal problema que se presenta cuando se emplean emulsiones es determinar con cierta exactitud este tiempo de curado, teniendo en cuenta, además, que la rotura de la emulsión comienza en la zona de contacto con los áridos y es más lenta en el resto de la placa. Una solución puede ser fabricar una serie de placas vialita de prueba, que se ensayan a tiempos crecientes hasta obtener dos resultados semejantes, y realizando entonces el verdadero ensayo en el tiempo así definido. En general, es preferible realizar el curado a temperatura ambiente, aunque este puede acortarse con un calentamiento suave de la placa. Los ensayos a tiempos crecientes pueden servir igualmente para valorar la acción de un determinado acelerante.

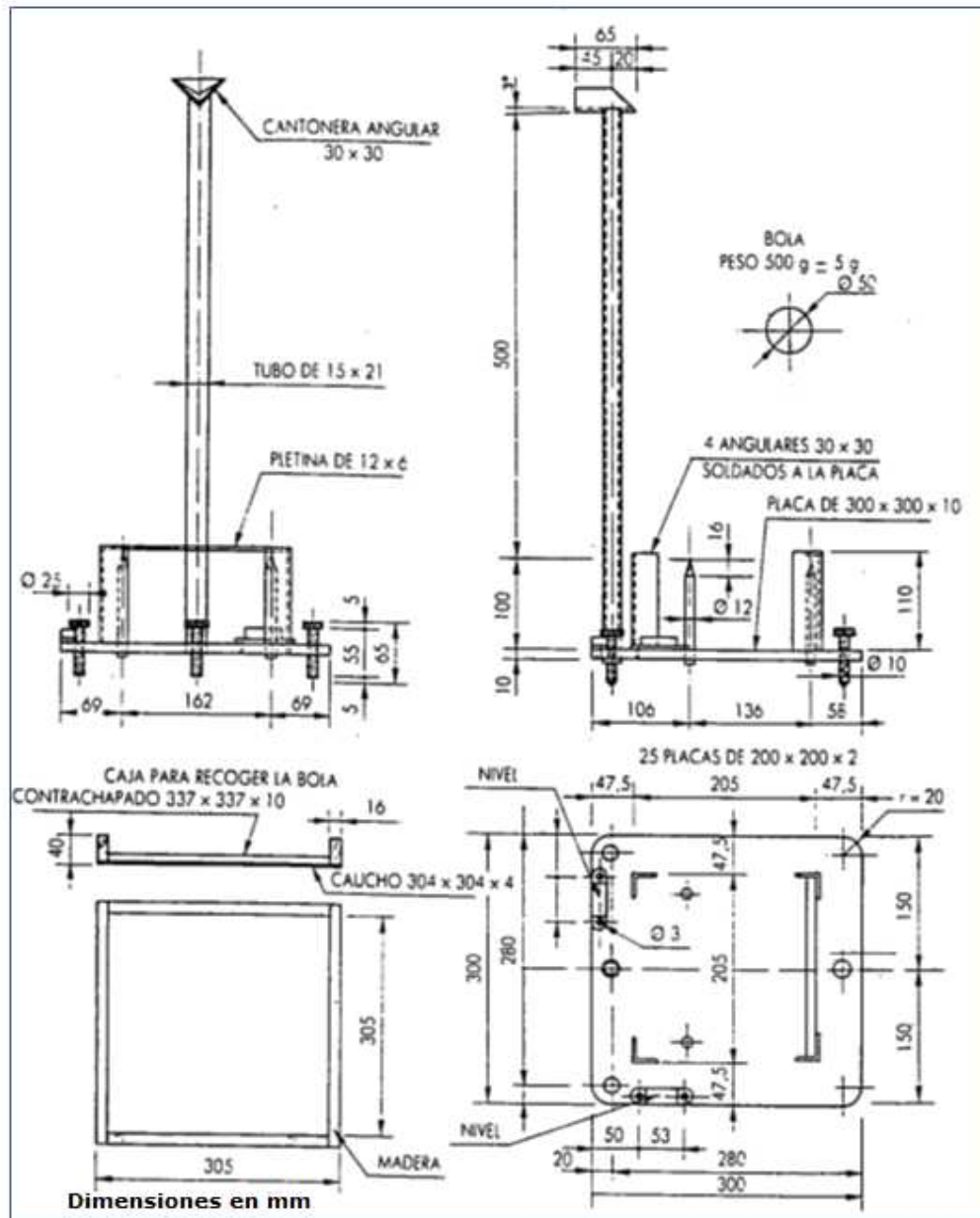


Figura 2. Dispositivo para el ensayo con placa Vialit

Nota 5. Sea cualquiera el procedimiento que se utilice, hay que tener siempre presente que la emulsión debe curar manteniendo siempre la placa horizontal, para garantizar la uniformidad de la película de ligante.

- 6.2.2.4 Cuando se emplea una emulsión, el ensayo se realiza normalmente con los áridos secos, preparados según el apartado 6.1.2. Como método para valorar la adhesividad en estas condiciones se puede realizar además, el ensayo sobre placas ya curadas y que han estado sumergidas en agua 24 horas a temperatura ambiente.
- 6.3 Realización del ensayo
 - 6.3.1 El ensayo se realiza normalmente a una temperatura ambiente no inferior a 10 °C, dejando las placas en estas condiciones antes de ensayarlas durante un mínimo de media hora.

- 6.3.2 Se nivela el dispositivo para ensayo y se coloca la placa en posición invertida, con los áridos hacia abajo, apoyada sobre las puntas de las tres varillas soporte.
- 6.3.3 El ensayo consiste en dejar caer la bola libremente, soltándola desde la canaleta inclinada hasta que golpea en el centro de la placa. La caída se repite tres veces en menos de 10 segundos.

Nota 6. Para recoger la bola después de cada impacto, se coloca delante del dispositivo de caída una caja con hondo de goma o arena, Figura 2. Si la placa tiene tendencia a saltar con el impacto, se la sujeta con cuñas apropiadas sobre el bastidor.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Terminado el ensayo se recogen todas las gravillas desprendidas y a continuación se observa la placa y se arrancan todas aquellas que puedan desprenderse con la mano. El conjunto de todas las gravillas así recogidas, desprendidas y arrancadas a mano, se divide en dos grupos:
- número de gravillas no manchadas por el ligante.
 - número de gravillas manchadas por el ligante.

Definiéndose la adhesividad en porcentaje como:

$$\text{Adhesividad mediante la placa Vialit} = 100 - a$$

- 7.1.2 Se calcula y expresa como resultado del ensayo de adhesividad con la placa de Vialit, el valor medio obtenido de tres placas ensayadas en estas condiciones.

7.2 INFORME

- 7.2.1 El resultado del ensayo incluirá, además:
- Tipo y tamaño de gravilla
 - Tipo y proporción de ligante
 - Tipo y proporción de activante
 - Vía seca y/o vía húmeda
 - En el caso de emulsiones, además:
 - Condiciones de curado (tiempo, temperatura, etc.)
 - Condiciones de ensayo (placa seca, sumergida, etc.)

MTC E 415

COEFICIENTE DE EMULSIBILIDAD DEL RELLENO MINERAL

1.0 OBJETO

- 1.1 Valorar la calidad del filler desde el punto de vista de su influencia en la acción del agua sobre las mezclas asfálticas. El valor del coeficiente de emulsibilidad está en relación directa con el poder emulsionante del filler respecto a los ligantes asfálticos en presencia de agua.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Los polvos minerales presentan, en diferente grado, propiedades emulsionantes con los ligantes bituminosos. El método de ensayo permite cuantificar esta propiedad mediante el concepto denominado coeficiente de emulsibilidad, que se define, en las condiciones del ensayo, como la máxima cantidad del ligante bituminoso que se puede dispersar en forma de emulsión directa (ligante en agua); una proporción mayor del ligante conlleva a la coagulación de éste, de este como consecuencia de la referida inversión, separándose entonces, el agua del sistema.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NLT-180/93: "Coeficiente de emulsibilidad del polvo mineral".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Estufa, capaz de alcanzar y mantener una temperatura de $60 \pm 1^\circ\text{C}$ y $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
4.1.2 Balanza con sensibilidad de $\pm 0,1\text{g}$.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Morteros de porcelana, de paredes rugosas y 100 mm de diámetro (se necesitan 10 unidades como mínimo).
4.2.2 Varillas de vidrio, para agitación (se necesitan tantas como morteros).
4.2.3 Pipeta graduada, de 10 cm^3 de capacidad, divisiones de $0,1 \text{ cm}^3$.
4.2.4 Vasos de vidrio, de 500 cm^3 de capacidad.
4.2.5 Desecador.
4.2.6 Tamiz, de $75 \mu\text{m}$ (Nº 200).
4.2.7 Capsulas de Porcelana

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Betún fluidificado, tipo RC-250.
4.3.2 Agua destilada o desmineralizada.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Se utilizará polvo mineral.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se tamizan unos 400 g del material que se va a ensayar en el tamiz de $75 \mu\text{m}$ (Nº 200), se colocan en una cápsula y se introducen en un horno regulado a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 24 horas. Después de este período, la cápsula con el filler seco se introduce en el desecador hasta que se vaya a realizar el ensayo.

- 6.2 Se toman 10 morteros de porcelana con sus correspondientes pisones y se pesan $20 \pm 1g$ de filler en cada uno de ellos y se introducen en un horno regulado a $60 \pm 1^{\circ}C$, durante 1 hora.
- 6.3 Se introducen en la estufa, durante el mismo tiempo, dos vasos de 500 cm^3 , uno con agua destilada y otro con asfalto líquido tipo RC-250.
- 6.4 Transcurrida la hora en la estufa, se saca un mortero, con filler y pisón, y se le agregan $10 \pm 0,1 \text{ cm}^3$ de agua destilada a $60^{\circ}C$, homogeneizándose rápidamente el conjunto, mediante agitación con el pisón, hasta formar una pasta. Inmediatamente después se agrega un gramo del ligante a $60 \pm 1^{\circ}C$, y el conjunto se mezcla enérgicamente durante un 60 ± 5 segundos, procurando repartir uniformemente el ligante en la masa pastosa, observando atentamente su aspecto durante el amasado y al final del mismo.
- 6.5 El proceso se repite con otros morteros, incrementando en un gramo, sucesivamente, la cantidad de ligante. La coloración de la pasta, a medida que se añaden cantidades crecientes del ligante asfáltico, pasa progresivamente del color gris al marrón y, finalmente, al negro. Para una cantidad dada de ligante se produce una coagulación de fase dispersa (ligante), formándose una masa que no permite su dilución en agua. Este fenómeno coincide precisamente con el punto de inversión de la emulsión. Si se continúa haciendo mezclas con mayores cantidades de ligante, se obtiene una masa consistente en una emulsión de "agua en ligante", con el aspecto de bola similar a la anterior, y se produce una visible segregación de agua y filler.
- 6.6 El punto de inversión suele ser difícil de apreciar, por lo que se recomienda realizar previamente unos ensayos de tanteo. Una vez así aproximado el citado punto, se procede como se indica en el numeral 6.5, pudiéndose observar en las proximidades de la inversión, tres mezclas críticas sucesivas con los siguientes aspectos:
- 6.6.1 Primera mezcla
- Presenta un aspecto homogéneo y sigue adhiriéndose a las paredes del mortero, pero sin mancharlas de asfalto.
- 6.6.2 Segunda mezcla
- Se produce la coagulación del sistema llenante-ligante, observándose la formación de una masa, de una mayor consistencia que la anterior, que no se adhiere a la superficie del mortero, sino que se desliza con facilidad sobre ella. Puede observarse también una ligera segregación del agua en las zonas de contacto de la masa con el mortero. Este es el punto que corresponde a la inversión de la emulsión.
- 6.6.3 Tercera mezcla
- La masa, aunque de un aspecto parecido a la anterior, es mucho más consistente; forma una bola que se puede separar fácilmente del mortero y aparece además una clara segregación del agua y filler, quedando este último adherido a la superficie de la bola y mostrando su color natural.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Siendo L el peso de ligante asfáltico añadido correspondiente al punto de inversión y F el peso del filler (20 g), ambas expresadas en gramos, el coeficiente de emulsibilidad (C_e), viene dado por la expresión:

$$C_e = \frac{L}{F}$$

7.2 INFORME

- 7.2.1 Informar como resultado de ensayo el coeficiente de uniformidad obtenido del valor medio de dos o más series de ensayos, determinada con aproximación a la décima.

MTC E 416

CONSISTENCIA CON EL CONO DE LAS LECHADAS ASFALTICAS

1.0 OBJETO Y ALCANCE

- 1.1 Determinar la adecuada consistencia de un diseño para mezcla de Slurry Seal.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 La prueba de consistencia será ejecutado como un método para determinar el óptimo de un diseño de mezcla (adecuado radio de agregado, filler, agua y emulsión) relacionados, para una adecuada consistencia, para la colocación de la superficie del pavimento. Varias mezclas son realizadas usando agregados secos, y distintos coeficientes de cemento Pórtland, cal, o algún químico modificador. Agua y Emulsión Asfáltica. Cuando la mezcla alcance los 25 ± 1 °C el tiempo de mezcla será no menos de 1 minuto y no más de 3 minutos, cuando la mezcla alcance los 25 ± 1 °C.

Nota 1. La humedad relativa ideal para este ensayo es de 50 ± 5 %. Los resultados variaran con diferentes valore de humedad.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM 3910: "Standard Practices for Design, Testing and Construction of Slurry Seal".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Un molde en forma de tronco de cono, de metal o plástico rígido, de 38 mm de diámetro en su base superior, 89 mm de diámetro en su base inferior y 76 mm de altura. Para facilitar su manejo, llevará un reborde de unos 3 mm de ancho alrededor de la base superior.
- 4.1.2 Una base plana metálica, cuadrada, de 228 mm por 228 mm de lado y 3 mm de espesor, alrededor de cuyo centro lleva impresos una serie de círculos concéntricos de 89 mm de diámetro cada 13 mm y tres a cuatros círculos adicionales. Los círculos van creciendo de diámetro desde el centro de la base.
- 4.1.3 Balanza de 2 000 gramos de capacidad y 0,1 gramo de sensibilidad.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Vasos de precipitados de 50 mL de capacidad y forma alta.
- 4.2.2 Recipientes de porcelana de 150 mL de capacidad, de fondo plano y con pico.

Nota 2. Los platos de plásticos están sujetos a una eventual fisuramiento y desgaste de círculos inscritos por perdida a la abrasión.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Preparación de la muestra de agregados. Los agregados por utilizar en el ensayo se secan en estufa a $105 - 110$ °C hasta peso constante. A continuación, se separan por cuarteo las muestras para ensayo, de unos 400 gramos cada una.
- 5.2 Preparación de la muestra de emulsión. La emulsión se agita en su envase con una varilla gruesa de vidrio hasta conseguir su total homogeneidad, comprobando que no presenta signos de rotura o sedimentación. Las cantidades para ensayo se tomarán directamente del envase.
- 5.3 Antes de fabricar las mezclas de lechada, los distintos materiales, agregados, filler mineral, aditivo, emulsión y agua, deben mantenerse a temperatura ambiente durante una hora.
- 5.4 Se pesa y determina la tara del recipiente para fabricar la mezcla, con aproximación de 0,1 gramo.

- 5.5 Se pesan sucesivamente en este recipiente 400 g de agregado seco y a continuación las proporciones elegidas de filler mineral y agua, con el aditivo necesario cuando así lo exija la composición de la mezcla; seguidamente, se procede al amasado de estos componentes hasta su total mezclado.
- 5.6 Se añade la cantidad fijada de emulsión, preparada según el apartado 5.2, mezclándose el conjunto de materiales entre 1 y 3 minutos, hasta obtener una masa homogénea.
- 5.7 El número de muestras por preparar depende de los resultados que se vayan obteniendo en el ensayo; generalmente, será necesario ensayar diferentes mezclas con porcentajes variables de agua y el óptimo calculado de emulsión, hasta conseguir una masa con la consistencia adecuada.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 El molde descrito en 4.1.1 es colocado aproximadamente en el centro de la base, luego se vierte la mezcla de slurry hasta llenar, se tiene que sujetar firmemente la base y el cono y se levanta vertical mente el molde dejando fluir sobre la superficie de la base de metal hasta ver que se detenga. Los proyectos deben ver esencialmente los agregados y la emulsión asfáltica para un adecuado uso del método.
- 6.2 Se mide el diámetro expandido sobre la superficie de la base hasta cuatro puntos.

7.0 CALCULOS E INFORME

- 7.1 INFORME
 - 7.1.1 Se informa el resultado del ensayo es el valor medio de las cuatro lecturas realizadas según el apartado 6.2, aproximado a $\pm 0,5$ cm.
 - 7.1.2 Los resultados de diferentes ensayos con contenidos variables de agua pueden representarse gráficamente en la Figura 2, para facilitar la determinación del porcentaje óptimo de agua buscado.

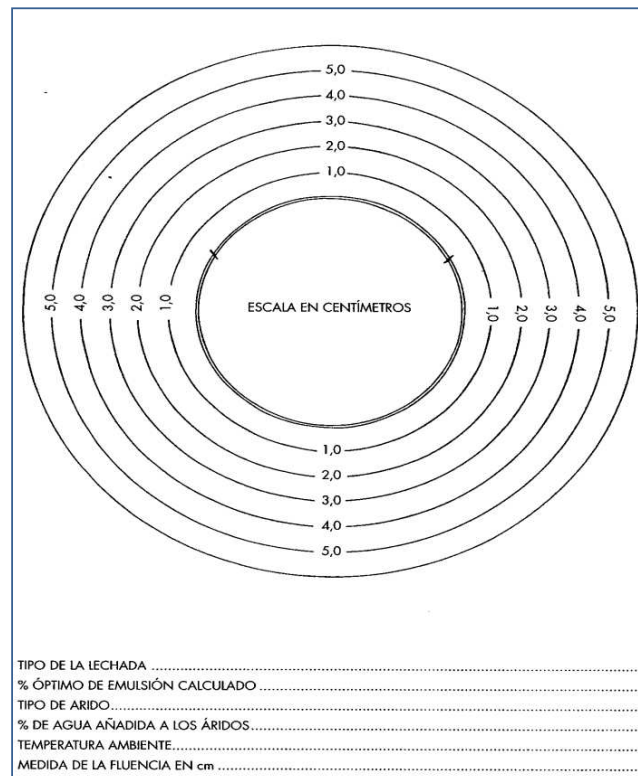


Figura 1. Base circular graduada

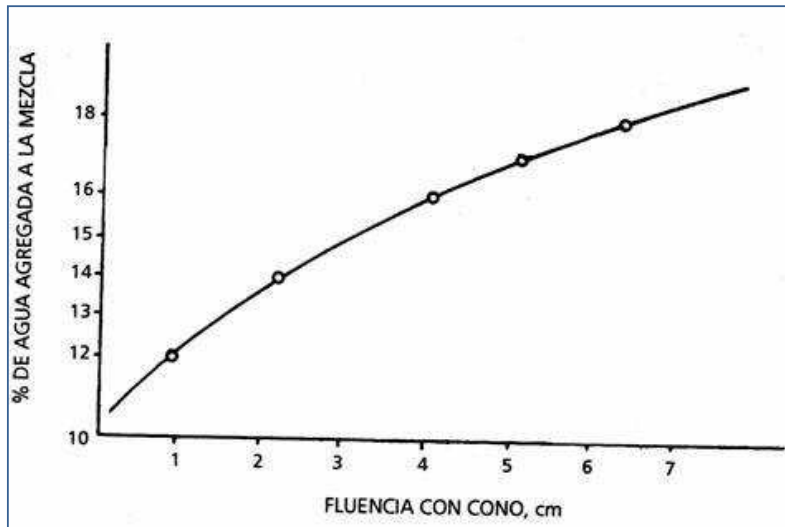


Figura 2. Representación gráfica resultados

MTC E 417**ABRASION EN PISTA HUMEDA****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar las pérdidas de peso por abrasión que sufre una muestra de lechada asfáltica, al someterla a desgaste en las condiciones establecidas en el método. Mediante este método es posible determinar el contenido mínimo de emulsión necesario para que las pérdidas por abrasión sean inferiores al valor límite establecido por la experiencia.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El ensayo de abrasión en pista húmeda es un ensayo de simulación de desempeño, el cual ha sido correlacionado a las cualidades de aplicaciones en campo de lechadas asfálticas.
- 2.2 El ensayo establece el contenido permisible de emulsión en una lechada asfáltica.
- 2.3 La susceptibilidad a la humedad puede ser determinada empleando un procedimiento de embebido por 6 días.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 3910: "Standard Practices for Design, Testing and Construction of Slurry Seal".
- 3.2 ISSA Technical Bulletin N° 100: "Test Method for Wet Track Abrasion of Slurry Surfaces"

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Balanza, capaz de pesar 5000 g con aproximación de $\pm 1,0$ g.
- 4.1.2 Batidor Mecánico Tipo Planetario, (tal como el Modelo Hobart N-50 Modelo C-100 ó Modelo A-120, hecho por la Hobart Manufacturing Co, Troy Ohio) equipado con una abrazadera de manguera de jebe pesada (cabezal de abrasión) con cerca de 12,7 mm de movimiento ascendente y descendente de su eslabón (figura 1).
- 4.1.3 Recipiente Pesado (1/8 pulg) de Metal de Base Plana, de diámetro aproximado de 330 mm (13 pulg) con paredes verticales de 51 mm, con 4 anclajes atornillados equidistantes capaces de asegurar un espécimen de 285 mm de diámetro a la base del recipiente (Figura 5).
- 4.1.4 Bolo Pesado de Base Redondeada, para contener la muestra durante el mezclado.
- 4.1.5 Cucharón de Mango Largo, de suficiente longitud para proyectarse a 101 mm o más hacia fuera del bolo de base redonda durante el batido.
- 4.1.6 Abastecimiento de discos de 286 mm de diámetro, cortados de tela asfáltica ó cartón asfáltico de 13,62 kg.
- 4.1.7 Equipamiento, empleados en la preparación de especímenes tales como una placa de PMMA de 6 mm de espesor con abertura circular de 279 mm de diámetro y un limpiavidrios de mango corto de 355 mm.
- 4.1.8 Horno de ventilación forzada, Termostáticamente controlado a temperatura constante de $60 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3$ ver especificación E 145 tipo II B.
- 4.1.9 Baño d Agua, de temperatura constante, controlado a $25 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 4.1.10 Manguera de Jebe Reforzada, Con un diámetro interno de 19 mm y diámetro externo de 31 mm. La manguera se debe cortar en longitudes de 127 mm y estar perforada con dos pares de agujeros de 9 mm alineados en centros de 102 mm. Perforar los agujeros a través de los lados cóncavo y convexo de la manguera.
- 4.1.11 Bloque de Madera ó equivalente para apoyar la plataforma en posición durante el ensayo (ver Figura 3 y Figura 4).

5.0 MUESTRA

- 5.1 La proporción adecuada de cemento portland (ó cal hidratada ú otros aditivos), agua y emulsión asfáltica al peso de agregado seco será predeterminada en el laboratorio ó por un diseño de mezcla de campo funcional, previamente aceptada por el ingeniero de obra.
- 5.2 Cuartear una cantidad suficiente de agregado secado al aire pasante la malla 4 para obtener al menos 800 g en un cuarteo.
- 5.3 Pesar 800 g de agregado dentro de un tazón de mezclado. Empleando un cucharón, mezclar en seco el filler mineral con el agregado por 1 min ó hasta que quede uniformemente distribuido. Adicionar la cantidad predeterminada de agua y mezclar otra vez por 1 min ó hasta que el agregado esté uniformemente humedecido. Finalmente adicionar la cantidad predeterminada de emulsión y mezclar por un período de no menor a 1 min y no mayor a 3 min.
- 5.4 Colocar la abertura de la placa sobre el disco de 286 mm (11 ¼ pulg) de diámetro de un rollo de tela o cartón suave. Inmediatamente vaciar la lechada asfáltica sobre el disco indicado.
- 5.5 Esparcir la lechada asfáltica y nivelar con la parte superior de la placa con un mínimo de manipulación (el excesivo esparcido causa segregación). Descarte el material en exceso.
- 5.6 Remover la placa (plantilla). Colocar el espécimen moldeado en el horno de 60°C y secar a peso constante (mínimo de 15 horas, tiempo de secado).

Nota 1. Se deberá notar que si una mezcla de lechada asfáltica es curada al aire antes que en un horno a peso constante, la presencia de cemento portland en la mezcla causará que las propiedades físicas de la mezcla se afecten por la humedad relativa del ambiente de curado. Un ambiente húmedo incrementará el grado de hidratación del cemento portland y cambiará las propiedades físicas de la mezcla. Cuando sea práctico se sugiere que el espécimen de lechada asfáltica se cure a un mínimo de 50% de humedad relativa si se desea que el efecto del cemento portland sea el óptimo.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Remover el espécimen seco del horno a 60 °C. Permitir enfriar a temperatura ambiente y pesar.
- 6.2 Después de pesar colocar el espécimen en el baño de agua a 25 °C por 60 a 75 min.
- 6.3 Remover el espécimen del baño de agua y colocarlo en el recipiente de base plana de 330 mm de diámetro interno. Asegurar el espécimen a la base del recipiente ajustando las cuatro mariposas.
- 6.4 Completamente cubrir el espécimen con al menos 6 mm de agua a 25°C.
- 6.5 Asegúrese que el recipiente contiene el espécimen sobre la plataforma de la unidad a (Figura 4). Bloquear la cabeza de abrasión de la manguera de jebe sobre el eje de la máquina H. Elevar la plataforma hasta que la manguera de jebe se apoye sobre la superficie del espécimen. Use el bloque de apoyo para soportar la plataforma durante el ensayo.
- 6.6 Encienda a baja velocidad el mezclador. Operarlo por 5 min \pm 2 s para el modelo Hobart C-100; 6,7 MIN \pm 2 S para el modelo Hobart A-120, y 5,15 min \pm 2 s para el Hobart N-50.

Nota 2.- Instalar un nuevo pedazo de manguera después de completar cada ensayo. Se permite rotar la manguera una mitad después de cada ensayo y obtener una nueva sección de manguera para el próximo ensayo.

- 6.7 Remover el espécimen del recipiente después del ciclo de abrasión y remover todos los restos. Colocar el espécimen lavado en el horno de 60°C y secar a peso constante.
- 6.8 Remover el espécimen del horno de 60 °C, permitir que alcance la temperatura de sala y pesarlo. La diferencia entre este peso y el peso obtenido en A.4.1 es multiplicada por el factor mostrado en la nota 3 para expresar la pérdida en gramos por pie cuadrado ó gramos por

metro cuadrado (valor de uso). El valor de uso es multiplicado por el factor de corrección para obtener un valor de uso C-100 para compararlo con el límite establecido en A.4.7.

Nota 3. Los factores empleados para convertir la pérdida para el área actual desgastada por m² con cada mixer Hobart es:

Modelo	Área Desgastada	1 - ft ²	1-m ²	Factor de Corrección C-100
C-100	0,327 ft ²	3,06	32,9	1,00
A-120	0,360 ft ²	2,78	29,9	1,17
N-50	0,287 ft ²	3,48	37,5	0,78

El factor de corrección C-100 convierte los valores de uso A-120 ó N-50 al valor de uso de C-100.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME

7.1.1 Reportar el valor de uso (pérdida WTAT) en gramos por metro cuadrado.

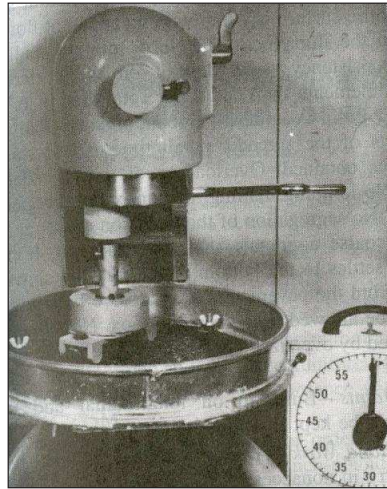


Figura (01)

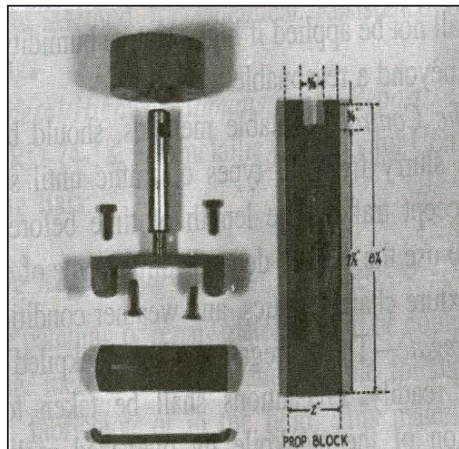


Figura (02)

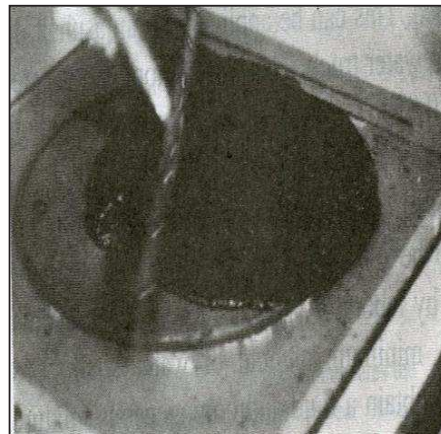


Figura (03)

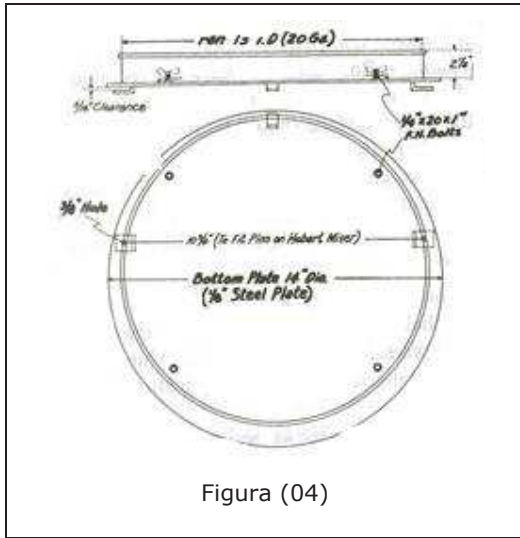


Figura (04)

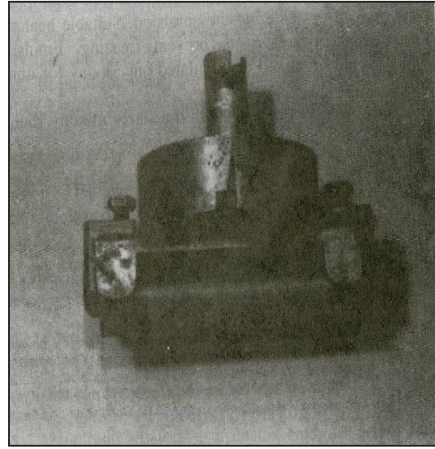


Figura (05)

APENDICE

A. DISEÑO DE SLURRY SEAL DE ASFALTO EMULSIONADO

A.1 Agregados:

A.1.1 El agregado fino consistirá de arena natural ó fabricado, finos chancados ú otro agregado mineral que cumpla los requerimientos de la Especificación D 1073.

A.1.2 Los usos de gradación recomendados se dan en la tabla 1.

A.1.3 Arenas de textura suave ó aquellas con menos de 1,25% de absorción no excederán el 50% de la combinación total de agregados. (Para superficies requeridas más resistentes (heavy duty) emplear 100% de material chancado).

A.1.4 Cuando se ensaye por el Método D 2419, el agregado combinado antes de la adición de cualquier filler mineral químicamente activo tendrá un equivalente de arena no menor de 45%.

A.2 Filler Mineral:

A.2.1 Son de dos tipos, químicamente activos y químicamente inactivos. Ambos deben cumplir la especificación D342.

A.2.2 Los filler químicamente activos tales como el cemento portland ó la cal hidratada así como el sulfato de amonio, son empleados para mejorar la trabajabilidad, regular el tiempo de curado y en algunos casos para alterar la gradación del agregado.

A.2.3 Los filler minerales químicamente activos tales como el polvo calcáreo, cenizas volátiles y polvo de roca se emplean principalmente para alterar la gradación del agregado.

A.3 Asfalto Emulsionado.- El asfalto emulsionado cumplirá el grado SS-1h de la especificación D 977I, para asfalto emulsionado ó cumplirá el grado CSS-1h de la especificación D 2397, para asfalto emulsionado catiónico.

A.3.1 Asfaltos Emulsionados de Rotura Rápida, Pueden ser empleados los grados QS- 1h y CQS-1h. Cumplirán la especificación D977 y D 2397 respectivamente, excepto que los requerimientos de ensayo para la mezcla con cemento y estabilidad al almacenamiento no se aplicarán. Referirse al Boletín N° 139 de la ISSA.

A.4 Composición de las Mezclas de Slurry Seal:

A.4.1 Una mezcla de trabajo será seleccionada que cumpla con los límites especificados, y que sea adecuada para el tráfico, condiciones climáticas, condiciones de curado, y uso final. Todos los materiales a ser empleados serán ensayados para probar su idoneidad en la mezcla tal como se indica en el método MTC E 416.

A.4.2 La mezcla tendrá un tiempo de rotura inicial no menor a 15 min ni más de 12 h. El tiempo de rotura se podrá controlar con la adición de filler mineral ú otros agentes químicos.

A.4.3 La mezcla será una de tres tipos, cuyos agregados combinados cumplirán los requerimientos de gradación de la tabla N° 1.

A.4.3.1 El tipo 1 es adecuado para sello de fisuras, llenado de vacíos y corregir la superficie de defectos de erosión. El asfalto residual será de 10 a 16 % del peso del agregado seco. Será aplicado a una razón de 3,3 a 5,4 kg/m² (6 a 10 lb/yd²). Este tipo es empleado en campos aéreos donde la necesidad principal es una superficie sellada y antideslizante.

A.4.3.2 El tipo 2 es adecuado para llenado de vacíos en la superficie, corregir severos defectos de erosión de la superficie y proveer una superficie con las condiciones mínimas de uso. El contenido de asfalto residual será de 7,5 a 13,5 % en peso del agregado seco. Este se aplicará en una razón de 5,4 a 8,2 kg/m² (10 a 15 lb/yd²). Este tipo se emplea en campos aéreos y pavimentos que están severamente erosionados ó con numerosas fisuras. Puede

ser también empleado como una superficie de uso sobre bases bituminosas de agregado grueso ó bases de suelo cemento ó como un sellador en bases estabilizadas.

- A.4.3.3 El tipo 3 es adecuado para proveer una nueva superficie de uso ó construir una corona. El asfalto residual estará entre 6,5 a 12% del agregado seco. Se aplicará a una razón de 8,2 kg/m² (15 lb/yd²) ó más.
- A.4.4 Ensayo de Consistencia.- Este ensayo se emplea para determinar un óptimo diseño de mezcla para los agregados, filler, agua y emulsión. Un flujo de 2 a 3 cm (1 pulg) se considera que es la consistencia normalmente requerida para una mezcla de campo trabajable.
- A.4.5 Tiempo de Rotura.- Este ensayo determina el tiempo requerido para que el slurry alcance su condición inicial por el método de transferencia de papel. Un diseño de mezcla adecuado romperá al finalizar las 12 h. El tiempo de rotura es considerado aceptable para un slurry de rotura rápida (ver MTC E 416).
- A.4.6 Tiempo de Curado.- El ensayo se emplea para determinar la cohesión inicial del material de slurry y su resistencia al tráfico, Una mezcla de slurry adecuada estará completamente curada al final de 24 h después de su colocado (ver MTC E 416).
- A.4.7 Ensayo de Abrasión de Rueda Húmeda.- Este método cubre la medida de las cualidades de uso del slurry seal bajo condiciones de abrasión húmeda.

Nota A1. Como guía el slurry no mostrará una pérdida mayor a 807,44 g/m² (75 g/pie²)

TABLA N° 1. Requisitos de Calificación para el Agregado

Tamaño del Tamiz	Cantidad que pasa tamiz, peso %		
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
3/8" (9,5 mm)	100	100	100
N° 4 (4,75 mm)	100	90 - 100	70 - 90
N° 8 (4,75 mm)	90 - 100	65 - 90	45 - 70
N° 16 (4,75 mm)	65 - 90	45 - 70	28 - 50
N° 30 (4,75 mm)	40 - 60	30 - 50	19 - 34
N° 50 (4,75 mm)	25 - 42	18 - 30	12 - 25
N° 100 (4,75 mm)	15 - 30	10 - 21	7 - 18
N° 200 (4,75 mm)	10 - 20	5 - 15	5 - 15

MTC E 418

DETERMINACION DEL EXCESO DE ASFALTO EN MEZCLAS CON MAQUINA DE RUEDA CARGADA (LWT)

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el límite de estabilidad máxima del contenido de asfalto y permitir al diseñador de mezcla evitar exudaciones, bajo cargas de tráfico pesado.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Durante este ensayo también se pueden efectuar medidas adicionales para estudiar valores de compactación y deformación plástica de mezclas bituminosas de una o varias capas, empleando calibradores y perfilógrafos adecuados.
- 2.2 La prueba de rueda cargada se aplica para compactar mezclas bituminosas de agregado fino tal como lechada asfáltica, por medio de una rueda de caucho cargada.
- 2.3 Durante este ensayo también se pueden efectuar medidas adicionales para estudiar valores de compactación y deformación plástica de mezclas bituminosas de una o varias capas, empleando calibradores y perfilógrafos adecuados.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ISSA TB N°104: "Test Method for measurement of Stability and Resistance to Compaction, Vertical and Lateral Displacement of Multilayered fine Aggregate cold mixes".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Máquina de rueda cargada, como la que se muestra en la figura 1 y 2, consistiendo en los siguientes componentes principales:

- Base de canal de acero ajustable.
- Placa de montaje para especímenes
- Motor, con accesorios de acoplamiento, de 1/3 HP y 750 rpm.
- Engranaje reductor horizontal, de doble salida y de relación 40:1
- Manivela de manejo, de 6 pulgadas (15,24 cm) de radio.
- Brazos conectores de conducción, de canal de acero ajustable.
- Cajas para pesas ajustables para centrarla sobre el eje de la rueda.
- Ensamblaje con rueda neumática con 3 pulg (76,2mm) de diámetro y 1pulg (25,4mm), de caucho blando (dureza 60 -70), montada a una distancia horizontal de 24pulg (60,96 cm) entre los ejes motrices que la impulsan.
- Contador de revoluciones, regulable a cero.
- 5 -25 lb. (11,34kg) bags de # 7(2,8mm) o # 8 (2,36mm) lead shot.
- Placas de acero galvanizado calibre 24 (0,24" – 60mm) para el montaje de las muestras, de dimensiones 3" (76,2mm) x 16" (406,4mm), sin rebabas.
- Moldes para muestras de 0,125; 0,188; 0,250; 0,313; 0,375 y 0,500 pulgadas de espesor (3,2; 48; 6,4; 8,0; 9,5; 12;7mm), x 3" (76,2mm) x 16"(406,4mm) exteriormente y 2" (50,8mm) x 15" (381mm) interiormente.
- Enrasador de acero de las siguientes dimensiones: 0,634 cm x 1,268 cm x 38,04 cm de longitud
- Una balanza de plataforma de 250 libras de capacidad, con sensibilidad de 1 libra

- 4.1.2 Preparación de los aparatos de prueba:

- Balanza de 2 000 o más gramos de capacidad y una precisión de ± 1 gramo.
- Horno capaz de mantener temperaturas constantes de 60 °C y 82 °C.
- Recipiente para mezcla. Será de fondo grueso y adecuado para contener la muestra durante el mezclado, con capacidad mínima de 600 cm³

- Espátula o cuchara. Espátula o cuchara de mezclado de 25,4 mm de mango largo, de suficiente longitud, para sobresalir como mínimo 101 mm del borde del recipiente de mezclado durante su agitación.

4.1.3 Adhesión de arena, Aparatos y materiales:

- Arena fina de Ottawa o similar, para tamiz 0,59 mm (ASTM N° 30) y retiene 0,149 mm (ASTM N° 100).
- Plato calentador u horno para el calentamiento de la arena a 82,2°C.
- Cazuela. Cazuela metálica con capacidad de 1 000 a 5 000 cm³.
- Termómetro. Un termómetro de -10 °C a 110 °C
- Aspiradora. Una aspiradora de vacío casera.
- Aparatos opcionales. Aparatos para las medidas adicionales de compactación y deformación, como perfilógrafo y calibradores adecuados, según las medidas que se desee tomar.

5.0 MUESTRA

5.1 ESPECIMENES DE PRUEBA

5.1.1 Las mezclas de slurry seal son preparados con formulaciones seleccionadas para el ensayo usando los materiales del proyecto.

5.1.2 Se selecciona el espesor del molde para que produzca, de acuerdo con la granulometría, el espesor deseado para el ensayo, por ejemplo 25% más grueso que el tamaño de la mayor partícula.

5.1.3 De 25 a 35% más del material que sea requerido para llenar el molde (Normalmente, 300 gramos de agregado son suficientes para llenar el molde de 6,340 mm).

5.1.4 Mezclas de prueba son preparadas para determinar las características de consistencia de la formulación seleccionada (Ver ISSA TB N° 106). El dato del porcentaje exacto de la formulación se utiliza para preparar la lista de las cantidades de agregados, filler, agua, emulsión y la consistencia obtenida; eg 100-2-10-18-3 cm.

5.1.5 Los materiales son cuidadosamente pesados dentro del recipiente de mezcla. El mezclado deberá hacerse por 30 segundos en forma rápida y continua después de adicionarse la emulsión.

5.1.6 Se coloca el molde que se haya seleccionado sobre una placa de montaje previamente pesada e inmediatamente se vierte la lechada sobre el molde. Utilizando el enrasador y con un movimiento horizontal de zigzag se enrasa la lechada con la parte superior del molde, con un mínimo de manipulación (el enrasado excesivo contribuye a la segregación), se retira el exceso de material y se descarta. Cuando la briqueta se ha endurecido lo suficiente para prevenir desplazamientos, se retira el molde y se coloca la briqueta en horno a 60 °C hasta peso constante (mínimo 12 horas de secado); luego, se saca del horno y se deja enfriar hasta temperatura ambiente.

5.2 AJUSTE Y PESO DE LA MAQUINA DE RUEDA CARGADA

5.2.1 Los cojinetes del brazo de conexión y del ensamblaje de carga se ajustan y aseguran para que la distancia horizontal proyectada entre los ejes motrices y la rueda sea de 60,864 cm. El ensamblaje de la rueda debe alinearse para que esta rueda paralelamente al marco.

5.2.2 La caja de pesas se centra y asegura directamente sobre el eje de la rueda.

5.2.3 La rueda se coloca sobre la balanza de plataforma cuidando que los brazos de conexión sean paralelos al marco y se colocan pesas en la caja hasta obtener el peso especificado.

5.3 MONTAJE DE LA BRIQUETA

5.3.1 La briqueta se monta con la placa de montaje firmemente ajustada contra los pines de fijación y se fija en posición con las arandelas de agarre y las tuercas de mariposa.

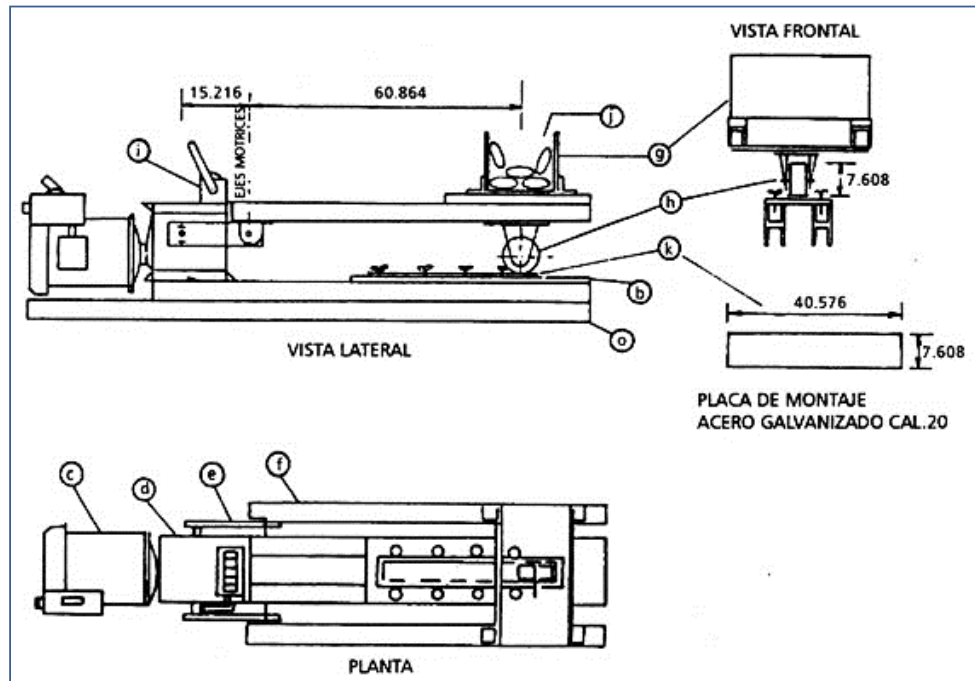


Figura 1

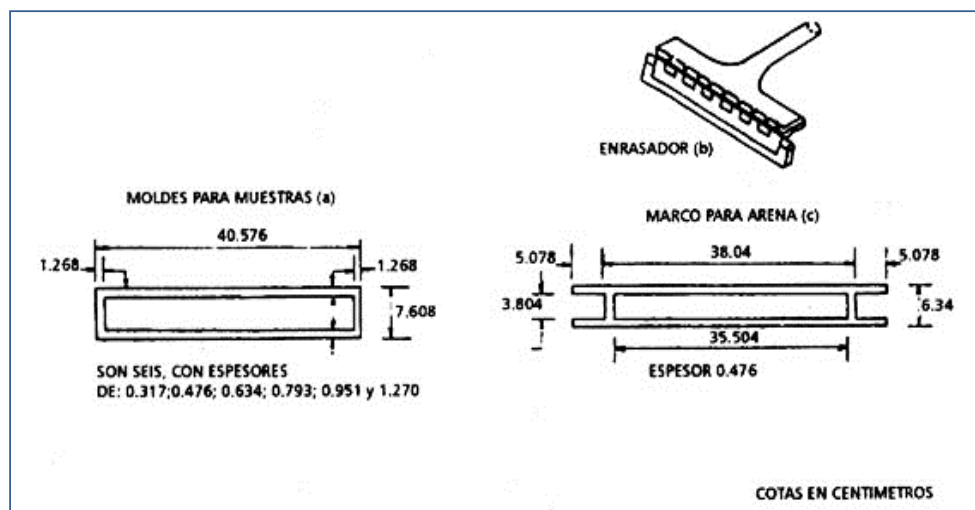


Figura 2

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 La temperatura ambiente debe estar entre 15 °C y 35 °C.
- 6.2 Se coloca la rueda sobre la briqueta, y se carga la caja de pesas hasta la carga de 125 libras, previa inspección y limpieza de la rueda con un solvente evaporable y agua.
- 6.3 Se lleva a cero el contador de revoluciones las relaciones motrices deben producir 44 ciclos por minuto. (Deben evitarse contactos personales con las partes móviles, para prevenir accidentes)
- 6.4 Debe observarse con cuidado durante la compactación, pues con ciertos agregados se puede presentar una adhesividad audible y un brillo visible. Al llegar a este punto, debe agregarse agua hasta inundar completamente la huella de la rueda, para prevenir la adhesión de la

- briqueta a la rueda y el desprendimiento de partículas de aquella. Debe anotarse el número de revoluciones requerido para alcanzar este punto de adhesividad.
- 6.5 Después de los 1000 ciclos; se detiene la máquina, se retira la carga, la briqueta se lava con agua potable o libre de sales solubles dañinos, para retirar todas las partículas sueltas y luego se procede a secar a 60 °C hasta peso constante.
- 6.6 Se anota el peso seco de la briqueta y esta se monta nuevamente en el plato de montaje en su posición original. Se centra el marco para arena sobre la briqueta, con el caucho espumoso hacia ella para prevenir pérdidas de arena. Se esparcen uniformemente dentro del molde de arena 300 gramos de la arena fina de Ottawa o similar que pasa tamiz 0,59 mm (ASTM N° 30) y retiene 0,149 mm (ASTM N° 100), caliente (82 °C), e inmediatamente se carga la rueda sobre la briqueta y se somete a 100 ciclos adicionales.
- 6.7 Se quita toda la arena suelta usando la aspiradora de vacío, se retira la briqueta y se pesa. Se anota el aumento de peso debido a la adhesión de arena

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Los resultados del ensayo se expresarán en gramos por metro cuadrado (g/m^2), de acuerdo con el procedimiento siguiente:

Se determina, para cada probeta, la diferencia entre los pesos en estado seco, antes y después de someterla a la adhesividad de la arena.

El promedio de los resultados de la arena adherida, para el grupo de tres briquetas correspondientes a cada proporción de ingredientes en la mezcla, se tomará como la cantidad de arena adherida para esa proporción.

$$PA = \text{Promedio}(p_2 - p_1) \times 129,57$$

Donde:

PA = Arena adherida en g/m^2

P₁ = Peso en gramos de la briqueta seca luego de someterla a los 1000 ciclos, antes de esparcir la arena.

P₂ = Peso en gramos de la briqueta seca después de someterla con la arena a 100 ciclos.

7.2 INFORME

- 7.2.1 Se reporta como el número de ciclos con carga en libras y la temperatura.
- 7.2.2 La Adhesión de la arena es informada en gramos adheridos después de los ciclos con carga y la temperatura.

MTC E 419**METODO DE ENSAYO PARA CLASIFICAR LAS LECHADAS BITUMINOSAS POR MEDIDA DE TORSION, EN EL COHESIOMETRO, EN FUNCION DEL TIEMPO DE CURADO****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar diversos tiempos de rotura de la mezcla de micro pavimento, con el objeto de estimar el tiempo en que se debe realizar la compactación y posterior apertura al tráfico.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Mide el torque de una mezcla de micro pavimento mientras coalesce y desarrolla resistencia cohesiva. El torque se plotea contra el tiempo que muestra como la mezcla desarrolla resistencia al movimiento. Torques específicos y valores de tiempo son definidos como "tiempo de rotura" y "Tiempo para apertura al tráfico" (ver Figura 3).
- 2.2 El tiempo de rotura se define como el lapso de tiempo después del vaciado de un espécimen de la mezcla de micro pavimento que no puede volver a mezclarse homogéneamente (es que no hay emulsión libre como para lubricar el sistema) y no es posible ningún desplazamiento lateral cuando se compacta. Además es definido como el tiempo cuando no hay señales de emulsión libre cuando se presiona con un papel toalla absorbente y no hay emulsión diluida y desaparece cuando se lava con agua.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 3910: "Standard Practices for Design, Testing and Construction of Slurry Seal"

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Cohesiómetro. Aparato diseñado tanto para su utilización en laboratorio como en campo. Esencialmente constará de: doble barra y un cilindro de 28,5 mm de diámetro con 8 mm de diámetro de barra y 76 mm de carrera, un cilindro neumático de presión cuyo pistón tendrá en su parte inferior un pie o contera de goma dura de 25,4 mm de diámetro. El recorrido del pistón estará comprendido entre 35 y 40 mm. En la parte superior del cilindro neumático se podrá acoplar el torquímetro o mecanismo utilizado para medir el par de torsión. El torquímetro será adecuado para medir el par de torsión. El torquímetro será adecuado para medir esfuerzos entre 0 y 3,5 N.m (0 y 35 kg-cm). La presión vertical para ejercer sobre la muestra de la lechada asfáltica se obtendrá mediante una fuente de aire a presión, o un compresor portátil, o incluso un inflador de llantas de bicicletas. El cohesiómetro dispondrá del sistema de toma de aire de presión y conducción del mismo al cilindro neumático, con las llaves de control adecuadas y un manómetro intercalado en el circuito, que pueda medir y suministrar presiones de 0 a 1100 kPa (de 0 a 11 kg/cm²). El bastidor de ensamblaje y presentación del conjunto del aparato, permitirá realizar medidas en el laboratorio o en obra sobre la capa de lechada extendida, realizando cambios sencillos en la disposición de aquél (figuras 1 y 2).
- 4.1.2 Moldes metálicos. Para fabricar y contener las probetas de la Lechada asfáltica. Los moldes serán anulares y de dimensiones: 65,5 ± 0,5 mm de diámetro exterior; 60,0 ± 0,5 mm de diámetro interior; altura de 6,0 ± 0,5 mm o 10,0 ± 0,5 mm, según el tamaño máximo del agregado en la lechada por ensayar.

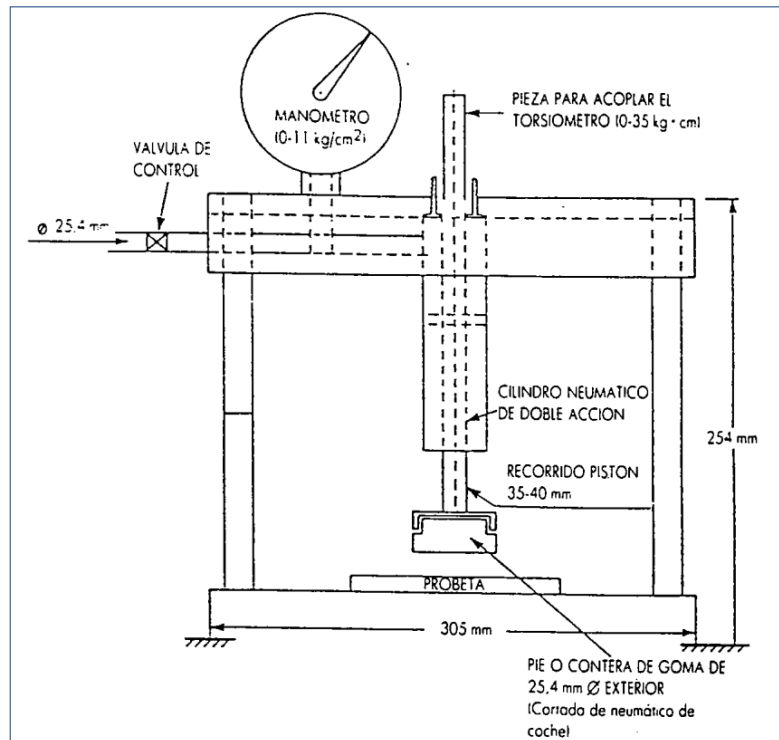


Figura 1: Cohesiómetro de ensayo (vista frontal)

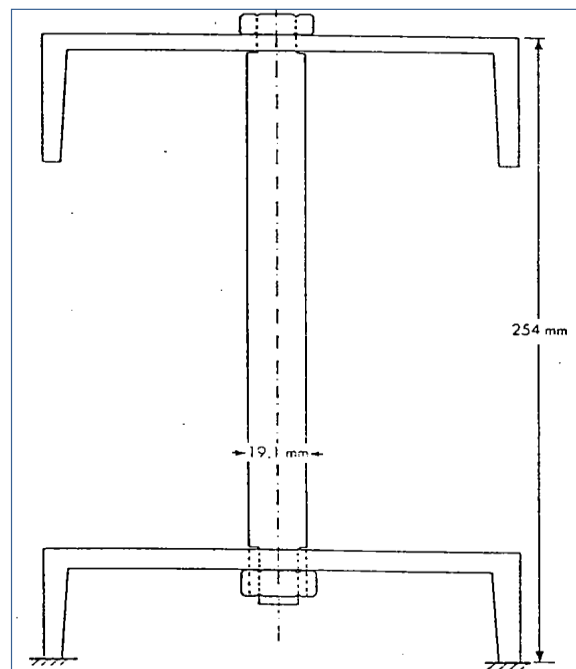


Figura 2: Cohesiómetro de ensayo (vista lateral)

- 4.1.3 Filtro asfáltico u otro material no absorbente, en lámina cuadrangular, para utilizar como fondo y apoyo de los moldes de las probetas de lechada asfáltica. La superficie de los filtros necesaria para el ensayo es de unos 100 cm².

- 4.1.4 Para Calibración: Arena de Ottawa comprendida entre los tamices 20 – 30, papel lija N° 220 y 100 de silicio de carburo.

5.0 MUESTRA

- 5.1 La proporción adecuada de cemento portland (ó cal hidratada u otros aditivos), agua y emulsión asfáltica al peso de agregado seco será predeterminada en el laboratorio ó por un diseño de mezcla de campo funcional, previamente aceptada por el ingeniero de obra.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Las gradaciones Tipo 2 y tipo 3 de agregado son pasados por el tamiz N°4 y la porción retenida es descartada. Un número adecuado de especímenes idénticos son colocados y mezclados, en los moldes en forma de anillo de 6 mm para tipo 2 y de 10 mm para tipo 3, y centrados en el cartón asfáltico cuadrado. Se debe tener cuidado al producir los especímenes cuya superficie debe ser horizontalmente paralelas.

- 6.2 Las mediciones con el torque son realizadas con un adecuado intervalo tal como 30, 60, 90, 150, 210, y 270 minutos después de preparados. El espécimen es centrado debajo de un pie de neopreno. Este descenso se debe hacer a una velocidad comprendida entre 8 a 10 cm/s. Después de 5 a 6 segundos de compresión se pone el torquímetro a cero y se coloca en la parte superior del cilindro de compresión neumático. Se gira el torquímetro de forma suave, pero firmemente, en un movimiento horizontal hasta unos 90 ° a 120 ° de arco, en un tiempo comprendido entre 0,5 y 0,7 segundos, El tiempo necesario para alcanzar una torsión máxima constante, o hasta que el pie de goma, en su deslizamiento sobre la superficie de la probeta, no desplace o arranque ninguna partícula del agregado de la muestra, se define en esta norma como tiempo de curado de la emulsión.

- 6.3 Cuando se desea saber el contenido de humedad es necesario tarar el peso del espécimen montado en las almohadillas antes de comprimir el espécimen.

6.4 CALIBRACION

- 6.4.1 Se acondiciona el pie de goma realizando una serie de medidas del par sobre papel de lija de grano tipo 200, hasta que una tanda de 10 lecturas consecutivas permanezca constante dentro de un campo de variación de $\pm 0,3$ kg-cm.

- 6.4.2 Después de efectuado el "pulimento" o acondicionamiento del pie de goma con el papel de lija tipo 200, se efectúa una medición con el papel de lija tipo 100 y otra sobre la arena sílicea (malla 20-30) natural o arena de Ottawa, contenida en el molde de 10 mm de altura. Se anotan estos valores como datos de calibración.

- 6.4.3 El agregado seco debe ser utilizado para el ensayo como se indica en el 6.5 y se registran en el gráfico de cohesión. (Figura 3).

6.5 TIEMPO DE ROTURA Y TIEMPO DE TRÁFICO DEFINIDO.

- 6.5.1 El tiempo de rotura es definido como el lapso de tiempo después de comprimir, cuando una lechada asfáltica no puede ser remezclado como una lechada homogénea, cuando no hay desplazamiento lateral en el momento de compactación, cuando un papel no se mancha cuando se coloca ligeramente en la superficie del molde de la lechada asfáltica, cuando la emulsión rompe y no puede lubricar la mezcla y cuando no hay emulsión libre que pueda ser diluida y eliminada con agua.

- 6.5.2 Tiempo de apertura al tráfico: Ocurre en un torque de nivel de 20 (20-21) kg-cm.

- 6.5.3 Sistema de curado rápido: es definida cuando el sistema de lechada asfáltica que alcanza un torque de 12 – 13 kg-cm dentro de 30 minutos.

- 6.5.4 Sistema de apertura rápido de tráfico: Es definida cuando el sistema de lechada asfáltica que alcanza un torque de 20-21 kg-cm dentro de 60 minutos.

Nota 1. En ciertas ocasiones la prueba de cohesión no confinada puede romperse o de una manera anormal o permanecer sólida o cerca de la superficie de prueba (hidroplaneo). Esto es útil para saber el modo de rotura y para algunas veces, asignar un valor de cohesión para propósitos gráficos, como se indica a continuación:

“N” = Normal. Múltiples grietas radiales son notadas. Debajo de 12 kg-cm no hay grietas. (Figura 4).

“NS” = Cerca de giro: solo aparece una rotura radial (valor de cohesión equivalente que está en 20 kg-cm) (figura 5).

“S” = Giro. No aparece ninguna grieta pero el agregado es desalojado directamente debajo del pie (base) y rodado debajo del pie (base) (valor de cohesión equivalente es de 23 kg-cm). (Figura 6).

Después de 2 días de secado en el aire puede ser deseable evaluar subjetivamente las propiedades de la muestra de prueba permanecen de acuerdo a la apariencia, color, humedad, adhesión ó cubrimiento, adhesión al sustrato y 3 minutos de adhesión en ebullición

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME

7.1.1 Los valores del par de torsión medidos en los tiempos establecidos de 30, 60, 90 minutos, etc., hasta obtener el valor máximo constante se llevan a un gráfico en el que las abscisas representan el tiempo en minutos y las ordenadas los pares de torsión, respectivos, en kg-cm. Se dibuja la curva suave que una los diferentes puntos.

7.1.2 La forma gráfica debería incluir los valores de calibración.

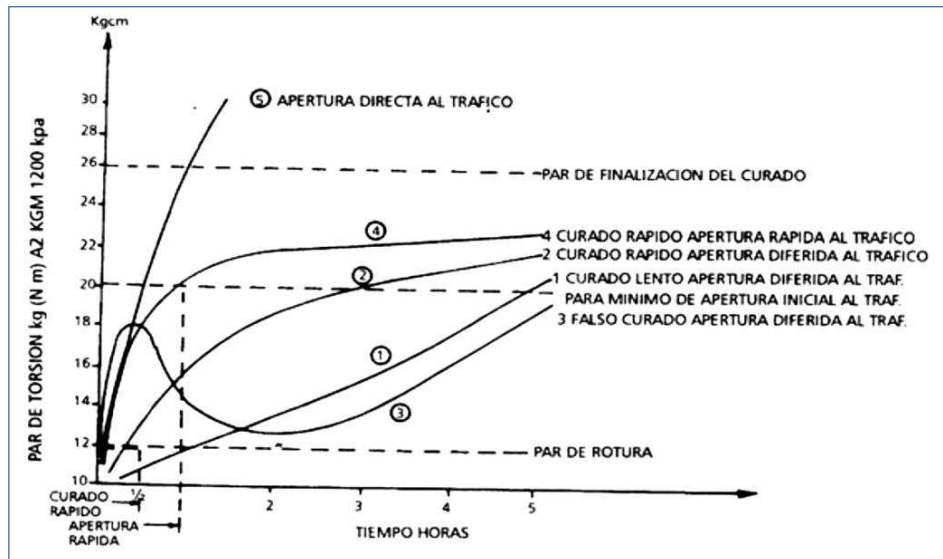


Figura 3. Clasificación de las lechadas bituminosas en función del par de torsión y del tiempo de curado

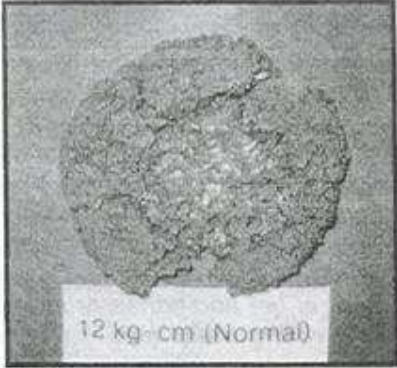


Figura 4

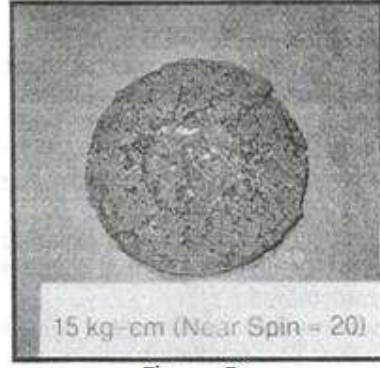


Figura 5

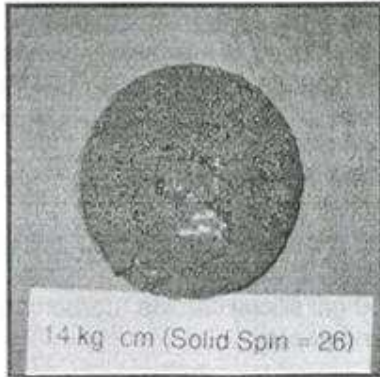


Figura 6

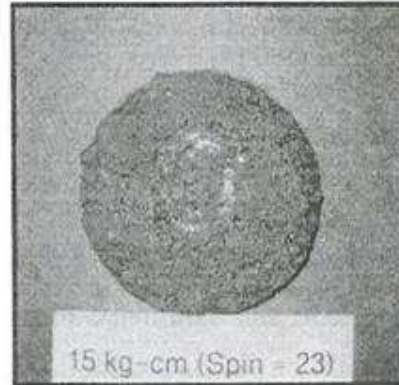


Figura 7

Figuras 4-7. Pruebas de cohesión no confinadas



SECCION N° 5 MEZCLAS BITUMINOSAS

MTC E 501**TOMA DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer el procedimiento para la toma de muestras de mezclas de materiales asfálticos con agregados minerales tal como son preparados para el uso en pavimentación.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Las muestras pueden usarse para los dos propósitos siguientes:
- Como muestra representativa de las características o condiciones promedio de la mezcla asfáltica producida.
 - Para controlar su uniformidad o sus variaciones.
- 2.2 El muestreo es tan importante como los ensayos, por ello el operador tomará todas las precauciones para obtener muestras que se asemejen a la naturaleza y condiciones de los materiales que representan.
- 2.3 Las muestras para el desarrollo de información preliminar son obtenidas por la parte responsable respectiva. Las muestras para el control del producto en la fuente de producción ó almacenamiento, ó en la locación de uso, son obtenidas por el fabricante, contratista u otras partes responsables de la obra. Las muestras para ensayos a ser empleados en la aceptación ó rechazo por el adquirente, son obtenidas por éste ó su representante autorizado.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 AASHTO Designation; T-168: "Standard Method of Test for Sampling Bituminous Paving Mixtures"

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

- 4.1 No se consideran.

5.0 MUESTRA**5.1 SELECCION DE MUESTRAS**

Las muestras deben ser realmente representativas.

Se debe tener cuidado al hacer el muestreo para evitar la segregación del. Agregado grueso o de mezclas asfálticas también, debe evitarse la contaminación por polvo u otras materias extrañas.

Las muestras de mezclas asfálticas sobre las cuales se hará la aceptación o rechazo del lote, deben estar de acuerdo con los procedimientos descritos en esta norma.

5.2 TAMAÑO DE LAS MUESTRAS

El tamaño de la muestra estará determinando por el tamaño máximo del agregado dentro de la mezcla. El tamaño mínimo de la muestra debe estar de acuerdo con los requisitos de la Tabla1.

Tabla 1: Tamaño de la muestra

Tamaño nominal Máximo De los Agregados que pasan Por el tamiz	Peso mínimo de las Muestra no compactada kg (Ib)	Área mínima de la muestra de pavimento compactada cm ² (pulg ²)
2,36 mm (Nº 8)	1,8 (4)	232 (36)
4,75 mm (Nº 4)	1,8 (4)	232 (36)
9,5 mm (3/8")	3,6 (8)	232 (36)
12,5 mm (1/2")	5,4 (12)	413 (64)
19,0 mm (3/4")	7,3 (16)	645 (100)
25,0 mm (1")	9,1 (20)	929 (114)
37,5 mm (11/2")	11,5 (25)	929 (114)
50,0 mm (2")	15,9 (35)	1453 (225)

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 TOMA DE MUESTRAS EN PLANTA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

- 6.1.1 De una tanda recién descargada de la mezcladora deberá tomarse una muestra, por medio de una pala o cuchara, "raspando" la pila desde el fondo hasta la superficie en dos sitios a 180° uno del otro, y reduciendo al tamaño apropiado por medio de remezclado y cuarteo. Si la muestra va a representar más de una tanda de la mezcla, se deben tomar muestras a intervalos regulares, de acuerdo con el procedimiento que se acaba de mencionar; la muestra acumulativa será colocada en un recipiente.

Después de que se haya tomado el número de muestras requeridas, la cantidad total se reduce al tamaño requerido, mezclándola y cuarteándola sobre una superficie lisa y limpia.

Una muestra no debe representar más de la producción de un día. Si es necesario puede ser calentada para facilitar su separación y cuarteo, evitando el sobrecalentamiento, usando solamente el calor necesario mínimo para permitir una mezcla satisfactoria.

Si se toman las muestras con el propósito de determinar la uniformidad de la producción de la planta no deben ser mezcladas entre sí, sino cada toma será ensayada por separado.

- 6.1.2 Las muestras tomadas de una pila de almacenamiento se obtendrán por la unión de cantidades iguales de mezcla tomadas de la superficie, centro y fondo de la pila, a través de huecos excavados en la misma. La reducción de la muestra al tamaño requerido deberá hacerse como se describió en el numeral 6.1.1.
- 6.1.3 Las muestras tomadas de vehículos transportadores se sacarán de no menos de seis (6) puntos diferentes, aproximadamente a 305 mm (12") por debajo de la superficie, distribuidos sobre el vehículo de tal modo que queden en los puntos medios de las secciones que representan cada una la sexta parte del área superficial del vehículo y que se logran suponiendo una línea media a lo largo y dos líneas transversales que dividen la superficie en tres partes iguales. En caso que se requiera un número mayor de muestras para formar la acumulativa, se tomarán en puntos espaciados de acuerdo con un patrón geométrico satisfactorio. Estas porciones se mezclarán y reducirán por cuarteo al tamaño requerido de la muestra.

Nota 1. Se puede fabricar un toma muestras que sea satisfactorio para mezclas asfálticas tomando una pala de punta redondeada y doblándola para formar un tubo de aproximadamente 90 mm (3 ½") de diámetro

6.2 TOMA DE MUESTRAS ASFÁLTICAS IN SITU

- 6.2.1 Las muestras tomadas del pavimento terminado, para la determinación de las características de la mezcla, deben tener un área medida sobre la superficie del pavimento no menor que la indicada en la Tabla 1 y cubrir toda la profundidad de la capa que se está extendiendo. Debe tomarse por lo menos una muestra de la producción diaria, sacándola de tal manera que cause la menor perturbación en su densidad, y debe ser transportada firmemente envuelta y sujeta, para conservar su forma en caso de que se vaya a realizar la determinación de su densidad.

6.3 TOMA DE MUESTRAS ASFÁLTICAS MEZCLADAS EN VIA

- 6.3.1 Las muestras de mezclas asfálticas sobre la vía, se toman con el objeto de determinar estas propiedades físicas y contenido de ligante, así como la uniformidad del contenido de ligante después de haber sido incorporado a la mezcla.
- 6.3.2 Si la mezcla se ha colocado en capas relativamente uniformes, las muestras se pueden obtener a intervalos no mayores de 150 m y si se quiere un control más riguroso de la uniformidad de la mezcla se tomarán muestras adicionales en cada uno de los intervalos de 150 m en puntos aproximadamente a 600 mm del borde del pavimento. Debe tenerse cuidado para no incluir materiales de la base sobre la cual se está construyendo el pavimento.

6.3.3 Si la mezcla se ha colocado en capas relativamente uniformes, las muestras se pueden obtener a intervalos no mayores de 150 m y si se quiere un control más rigurosos de la uniformidad de la mezcla se tomarán muestras adicionales en cada uno de los intervalos de 150 m en puntos aproximadamente a 600 mm del borde del pavimento. Debe tenerse cuidado para no incluir materiales de la sub base o base sobre la cual se está construyendo el pavimento.

6.3.4 Muestras del pavimento colocado y compactado se obtendrán según se indica en el numeral 6.2.1.

6.4 IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS

Cada muestra vendrá acompañada de una descripción dando la siguiente información:

- Trabajo en el cual se va a usar el material, indicando nombre de la vía y otras identificaciones geográficas exigidas.
- Para muestras tomadas en planta, debe indicarse: nombre de la empresa, tipo, capacidad y ubicación de la planta; tipo de ligante asfáltico y agregados usados en la mezcla.
- Para muestras tomadas en la vía debe indicarse el número de la estaca y la localización transversal del pavimento; también si la muestra es del pavimento terminado o de las bermas, etc.
- Cantidad representada.
- Nombre y cargo de quien toma la muestra y quien la envía.
- Fecha del muestreo.
- Ensayos requeridos.
- Nombre y cargo de la persona a quien se le enviará el resultado.
- Cuando se trate de mezcla en frío, indicar fecha del mezclado.

MTC E 502

EXTRACCION CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar en forma cuantitativa el bitumen de mezclas en caliente de pavimentos y de muestras de pavimentos. El agregado obtenido por estos métodos puede utilizarse para análisis por tamizado empleando los métodos de prueba C117 y C 136.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Los valores declarados en pulgadas–libras serán considerados como estándar. Los valores dados en paréntesis son solo para información.
- 2.2 Esta norma no pretende dirigir todo lo que a seguridad se refiere para cualquiera asociado con su empleo. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de seguridad y salubridad adecuadas y determinar la aplicación de limitaciones antes de su uso.
- 2.3 Todos estos métodos pueden ser utilizados para la determinación cuantitativa de bitumen en pavimentos de mezcla en caliente y muestras de pavimentos para la aceptación de la especificación, evaluación de servicio, control e investigación. Cada método prescribe el solvente o solventes y algunos otro reactivos que puedan utilizarse en este método. El método D 1856 requiere que el método A se emplee cuando el asfalto es recuperado de una solución.

Nota 1. Los resultados obtenidos por estos métodos de pruebas pueden ser afectados por la edad del material ensayado, muestras más viejas tienden a rendir ligeramente un bajo contenido de bitumen. Mejores resultados cuantitativos son obtenidos cuando el ensayo se efectúa a la brevedad (lo más cercano) después de su preparación. Es difícil retirar el asfalto cuando algunos agregados son utilizados y algunos cloruros pueden permanecer dentro de la materia mineral afectando la medida del contenido del asfalto.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 2172: "Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen From Bituminous Paving Mixtures".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.5 Horno capaz de mantener la temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- 4.1.6 Cacerola: El fondo de 305 mm de longitud, 203mm de ancho y 25 mm de profundidad.
- 4.1.7 Balanza o balanzas teniendo una exactitud de al menos 0,01% de la masa de la muestra.
- 4.1.8 Plato calentador eléctrico de 700 W continuo ó con ajustes a baja, media y alta potencia.
- 4.1.9 Probeta de boca angosta graduado de 1000 ó 2000 mL de capacidad.
- 4.1.10 Plato de ignición de 125 mL de capacidad.

4.1.11 Desecador.

4.1.12 Balanza analítica.

4.2 INSUMOS

- 4.2.1 Pureza de los Reactivos: Los reactivos de grado químico serán utilizados en todos los ensayos a menos que se indiquen de otro modo, esto es con la intención de que todos los reactivos cumplan las especificaciones del comité de reactivos analíticos. De la sociedad Química Americana, donde tales especificaciones están disponibles. Otros grados pueden ser

utilizados con tal que primero se pruebe que el reactivo es lo suficientemente alto de pureza para permitir su uso, sin perder la exactitud en la determinación.

- 4.2.2 Solución de carbonato de amonio. Solución saturada de grado reactivo de carbonato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$.
 - 4.2.3 Cloruro de Metileno: Grado técnico precaución ver numeral 4.3.
 - 4.2.4 Normal Propil bromuro: (nPB), conforme a la especificación D 6368. Precaución ver sección 4.3
 - 4.2.5 Tricloroetileno: Grado técnico tipo 1, especificación federal O-T-634 última revisión. Precaución.
- 4.3 RIESGOS

Precaución – Los solventes listados en la sección 4.2 serán utilizados solo bajo una campana, o con sistema de desfogue efectivo de la superficie en un área bien ventilada, debido a que son tóxicos a varios grados. Consulte el umbral límite de concentración, Comité de la Conferencia Americana Gubernamental de Industrias Higienistas para el actual valor del umbral límite

5.0 MUESTRA

- 5.1 Obtener las muestra de acuerdo con la practica D 979.
- 5.2 Preparación de especímenes para ensayo.
 - 5.2.1 Si la mezcla no es lo suficiente blanda para separarla con una espátula o paleta, coloque ello en una gran cacerola chata y caliéntela a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ solo hasta que pueda ser manipulado o mezclado. Cortar o cuartear para obtener la masa requerida para la prueba.
 - 5.2.2 El tamaño de la muestra para la prueba será determinado por el tamaño máximo nominal de la mezcla y será conforme para los requerimientos de masa mostrados en la tabla 1 (nota 2).

Tabla 1: Tamaño de muestra

Tamaño nominal máximo del agregado		Masa mínima de la muestra
mm	pulg	kg
4,75	(Nº 4)	0,5
9,5	3/8"	1,0
12,5	1/2"	1,5
19,0	3/4"	2
25,0	1"	3
37,5	1 1/2"	4

Nota 2. Cuando la masa del espécimen del ensayo exceda la capacidad del equipo usado (para un método particular) el espécimen de prueba puede ser dividido en adecuados incrementos (incremento = parte de una muestra), ensayado y los resultados, apropiadamente combinados para el cálculo del contenido de asfalto.

- 5.2.3 Se requiere un espécimen de muestra adicional para la determinación de humedad (sección 09) en la mezclas. Tomar este espécimen de prueba de una muestra remanente de la mezcla inmediatamente después de obtener el espécimen de ensayo para la extracción.

Nota 3. Si la recuperación de bitumen de la solución obtenida de la prueba de extracción no es requerida, el espécimen completo de prueba puede secarse a una masa constante en un horno a una temperatura $110 \pm 5^\circ\text{C}$ antes de la extracción en lugar de determinar el contenido de humedad.

- 5.3 Contenido de Humedad

- 5.3.1 Determine el contenido de humedad de la mezcla (ver sección 5.2.2) usando y de acuerdo con el procedimiento descrito en el método de prueba de D 1461.
- 5.3.2 Calcule la masa de agua W_2 (7.1) en la porción para el ensayo de la extracción multiplicando el porcentaje en peso de agua (5.6) por la masa de la porción del ensayo de extracción, W_1 , (7.1).

6.0 PROCEDIMIENTO

METODO A

En la adición a los aparatos en la sección N°4, se requiere los siguientes para método de prueba A:

- 6.1 Equipo extractor: consistiendo de un tazón (tipo bowl) aproximadamente como se muestra en la figura 1 y un equipo en que el tazón (bowl) pueda ser girado y controlado a velocidades variables hasta 3600 r/min. La velocidad puede ser controlada manualmente o con un mando de velocidad preseleccionado. El equipo debería estar provisto de un contenedor (tazón) que pueda retener el solvente, arrojado del tazón (bowl) y un drenaje para remover el solvente. El equipo preferentemente será provista con accesorios a prueba de explosión e instalado en una campana o un sistema extractor de la superficie efectiva para proveer ventilación. Cápsula con el filler seco se introduce en el desecador hasta que se vaya a realizar el ensayo.

Nota 4. Puede usarse un aparato similar o de mayor tamaño.

- 6.2 Anillos de filtro: de fieltro o papel para que encaje en el borde del tazón (bowl).
- 6.3 Anillos filtrantes de papel de ceniza baja puede utilizarse en lugar de los anillos filtrantes de fieltro (10.1.2). Tales anillos de filtro consistirán de papel filtro de baja acción de ceniza de $0,05 \pm 0,005$ pulgadas de espesor. El peso nominal de papel deberá ser de 330 ± 30 libras para una resma (500 hojas de 25 por 28 pulgadas). El contenido de ceniza del papel no excederá 0,2% (aproximadamente 0,034 g por anillo).
- 6.4 Determine el contenido de humedad del material

PROCEDIMIENTO DEL METODO A (con extractor centrifuga)

- 6.5 Coloque una porción de ensayo 650 a 2500 g dentro del tazón (bowl). Ver anexo A 1 para procedimientos alternativos a aquellos prescritos aquí.
- 6.6 Cubrir la porción de ensayo en el tazón de centrifuga (bowl) con tricloro etileno, bromuro propileno normal o cloruro de metileno y permitir un tiempo suficiente para que el solvente desintegre la porción de ensayo (no más de 1 hora). Coloque el tazón (bowl) conteniendo la porción de ensayo y el solvente en el equipo de extracción. Secar y determine la masa de un anillo de filtro y encajarlo al borde del tazón, sujete la tapa herméticamente sobre el tazón de centrifuga y coloque el vaso abajo del dren para recolectar la extracción.
- 6.7 Inicie la revolución de la centrifuga lentamente y gradualmente incremente la velocidad a un máximo de 3600 r/min o hasta que el solvente deje de fluir por el dren. Permitir que la máquina se detenga, adicionar 200 mL de tricloro etileno, bromuro propileno normal o cloruro de metileno y repetir el procedimiento. Utilice suficientes adiciones de 200 mL de solvente (no menos de tres) de manera que el extracto no sea más oscuro que el color ligeramente pardo. Recolectar el extracto y las lavadas en una adecuada probeta (recipiente).

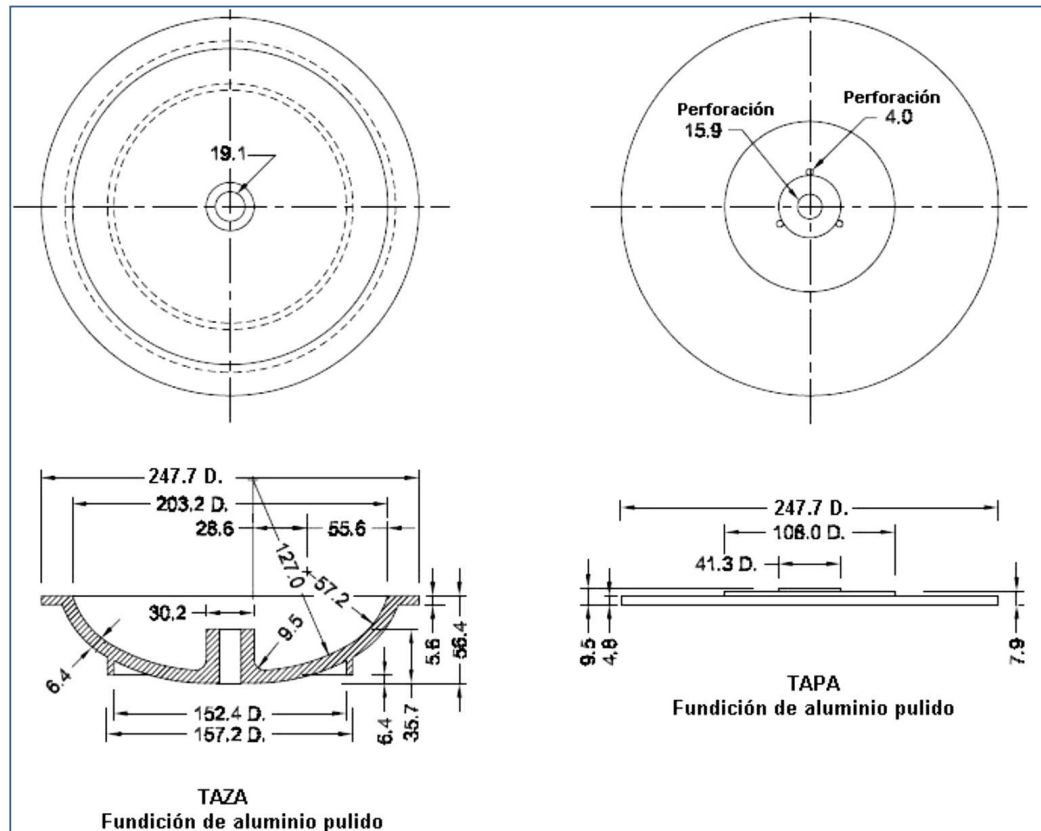


Figura 1. Recipiente extractor (método de ensayo A)

6.8 Remover el anillo filtro del tazón de centrifuga (bowl) y secar en aire. Si son utilizados anillos filtrantes fieltros, cepille la materia mineral adherida a la superficie del anillo y adiciónela al agregado extraído. Secar el anillo a un peso constante en un horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Cuidadosamente remueva todo el contenido del tazón de centrifuga dentro de una cacerola de metal y seque en un baño a vapor y luego, seque a peso constante en un horno o un plato calentador de $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Si el tricloroetileno, bromuro propileno normal es utilizado como solvente. El secado preliminar a baño de vapor puede ser omitido. El peso del agregado extraído W_3 es igual a la masa de los agregados en la cacerola más el incremento de peso de los anillos filtrantes.

6.9 Utilice los siguientes procedimientos alternativos cuando son usados anillos de bajo ceniza. Coloque el agregado y anillo de filtro en la cacerola de metal limpia. Seque como se especifica anteriormente. Cuidadosamente doble el filtro de anillo secado y déjelo encima del agregado. Queme el anillo de filtro por ignición con un mechero bunsen o fósforo. Determine el peso del agregado extraído en la cacerola (W_3).

Nota 5. Como el agregado seco absorbe humedad del aire húmedo. Determine el peso del agregado extraído inmediatamente después de enfriamiento a una temperatura adecuada.

6.10 Determine la cantidad de materia mineral en la extracción por algunos de los métodos siguientes:

METODO DE CENIZA

6.11 Registre el volumen de lo extraído total en una probeta graduado determine la masa de un plato quemador. Agite el extracto completamente é inmediatamente, aproximadamente 100 mL dentro del plato de ignición. Evapore hasta secar sobre un baño a vapor o un plato calentador, con excepción podrá utilizar un baño de vapor cuando el solvente es benceno. Residuo de ceniza en un calor de rojo apagado (500 a 600°C), enfriar y adicionar 5 mL de

solución carbonato de amonio saturado, por gramo de ceniza. Déjese a Temperatura de ambiente por 1 hora. Seque en un horno a 100 °C a peso constante, enfríe en un desecador y determine el peso.

- 6.12 Calcular el peso de materia mineral en el volumen total extraído, W_4 como sigue:

$$W_4 = G \cdot \left(\frac{V_1}{V_1 - V_2} \right)$$

Donde:

- G = Cantidad de ceniza, en g.
V₁ = Volumen total, mL
V₂ = Volumen después de remover la alícuota de ceniza, mL

METODO CENTRIFUGADO

- 6.13 Para este método utilice centrifuga de alta velocidad (3000g o mas) de tipo flujo continuo.
- 6.14 Determínese el peso de una taza limpia y vacía con aproximación a $0,01 \pm 0,005$ g y colóquese; en la centrifugadora. Empléese un recipiente en el desagüe para recoger el efluente de la operación de la centrifugadora. Transfíerese todo el extracto (del método A o B, que sea apropiado) a un recipiente debidamente equipado con un control de alimentación (válvula o abrazadera, etc.). Para garantizar la transferencia cuantitativa del extracto al recipiente alimentador, deberá lavarse el recipiente que contiene el extracto, varias veces, con pequeñas cantidades de solvente limpio y agregarse las lavaduras al recipiente alimentador, Iníciase la centrifugadora y déjese que alcance una velocidad constante (Por ejemplo 9 000 revoluciones por minuto para las del tipo SMM y más de 20 000 revoluciones por minuto para las del tipo Sharples). Abrase la línea de alimentación y aliméntese el extracto dentro de la centrifugadora a una rata de 100 a 150 mL/min. Después de que haya pasado todo el extracto a través de la centrifugadora, lávese el mecanismo de alimentación (con la centrifugadora todavía funcionando) con varias adiciones de solvente limpio, permitiendo que cada incremento corra a través de la centrifugadora hasta que el efluente sea esencialmente incoloro.
- 6.15 Déjese que la centrifugadora se detenga y remuévase la taza. Límpiase el exterior con solvente nuevo. Déjese evaporar el solvente residual en un embudo o en una caperuza para vapor y luego séquese el recipiente en un horno controlado a 110 ± 5 °C. Enfríese el recipiente y vuélvase a determinar inmediatamente el peso. El incremento representa el peso de materia mineral (W_4) en el extracto.

METODO VOLUMÉTRICO

- 6.16 Colóquese el extracto en un frasco previamente tarado y calibrado, coloque el frasco en un baño de temperatura controlada a $\pm 0,1$ °C y dejar que llegue a la temperatura en el cual el frasco fue calibrado. Cuando la temperatura deseada se ha alcanzado, llene el frasco con solvente en el cual ha sido mantenido a la misma temperatura. Llévase el nivel del líquido en el frasco hasta el cuello; insértese el tapón, verificando que el líquido rebose el capilar, y remuévase el frasco del baño. Límpiase el frasco seco, determínese el peso con aproximación a 0,1 g y regístrese este peso como el peso del frasco más el extracto Véase en el Anexo A.2 un procedimiento alterno de método volumétrico, si no se utiliza un baño de temperatura controlada como esta prescrito aquí.
- 6.17 Calcúlese el volumen del asfalto y de los finos en el extracto en la siguiente forma:

$$V_1 = V_2 - \frac{M_1 - M_2}{G_1}$$

Donde:

- V_1 = Volumen de asfalto y de los finos en el extracto.
- V_2 = Volumen del frasco.
- M_1 = Masa de los contenidos del frasco.
- M_2 = Masa del asfalto y finos en el extracto o masa de la muestra total menos la masa del agregado extraído.
- G_1 = Peso específico del solvente determinado con aproximación a 0,001

Calcúlese el peso de los finos en el extracto en la siguiente forma:

$$M_3 = K \cdot (M_2 - G_3 \cdot V_1)$$

Donde:

- M_3 = Masa de los finos en el extracto.
- M_2 = Masa del asfalto y de los finos en el extracto.
- V_1 = Volumen del asfalto y de los finos en el extracto.
- G_2 = Peso específico de los finos.
- G_3 = Peso específico de asfaltos.

$$K = \frac{G_2}{G_2 - G_3}$$

METODO B

- 6.18 Adicionalmente a los aparatos listados en el numeral 4, para el método B se necesitan lo siguiente:
 - 6.18.1 Aparato de extracción. Similar al que se muestra en la Figura 2.
 - 6.18.2 Jarra de vidrio. Cilíndrica, ordinaria, hecha de vidrio resistente al calor. La jarra deberá estar libre de grietas, rayas u otra evidencia de imperfecciones, que puedan causar su rompimiento durante el calentamiento.
 - 6.18.3 Marcos cilíndricos de metal, uno o dos. El marco inferior deberá tener patas de suficiente longitud para soportarlo, incluyendo el ápice del cono metálico y el alineador del cono de papel por encima del nivel del solvente. Cuando se emplean dos marcos, el superior deberá tener patas de suficiente longitud para sostener el cono de metal y el alineador del cono de papel, en o por encima del rebosadero superior del marco inferior. Las patas del marco superior deberán ajustar firmemente en el borde superior del marco inferior. Deberá proveerse un asidero semicircular sobre la parte interior del rebosadero superior de cada marco, para el conveniente manipuleo. El metal empleado en la fabricación de los marcos deberá ser esencialmente no reactivo a los solventes empleados en el ensayo.
 - 6.18.4 Condensador. Fabricado con una superficie condensadora semiesférica truncada y una parte superior cónica truncada. Otras formas geométricas adecuadas pueden utilizarse igualmente, con tal de que cumplan las funciones propuestas para la condensación y flujo. El material empleado para fabricar el condensador deberá ser esencialmente no reactivo al agua y al solvente utilizado, y deberá proporcionarse con la adecuada admisión y desagüe para el agua.
 - 6.18.5 Filtro de papel de grado mediano, de filtrado rápido. El diámetro del papel deberá ser tal que cuando se doble de acuerdo con las direcciones dadas abajo, deberá alinear completamente los conos de metal en las marcas.
 - 6.18.6 Almohadilla protectora. De distribución térmica, aproximadamente de 3 milímetros de espesor para emplear como aislamiento entre el vaso de vidrio y las pacas calientes.
 - 6.18.7 Plancha eléctrica de calentamiento. Controlada termostáticamente, de dimensiones suficientes y capacidad de calor que permita el reflujo del solvente como se describe más adelante.

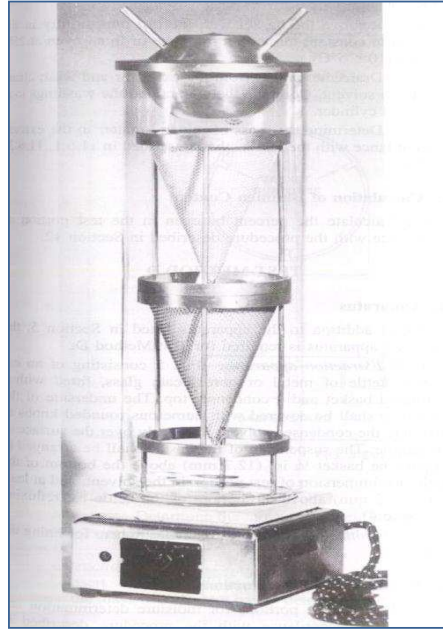


Figura 2. Equipo extractor (método de ensayo B)

PREPARACION DE LA PORCION DE ENSAYO

- 6.19 Prepárese una porción de ensayo para la determinación de humedad y extracción de acuerdo con el procedimiento descrito en el numeral.

PROCEDIMIENTO DEL METODO B

- 6.20 Humedad. Determínese la humedad de la mezcla, de acuerdo con el método descrito en el numeral 5.3.

- 6.21 Extracción. Séquese y determínese el peso de una hoja de papel de filtro para cada marco se vaya a emplear. Dóblese cada papel por su diámetro, sobre los extremos y extiéndase abierto para que forme un tamaño apropiado que encaje dentro de los conos metálicos.

Determínese el peso de cada marco con su filtro alineador de papel con aproximación de 0,5 g Regístrese el peso e identifíquese cada marco mediante un número.

- 6.22 Colóquese la porción de ensayo en el marco o marcos. Si se van a usar dos marcos, distribúyase la porción de ensayo aproximadamente por igual entre los dos. La parte superior de la porción de ensayo debe estar por debajo del borde superior del alineador de papel. Determínese el peso de cada marco cargado, separadamente y con aproximación de 0,5 g. Anótese de nuevo el peso.

- 6.23 Empléese uno de los solventes (véase Nota 6) especificados. Viértase el solvente dentro del cilindro de vidrio y colóquese el fondo del marco dentro de éste. El nivel del solvente debe estar por debajo del ápice del cono en el marco inferior. Si se emplean dos marcos, colóquese el superior sobre el inferior, ajustando sus patas dentro de los huecos en el borde superior del marco inferior.

Nota 6. Puede verterse suficiente alcohol etílico desnaturalizado sobre la porción o porciones de ensayo para humedecer el filtro de papel.

- 6.24 Colóquese la almohadilla térmica aislante si fuere necesario sobre la placa de calentamiento y luego el cilindro sobre la almohadilla. Cúbrase el condensador. Hágase circular una corriente suave y uniforme de agua fría a través del condensador. Ajustese la temperatura de la placa de calentamiento de tal manera que el solvente condensado fluya dentro del cono. Si fuere necesario, ajústese la temperatura de la placa de calentamiento para mantener la corriente

del solvente a la rata necesaria para mantener las porciones de ensayo en el cono o en los conos completamente cubiertas con el solvente condensado.

- 6.25 Téngase cuidado de no permitir que el solvente condensado rebose el filtro del cono o de los conos. Continúese el reflujo hasta que el flujo de solvente del cono inferior sea de color ligeramente pajizo (cuando se vea contra un fondo blanco). En este punto, desconéctese la placa de calentamiento y déjese enfriar el aparato lo suficiente para poderlo coger con la mano, quítese el condensador y remuévase del cilindro.
- 6.26 Remuévase el conjunto del marco del cilindro. Déjese secar en el aire (cubierto) y séquese hasta peso constante en el horno a 110 ± 5 °C (véase Nota 6).
- 6.27 Determínese la materia mineral en la solución de extracción mediante uno de los procedimientos dados los métodos de recuperación.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 cálculos del método A

- 7.1.2 Calcule el porcentaje de bitumen en la porción de ensayo como sigue:

$$\text{Contenido de bitumen \%} = \left[\frac{(W_1 - W_2) - (W_3 + W_4)}{W_1 - W_2} \right] \times 100$$

Donde:

- W_1 = Peso de la porción de ensayo.
 W_2 = Peso de agua en la porción de ensayo.
 W_3 = Peso del agregado mineral extraído.
 W_4 = Peso de materia mineral en lo extraído.

Nota 7. Cuando no se utilice anillos de ceniza, adicionar el incremento en el peso del anillo de fieltro a W_4 .

7.1.3 Cálculos del método B.

- 7.1.4 Calcule el porcentaje de bitumen como en el numeral 7.1.2.

7.2 INFORME

- 7.2.1 Informar como resultado de ensayo el coeficiente de uniformidad obtenido del valor medio de dos o más series de ensayos, determinada con aproximación a la décima.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 Mezclas con agregados capaces de con capacidad de absorción menos de 1,25% (nota 8).

Prueba y tipo de índice	Desviación estándar	Rangos aceptables de resultados de dos ensayos
Método A	0,21	0,59
Método B (reflux)	0,19	0,54

- 8.1.2 Mezclas con agregados capaces de con capacidad de absorción menos de 2,5%.

Prueba y tipo de índice	Desviación estándar	Rangos aceptables de resultados de dos ensayos
Precisión de un mismo operador Método A	0,30	0,85
Método B (reflux)	0,19	0,54



Nota 8. Esta declaración de precisión está basada en un análisis de la AMRL (AASHTO Materiales de referencia de Laboratorio) que desde 1974 a 1985, fue considerado con cementos asfálticos de mezclas con agregado de tamaño máximo $\frac{3}{4}$ " y con mezclas que tiene absorción menor a 1,25%.

8.2 DISPERSION

8.2.1 No existe información al respecto para este método.



ANEXOS

- A.1 Procedimiento del método A alternativo. En el procedimiento de los numerales 6.5 a 6.10 colóquese la porción de ensayo en una taza que haya sido previamente secada hasta un peso constante con el anillo filtrante.

Más adelante, en lugar de remover el anillo filtrante de la taza y secarlo al aire, séquese la taza con el anillo filtrante hasta peso constante en una lámpara infrarroja o en un horno a 110 ± 5 °C.

- A.2 Procedimiento alterno para el método A (volumétrico). En vez de usar un baño de temperatura controlada como se prescribe en 6.16 y 6.17, médase la temperatura del extracto y háganse las correcciones necesarias al volumen del frasco y al peso unitario del asfalto y del solvente.

MTC E 503

ANÁLISIS MECÁNICO DE LOS AGREGADOS EXTRAÍDOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la granulometría de los agregados gruesos y finos recuperados de las mezclas asfálticas, empleando tamices con malla de abertura cuadrada.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método es usado para determinar la gradación de los agregados extraídos de la mezcla asfáltica. Los resultados son usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas de acuerdo con los requerimientos de la especificación y proveer los datos necesarios para el control de producción de los diferentes agregados usados en mezcla asfáltica.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 AASHTO T 30: "Mechanical Analysis of Extracted Aggregate".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.2 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza, que tendrá capacidad suficiente, para leer a 0,1 por ciento del peso de la muestra.
- 4.1.2 Tamices. Los tamices empleados serán de mallas con aberturas cuadradas e irán montados sobre bastidores adecuados para evitar pérdidas de material durante el tamizado.

5.0 MUESTRA

- 5.1 La muestra empleada será la totalidad del agregado de la mezcla asfáltica obtenida según la norma MTC E 502.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Los agregados se secan en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta peso constante (variación de peso inferior al 0,1%; regístrese este peso). El peso total de los agregados en la mezcla asfáltica ensayados es la suma del peso de los agregados secos y el material mineral contenida en el asfalto extraído. Este último será tomado como la suma del peso de ceniza en el extracto y el aumento en el peso del filtro.
- 6.2. A continuación, se colocan en un recipiente apropiado y se cubren completamente con agua o solvente. Cuando se use agua, se le añadirá una pequeña cantidad de un agente humectante orgánico (metanol, abones líquidos, etc.) para facilitar el mojado de los agregados y asegurar una buena separación de las partículas finas
- Se agita vigorosamente el contenido del recipiente y se vierte el líquido sobre el conjunto formado por un tamiz superior de 1,00 ó 2,00 mm (Nº18 o Nº10) y el tamiz de 75 μ m (Nº 200).
- 6.3 Se agita vigorosamente el contenido del recipiente y se vierte el líquido sobre el conjunto formado por un tamiz superior de 1,00 ó 2,00 mm (Nº 18 o Nº 10) y el tamiz de 75 μ m (Nº 200). La agitación debe ser vigorosa para lograr una separación de la fracción fina (75 μ m) y conseguir que la suspensión se mantenga mientras se realiza el proceso de vertimiento. Durante esta operación se procurará evitar, en lo posible, la transferencia de material grueso en los tamices. Esta operación deberá repetirse las veces necesarias hasta que el líquido de lavado salga limpio.
- 6.4 Todo el material retenido sobre el conjunto formado por los dos tamices se pasa de nuevo al recipiente de los agregados, el cual se secará en el horno a 110 ± 5 °C y se pesará finalmente con una aproximación de 0,1%.

6.5 A continuación se tamiza sobre una serie de tamices escogidos de acuerdo con las especificaciones de la mezcla empleada, incluyendo el tamiz de 75 μm (Nº 200).

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Para determinar la cantidad de filler que contiene la muestra, se sumarán a la fracción obtenida por tamizado el material separado por lavado, el aumento de masa del papel de filtro o vaso de centrífuga (según el método de extracción) y finalmente la materia mineral o cenizas, obtenida por calcinación a partir de la disolución.

7.1.2 Si se desea comprobar el material eliminado por lavado, se pueden evaporar a sequedad los líquidos de lavado o filtrar a través del papel de filtro tarado, secando y pesando a continuación.

7.1.3 Las cantidades de las distintas fracciones retenidas en cada tamiz, así como la cantidad tamizada por el de 75 μm (Nº 200), se convierten en los respectivos porcentajes dividiéndoles entre el peso total, de agregados.

7.1.4 Este peso total está constituido por la masa seca de los agregados antes de tamizar, más el peso total del filler.

7.2 INFORME

7.2.1 Los resultados del análisis granulométrico pueden expresarse de distintas formas, según los valores indicados en las correspondientes especificaciones:

- En porcentaje, que pasa sobre la muestra total por cada uno de los tamices.
- En porcentaje retenido sobre muestra total en cada uno de los tamices.
- En porcentaje retenido entre cada dos tamices consecutivos.

Estos porcentajes se expresarán redondeando al número entero más próximo, excepto para el tamiz de 75 μm (Nº 200) que se expresará con una aproximación del 0,1%. Informar como resultado de ensayo el coeficiente de uniformidad obtenido del valor medio de dos o más series de ensayos, determinada con aproximación a la décima.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 Los estimados de precisión para este método están en el listado en la tabla siguiente. Los estimados están basados en resultados de materiales de referencia en el programa de laboratorios con habilidad, ensayados por T 30. Los datos están basados en los análisis de los resultados de ensayo de 47 a 90 laboratorios que ensayaron 17 pares de muestras. Los valores en la tabla son dados para diferentes rangos del porcentaje total del agregado pasante cada tamiz.

	Porcentaje total de material pasante de malla		Desviación estándar (1S) %	Rango aceptable de 2 resultados (D2S) %
Agregado extraído Precisión Un solo operador	< 100	≥ 95	0,49	1,4
	< 95	≥ 40	1,06	3
	< 40	≥ 25	0,65	1,8
	< 25	≥ 10	0,46	1,3
	< 10	≥ 5	0,29	0,8
	< 5	≥ 2	0,21	0,6
	< 2	≥ 0	0,17	0,5
Precisión Multilaboratorio	< 100	≥ 95	0,57	1,6
	< 95	≥ 40	1,24	3,5
	< 40	≥ 25	0,84	2,4



	Porcentaje total de material pasante de malla		Desviación estándar (1S) %	Rango aceptable de 2 resultados (D2S) %
	< 25	≥ 10	0,81	2,3
	< 10	≥ 5	0,56	1,6
	< 5	≥ 2	0,43	1,2
	< 2	≥ 0	0,32	0,9

MTC E 504

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar a partir de la preparación y compactación de especímenes de mezcla bituminosa para pavimentación, de altura nominal de 64 mm y 102 mm de diámetro, el diseño de una mezcla asfáltica y calcular sus diferentes parámetros de comportamiento, por medio del método manual Marshall.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este modo operativo está destinado para su empleo con mezclas densas bituminosas de laboratorio y aquellas producidas en planta, con agregados hasta de 25 mm de tamaño máximo y para recompactación de muestras de pavimentos asfálticos.

- 2.2 Los especímenes de mezclas bituminosas compactadas, moldeadas por este procedimiento son empleados para varios ensayos físicos tales como estabilidad, flujo, resistencia a tracción indirecta y módulos. El análisis de densidad y vacíos también es conducido sobre especímenes para diseño de mezcla y evaluación de la compactación en campo.

Nota 1. Las mezclas no compactadas son empleadas para la determinación del peso específico teórico máximo.

- 2.3 Los valores de estabilidad Marshall y flujo junto con la densidad, vacíos de aire de la mezcla total, vacíos en el agregado mineral ó simplemente vacíos ó ambos, llenados con asfalto; son empleados para el diseño de mezclas en laboratorio así como para la evaluación de mezclas asfálticas. Así también la estabilidad y flujo Marshall pueden ser empleados para monitorear los procesos de producción de mezclas bituminosas en planta. También pueden ser empleados como referencia para evaluar diferentes mezclas y los efectos de acondicionamientos tales como con agua.

- 2.4 La estabilidad y flujo Marshall son características de las mezclas bituminosas determinadas a partir de especímenes compactados de una geometría específica y en una manera prescrita. La estabilidad Marshall es la máxima resistencia a la deformación a una razón constante de carga. La magnitud de la estabilidad Marshall varía con el tipo y gradación del agregado y grado del bitumen empleado así como su cantidad. Varias agencias establecen criterios para los valores de la estabilidad Marshall. El flujo Marshall es una medida de la deformación de las mezclas bituminosas determinado durante el ensayo de estabilidad. No existe un valor ideal pero hay límites aceptables. Si el flujo en el contenido óptimo de asfalto sobrepasa el límite superior, la mezcla se considera demasiado plástica ó inestable, y si está bajo el límite inferior esta se considera demasiado rígida.

- 2.5 Para propósitos de diseño de mezcla los resultados de los ensayos de estabilidad y flujo deberán consistir del promedio de un mínimo de 03 especímenes por cada incremento de contenido de ligante, donde el contenido de ligante varía en incrementos de 0,5% sobre un rango de contenido de ligante. El rango de contenido de ligante generalmente es seleccionado en base a la experiencia y datos históricos de los materiales componentes, pero puede incluir también juicio y error para incluir el rango deseable de las propiedades de la mezcla. Las mezclas densas generalmente mostrarán un pico en la estabilidad a un determinado contenido de ligante. Este pico en el contenido de ligante puede ser promediado con otros contenidos de ligante tal como el contenido de ligante en el contenido de la máxima densidad de la curva ligante-densidad y el contenido de ligante en los vacíos de aire deseados y vacíos llenados.

- 2.6 La estabilidad y flujo Marshall efectuados en laboratorio de campo, obtenida de especímenes hechos de mezclas producidas en planta pueden variar significativamente de los valores de diseño obtenidos en el laboratorio debido a las diferencias del mezclado que hay entre una

planta y la efectuada en laboratorio. Esto también incluye la eficiencia en el mezclado y el envejecimiento producido.

- 2.7 Las diferencias significativas en la estabilidad y flujo Marshall de un grupo de ensayos a otro ó de un valor promedio de un grupo numerosos de datos ó especímenes preparados de una mezcla producida en planta puede indicar pobre mezclado, técnicas incorrectas de ensayo, cambio de gradación, cambio del contenido de ligante, ó mal funcionamiento del proceso de planta. La fuente de la variación deberá ser averiguada y el problema resuelto.
- 2.8 Los especímenes a menudo serán preparados empleando el método indicado aquí, pero pueden ser preparados empleando otros tipos de procedimientos de compactación. Otros tipos de compactación pueden hacer variar las características de resistencia en comparación con los preparados por el método Marshall.
- 2.9 Los valores de estabilidad y flujo Marshall pueden ser determinados también empleando núcleos provenientes de un pavimento para información y evaluación. Sin embargo estos resultados no pueden ser comparados con resultados de especímenes preparados en laboratorio y no deberán ser empleados para propósitos de especificación ó aceptación.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM-D6926: "Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatus".
- 3.2 ATM D 6927: "Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS PARA LA PREPARACIÓN DE LOS ESPECIMENES

- 4.1.1 Molde ensamblado para Especímenes, moldes cilíndricos, placas de base y collarines de extensión cumplirán con los detalles mostrados en la Figura 1.
- 4.1.2 Extractor de Especímenes, Tendrá un disco de acero que encajará en el molde sin doblarse y no será menor de 100 mm de diámetro y 12,5 mm de espesor. El disco de acero es empleado para extraer los especímenes compactados de los moldes con el uso del collar del molde. Cualquier dispositivo adecuado de extracción tal como una gata hidráulica puede ser empleado, de tal manera que el espécimen no se deforme durante el proceso de extracción.

4.1.3 Martillos de Compactación:

- 4.1.3.1 Martillos de Compactación con manubrio sostenido manualmente (tipo I) ó manubrio fijo (Tipo 2), ya sea operado mecánicamente ó a mano como se muestra en la Figura 2, tendrá un pie de compactación plano con un tornillo y una masa deslizante de $4,54 \pm 0,01$ kg con caída libre de $457,2 \pm 1,5$ mm (ver la Figura 2 para tolerancias en los martillos). Un martillo mecánico se muestra en la Figura 2.

Nota 2. Los martillos manuales de compactación deberán ser equipados con una protección de seguridad para los dedos.

- 4.1.3.2 Martillo de Compactación con Manubrio Fijo, con sobrecarga en la parte superior del manubrio, base de rotación constante y operado mecánicamente (Tipo 3), deberá tener la cara circular de apisonado y un peso deslizante de $4,54 \pm 0,01$ kg con una caída libre de $457,2 \pm 1,5$ mm. Posee un mecanismo de rotación en la base. La velocidad de rotación de la base y la razón de golpes será de 18 a 30 rpm y 64 ± 4 golpes por minuto respectivamente.

Nota 3. El aparato para martillo Marshall tipo 3 está disponible en versiones con más de un martillo. La operación múltiple de varios martillos afectará la densidad de un espécimen. Mejores resultados comparativos se obtendrán compactando todos los especímenes con el mismo martillo y sin la operación de ningún otro.

- 4.1.3.3 Pedestal de Compactación, Consistirá de un poste de madera de 203,2 por 203,2 mm, aproximadamente de 457 mm de largo cubierto con una placa de acero aproximadamente de 304,8 mm por 304,8 mm y 25,4 mm de grosor. Este podrá ser de roble, pino amarillo u otra madera que tenga un promedio de densidad de 670 a 770 kg/m³. El poste de madera estará asegurado por pernos a través de 4 ángulos a un bloque de concreto. La placa de acero deberá estar firmemente fijada al poste. El pedestal ensamblado será instalado de tal manera que el poste esté a plomo y la placa nivelada.
- 4.1.3.4 Sostén de Molde para Espécimen, En compactadores de martillo simple, el sostén estará montado sobre el pedestal de compactación de tal manera que el molde de compactación quede centrado con el pedestal de compactación. Los sostenedores de moldes de compactadores multimartillos necesariamente no estarán centrados. Los sostenedores mantendrán el molde de compactación, el collar y la placa de base asegurados y en posición durante la compactación del espécimen.
- 4.1.3.5 Hornos, cacerolas para calentado ó placas calentadoras, Los hornos serán de aire circulante ó termostáticamente controlados, las cacerolas de calentamiento y las placas calentadoras serán proveídos para calentar los agregados, el material bituminoso, los moldes de especímenes, martillos de compactación y otros equipos a 3°C de las temperaturas requeridas para el mezclado y la compactación. Protecciones adecuadas ó baños de arena se emplearán sobre la superficie de las placas calentadoras para minimizar el sobrecalentamiento local.
- 4.1.4 Equipo Misceláneo
- 4.1.4.1 Aparatos de Mezclado, Se recomienda el mezclado mecánico. Cualquier tipo de mezclador mecánico puede ser empleado siempre y cuando la mezcla se mantenga a la temperatura de mezclado requerida y se produzca una mezcla homogénea y bien cubierta en la cantidad requerida y en un tiempo pertinente, así también que permita que toda la mezcla sea recuperada. Una bandeja de metal ó bolo de suficiente capacidad para el mezclado a mano puede ser empleado.
- 4.1.4.2 Contenedores para Calentamiento de Agregados, Bandejas de metal de fondo plano, ú otros adecuados.
- 4.1.4.3 Contenedores cubiertos para calentar material bituminoso, ya sean latas tipo gill, vasos, potes de vaciado ú otras bandejas podrán ser empleadas.
- 4.1.4.4 Herramientas de mezclado, consistirán de cucharones de acero (cucharón de punta Mason con la punta redondeada), cucharas ó espátulas para batido y mezclado a mano.
- 4.1.4.5 Termómetros calibrados, Para determinar temperaturas de agregados, bitumen y mezclas bituminosas. Termómetros del tipo de vidrio ó de dial con armazones de metal se recomiendan. Se requieren en un rango de 10 a 200 °C con sensibilidad de 3°C.
- 4.1.4.6 Balanza, con aproximación al menos de 0,1 g para las bachadas de mezcla.
- 4.1.4.7 Guantes, para maniobrar el equipo caliente.
- 4.1.4.8 Crayones de marcado, para identificar los especímenes.
- 4.1.4.9 Cucharón de base plana para bache los agregados.
- 4.1.4.10 Cuchara larga para colocar la mezcla en el molde de especímenes.
- 4.2 EQUIPOS PARA EL ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO
- 4.2.1 Cabezal de Ruptura (ver Figura 3)
- 4.2.2 Máquina de Carga a Compresión (ver Figura 4).
- 4.2.3 Dispositivo de Medida de Carga (anillo dinamómetro de 22 240 N (5000 lbf)).
- 4.2.4 Medidor de Flujo.

- 4.2.5 Baño de Agua (precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$).
- 4.2.6 Horno, capaz de mantener la temperatura especificado $\pm 1^\circ\text{C}$.
- 4.2.7 Baño de Aire, para el caso de mezclas con asfaltos líquidos deberá ser automáticamente controlado y mantendrá la temperatura del aire a $25 \pm 1^\circ\text{C}$.
- 4.2.8 Termómetros, con precisión de $0,2^\circ\text{C}$.

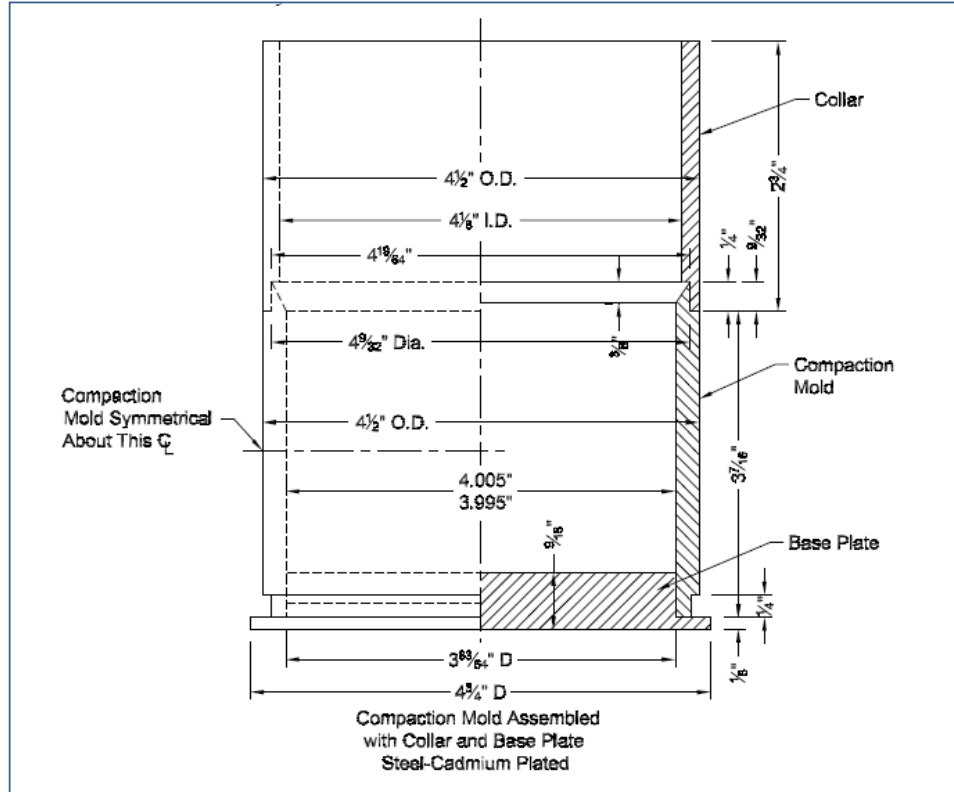


Figura 1. Molde de Compactación

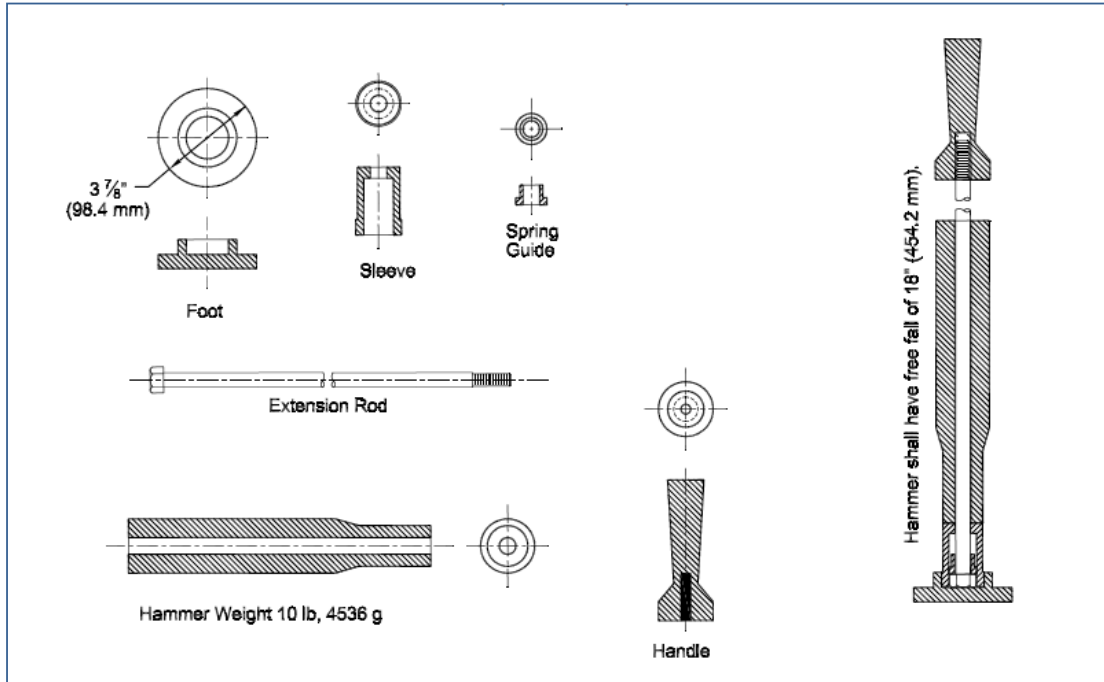


Figura 2. Martillo de Compactación

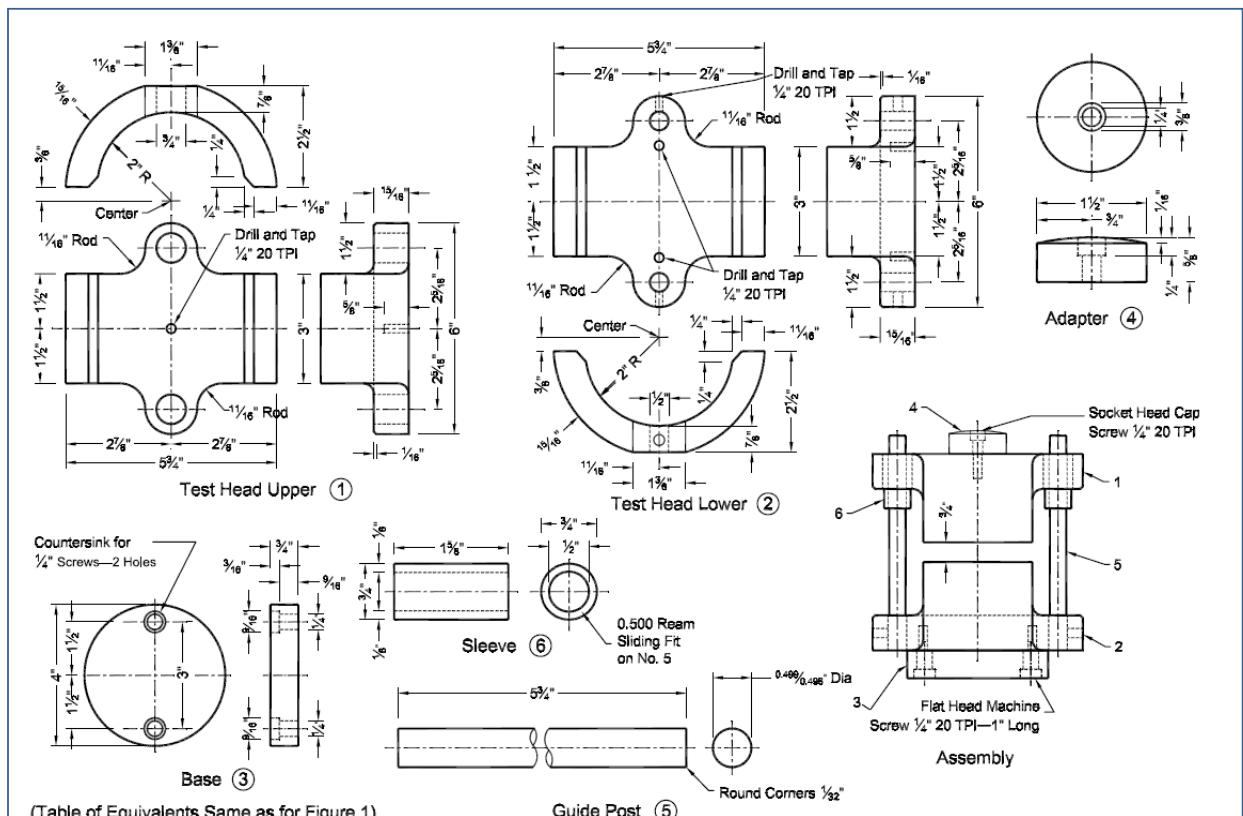


Figura 3. Cabezal de Rotura

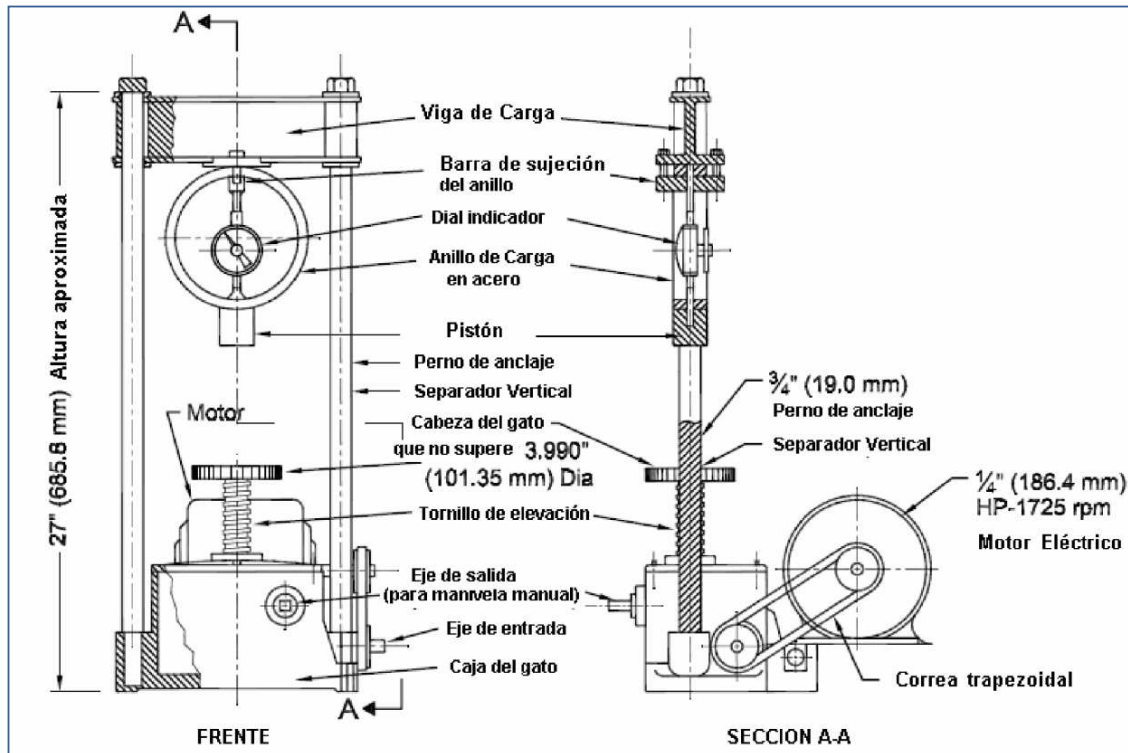


Figura 4. Máquina de Carga a Compresión

5.0 MUESTRA

5.1 No existe información al respecto para este método.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Especímenes de Ensayo

6.1.1 Preparación de Agregados, Secar los agregados a peso constante. El secado en horno será hecho de 105 °C a 110 °C. Después del secado, separa los agregados por tamizado en seco en las fracciones deseadas. Las fracciones mínimas siguientes son las recomendadas:

- 25 a 19 mm (1 a ¾ pulg)
- 19 a 12,5 mm (¾ a ½ pulg)
- 12,5 a 9,5 mm (½ a 3/8 pulg)
- 9,5 a 4,75 mm (3/8 a N°4)
- 4,75 a 2,36 mm (N°4 a N°8)
- 2,36 mm (pasante la N°8)

6.1.2 Determinación de temperaturas de mezcla y compactación:

6.1.2.1 El cemento asfáltico empleado en preparar las muestras será calentado para producir viscosidades de $0,17 \pm 0,02$ Pa.s y $0,28 \pm 0,03$ Pa.s para mezclado y compactado respectivamente. Un ejemplo de una carta viscosidad temperatura se da en la Figura 2 de D 2493.

Nota 4. La selección de las temperaturas de compactación y mezclado a viscosidades de $0,17 \pm 0,02$ Pa.s y $0,28 \pm 0,03$ Pa.s, respectivamente no aplican a asfaltos modificados. El usuario contactará con el productor para establecer los rangos apropiados de temperaturas de compactación y mezclado.

- 6.1.2.2 Mezclas con Asfaltos Cut back, La temperatura a la cual un asfalto cut back será calentado para producir una viscosidad de 0,17 a 0,02 Pa.s será la temperatura de mezcla. La temperatura de compactación para mezcla de asfalto cut back se selecciona empleando una carta viscosidad versus porcentaje de solvente para asfaltos cut back. De la carta compuesta determine el porcentaje de solvente del asfalto cut back por peso a partir de su viscosidad a 60°C después que este haya perdido el 50% de su solvente (para asfaltos de curado medio y rápido) ó 20% de su solvente (para asfaltos de curado lento). La temperatura de compactación se determina de la carta viscosidad temperatura como aquella a la cual el asfalto cut back debe ser calentado para producir una viscosidad de 0,28 ± 0,03 Pa.s después de la pérdida de la cantidad especificada de solvente original.
- 6.1.2.3 Mezclas de Pavimentación Recompactadas, Los materiales obtenidos de un pavimento existente serán calentados en recipientes cubiertos en horno a 3°C de la temperatura de compactación deseada. El calentamiento durará lo suficiente como para obtener la temperatura deseada. Si la temperatura de compactación para una mezcla específica no se conoce, la experiencia ha mostrado que estas mezclas serán compactadas una temperatura entre 120 °C a 135 °C. Durante la preparación para el calentamiento a temperatura de compactación el material será calentado y trabajado hasta una condición de mezcla suelta. Cualquier agregado roto podrá ser removido. La estabilidad de mezclas recalentadas y recompactadas de pavimentos existentes es común que sea más alta que la original debido al endurecimiento del asfalto en servicio. El proceso de recalentamiento solo tendrá una menor influencia en el endurecimiento del asfalto.
- 6.1.3 Preparación de la Mezcla
- 6.1.3.1 Los especímenes podrán ser preparados de bachadas solas ó de bachadas múltiples que contengan suficiente material para tres ó cuatro especímenes.
- 6.1.3.2 Pesar en contenedores separados la cantidad de cada fracción de agregado requerida para producir una bachada que resultará en una, dos, tres o cuatro especímenes compactados de 63,5 ± 2,5 mm de altura (cerca de 1200, 2400, 3600 ó 4800 g respectivamente). Colocar los agregados de las bachadas en contenedores sobre una placa de calentamiento ó en horno y calentar a temperatura por encima de, pero sin exceder la temperatura de mezcla establecida en 6.1.2 por más de 28 °C para mezclas con cemento asfáltico y brea y 14 °C para mezclas con asfaltos cut back. Cargar el contenedor de la mezcla con el agregado caliente y mezclar en seco con cuchara (por 5 s, aprox.) con cuchara ó pala. Formar un cráter en el agregado mezclado seco y pese la cantidad requerida de material bituminoso a la temperatura de mezcla dentro de la mezcla. Para mezclas preparadas con asfaltos cut back introducir la espátula en el bowl de mezclado y determinar el peso total de los componentes de la mezcla más el bowl y la espátula antes de proceder con el mezclado. Se debe ejercer cuidado para prevenir la pérdida de la mezcla durante el mezclado y el subsecuente manipuleo. En este punto la temperatura de la mezcla deberá estar entre los límites de aquella determinada en 6.1.2. Mezclar los agregados y el material bituminoso rápidamente hasta que estén cubiertos totalmente por 60 s para bachadas simples y por 120 s para bachadas para especímenes múltiples.
- 6.1.3.3 Acondicionar las bachadas simples en contenedores de metal cubiertos en horno a 8 °C a 11 °C por encima de la temperatura de compactación establecida en 6.1.2 para un mínimo de 1 h y máximo de 2 h.
- 6.1.3.4 Para muestras de múltiples bachadas, colocar la bachada total en una superficie limpia no absorbente. Mezcle a mano para asegurar uniformidad y cuartear a un tamaño de muestra para conformar el espécimen de altura requerida. Para cementos asfálticos y alquitrán poner las muestras en contenedores de metal cubiertos y en un horno ventilado a la temperatura establecida en 6.1.3.2 para acondicionarlos por espacio mínimo de 1 h y máximo de 2 h. Curar la mezcla de asfalto cut back en el bowl de mezclado en un horno ventilado mantenido aproximadamente a 11 °C por encima de la temperatura de compactación. El curado debe ser continuado en el bowl de mezclado hasta una pérdida

precalculada de 50% en peso del solvente. La mezcla puede ser batida en el bowl de mezclador durante el curado para acelerar la pérdida de solvente. Sin embargo se debe tener cuidado para prevenir la pérdida de mezcla. Pesar la mezcla durante el curado a intervalos consecutivos de 15 min inicialmente y menos de 10 min conforme se aproxima al peso de la mezcla con el 50% de pérdida de solvente.

- 6.1.3.5 Otros materiales bituminosos ó producidos en planta pueden requerir técnicas especiales de curado.

Nota 5. Calentar las mezclas por un período de tiempo antes de la compactación puede resultar en especímenes que tengan propiedades diferentes de aquellos que son compactados inmediatamente después de su mezclado (el criterio Marshall Original está basado en un procedimiento sin curado).

- 6.1.4 Compactación de los Especímenes:

- 6.1.4.1 Limpiar completamente el molde ensamblado y la cara del martillo de compactación y calentarlos ambos en agua hirviendo en horno ó en una placa calentadora a temperatura entre 90 y 150 °C. Colocar un pedazo de papel no absorbente cortado del tamaño de la base del molde antes de introducir la mezcla. Colocar la mezcla en el molde, chusear vigorosamente la mezcla con una espátula calentada 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior. Colocar otra pieza de papel no absorbente para que encaje en la parte superior de la mezcla. La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación deberá estar entre los límites de las temperaturas de compactación establecida en 6.1.2.

- 6.1.4.2 Colocar el molde ensamblado en el pedestal de compactación con el sujetador y aplicar el número requerido de golpes con el martillo especificado de compactación. Remover la placa de base y el collar y voltear y reensamble el molde. Aplicar el mismo número de golpes de compactación en la cara reversa del espécimen. Después de la compactación, remover el collar y la placa de base. Permitir que el espécimen se enfríe lo suficiente para prevenir algún daño y extraer el espécimen de su molde. El enfriar los especímenes en el molde puede ser facilitado por su inmersión en agua fría. Para facilitar la extracción, el molde y el espécimen pueden ser brevemente sumergido en agua en un baño de agua caliente para calentar el molde de metal y reducir la distorsión del espécimen. Cuidadosamente transfiera el espécimen a una superficie suave y plana y permita que se enfríen a temperatura de sala (puede ser toda la noche). Se puede emplear también un ventilador para facilitar el enfriado.

- 6.1.4.3 Cuando se lleva a cabo la compactación con el martillo operado manualmente, coger el eje del martillo con la mano tan cerca de la perpendicular de la base del molde ensamblado como sea posible. En este procedimiento original Marshall ningún aparato mecánico de cualquier tipo debe ser empleado para restringir el manubrio del martillo en posición vertical durante la compactación.

Nota 6. El vástago del martillo debe ser limpiado y aceitado ligeramente.

- 6.1.5 Ensayo de Estabilidad y Flujo.

- 6.1.5.1 Se ensayarán un mínimo de 03 especímenes que tendrán el mismo tipo de agregado, calidad y gradación, el mismo tipo y cantidad de filler, y la misma fuente de ligante, grado y cantidad. Además tendrán la misma preparación: temperatura, compactación y enfriamiento.

- 6.1.5.2 Los especímenes deberán enfriarse a temperatura ambiente después de la compactación. Durante el enfriamiento serán colocados sobre una superficie suave y plana. Se determinará el peso específico bulk de cada espécimen por el método D2726. Los pesos específicos bulk de los especímenes para cada contenido de ligante estarán dentro de $\pm 0,020$ del promedio tal como se indica en D 6926.

- 6.1.5.3 Medir el espesor de los especímenes de acuerdo a MTC E 507.

- 6.1.5.4 Los especímenes podrán acondicionarse para su ensayo tan pronto alcancen la temperatura ambiente. Los ensayos se completarán dentro de las 24 h de haberse compactado los especímenes. Llevar los especímenes a la temperatura especificada por inmersión en agua de 30 a 40 min. Ó colocarlos en horno de 120 a 130 min.
- 6.1.5.5 Mantener el baño u horno a 60 ± 1 °C para cemento asfáltico, 49 ± 1 °C para alquitrán con caucho y 38 ± 1 °C para alquitrán.
- 6.1.5.6 Llevar los especímenes preparados con asfalto líquido a temperatura colocándolos en el baño de aire por 120 a 130 min. Mantener el baño de aire a 25 ± 1 °C.
- 6.1.5.7 Limpiar completamente las líneas guías y el interior de las superficies del cabezal antes de ejecutar el ensayo. Lubricar las líneas guías de tal manera que el segmento superior del cabezal se deslice libremente sobre ellas. El cabezal deberá estar a temperatura de 20 a 40 °C. Si se emplea el baño de agua, limpiar el exceso de agua del interior de los segmentos del cabezal.
- 6.1.5.8 Remover un espécimen del agua, horno ó baño de aire (en caso del baño de agua remover el exceso con una toalla) y colocarlo en el segmento inferior del cabezal. Colocar el segmento superior sobre el espécimen y colocar el conjunto completo en la máquina de carga. Si se usa, colocar el flujómetro en posición sobre una de las líneas guías y ajustarlo acero mientras se sostiene firmemente contra el segmento superior del cabezal mientras el ensayo se está ejecutando.
- 6.1.5.9 El tiempo desde la remoción del espécimen del baño a la determinación de la carga máxima no debe exceder los 30 segundos. Aplicar la carga al espécimen por medio de una razón constante de 50 mm/min. Hasta que la carga decrezca según lo indique el dial de carga. Registrar la máxima carga indicada en la máquina de carga ó convertirla de la lectura máxima del dial micrómetro como estabilidad Marshall. Liberar el flujómetro ó anotar la lectura del dial micrómetro en el instante en que la máxima carga empieza a decrecer. El valor del flujo normalmente se da en unidades de 0,25 mm. Este procedimiento pueda que requiera de dos personas para conducir el ensayo y registrar los datos.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Los especímenes moldeados en laboratorio deberán satisfacer los requerimientos de espesor de $63,5 \pm 2,5$ mm. Los especímenes dentro de la tolerancia de espesor pueden ser corregidos basados en el volumen del espécimen. Las estabilidades determinadas en núcleos extraídos de campo con amplios rangos de variación de espesor también serán corregidas. Sin embargo los resultados con correcciones mayores deberán ser empleados con precaución. Ver la tabla 1 para los factores de corrección. La razón de correlación es empleada de la siguiente manera:

$$A = B \times C$$

Donde:

- A = Estabilidad corregida.
- B = Medida de la estabilidad (carga).
- C = Razón de correlación de la tabla 1.

7.2 INFORME

- 7.2.1 Identificación de la muestra (número, si es mezcla de laboratorio ó de planta ó núcleo del pavimento).
- 7.2.2 Tipo de material bituminoso, fuente y grado.
- 7.2.3 Tipos de agregado, fuente y gradación.
- 7.2.4 Tipo y tiempo de curado antes de la compactación.

- 7.2.5 Tipo de martillo (sostenido manualmente, ó fijo, mecánicamente ó manualmente operado, pie de martillo plano ó sesgado).
- 7.2.6 Número de golpes por lado.
- 7.2.7 Temperatura de mezclado.
- 7.2.8 Temperatura de Compactación.
- 7.2.9 Tipo y tiempo de curado.
- 7.2.10 Peso específico bulk individual y promedio.
- 7.2.11 Altura de cada espécimen de prueba en milímetros aproximación de 0,25 mm.
- 7.2.12 Valores individuales y promedio de la estabilidad Marshall (corregidos y sin corregir, si se requiere) aproximación de 50 N.
- 7.2.13 Valores individuales y promedio del flujo Marshall en unidades de 0,25 mm.
- 7.2.14 Temperatura del Ensayo de estabilidad y flujo.

TABLA 1. Factores de Estabilidad de Correlación ^A

Volumen del espécimen, cm ^{3B}	Espesor del espécimen ^B		Razón de la Correlación
	mm	Pulg	
200 - 213	25,4	1,00 (1)	5,56
214 - 225	27	1,06 (1 1/16)	5
226 - 237	28,6	1,12 (1 1/8)	4,55
238 - 250	30,2	1,19 (1 3/16)	4,17
251 - 264	31,8	1,25 (1 1/4)	3,85
265 - 276	33,3	1,31 (1 5/16)	3,57
277 - 289	34,9	1,38 (1 3/8)	3,33
290 - 301	36,5	1,44 (1 7/16)	3,03
302 - 316	38,1	1,50 (1 1/2)	2,78
317 - 328	39,7	1,56 (1 9/16)	2,5
329 - 340	41,3	1,62 (1 5/8)	2,27
341 - 353	42,9	1,69 (1 11/16)	2,08
354 - 367	44,4	1,75 (1 3/4)	1,92
368 - 379	46	1,81 (1 13/16)	1,79
380 - 392	47,6	1,88 (1 7/8)	1,67
393 - 405	49,2	1,94 (1 15/16)	1,56
406 - 420	50,8	2,00 (2)	1,47
421 - 431	52,4	2,06 (2 1/16)	1,39
432 - 443	54	2,12 (2 1/8)	1,32
444 - 456	55,6	2,19 (2 3/16)	1,25
457 - 470	57,2	2,25 (2 1/4)	1,19
471 - 482	58,7	2,31 (2 5/16)	1,14
483 - 495	60,3	2,38 (2 3/8)	1,09
496 - 508	61,9	2,44 (2 7/16)	1,04
509 - 522	63,5	2,50 (2 1/2)	1
523 - 535	65,1	2,56 (2 9/16)	0,96
536 - 546	66,7	2,62 (2 5/8)	0,93
547 - 559	68,3	2,60 (2 11/16)	0,89
560 - 573	69,8	2,75 (2 3/4)	0,86
574 - 585	71,4	2,81 (2 13/16)	0,83
586 - 598	73	2,88 (2 7/8)	0,81
599 - 610	74,6	2,94 (2 15/16)	0,78
611 - 626	76,2	3,00 (3)	0,76



^A Mide la estabilidad del espécimen multiplicado por la relación para el espesor de la muestra es igual a la estabilidad corregida para 2 ½" (63,5 mm) del espécimen.

^B La relación Volumen-espesor se basa en un diámetro de la probeta de 4" (101,6 mm)

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISIÓN

8.1.1 No se aplica una regla de precisión para esta práctica. Los especímenes deberán ser aceptados ó rechazados por otros ensayos basados en requerimientos del criterio que está siendo aplicado. Para la determinación de la estabilidad y flujo Marshall de acuerdo a la Práctica D 6926, emplee solo aquellos especímenes replicados que tienen peso específico bulk dentro de $\pm 0,02$ de su promedio.

Nota 7. Para dos especímenes preparados por laboratorios participantes en un programa de ensayo AMRL, un solo operador 1s y la deferencia aceptable de dos resultados, d2s, para el peso específico bulk fue de 0,007 y 0,020 respectivamente. Los resultados de estos ensayos se encuentran disponibles como un reporte de investigación.

MTC E 505

PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el valor del porcentaje de vacíos en mezclas bituminosas compactadas densas y abiertas.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El porcentaje de vacíos, de mezclas bituminosas es usado como uno de los criterios tanto en los métodos de diseño, como en la evaluación de la compactación alcanzada en proyectos de pavimentos asfálticos.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM 3203: "Standard Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixtures".

4.0 EQUIPO, MATERIALES Y REACTIVO

- 4.1 Equipos misceláneos

5.0 MUESTRA

- 5.1 Las muestras para este ensayo serán de mezclas compactadas en laboratorio y núcleos de mezclas compactadas obtenido en campo.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Para mezclas asfálticas densas. Se determina el peso específico aparente de la mezcla compactada mediante las normas MTC E 514 ó MTC E 506. Se determina el peso específico teórico máximo mediante la norma MTC E 508, sobre una mezcla asfáltica comparable para evitar la influencia de la diferencia de gradación, del contenido de asfalto, etc.

- 6.2 Para mezclas asfálticas abiertas. Se determina el peso unitario de una probeta, conformada en forma regular, de una mezcla asfáltica compactada, a partir de su peso seco (en gramos) y de su volumen (en cm^3). Mídase la altura del espécimen con especial cuidado y precisión; así mismo mídase su diámetro en cuatro sitios diferentes y calcúlese su promedio. Calcúlese el volumen de la muestra con base en la altura promedio y en la medida del diámetro.

Calcular el volumen del espécimen basado en promedio de alturas y medidas de diámetros.

Se convierte el peso unitario en peso específico aparente, dividiendo entre $0,99707 \text{ g/cm}^3$ o $997,07 \text{ kg/m}^3$, peso unitario del agua a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Determinése el peso específico teórico máximo mediante la norma MTC E 508, sobre una mezcla asfáltica comparable, para evitar la influencia de diferencias en la granulometría, contenido de asfalto, etc.

- 6.3 Para Casos de frontera de una mezcla bituminosa será designado mezcla bituminosa de pavimento si los porcentajes de vacíos calculados estén basadas en el numeral 6.1 y 6.2 es 10% o más.
- 6.4 Para propósitos de arbitraje determine el peso específico bulk y la gravedad específica teórica máxima sobre porciones alícuotas de la misma muestra de mezcla compactada bituminosa de pavimento.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcular el porcentaje de vacíos de una mezcla compactada bituminosa de pavimento como sigue:

Porcentaje de vacíos de aire = $100 \times (1 - (\text{pe bulk} / \text{pe teórico máximo}))$

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 La precisión del método depende de la precisión de los métodos de ensayo de gravedad específico bulk y gravedad específico teórico máximo, esta computarizado por un proceso descrito en la práctica D 4460. Desde la computarización para el porcentaje de vacíos en 7.1.1 involucra el cociente de gravedad específica bulk dividido por el cociente de la gravedad específica teórica máxima usada en la siguiente formula.

$$\sigma_{x/y} = \sqrt{\frac{\bar{Y}^2 \sigma_x^2 + \bar{X}^2 \sigma_y^2}{\bar{Y}^4}}$$

Donde:

$\sigma_{x/y}$ = desviación estándar para determinación de los límites de precisión de los resultados basados en los cocientes de los resultados de ensayos de los métodos MTC E-506, E-514, E-508.

\bar{X} = Promedio "X" resultados de ensayo de gravedad específica bulk, método de ensayo MTC E-506; E-514.

\bar{Y} = Promedio "Y" resultados de ensayo de gravedad teórica máxima, método de ensayo MTC E-508.

σ_x = Desviación estándar de X de los resultados de ensayos de gravedad específica bulk.

σ_y = Desviación estándar de Y de los resultados de ensayos de gravedad teórica máxima específica bulk.

8.1.2 Los criterios para juzgar y aceptar los resultados de porcentajes de vacíos se presentan de la siguiente forma.

	Desviación Estándar	Rango aceptable de dos resultados
Precisión del Operador	$\sigma_{x/y}$	$2,8 \sigma_{x/y}$

MTC E 506

GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE Y PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS EMPLEANDO ESPECIMENES PARAFINADOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Calcular el porcentaje de vacíos de aire dado en el método de ensayo MTC E 505.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método de ensayo determina la gravedad específica aparente de especímenes de mezclas asfálticas compactadas cubiertas con parafina.
- 2.2 Este método debe emplearse con muestras que absorben más del 2% de agua por volumen tal como se determina en la sección 6.1.
- 2.3 Dado que la gravedad específica no tiene unidades, debe convertirse a la densidad cuando este tipo de medida se requiera. Esto se hace multiplicando la gravedad específica a una temperatura dada por la densidad del agua a la misma temperatura.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 1188: "Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Coated Samples".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza, con amplia capacidad y suficiente sensibilidad, que permita calcular las gravedades específicas de especímenes por lo menos con cuatro cifras significativas, esto es, al menos tres decimales. Se equipara con un aparato conveniente para permitir pesar el espécimen mientras se suspende en el agua. La balanza cumplirá la especificación D 4753 como una balanza GP2.
- 4.1.1.1 Ya que no hay más cifras significativas en el cociente (gravedad específica aparente) de las que aparecen tanto en el dividendo (la masa del espécimen en el aire) ó en el divisor (el volumen del espécimen, obtenido de la diferencia de la masa del espécimen en el aire y en el agua), esto significa que la balanza debe tener una sensibilidad capaz de proveer los valores de masa y volumen al menos de cuatro cifras, por ejemplo una sensibilidad de 0,1 g proveerá cuatro cifras significativas para la determinación de una masa en el rango de 130,0 a 999,9 g cuando la gravedad específica es de 2,300
- 4.1.2 Baño de agua, para inmersión del espécimen en agua mientras este suspendido, equipado con un orificio de evacuación para mantener el nivel constante del agua.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Parafina.
- 4.2.2 Probeta de calibración, una probeta de aproximadamente 100 mm de diámetro por 60 mm de altura.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Los especímenes de ensayo pueden ser moldeados de mezclas de laboratorio ó ser cortados del pavimento en obra. Las muestras de campo deben obtenerse de acuerdo con la práctica MTC E 501.
- 5.2 Tamaño de especímenes, se recomienda (1) que el diámetro de los especímenes cilíndricos moldeados y de núcleos, o que la longitud de los lados de especímenes cortados, sea al menos igual a cuatro veces el tamaño máximo del agregado y (2) que el espesor del espécimen sea al menos de una y media veces el tamaño máximo del agregado.

- 5.3 Tomar los especímenes del pavimento con taladro sacanúcleos, broca diamantina o sierra de diamante o de carburo de silicio, o mediante otros métodos apropiados.
- 5.3.1 Debe tenerse cuidado para evitar la distorsión, flexión o el agrietamiento de los especímenes durante y después de su remoción del pavimento o del molde. Almacénense los especímenes en un sitio frío y seguro.
- 5.3.2 Los especímenes deberán estar libres de materiales extraños, como los de la capa de sello o de liga, materiales de fundación, papeles u hojas.
- Cuando es visualmente evidente cualquiera de estos materiales, se removerán de acuerdo a 5.3.3.
- 5.3.3 Si se desea, los especímenes podrán separarse de las restantes capas del pavimento aserrándolos o mediante otros métodos apropiados.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Determine si el recubrimiento de los especímenes es necesario, para lo cual debe:
- 6.1.1 Determinar la gravedad específica aparente de un espécimen no cubierto de acuerdo al método de prueba MTC E 514.
- 6.1.2 Use los datos recopilados en 6.1.1 para calcular el porcentaje de agua absorbida por el espécimen (en base al volumen) como sigue:

$$\% \text{ agua absorbida} = \frac{B - A}{B - C} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

- A = masa del espécimen seco en aire, g
B = masa del espécimen saturado superficialmente seco en aire, g
C = masa del espécimen en el agua, g.

- 6.1.3 Si el porcentaje de agua absorbida por el espécimen en la sección 6.1.2 excede 2%, continúe con el procedimiento indicado a partir del numeral 6.2. Si el porcentaje de agua absorbida por el espécimen no excede al 2%, reporte la gravedad específica aparente del espécimen sin recubrir como se determinó en 6.1.1.
- 6.2 Masa del espécimen descubierto, después que la muestra ha sido secada bajo un ventilador hasta que se obtenga su masa constante, determine la masa de la muestra. Designe esto como la masa A.
- 6.3 Masa del espécimen cubierto:
- 6.3.1 Cubrir el espécimen con parafina derretida lo suficientemente gruesa para sellar los vacíos superficiales. Déjese enfriar al aire a temperatura ambiente por 30 minutos, luego pese el espécimen. Designe esta masa como D.
- 6.3.2 Si se desea emplear el espécimen para ensayos posteriores que requieran la remoción de la parafina, deberá empolvarse con talco antes de aplicar dicha capa.
- 6.3.3 La aplicación de la parafina puede completarse, enfriando el espécimen en una refrigeradora a la temperatura aproximada de 4,5 °C por 30 minutos y luego sumergiéndolo en parafina tibia, 5.5°C por encima del punto de fusión. Quizá sea necesario adicionar más parafina caliente con la finalidad de llenar cualquier agujero.
- 6.3.4 Masa del espécimen recubierto con parafina en agua, pésese el espécimen parafinado dentro de un baño de agua a 25°C y designese este peso como E.
- 6.3.5 Gravedad específica aparente de la parafina:

- 6.3.5.1 Determine la gravedad específica de una probeta de calibración de aluminio a $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ determinando primero la masa en el aire y después bajo el agua. La gravedad específica es:

$$G_{al} = \frac{A_{al}}{A_{al} - B_{al}} \quad (2)$$

Donde:

- A_{al} = masa seca de la probeta en el aire, g,
 B_{al} = masa debajo del agua, de la probeta, g.

- 6.3.5.2 Secar y cubrir la probeta de aluminio con parafina, determine la masa seca del espécimen cubierto y la masa del espécimen cubierto debajo del agua.

- 6.3.5.3 Determine la gravedad específica de la parafina a $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$F = \frac{D_{al} - A_{al}}{D_{al} - E_{al} - \frac{A_{al}}{G_{al}}} \quad (3)$$

Donde:

- D_{al} = masa seca de la probeta cubierta, g,
 E_{al} = masa de la probeta cubierta debajo del agua, g.

6.4 Corrección por humedad

- 6.4.1 En el caso que el espécimen se ha obtenido durante la construcción o de un pavimento existente y contiene humedad, es necesario corregir las masas determinadas en las secciones siguientes.

- 6.4.2 La humedad puede determinarse por uno de dos métodos:

- 6.4.2.1 Determine la masa original de la muestra. Luego secar la muestra no cubierta a una masa constante en un horno mantenido aproximadamente a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Una masa constante es definida como la que tiene menos de un 0,05 % de cambio en la masa entre intervalos consecutivos de secado de 15 min. Designe esta masa seca como E_{seco} . La masa de la humedad $E_{húmeda}$ es:

$$E_{húmeda} = E_{original} - E_{seco} \quad (4)$$

Donde:

- $E_{original}$ = masa del espécimen original, g,
 E_{seco} = masa secado en horno, g.

Sustraer $E_{húmedo}$ de cualquier determinación de masa en las secciones subsecuentes.

- 6.4.2.2 Alternativamente, determine la masa de la humedad en la muestra con el uso del método de prueba D 1461. Este método será usado si el material bituminoso de la mezcla contiene algún destilado volátil a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. La masa de la humedad se sustrae entonces de cualquier determinación de masa en las secciones siguientes.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcular la gravedad específica aparente del espécimen cubierto como sigue:

$$\text{Gravedad Específica Aparente} = \frac{A}{D - E - \frac{(D - A)}{F}} \quad (5)$$

Donde:

- A = masa del espécimen seco en el aire, g,
- D = masa del espécimen seco cubierto, g,
- E = masa del espécimen cubierto dentro del agua, g,
- F = gravedad específica de revestimiento determinada a 25 °C.

7.1.2 Calcular la densidad del espécimen como sigue:

$$\text{Densidad} = (\text{Gravedad específica Aparente}) \cdot \gamma \quad (6)$$

Donde:

$$\gamma = \text{Densidad del agua a } 25 \text{ }^\circ\text{C (997,0 kg/m}^3\text{)}.$$

7.2 INFORME

7.2.1 Reportar la siguiente información:

7.2.1.1 Método de Ensayo empleado para determinar la gravedad específica aparente.

7.2.1.2 Porcentaje de agua absorbida.

7.2.1.3 Gravedad específica de la parafina con tres cifras decimales.

7.2.1.4 Corrección de la humedad con cuatro cifras significativas.

7.2.1.5 Gravedad específica aparente a $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ Con cuatro cifras significativas.

7.2.1.6 Densidad con cuatro cifras significativas.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados obtenidos de la prueba de la gravedad específica aparente, obtenidos según este método de prueba están dados en la siguiente tabla:

Prueba y tipo indicada	Desviación estándar	Rango aceptable de dos Resultados de prueba (D2S)
Operador único	0,028	0,079
Laboratorio múltiple	0,034	0,095
1:10 Laboratorios, 2 materiales, 3 réplicas para el material 1 y 2 réplicas para el material 2		

8.2 Ya que no hay ningún material de referencia convenientemente aceptado para determinar la dispersión para el procedimiento de medir la densidad, no se ha hecho ninguna declaración de dispersión para este método de prueba.

MTC E 507

ESPESOR O ALTURA DE ESPECIMENES COMPACTADOS DE MEZCLAS DE PAVIMENTO ASFALTICO

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el espesor (o altura) de los especímenes de mezclas compactada de pavimento bituminoso.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El espesor de un pavimento de mezcla bituminosa compactada es a menudo empleado para asegurar que se haya colocado, según proyecto, la adecuada cantidad de materiales y para corregir la medida de la resistencia sobre especímenes de diámetro constante con alturas variables.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 3549: "Standard Test Method for Thickness or Height of Compacted Bituminous Paving Mixture Specimens".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Cualquiera de los siguientes dispositivos puede emplearse para medir el espesor de los especímenes de ensayo.

Nota 1. Además de la medición directa, el espesor del espécimen de ensayo puede determinarse como se describe en el numeral 6.3.

- a) Una regla o cinta metálica (wincha).
- b) Un juego de calibradores.
- c) Una guía u otro dispositivo, fabricado de tal manera que puedan medirse los espesores del espécimen de acuerdo con este procedimiento.

- 4.1.2 De acuerdo con los requerimientos, las unidades de medida y las subdivisiones serán como sigue:

- a) Cuando se especifiquen pulgadas y fracciones, el aparato deberá medir hasta 1/16 pulg.
- b) Cuando se especifiquen pulgadas y porciones decimales, el aparato deberá medir hasta 0,05 pulg.
- c) Cuando se especifiquen porciones decimales de pies, el aparato deberá medir hasta 0,005 ft.
- d) Cuando se especifiquen centímetros, el aparato deberá medir hasta 0,10 cm.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Los especímenes de ensayo deberán provenir de pavimentos asfálticos recién compactados o que provengan del laboratorio.

- 5.2 Los especímenes de ensayos de pavimentos deberán tomarse con un taladro toma núcleos, con sierra de diamante, extractoras de testigos u otro método adecuado.

- 5.2.1 Las mediciones del espesor no deberán efectuarse sobre especímenes que se hayan distorsionado o agrietado al extraerlos del pavimento, de los moldes de compactación en el laboratorio o durante el almacenamiento, antes de medirlos.

- 5.2.2 Los especímenes deberán estar libres de materias extrañas como de la capa de sello, del material de fundación de suelo, de papel de filtro, de hojas u otros elementos.

- 5.2.3 Donde sea deseable, pueden separarse los especímenes de otras capas mediante corte y otros medios, teniendo en cuenta que se logre un plano bien definido de construcción.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 El espesor de especímenes con superficies relativamente planas o capas muy bien definidas, líneas de demarcación uniforme puede medirse con una cinta, regla o calibradores de acuerdo con lo siguiente:

- 6.1.1 Medir el espécimen o capa empleando cualquiera de los aparatos descritos en 4.1.1 con el intervalo aplicable más próximo, descrito en 4.2.1. Efectúense las mediciones aproximadamente en forma perpendiculares al plano superior del espécimen. Medir entre las superficies superior e inferior, entre una línea de demarcación de construcción bien definida y la superficie superior o inferior o entre dos líneas de demarcación de construcción, bien definidas.

- 6.1.2 Efectúense cuatro mediciones. Regístrese como espesor del espécimen, el promedio de estas medidas.

- 6.2 El espesor promedio de especímenes con superficies relativamente planas puede medirse por medio de guías de medidas u otros dispositivos adecuados, con tal que el dispositivo produzca resultados consistentes dentro de $\pm 0,05''$ ($\pm 0,13$ cm) de los obtenidos de acuerdo con el numeral 6.1

- 6.3 En especímenes de mezclas asfálticas densas para pavimento (menor de 10% de vacíos de aires), con bordes verticales uniformes, puede obtenerse el espesor dividiendo el volumen del espécimen entre el área de su sección transversal, de acuerdo con el procedimiento siguiente:

- 6.3.1 Determinar el área en cm^2 de un plano horizontal a través del espécimen aproximadamente equidistante de la superficie superior y de la inferior y aproximadamente perpendicular a sus lados verticales.

Nota 2. Son ejemplos los especímenes compactados en el laboratorio para el ensayo Marshall y los núcleos o especímenes cortados con taladros ó brocas diamantinas.

Nota 3. Especímenes cortados del pavimento con buriles sostenidos a mano u operados con motor, deberán pulirse mediante abrasión o con diamantes, para remover cualquier área distorsionada antes de medirlo

- 6.3.2 Determinar el volumen en cm^3 del espécimen mediante los métodos de ensayo D 1188 o D2726.

Nota 4. Con referencia a los métodos de las anteriores normas se tiene,

$$\text{Volumen} = \frac{D - E - \frac{(D - A)}{F}}{1} \text{ o } \frac{B - C}{1}$$

Donde el denominador es el peso unitario del agua en g/cm^3 , el cual se considera igual a la unidad para los fines de esta norma

- 6.3.3 Calcular el espesor promedio de espécimen en la siguiente forma:

$$\text{Espesor, cm} = \frac{\text{Volumen (cm}^3\text{)}}{\text{Area (cm}^2\text{)}}$$

7.0 CALCULOS E INFORME

- 7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcular el espesor promedio de espécimen en la siguiente forma:

$$\text{Espesor, cm} = \frac{\text{Volumen (cm)}^3}{\text{Area (cm}^2\text{)}}$$

7.2 INFORME

- 7.2.1 Informar el espesor (o altura) del espécimen como el promedio determinado mediante cualquiera de los procedimientos descritos en los apartados 6.1 a 6.3 con aproximación al intervalo más próximo aplicable descrito en el numeral 4.2.1.
- 7.2.2 Indicar en el Informe, cuál de los tres procedimientos fue usado para determinar el espesor. Eso es medido por regla o calibrador (6.1), otro dispositivo (6.2), o calculado de volumen/área (6.3)

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 Unidades SI

Prueba y tipo de índice	Desviación Standard mm(1s)	Rango aceptable de 2 resultados de prueba. mm (d2s)
Medidas del diámetro^A		
Precisión de un solo operador	0,178	0,503
Precisión Multilaboratorio	0,254	0,718
Medidas de la altura^B		
Precisión de un solo operador		
Marshall SMA	0,229	0,648
Mezclas de Compactador Giratorio	0,102	0,288
Núcleos	0,584	1,652
Precisión Multilaboratorio		
Marshall SMA ^C	0,330	0,933
Mezclas de Compactador Giratorio	0,406	1,148
Núcleos	1,118	3,162

^A Quince operadores usando un rango de un dispositivo de medida, midieron el diámetro de 05 muestras (02 núcleos, 02 muestras de compactador giratorio y 01 Mezcla asfáltica compactada por el Método Marshall).

^B Veinte operadores usando un rango de dispositivos de medida, midieron las alturas de las mismas muestras.

^C SMA: Mezcla Asfáltica Marshall con matriz de piedra.

Tabla 1
Variabilidad del espesor de pavimento asfáltico

(Datos agrupados de un cierto número de informes)

Rango de espesor (")	Desviación estándar	Coficiente de variación, %
1,0-1,9	0,21	14,7
2,0-2,9	0,29	13,0
3,0-3,9	0,37	11,3
4,0-4,9	0,53	12,5
6,0	0,75	12,5

MTC E 508

PESO ESPECIFICO TEORICO MAXIMO DE MEZCLAS ASFALTICAS PARA PAVIMENTOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas para pavimento sin compactar. El método incluye también una versión de ensayo rápido para determinar el peso específico relativo, que puede emplearse en un laboratorio de terreno o de planta.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Los pesos específicos teóricos máximos y las densidades de mezclas bituminosas para pavimentación son ambas propiedades fundamentales cuyos valores son influenciados por la composición de la mezcla en términos de tipos y cantidades de agregados y materiales bituminosos
- 2.2 El peso específico máximo es empleado en el cálculo de vacíos de aire en mezclas compactadas, así también para el cálculo de la cantidad de bitumen absorbido por el agregado, y finalmente para proveer valores referenciales para la compactación de mezclas empleadas en pavimentación.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 ASTM D 2041: "Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures".

- 4.0 AASHTO T 209: "Standard Method of Test for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Hot Mix Asphalt Paving Mixtures".

5.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

5.1 EQUIPOS

- 5.1.1 Recipiente. Se describen cuatro variantes de la técnica de saturación al vacío, empleando recipientes de diferentes tamaños y de un diseño funcional distinto.

- Tipo A. Una taza de vidrio, plástico o de metal con una capacidad de por lo menos 2000 mL.
- Tipo B. Un frasco volumétrico con una capacidad de por lo menos 2000 mL.
- Tipo C. Un picnómetro de pared gruesa de vidrio de tamaño intermedio que tenga una Capacidad de aproximadamente de 4000 mL.
- Tipo D. Un picnómetro de plástico de tamaño grande que tenga una capacidad de por lo menos 4000 mL

El tamaño del recipiente depende de los requerimientos para el tamaño mínimo de la muestra dados en el numeral 5 Los recipientes deberán ser suficientemente fuertes para resistir un vacío esencialmente completo y deberán tener tapas en la siguiente forma

- Una tapa ajustada con empaquetadura de caucho y manguera de conexión, para emplear con la taza Tipo A.
- Un tapón de caucho con una manguera de conexión, para emplear con el frasco volumétrico Tipo B.
- Un conjunto adecuado de conexión de vacío consistente de un medidor de vacío, válvula de alivio, y tubo de conexión, además de un dispositivo de tapón para mantener regulación consistente del volumen, para emplear con el picnómetro Tipo C o D.

Una pequeña pieza de malla fina de alambre que cubra la abertura de la manguera, disminuirá la posibilidad de pérdida de material fino. A causa del peso involucrado, aproximadamente 20 kilogramos, el recipiente para el picnómetro de mayor tamaño (Tipo D) deberá estar equipado con manijas adecuadas para facilitar el transporte y la agitación

mientras se halla bajo vacío y para ayudar a la eliminación de burbujas. La construcción deberá permitir la observación visual de los efectos del vacío y de la agitación.

Nota 1. La sección del fondo de una olla de capacidad de 1,4 litros (1,5 cuartos de galón) de vidrio de borosilicato constituye una taza satisfactoria (Tipo A)

Nota 2. Se ha hallado que el plástico policarbonado es un material adecuado, cuando se fabrica apropiadamente, para picnómetros de plástico de tamaño grande (Tipo D). Los ensayos han mostrado que este es seguro para emplear bajo vacío esencialmente completo dentro de un intervalo de temperatura desde 15 hasta 80° C.

- 5.1.2 Balanza. Debe tener capacidad amplia y sensibilidad suficiente para que el peso específico de muestras de mezclas no compactadas de pavimento pueda ser calculado al menos con cuatro cifras significativas (3 decimales). Para el método de la taza (Tipo A), la balanza deberá estar equipada con un dispositivo sostenedor adecuado de suspensión que permita pesar la muestra mientras se halle suspendida del centro del platillo de la balanza.

Nota 3. Puesto que no hay más cifras significativas en el cociente (peso específico) de las que aparecen ya sea en el dividendo (peso de la muestra en el aire) o en el divisor (el peso del agua desalojada), esto significa que la balanza debe tener una capacidad de lectura que proporcione pesos con al menos cuatro cifras. Recomendaciones específicas son:

Una balanza que pueda pesar 1500 g con precisión de 0,1 g para la taza de 1000 mL (Tipo A) o para el frasco (Tipo B); una balanza que pueda pesar 10 kg con precisión de 0,5 g para el picnómetro de vidrio de 4000 mL (Tipo C); una balanza que pueda pesar 20 kg con precisión de 1 g para el picnómetro plástico de 10000 mL (Tipo D).

- 5.1.3 Bomba de vacío o aspirador de agua. Debe ser tal que pueda evacuar el aire del recipiente hasta una presión residual de 4,0 kPa (30 mm de Hg) o menos. (Preferiblemente de cero) Puede emplearse un aspirador de agua o bomba de vacío con menor capacidad para la versión rápida del ensayo (Apéndice A).

- 5.1.4 Manómetro o medidor de vacío. Será adecuado para medir el vacío especificado.

- 5.1.5 Baño con agua. Para los tipos A y B o para los recipientes de Tipo C, deberá emplearse un baño de temperatura constante (entre 20 y 30° C) de tamaño adecuado al recipiente. Para los picnómetros plásticos de tamaño grande, Tipo D, no se necesita baño de agua.

Cuando se emplea la técnica de pesar dentro del agua (6.2.4), se necesita un baño de agua para la inmersión del recipiente suspendido y de la muestra desaireada.

- 5.1.6 Equipo misceláneo. Se recomienda un dispositivo adecuado (frasco Erlenmeyer) instalado en la línea para evitar que el agua entre a la bomba de vacío. Igualmente, el uso de un grifo de giro de plástico, en la línea adyacente al frasco o al picnómetro, disminuirá la pérdida del agua durante la agitación y proporcionará una desconexión rápida en caso de que se forme espuma o de funcionamiento deficiente. Para emplear con recipientes de vidrio, se requiere una esterilla de caucho o de plástico resistente como precaución de seguridad para evitar impacto sobre una superficie dura mientras están bajo vacío.

6.0 MUESTRA

- 6.1 El tamaño de la muestra deberá estar de acuerdo con los siguientes requerimientos.

Muestras mayores que la capacidad del recipiente pueden ensayarse en una porción cada vez.

Tamaño de la partícula de mayor tamaño en la muestra Mm(pulg)	Muestra mínima (g)
50,0 (2)	6000
37,5 (1 1/2)	4000
25,0 (1)	2500
19,0 (3/4)	2000

Tamaño de la partícula de mayor tamaño en la muestra Mm(pulg)	Muestra mínima (g)
12,5 (1/2)	1500
9,5 (3/8)	1000
4,75 N° 4)	500

7.0 PROCEDIMIENTO

7.1 CALIBRACION DEL FRASCO Y DE LOS PICNOMETROS

7.1.1 Calíbrese el frasco volumétrico (Tipo B) determinando adecuadamente el peso del agua a $25 \pm 0,5$ C requerido para llenarlo exactamente, lo cual debe asegurarse mediante el empleo de una placa de vidrio que sirve de cubierta.

Para el método de pesar en agua (numeral 6.2.4), debe calibrarse el frasco (Tipo B) para permitir el ajuste por temperatura determinando su peso sumergido en agua en el intervalo de las temperaturas del baño que probablemente se encontrarán en servicio, como se muestra en la Figura 1.

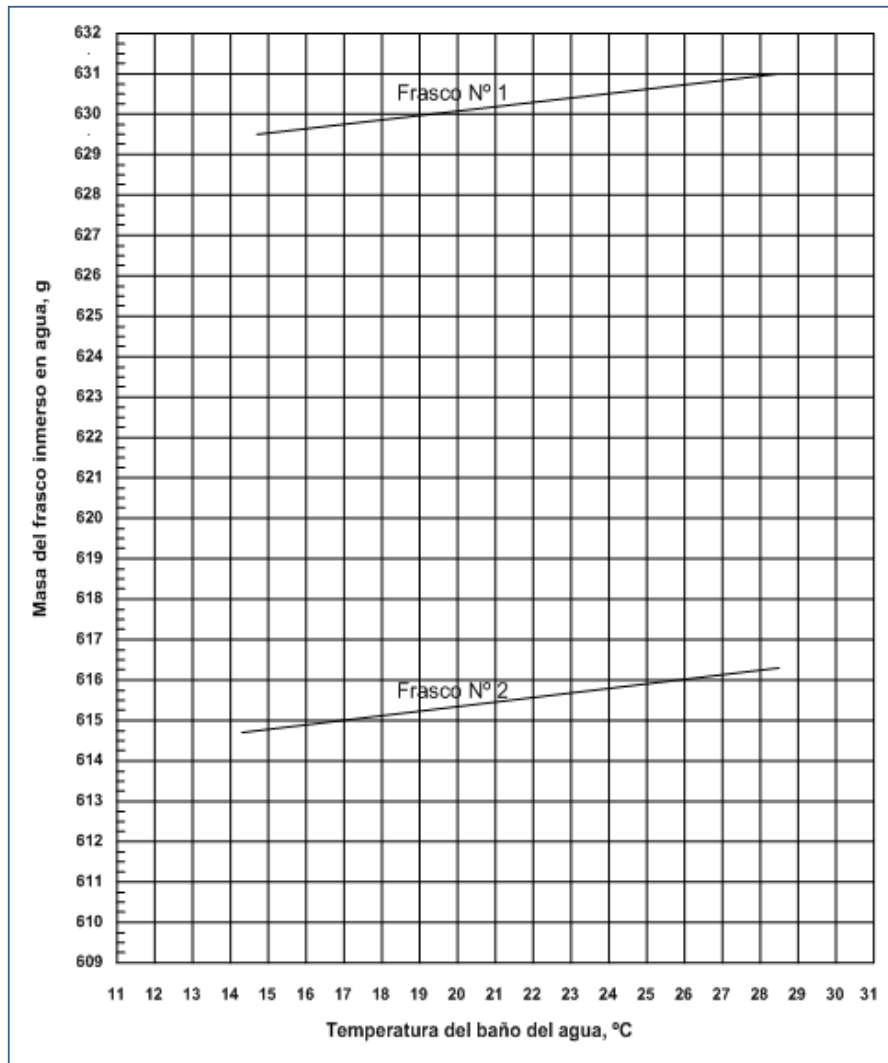


Figura 1. Ejemplo de curva de calibración para un frasco volumétrico

7.1.2 Calíbrese el picnómetro de pared gruesa de vidrio o de metal (Tipo C) determinando exactamente el peso del agua a $25 \pm 0,5^{\circ}$ C requerida para llenarlo.

Permítase que algo del agua rebose a través del tubo capilar mientras se inserta el tapón. Asegúrese de que el tubo capilar esté lleno hasta la parte superior y que no se presenten burbujas de aire después de que el picnómetro de vidrio se mantenga sumergido en el baño de agua de temperatura constante durante una hora.

- 7.1.3 Calíbrese el picnómetro plástico de tamaño grande (Tipo D) determinando exactamente el peso del agua requerido para llenarlo en un rango de temperatura de 20 a 65°C y elabórese una curva de calibración de peso contra temperatura como se muestra en la Figura 2.

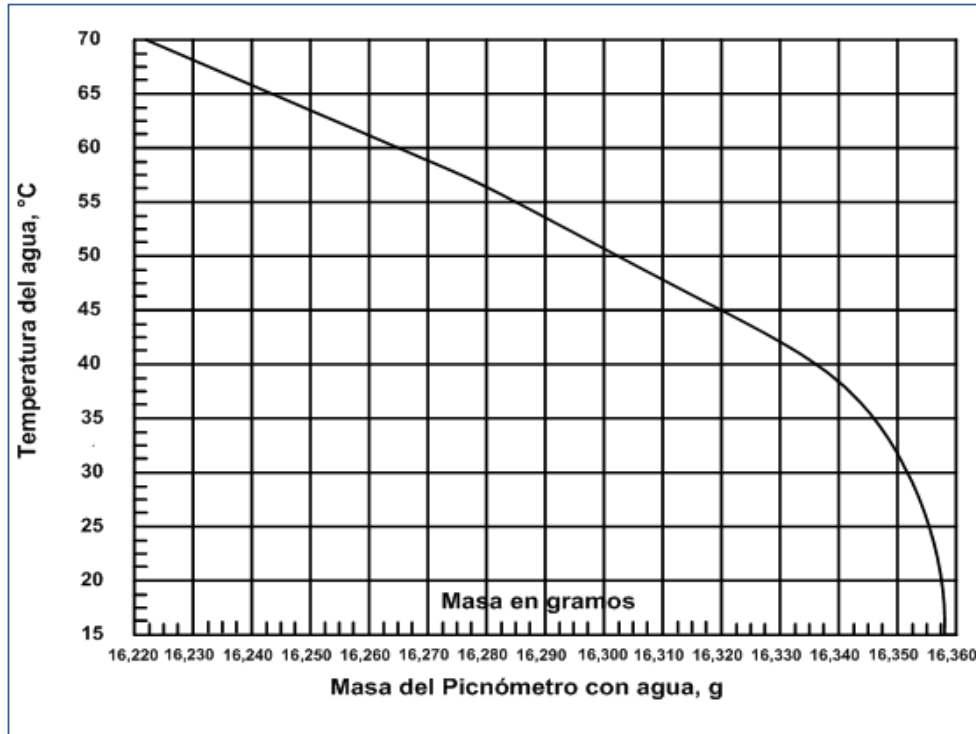


Figura 2. Ejemplo de curva de calibración para el picnómetro D

Debe tenerse cuidado de seguir exactamente el mismo procedimiento para la calibración que el seguido para el ensayo. El tapón en forma de domo se cierra y se coloca en el picnómetro (Tipo D) casi lleno con agua. Déjense sin llenar alrededor de 50 milímetros. Debe facilitarse la expulsión de las burbujas de aire aplicando vacío y sacudiendo, dejando caer el picnómetro primero sobre un lado y luego sobre el otro (Tipo D) alrededor de 10 mm sobre la superficie del banco.

Esta aplicación de vacío y el procedimiento de eliminar burbujas deberán tomar alrededor de 10 minutos, de tal manera que el equilibrio de temperatura entre la cubierta y el agua se aproxime a la que se tenga durante la ejecución del ensayo.

El agua final es entonces vertida suavemente hasta que el nivel se halle alrededor de la mitad del cuello. Todas las burbujas de aire recogidas contra el domo que no pudieran eliminarse mediante sacudidas o giros del agua deben deshacerse o empujarse hacia la superficie con un alambre doblado. Insértese el tapón con ventilación empleando fuerza suficiente apenas para asentarlo e inmediatamente, límpiase el exceso de agua de la parte superior.

El exterior del picnómetro (Tipo D) se seca entonces, se pesa el picnómetro completo y se mide la temperatura del agua. Se expende (recta de incremento de peso del picnómetro Figura 3)

Nota 4. La forma de la curva de calibración es una función de dos factores opuestos que pueden definirse racionalmente. A medida que la temperatura aumenta, el recipiente mismo se expande (se agrega peso a la línea de picnómetro de la Figura 3) y disminuye el peso

unitario del agua contenida (resultando pérdida de peso en la "curva del agua" en la Figura 3). Estas relaciones se muestran en la Figura 3 para un picnómetro típico de tamaño grande (Tipo D). La "curva" para el agua puede construirse multiplicando el volumen a 25 °C por la diferencia entre el peso unitario del agua a 25 °C, el cual es 0,9970, y el correspondiente a la temperatura de calibración.

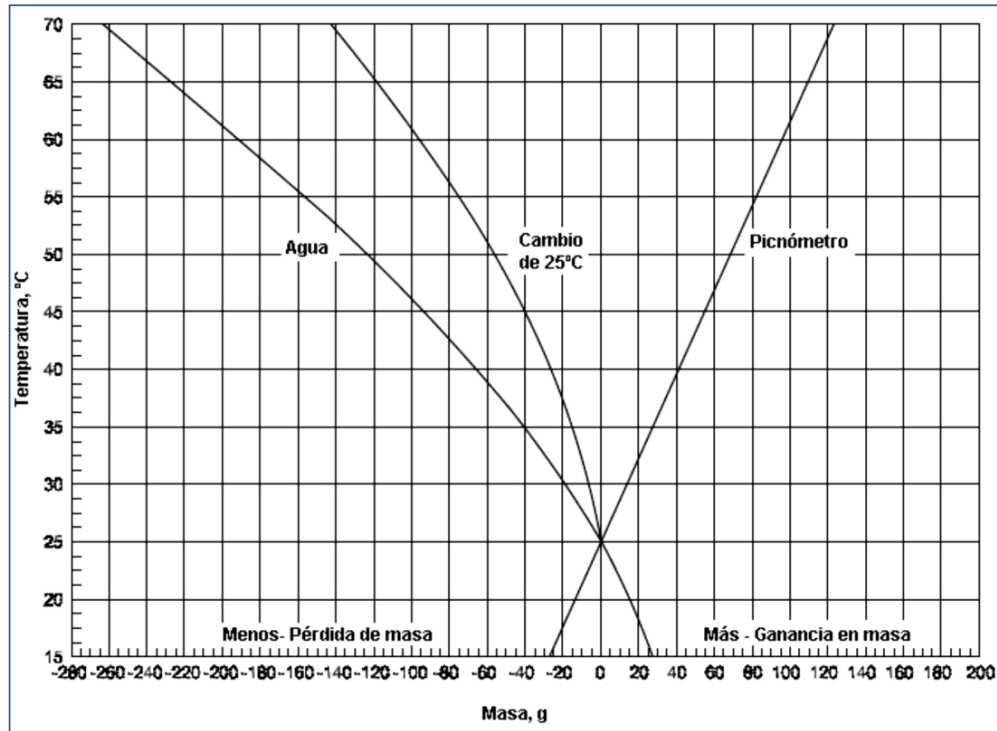


Figura 3. Efecto del cambio en densidad del agua y volumen del picnómetro (D) con el cambio de temperatura.

Diferencia debida a la expansión del agua = $V_{25} (0,9970 - d_w)$

Puesto que $V_{25} = \frac{W_{25}}{0,9970}$

$V_{25} (0,9970 - d_w)$ se reduce a $W_{25} \left[1 - \frac{d_w}{0,9970} \right]$

Donde:

$$W_{25} = \frac{d_w}{0,9970}$$

Donde:

V_{25} = Volumen de agua para llenar el recipiente a 25 °C, cm^3 .

W_{25} = Peso de agua para llenar el recipiente a 25 °C g.

d_w = Peso unitario del agua a la temperatura de calibración Mg/m^3 .

La velocidad de cambio en la capacidad del recipiente debido a la expansión térmica del picnómetro mismo es esencialmente constante dentro del intervalo de temperatura de 20 a 65 °C. De esta manera, la línea del picnómetro en la Figura 3 puede dibujarse de 0 a 25 °C conociendo únicamente la relación de pendiente de la línea recta. La pendiente puede

establecerse promediando al menos 5 pesadas de calibración a alguna temperatura elevada, agregando la pérdida debida la expansión del agua y quitando el peso a 25 °C, W_{25} , para proporcionar la ganancia en capacidad debida a la expansión del recipiente. La diferencia en el peso dividida entre la diferencia en la temperatura es la pendiente de la línea del picnómetro. Para un picnómetro policarbonado de alrededor de 13500 mL de capacidad, la pendiente establecida así fue de 2,75 g/°C. Se considera que esta es típica y razonablemente constante.

La inclinación de la curva de calibración (Figura 2) debida a estos factores térmicos compensatorios disminuye así el error experimental debido a los efectos de temperatura en el intervalo normal de trabajo, 25 °C, tanto para los frascos volumétricos (Tipo B), como para los recipientes picnómetros (tipos C y D). La definición de la curva de calibración hace posible corregir por temperatura en lugar de "llevar a una temperatura", eliminando en esta forma el costo del baño de agua y haciendo factible mejorar la precisión para ensayar muestras más grandes y para reducir el tiempo del ensayo.

7.1.4 Mientras que la calibración del frasco (Tipo B) o de cualquiera de los picnómetros (tipos C ó D) necesita efectuarse tan solo una vez, la calibración deberá comprobarse ocasionalmente, particularmente a 25 °C. El equipo debe mantenerse limpio y libre de cualquier acumulación que pueda cambiar el peso del volumen de calibración si este ha de mantenerse constante. Debe tenerse cuidado de emplearse solventes adecuados, especialmente con recipientes plásticos y los vasos de vidrio no deberán someterse a un vacío elevado si se han rayado o han sufrido cualquier clase de daño.

7.2 PROCEDIMIENTO PROPIAMENTE DICHO:

7.2.1 Sepárense las partículas de la muestra teniendo cuidado de no fracturar las partículas minerales, de tal manera que las de la porción fina del agregado no sean mayores de 6,3 mm. Si la mezcla no está suficientemente floja para separarla manualmente, colóquesela en una cubeta grande y plana y caliéntese en un horno hasta que pueda manipularse. Véase también el Apéndice A para el manejo manual alternativo posible, con el picnómetro plástico de tamaño grande (Tipo D).

7.2.2 Enfríese la muestra hasta la temperatura ambiente, colóquese en un recipiente y pésese. Designese el peso neto de la muestra como A, agréguese agua suficiente aproximadamente a 25 °C para cubrir la muestra. Con el picnómetro plástico de tamaño grande (Tipo A, B, C, D,), la muestra no tiene que ser enfriada y el agua agregada a cualquier temperatura conveniente puede llevarse hasta alrededor de la mitad del domo de la tapa para disminuir el tiempo de evacuación.

7.2.3 Remuévase el aire atrapado sometiendo todos los contenidos a un vacío parcial de 30 mm de Hg (4 kPa) o menor de presión absoluta, durante un período de 5 a 15 minutos (véase numeral 5). Un vacío parcial de 4 kPa (30 mm de Hg) de presión absoluta es aproximadamente equivalente a 730 mm de Hg de lectura sobre un medidor de vacío al nivel del mar. Agítese el recipiente con los contenidos, ya sea continuamente mediante un dispositivo mecánico o manualmente mediante agitación vigorosa, a intervalos de alrededor de dos minutos. Los vasos de vidrio deben manipularse sobre una superficie resistente, tal como caucho o esterilla plástica, y no sobre una superficie dura, para evitar impacto mientras esta bajo vacío.

El vacío puede aplicarse y disminuirse gradualmente empleando la válvula de sangría.

Nota 5. Mezclas pobres requieren menor tiempo y ricas pueden requerir mayor tiempo o agitación, o ambos. En general, es mejor requerir un mínimo de tiempo para disipar todo el aire libre. Tiempo adicional puede inducir a error debido al agua adquirida bajo la superficie asfáltica (numeral 8). Para una mezcla dada, puede establecerse el óptimo del tiempo mediante una reducción tentativa de tanteo del tiempo de ensayo hasta que una reducción posterior produzca pesos específicos más bajos.

7.2.4 Inmediatamente después de la remoción del aire atrapado (numeral 6.2.1), procédase a una de las siguientes determinaciones:

Peso en agua. Suspéndase el recipiente que se esté utilizando con su contenido, sea la cubeta (Tipo A) o el frasco (Tipo B), dentro del baño de agua y determínese su peso después de una inmersión de 10 ± 1 minuto. Mídase la temperatura del baño y si fuere diferente de 25 ± 1 °C, corríjase el peso a 25 °C empleando el ajuste por temperatura de calibración desarrollado en el numeral 6.1.1. Désígnese el peso neto de la muestra en el agua a 25° C como C.

Mediciones con el picnómetro a 25 °C. Llénese el frasco (Tipo C) o el picnómetro (Tipo D, E, ó F,) con agua y llévense sus contenidos a una temperatura de 25 ± 1 °C en el baño de agua. Determínese el peso de recipiente C y los contenidos, completamente llenos de acuerdo con el numeral 6.1.2, 10 ± 1 minuto después de completar lo dispuesto en el numeral 6.2.3. Désígnese este peso como E.

Picnómetro plástico de tamaño grande (Tipo I). Llénese el picnómetro con agua de aproximadamente la misma temperatura que los contenidos, insértese el tapón con respiradero y séquese el exterior empleando la misma técnica que en el numeral 6.1.3. El tiempo transcurrido para verter suavemente el agua final y para el secamiento debe ser el mismo que el tiempo de calibración dentro de ± 1 minuto. Determínese el peso del picnómetro completamente lleno y désígnese este peso total como G. Remuévase el tapón ventilado y regístrese la temperatura del agua.

8.0 CALCULOS E INFORME

8.1 CALCULOS

8.1.1 Calcúlese el peso específico de la muestra en la siguiente forma:

Peso en el agua.

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{(A - C)} \quad 1)$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca al aire, g.

C = Peso de la muestra en agua, g.

Determinación con el picnómetro a 25 °C.

$$\text{Peso en el aire} = \frac{A}{(A + D - E)} \quad (2)$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire, g.

C = Peso del recipiente lleno con agua a 25° C, g.

E = Peso del recipiente lleno con agua y muestra a 25° C, g.

Determinaciones con el picnómetro plástico de tamaño grande Tipo D. Si la temperatura de ensayo está dentro de $+ 1,7$ o $-2,8$ °C de 25° C), esto es entre 22,2 y 26,7 °C, puede emplearse la ecuación (2) para calcular el peso específico dentro de 0,001 o menos de error debido a efectos de temperatura.

Si la temperatura de ensayo difiere significativamente de 25 °C, corríjase por efectos de temperatura en la siguiente forma:

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{[(A + F) - (G + H)]} \times \frac{dw}{0,9970} \quad (3)$$

Donde:

- A = Peso de la muestra seca al aire, g.
F = Peso del picnómetro (Tipo F) lleno con agua a la temperatura de ensayo (Figura 2),
G = Peso del picnómetro (Tipo F) lleno con agua y muestra a la temperatura de ensayo,
H = Corrección por expansión térmica del asfalto (Figura 4), g.
 d_w = Peso unitario del agua a la temperatura de ensayo. Curva D en la Figura 5.
Mg/m³
0,9970 = Peso unitario del agua a 25 °C, Mg/m³.

La relación ($d_w/0,9970$) se halla en la curva R de la Figura 5.

Nota 6. Este procedimiento general para corregir los efectos por temperatura, deberá aplicarse también a las mediciones correspondientes efectuadas con otros recipientes adecuados.

8.1.2 PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO PARA MEZCLAS QUE CONTENGAN AGREGADOS QUE NO ESTAN COMPLETAMENTE CUBIERTOS

8.1.2.1 Si los poros de los agregados no están completamente sellados por una película asfáltica, pueden llegar a saturarse con agua durante el procedimiento de evacuación. Para determinar si esto ha ocurrido, procédase como sigue después de completar el procedimiento de acuerdo con el numeral 6.2.4. Dréñese el agua de la muestra para evitar la pérdida de partículas finas, decántese el agua a través de una toalla sostenida sobre la parte superior del recipiente. Rómpanse varias piezas grandes del agregado y examínese la superficie rota en cuanto a humedad.

8.1.2.2 Si el agregado ha absorbido agua, remuévase la humedad de la superficie, esparciendo la muestra delante de un ventilador eléctrico. Pésese a intervalos de 15 minutos y cuando la pérdida del peso sea menor de 0,05% para este intervalo, deberá considerarse que la muestra está con la superficie seca. Este procedimiento requiere alrededor de 2 horas y debe acompañarse de agitación intermitente de la muestra. Rómpanse a mano los terrones de mezcla. Téngase cuidado de evitar la pérdida de partículas de la mezcla.

8.1.2.3 Para calcular el peso específico de la muestra, sustitúyase el peso final con superficie seca por A en el denominador, de las ecuaciones (1), (2) o (3).

8.2 INFORME

8.2.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

Peso específico de la mezcla, con tres decimales así: peso específico 25/25 °C.

- Tipo de mezcla.
- Tamaño de la muestra.
- Número de muestras.
- Tipo de recipiente.
- Tipo de procedimiento.

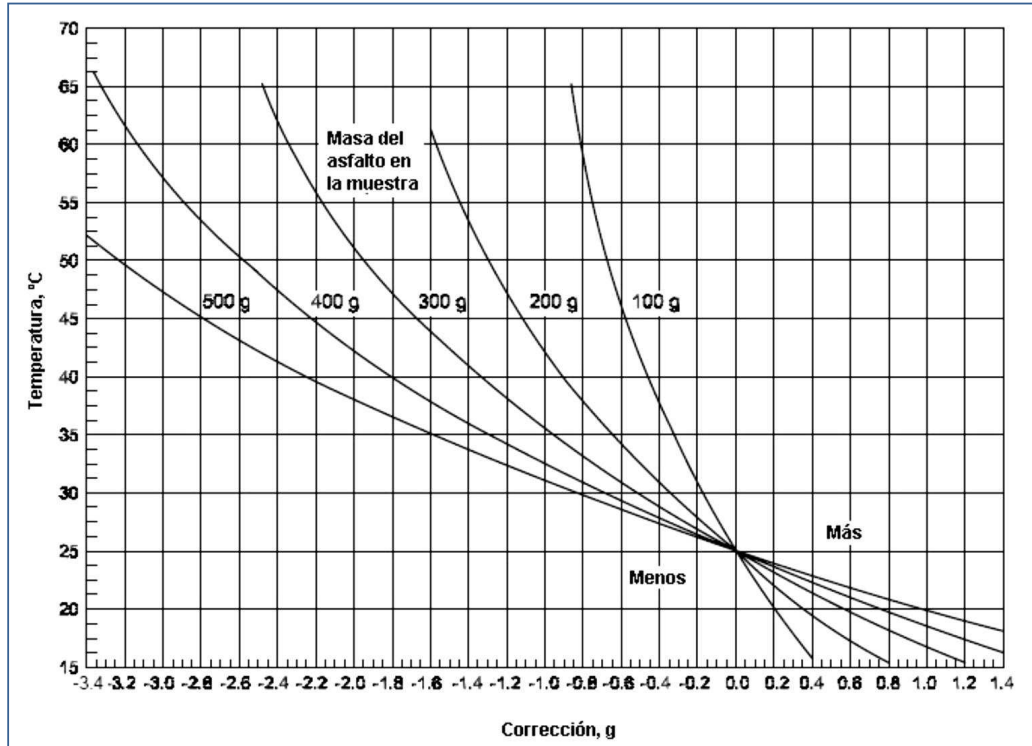


Figura 4. Curvas de corrección por expansión del asfalto, valor de H en la ecuación 3.

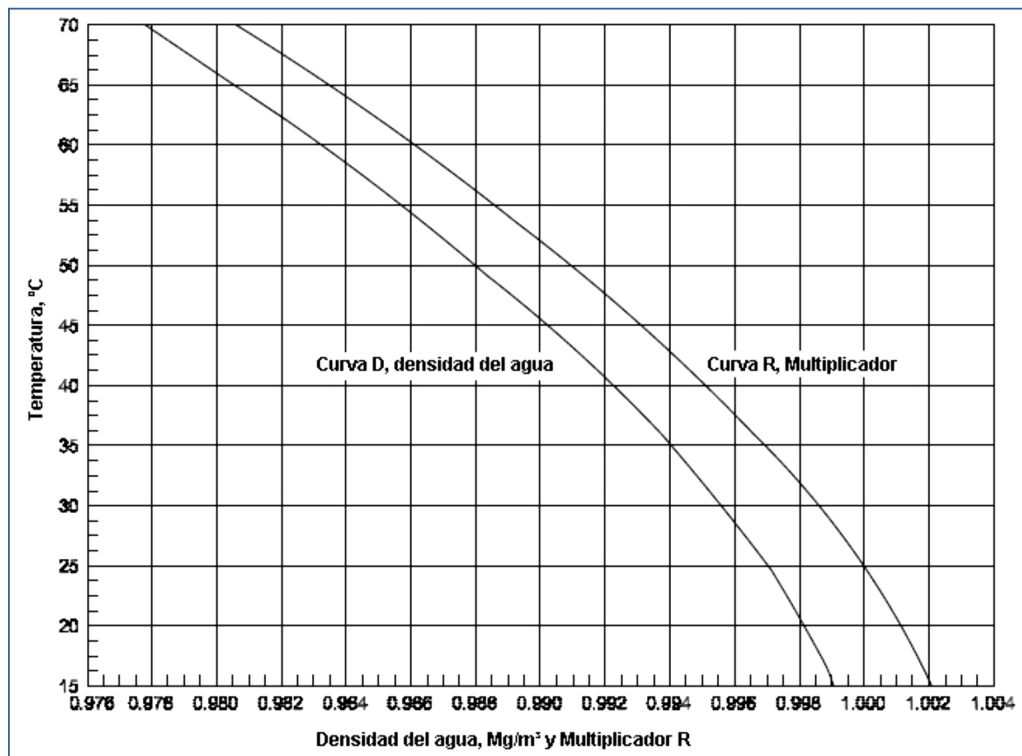


Figura 5. Curvas para determinar los valores D y R de la ecuación 3.

9.0 PRECISION Y DISPERSION

9.1 PRECISION

9.1.1 Criterios para juzgar la aceptación de los resultados de los ensayos de peso específico, obtenidos mediante este método, se dan en la tabla siguiente:

Índice del ensayo y tipo (1)	Desviación del estándar (IS)	Diferencia aceptable de (2) 2 resultados (D 25) (3)
Resultados de ensayos sin el empleo del numeral 8 ^J		
Operador sencillo varios laboratorios	0,0040 0,0064	0,011 0,019
Resultados de ensayos obtenidos mediante el empleo del numeral 8 aplicables únicamente a determinación con taza 1 ^K		
Operador sencillo	0,0064	0,018
Varios laboratorios	0,0193	0,055

9.1.2 Las cifras dadas en la columna (2) son las desviaciones estándar que se han encontrado apropiadas para las condiciones de ensayo descritas en la columna (1). Las cifras dadas en la columna (3) son los límites que no deberán excederse por la diferencia entre los resultados de dos ensayos adecuadamente ejecutados. La precisión de varios laboratorios no ha sido verificada para el picnómetro de 4500 mL (Tipo E) o para el picnómetro plástico de tamaño grande (Tipo F).

^J Base de la estimación: 3 réplicas, 5 materiales y 5 laboratorios.

^K Base de la estimación: 2 réplicas, 7 materiales y 20 laboratorios.

APENDICE A

VERSION DE ENSAYO RAPIDO PARA EL PESO ESPECÍFICO RELATIVO

A.1 Puesto que el picnómetro plástico de tamaño grande puede emplearse con seguridad en un laboratorio de planta y el peso específico puede ser un medio conveniente Para controlar la uniformidad de producción de mezcla asfáltica, se da una versión rápida del ensayo del método MTC E 508. Esta versión permite vacío menor (aspirador de agua o bomba de vacío) y tiempo de evacuación más cortó. Tales mediciones pueden no representar la condición de cero vacíos con aire y por lo tanto no son adecuadas para la determinación de vacíos en el campo o de muestras compactadas en el laboratorio. Por otra parte, si un vacío de 30 mm de Hg se logra durante los 5 a 15 minutos especificados, los resultados son pesos específicos teóricos máximos válidos, puesto que la técnica de la dispersión en caliente dada en el apartado A.2 es equivalente a dejar que la muestra se enfríe y a romper los conglomerados a mano como en los numerales 6.2.1 y 6.2.2.

A.2 Procedimiento para la versión de ensayo rápido Previamente se calibra el picnómetro como se describe en el numeral 4. Pése se la muestra caliente (aproximadamente 6000 g), tomada directamente del camión, en el picnómetro colocado dentro del agua, asegúrese el domo en sitio, y dispérsese la muestra, agitándola vigorosamente, empleando un movimiento ondulante hacia atrás y hacia adelante con el picnómetro inclinado alrededor de 800,0 g y con la orilla todavía en contacto con el banco. La determinación del peso de la muestra pesando el recipiente de la muestra, antes y después de transferir la porción de ensayo al picnómetro, anula el posible error debido a la pérdida por evaporación de agua.

Agréguese agua para llevar el nivel hacia aproximadamente la mitad del domo y aplíquese vacío durante 5 minutos. El tiempo requerido bajo el vacío dependerá de la mezcla y de las condiciones de ensayo (vacío, agitación, etc.) pero una vez establecido, deberá mantenerse dentro de ± 5 minutos al repetir los ensayos (véanse las notas 5 y 7).

Nota 7. El grado de vacío especificado en el numeral 6.3 puede no ser alcanzable en los laboratorios de planta empleando aspiradores de agua, particularmente cuando se ensayan muestras en caliente.

Resultados consistentes y que puedan repetirse pueden obtenerse, sin embargo, si las condiciones de ensayo permanecen razonablemente constantes en algún punto sobre un intervalo de presión absoluta de 0 a 250 mm de Hg (0 a 34 KPa) y a una temperatura final del agua hasta de 70 °C. Si los resultados del peso específico así obtenidos son empleados para controlar el contenido de asfalto, el peso específico de los agregados combinados que deberán emplearse en los cálculos debe ser ese valor establecido en la misma planta y bajo las mismas condiciones de ensayo.

El resto del procedimiento es el mismo que el del numeral 6.2.4. Llénese con agua, séquese el tapón con respirador, límpiase el agua del tapón (una vez) y séquese la parte exterior empleando la misma técnica usada durante la calibración. Pése se y tóme se la temperatura.

A.3 Cálculos. Empléese la ecuación 3 del numeral 7.

Nota 8. Esta versión rápida del ensayo hace posible que un laboratorista de planta obtenga una lectura de peso específico de la muestra dentro de un tiempo de 10 minutos o menos, la cual es suficientemente exacta para reflejar un cambio significativo en el peso específico de cualquiera de las fracciones de los agregados o del asfalto o en las proporciones relativas de cada ingrediente de la mezcla. La dispersión, si la hubiere, es pequeña y esencialmente constante para un operador dado, en una planta dada. Datos limitados muestran que (repetibilidad), para que la precisión sea comparable a la relacionada en el numeral 8.1 para resultados obtenidos sobre porciones más pequeñas de ensayo empleando el frasco y la taza sin hacer uso del numeral 7.1.2, esto es, desviación estándar de 0,004 o menor para mezclas de superficie o de liga y de 0,007 o menor para mezcla de bases

MTC E 509

DETERMINACION DEL GRADO DE COMPACTACION DE UNA MEZCLA BITUMINOSA

1.0 OBJETO

- 1.1 Describir los procedimientos para determinar el grado de compactación de un pavimento de mezcla asfáltica.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Se determina el grado de compactación comparando el peso específico del pavimento compactado, con el peso específico de un espécimen estándar compuesto de los mismos materiales de la mezcla asfáltica, previa verificación de que se encuentren dentro de las tolerancias de la fórmula de trabajo

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 AASHTO T 230: "Determining Degree of Pavement Compaction of Bituminous – Aggregate Mixtures".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.3 EQUIPOS

- 4.3.1 Puede ser cualquier instrumento capaz de extraer una muestra inalterada cuadrada, circular ó un núcleo de pavimento compactado, para la profundidad total de la capa o capas bajo consideración. Son apropiados para esta extracción: un cortador por impacto, una sierra para pavimentos con hoja de diamante, un anillo de acero para pesos unitarios ó una broca de diamante extractora de núcleos. La broca deberá extraer núcleos de 100 a 150 mm de diámetro. El anillo para pesos unitarios deberá tener un diámetro interno de 150 mm aproximadamente, y una altura inferior de 6,4 mm, al espesor de la capa del pavimento compactado bajo consideración.
- 4.3.2 Debe disponerse además de una placa rígida y de un recipiente apropiado suficientemente amplio para guardar y transportar la muestra, y así evitar su distorsión, después de que haya sido extraída del pavimento.

5.0 PROCEDIMIENTO

5.1 Método A

- 5.1.1 Antes de colocar y compactar el pavimento o capa de pavimento de donde va a ser extraída la muestra, identifíquese el lugar de extracción y colóquese sobre él un material de propiedades y tamaño adecuados para evitar la unión total del pavimento o capa de pavimento con la superficie subyacente. Después de haber colocado y compactado el pavimento o capa de pavimento córtese y extráigase una muestra cuadrada del lugar identificado (véase en el apéndice A un procedimiento típico para este método A).

5.2 Método B

- 5.2.1 Cuando la muestra vaya a ser un núcleo extraído, no es necesario identificar previamente el lugar de muestreo. Después de completar la operación de perforación para extracción del núcleo, éste debe ser recuperado cuidadosamente, con los dispositivos apropiados. Cuando el tamaño nominal máximo del agregado en el pavimento sea de 25 mm ó menos, deberá usarse una broca de 100 mm de diámetro; cuando sea superior, deberá usarse una broca de 150 mm de diámetro.

5.3 Método C

- 5.3.1 La muestra puede ser obtenida mediante el método del anillo de pesos unitarios.
- 5.3.2 Deberá tenerse mucho cuidado de no distorsionar, doblar, quebrar ó producir cualquier cambio a la muestra después de extraída ó en el proceso de extracción; luego de la extracción

- la muestra debe ser enviada al laboratorio. En caso de alguna demora indeseable, almacénese la muestra en un lugar seguro y fresco.
- 5.3.3 Deberá darse junto con la muestra extraída la información de identificación completa.
- 5.4 Peso Específico y/o Peso Específico Unitario de Pavimento Compactado
- 5.4.1 Determinése el peso específico de la muestra extraída del pavimento compactado, según la norma: "Peso específico y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca".
- 5.4.2 Cuando se determine el peso específico (o el peso unitario) mediante un medidor nuclear, tal determinación deberá efectuarse en el sitio de extracción, de acuerdo con la Norma MTC E 510, "Peso Unitario del Concreto Asfáltico en el Terreno mediante Método Nuclear".
- 5.5 Preparación del Espécimen Estándar
- 5.5.1 Los especímenes estándar deberán ser preparados a partir de una muestra representativa de la mezcla, que va a ser sometida a compactación y que se vaya a tomar referencia del ensayo. La preparación deberá llevarse a cabo de conformidad con la norma correspondiente (MTC E513), "Resistencia a la Compresión Simple de Mezclas Asfálticas" ó con algún otro método aceptable.
- 5.6 Peso Específico del Espécimen Estándar
- 5.6.1 El peso específico del espécimen estándar compactado en el laboratorio deberá determinarse según la Norma MTC E 514.

6.0 CALCULOS E INFORME

6.1 CALCULOS

- 6.1.1 Determinése el grado de compactación del pavimento dividiendo el peso específico de la muestra extraída del pavimento compactado entre el peso específico del espécimen estándar. Exprésese el resultado como porcentaje.

$$\text{Grado de Compactación} = \frac{\text{Peso Específico muestra de pavimento}}{\text{Peso Específico espécimen estándar}} \times 100$$



APENDICE A

OBTENCION DE UNA MUESTRA CUADRADA DEL PAVIMENTO

- A.1 Colóquese un cuadrado de 300 mm de lado, hecho de cartón, de lámina metálica delgada ó de papel metálico, sobre la superficie del carril particular que está siendo pavimentado. No debe ser colocado a menos de 0,60 m del borde del carril ó de una junta longitudinal. Mídanse sus cuatro esquinas hasta puntos de referencia permanentes para identificar su posición después de colocada y compactada la capa del pavimento. Tal identificación puede hacerse colocando clavos de cabeza roja en los sitios donde se han localizado las cuatro esquinas encima del pavimento.
- A.2 Por medio de un cincel o de una sierra con hoja diamante, hágase cortes al pavimento conectando los cuatro puntos medidos. Esto proveerá una muestra de pavimento de 300 x 300 mm que puede fácilmente ser extraída gracias a la presencia de la lámina que fue colocada inicialmente.

APENDICE B

METODO DEL ANILLO PARA PESOS UNITARIOS

B.1 EQUIPO

- B.1.1 Anillo para pesos unitario. Deberá ser de acero tener 150 mm de diámetro interno y altura de 6.4 mm, menor que el espesor de la capa de mezcla asfáltica compactada de la cual a extraerse la muestra.
- B.1.2 Los anillos de la altura requerida pueden ser cortados de un tubo metálico de bajo contenido de carbón, estirado en frío é inoxidable, de 150 mm de diámetro interno y 6,4 mm de espesor de pared.
- B.1.3 La parte inferior de la pared exterior del anillo deberá ser biselada (aproximadamente de 20°) como se muestra en la Figura 1. El anillo debe ser maquinado para lograr que los bordes superior e inferior sean paralelos entre sí y perpendiculares a la pared interior.
- B.1.4 La pared del anillo deberá tener un corte longitudinal de 1,6 mm de ancho máximo, que bien puede ser el espacio que deja una hija segueta al cortar. Si el corte se abre más de esta cantidad, deberá cerrarse comprimiéndola en una prensa (Figura 1).
- B.1.5 Además debe perforarse un orificio de 3,2 mm en la pared del anillo, en el sitio diametralmente opuesto al corte descrito, con su centro localizado a 4,8 mm del borde superior del anillo. Allí se atará un cable apropiado que ayude a la remoción del anillo y la muestra de pavimento compactado.
- B.1.6 Todas la paredes y bordes del anillo deberán ser limados para eliminar rebabas.

B.2 PROCEDIMIENTO

- B.2.1 Encima de la base o capa de nivelación, sobre la cual se está colocando la mezcla asfáltica y en el lugar escogido, ubíquese el anillo con el borde biselado hacia abajo, delante del frente de pavimentación. Si se quiere, se puede colocar entre el anillo y la base un pedazo de papel metálico de un tamaño ligeramente superior para facilitar su remoción posterior.
- B.2.2 Puede amarrarse una cuerda al cable que se encuentra atado al orificio, de suficiente longitud para que salga del área de trabajos sobre la vía. Luego de colocar la mezcla asfáltica (operación que cubrirá y rellenará el cilindro para pesos unitarios), peor antes de la compactación, jale la cuerda para que quede por encima de la superficie de mezcla asfáltica, cuidando de no mover el anillo. Después de terminada la operación de compactación, recupérese con ayuda de alguna herramienta el anillo con la muestra. Puede usarse una bolsa de hielo seco para enfriar el anillo y su contenido antes de recuperarlos.
- B.2.3 Enrásese luego la parte superior del anillo para eliminar este material suelto o alterado.
- B.2.4 Para extraer la muestra del anillo, debe hacerse palanca en el corte con la ayuda de alguna herramienta (ej. Destornillador) con el fin de expandir el anillo y permitir que salga la muestra fácilmente. Debe tenerse mucho cuidado en este paso para no deformar o alterar la muestra.

MTC E 510

DENSIDAD DEL HORMIGON BITUMINOSO IN SITU POR METODOS NUCLEARES

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la densidad del hormigón bituminoso mediante la atenuación de la radiación gamma donde la fuente y el(los) detector(es) permanecen en la superficie (Método de Retrodispersión) o la fuente o el detector se coloca a una profundidad conocida de hasta 300 mm, mientras que el detector o la fuente permanece en la superficie (Método de transmisión directa).

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 La densidad, la masa por unidad de volumen del material bajo prueba, se determina comparando la tasa de emisiones de rayos gamma detectados con los datos de calibración previamente establecidos.
- 2.2 Este modo operativo es útil como una técnica rápida, no destructiva para determinar la densidad in situ de mezclas bituminosas compactadas.
- 2.3 Con la calibración adecuada y pruebas de confirmación, este modo operativo es adecuado para el control de calidad y pruebas de aceptación de hormigón compactado bituminoso.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS.

- 3.1 ASTM D2950: "Standard Test Method for Density of Bituminous Concrete in Place by Nuclear Methods".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Dispositivos nucleares - instrumento de conteo electrónico, capaz de estar asentado en la superficie del material bajo prueba, y que contiene:
 - a) Fuente Gamma - Una fuente gamma de alta energía encapsulada, tales como el cesio o radio, y
 - b) Detector de rayos gamma - Cualquier tipo de detector de rayos gamma, tal como un tubo Geiger-Mueller.

RIESGO

- a) Este equipo utiliza materiales radioactivos que pueden ser peligrosos para la salud de los usuarios a menos que tomen las precauciones adecuadas. Los usuarios de este equipo deben familiarizarse con los procedimientos de seguridad y las regulaciones gubernamentales aplicables.
 - b) Las instrucciones de usuario efectivas junto con los procedimientos de seguridad de rutina, tales como las pruebas de fuga de fuente, registro y evaluación de datos de placa de película, etc. son una parte recomendada de las directrices operacionales para la utilización de este instrumento.
 - c) Una licencia de la agencia reguladora de materiales radiactivos puede ser necesaria para poseer este equipo.
- 4.1.2 Estándar de referencia - Un bloque de material denso utilizado para comprobar el funcionamiento del instrumento y para establecer las condiciones para una tasa de conteo de referencia reproducible.
 - 4.1.3 Dispositivo de preparación de sitio - Una placa de metal, una regla, o cualquier otra herramienta de nivelación adecuados que puedan ser utilizados para nivelar el lugar de la prueba a la suavidad requerida utilizando arena fina o material similar.

- 4.1.4 Disco Pin - Una barra de acero de un diámetro ligeramente más grande que la varilla en el Instrumento de Trasmisión Directo, para preparar un agujero perpendicular en el material de prueba para la inserción de la barra. Un taladro también puede ser utilizado.

ESTANDARIZACIÓN Y PRUEBA DE REFERENCIA

La estandarización de los equipos debe realizarse al inicio del trabajo de cada día, y un registro permanente mantiene un de estos datos.

- Realizar la estandarización con el aparato ubicado al menos a 8 metros (25 pies) de distancia de otras fuentes de radiactividad y limpiar de grandes masas u otros elementos que puedan afectar la tasa de conteo de referencia.
- Encender el aparato antes de la estandarización y permitir que se estabilice. Siga las recomendaciones del fabricante con el fin de proporcionar los resultados más estables y consistentes.
- Utilizando el estándar de referencia, tomar por lo menos cuatro lecturas repetitivas en el período de medición normal y determinar la media. Si está disponible en el aparato, un período de medición de cuatro o más veces al período normal es aceptable. Esto constituye un chequeo de estandarización.
- Si el valor obtenido in b) está dentro de los siguientes límites establecidos, el aparato se considera en condiciones satisfactorias de operación y el valor puede ser usado para determinar las tasas de conteo para el día de uso. Si el valor está fuera de estos límites, permitir un tiempo adicional para que el aparato se estabilice, asegurarse de que el área esté libre de fuentes de interferencia y luego realizar otra prueba de la estandarización. Si la segunda prueba de estandarización está dentro de los límites, el aparato puede ser utilizado, pero si también falla la prueba, el aparato deberá ser ajustado o reparado según lo recomendado por el fabricante. Los límites son los siguientes:

$$|N_s - N_0| \leq \sqrt{N_0/F} \quad (1)$$

Donde:

- N_s = valor de conteo de estandarización actual
 N_0 = promedio de los últimos cuatro valores de N_s tomados previamente, y
 F = valor de cualquier pre-escala.

El conteo por períodos de medición será el número total de gammas detectados durante el período de tiempo. El valor mostrado debe ser corregido para cualquier pre-escala que esté integrado en el instrumento. El valor de pre-escala (F) es un divisor que reduce el valor real con el propósito de mostrar. El fabricante proporciona este valor si no es 1,0.

- Usar el valor de N_s para determinar la tasa de conteo para el uso del día actual del instrumento. Si por alguna razón la densidad medida se convierte en sospechosa durante el uso del día, realizar otra prueba de estandarización.

5.0 MUESTRA

5.1 Hormigón bituminoso.

INTERFERENCIAS

- La composición química del material a ensayar puede afectar significativamente a la medición y los ajustes pueden ser necesarios. Algunos elementos con números atómicos mayores de 20 pueden causar valores de prueba erróneamente altos.
- El método de prueba presenta un sesgo espacial cuando el instrumento es más sensible a la densidad del material en estrecha proximidad a la fuente nuclear.

- Cuando se mide la densidad de una capa sobrepuesta, puede ser necesario emplear un factor de corrección si el material subyacente varía en su espesor, composición mineral, o grado de consolidación en diferentes puntos dentro del proyecto.
 - La rugosidad de la superficie del material a ser probado puede causar la determinación de la densidad más baja que la real.
- c) Partículas de agregado de gran tamaño las en la trayectoria del detector-fuente puede causar la determinación de la densidad más alta que la real.
- d) El volumen de muestra a ser probada es de aproximadamente 0,0028 m³ para el Método de Retrodispersión y 0,0056 m³ para el Método de Transmisión Directa. El volumen de muestra real varía con el aparato y la densidad del material. En general, cuanto mayor sea la densidad menor será el volumen (ver Nota 1).

Nota1. El volumen de material compactado de campo representado por una prueba puede ser eficazmente incrementado repitiendo la prueba en lugares adyacentes y promediando los resultados.

- e) Si las muestras del material medido son para ser tomadas con fines de correlación con otros métodos de prueba, tales como D 1188 o D 2726, el volumen medido puede ser aproximado mediante un cilindro de diámetro de 200 mm situado directamente debajo de la línea central de la fuente radioactiva y el detector(s). La altura del cilindro a ser excavado deberá ser de la profundidad de calado de la varilla de la fuente cuando se utilice el Método de Transmisión Directa o aproximadamente de 75 mm cuando se utilice el Método de Retrodispersión (Nota 2).

Nota 2. Si la capa de hormigón bituminoso a ser medido es menor que la profundidad de la medición del instrumento, las correcciones deben ser hechas a las mediciones para obtener resultados precisos debido a la influencia de la densidad del material subyacente

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 ESPECIMENES PARA EL ENSAYO

- 6.1.1 Escoger dos fragmentos de la muestra en bruto que pesen entre 5 g y 20 g, cada uno. Inspeccionar cuidadosamente los fragmentos para asegurar la utilización de especímenes libres de grietas y de otros defectos superficiales.
- 6.1.2 Si la naturaleza del material es tal que puede fundirse el espécimen sin la incorporación de burbujas de aire, seguir las instrucciones para la preparación y vaciado del método ASTM D 61 "Punto de ablandamiento de alquitranes". Pueden utilizarse moldes cúbicos que tengan un mínimo de 12,7 mm de lado o más grandes. Ensamblar los moldes de tal manera que puedan fundirse cubos sólidos sin perforaciones. Una placa, como la base del molde para el punto de ablandamiento, puede invertirse para que proporciones la superficie plana requerida sobre la cual se ensambla el molde cubico antes del vaciado.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.2.1 Con el fin de proporcionar resultados más estables y consistentes: (1) Encender el instrumento antes de su uso para permitir que se estabilice, y (2) Dejar la energía durante las pruebas del día.
- 6.2.2 Estandarizar el aparato.
- 6.2.3 Seleccionar un lugar de ensayo de acuerdo con las especificaciones del proyecto, o, si no se especifique lo contrario, de acuerdo con la Práctica D 3665. Si el instrumento va a estar más cerca de 250 mm a cualquier masa vertical que pueda influir en el resultado, seguir los procedimientos de corrección del fabricante del instrumento.
- 6.2.4 El máximo contacto entre la base del instrumento y la superficie del material bajo prueba es crítica. El vacío máximo no podrá exceder de 6 mm Usar finos nativos o arena fina para llenar los vacíos y nivelar con la placa de guía/rasqueta.

- 6.2.5 Para el método de transmisión directa usar de la placa de guía/rasqueta y clavar la varilla de acero a una profundidad de al menos 25 mm más allá de la profundidad de medición deseada. Precaución: Deberá tener cuidado al conducir la varilla en el hormigón compactado bituminoso ya que puede causar una alteración del material que podría causar errores en la medición. La perforación puede ser más adecuada.
- 6.2.6 Colocar la fuente en la posición correcta. Para las mediciones con el Método de Transmisión Directa mover el instrumento para que la varilla esté firmemente contra el lado del agujero en la ruta de medición gamma.
- 6.2.7 Hacer un conteo para el período de medición normal. Si el Método de Retrodispersión usando la Técnica del Vacío de Aire es utilizado tomar una medida adicional en la posición del vacío de aire según lo recomendado por el fabricante. (Ver Nota 2)
- 6.2.8 Determinar la relación de la lectura al conteo estándar o el conteo de vacío de aire. A partir de esta relación y los datos de calibración y ajuste, determinar la densidad en el lugar. (Ver Nota 3 y Nota 4).

Nota 3. Algunos instrumentos han incorporado suministros para calcular la tasa, densidad aparente (húmeda) y permitir un sesgo de ajuste

Nota 4. Si la profundidad de la capa de hormigón bituminoso bajo prueba es menor que la profundidad de medición del instrumento, el valor obtenido en 7.1.1 debe ser ajustado.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Usando la carta de calibración, tablas de calibración, o una ecuación, y los coeficientes, o un instrumento de función directa de lectura, con los ajustes de calibración apropiados, determinar la densidad en el lugar. Esta es la densidad aparente (o húmeda)

7.2 INFORME

- 7.2.1 Reportar en el informe la siguiente información:

- Marca, modelo y número de serie del aparato de prueba,
- Fecha y fuente de los datos de calibración,
- Fecha de la prueba,
- Estándar de conteo para el día de la prueba,
- Descripción de sitio de la prueba que incluye número de identificación del proyecto, ubicación y tipo(s) de mezcla,
- Espesor de la capa a prueba y cualquier sesgo de ajuste,
- Método de medición (retrodispersión o transmisión directa), la profundidad, la tasa de conteo, la densidad calculada de cada medición y los datos de ajuste, y
- Porcentaje de compactación, si es necesario.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 No obstante la precisión de conteo del instrumento de 10 Kg/m³ para el Método de Retrodispersión y 5 Kg/m³ para el Método de Transmisión Directo es típico en un material de aproximadamente 2,25 mg/m³ de densidad, con un tiempo de medida de un minuto, sólo se aplica a los instrumentos para mediciones repetitivas en el mismo lugar.
- 8.1.2 La precisión de conteo del instrumento está definida como el cambio en densidad que ocurre correspondiente a un cambio de desviación estándar en el conteo debido a la desintegración aleatoria de la fuente radioactiva. La densidad del material debe estar en el rango aproximado de 2150 kg/m³ y 2350 kg/m³. Tanto la densidad del material y el periodo de tiempo del conteo debe ser declarado. Se puede determinar a partir de una serie de 20 o más conteos tomadas sin mover el instrumento, o alternativamente, a partir de los datos de calibración

utilizando la hipótesis de que σ es igual al $\sqrt{\text{conteo}}$ en aquella densidad. El conteo debe ser el conteo del instrumento real corregido por cualquier pre-escala.

$$P = \frac{\sigma}{S} \quad (2)$$

Donde:

- P = precisión del aparato en densidad (kg/m^3),
- σ = una desviación estándar del conteo, y
- S = la pendiente de la curva de calibración en el valor de densidad definido.

8.1.3 Precisión Utilizada en Superficies de Pavimento Existentes –Las pruebas han demostrado que no hay diferencia estadística a 15 segundos, 1 minuto, o 4 minutos en lecturas de densidad media, cuando las mediciones de densidad relativa se toman en el mismo punto en una superficie de pavimento existente de mezcla en caliente. Por lo tanto, la enunciación de precisión en la Tabla 1 se aplica a las mediciones de densidad nuclear tomadas con cualquiera de estos tres intervalos de tiempo de uso común. Sin embargo, ya que la desintegración de fotones de la fuente radiactiva utilizada en el medidor es un proceso aleatorio, un tiempo de medición prolongado producirá una mejor repetibilidad estadística. La precisión de la reproducibilidad representa la variabilidad prevista dentro de un proyecto dado que es consistente en los materiales utilizados y los materiales y capas estructurales.

8.2 SESGO

8.2.1 Debido a la variabilidad en los materiales y las prácticas de construcción, no hay consenso sobre el método más preciso para determinar los valores de densidad contra los cuales esta prueba pueda ser comparada. En consecuencia, una enunciación del sesgo del método no puede ser hecha.

En cuanto a la declaración de sesgo anterior, cualquier usuario puede elegir como llevar a cabo una comparación de estos medidores en relación al valor medido en laboratorio de muestras de núcleo. Las mediciones con el medidor deben ser tomadas directamente en la ubicación del pavimento de donde los núcleos se retirarán.

TABLA 1 Precisión para Mediciones de Densidad Nuclear Relativas

Estadístico	Desviación Estándar, kg/m^3	Rango Aceptable para Dos Resultados de Ensayo, kg/m^3
Simple Operador (Repetitividad)		
Superficie de asfalto de mezcla en caliente o asfalto de mezcla en caliente antiguo (punto 6.2.4) lijada	14,9	41,97
Entre Laboratorio o un Proyecto Simple (Reproducibilidad)		
Superficies de asfalto de mezcla en caliente	53,66	209,2
Superficies de pavimento de asfalto de mezcla en caliente antiguo lijada antes de probar (punto 6.2.4)	83,94	327,42

MTC E 511

CALCULO DEL PORCENTAJE DE ASFALTO QUE ABSORBE EL AGREGADO EN UNA MEZCLA DE PAVIMENTOS ASFÁLTICO

1.0 OBJETO

- 1.1 Calcular la cantidad de asfalto que absorbe un agregado en una mezcla de pavimento asfáltico, expresado como porcentaje del peso agregado secado en horno de dicha mezcla. Este cálculo se basa en valores medidos de los componentes y en las propiedades de una mezcla de pavimento asfáltico secada al horno.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 La cantidad de asfalto que absorbe el agregado contribuye poco o nada a la durabilidad de un pavimento asfáltico en servicio, en no más que posiblemente proveer mayor resistencia al desprendimiento en presencia de agua.
- 2.2 El porcentaje de absorción de asfalto puede ser un indicador de los cambios que pueden ocurrir en la producción de mezcla en planta, durante el proceso de construcción.
- 2.3 El porcentaje de absorción de asfalto puede ser usado para calcular el porcentaje de vacíos de aire durante el diseño de mezcla asfáltica.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 4469: "Standard Practice for Calculating Percent Asphalt Absorption by the Aggregate in an Asphalt Pavement Mixture".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

- 4.1 Misceláneos.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Se utilizarán de los ensayos Marshall

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Determinar el porcentaje de asfalto que absorbe el agregado en una mezcla asfáltica a partir de una muestra de dicha mezcla preparada en el laboratorio, tomada de un pavimento u obtenido para control de calidad durante la construcción.
- 6.2 Establecer el porcentaje de asfalto que absorbe el agregado de una muestra de mezcla asfáltica secada al horno a partir de los valores de la muestra que han sido obtenidos de acuerdo con los siguientes métodos:
 - 6.2.1 MTC E-508 - Peso específico teórico máximo de la muestra de mezcla asfáltica secada en horno.
 - 6.2.2 MTC E-502 – Determinación del contenido de asfalto. Para las muestras de mezcla asfáltica obtenidas del control de calidad durante la construcción o tomado de un pavimento, determinar el contenido de asfalto de cada muestra por el método MTC E-502. Para muestras de mezcla asfáltica en caliente preparadas en el laboratorio, con agregado secado en horno, conforme al método de ensayo ASTM D-1560, HVEEM usar el contenido de asfalto que fue añadido durante la preparación de la muestra.
 - 6.2.3 MTC E-318 - Peso específico aparente del asfalto en la muestra de mezcla asfáltica.
 - 6.2.4 MTC E-205 Y MTC E-206, Peso específico de los agregados fino y grueso, respectivamente, incluidos en la mezcla asfáltica.
 - 6.2.5 MTC E-204 - Análisis granulométrico de los agregados, para establecer los porcentajes de agregado grueso y fino empleados ó recuperarlos a partir de una mezcla asfáltica y poder así promediar ponderadamente el peso específico aparente del agregado total, secado al horno,

que se encuentra en la muestra (según la ecuación dada en el cálculo del método MTC E-205).

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Mezclas de pavimento, cuyo contenido de asfalto es expresado como porcentaje del peso total de la muestra de la mezcla secada al horno:

- a) Cuando los valores de los resultados de los ensayos del numeral 6.2 están disponibles, calcúlese la absorción de asfalto, como porcentaje del peso secado al horno del agregado total en la muestra de mezcla asfáltica secada al horno, sustituyendo los valores pertinentes en la siguiente ecuación:

$$A_{ac} = 100 \left[\frac{P_{tac}}{100 - P_{ta}} + \frac{G_{ac}}{G_{ag}} - \frac{100G_{ac}}{(100 - P_{tac})G_{tm}} \right] \quad (1)$$

Donde:

- A_{ac} = Asfalto absorbido como porcentaje en peso del agregado secado al horno.
 P_{tac} = Contenido de asfalto como porcentaje en peso de la muestra total de mezcla asfáltica secada al horno.
 G_{ac} = Peso específico aparente del asfalto en la muestra de mezcla asfáltica.
 G_{ag} = Peso específico, promedio ponderado, del agregado total incluido en la muestra de mezcla asfáltica.
 G_{tm} = Peso específico teórico máximo de la muestra de mezcla asfáltica.

7.1.2 Mezclas de pavimento, cuyo contenido de asfalto se expresa como porcentaje en peso del agregado total, secado al horno, incluido en la muestra de mezcla asfáltica secada al horno:

7.1.2.1 Cuando los valores de los resultados de los ensayos del numeral 6.2 están disponibles, calcúlese la absorción de asfalto, como porcentaje del peso del agregado secado al horno, incluido en la muestra de mezcla asfáltica secada al horno, substituyendo los valores pertinentes en la siguiente ecuación:

$$A_{ac} = 100 \left[\frac{P_{aac}}{100} + \frac{G_{ac}}{G_{ag}} - \frac{(100 + P_{aac})G_{ac}}{100G_{tm}} \right] \quad (2)$$

Donde:

- P_{aac} = Contenido de asfalto como porcentaje del peso total del agregado secado al horno, incluido en la muestra de mezcla asfáltica secada al horno.

Los otros símbolos tienen el mismo significado dado en el numeral 7.1.1.

Nota 1. El porcentaje de absorción de asfalto se incrementa al aumentar el peso específico teórico máximo de una mezcla asfáltica, es menor al aumentar su contenido de asfalto, disminuye al aumentar el peso específico aparente del asfalto y disminuye al aumentar el promedio ponderado del peso específico aparente, secado al horno, del agregado total.

7.2 INFORME

7.2.1 Reportar la absorción de asfalto como un porcentaje del peso del agregado total seco al horno incluido en la muestra de mezcla asfáltica secada al horno, con aproximación al 0,1%. La precisión del valor reportado para el porcentaje de asfalto absorbido depende de la exactitud del valor promedio de cada uno de las cuatro variables que están incluidas en la ecuación (1) o ecuación (2).

7.2.2 Los errores de los valores medidos tienen una mayor influencia en el porcentaje de absorción de asfalto. La influencia de estos errores en el valor calculado del porcentaje de absorción de asfalto es ilustrado por los datos en el ítem X1.2.1 del Apéndice X1.



7.2.3 Informar el valor para cada una de las cuatro variables que hacen parte de las ecuaciones (1) y (2), de la siguiente manera:

- Peso específico teórico máximo de la muestra de mezcla asfáltica secada al horno.
- Contenido de asfalto, como porcentaje del peso de la muestra de mezcla asfáltica secada al horno (Ecuación 1), o contenido de asfalto, como porcentaje del peso del agregado total secado al horno, incluido en la muestra de mezcla asfáltica, secado al horno (Ecuación 2).
- Peso específico aparente del asfalto en la muestra de mezcla asfáltica.
- Promedio ponderado del peso específico aparente del agregado total secado al horno, incluido en la muestra de mezcla asfáltica secada al horno.

ANEXOS**(Información no obligatoria)****A1 MUESTRA DE CALCULOS****A1.1 MUESTRA DE CALCULOS PARA PORCENTAJE DE ABSORCION DE ASFALTOS**

A1.1.1 La utilidad y prejuicio de la Ecuación 1 y Ecuación 2 para la determinación del porcentaje de absorción de asfalto por el agregado en una muestra de mezcla asfáltica es ilustrado por la siguiente muestra de cálculo:

A1.1.2 Cálculo numérico.- Asuma lo siguiente:

- Peso específico teórico máximo de una mezcla asfáltica secada en horno = 2,501.
- Contenido de asfalto de una muestra de mezclas asfáltica secada al horno como porcentaje del peso total de la mezcla = 6,2 (para uso con Ecuación 1)
- Contenido de asfalto correspondiente a una muestra de mezclas asfáltica expresado como el porcentaje del peso total del agregado secado al horno.

$$= (6,2 / 93,8) \times 100 = 6,61 \text{ (para uso con la Ecuación 2)}$$

- Peso específico aparente del asfalto en la muestra de mezcla asfáltica = 1,015.
- Peso específico, promedio ponderado, del agregado total incluido en la muestra de mezcla asfáltica = 2,673.
- Cálculo Base – 100 cc de mezcla asfáltica para el peso específico teórico máximo.
- Peso de 100 cc de mezcla asfáltica = 250,1g
- Peso de asfalto = $(6,2/100) \times 250,1 = 15,51 \text{ g.}$
- Volumen de asfalto = $(15,51/1,015) = 15,28 \text{ cc.}$
- Peso del agregado = $(93,8/100) \times 250,1 = 234,59 \text{ g.}$
- Volumen de agregado = $(34,59/2,673) = 87,76 \text{ cc.}$
- Volumen de asfalto más volumen de agregado = $15,28 + 87,76 = 103,04 \text{ cc.}$

La diferencia entre 103,04cc y la original 100cc representa el volumen de asfalto absorbido dentro de los poros de las partículas del agregado individual:

Por consiguiente:

- Volumen de asfalto absorbido = $103,04 - 100 = 3,04 \text{ cc.}$
- Peso del asfalto absorbido = $3,04 \times 1,015 = 3,09 \text{ g.}$
- Porcentaje de absorción de asfalto = $(3,09 / 234,59) \times 100 = 1,32$

Nota A1.1 El cálculo de la muestra anterior empleó el contenido de asfalto expresado como porcentaje del peso secado en horno de la mezcla total. Un valor idéntico del porcentaje de absorción es obtenido cuando los cálculos están basados en el contenido de asfalto expresado como porcentaje del peso del agregado total secado en horno de la muestra de mezcla asfáltica.

A1.1.3 Sustitución en la ecuación 1:

$$\begin{aligned} A_{ac} &= 100 \left[\frac{P_{tac}}{100 - P_{ta}} + \frac{G_{ac}}{G_{ag}} - \frac{100G_{ac}}{(100 - P_{tac})G_{tm}} \right] \\ &= 100 \left[\frac{6,2}{93,8} + \frac{1,015}{2,673} - \frac{(100)(1,015)}{(93,8)(2,501)} \right] \\ &= 100(0,066 + 0,380 - 0,433) \\ &= 100(0,446 - 0,433) \\ &= 100(0,013) = 1,3\% \end{aligned}$$

A1.1.4 Sustitución en la ecuación 2:

$$\begin{aligned}A_{ac} &= 100 \left[\frac{P_{aac}}{100} + \frac{G_{ac}}{G_{ag}} - \frac{(100 + P_{aac})G_{ac}}{100G_{tm}} \right] \\&= 100 \left[\frac{6,61}{100} + \frac{1,015}{2,673} - \frac{(106,61)(1,015)}{(100)(2,501)} \right] \\&= 100(0,066 + 0,380 - 0,433) \\&= 100(0,446 - 0,433) \\&= 100(0,013) = 1,3\%\end{aligned}$$

Por consiguiente, por medio de las ecuaciones 1 o 2, el porcentaje de absorción de asfalto dentro de los poros de las partículas de agregado en una muestra de mezcla asfáltica puede ser determinado en cuanto a cada una de las cuatro variables que están incluidas en estas ecuaciones que se han evaluado.

MTC E 512

HUMEDAD O DESTILADOS VOLATILES EN MEZCLAS ASFALTICAS PARA PAVIMENTOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la cantidad de humedad o la cantidad de destilado volátil de petróleo en mezclas de pavimento bituminoso.

2.0 SIGNIFICADO Y USO

- 2.1 Este método de ensayo cubre la determinación, por medición directa, de la humedad o de las fracciones volátiles del asfalto en mezclas asfálticas para pavimentos.
- 2.2 Los valores expresados en unidades del S.I. son considerados como los estándares.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D244: "Test Methods and Practices for Emulsified Asphalts".
- 3.2 ASTM D979: "Practice for Sampling Bituminous Paving Mixtures".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 MATERIALES

- 4.1.1 Alambique metálico. Debe ser vertical y cilíndrico, de reborde superior plano, para ajustar herméticamente la cabeza por medio de una mordaza. La cabeza debe ser metálica, preferiblemente de cobre o latón, provista con un tubo de 25,4 mm de diámetro interior.
- 4.1.2 Condensador. Ha de ser del tipo de tubo de vidrio con agua de reflujo enfriada; su cubierta tendrá una longitud no menor de 400 mm y un tubo interno de 9,5 a 12,7 mm de diámetro externo. El extremo del condensador que se introduce en la trampa debe ser inclinado un ángulo de 30° desde el eje vertical del condensador. Para mezclas con solventes muy volátiles, es, necesario utilizar un condensador adicional, de aproximadamente las mismas dimensiones.
- 4.1.3 Trampa. Debe ser de vidrio templado y dependiendo del propósito del ensayo, puede ser de uno de los siguientes tipos:
- Para la determinación del agua en mezclas asfálticas para pavimentos deberá usarse una trampa de 10 a 25 mL de capacidad. La trampa deberá estar graduada con divisiones de 0,1 mL y un error máximo de 0,05 por debajo de 1 mL y con divisiones de 0,2 mL con un error máximo de $\pm 0,1$ mL sobre la medida de 1 mL, como lo especificado en la Tabla 1 y en la Figura 1, Figura 2, Figura 3 y Figura 4.
 - Para la determinación de la fracción volátil del asfalto, la trampa deberá cumplir con las dimensiones mostradas en la Figura 5.
- 4.1.4 Aparato calentador. Puede ser cualquier fuente satisfactoria de calor que mantenga una proporción de destilación de 85 a 95 gotas por minuto.

4.2 REACTIVOS

- 4.2.1 Solvente. Se prefiere un solvente aromático, para uso general, ya que tiene gran solvencia y poder dispersante para la mayoría de asfaltos. Se recomienda xileno, o una combinación de 20% de bencol y 80% de xileno. Para asfaltos y productos similares del petróleo, puede ser usado como solvente un destilado del petróleo, 5% de ebullición entre 90° y 100°, y 90% destilado por debajo de los 210 °C.

Tabla 1: Dimensiones y tamaños de Trampas

Tipo	Descripción			Figura	Tamaño de la Tapa, ml	Rango, ml	División de escala mínima, ml	Error máximo de escala, ml
	Parte superior del tubo graduado	Fondo del tubo graduado	Fondo del tubo de vapor					
A	Junta	Cónico	Junta	7	10	De 0 a 10	0,1	0,05
						Por encima de 1,0 a 10,0	0,2	0,1
B	Junta	Cónico	Junta	8				
C	Junta	Cónico	Junta	9	25	De 0 a 10	0,1	0,05
						Por encima de 1,0 a 25,0	0,2	0,1
D	Junta	Cónico	Junta	10	5	De 0 a 5,0	0,1	0,05
E	Junta	Cónico	Junta	11	10	De 0 a 10,0	0,1	0,1

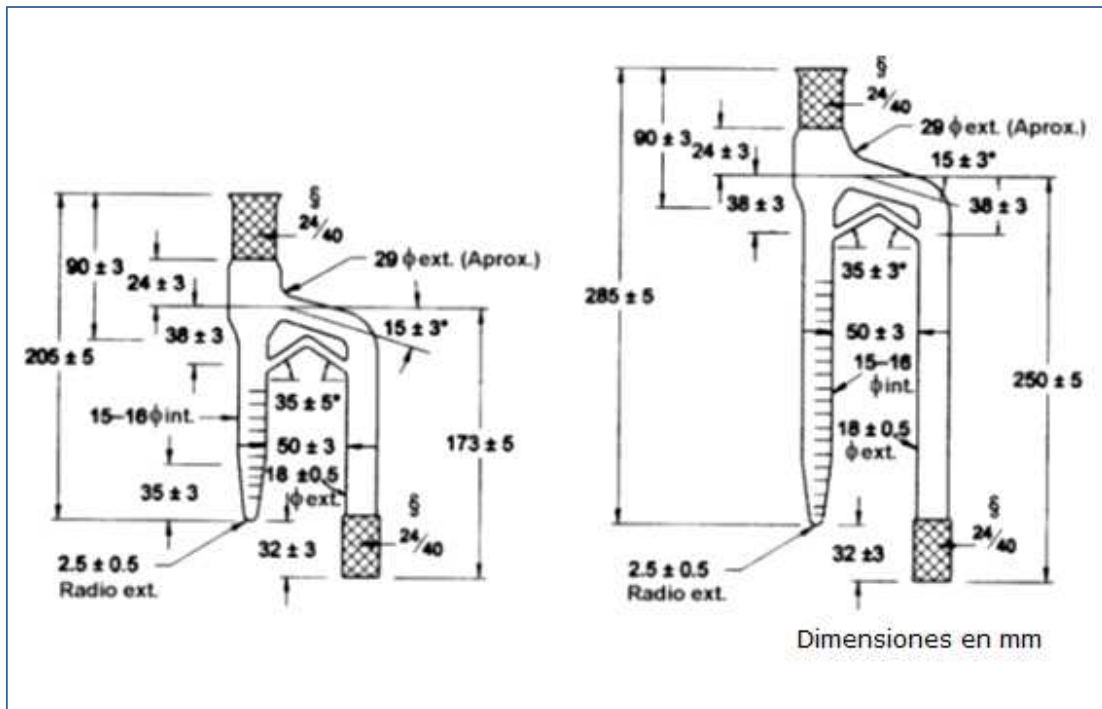


Figura 1. Trampa (Tipo A)

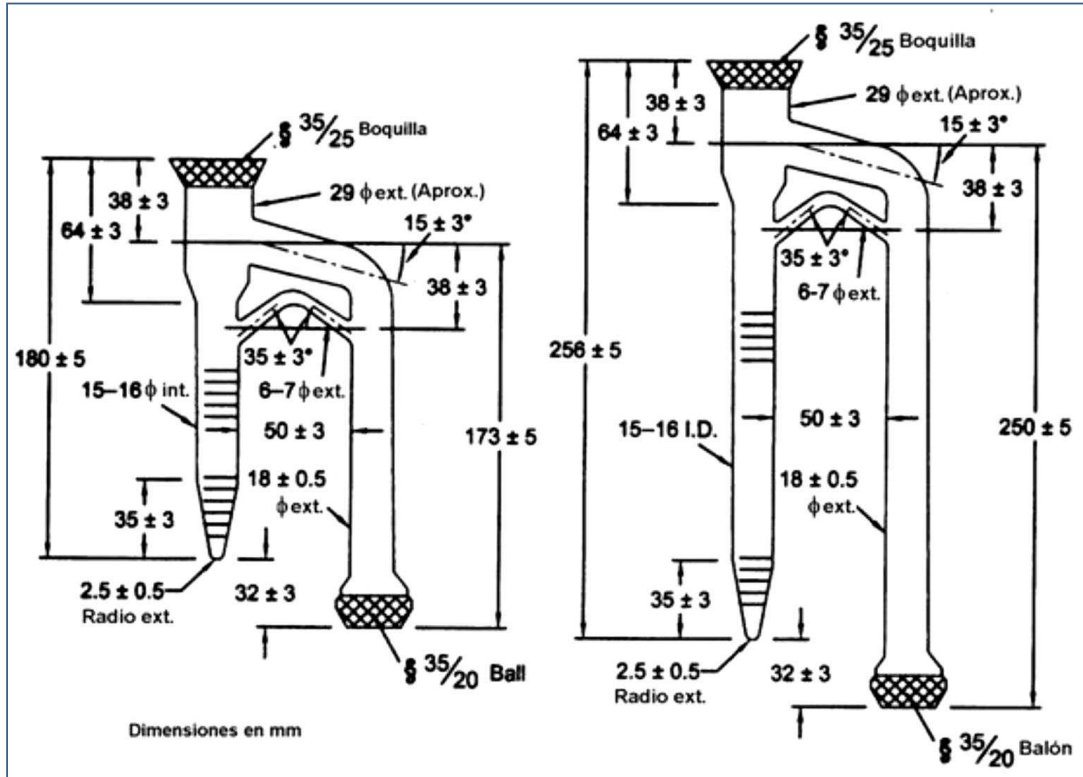


Figura 2. Trampa (Tipo B)

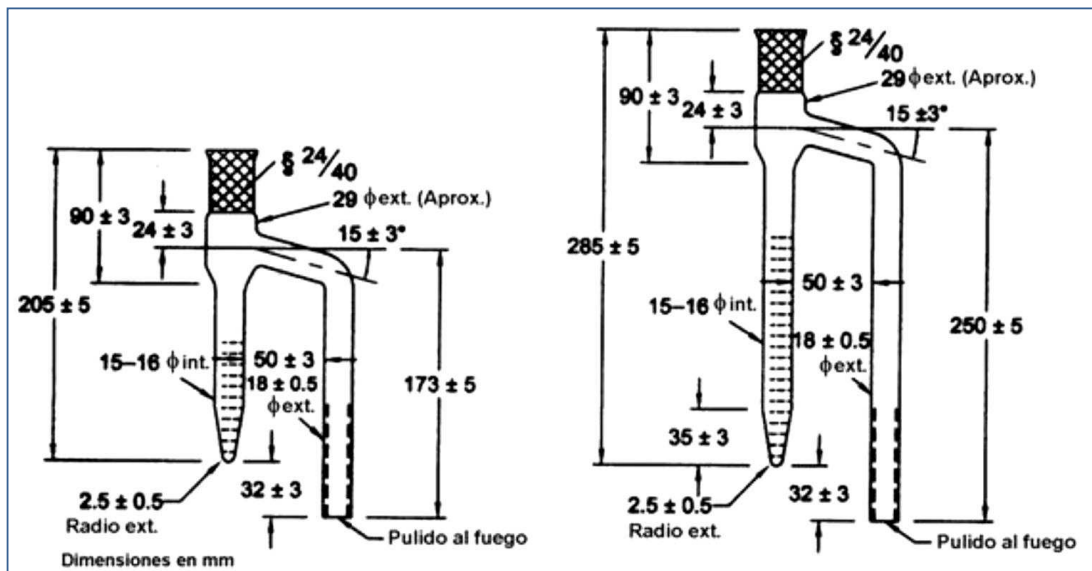


Figura 3. Trampa (Tipo C)

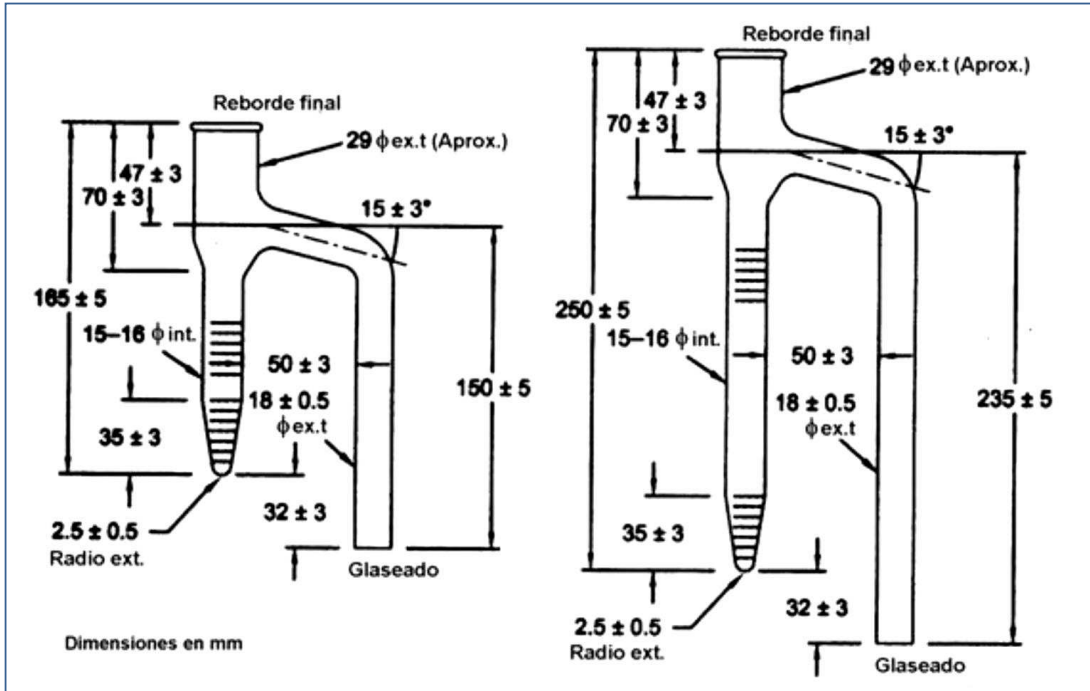


Figura 4. Trampa (Tipo D)

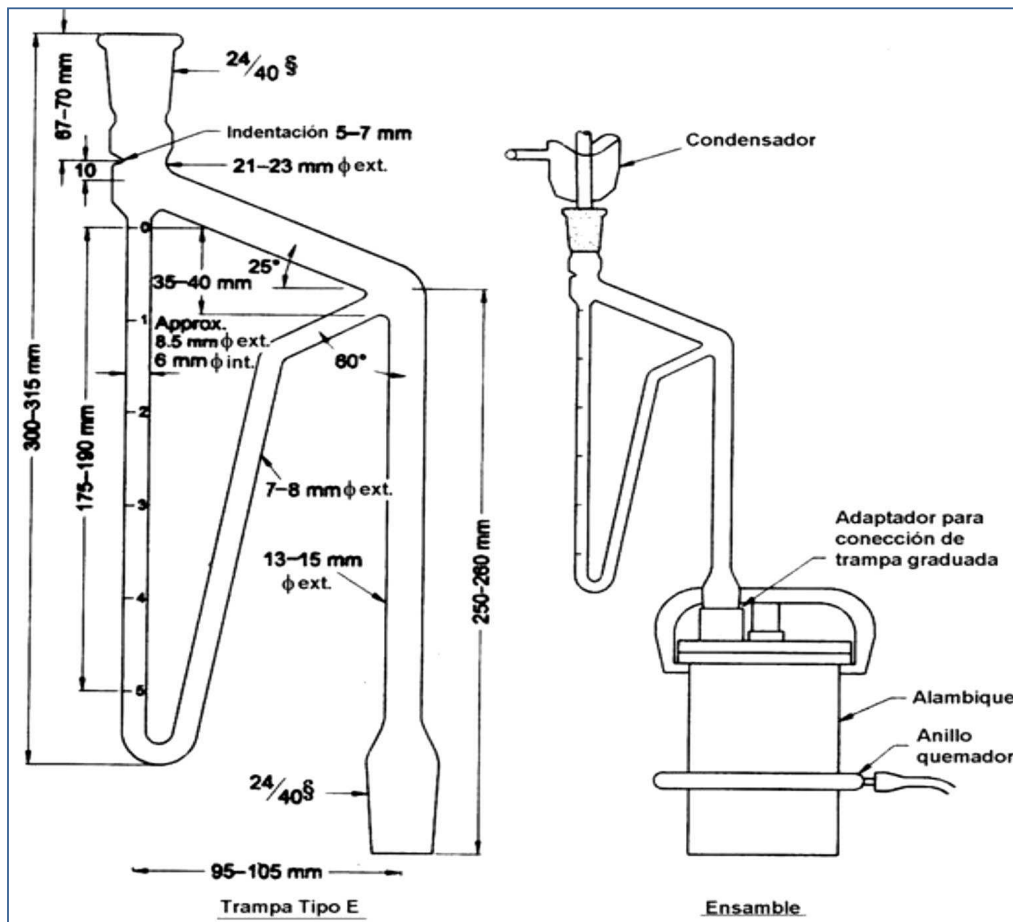


Figura 5. Aparatos para la determinación de fracciones volátiles del bitumen

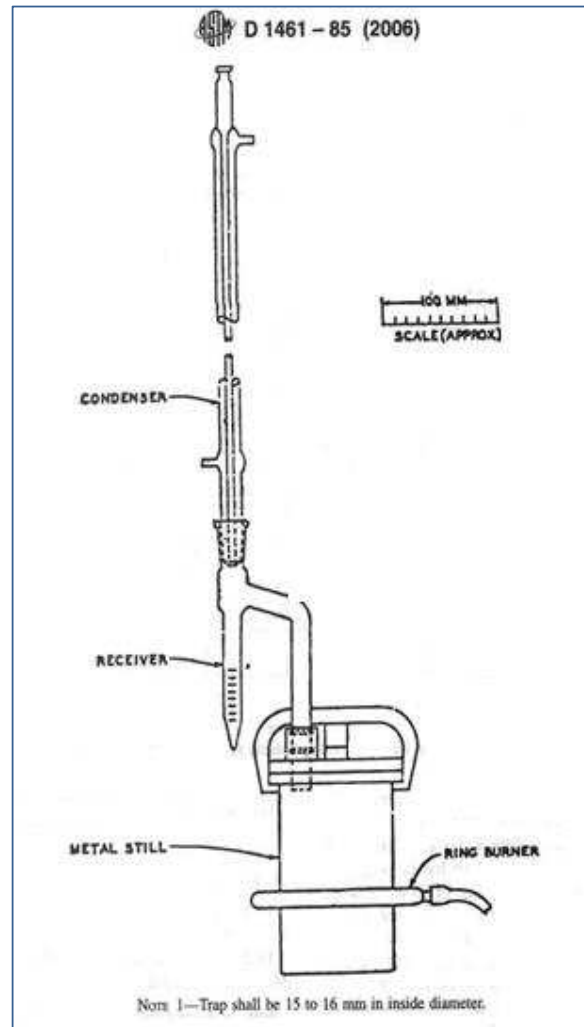


Figura 6. Ensamblaje típico con alambique metálico

Nota 1- La trampa será de 15 a 16 mm de diámetro interior

5.0 MUESTRA

- 5.1 El Muestreo se llevará a cabo de acuerdo con los procedimientos del método de ensayo D 979.
- 5.2 La muestra debe ser representativa del material y debe ser de tamaño tal, que prácticamente llene el recipiente en el cual es transportada al laboratorio. Para ensayos duplicados, es satisfactorio usar un recipiente de 1,9 litros.
- 5.3 Mezclar cuidadosamente la muestra y pesar una cantidad que se estime proporcionará un porcentaje de humedad o de diluyente que se encuentre dentro de la capacidad de la trampa. Guárdese el resto de la mezcla en su recipiente hermético. La muestra pesada debe ser preferiblemente no menor de 500 g para mezclas normales.

Disgregar cuidadosamente esta muestra para evitar la existencia de grumos y colocar en el alambique.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA HUMEDAD

- 6.1.1 Después de que la muestra haya sido colocada en el alambique, añadir 200 mL de solvente y agitar rápidamente.
- 6.1.2 Ajustar firmemente la cubierta del alambique y ensámblase la trampa y el condensador como se muestra en la Figura 6.
- 6.1.3 Aplicar calor de forma tal que el efluente comience a aparecer de 5 a 10 minutos después de comenzar a aplicarlo y que el solvente gotee dentro de la trampa a una proporción de 85 a 95 gotas por minuto. Continuar la destilación hasta que tres lecturas sucesivas de la trampa, a intervalos de 15 minutos, muestren que no hay incremento del agua condensada, pero en ningún caso el tiempo de destilación excederá las 1 ½ horas.
- 6.1.4 Dejar que el contenido de la trampa alcance temperatura ambiente y leer el volumen del agua en la trampa a la división más cercana. Registrar el volumen de agua en la trampa y calcular como porcentaje en peso de la muestra como lo descrito en 7.0.
- 6.2 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LOS DESTILADOS VOLATILES
- 6.2.1 Después de colocar la muestra en el alambique, añadir 350 mL de agua y aproximadamente 3 g de carbonato de sodio ($\text{Na}_2 \text{CO}_3$) y agitar rápidamente.
- Ajustar firmemente la cubierta y ensamblar la trampa y el condensador, exceptuando que la trampa utilizada sea la descrita en el numeral 4.1.3 para este caso.
- 6.2.2 Aplicar calor en forma tal que el agua y el solvente comiencen a condensarse entre los 5 y 10 minutos siguientes al comienzo de aplicación de calor y que el goteo se produzca a un velocidad de 85 a 95 gotas por minuto. En caso de que la muestra contenga una gran cantidad de solvente volátil, puede ser necesario añadir un segundo condensador enfriado y colocado sobre el primero o reducir un poco la producción de destilación para prevenir el escape del solvente.
- 6.2.3 Continuar la destilación hasta que tres lecturas sucesivas de los niveles superior e inferior del diluyente, a intervalos de 15 minutos, muestren que no hay incremento en la cantidad condensada. Remuévase entonces la fuente de calor y déjese reposar el aparato por ½ hora para permitir el enfriamiento y separación del solvente.
- 6.2.4 Registrar el volumen del diluyente en la trampa, calcular y reportar como porcentaje en peso de la muestra tomada, como lo descrito en 7.0. Usar la gravedad específica del diluyente a 25 °C.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcular el contenido de humedad como sigue:

$$\text{Agua, \%} = \frac{\text{Volumen de agua en trampa}}{\text{Peso de la Muestra}} \times 100$$

- 7.1.2 Calcular el destilado volátil como sigue:

$$\text{Diluyente \%} = \frac{C \times D}{B} \times 100$$

Donde:

- C = Volumen del diluyente (en la trampa)
D = Gravedad Específica del diluyente, a 25 °C.
B = Peso de la muestra.

7.2 INFORME

- 7.2.1 Reportar el contenido de humedad como agua, % en el peso, de acuerdo con 7.1.1.
- 7.2.2 Reportar el destilado volátil como el contenido de diluyente, % en peso, de acuerdo con 7.1.2.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISIÓN

- 8.1.1 Precisión para determinación de humedad – El siguiente criterio podría ser usado para juzgar la aceptabilidad de resultados (95% de probabilidad) cuando se usen las trampas de 10mL o 25mL.

- a) Repetitividad: Determinación de agua por duplicado de un mismo operador deberían considerarse sospechoso si estos difieren por más de las cantidades siguientes:

Agua colectada, mL

De 0 a 1,0	0,1 mL
De 1,1 a 25	0,1 mL o 2% de la medida, cualquiera sea el mayor.

- b) Reproducibilidad: Los resultados sometidos por cada 2 laboratorios deben ser considerados sospechosos si estos difieren por más de las siguientes cantidades:

Agua colectada, ml

De 0 a 1,0	0,2 mL
De 1,1 a 25	0,2 ml o 10% de la medida, cualquiera sea el mayor.

- 8.1.2 Precisión para la determinación de Destilados volátiles - La precisión de este método es obtenida por examinación estadística de resultados de prueba interlaboratorios, como sigue:

- a) Repetitividad - Determinaciones por duplicado de destilado volátil de un mismo operador deberían considerarse sospechoso si estos difieren por más de la 0,6 volumen %.
- b) Reproducibilidad - Los resultados sometidos por cada 2 laboratorios deben ser considerados sospechosos si estos difieren por más de 1,4 volumen %.

MTC E 513

RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE DE MEZCLAS ASFALTICAS

1.0 OBJETO

- 1.1 Medir la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas para usos con especímenes de lotes, mezclados, pesados y fabricados en laboratorio, como también mezclados y fabricados en planta.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 La fuerza de compresión de especímenes preparados y probados según este método de prueba junto con la densidad y vacíos son propiedades usadas por laboratorios mixtos indicados para mezclas bituminosas.
- 2.2 Este método de prueba también describe el método para moldear, curar y testigos de especímenes están evaluados por el Método de prueba MTC E 518.
- 2.3 Cuando se usa junto a otra mezcla las propiedades físicas en la resistencia a la compresión puede contribuir a la caracterización de la mezcla global y puede ser un factor que determina su conformidad por el uso bajo las condiciones dadas de carga y el material de pavimento de la carretera como del medio ambiente.
- 2.4 se dan los valores típicos mínimos de resistencia a la compresión para el diseño de mezclas bituminosas por este método de prueba para las densidades de tráfico diferentes.
- 2.5 Permisiblemente recalentar esta mezcla en este método de prueba, pero el resultado de la resistencia a la compresión serán más altos que para las mezclas recientemente preparadas debido al cambio en la viscosidad del cemento, un elemento de la resistencia a la compresión simple es medido bajo estas condiciones cargadas y temperatura. Ver Nota 1.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 1074: "Standard Test Method for Compressive Strength of Bituminous Mixtures"

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Moldes - Tolerancia de diámetro, el molde tendrá la altura suficiente de fabricación permitida de 101,6 por 101,6 mm el espécimen. Tendrá un diámetro interior de 101,6 a 101,73 mm y un espesor nominal de 6,4 mm.
- 4.1.2 Pistón - Los pistones, atravesaran el molde libremente y tendrán un diámetro de 1,27 mm del molde dentro del diámetro. Los pistones pueden ser sólidos, hueco, u otra estructura tan largo cuando los fines son por lo menos 12,7 mm espesor y esta a un ángulo recto a la pared del molde. El pistón del fondo será 50 ± 4 mm alto pero el pistón superior puede ser cualquier altura conveniente.
- 4.1.3 Los especímenes de otra manera que 101,6 por 101,6 mm los moldes y los pistón es por fabrica del tamaño estos especímenes se permiten de acuerdo con sección 6.
- 4.1.4 Soportes - los soportes temporales para los moldes del espécimen consistirán en dos, 25,4 \pm 3,1 mm justo y una longitud mínima de 76,2 mm.
- 4.1.5 Máquina de prueba - la máquina de prueba debe ser de cualquier tipo de capacidad suficiente que proporcionara un rango de proporciones exactamente controlables de deformación vertical. Desde la proporción de deformación vertical para la prueba de condensación se especifica como 0,05 mm/min de altura del espécimen, y puede ser necesario probar especímenes que van en el tamaño de 50,8 por 50,8 mm a quizás 203,2 por 203,2 mm para mantener la proporción mínima especificada de diámetro del espécimen al tamaño de la partícula, la máquina de prueba debe tener un rango de velocidades controladas que cubren

- 2,5 mm por lo menos (0,1 pulg)/min para el 50,8 mm. Los especímenes a 10,2 mm para el 203,2 mm. La máquina de prueba conformara los requisitos de la práctica E 4. La máquina de prueba se equipara con dos bloques de acero productivos con caras endurecidas uno de los cuales se instalan esféricamente y la otra llana. El bloque esférico instalado se montara al sostener en la superficie superior del espécimen de prueba y el bloque llano descansara en la platina de la máquina de prueba para formar el puesto para el espécimen. El sostén frontal de los platos tendrán un diámetro ligeramente mayor que de los especímenes mas grandes para ser pruebas. El sostén frontal, cuando nuevamente, no partirá de un verdadero plano por más de 0,0127 mm a cualquier punto y se mantendrá dentro de un límite de la variación permisible de 0,025 mm en el bloque esféricamente instalado, el centro de la esfera coincidirá con el centro de sostén frontal. La parte móvil se de este bloque se sostendrá estrechamente en el instalado esférico, pero el plan será tal que el sentido frontal puede girarse libremente y puede inclinarse a través de los ángulos pequeños en cualquier dilección.
- 4.1.6 Horno - el uso del horno en la preparación de materiales o recalentado de mezclas serán controlables dentro de ± 3 °C de cualquiera la temperatura específica sobre el ambiente será 200 °C.
- 4.1.7 Plato calentador - un plato calentador pequeño equipado con un reóstato que proporciona calor suficiente bajo el fondo manteniendo el material agregado y bituminoso a la temperatura deseada se mantendrá durante la mezcla
- 4.1.8 Baño de agua caliente u Horno - un baño de agua u horno suficientemente grande para retener allí el conjunto de moldes y pistones. Si el baño de agua no tiene un mando de temperatura interior, un plato calentador de capacidad suficiente con un mando para mantener el baño de agua a una temperatura solo bajo el punto de ebullición se requerirá. El horno será capaz de mantener el una temperatura de entre 93,3 a 135 °C.
- 4.1.9 Baño elevado - el baño elevado será capaz de mando manual o automático para guardar los especímenes a $25 \pm 0,5$ °C inmediatamente antes de hacer la prueba de condensación.
- 4.1.10 Balanza - balanza o equilibrio de acuerdo a los requisitos de la especificación D 4753 se mantendrá como apropiado la masa de la muestra.
- 4.1.11 Maquina mezcladora - el mezclado mecánico es preferible sobre un mezclado a mano. Cualquier tipo de mezclador puede usarse, con tal de que pueda mantenerse al mezclar la temperatura requerida y producir una mezcla homogénea bien cubierta del tamaño requerido en dos minutos o menos, y con tal de que el diseño tenga disturbaciones de las hojas al mínimo y cada lote individual puede recuperarse en su integridad esencialmente incluso el asfalto y finos. La mezcla manual es aceptable, necesario, pero para la mezcla caliente el tiempo exigido obtener la capa satisfactoria es a menudo excesivo y generalmente los resultados de la prueba son menos uniforme que cuando es empleado en mezclado mecánico.
- 4.1.12 Las espátulas - una espátula flexible para raspar el fondo mezclando y una espátula tiesa para zanjear el espécimen en el molde

5.0 MUESTRA

- 5.1 Limitar el tamaño de lote individual de la cantidad requerida para un espécimen de prueba.
- 5.2 Una mezcla inicial de un lote para el propósito de "mezclado" la mezcla con agitador profundo. Vaciar esta lote después mezclado y limpio del fondo y a la orilla y agitándola mezcla residual por raspado con una pequeña espátula flexible. No limpiar con paño ni limpiar con solvente, excepto cuando cambie de asfalto o haya terminado una corrida.
- 5.3 Moldear un espécimen de prueba en orden para determinar el correcto peso del material para producir un espécimen de un punto deseado. Use la inicial o "mezclado" el lote para el propósito, si desea
- 5.4 Los ingredientes de muestras de agregado se obtendrán de acuerdo con la Práctica MTC E 201 y reducido a un apropiado tamaño de la práctica MTC E 105 cuando los agregados son

preparados para un lote, cada ingrediente reducido de la muestra serán separados dentro de la deseada fracción de tamaño en acuerdo con el método de prueba C 136. Agencia de practica especificando que los siguientes tamices serán utilizados para deducir las fracciones deseadas: 50,0 mm; 37,5 mm; 25,0 mm; 19,0 mm; 12,5 mm; 9,5 mm; 4,75 mm; 2,36 mm, y 2,00 mm (2 pulg, 1 ½ pulg, 1 pulg, ¾ pulg, ½ pulg, ⅜ pulg, N° 4, N° 8, N° 10). El diseño de mezcla, de la fórmula de mezcla de trabajo u otro control será utilizado para combinar el peso apropiado de cada tamaño, de cada ingrediente agregado para obtener la apropiada graduación y peso de la tanda, y para determinar una apropiada masa de bitumen utilizada para cada espécimen. Una representativa muestra de bitumen como esta obtenido en acuerdo con la practica D 140 desde una representativa provisión de material. La relación temperatura versus viscosidad cinemática del bitumen compromete mandar la temperatura estando usando para preparar el concreto asfáltico de la prueba del espécimen. La temperatura de mezcla es la temperatura producida esta viscosidad de $170 \pm 20 \text{ mm}^2/\text{s}$ ($170 \pm 20 \text{ cSt}$). La temperatura de compactación es la temperatura que está produciendo una viscosidad de $280 \pm 30 \text{ mm}^2/\text{s}$ ($280 \pm 30 \text{ cSt}$). El agregado está calentándole no muy caliente que $28 \text{ }^\circ\text{C}$ por encima de la temperatura de la mezcla de permitir para la mezcla pobre antes en el cemento asfáltico. La temperatura del mezclado y compactado son normalmente disponible del propio bitumen; sin embargo, este puede estar determinada con pruebas del cemento asfáltico para viscosidad cinemática en acuerdo con el Método de Prueba D 2170 o viscosidad rotatorio en conformidad con el Método de Prueba D 4402 a dos temperaturas y graficas trazos mostrando las temperaturas y viscosidades correspondientes por cada de dos puntos. Temperaturas de $135 \text{ }^\circ\text{C}$ y $163 \text{ }^\circ\text{C}$ son convenientes para muchos grados de asfaltos; sin embargo, otras temperaturas pueden estar más apropiadas para algún grado de asfalto. El grafico Viscosidad-Temperatura emplea en el grafico trazos están como describe en gráficos D 2493. Mayor precisión es derivada por seleccionar esos rangos cubren un amplio rango de temperaturas

Nota 1. Cementos asfálticos modificados pueden no adherirse en los rangos aquí-viscosos anotados en 5.4. El uso debe referirse en el cemento asfáltico fabricado en establecimientos apropiados mezclados y compactados en rangos de temperatura. En ningún caso debe de mezclarse a temperaturas exceda $175 \text{ }^\circ\text{C}$.

- 5.5 Caliente el fondo y lote para agregar en un horno junto al requerimiento para 4.4 para una temperatura que cumpla con la temperatura del agregado en 5.4. Este resultado en una aceptable temperatura después mezclar seco. Con el fondo para descansar en la balanza, rápidamente verter la prescrita masa para calentar el cemento asfáltico sobre el agregado caliente e inmediatamente mezcle el cemento asfáltico en el agregado con mínimo "acción ventilado". Este envase esta realizado con una larga cuchara con rodar el material de perímetro hacia al centro para juntar agregados máximos y asfaltos y juntar hasta minimizar el asfalto hasta el fondo. La mezcla debe estar completa en menos de 90 a 120 s, durante este tiempo la temperatura debe tener suelta a aproximadamente, ente 3 a 5 $^\circ\text{C}$ sobre la temperatura compacta. Si el contador cubierto es metálico, un aislador semejante como papel puede estar usado para reducir la velocidad de refrigerar. Si el material tiene levemente recalentar la mezcla. Debe prevenirse esta práctica para evitar excesivo calentamiento al material así como para prevenir causar un aumento en la viscosidad para la película delgada del cemento asfáltico del agregado revestido.
- 5.6 Mezclas de pavimentos bituminosos deben ser probado de acuerdo con Práctica MTC E 501 y reducir para ligeramente más de requerir para la fabricación del espécimen. El tamaño reducido debe estar en acuerdo con la Practica MTC 105. Entonces la masa de la muestra reduce cualquiera estos ajustes del requerimiento de masa con eliminar y suprimir una pequeña cantidad de mezcla. Debe cuidarse estas prácticas para eliminar ambos buenos y ásperos partículas para mantener apropiada gradación. Coloca las mezclas pesando dentro apropiado envase y calor en el horno para la mezcla temperada proveída en 5.4 para el asfalto representado en la mezcla. Completamente mezcle la mezcla hasta la temperatura

es 3 a 5 °C sobre la temperatura compactada. Esto determina en la mezcla tener en la temperatura de compactación cuando empiece la compactación. Puede compactarse comenzando inmediatamente; o el material puede estar dentro colocando en un horno para un corto tiempo para permitir además una manipulación eficiente para múltiples muestras. Sin embargo, una muestra debe no permanecer en el horno más de 1 h.

PRUEBA CON ESPECIMENES

- 5.7 Generalmente, el espécimen de prueba debe ser cilíndrico 101,6 mm de diámetro y $101,6 \pm 2,5$ mm de altura. Esto es reconocido que el tamaño para espécimen de prueba hace una influencia en el resultado para la prueba de resistencia a la compresión. Especímenes cilíndricos a otras dimensiones de 101,6 mm son aceptables cuando:
 - 5.7.1 La altura debe estar igual al diámetro dentro de 2,5 %.
 - 5.7.2 El diámetro debe ser no menos que 4 veces al diámetro nominal para la partícula grande del agregado.
 - 5.7.3 El diámetro debe ser no menor que 50,8 mm.
 - 5.7.4 La unidad frecuente para deformación debe mantenerse estando constante durante la prueba de compresión

6.0 PROCEDIMIENTO

MOLDEADO Y COMPACTADO

- 6.1 Limpie los moldes y pistones con un paño limpiador que tenga pocas gotas para engrasar en estos. Completamente el material de mezcla, mantener a una temperatura ligeramente sobre (3 a 5 °C) la temperatura de compactación, no está listo para transferir dentro el molde para compactación. Cuando luego este material tiene ser completamente mezclado y tiene que llegar una temperatura dentro del rango especificado, poner aproximadamente $\frac{1}{2}$ para la mezcla en el molde cilíndrico que, junto con el tope y fondo pistones, se ha precalentado para por lo menos 1 h en el baño de agua manteniendo a una temperatura bajo simplemente el punto de ebullición o precalentado para por lo menos 2 h en un horno mantenidos a una temperatura entre 93,3 y 135 °C. El pistón del fondo en el lugar y el moldeado cilíndrico apoyando en las dos barras de apoyo de acero, mezcla vigorosamente con la pala 25 veces con una espátula caliente con 15 golpes repartidos alrededor del perímetro del molde para reducir los vacíos y material excedente, los 10 restantes aleatorios sobre la mezcla.

Nota 2. Laboratorio preparan muestras de acuerdo a este método de prueba puede producirse diferencia de resultados de ensayo, semejante como valores de resistencia a compresión y porcentajes de vacíos de aire, cuando compara estos resultados obtenidos de recalentamiento de muestras de campo debido al efecto de tiempo de curado adicional en la absorción de material bituminoso por el agregado en la muestra del campo.

- 6.2 Rápidamente transfiera la mitad restante de la mezcla al moldeado cilíndrico y repita una acción cavando con el removedor similar. Penetre la mezcla tan profundamente como posible con la espátula. Una espátula que tiene una sección cruzada ligeramente encorvada se ha usado para esto por algunos laboratorios. La cima de la mezcla debe redondearse ligeramente o forma-cono para ayudar en empresa que sienta del pistón superior.
- 6.3 Comprima la mezcla entre la cima y el pistón del fondo bajo una carga inicial de sobre 1 MPa (150 psi) para fijar la mezcla contra la orilla para el molde. Elimine el exceso obstruido para permitir el llenado doble-acción y aplicar con el pistón la carga entera amoldando de 20,7 MPa (3000 psi) por 2 min. Cuando especímenes son para estos ensayos de acuerdo con Método de prueba MTC E 518 por pérdidas para fuerzas resultantes de la acción del agua, el carga normal de moldeado a 20,7 MPa (3000 psi) puede estar aumentando o decreciendo para lograr un determinado proporción de vacíos de aire o densidad por ciento.
- 6.4 Quite el espécimen del molde con un dispositivo de evacuación que mantenga una proporción lisa, mover uniformemente la cabeza de eyección.

- 6.5 Después remover desde el molde, horno-curado especímenes 24 h a 60 °C En caso en que los especímenes son estos guardados seco por más de 24 h completo curado en el horno de curado para muestras de compresión, proteger estos de la exposición del aire al sellar ellos en recipiente hermético estrechamente adecuado.

COMPRESION

- 6.6 Dejar el espécimen de prueba para refrescar en cuarto temperado por lo menos 2 h después de retirado del horno de curado; ellos determinan la gravedad específica de volumen a cada espécimen de acuerdo con el procedimiento y cálculos a números de párrafos 7.2 y 8.1 respectivamente, para Método de prueba MTC E 514.
- 6.7 Poner los especímenes de prueba a la temperatura de prueba 25 ± 1 °C, guardándolo en un baño ventilado manteniéndolo a la temperatura de prueba no menor de 4 h.
- 6.8 Pruebas de especímenes en compresión axial sin soportes laterales a una velocidad uniforme para deformación vertical a 0,05 mm/min*mm de altura. Para especímenes 101,6 mm de altura, usando una velocidad de 5,08 mm/min.
- 6.9 La gravedad específica teórica y densidad como está determinado en el Método de Prueba MTC E 508, o por cualquier otro Método de Prueba apropiada por la Agencia involucrada. Si el Método de Prueba MTC E 508 es usado, una muestra de la mezcla preparada pero no moldeado y compactado puede ser usada.
- 6.10 Calcular el porcentaje de vacíos de aire en cada espécimen en acuerdo con el Método de Prueba MTC E 505.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME

- 7.1.1 La gravedad específica de volumen, gravedad específica teórica máxima, densidad, y porcentaje de vacíos de aire del espécimen.
- 7.1.2 La resistencia de compresión en Kilopascal (lb/pulg²), determinando por división la máxima carga vertical obtenida durante la deformación en la proporción especificada en la sección 8, por el original superficie sección-transversal del espécimen de prueba. No menos que especímenes deben estar preparados para cada asfalto incrementado y el promedio de los tres deben estar reportados como la resistencia a la compresión.
- 7.1.3 La altura nominal y diámetro del espécimen de prueba

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 Precisión de un solo operador, la desviación estándar de un solo operador de un único resultado de prueba (donde un resultado de prueba es, definido como en este método de prueba, el promedio de un mínimo de tres distintas resistencias a la compresión) tiene que encontrarse hallado estos 145 kPa (ver Nota 3). Por consiguiente, resultados de dos pruebas propiamente dirigidas (cada uno que consiste en el promedio de un mínimo de resistencias a compresión individuales) en el mismo laboratorio sobre el mismo material por el mismo operador no debe diferir por más de 407 kPa y el rango (entre superiores e inferiores diferentes) de la individual medición usada en cálculos del promedio debe no exceder 841 Kpa (ver Nota 4).

Nota 3. Estos números representan, respectivamente, el (1s) y (d2s) limites tal como describe en Práctica ASTM C 670.

Nota 4. Cálculos tal como descritos en Práctica ASTM C 670

- 8.1.2 Precisión de Multilaboratorios, la desviación estándar de un Multilaboratorio de un único resultado de prueba (donde el resultado de prueba es, tal como definido en este Método de Prueba, el promedio de un mínimo de tres distintos resistencias a la compresión) esta tiene



hallado esta 372 kPa (ver Nota 3). Por consiguiente, resultados de dos pruebas propias halladas (consiste cada de un mínimo de tres resistencia a compresión individual) en diferentes laboratorios en el mismo material debe no diferir por más de 1055 kPa.

8.2 DISPERSION

8.2.1 Este Metodo de prueba no tiene dispersión porque la resistencia a compresión de mezclas bituminosas es definido solo en términos del Método de Prueba.

MTC E 514

PESO ESPECIFICO APARENTE Y PESO UNITARIO DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS EMPLEANDO ESPECÍMENES SATURADOS CON SUPERFICIE SECA

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el peso específico aparente y el peso unitario de especímenes de mezclas asfálticas compactadas, para emplearse únicamente con mezclas asfálticas compactadas de granulometría densa o que prácticamente no sean absorbentes.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método de prueba no debería ser usado con muestras que contengan vacíos abiertos ó interconectados ó que absorban más de 2% de agua por volumen ó ambos como se determina en 6.1.
- 2.2 Este método es útil para calcular el porcentaje de vacíos de aire como se indica en la norma MTC E 505-2010, así como para calcular la compactación y el peso unitario de mezclas Asfálticas densas compactadas.
- 2.3 Como el peso específico es adimensional, es necesario convertirlo a peso unitario para los cálculos que requieran unidades. Esta conversión se efectúa multiplicando el peso específico a una temperatura dada, por el peso unitario del agua a la misma temperatura

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 2726: "Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non Absorptive Compacted Bituminous Mixtures".

4.0 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza, con capacidad adecuada y sensibilidad suficiente para que los pesos específicos aparentes de los especímenes puedan calcularse al menos con tres cifras significativas. Deberá estar provista de un dispositivo de suspensión adecuado que permita pesar el espécimen, cuando ésta suspendido del centro del platillo de la balanza.
- 4.1.2 Baño con agua para inmersión del espécimen mientras se halle suspendido de la balanza, provisto con un rebosadero para mantener el agua a un nivel constante.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Los especímenes pueden ser de cualquier mezcla bituminosa moldeada en laboratorio o de pavimentos bituminosos. Obténganse las muestras de acuerdo con el método MTC E501.
- 5.2 Los especímenes para ensayo pueden provenir de mezclas asfálticas compactadas en el laboratorio o de pavimentos asfálticos construidos.
- 5.3 Se recomienda que el diámetro de los especímenes cilíndricos moldeados o sacados de núcleos, o la longitud de los lados de especímenes cortados con sierra, sean iguales al menos a cuatro veces el tamaño máximo del agregado y que el espesor de los especímenes sea al menos de una y media veces el tamaño máximo del agregado.
- 5.4 La extracción de los especímenes tornados del pavimento construido deberá hacerse con taladro saca núcleos, sierra de diamante o de carburo de silicio, o mediante otros métodos apropiados.
- 5.5 Deberá tenerse cuidado de evitar distorsiones, pandeos o agrietamiento de los especímenes durante y después de su remoción de los pavimentos o del molde. Los especímenes deberán almacenarse en un sitio frío y seguro.
- 5.6 Los especímenes deberán estar libres de materiales extraños tales como los de las capas de sello, o de liga, materiales de fundación, papeles u hojas.

- 5.7 Si se desea, los especímenes pueden separarse de las restantes capas de pavimento aserrándolos o mediante otros métodos adecuados.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Para especímenes que contienen humedad:

6.1.1 Peso del espécimen en agua. Sumérgase el espécimen en un baño con agua a 25 °C de 3 a 5 minutos y pésele luego en el agua. Llámese a este peso C. Si la temperatura del espécimen difiere de la del baño en más de 2 °C el espécimen deberá sumergirse en el baño entre 10 y 15 minutos.

6.1.2 Mídase la temperatura del agua y si fuere diferente de 25 ± 1°C deberá hacerse una corrección al peso específico aparente de acuerdo con el numeral 7.1.3.

6.1.3 Peso en el aire del espécimen saturado con superficie seca. Séquese rápidamente la superficie del espécimen con una toalla húmeda y pésele luego en el aire. Llámese B a este peso.

6.1.4 Peso del espécimen secado al horno. Séquese el espécimen hasta peso constante en un horno aproximadamente a 110 ± 5 °C (son generalmente suficientes entre 15 y 24 horas). Déjese enfriar el espécimen y pésele en el aire. Désígnese este peso como A.

- 6.2 Para especímenes que contienen humedad y disolventes:

6.2.1 Peso del espécimen en agua. Sumérgase el espécimen en agua a 25 °C durante 3 a 5 minutos y pésele luego en agua. Désígnese este peso como C. Mídase la temperatura del agua y si fuera diferente de 25 ± 1 °C deberá hacerse una corrección al peso específico aparente con respecto a 25 °C de acuerdo con el numeral 7.1.3.

6.2.2 Peso en el aire del espécimen saturado con superficie seca. Séquese rápidamente la superficie del espécimen con una toalla húmeda y pésele luego en el aire. Llámese B este peso.

6.2.3 Peso en el aire del espécimen completamente seco. Sométase inmediatamente el espécimen saturado con superficie seca al procedimiento de la norma MTC E 512, para la determinación del contenido de agua, empleando una porción representativa si el espécimen completo es aún demasiado grande. Désígnese como A al peso B menos el peso del contenido de agua determinado.

- 6.3 Para especímenes completamente secos:

6.3.1 Peso en el aire del espécimen seco. Pésele el espécimen después de que haya permanecido al aire a temperatura ambiente, por lo menos durante 1 hora llámese a este peso.

6.3.2 Peso del espécimen en agua. Sumérgase el espécimen en un baño con agua a 25 °C entre 3 y 5 minutos y pésele luego en el agua. Désígnese a este peso como C.

6.3.3 Mídase la temperatura del agua y si fuera diferente de 25° ± 1 °C deberá hacerse una corrección al peso específico aparente con respecto a 25 °C de acuerdo con el numeral 7.1.3.

6.3.4 Peso en el aire del espécimen saturado con superficie seca. Séquese rápidamente la superficie del espécimen con una toalla húmeda y pésele luego en el aire. Llámese B a este peso.

7.0 CALCULOS E INFORME

- 7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcúlese el peso específico aparente del espécimen en la siguiente forma:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(B - C)}$$

Donde:

A = Peso del espécimen seco en el aire, g.

B-C = Peso del volumen de agua correspondiente al volumen del espécimen a 25 °C.

B = Peso en el aire del espécimen saturado con superficie seca, g.

C = Peso del espécimen en agua, g

7.1.2 El peso específico aparente del espécimen a 25 °C puede calcularse a partir del peso específico aparente del espécimen medido a cualquier temperatura con la siguiente forma: Peso específico aparente a 25 °C = K x peso específico aparente determinado a otra temperatura cualquiera, donde la constante K es determinada de acuerdo con la Tabla 1.

7.1.3 El cálculo es válido para la precisión del método de ensayo, si la temperatura del agua difiere de 25 °C en menos de 3 °C. Para una diferencia de temperatura mayor de 3 °C, deberá hacerse una corrección al peso del agua desalojada, de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$\text{Corrección} = DT \times K_s \times (B - C)$$

Donde:

AT = 25°C (temperatura del baño de agua).

Ks = 6×10^{-5} mL/mL/°C coeficiente promedio de la expansión térmica cúbica de concreto asfáltico.

7.1.4 Calcúlese el peso unitario del espécimen así:

$$\text{Peso unitario} = \text{Peso específico aparente} \times 997,0$$

Donde:

$$997,0 = \text{Peso unitario del agua en kg/m}^3 \text{ a } 25 \text{ }^\circ\text{C} (0,9970 \text{ g/cm}^3).$$

7.2 INFORME

7.2.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

- Peso específico aparente a 25°C (expresado con 3 cifras diferentes).
- Peso unitario a 25 °C (expresado con 4 cifras significativas)
- Tipo de mezcla.
- Tamaño del espécimen.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 Determinaciones de la gravedad especifica efectuada apropiadamente por:

Precisión	1s límite	d2s limite
Precisión de un solo operador		
12,5 mm agregado máximo nominal	0,008	0,023
19,0 mm agregado máximo nominal	0,013	0,037
Precisión Interlaboratorio		
12,5 mm agregado máximo nominal	0,015	0,042
19,0 mm agregado máximo nominal	0,015	0,042

MTC E 515

CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE

1.0 OBJETO

- 1.1 Describir el procedimiento para la determinación del valor de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas empleando la máquina de Los Ángeles.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El procedimiento se puede emplear tanto en el proyecto de mezclas en laboratorio, como para el control en obra de las mismas.
- 2.2 Se aplica a las mezclas asfálticas en caliente, a las mezclas porosas o de granulometría abierta, cuyo tamaño máximo sea inferior a 25 mm.
- 2.3 El ensayo permite valorar directamente la cohesión, trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 Norma Técnica Española NLT 352: "Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo de cántabro de pérdida por desgaste".

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Equipo de compactación. Formado por el molde, collar, placa de base y maza de compactación, que emplea el ensayo de Marshall.
- 4.1.2 Máquina de Los Ángeles. La máquina para ensayo de desgaste de Los Ángeles tendrá las características indicadas en la norma MTC E 207.
- 4.1.3 Termómetros. Para medir las temperaturas de los agregados, ligante y mezcla asfáltica, se emplearán termómetros metálicos, con escala hasta 200 °C y sensibilidad de 3 °C. Para la medida de la temperatura a la que se realiza el ensayo, se utilizará un termómetro con escala 0 a 40 °C y sensibilidad de 0,5 °C.
- 4.1.4 Balanzas. Una balanza de 2 kg de capacidad y 0,1 g de sensibilidad para pesar las probetas y otra de 5 kg de capacidad y 1 g de sensibilidad para la preparación de las mezclas.
- 4.1.5 Cámara termostática. Para mantener constante la temperatura durante el ensayo, se deberá disponer de una cámara o recinto capaz de alojar la máquina de Los Ángeles y en la que la temperatura de ensayo pueda regularse con un error máximo de ± 1 °C.
- 4.1.6 Material general. Bandejas, recipientes, espátulas, guantes de amianto, lápices grasos, cogedores curvos, discos de papel de filtro, etc.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Número de probetas. Se preparará un mínimo de cuatro probetas para cada contenido de ligante ensayado.
- 5.2 Preparación de los agregados. Las distintas fracciones de agregados que componen la mezcla se secan en estufa hasta peso constante a una temperatura de 105 a 110 °C.
- 5.3 Temperaturas de mezcla y compactación. Las temperaturas del ligante en la mezcla y compactación de las probetas, serán las adecuadas para hacer compatible una buena envuelta sin que se produzca escurrimiento. Como criterio orientativo, se pueden elegir las temperaturas que se prescriben, según viscosidad, en la norma sobre el ensayo Marshall.

- 5.4 Preparación de mezclas. Se pesan sucesivamente en un recipiente tarado las cantidades de cada fracción de los agregados necesarias para la fabricación de una probeta, de tal modo que la cantidad total de agregados sea de 1,000 g. El resto del proceso de preparación coincide con el indicado en la norma, para la fabricación de las probetas Marshall.
- 5.5 Compactación de las mezclas. La energía de compactación será de 50 golpes por cara, empleando el equipo y procedimiento de compactación descritos en la norma Marshall.
- 5.6 Densidad y análisis de vacíos. Una vez desmoldadas las probetas, se determina su densidad y contenido de vacíos a partir de la medida geométrica de su volumen y densidad relativa de los materiales, según la norma MTC E 505.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 En general, la temperatura de ensayo estará comprendida entre 15 y 30 °C, con una tolerancia máxima de ±1°C.
- 6.2 Se determina la masa de cada probeta con aproximación de 0,1 g y se anota este valor, P₁. Antes de ensayarlas, las probetas se mantienen a la temperatura de ensayo un mínimo de seis horas.
- 6.3 Se introduce a continuación una probeta en el bombo de la máquina de Los Ángeles y sin la carga abrasiva de las bolas, se hace girar el tambor a la misma velocidad normalizada en las normas MTC E 207 (30 a 33 rpm), durante 300 vueltas.
- 6.4 Al final del ensayo, se saca la probeta y se pesa de nuevo con la misma aproximación de 0,1 g, anotando este valor como P₂.
- 6.5 El ensayo se repite de forma idéntica con cada una de las probetas análogas preparadas según 4.1

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Se calcula el resultado del ensayo de pérdida por desgaste para cada probeta ensayada, mediante la expresión:

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Donde:

- P = Valor de la pérdida por desgaste, en %
- P₁ = Masa inicial de la probeta, en gramos.
- P₂ = Masa final de la probeta, en gramos.

- 7.1.2 Se calcula el valor medio de todas las probetas análogas ensayadas según 5

7.2 INFORME

- 7.2.1 Informar la pérdida media por desgaste (%) y la temperatura de ensayo.

MTC E 516

PERMEABILIDAD IN SITU DE PAVIMENTOS DRENANTES CON EL PERMEAMETRO LCS

1.0 OBJETO

- 1.1 Describir el procedimiento a seguirse para la realización de medidas de permeabilidad in situ en las mezclas drenantes utilizadas en capas de rodadura y bermas.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 La permeabilidad de un pavimento está directamente relacionada con el contenido de huecos y su tipo así como el grado de compactación que se va obteniendo en las diferentes fases de ejecución del pavimento.
- 2.2 El ensayo se fundamenta en la medición del tiempo que tarda en pasar un volumen fijo de agua a través del pavimento en las condiciones que se especifican.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NLT-327/00: Permeabilidad in situ de pavimentos drenantes con el permeámetro LCS.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Permeámetro LCS, representado en la figura 1 (nota 1) y constituido en esencia por las siguientes partes:

Nota 1. LCS es un acrónimo de Laboratorio Escuela de Caminos de Santander.

- 4.1.1.1 Una base de apoyo formada por una placa rígida circular de acero, de 165 mm de diámetro y 10 mm de espesor, con un orificio circular en su centro de 40 mm de diámetro.
- 4.1.1.2 Un tubo cilíndrico circular, de unos 40 mm de diámetro exterior, 30 mm de diámetro interior y 45 mm de altura, embutido como se indica en la figura en el orificio circular de la base de apoyo.
- 4.1.1.3 Un tubo cilíndrico transparente de 94 mm de diámetro interior y unos 500 mm de altura, unido firmemente y con cierre estanco a la base de apoyo. El tubo llevará marcadas dos señales de medida, grabadas en toda su periferia y situadas respectivamente, a 100 y 350 mm del fondo de la base de apoyo.
- 4.1.1.4 Una carga de forma teórica de $20 \pm 0,5$ kg de masa, cuyo orificio y base permitan un apoyo estable sobre la placa circular.
- 4.1.1.5 Un anillo circular estanco de caucho celular de 16 mm de espesor, que se adapte perfectamente a las irregularidades superficiales del pavimento para impedir el escape superficial del agua durante el ensayo. Para ello, su deformación o reducción de espesor bajo la carga de la pesa teórica deberá ser del $8 \pm 0,5$ % a los 30 segundos de carga, alcanzando una deformación final constante del $12 \pm 0,5$ % a los 5 minutos.

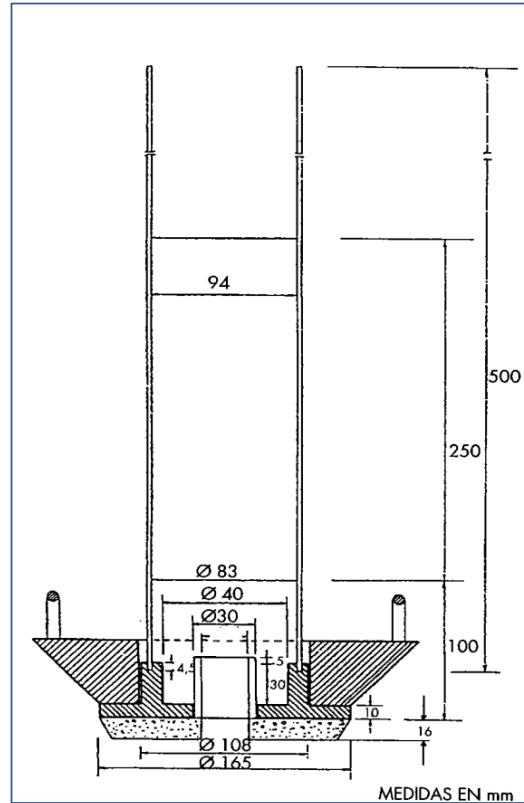


Figura1. Permeámetro L.C.S.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Reserva de agua de al menos 20 litros por ensayo.
- 4.2.1 Cronometro que tenga una precisión de 0,5 segundos.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Mezcla bituminosa drenante.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se sitúa el permeámetro en el punto elegido para el ensayo y se coloca la pesa tórica sobre la base.
- 6.2 A continuación, se llena con agua el tubo transparente del permeámetro hasta unos 15 cm por encima de la marca superior de medida, y se deja que se vacíe a continuación para mojar y saturar el pavimento en la zona de medida.
- 6.3 Seguidamente, se vuelve a llenar de la misma forma el permeámetro y se anota el tiempo de evacuación en segundos que tarda el nivel del agua en descender desde la marca superior de medida hasta la inferior.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 El resultado del ensayo realizado sobre un punto del pavimento será el tiempo en segundos obtenido según el apartado 6.3

Observación. En el laboratorio, para mezclas bituminosas drenantes con las siguientes características:

Tamaño máximo, mm	10 - 12
% pasa tamiz de 2,5 mm (Nº 8)	10 - 15
% pasa tamiz de 75 µm (Nº 200)	2 - 6
% betún sobre agregados	3,5 - 5,5

y espesores de la capa comprendidos entre 2 y 6 cm, se ha encontrado la siguiente correlación entre el coeficiente de permeabilidad y el tiempo de evacuación:

$$\ln K = 7,624 - 1,348 \ln T$$

Donde:

K = Coeficiente de permeabilidad, en (cm/s)x10⁻²

T = Tiempo de evacuación del agua, en segundos.

Obtenida a partir de los valores representados en la Figura 2.

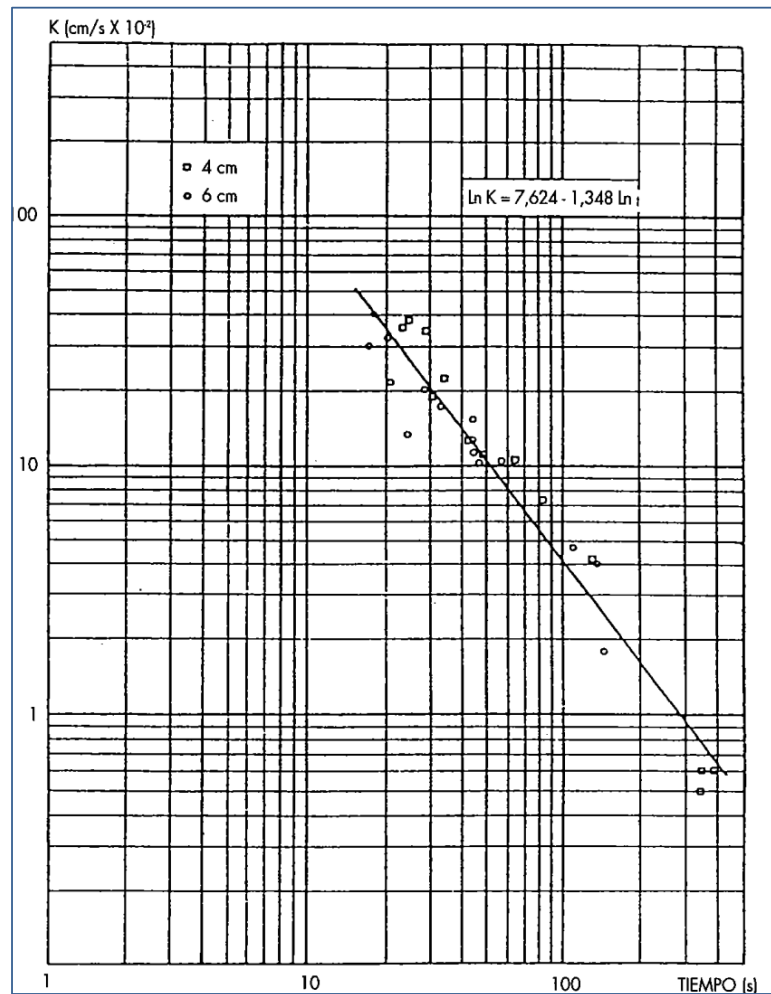


Figura 2. Correlación Coeficiente de Permeabilidad – Tiempo de Evacuación

7.2 INFORME

7.2.1 Informar como resultado de ensayo lo que indica según 7.1.1.

MTC E 517

REVESTIMIENTO Y DESPRENDIMIENTO DE MEZCLAS AGREGADO – BITUMEN

1.0 OBJETO

- 1.1 Describir el revestimiento y procedimientos para determinar la retención de una película bituminosa en una superficie de agregado en presencia de agua. Es aplicable para asfaltos Cutback, asfaltos semisólidos, emulsiones asfálticas y alquitranes.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método no debería ser usado como una medida del desempeño en campo, porque una correlación semejante no ha sido establecida.
- 2.2 Este procedimiento es sugerido como una prueba que califica o no califica al nivel de 95%, porque su precisión no es satisfactoria para la aplicación para niveles menores. No debe hacerse ningún esfuerzo para evaluar la retención de una película por debajo de 95%. Esta es una limitación del método y no implica de alguna manera que la combinación agregado-bitumen falle en retener un 95% de recubrimiento por este procedimiento de laboratorio que dará un rendimiento poco satisfactorio en campo.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 AASHTO T-182: "Coating and Stripping of Bitumen- Aggregate Mixtures".

Nota 1. El nivel de 95% fue seleccionado porque han sido determinados, por pruebas cooperativas que solo para este y los niveles de 5% de revestimiento retenido, puede obtenerse un grado razonable de reproducibilidad cuando se compara la misma muestra por estimación visual.

Nota 2. Una prueba de desprendimiento empleando un método de rastreador salino y una técnica de fotómetro de llama, el cual proporciona para la película, evaluaciones por debajo del nivel del 95%, ha sido publicada solo para información en el ASTM de 1964, Vol. 64.1964. Un reporte estadístico respecto al trabajo ejecutado para sustentar el método está disponible en ASTM.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 APARATOS

- 4.1.1 Balanza, con una capacidad de 200 g y una exactitud de $\pm 0,1g$.
- 4.1.2 Horno, capaz de mantener una temperatura entre 60 y 149 °C con una precisión de $\pm 1^{\circ}C$.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Tamices, de tejido metálico y abertura cuadrada de 9,5 mm (3/8") y otro el de 6,3 mm (1/4").
- 4.2.2 Recipientes, para mezclado, que tenga esquinas redondeadas semejantes como una lata de estaño sin costuras de 500 mL (16 onzas) de capacidad.
- 4.2.3 Espátula de acero; hoja rígida de 25 mm de ancho y 100 mm de longitud.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Agregados.- prepare el agregado, tal que el 100% pase por la malla de 9,5mm (3/8 pulg) y sea retenido en la malla de 6,3 mm (1/4 pulg). Los agregados para la prueba de revestimiento seco serán lavados en agua destilada para remover todos los finos, secado entre 135 a 149°C hasta peso constante y almacenado en un recipiente hermético hasta ser requerido para su uso. Los agregados a ser usados en la prueba del revestimiento húmedo, sección 6.3 será llevado a condición de saturación con superficie seca, usando agua destilada

como lo descrito en el método para la gravedad específica y absorción del agregado grueso (T 85).

- 5.2 Destilada.- rehervida o redestilada, si es necesario, tal que el pH sea de 6 a 7. No use electrolitos de ningún tipo para la corrección de pH.
- 5.3 Bitúmenes.- donde se proponga la evaluación del bitumen, use el material de tipo, grado y fuente propuesta para la obra de construcción (ver sección 5.4.1). Si los aditivos químicos son propuestos, agregar al bitumen en la cantidad especificada y mezclar completamente antes del ensayo.
- 5.4 Referencias Estándares
 - 5.4.1 Agregado de referencia.- use un agregado de referencia de conocido rendimiento para evaluar la resistencia al desprendimiento de Bitúmenes.
 - 5.4.2 Bitumen de referencia.- use un bitumen de referencia de conocido rendimiento para evaluar la resistencia al desprendimiento de los agregados

Nota 3. En aplicación de campo, los Bitúmenes y agregados a ser usados en un proyecto podrán ser ensayados sin el uso de normas de referencia. El agregado es graduado y preparado para pruebas especificadas en la sección 6.1.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 PARA REVESTIMIENTO DE AGREGADO SECO CON ASFALTO CUTBACK Y ALQUITRAN (GRADO RT-1 a RT-9 INCLUYE RTCB-5, RTCB-6).
 - 6.1.1 Revestimiento – Pesar 100 ± 1 g del agregado, seco en horno, a temperatura apropiada dentro del recipiente de mezclado. Añadir $5 \pm 0,2$ g de material bituminoso precalentado cuando es necesario a la temperatura especificada en la tabla 1, dependiendo del grado del bitumen. Mezclar el material bituminoso y el agregado vigorosamente con la espátula por 2 minutos. (Nota 4).
 - 6.1.2 Curado en horno: curar el agregado revestido por 2 horas en el recipiente original a 60°C . El punto de ventilación del horno debería ser abierto durante esta etapa de curado. Después de curar, re-mezclar con la espátula mientras la mezcla se enfría a temperatura ambiente o hasta que el material bituminoso deje de drenar de los agregados. El revestimiento debe ser completo después del re-mezclado; no serán permisibles las zonas pardas.
 - 6.1.3 Inmersión en agua: transferir el agregado revestido a un recipiente de vidrio de 600 mL, cubrir inmediatamente con 400 mL de agua destilada a temperatura ambiente (aproximadamente 25°C). Dejar el agregado revestido para que permanezca inmerso en agua por 16 a 18 horas.

Tabla 1. Temperaturas del bitumen para mezcla

MATERIAL	TEMPERATURA
Asfalto Cutback, grados 30 y 70	Temperatura ambiente
Asfalto Cutback, grado 250	$35 \pm 3^{\circ}\text{C}$
Asfalto Cutback, grado 800	$52 \pm 3^{\circ}\text{C}$
Asfalto Cutback, grado 3000	$68 \pm 3^{\circ}\text{C}$
Alquitrán, grados RT-1, RT-2 y RT-3	$60 \pm 3^{\circ}\text{C}$
Alquitrán, grados RTCB-5 y RTCB-6	$60 \pm 3^{\circ}\text{C}$
Alquitrán, grados RT-4, RT-5 y RT-6	$71 \pm 3^{\circ}\text{C}$
Alquitrán, grados RT-7, RT-8 y RT-9	$93 \pm 3^{\circ}\text{C}$

- Nota 4.** Para asfaltos cutback grados 250, 800 y 3000, los materiales en el recipiente puede ser calentados sobre una plancha –caliente durante el periodo de mezcla solo lo suficiente para permitir la mezcla efectiva, pero no por encima de los límites de temperatura de la tabla 1.
- 6.1.4 Estimación visual del área recubierta en la prueba de desprendimiento: Sin revolver ó agitar el agregado recubierto, quitar cualquier película flotante de la superficie del agua. Iluminar el espécimen por una lámpara, adecuada con una bombilla eléctrica de 75w posicionado para eliminar el brillo de la superficie del agua. Por observación a través del agua, por encima, estimar el porcentaje del área total visible del agregado con revestimientos retenidos por encima o por debajo que 95%. Cualquier área de marrón escaso o translucido son consideradas completamente revestidas.
- 6.2 PARA AGREGADO SECO REVESTIDO CON ASFALTO EMULSIONADO RS, MS y SS
- 6.2.1 Recubrimiento: Pesar $100 \pm 1g$ de agregado seco en horno, dentro del recipiente de mezcla. Añadir $8 \pm 0,2g$ de asfalto emulsionado. Mezclar la emulsión y el agregado vigorosamente a temperatura ambiente con una espátula hasta que todo el agregado este recubierto, pero no por más de 5 minutos.
- 6.2.2 Curado en horno – el curado del agregado revestido es como lo descrito en la sección 6.1.2. Excepto que la temperatura del horno debe ser de $135^{\circ}C$.
- 6.2.3 Inmersión en agua y examinación visual. Proceder como lo descrito en la sección 6.1.3 y 6.1.4.
- 6.3 PARA AGREGADO HUMEDO REVESTIDO CON ASFALTO CUTBACK Y ALQUITRANES (grados RT-1 a RT-9 INCLUYE RTCB-5, RTCB-6):
- 6.3.1 Revestimiento – Pesar $100 \pm 1g$ de agregado grueso seco en horno a temperatura ambiente dentro del recipiente de mezclado. Añadir 2 ml de agua destilada. Mezclar vigorosamente con la espátula hasta que las partículas del agregado estén uniformemente humedecidas. Añadir $5,5 \pm 0,2g$ de material bituminoso, precalentado donde sea necesario a la temperatura especificada en la tabla1, dependiendo del grado del bitumen. Mezclar vigorosamente con la espátula hasta que todo el agregado este revestido, pero no por más de 5 minutos.
- 6.3.2 Estimación visual del área recubierta en la prueba de recubrimiento del agregado húmedo- por observación, estimar el porcentaje del área total visible del agregado revestido como por encima o por debajo de 95%. Cualquier área de marrón escaso, área translucida son consideradas completamente revestidas (Nota 5).
- Nota 5.** Si menos del 95% del área del agregado es revestida, el curado, inmersión en agua y los pasos de evaluación como los descritos en las secciones 6.1.2, 6.1.3 y 6.1.4, puede ser interpretado para conclusión de la prueba.
- 6.4 PARA AGREGADO SECO REVESTIDO CON ASFALTO SEMISOLIDO Y ALQUITRAN (GRADOS RT-10, RT-11 Y RT-12). Cuando se ensayen alquitranes, calentar el agregado de 79 a $107^{\circ}C$ y el alquitrán separadamente de 93 a $121^{\circ}C$. Usando una hoja de papel de asbesto u otro material de protección en las balanzas para retrasar el enfriamiento, añadir $5,5 \pm 2g$ del bitumen calentado en el agregado caliente. Calentar la hoja de la espátula y mezclar vigorosamente con la espátula por 2 a 3 minutos o hasta que el agregado este completamente revestido, permitiendo que la temperatura del contenido de los recipientes descienda naturalmente durante el mezclado. Después del revestimiento, dejar la mezcla para que enfríe a temperatura ambiente (Notas 6, 7 y 8).
- Nota 6.** El revestimiento bituminoso en el agregado debe ser completo, no se permiten partes descubiertas. Si el recubrimiento completo no es obtenido en el modo descrito. Caliente el recipiente de la mezcla suavemente sobre un plato calentador y continúe mezclando hasta que el revestimiento este completo.



Nota 7. En caso que el bitumen este fluido tal que drene de los agregados para que permita un fino revestimiento, continúe mezclando mientras la mezcla se enfría hasta que se llegue a poner viscosa.

Nota 8. La prueba con asfalto semisólido y alquitranes (grados: RT-10, RT-11 y RT-12) es realizado solo con agregado seco. No se usa curado.

- 6.4.1 Inmersión en agua y examinación visual – Se procede como lo descrito en la sección 6.1.3 y 6.1.4.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME

- 7.1.1 Reportar la estimación del área revestida como "Mayor de 95%" ó "Menor de 95%".

MTC E 518

EFECTO DEL AGUA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS COMPACTADAS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el efecto del agua a la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas que contienen cemento asfáltico.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método de prueba abarca la medida de la pérdida de resistencia a la compresión resultante de la acción del agua en mezclas bituminosas compactadas conteniendo cemento asfáltico. Un índice numérico de la reducción de la resistencia a la compresión es obtenida por la comparación de la resistencia a la compresión de especímenes recién moldeados y curados con la resistencia a la compresión de especímenes duplicados que han sido sumergidos en agua bajo condiciones prescritas.
- 2.2 Este método de ensayo es útil como un indicador de la susceptibilidad a la humedad de mezclas agregado – bitumen, compactadas.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 1075: "Standard Test Method for Effect of Water on Compressive Strength of Compacted Bituminous Mixtures".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

- 4.1 Uno o más baños de agua controlados automáticamente serán proporcionados para la inmersión de los especímenes. Los baños serán del tamaño suficiente para permitir la inmersión total de los especímenes de prueba. Ellos también serán diseñados y equipados como para permitir un control y correcto y uniforme de la temperatura de inmersión entre $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Ellos serán construidos de una línea de cobre, acero inoxidable u otro material no reactivo. El agua usada para el almacenaje en húmedo de los especímenes será destilada ó tratada de otra manera para eliminar electrolitos y el baño será vaciado, limpiado y llenado con agua fresca por cada serie de ensayos.
- 4.2 Un baño de agua controlado manualmente o automáticamente también será proporcionado para que los especímenes sumergidos alcancen la temperatura de $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ para los ensayos de compresión. Cualquier cazuela o tanque puede ser usado si está provista de tamaño suficiente para permitir la inmersión total de los especímenes.
- 4.3 Se requerirá de una balanza y baño de agua con equipos y accesorios adecuados para el pesado de los especímenes de ensayo en aire y agua a fin de determinar sus densidades, la cantidad de absorción y cualquier cambio en el volumen del espécimen resultado de la prueba de inmersión.
- 4.4 Se requerirá también de un suministro de platos de transferencia planos de vidrio u otro material no-reactivo. Uno de estos platos será mantenido debajo de cada espécimen durante el período de inmersión y durante la posterior manipulación, excepto en el pesado y ensayo a fin de prevenir la rotura y distorsión de los especímenes.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Por lo menos 6 especímenes cilíndricos de 101,6 por 101,6 mm serán hechos por cada ensayo. El procedimiento descrito en el método de prueba MTC E 513 será seguido en la preparación de la mezcla suelta y en el moldeo y curado de los especímenes de ensayo.

Nota 1. Este método de ensayo fue desarrollado para medir la pérdida de la resistencia a la compresión debido al agua para especímenes diseñados con aproximadamente 6% de vacíos de aire por el procedimiento de compactación del método de ensayo MTC E 513. Cuando es

usado con mezclas diseñadas por otros métodos, es posible que los especímenes sean compactados a algún otro nivel de vacíos que puedan influir los resultados. Algunas agencias han establecido un porcentaje de vacíos de aire ó densidad objetivo a los cuales los especímenes deberían ser compactados. Esto es logrado por la modificación de la carga en el moldeo y curado de los especímenes de ensayo.

5.2 Determinación de la Gravedad Específica bulk de los especímenes de prueba.

5.2.1 Dejar enfriar cada serie de 6 especímenes de prueba por lo menos 2h después sacarlos del curado del horno descrito en el método de prueba MTC E 513. Determinar la gravedad específica de cada espécimen de acuerdo con las secciones de procedimiento (especímenes completamente secos) y cálculo (gravedad específica bulk) del método de prueba MTC E 514 ó ASTM D 6752.

Nota 2. El cálculo de los vacíos de aire puede depender del método de ensayo usado para determinar la gravedad específica bulk de la muestra compactada.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Clasificar cada serie de 6 especímenes de prueba en 2 grupos de 3 especímenes cada uno de tal forma que la gravedad específica de los especímenes en el grupo 1 sea esencialmente la misma que para el grupo 2. Ensaye los especímenes en el grupo 1 como se describe en 6.1.1. Ensaye los especímenes del grupo 2 como se describe en 6.1.2 a menos que el procedimiento alternativo descrito en 6.1.3 sea especificado.

6.1.1 Grupo 1.- Llevar los especímenes de prueba a la temperatura de ensayo $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ por medio de almacenarlos en un baño de aire mantenido a la temperatura de ensayo por no menos de 4 horas y determinar sus resistencias a la compresión de acuerdo con el método de ensayo MTC E 513.

6.1.2 Grupo 2.- Sumergir los especímenes de prueba en agua por 24 horas a $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Transferirlos al segundo baño de agua mantenido a $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ y guardarlos por 2 horas. Determine la resistencia a la compresión de los especímenes de acuerdo con el método de prueba MTC E 513.

6.1.3 Grupo 2 (procedimiento alternativo).- sumergir los especímenes de prueba en agua por 4 días a $49 \pm 1^{\circ}\text{C}$ transferirlos al segundo baño de agua mantenido a $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ y guardarlos allí por 2 horas. Determine la resistencia a la compresión de los especímenes de acuerdo con el método de prueba MTC E 513.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Calcular el índice numérico de la resistencia de mezclas bituminosas al efecto dañino del agua, como el porcentaje de la resistencia original que es retenida después del periodo de inmersión como sigue:

Índice de resistencia retenida, % = $(S_2/S_1) \times 100$

Donde:

S_1 = Resistencia a la compresión de especímenes secos (grupo 1)

S_2 = Resistencia a la compresión de especímenes sumergidos (grupo 2)

8.0 PRECISION Y DIPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 Precisión de un solo operador- La desviación Standard de un solo operador se ha encontrado que es 6% (ver nota 2), Por lo tanto, los resultados de dos ensayos conducidos adecuadamente por el mismo operador en el mismo material no deberían diferir por más de 18% (ver nota 3).

Nota 3. Estos números representan, respectivamente los límites (1s) y (d2s) como lo descrito en la práctica ASTM C 670.



- 8.1.2 Precisión Multilaboratorio – La desviación estándar multilaboratorio se ha encontrado que es 18% (ver nota 2), Por lo tanto, los resultados de 2 ensayos conducidos adecuadamente por 2 laboratorios diferentes en muestras idénticas del mismo material, no deberían diferir por más de 50% (ver nota 3).

MTC E 519

GRADO ESTIMADO DE CUBRIMIENTO DE PARTÍCULAS EN MEZCLAS AGREGADO – BITUMEN

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el tiempo de mezcla requerido de partículas cubiertas en una mezcla agregado – bitumen sobre la base del porcentaje de partículas clasificadas como cubiertas completamente.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este procedimiento es empleado para establecer el tiempo de mezcla requerido para producir un cubrimiento satisfactorio para ciertas condiciones dadas. Este procedimiento puede también ser usado para muestrear mezclas en frío de pilas de acopio para determinar que ha habido un satisfactorio recubrimiento en dicho acopio.
- 2.2 El procedimiento es empleado en mezclas en caliente, ó en frío.

Nota 1. Aun cuando una mezcla para pavimentación cumpla con el porcentaje de partículas recubiertas especificado, no hay la seguridad que el cemento asfáltico esté uniformemente distribuido en toda la mezcla.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 2489: “Standard Practice for Estimating Degree of Particle Coating of Bituminous Aggregate Mixtures”.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Tamices. De 9,5 mm (3/8 pulg) y 4,75 mm (Nº4). Cumplirán la especificación E 11.
- 4.1.2 Reloj, para chequear el tiempo de mezclado en las bachadas de planta.
- 4.1.3 Termómetro, en el rango de 10°C a 204 °C.
- 4.1.4 Pala de muestreo.
- 4.1.5 Bandeja para muestras.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Planta de Bachadas, Permita que la planta opere en un tiempo de mezcla establecido por bachada (controlado con reloj).
- 5.2 Planta de Mezcla Continua, Establecer el tiempo de mezcla por la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo de Mezcla} = \frac{\text{Volumen del material en la mezcladora, kg}}{\text{Velocidad de procesamiento en la mezcladora, kg/s}}$$

- 5.3 Planta de Tambor, Operar la planta lentamente por un período largo de tiempo suficiente como para completar el muestreo.
- 5.4 Las muestras deben ser tomadas en el sitio de la planta de mezclado inmediatamente después de la descarga de tres camiones seleccionados al azar de acuerdo con la práctica D 3665 y muestreado de acuerdo a MTC E 501. Se requieren aproximadamente 2,5 a 4,0 kg para ejecutar el ensayo.
- 5.5 Si el muestreo desde los camiones no es práctico, muestree de la vía antes de que la compactación empiece, en tres sitios diferentes de acuerdo con la práctica D 3665 y muestreado de acuerdo a MTC E 501.



- 5.6 Si el muestreo es de una pila de acopio de una mezcla en frío, muestree al azar de acuerdo con la práctica D 3665 y muestreo de acuerdo a MTC E 501.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Tamizar cada muestra inmediatamente mientras esté caliente, sobre la malla de 9,5 mm (3/8 pulg) ó la N°4, para materiales con tamaño máximo de 9,5 mm (3/8 pulg). Tomar una muestra lo suficientemente grande para que resulte entre 200 a 500 partículas de agregado retenidas en las mallas indicadas anteriormente, No sobrecargue los tamices. Si es necesario tamizar la muestra en dos ó tres partes. Reducir el zarandeo al mínimo para prevenir el recubrimiento de partículas no cubiertas originalmente.
- 6.2 Coloque las partículas en una superficie limpia y empiece a contar de inmediato.
- 6.3 Examine muy cuidadosamente cada partícula bajo la luz directa del sol, luz fluorescente ó similar. Si aún se notara una pequeña área no recubierta, clasifíquela como "parcialmente cubierta", si está completamente cubierta, clasifíquela como "completamente cubierta".

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME

- 7.1.1 Reportar el porcentaje estimado de partículas cubiertas como sigue:

$$\text{Porcentaje de partículas recubiertas} = \frac{\text{Número de partículas completamente recubiertas}}{\text{Número total de partículas}}$$

MTC E 520**ADHERENCIA EN BANDEJA****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar el porcentaje de adherencia entre un ligante bituminoso y una muestra representativa del agregado grueso que se va a utilizar en un pavimento asfáltico.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Cubre la determinación del porcentaje de adherencia entre un ligante bituminoso y una muestra representativa del agregado grueso que se va a utilizar en un pavimento asfáltico.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 I.N.V. E - 740 - 07

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

- 4.1 Bandeja. Debe ser Chapa de acero, de 2,38 mm de espesor, 200 x 200 mm de base y 20 mm de profundidad.
- 4.2 Horno. El horno estará provisto con dispositivo de termostato y con circulación forzada de aire, y será capaz de mantener la temperatura constante a $\pm 1^\circ \text{C}$.
- 4.3 Agua destilada.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Obténganse 50 partículas representativas del agregado grueso.
- 5.2 Prepárense 100 mL del ligante bituminoso que se va a utilizar en el campo.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Caliéntese el ligante a la temperatura de distribución (125°C) y viértase en la bandeja, en cantidad suficiente para obtener una película de un espesor de 1,5 mm a 2 mm.
- 6.2 Déjese enfriar hasta 50°C - 60°C .
- 6.3 Colóquense, una por una, las cincuenta partículas (las cuales deben estar secas al horno) en la película de asfalto. Déjese enfriar por media hora, y después colóquese la bandeja en un horno a 60°C durante 24 horas.
- 6.4 Agréguese agua hasta cubrir las piedras y déjese la bandeja a temperatura ambiente por cuatro días.
- 6.5 Quítense las partículas una por una y evalúese al ojo el porcentaje de la superficie de cada partícula que aún tienen asfalto pegado.

7.0 CALCULOS E INFORME

- 7.1 El resultado del ensayo se expresa como el porcentaje total de las cincuenta partículas aún cubiertas con asfalto.

MTC E 521

EFECTO DEL AGUA SOBRE AGREGADOS CON RECUBRIMIENTOS BITUMINOSOS USANDO AGUA HERVIDA

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar visualmente la pérdida de adherencia en mezclas de agregado no compactadas revestidas con bitumen, debido a la acción del agua hervida.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Esta práctica es usada como un indicador de la susceptibilidad relativa al agua del agregado revestido con bitumen, pero no debería ser usado como una medida de rendimiento en campo porque tal correlación no ha sido establecida. Si se indica la pérdida de adhesión debido al agua, se deberían ejecutar ensayos por otros procedimientos para evaluar la mezcla más profundamente.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS.

- 3.1 ASTM D 3625: "Standard Practice For Effect of Water on Bituminous-Coated Aggregate Using Boiling Water".

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Pala, palana u otro implemento capaz de la remoción de una muestra representativa de una muestra mayor de la mezcla de agregado revestido con bitumen.
- 4.1.2 Vasos de vidrio, resistentes al calor, de 1000 – 2000 mL de capacidad u otro recipiente de metal adecuado de similares dimensiones y capacidad.
- 4.1.3 Dispositivo para el calentamiento del agua, mechero a gas con una tela metálica sostenida en un trípode, anillo, plato caliente, estufa de campo u otro dispositivo adecuado que distribuye el calor uniformemente.
- 4.1.4 Termómetros ASTM – Termómetros de destilación pequeños graduados en Celsius como lo especificado, teniendo un rango de -2 a + 300°C ó respectivamente y conforme a los requerimientos para termómetros 7C como lo prescrito en la especificación E1.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Suministro de agua destilada (por lo menos 500 mL por cada ensayo (Nota 1))

Nota 1. El agua que no es destilada ha sido mostrado que afectan los resultados del procedimiento significativamente y no debería ser usada.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Prepare una mezcla no compactada de agregado revestido con bitumen siguiendo los procedimientos establecidos en laboratorio u obtener una muestra de mezcla producida en planta de acuerdo con la práctica MTC E 501. La temperatura de las mezclas en caliente será menor de la temperatura del agua hirviendo, pero no menos de 85°C, antes de la colocación en el agua hirviendo. La temperatura de las mezclas que son mezcladas en frío será cerca o por encima la temperatura ambiente antes de la colocación en el agua hirviendo.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Por cada muestra ensayada verter agua destilada dentro de un recipiente limpio (como lo descrito en 4.1.2) tal que el recipiente esté aproximadamente lleno a la mitad y calentarlo para ebullición.
- 6.2 Con una herramienta apropiada (como lo descrito en 4.1.1) colocar aproximadamente 250g de la mezcla bituminosa con agregado revestido en el agua hirviendo mientras el recipiente

- es expuesto a un suministro de calor, hacer que hierva nuevamente el agua y mantenerla hirviendo por 10 min \pm 15s. Evitar la excesiva manipulación de la mezcla de agregado revestido con bitumen.
- 6.3 Al final de los 10 minutos retirar el recipiente del suministro de calor. Quitar la nata de cualquier bitumen libre en la superficie para prevenir el re-revestimiento. Enfriar a temperatura ambiente. Decantar el agua y vaciar la mezcla húmeda sobre un papel toalla blanco.
- Nota 2.** Para comparación, una cantidad similar de mezcla reciente de agregado - bitumen debería ser colocado dentro de un segundo recipiente, cubierto con agua destilada no caliente por 10 minutos. El agua es decantada y la mezcla vaciada sobre un papel toalla blanco.
- 6.4 Observar visualmente el agregado (grueso y fino) para la retención del recubrimiento de bitumen. Cualquier área fina, marrón, translúcida son considerados totalmente revestidas. Las observaciones visuales deben ser hechas inmediatamente después de que la muestra es colocada en el papel toalla blanco (nota 3). El examen de la muestra bajo una luz de baja intensidad puede ayudar en la observación visual del revestimiento retenido.
- Nota 3.** Información adicional, puede ser obtenida por repetición de la observación visual 24 horas después de la ebullición cuando la muestra ha secado y los efectos de la humedad en la apariencia del revestimiento de la muestra han sido eliminados.
- 7.0 CALCULOS E INFORME**
- 7.1 Informar como totalmente revestidas aquellas áreas finas y marrones traslúcidas

MTC E 522**RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD****1.0 OBJETO**

- 1.1 Evaluar la susceptibilidad de las mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción directa.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método cubre la preparación de especímenes y la medida del cambio de la resistencia a la tensión diametral que resulta de los efectos de la saturación del agua y acondicionamiento en agua acelerado con un ciclo de congelamiento – deshielo, de mezclas asfálticas compactadas. Los resultados pueden ser empleados para predecir la susceptibilidad al desprendimiento a largo plazo de las mezclas asfálticas y evaluar los aditivos líquidos antidesprendimiento que son adicionados a la mezcla asfáltica ó sólidos polvorientos, tales como la cal hidratada ó cemento Portland, los que son adicionados al agregado mineral.
- 2.2 Como se anotó en el objetivo, está destinado a evaluar los efectos de saturación y acondicionamiento acelerado en agua con un ciclo de congelamiento-deshielo de mezclas asfálticas compactadas. Este método puede ser empleado para probar: (a) mezclas de asfalto en conjunto con ensayos de diseño de mezcla (mezclado en laboratorio, compactado en laboratorio); (b) mezclas asfálticas producidas en plantas mezcladoras (mezcladas en campo, compactadas en laboratorio); y (c) núcleos de mezcla asfáltica obtenidos del mismo pavimento a cualquier edad (mezclado en campo y compactado en campo).

Los índices numéricos de las propiedades del esfuerzo indirecto retenido, son obtenidos por comparación de las propiedades de especímenes de laboratorio sujetos a humedad y al acondicionamiento de congelamiento – deshielo con las propiedades similares de especímenes secos.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 AASHTO T 283: "Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Equipo de Compactación Marshall de acuerdo a lo especificado en MTC E 504.
- 4.1.2 Bomba de Vacío ó Aspirador de Agua de acuerdo al método MTC E 508.
- 4.1.3 Manómetro ó Dial de Vacío de acuerdo con el método de ensayo MTC E 508.
- 4.1.4 Contenedor, preferentemente del tipo F, del Método de Ensayo MTC E 508.
- 4.1.5 Balanza de acuerdo con el Método de Ensayo MTC E 514.
- 4.1.6 Tres baños de Agua:
- 4.1.6.1 Un baño de acuerdo con el Método MTC E 514.
- 4.1.6.2 Un baño capaz de mantener una temperatura de $60 \pm 1,0$ °C.
- 4.1.6.3 Un baño capaz de mantener la temperatura de $25 \pm 1,0$ °C.
- 4.1.7 Congeladora mantenida a -18 ± 3 °C.
- 4.1.8 Prensa de Carga de acuerdo con el método de ensayo MTC E 504.
- 4.1.9 Horno termostáticamente controlado capaz de mantener cualquier temperatura deseada desde la ambiente a 176 °C dentro de ± 3 °C.

- 4.1.10 Segmentos de carga de acero con superficie cóncava que tenga un radio de curvatura igual al radio nominal del espécimen. Para especímenes de 100 mm de diámetro, los segmentos de carga serán de un ancho de 12,7 mm de ancho y para especímenes de 150 mm de diámetro, los segmentos de carga serán de 19,05 mm de ancho. La longitud de los segmentos de carga excederán el espesor de los especímenes. Los bordes de los segmentos de carga serán redondeados al radio de curvatura apropiado mediante esmerilado.
- 4.1.11 Una probeta graduada de 10 mL.
- 4.1.12 Recipientes que tengan un área superficial de 48,400 -129,000 milímetros cuadrados en la base y una profundidad aproximadamente de 25 mm.
- 4.1.13 Suministro de película plástica para envolver los especímenes; bolsas plásticas gruesas para sumergido a prueba de goteras para guardar los especímenes saturados, y cinta masking tape.

5.0 MUESTRA

5.1 Preparación de Especímenes Mezclados y Compactados en Laboratorio

- 5.1.1 Hacer al menos seis especímenes para cada ensayo, la mitad para que sea ensayado en seco y la otra mitad para que sea ensayado después de su saturación parcial y acondicionamiento húmedo con un ciclo de congelamiento – deshielo (Nota 1).

Nota 1. Se recomienda que dos especímenes adicionales sean preparados. Estos especímenes pueden ser empleados para establecer los procedimientos de compactación como se indica en la Sección 5.1.5 ó 5.2.4 y la técnica de saturación al vacío como la dada en la Sección 6.2.3.

- 5.1.2 Especímenes de 100 mm de diámetro por $63,5 \pm 2,5$ mm de espesor ó 150 mm de diámetro por 95 ± 5 mm de espesor deben ser empleados si se presentan en la mezcla agregados mayores a 25 mm.
- 5.1.3 Preparar mezclas en bachadas lo suficientemente grandes para fabricar al menos tres especímenes ó alternativamente preparar una bachada lo suficientemente grande como para hacer un espécimen a la vez. Si se prepara una bachada para varios especímenes, separarla en cantidades de un solo espécimen antes de colocarlas en el horno.
- 5.1.4 Después de mezclar, la mezcla será colocada en una recipiente con un área superficial de 48,400 a 129,000 mm² en su base y una profundidad aproximada de 25 mm y será enfriada a temperatura ambiente por $2 \pm 0,5$ horas. Luego la mezcla será colocada en un horno a $60 \pm 3^{\circ}$ C por un espacio de 16 ± 1 horas para su curado. Los recipientes serán colocados en las repisas del horno para permitir la circulación de aire bajo el recipiente si es que las repisas no son perforadas.
- 5.1.5 Después del curado, colocar la mezcla en un horno por 2 horas ± 10 minutos a la temperatura de compactación $\pm 3^{\circ}$ C antes de la compactación. Compactar los especímenes de acuerdo al método MTC E 504. La mezcla será compactada a $7,0 \pm 0,5\%$ vacío de aire. Este nivel de vacíos puede ser obtenido al ajustar el número de golpes de MTC E 504; regulando la presión de pie, el número de golpes, el nivel de carga ó alguna combinación dada en MTC E 504. El procedimiento exacto debe ser determinado experimentalmente para cada mezcla antes de compactar el espécimen para cada grupo (ver Nota 2).

Nota 2. Debido al elevado contenido de vacíos y a la inestabilidad de los especímenes, asegúrese de que cada espécimen esté adecuadamente enfriado y estable antes de removerlo de su molde.

- 5.1.6 Después de remover de los moldes, el espécimen debe ser almacenado por 24 ± 3 horas a la temperatura ambiente.
- ### 5.2 Preparación de Especímenes Mezclados en Campo y Compactados en Laboratorio

- 5.2.1 Hacer al menos seis especímenes para cada ensayo, la mitad para que sea ensayado en seco y la otra mitad para que sea ensayado después de su saturación parcial y acondicionamiento húmedo con un ciclo de congelamiento – deshielo (Nota 1).
- 5.2.2 Especímenes de 100 mm de diámetro por $63,5 \pm 2,5$ mm de espesor ó 150 mm de diámetro por 95 ± 5 mm de espesor deben ser empleados si se presentan en la mezcla agregados mayores a 25 mm.
- 5.2.3 Las mezclas de asfalto mezcladas en campo deben ser muestreadas de acuerdo a D 979.
- 5.2.4 El curado de la mezcla, sin excepción, y tal como se describe en 5.1.4 debe ser ejecutado en las mezclas de campo. Después del muestreo, colocar la mezcla en un horno hasta que alcance la temperatura de compactación $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Luego compactar el espécimen de acuerdo al método MTC E 504. La mezcla será compactada a un porcentaje de vacíos de aire de $7,0 \pm 0,5$ %. Este nivel de vacíos puede ser obtenido al ajustar el número de golpes de MTC E 504; regulando la presión de pie, el número de golpes, el nivel de carga ó alguna combinación dada MTC E 504. El procedimiento exacto debe ser determinado experimentalmente para cada mezcla antes de compactar el espécimen para cada grupo (ver **Nota 2**).
- 5.2.5 Después de remover de los moldes, el espécimen debe ser almacenado por 24 ± 3 horas a la temperatura ambiente.
- 5.3 Preparación de Especímenes Mezclados y Compactados en Campo (Núcleos)
- 5.3.1 Seleccionar locaciones en el pavimento a ser muestreado, y obtener los núcleos. Cuando se ensaya capas de pavimento con un espesor menor a igual a 6,35 mm, emplear núcleos de 100 mm de diámetro. De otro modo usar ya sea núcleos de 100 mm ó de 150 mm de diámetro. El número de núcleos será al menos de seis por cada grupo de condiciones de mezcla.
- 5.3.2 Separar las capas de los núcleos como sea necesario ya sea por aserrado ó por otros medios adecuados, y almacene las capas a ser ensayadas a temperatura ambiente hasta que estén secos.
- 5.3.3 Sin excepción, el curado de la mezcla (5.1.4) ó el curado de la mezcla compactada (5.1.6), debe ser ejecutado en los especímenes (núcleos) mezclados y compactados en campo.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Evaluación y Agrupamiento de Especímenes.
- 6.1.1 Después del curado ó calentado de las muestras de mezcla, hallar su gravedad específica máxima teórica (G_{mm}) como se describe en la sección 5.1.4 y 5.1.5 ó en la Sección 5.2.4 según corresponda, determinar la (G_{mm}) de aquellas muestras por el Método MTC E 508.
- 6.1.2 Determinar el espesor de cada espécimen (t) de acuerdo a MTC E 507.
- 6.1.3 Registrar cada diámetro (D) de los especímenes como se ha definido en las Secciones 5.1.2, 5.2.2 ó 5.3.1, según corresponda.
- 6.1.4 Determinar cada gravedad específica bulk (G_{mb}) por el Método MTC E 514. Expresar el volumen (E) de los especímenes, ó el peso saturado con superficie seca menos el peso del agua en centímetros cúbicos.
- 6.1.5 Calcular el porcentaje de vacíos de aire (P_a) de acuerdo con MTC E 505.
- 6.1.6 Separar los especímenes en dos subgrupos de al menos tres especímenes cada uno, de tal forma que el promedio de vacíos de aire de los dos subgrupos sea aproximadamente igual.
- 6.1.7 Para aquellos especímenes que van a ser sujetos a saturación al vacío, al ciclo de congelamiento y al ciclo de embebido en agua tibia, calcular el volumen de vacíos de aire (V_a) en centímetros cúbicos empleando la siguiente ecuación:

$$V_a = \frac{P_a \cdot E}{100}$$

Donde:

V_a = Volumen de vacíos de aire, en centímetros cúbicos,

P_a = Vacíos de aire en porcentaje

E = Volumen del espécimen en centímetros cúbicos.

6.2 Preacondicionamiento de los Especímenes de Ensayo

6.2.1 Un subgrupo será ensayado en seco, y el otro se saturará parcialmente al vacío, sometido a congelamiento y embebido en agua tibia antes de su ensayo.

6.2.2 El subgrupo seco será almacenado a temperatura ambiente como se describe en la Sección 5.1.6 ó 5.2.5 según corresponda. Al final del periodo de curado de la Sección 5.1.6 ó 5.2.5, según corresponda, los especímenes serán cubiertos con plástico ó colocados dentro de bolsas plásticas gruesas a prueba de goteo. Los especímenes luego serán colocados en un baño de agua $25 \pm 0,5^\circ$ C por 2 horas ± 10 minutos con un mínimo de 25 mm de agua por encima de su superficie. Luego, ensayar los especímenes como se describe en la Sección 6.3.

6.2.3 El otro subgrupo será acondicionado como se indica a continuación:

6.2.3.1 Colocar el espécimen en el contenedor de vacío soportado un mínimo de 25 mm por encima de la base del contenedor por medio de un espaciador perforado. Llenar el contenedor con agua potable a la temperatura ambiente de tal forma que los especímenes tengan al menos 25 mm de agua encima de su superficie. Aplicar un vacío de 13-67 KPa de presión absoluta (10-26 pulg de Hg de presión parcial) por corto tiempo (aproximadamente entre 5 a 10 minutos). Remover el vacío y dejar el espécimen sumergido en agua por corto tiempo (aproximadamente entre 5 a 10 minutos).

6.2.3.2 Determinar el peso del espécimen saturado con superficie seca después de la saturación parcial al vacío (B') mediante el Método MTC E 514.

6.2.3.3 Calcular el volumen absorbido de agua (J') en centímetros cúbicos empleando la siguiente ecuación:

$$J' = B' - A'$$

Donde:

J' = Volumen de agua absorbida en centímetros cúbicos.

B' = Peso del espécimen saturado con superficie seca después de la saturación parcial al vacío, g;

A' = Peso del espécimen seco en el aire, g (Sección 6.1.4).

6.2.3.4 Determinar el grado de saturación (S') comparando el volumen del agua absorbida (J') con el volumen de vacíos de aire (V_a) de la Sección 6.1.7 empleando la siguiente ecuación:

$$S' = \frac{100 \cdot J'}{V_a}$$

Donde:

S' = Grado de saturación en porcentaje.

6.2.3.5 Si el grado de saturación está entre 70 y 80 por ciento, proceder con la Sección 6.2.3.7.

6.2.3.6 Si el grado de saturación es menor a 70% repetir el procedimiento empezando con la Sección 6.2.3.1 empleando más vacío y/o tiempo. Si el grado de saturación es mayor a 80 por ciento, el espécimen se ha dañado y debe ser descartado. En este caso repetir el

procedimiento en el próximo espécimen empezando por 6.2.3.1 empleando menos vacío y/o tiempo.

- 6.2.3.7 Cubrir cada uno de los especímenes saturados al vacío firmemente con una cubierta plástica. Colocar cada espécimen envuelto en una bolsa plástica conteniendo $10 \pm 0,5$ mL de agua, y sellar la bolsa. Colocar las bolsas plásticas conteniendo los especímenes en la congeladora a una temperatura de $-18^{\circ} \pm 3^{\circ}$ C por un mínimo de 16 horas. Remover los especímenes de la congeladora.
- 6.2.3.8 Colocar los especímenes en un baño con agua potable a $60 \pm 1^{\circ}$ C por 24 ± 1 horas. Los especímenes deben tener un mínimo de 25 mm de agua encima de su superficie. Tan pronto como sea posible después de su colocado en el baño de agua, remover la película plástica y las bolsas de cada espécimen.
- 6.2.3.9 Después de 24 ± 1 horas en el baño de agua de $60 \pm 1^{\circ}$ C, remover los especímenes y colocarlos luego en un baño de agua a $25 \pm 0,5^{\circ}$ C por 2 horas \pm 10 minutos. Los especímenes deben tener un mínimo de 25 mm de agua por encima de su superficie. Puede ser necesario adicionar hielo al baño de agua para prevenir que la temperatura de esta se eleve por encima de los 25° C. No más de 15 minutos serán requeridos para que el agua del baño alcance los $25 \pm 0,5^{\circ}$ C. Remover los especímenes del baño de agua, y ensayarlos como se describe en la Sección 6.3.

6.3 Ensayo

- 6.3.1 Determinar el esfuerzo de tensión indirecta de los especímenes secos y acondicionados a $25 \pm 0,5^{\circ}$ C.
- 6.3.2 Remover los especímenes del baño de agua de $25 \pm 0,5^{\circ}$ C y determinar su espesor (t') por MTC E 507. Colocarlo entre las cintas de carga de acero y luego colocar el conjunto entre las dos placas de apoyo de la máquina de ensayo. Se debe tomar cuidado de tal forma que la carga sea aplicada a lo largo del diámetro del espécimen. Aplicar la carga a los especímenes por medio de una razón constante de movimiento del cabezal de la máquina de ensayo, a 50 mm (2 pulg) por minuto.
- 6.3.3 Registrar el esfuerzo a compresión máximo obtenido en la máquina de ensayo y continuar cargando hasta que aparezca una fisura vertical. Remover el espécimen de la máquina y abrirlo por la fisura. Inspeccionar su interior para evidenciar si hay agregados figurados ó fracturados, visualmente estimar el grado aproximado del daño por la humedad en una escala del 0 al 5 (con 5 como el de mayor desprendimiento).

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcular el esfuerzo a tensión como sigue:

Unidades SI:

$$S_t = \frac{200 \cdot P}{3,141592 \cdot (t) \cdot (D)}$$

Donde:

- S_t = Esfuerzo a la tensión KPa.
- P = Carga máxima, N
- t = Espesor del espécimen, mm
- D = Diámetro del espécimen, mm

- 7.1.2 Expresar el índice numérico de resistencia de mezclas asfálticas al efecto dañino del agua como la razón del esfuerzo original que es retenido después del acondicionamiento húmedo y de congelamiento-deshielo. Calcular la razón del esfuerzo a tensión con dos cifras decimales como se indica:

$$\text{Razón del Esfuerzo a Tensión (TSR)} = \frac{S_2}{S_1}$$

Donde:

- S_1 = Promedio del esfuerzo a la tensión del subgrupo seco, KPa; y
- S_2 = Promedio del esfuerzo a la tensión del subgrupo acondicionado, KPa.

7.2 INFORME

7.2.1 Reportar la siguiente información:

7.2.1.1 Número de especímenes en cada subgrupo.

7.2.1.2 Promedio de vacíos de aire de cada subgrupo.

7.2.1.3 Esfuerzo a la tensión de cada espécimen en cada subgrupo.

7.2.1.4 Razón del esfuerzo a la tensión.

7.2.1.5 Resultados del daño a la humedad estimados visualmente, observados cuando se fractura el espécimen y

7.2.1.6 Resultados de las observaciones del agregado fisurado ó fracturado.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 Precisión Dentro de Laboratorio- La desviación estándar de un solo operador de la resistencia a la tensión para los especímenes acondicionados a humedad o secos fue determinada en 55 kPa. El límite de d2s para la diferencia permisible máxima en la resistencia a la tensión entre los especímenes duplicados de la misma mezcla probada por el mismo operador es 159 kPa.

8.1.2 Precisión Entre Laboratorios- La desviación estándar de laboratorios múltiples de la razón de resistencia – tensión fue hallada como 8%. El límite d2s para la diferencia permisible máxima en la razón de resistencia – tensión entre los resultados de las pruebas realizadas en las muestras de la misma mezcla por 2 diferentes laboratorios es 23%.

8.2 DISPERSION

8.2.1 Este método de prueba tiene una dispersión no determinada debido a que el valor de una razón de resistencia – tensión puede ser definida solo en términos del método de prueba.



SECCION N° 6 CEMENTOS Y AGLOMERADOS

MTC E 601**MUESTREO Y ACEPTACION DEL CEMENTO HIDRAULICO****1.0 OBJETO**

- 1.2 Establecer los procedimientos para la extracción (muestreo) y cantidad, de muestras de cementos hidráulicos para ser ensayados y establecer su calidad.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Los procedimientos que se describen tienen como finalidad la toma de muestras que han de ser empleadas en ensayos, que verifiquen la calidad del cemento hidráulico, para que pueda ser aceptado su uso. No están dirigidas hacia propósitos de control de calidad de la producción. La norma establece la cantidad de ensayos a realizarse por características requeridas, dando una guía para establecer la calidad con las especificaciones pertinentes.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM C 183: Standard Practice for Sampling and Amount of Testing of Hydraulic Cement.
3.2 NTP 334.007 : CEMENTO. Muestreo e Inspección

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES**4.1 EQUIPOS****4.1.1 Muestreo en Bolsas:**

Para la extracción de muestras de cemento de bolsas se utilizará un tubo saca muestras, constituido por un tubo de bronce o latón de sección circular y de un diámetro exterior de aproximadamente 30 mm (Figura 1). Uno de los extremos del tubo estará obturado por un taco de madera dura que a la vez servirá de mango. El otro extremo estará cortado de modo que su sección forme un ángulo de 30 grados con el eje del tubo. A 50 mm del extremo obturado del tubo deberá tener un orificio de ventilación de un diámetro aproximado de 1,5 mm practicado normalmente al eje del tubo.

4.1.2 Muestreo a granel:

Cuando el espesor de la muestra a granel no exceda los 2 m, se empleará un tubo saca muestras ranurado (Figura 2), conformado por 2 tubos concéntricos de bronce o latón, de secciones circulares ranuradas. Los tubos deben tener una superficie cilíndrica de contacto y el ajuste de modo que entre ellos permita rotación, permitiendo la apertura o cierre de las ranuras, las que tendrán un ancho adecuado y estarán dispuestas a lo largo del tubo en línea paralela al eje. El diámetro exterior será de aproximadamente 35 mm y la longitud entre 1,50 y 1,80 m. El extremo que penetra en el cemento estará obturado, terminando en punta afilada para facilitar su inserción. Cuando el espesor de la muestra a granel supere los 2 m, deberá emplearse un dispositivo adecuado, de la longitud necesaria para ser operado manual o automáticamente.

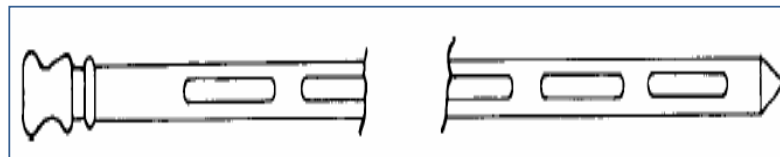


Figura 1. Sacamuestras ranurado

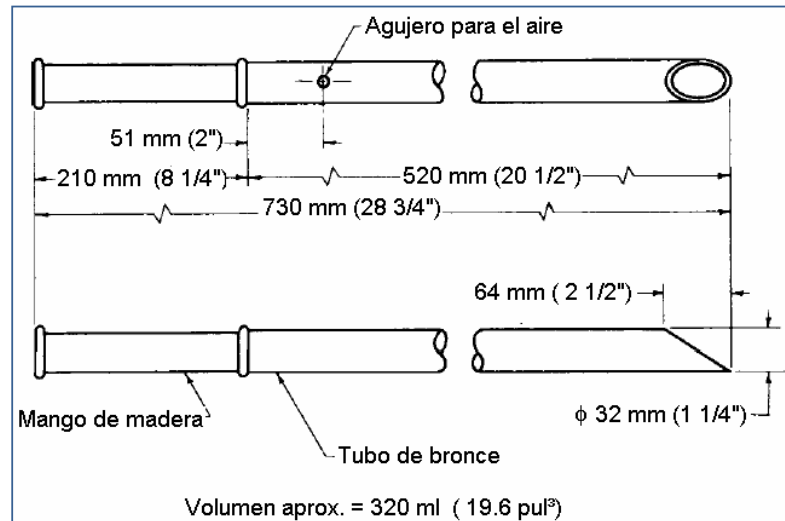


Figura 2. Tubo Sacamuestras

5.0 MUESTRA

5.1 Tipos tamaño de las muestras e indicaciones de quien las debe tomar

Las muestras extraídas pueden ser simples o compuestas

- 5.1.1 Muestra simple: Es la cantidad de cemento que se obtiene en una sola operación y en un período corto de tiempo.
- 5.1.2 Muestra continua: Es la que se extrae mediante un dispositivo automático en forma continua en períodos cortos que pueden ser en intervalos de 10 minutos.
- 5.1.3 Muestra compuesta: Es la que se obtiene mezclando las muestras simples y/o continuas.
- 5.1.4 El tipo de muestra simple o compuesta será especificado el solicitante del ensayo o la empresa productora del cemento, o inspectora, o de lotes o sub-lotes, según el tonelaje indicado en la Tabla 1.
- 5.1.5 Las muestras individuales que formen muestras compuestas deberán pesar por lo menos 2,5 kg (5 lb) cada una. Para efectuar todas las pruebas especificadas, la muestra de ensayo deberá pesar por lo menos 5 kg (10 lb).
- 5.1.6 La extracción de muestras podrá ser hecha o dirigida por el comprador o su representante autorizado. Estos tienen derecho a supervisar las operaciones de muestreo, empaque y transporte del material, en caso de que el muestreo sea hecho por el fabricante.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Con el fin de homogenizar la muestra y de extraer cualquier material extraño antes del ensayo, se pasará el cemento a través del tamiz de 0,850 mm (Nº 20). Se descartarán las materias extrañas y los grumos endurecidos que no se deshagan mientras se tamiza la muestra. El cemento así resultante se guardará en recipientes o bolsas impermeables, para evitar aireación y absorción de humedad antes del ensayo.
- 6.2 Las muestras compuestas se prepararán disponiéndolas en grupos, de modo que cada uno represente el peso de cemento requerido por el ensayo o los ensayos para los que la muestra compuesta ha sido destinada. De cada una de las muestras individuales de un grupo, se tomarán porciones iguales en cantidad suficiente para formar una muestra compuesta que permita realizar los ensayos requeridos. La muestra compuesta así obtenida se deberá mezclar perfectamente antes de ser ensayada.
- 6.3 Todas las muestras deben mantenerse debidamente identificadas, considerándose los siguientes datos en la etiqueta de identificación:

- Número de lote y/o orden de toma.
- Tipo de cemento y su marca comercial
- Peso del lote representado por la muestra.
- Lugar o procedencia de toma de la muestra.
- Nombre de la persona que tomó la muestra.
- Fecha de toma de muestra.

Observaciones que se consideren necesarias (por ejemplo: empaque original o reempaque; empaque en buen o mal estado)

6.4 **Reensayos**

6.4.1 Se repetirán ensayos, cuando el resultado de la medición o determinación de la propiedad ensayada, no cumpla con el requisito o especificación técnica establecida.

Los reensayos serán realizados de acuerdo con la Norma correspondiente.

Tabla 1

Numero de sub-lotes en los cuales el lote se divide

Peso del lote (t)	Número de sub-lotes
Menos de 100	2
101 a 200	3
201 a 300	4
301 a 500	5
501 a 800	6
801 a 1 300	7
1 301 a más	8

MTC E 602**ANÁLISIS QUÍMICO DEL CEMENTO HIDRAULICO (PORTLAND)****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establece los procedimientos detallados para el análisis químico de cemento Pórtland. Para este análisis, se puede utilizar cualquier método de demostrada precisión y dispersión aceptable. Los métodos descritos están agrupados como Ensayos de Referencia y Ensayos Alternativos.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Determina los componentes básicos del cemento Pórtland, bajo la forma de óxidos.
- 2.2 Como método referencial propone ensayos químicos vía húmeda, ampliamente aceptados, siendo los siguientes:

Componente Básico	Sección
Dióxido de silicio, SiO₂	6.2
Grupo de hidróxido de amonio	6.3
Oxido Férrico	6.4
Pentóxido de fósforo	6.5
Dióxido de titanio	6.6
Oxido de aluminio, Al ₂ O ₃	6.7
Oxido de calcio, CaO	6.8
Oxido de magnesio, MgO	6.9
Oxido de sodio y potasio	6.11
Alcalis solubles en agua	6.12
Oxido mangánico	6.13
Cloruro total	6.14
Sustancias orgánicas solubles en	6.15
Cloroformo	6.10
Pérdida de ignición, PI	6.1
Residuo insoluble, RI	

- 2.3 Como método alternativo, determina componentes individuales específicos que pueden ser utilizados solos.
- 2.4 Este ensayo se ha adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad y está sujeto a revisión y actualización continua.
- 2.5 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados en el presente ensayo.
- 2.6 Este ensayo no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien lo emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad correspondientes y determinar las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 NTP 334.086, (2008): Método para el análisis químico del cemento.
- 3.2 ASTM C114, (2000): Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement.
- 3.3 ASSHTO T 105, (1991): Chemical Analysis of Hydraulic Cement.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Balanza analítica capacidad 200 ± 0,0002 g Si se utiliza una balanza convencional debe tener un máximo de sensibilidad de 0,0003 g.

- 4.1.2 Horno Mufla con temperatura máxima de 1100 ± 25 °C.
- 4.1.3 Plato calentador o Plancha de Calentamiento.
- 4.2 MATERIALES
- 4.2.1 Desecadores, provistos del desecante Sílica Gel u otro.
- 4.2.2 Papel de filtro de textura gruesa, media y retentivo.
- 4.2.3 Crisoles de platino o porcelana, para altas temperaturas (1200 °C) de 15 a 30 mL de capacidad.
- 4.2.4 Probetas graduadas de 50 y 100 mL.
- 4.2.5 Fiolas de 1000 mL para preparar soluciones estandarizadas.
- 4.2.6 Embudos de vidrio de vástago largo.
- 4.2.7 Vasos de precipitados de 100, 250 y 500 mL.
- 4.2.8 Bureta de 25 mL.
- 4.2.9 Pipeta volumétrica de 10 mL.
- 4.3 INSUMOS
- 4.3.1 Ácidos concentrados:
- | | |
|---|-----------|
| Ácido acético ($\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$) | 99,5% |
| Ácido clorhídrico (HCl) | 1,19 p.e. |
| Ácido fluorhídrico (HF) | 48% |
| Ácido nítrico (HNO_3) | 1,42 p.e. |
| Ácido Perclórico (HClO_4) | 70 % |
| Ácido fosfórico (H_3PO_4) | 85 % |
| Ácido sulfúrico (H_2SO_4) | 1,84 p.e. |
| Hidróxido de amonio (NH_4OH) | 0,90 p.e. |
- 4.3.2 Soluciones Indicadoras
- Rojo de Metilo: Disolver 2 g de rojo de metilo en 1 litro de alcohol etílico al 95%.
- Fenolftaleina: Disolver 1 g de fenolftaleina en 1 litro de alcohol etílico al 95%.
- 4.3.3 Soluciones diluidas
- Las concentraciones de ácidos diluidos e hidróxido de amonio, a menos que estén normalizados, se especifican como una relación en volumen del reactivo concentrado y el agua a adicionarse, ejemplo: HCl (1:99) significa que 1 volumen de HCl concentrado (1,19 p.e.) está añadido a 99 volúmenes de agua.
- Otro ejemplo, NaOH 1% (Peso: volumen), significa 1 g de NaOH y agua hasta 100mL, en el caso donde la relación de concentración es peso: peso; ejemplo: etanol 50% (peso: peso), significa una solución que contiene 50 g de etanol por 100 g de solución.
- Otras soluciones se pueden especificar solamente por el nombre, y las concentraciones de tales soluciones se indican por las instrucciones de su preparación.

4.3.4 Soluciones Estándar

Las concentraciones de las soluciones Estándar, serán expresadas como normalidades (N) o como equivalentes en gramos por mililitro del componente que se va a determinar, por ejemplo:

$K_2Cr_2O_7$ 0,1 N (0,1 equivalente gramo por litro de solución) ó

$K_2Cr_2O_7$ (1 mL = 0,004 g Fe_2O_3)

4.3.5 Agua desionizada o destilada

5.0 MUESTRA

- 5.1 Preparación de muestra: Antes de los ensayos, pasar porciones representativas de la muestras a través de un Tamiz N° 20(850 μ m), descartando los materiales extraños y los terrones duros que no logran romperse por tamizado o brochado.
- 5.2 Cuarteo de muestra: Después del cuarteo, obtener una muestra de al menos 50 ó 100g para determinaciones por duplicado o álcali soluble.
- 5.3 Pasar la muestra anterior por Tamiz N° 100 (150 μ m) y si queda un residuo, moler y volver a tamizar y finalmente homogenizar.
- 5.4 Almacenar la muestra en un recipiente de vidrio limpio y seco con tapa hermético.

6.0 PROCEDIMIENTO

(METODOS DE ENSAYO DE REFERENCIA)

6.1 RESIDUO INSOLUBLE

- 6.1.1 En un vaso de precipitados de 400 mL (V1) colocar 1g de la muestra, añadir 25 mL de agua destilada, agitar vigorosamente y adicionar 5 mL de HCl. Si es necesario, calentar la solución suavemente y triturar la muestra con el extremo plano de una varilla de vidrio hasta que el cemento se descomponga completamente. Diluir la solución a 50 mL., con agua caliente (cercana a ebullición) y calentar la mezcla tapada en el plato calentador, por debajo del punto de ebullición durante 15 minutos. Filtrar el residuo a través de un papel de filtro de textura media en otro vaso de precipitados de 400 mL (V2), lavar: el vaso V1 (de digestión), el papel y el residuo con agua caliente. El filtrado del vaso V2, guardar para la determinación del trióxido de azufre.

Transferir el papel de filtro y su contenido al vaso V1, añadir 100 mL de una solución caliente de NaOH (10g/L) y digerir por 15 minutos a temperatura debajo del punto de ebullición. Agitar la mezcla y acidificar la solución con HCl, usando rojo de metilo como indicador y añadir un exceso de 4 ó 5 gotas de HCl. Filtrar a través de un filtro textura media y lavar el residuo 12 a 15 veces con solución caliente de NH_4NO_3 (20g/L). Colocar el residuo en un crisol tarado calentar a una temperatura de 900 a 1000 °C, enfriar en un desecador y pesar.

Sí va a determinarse el trióxido de azufre por turbidimetría, se puede determinar el residuo insoluble sobre una muestra de 0,5 g En este caso, el porcentaje de residuo insoluble se deberá calcular con una aproximación de 0,01 multiplicando el peso de residuo obtenido por 200. Sin embargo, no deberá rechazarse el cemento si no cumple con las especificaciones a menos que haya usado 1 g de muestra. Si una mezcla de Cemento Portland contiene una apreciable cantidad de óxido mangánico, significa la presencia de manganeso que se disuelve lentamente en HCl diluido frío, pero lo hace rápidamente en HCl caliente. En todos los casos, dilúyase la solución tan pronto como se complete la descomposición.

- 6.1.2 Hacer la determinación en blanco siguiendo el mismo procedimiento y usando las mismas cantidades de reactivos. Corregir los resultados obtenidos en el análisis.
- 6.1.3 Calcular el porcentaje de residuo insoluble con una aproximación de 0,01 multiplicando el peso del residuo en gramos por 100.

6.2 DIOXIDO DE SILICIO

6.2.1 Cemento con residuo insoluble menor que 1 %

Reactivos – Cloruro de Amonio (NH_4Cl)

6.2.1.1 Mezclar completamente 0,5g de la muestra y cerca de 0,5g de NH_4Cl en un vaso de precipitado de 50 mL, cubrirlo con una luna de reloj vidrio, y añadir cuidadosamente 5 mL de HCl, dejar que el ácido discurra por el pico del vaso de precipitado. Después que cese el ataque químico, levantar la luna de reloj y añadir una ó dos gotas de HNO_3 , agitar la mezcla con una varilla de vidrio, volver a tapar y colocar el vaso de precipitado en un baño por 30 min. Durante este período de digestión, agitar el contenido ocasionalmente y romper algún terrón remanente para facilitar la completa descomposición del cemento. Transcurrido los 30 minutos, filtrar en papel de textura media y lavar el filtro dos ó tres veces con HCl caliente (1+99) y luego con 10 ó 12 pequeñas porciones de agua caliente, dejando que cada porción drene completamente. Reservar el filtrado y lavado para la determinación del grupo del hidróxido de amonio (F1)

6.2.1.2 Transferir el papel de filtro y el residuo a un crisol de platino o de porcelana previamente tarado y quemar hasta que el carbón del papel esté consumido completamente sin inflamación, y finalmente calcinar entre 1100 a 1200°C por una hora, enfriar en un desecador y pesar hasta peso constante (P_1). El SiO_2 así obtenido contiene pequeñas cantidades de impurezas, adicionar al crisol 1 ó 2 mL de agua, 2 gotas de H_2SO_4 (1+1), y cerca de 10 mL de HF, y evaporar cuidadosamente a sequedad. Calcinar el pequeño residuo entre 1050 a 1100°C por 5 min enfriar en un desecador y pesar (P_2). La diferencia entre este peso y el peso previamente obtenido representa el peso ($P_1 - P_2$) de SiO_2 .

Considerar el residuo de P_2 como una combinación de óxidos de aluminio y fierro y añadir ello al resultado obtenido en la determinación del grupo de hidróxido de amonio.

6.2.1.3 Si P_2 excede 0,0020g, la determinación de sílice debe ser repetida, los pasos deben ser ejecutados cuidadosamente para asegurar una completa descomposición de la muestra antes de intentar la separación de sílice

6.2.1.4 Si dos ó tres determinaciones consecutivas de una muestra de cemento Pórtland muestran residuos de HF mayores que 0,002g, significa una contaminación en el muestreo ó que el cemento no ha sido quemado apropiadamente durante la fabricación. En tal caso no fundir el residuo P_1 y tampoco añadir este valor al grupo de Hidróxido de sodio.

6.2.1.5 En el análisis de otros cementos que no sean portland, no siempre es posible obtener residuos de HF (P_2) debajo de 0,002g. En tales casos, añadir 0,5g de piro sulfato de sodio o Potasio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7$ ó $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$) en el crisol y calentar al rojo hasta dilución del residuo. Enfriar, disolver la masa fundida en agua, y añadir al filtrado y lavados reservados para la determinación del grupo del hidróxido de amonio.

6.2.1.6 Hacer una determinación en blanco, siguiendo el mismo procedimiento y usando la misma cantidad de reactivos, y corregir los resultados obtenidos conforme al análisis.

6.2.1.7 Calcular el porcentaje de SiO_2 lo más cercano a 0,1 multiplicando el peso en gramos de SiO_2 por 200 (100 dividido por el peso de la muestra usada que es 0,5g).

6.2.2 Cemento con Residuo Insoluble mayor que 1%

6.2.2.1 Pesar una cantidad de muestra calcinada equivalente a 0,5g de muestra inicial (como se recibe), según los cálculos:

$$W = [0,5 \cdot (100,00 - I)] / 100$$

Donde:

P = Peso de muestra calcinada, g, y

I = Pérdida por ignición, %.

Mezclar completamente la muestra calcinada (de peso P) con 4 a 6 g de Na_2CO_3 previamente molido en un mortero de ágata. Colocar una capa delgada de Na_2CO_3 en la base de un crisol de platino de 20 a 30 mL de capacidad, añadir una capa de cemento y luego otra de y así sucesivamente terminando en una capa de Na_2CO_3 . Tapar el crisol y colocar en la muflla incrementando la temperatura gradualmente a un máximo (aproximadamente 1100°C) y mantener esta temperatura por cerca de 45min retirar de la muflla, quitar la tapa del crisol y coger el crisol con una pinza y lentamente rotarlo a fin de que la muestra fundida se esparza sobre las paredes internas y se solidifique. Luego introducir el crisol en un vaso de precipitados de 100 mL conteniendo 1/3 de agua. Calentar el vaso y agitar hasta que el fundido en el crisol se desintegre y pueda ser removido fácilmente. Con una varilla de vidrio levantar el crisol fuera del líquido, lavando con agua, lavar la tapa y el crisol con HCl (1+3); luego añadir los lavados a una capsula de porcelana. Muy lentamente y cuidadosamente añadir 20 mL de HCl (p.e 1,19) a la capsula tapada con luna de reloj. Retirar la luna de reloj y lavar. Lavar cuidadosamente para evitar que partículas arenosas queden en el crisol y para no tener que repetir el ensayo.

Los pasos siguientes del método de ensayo deben ser seguidos exactamente para la exactitud de los resultados.

- 6.2.2.2 Evaporar la solución a sequedad en una plancha caliente o en un baño de vapor, tratarlo con 5 a 10 mL de HCl, esperar al menos 2 min y luego añadir igual cantidad de agua. Cubrir la cápsula y digerir por 10 min en el baño de vapor ó en un plato caliente. Diluir la solución con igual volumen de agua caliente, inmediatamente filtrar a través de papel de textura media y lavar el SiO_2 con HCl (1+ 99) caliente, luego con agua caliente. Reservar el residuo (R1)
- 6.2.2.3 Evaporar nuevamente el filtrado a sequedad, colocándolo en una estufa durante 1 h entre 105 a 110°C . Enfriar, añadir 10 a 15mL de HCl (1+1), y digerir en un baño de vapor ó en un plato caliente por 10 min. Diluir con igual volumen de agua, filtrar inmediatamente en un papel de filtro nuevo y lavar los pequeños residuos de SiO_2 completamente como se describe en 6.2.2. Agitar el filtrado y lavados y reservar para la determinación del grupo del hidróxido de amonio.
- 6.2.2.4 Continuar la determinación de dióxido de sílice según con 6.2.1.2 del Procedimiento 6.2.1.

6.3 GRUPO DE HIDROXIDO DE AMONIO

Reactivos:

Hidróxido de amonio (1+1). El NH_4OH debe estar libre de contaminación con Dióxido de Carbono (CO_2).

Nitrato de amonio, 20g/L

Indicador rojo de metilo

Procedimiento:

- 6.3.1 Al filtrado (F1) reservado según 6.2.1.1 el cual debe tener un volumen de aproximadamente 200 mL, añadir HCl de 10 a 15 mL de ácido. Añadir unas gotas de indicador rojo de metilo y calentar a ebullición. Luego adicionar NH_4OH (1+1) gota a gota hasta que el color de la solución llegue a ser nítidamente amarilla, y añadir una gota en exceso de NH_4OH . Calentar la solución conteniendo el precipitado sobre una plancha caliente por 50 a 60 segundos, colocando antes un pedazo de papel de 1 cm^2 para evitar el rebote de la solución amoniacal en el vaso mientras ésta hierva. Retirar el vaso y dejar que el precipitado asiente (no más de 5 min.) y filtrar usando papel de textura media. Lavar, con Nitrato de Amonio caliente (NH_4NO_3 , 20g/L), un par de lavados para un precipitado pequeño y cuatro lavados para uno grande; evitando el secado del precipitado del papel de filtro, es decir manteniendo el papel de filtro lleno durante la filtración. Este filtrado obtenido será (F2).

Después de añadir el NH_4OH (1+1), gota a gota, cuando el color de la solución cambia de

rojo a naranja, añadir 1 ó 2 gotas más para observar el cambio de color de naranja a amarillo.

- 6.3.2 Guardar el filtrado F2 y continuar el procedimiento con el precipitado y colocarlo en el vaso en el cual se realizó la primera precipitación. Disolver el precipitado con HCl (1+2) caliente. Agitar completamente, macerar el papel de filtro y diluir la solución a cerca de 100mL. Reprecipitar los hidróxidos como se describe en 6.3.1 Si se experimenta rebotes y salpicadura durante la ebullición de la solución ácida que contiene el papel de filtro, esto puede ser obviado por dilución de la solución caliente 1+ 2 de la mezcla de óxidos con 100mL de agua en ebullición y así eliminar la necesidad de hervir. Filtrar la solución y lavar el precipitado con porciones de 10 mL de solución caliente de NH_4NO_3 (20g/L). Combinar este último filtrado con F2 y designarlo F3 y reservar para la determinación de CaO.
- 6.3.3 Colocar el precipitado en un crisol de platino previamente pesado, calentar lentamente hasta que el papel carbonice, y finalmente calcinar a peso constante entre 1050 a 1100°C teniendo cuidado en exponerla a una atmósfera reductora. Este peso corresponde al grupo del hidróxido de amonio.
- 6.3.4 Hacer una determinación en blanco, siguiendo el mismo procedimiento y usando la misma cantidad de reactivo, y corregir los resultados obtenidos de acuerdo a los análisis.
- 6.3.5 Calcular el porcentaje del grupo de hidróxido de amonio lo más cercano a 0,01 por multiplicación del peso en gramos del grupo de hidróxido de amonio por 200 (100 dividido por el peso de la muestra usada (0,5)).

6.4 OXIDO DE FIERRO

Reactivos:

Solución Indicadora de Difenilamina Sulfonato de Bario – Disolver 0,3g de Difenilamina Sulfonato de Bario en 100ml de Agua.

Solución Estándar de Dicromato de Potasio (1mL = 0,004g Fe_2O_3) – pulverizar y secar dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) grado analítico, entre 180 a 200°C a peso constante. Pesar exactamente una cantidad de reactivo seco igual a 2,45700 g por el número de litros de solución a ser preparada. Disolver en agua y diluir exactamente al volumen requerido en un frasco volumétrico del tamaño apropiado. Esta solución es un estándar primario y no requiere una estandarización adicional.

Cuando se requieren grandes cantidades de solución de dicromato de potasio puede ser factible usar los estándares primarios de dicromato de potasio comercialmente producido, que sí es una solución estándar certificada

Solución de Cloruro de Estaño – Disolver 5g de Cloruro de Estaño ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en 10mL de HCl y diluir a 100mL. Añadir un pedacito de estaño granulado libre de hierro y hervir hasta que la solución esté clara. Guardar la solución en un gotero conteniendo estaño metálico.

Solución de Cloruro de mercurio (HgCl_2)

Ácido fosfórico, H_3PO_4

Procedimiento

- 6.4.1 Para cementos portland y para cementos que tienen residuo insoluble más bajo del 1%, pesar un gramo de la muestra en un vaso de precipitado. Añadir 40 mL de agua fría, agitar y añadir 10 mL de HCl. Calentar la solución y agitar con una varilla de vidrio hasta que el cemento esté completamente disuelto descompuesto. Continuar el análisis según con 6.4.3.
- 6.4.2 Para cementos con residuo insoluble mayor de 1%, pesar una muestra de 0,5g, mezclar con 1g de LiBO_2 usando un mortero. Transferir a un crisol de carbón de 8 mL previamente calcinado y que contenga 0,1g de LiBO_2 esparcido en la base (La pérdida al fuego del carbón en la superficie, reduce la posibilidad de que el producto de fusión se pegue en el crisol). Colocar el crisol no cubierto en un horno a 1100°C por 15 min. Retirar el crisol del horno y chequear que la fusión esté completa. Si la fusión es incompleta, retornar el crisol al horno

por otros 30 min. Nuevamente verificar la fusión. Si la fusión es aún incompleta, rechazar la muestra y repetir el procedimiento de fusión usando 0,250g de muestra ó una cantidad más pequeña con la misma cantidad de LiBO_2 . Cuando la fusión es completa, suavemente remover el fundido y verter en un vaso de precipitado conteniendo 10 mL HCl concentrado y 50 mL de agua. Remover continuamente hasta que el producto de la fusión esté disuelto, usualmente 10 min. ó menos (No interferirá en el análisis la presencia de alguna partícula de carbón en suspensión). Si una varilla agitadora es usada, remover y lavar la varilla. Continuar el análisis según con 6.4.3.

- 6.4.3 Calentar la solución a ebullición y añadir la solución de SnCl_2 , gota agota agitando hasta que la solución se decolore. Añadir una gota en exceso y enfriar la solución a la temperatura ambiente colocando el vaso de precipitado en un depósito con agua fría. Después del enfriamiento y sin demora, lavar la parte interna del vaso con agua, y añadir de una sola vez 10 mL de una solución saturada de cloruro de mercurio (HgCl_2). Agitar la solución vigorosamente por un min y añadir 10 mL de H_3PO_4 (1+1) y 2 gotas de indicador difenilamina sulfonato de bario. Añadir suficiente agua tal que el volumen después de la titulación esté entre 75 y 100 mL. Titular con solución estándar de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. El punto final será tomado como el punto en el cual una sola gota causa una intensa coloración púrpura que permanece incambiable aun con más adición de la solución estándar de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.
- 6.4.4 Hacer una determinación en blanco siguiendo el mismo procedimiento y usando la misma cantidad de reactivo. Registrar el volumen de solución $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ requerida para establecer el punto final como se describe en 6.4.3. Como algo de fierro puede estar presente para obtener el punto final normal, si el color púrpura no es obtenido después de la adición de 4 gotas de solución Standard de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, registrar el blanco como cero.
- 6.4.5 Cálculos:

Calcular el porcentaje de Fe_2O_3 como sigue:

$$\text{Fe}_2\text{O}_3, \% = E \cdot (V - B) \times \frac{100}{W}$$

Dónde:

- E = Fe_2O_3 equivalente de la solución de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, g/mL,
V = Mililitros de la solución de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ requerida para la determinación de la muestra.
B = Mililitros de la solución de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ requerido para la determinación del blanco, y
W = Masa de la muestra con aproximación al 0,1mg.

6.5 PENTOXIDO DE FOSFORO

Equipos

Espectrofotómetro de rango capaz de medir la absorbancia de la solución a una longitud de onda de $725\text{nm} \pm 1 \text{ nm}$ ó menos.

En el rango de absorbancia de 0,1 a 1,0 la medida de absorbancia debe ser reproducible en $\pm 1\%$ ó menos.

Para establecer que el espectrofotómetro satisfaga los requerimientos del grado de exactitud, se debe calificar el equipo según lo señalado en las normas NTP 334.009 o la NTP 334.090, relativas a las especificaciones del cemento.

Para la medida de la performance del espectrofotómetro, referirse a la Práctica ASTM E275

Reactivos:

H_2SO_4 10.6N: En una fiola de 1 L, añadir 600 mL de agua destilada, refrigerarlo y lentamente con cuidado adicionar 300 mL de H_2SO_4 concentrado (p.e 1,84). Después de que esté fría a temperatura ambiente, completar con agua destilada a 1 litro. Estandarizar con solución

valorada de NaOH 1N, usando fenoltaleína como indicador.

Determinar la normalidad y ajustar a $10,6 \pm 0,1N$ por dilución con agua destilada. Reestandarizar para asegurar que la normalidad adecuada ha sido alcanzada.

Solución Estándar de Hidróxido de Sodio (1N): – Disolver 40,0g de hidróxido de sodio (NaOH) en agua, añadir 10 mL de una solución saturada de hidróxido de bario recientemente filtrada ($Ba(OH)_2$), y diluir a 1 L con agua que ha sido recientemente evaporada y enfriada. Agitar la solución de tiempo en tiempo durante un período de varias horas, y filtrar en una botella plástica. Guardar la botella herméticamente cerrada para protegerla del CO_2 del aire. Estandarizar con Ftalato ácido de Potasio ó Estándar acidimétrico de ácido benzoico. Determinar la exacta normalidad de la solución.

Solución de Molibdato de Amonio: En una fiola de 1 L introducir 500,0 mL de H_2SO_4 10,6 N. A parte, disolver 25,0 g de molibdato de amonio $(NH_4)_6-MO_7O_{24} \cdot 4H_2O$ en 250 mL de agua caliente y transferir a la fiola que contiene el H_2SO_4 , mientras se agita y enfriar, diluir a un litro con agua, y almacenar en una botella plástica.

Ácido Ascórbico en polvo: Para facilidad su disolución, se utilizará el polvo de mayor finura.

Ácido Clorhídrico Estándar ($6,5 \pm 0,1N$): Diluir 540mL de HCl concentrado (p.e 1,19) a 1 L con agua. Estandarizar usando solución valorada de NaOH 1N usando fenoltaleína como indicador. Determinar la normalidad exacta y ajustar a $6,5 \pm 0,1N$ por dilución con agua. Reestandarizar para asegurar que la normalidad adecuada ha sido alcanzada.

Solución estándar A de Fosfato: Disolver 0,1917g de Fosfato Dihidrogenado de Potasio (KH_2PO_4) secado en horno, en agua y diluir a 1L en una fiola de 1 L

Solución estándar B de Fosfato: – Diluir 50,0 mL de solución de Fosfato A á 500 mL con agua destilada.

Procedimiento:

- 6.5.1 Preparar una serie de soluciones de fosfato para cubrir el rango de 0 á 0,5% P_2O_5 . Preparar cada solución por adición de un volumen conveniente de Solución standard de fosfato B y 25,0 mL de ácido clorhídrico 6,5 N en una fiola de 250 mL (Nota 1). Diluir hasta el aforo con agua. Rotular las fiolas como: P_1 , P_2 , etc., según el volumen correspondiente de la solución estándar de fosfato B añadido.

Nota 1. La solución P_1 que contiene un mililitro de solución estándar de fosfato B es equivalente a 0,004% P_2O_5 , para una muestra de cemento de 0,25g; se debe considerar alícuotas desde 0; 12,5; 25; 50; 74; 100 y 125 mL de solución estándar de fosfato B que son equivalentes a contenidos de P_2O_5 de: 0; 0,05; 0,10; 0,20; 0,30; 0,40 y 0,50% en la muestra.

Preparar un blanco, P_0 añadiendo 25,0 mL de HCl estándar a un frasco volumétrico y diluir a 250 mL con agua.

- 6.5.2 Desarrollar colores en la serie de las soluciones de fosfato P_1 , P_2 , etc., y en el blanco (P_0), según 6.5.5. a 6.5.7.
- 6.5.3 Graficar la absorbancia neta (absorbancia del estándar menos la del blanco) valores obtenidos como ordenadas y las correspondientes concentraciones de P_2O_5 como abscisas. Dibujar una curva cerrada a través de los puntos (Nota 2).

Nota 2. Un papel milimetrado o el conveniente para graficar la curva de calibraciones. El porcentaje de P_2O_5 puede entonces ser graficado en una dimensión amplia usando cinco divisiones iguales a 0,01% de P_2O_5 . Una escala de una división igual a 0,005 unidades de absorbancia es apropiada para la ordenada. Se puede usar otras escalas, pero ninguna de división menor que 1mm para unidades de 0,005 de absorbancia ó para 0,00 % de P_2O_5 . Una curva de calibración separada debe ser hecha para cada espectrómetro usado, y la curva

de calibración chequearla contra la solución de fosfato cada vez que se usa un nuevo lote de molibdato de amonio.

- 6.5.4 Transferir 0,250 g de la muestra a un vaso de precipitado de 250 mL y humedecerlo con 10 mL de agua fría para prevenir la formación de grumos, añadir 25,0 mL de HCl estándar y digerir calentando y agitando hasta la completa disolución. Filtrar a un frasco volumétrico y lavar el papel y la sílice separada con agua caliente. Dejar que la solución enfríe y luego diluir con agua a 250 mL.
- 6.5.5 Transferir una alícuota de 50 mL (Nota 3) de la solución de la muestra a un vaso de precipitado de 250 mL y añadir 5,0 mL de solución de molibdato de amonio y 0,1g de ácido ascórbico en polvo. Mezclar el contenido del vaso de precipitado removiendo hasta que el ácido ascórbico se haya disuelto completamente. Calentar la solución hasta ebullición vigorosa por $1,5 \pm 0,5$ min y luego destapar. Enfriar a la temperatura ambiente y transferir a un frasco volumétrico.

Lavar el vaso de precipitado con una pequeña porción de agua y añadir el agua de lavado al frasco volumétrico. Diluir a 50 mL con agua.

Nota 3. El rango del ensayo puede ser extendido tomando una alícuota más pequeña de la solución de la muestra. En tal caso el descenso del volumen de alícuota debe ser corregido por el blanco de la solución (6.5.1) para mantener la apropiada acidez de la solución final. Así, si una alícuota de 25 mL de la solución de la muestra es tomada (En lugar de los usuales 50 mL), una alícuota de 25 mL de la solución blanco debe ser añadida antes de proceder con el ensayo. Por consiguiente el resultado del ensayo debe ser calculado teniendo en cuenta esto.

- 6.5.6 Medir la absorbancia de la solución comparada con agua destilada (para eliminar interferencias) a 725,0 nm.
- 6.5.7 Desarrollar sobre una alícuota de 50,0 mL de la solución blanco (P_0) preparada en 6.5.1 la misma manera como fue usado en 6.5.5 para la solución de la muestra. Medir la absorbancia según 6.5.6 y restar este valor de la absorbancia de aquella obtenida para la solución de la muestra en 6.5.5 para obtener la absorbancia neta para la solución de la muestra.
- 6.5.8 Usando el valor de la absorbancia neta hallada en 6.5.7 registrar el porcentaje de P_2O_5 en la muestra de cemento como es indicado por la curva de calibración. Reportar el porcentaje de P_2O_5 lo más cercano a 0,01.

6.6 DIOXIDO DE TITANIO (Método de Ensayo de Referencia)

Equipos

Espectrofotómetro (Nota: 4):

El instrumento debe estar equipado para medir absorbancia de soluciones a una longitud de onda espectral de 410 nm.

La medida de la longitud de onda debe ser repetible en ± 1 nm ó menos.

En el rango de absorbancia de 0,1 a 1,0 la medida de absorbancia debe ser repetible en $\pm 1\%$ ó menos.

Establecer que el espectrofotómetro permita un grado satisfactorio de exactitud, calificar el instrumento previo a su uso, para cada método de ensayo. La data de la calificación o, si es aplicable, la data de la recalificación, estará disponible conforme al capítulo CERTIFICACION DE FABRICANTE DE LA NTP 334.009 o al capítulo CERTIFICACION DE LA NTP 334.090, según las especificaciones del cemento. Usando el procedimiento 6.6.1.

Nota 4. Para la medida del desempeño del espectrofotómetro, referirse a la Bibliografía especializada sobre estos equipos.

Reactivos:

Buffer (pH 4,7) – 68 g de $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, más 380 mL de agua, más 100 mL de CH_3COOH 5,0 N.

Sal Di-sódica del Ácido Etilendiamino tetracético. (EDTA)

Ácido Clorhídrico (1+ 6).

Ácido Clorhídrico Estándar (6,5 N) – Diluir 540 mL de HCl concentrado (p.e sp gr 1,19) a 1L con agua.

Hidróxido de Amonio NH_4OH , (1+1).

Pirosulfato de potasio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$).

Dióxido de Titanio, solución A – Fundir lentamente sobre un crisol de platino sobre una pequeña llama 0,0314g de un patrón certificado apropiado ($\text{TiO}_2 = 99,74\%$) ó en su defecto con 2 ó 3g de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$. Dejar enfriar, y ubicar el crisol en un vaso de precipitado conteniendo 125 mL de H_2SO_4 (1+1). Calentar y agitar hasta que el fundido este completamente disuelto. Enfriar, transferir a un frasco volumétrico de 250 mL y enrasar.

Dióxido de Titanio solución estándar diluida B (1mL = 9,9125 mg TiO_2) – Pipetear 50 mL de solución de TiO_2 en stock en un frasco volumétrico de 500 mL (Nota 5), y enrasar. Un mililitro de esta solución es igual a 0,0125 mg de TiO_2 , el cual es equivalente a 0,05% de TiO_2 cuando es usado como se señala en 6.6.1

Ácido Sulfúrico (1+1).

Tiron (Disodio-1, 2 dihidroxybenceno-3, 5 disulfonado).

Procedimiento:

- 6.6.1 Preparar una serie de soluciones TiO_2 para cubrir el rango de 0 a 1,0% de TiO_2 . Preparar cada solución en un frasco volumétrico de 50 mL.

Nota 5. Un mililitro de solución diluida estándar B de TiO_2 por 50mL es equivalente a 0,05% de TiO_2 para una muestra de cemento de 0,25 g Alícuotas de 0, 5, 10, 15 y 20 mL de solución estándar son equivalentes al contenido de TiO_2 en la muestra de 0; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0%. Diluir cada uno a 25 mL con agua.

- 6.6.2 Desarrollar el color según 6.6.4 empezando con la segunda cláusula. Medir la absorbancia según con 6.6.5.
- 6.6.3 Graficar los valores de absorbancia obtenidos en las ordenadas y las correspondientes concentraciones de TiO_2 en las abscisas (Nota 6). Dibujar una curva suave a través de los puntos.

Nota 6.- Deben usarse papel milimetrado o el conveniente para graficar la curva de calibración con una división de escala equivalente a 0,002 de absorbancia y 0,002% de TiO_2 .

- 6.6.4 Transferir una alícuota de 25,0 mL de la solución de muestra preparada en 6.5.4 en un frasco volumétrico de 50 mL (Nota 7). Añadir 5 mL de Tiron y 5 mL de EDTA, mezclar, y luego añadir NH_4OH (1+1) gota a gota, mezclando bien después de cada gota, hasta que se dé el cambio de color amarillo a verde, azul ó rojo. Luego restaurar el color amarillo añadiendo gota a gota con HCl (1+ 6) agitando continuamente. Añadir 5 mL de solución reguladora, diluir a volumen y mezclar.
- 6.6.5 Medir la absorbancia de la solución contra el agua como referencia a 410 nm.

Nota 7. El rango del ensayo puede ser extendido tomando una alícuota más pequeña. El resultado del ensayo debe entonces ser calculado apropiadamente.

- 6.6.6 Usando los valores de absorbancia determinados en 6.6.5, registrar el porcentaje de TiO_2 en la muestra de cemento como se indica para la curva de calibración lo más cercano a 0,01.

Corregir por el hierro presente en la muestra para obtener el verdadero valor de TiO_2 como sigue: $TiO_2 \text{ Verdadero} = \% \text{ de } TiO_2 \text{ medido} - (0,01 \times \% Fe_2O_3)$. Reportar el porcentaje de TiO_2 lo más cercano a 0,01.

6.7 OXIDO DE ALUMINIO (Método de Ensayo de Referencia)

Nota 8. En el método de ensayo de referencia, el Al_2O_3 es calculado del grupo del hidróxido de amonio restando los constituyentes determinados separadamente que usualmente está presentes en cantidades significativas en el precipitado de hidróxido de amonio. Estos son Fe_2O_3 , TiO_2 y P_2O_5 . La mayoría de métodos de ensayo instrumentales para análisis de Al_2O_3 dan sólo Al_2O_3 si se calibra y estandariza aproximadamente.

cálculos:

6.7.1 Calcular el porcentaje de Al_2O_3 por substracción de la suma Fe_2O_3 , TiO_2 y P_2O_5 del porcentaje del grupo del hidróxido de sodio. Todas las determinaciones serán métodos de ensayo de arbitraje descritos en la apropiada sección (Nota 8). Todos los porcentajes serán calculados lo más cercano a 0,01%. Reportar el Al_2O_3 , TiO_2 , y P_2O_5 pueden ser determinados por cualquier procedimiento para el cual la calificación ha sido mostrada.

6.8 OXIDO DE CALCIO (Método de Ensayo de Referencia)

Nota 9. Para análisis de arbitraje ó para una mayor exactitud en la determinación, debe efectuarse la remoción del manganeso según 6.8.2 debe ser realizado. Para determinaciones de menor exactitud y cuando solamente cantidades insignificantes de óxido de manganeso se cree que están presentes, la 6.8.2 debe ser omitida.

El estroncio, usualmente presente en el cemento portland como un constituyente menor, es precipitado con calcio como oxalato y es seguidamente titulado y calculado como CaO. Si el contenido SrO es conocido y la corrección de calcio por SrO es deseado, como por ejemplo, para propósitos de investigación ó para comparar resultados con un patrón certificado. El CaO obtenido por este método puede ser corregido por corrección de CaO para SrO no debe ser realizada (Nota 9).

Reactivos:

Solución de Oxalato de Amonio (50g/L).

Solución Estándar de Permanganato de Potasio (0,18 N) – preparar una solución de permanganato de potasio ($KMnO_4$) conteniendo 5,69g/L. Dejar esta solución a la temperatura del ambiente por al menos 1 semana, ó hervir y enfriar a la temperatura ambiente del cuarto. Pipetear de la solución clara sin perturbar el sedimento en la base de la botella; luego filtrar la solución pipeteada a través de un lecho de lana de vidrio en un embudo ó través de un filtro de vidrio disponible. No filtrar a través de materiales que contienen materia orgánica. Almacenar en una botella de color ámbar. Estandarizar la solución contra 0,7 a 0,8 g de un estándar primario de oxalato de sodio, según las instrucciones suministradas con el oxalato de sodio y el registro de temperatura al cual la estandarización fue hecha (Nota 10).

Calcular el equivalente de CaO de la solución como sigue:

1mL de una solución de $KMnO_4$ es equivalente a 0,06701 g de Oxalato de Sodio puro. Normalidad de $KMnO_4$ = Peso del Oxalato de Sodio x fracción de su pureza/mL de solución de $KMnO_4$ x 0,06701.

1mL de solución 1 N de $KMnO_4$ es equivalente a 0,02804g de CaO.

N = Normalidad de la solución de $KMnO_4$ x 0,02804 x 100/0,5.

Nota 10: Debido a la inestabilidad de la solución de $KMnO_4$, se recomienda que se reestandarice al menos dos veces al mes.

Procedimiento:

- 6.8.1 Acidificar los filtrados combinados F3 obtenidos en las precipitaciones del grupo del hidróxido de amonio (6.3.2). Neutralizar con HCl al punto final con el rojo de metilo, hacer ligeramente ácido, y añadir 6 gotas de HCl en exceso.
- 6.8.2 Remoción del Manganeseo – Evaporar a un volumen de aproximadamente 100 mL. Añadir 40 mL de agua de bromo saturado en la solución caliente é inmediatamente añadir NH_4OH hasta que la solución esté alcalina. La adición 10 mL de NH_4OH es generalmente suficiente. Un pedazo de papel de filtro, aproximadamente 1cm^2 en área, ubicado en la base del vaso de precipitado y el final de la varilla de agitación ayudan a prevenir la ebullición violenta é iniciar la precipitación del óxido de Manganeseo hidratado (MnO). Hervir la solución por 5 minutos ó más, teniendo la certeza de que la solución es marcadamente alcalina todo el tiempo. Dejar que el precipitado sedimente, filtrar usando papel de textura media, y lavar con agua caliente. Si el precipitado no aparece inmediatamente, dejar un periodo de más de una hora la sedimentación antes de la filtración. Descartar el dióxido de manganeseo que pueda haber sido precipitado. Acidificar el filtrado con HCl usando papel tornasol como indicador, y hervir hasta que el bromo sea expulsado (Nota 11).
- 6.8.3 Añadir 5 mL de HCl, diluir a 200 mL, y añadir unas pocas gotas de indicador rojo de metilo y 30 mL de solución de oxalato de amonio caliente (50g/L) (Nota 12). Calentar la solución entre 70 y 80°C, y añadir NH_4OH (1+1) gota a gota, mientras se agita hasta que el color cambie de rojo a amarillo (Nota 13). Dejar que la solución permanezca sin calentamiento adicional por $60 \pm 5\text{min}$ (no más), con agitación ocasional durante los primeros 30 minutos.
- 6.8.4 Filtrar, usando papel retentivo, y lavar el precipitado 8 a 10 veces con agua caliente, la cantidad total de agua usada en el enjuagado del vaso de precipitado y lavado no excederá los 75 mL. Durante este lavado, el agua del frasco lavador debe ser dirigido alrededor de la parte interna del papel de filtro para lavar el precipitado hacia abajo, luego un chorro de agua debe ser dirigido suavemente hacia el centro del papel para agitar y lavar el precipitado. Acidificar el filtrado con HCl y reservarlo como F5 para la determinación de MgO.
- 6.8.5 Ubicar el vaso de precipitado en el cual la precipitación fue realizada bajo el embudo, agujerear la punta del papel de filtro con la varilla agitadora y lavar el precipitado usando un chorro de agua caliente.

Gotear aproximadamente 10 gotas de H_2SO_4 (1+1) alrededor del borde superior del papel de filtro. Lavar el papel 5 veces más con agua caliente. Diluir a 200 mL, y añadir 10mL de H_2SO_4 (1+1). Calentar la solución a una temperatura apenas debajo del punto ebullición, y titular inmediatamente con solución de KMnO_4 0,18 N (Nota 14). Continuar la titulación lentamente hasta que el color rosa persista por lo menos 10 s. Añadir el papel filtro que contiene el precipitado original y macerarlo. Si el color rosa desaparece continuar la titulación hasta que persista de nuevo por lo menos 10 s.

Nota 11. Se puede usar un papel almidonado de yoduro de potasio para indicar la completa volatilización del exceso de Bromo. El papel debe permanecer incoloro. Si cambia a azul, el bromo está aún presente.

Nota 12. Si la solución de oxalato de amonio no es perfectamente clara debería ser filtrado antes de su uso.

Nota 13. Esta neutralización debe ser realizada lentamente, de otra manera el precipitado de oxalato de calcio puede tener una tendencia a desplazarse hacia el papel de filtro. Cuando un número de estas determinaciones están siendo realizadas simultáneamente, la siguiente técnica asiste en asegurar una lenta neutralización. Añadir dos ó tres gotas de NH_4OH al primer vaso de precipitado mientras se agita, luego dos ó tres gotas al segundo, y así, retornar al primer vaso de precipitado añadir 2 ó 3 gotas, etc., hasta que el indicador del color cambie en cada vaso de precipitado.

Nota 14. La temperatura de la solución de KMnO_4 0,18N al momento de uso no debe variar de su temperatura de estandarización por más de $5,5^\circ\text{C}$. Desviaciones mayores pueden causar serios errores en la determinación de CaO .

- 6.8.6 Blanco – Hacer una determinación de un blanco, siguiendo el mismo procedimiento y usando la misma cantidad de reactivo (Nota 15), y registrar los mililitros de solución de KMnO_4 requeridos para establecer el punto final.

Nota 15. Cuando la cantidad de oxalato de calcio es muy pequeña, su oxidación por KMnO_4 es lenta al inicio. Antes de la titulación, añadir una pequeña porción MnSO_4 a la solución para catalizar la reacción.

- 6.8.7 Cálculos:

- 6.8.7.1 Calcular el porcentaje de CaO lo más cercano a 0,1 como sigue:

$$\text{CaO, \%} = E(V - B)$$

Donde:

E = Equivalente de calcio de la solución de KMnO_4 en % de Ca/mL basado en 0,5g de muestra.

V = Mililitros de la solución de KMnO_4 requerida para la muestra, y

B = Mililitros de la solución de KMnO_4 requeridos para el blanco.

- 6.8.7.2 Si se desea calcular el porcentaje de CaO corregido por SrO como sigue:

$$\text{CaO}_c\% = \text{CaO}_i\% - 0,54 \text{ SrO}\%$$

Donde:

CaO_c = CaO corregido por SrO , y

CaO_i = Calcio inicial como se determina en 6.8.7.1

0,54 = $56,08/103,62$ = razón del peso molecular CaO/SrO

- 6.9 OXIDO DE MAGNESIO (Método de Ensayo de Referencia)

Procedimiento:

- 6.9.1 Acidificar el filtrado de la determinación de CaO , F5 (6.8.4) con HCl y evaporar por ebullición a cerca de 250 mL. Enfriar la solución a temperatura ambiente, añadir 10mL de Fosfato de amonio, dibásico, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (100g/L), y 30mL de NH_4OH . Agitar la solución vigorosamente por 10 a 15 min, durante la adición de NH_4OH . Dejar reposar la solución por al menos 8h en atmósfera fría y filtrar, lavar el residuo cinco ó seis veces con NH_4OH (1+ 20) y calcinar en un crisol de platino ó porcelana, primero lentamente hasta que el papel de filtro sea carbonizado y luego quemado (Ver la Nota 16), y finalmente a 1100°C por 30 a 45 min. Pesar el residuo como pirofosfato de magnesio ($\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$).

- 6.9.2 Realizar una determinación en blanco siguiendo el mismo procedimiento y usando la misma cantidad de reactivo, y corregir los resultados obtenidos en el análisis respectivo.

- 6.9.3 Cálculos:

Calcular el porcentaje de MgO lo más cercano a 0,1 como sigue:

$$\text{MgO \%} = W \times 72,4$$

Donde:

W = Gramos de $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$, y

72,4 = Razón molecular de 2 MgO a $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ (0,362) dividido por el peso de la muestra usada multiplicada por 100.

Nota 16. Extremo cuidado debe ser ejercido durante la ignición. La reducción del precipitado de fosfato puede llevarse a cabo si el carbón está en contacto con ello a alta temperatura. Hay también peligro de absorber el carbón en el precipitado si la ignición es demasiado rápida.

6.10 PERDIDA POR IGNICION (Método de Ensayo de Referencia)

6.10.1 Cemento Portland:

6.10.1.1 Procedimiento – Pesar 1g de la muestra en un crisol de platino tarado. Cubrir y calcinar el crisol y su contenido a peso constante en un horno de mufla a la temperatura de 950 ± 50 °C. Dejar un mínimo de 15 min para el período inicial de calentamiento y al menos 5 min para todos los siguientes períodos.

6.10.1.2 Calcular el porcentaje de pérdida por ignición lo más cercano a 0,1 por multiplicación de la pérdida de peso en gramos por 100.

6.10.2 Cemento Portland de Escoria de Alto Horno y Cemento de Escoria:

6.10.2.1 Pesar 1g de cemento en un crisol de platino tarado y calcinar en un horno de mufla a la temperatura de 950 ± 50 °C por 15min. Enfriar a temperatura ambiente en un desecador y pesar, transferir cuidadosamente el material calcinado a un vaso de precipitado de 400 mL. Romper los grumos en el cemento calcinado con la punta de la bagueta del policía.

Determinar el contenido de SO_3 por el método de ensayo alternativo (Nota 17). También determinar el contenido de SO_3 de una porción de la muestra de cemento que no ha sido calcinado, usando el mismo procedimiento.

Nota 17. Algunos de los ácidos usados para disolver la muestra pueden primero ser calentado en el crisol de platino para disolver cualquier material adherido.

6.10.2.2 Calcular el porcentaje de pérdida de peso ocurrido durante la ignición y añadir 0,8 veces la diferencia entre los porcentajes de SO_3 en la muestra calcinada y el cemento original (Nota 18) Reportar el porcentaje corregido como pérdida por ignición.

Nota 18. Si una ganancia en peso es obtenida durante la ignición, substrair el porcentaje de ganancia de la corrección para SO_3 .

6.11 OXIDO DE SODIO Y DE POTASIO (Método de Ensayo de Referencia)

6.11.1 Álcalis total

Equipos – Instrumentos

Fotómetro de llama o Equipo de absorción atómica, que cumplan con el grado de exactitud y precisión (Nota 19).

Nota19. Verificar la exactitud del instrumento mediante el uso de un cemento patrón certificado o un cemento con contenido de álcalis conocido.

El instrumento consiste de un atomizador y un quemador; mecanismos adecuados de regulación de presión y válvulas para combustible y gas oxidante; un sistema óptico, que asegure la no interferencia de otras longitudes de onda de la luz distintas a la que está siendo medida; y un dispositivo indicador de fotosensibilidad.

Materiales y Reactivos

Todo el material de vidrio debe ser hecho de vidrio borosilicato, resistente al choque térmico y con vidrio de alta sílice y el de polietileno debe ser de alta densidad para resistir soluciones alcalinas.

Carbonato de calcio: El carbonato de calcio ($CaCO_3$) no debe contener más de 0,020% de álcalis total como sulfato.

Cloruro de potasio (KCl).

Cloruro de sodio (NaCl).

Preparación de soluciones

Solución stock de cloruro de calcio: Pesar 112,5 g de CaCO_3 añadir 300 mL de agua mientras se agita lentamente añadir 500 mL de HCl concentrado. Enfriar la solución a la temperatura ambiente, filtrar en una fiola de 1 L enrasar y homogenizar. Esta solución contiene el equivalente de 63 000 ppm (6,30%) CaO.

Solución stock de cloruro de potasio y sodio: Disolver en agua 1,8858 g de cloruro de sodio (NaCl) y 1,583 g de cloruro de potasio (KCl) (ambos secados entre 105 a 110 °C hasta peso constante. Diluir a 1 L en una fiola enrasar y homogenizar. Esta solución contiene el equivalente de 1000 ppm (0,10%) tanto de Na_2O como de K_2O .

Pueden usarse soluciones separadas de Na_2O y de K_2O a condición que sus concentraciones sean las mismas que las usadas en calibración para análisis de cemento y en la calibración cuando se calificó el instrumento.

Soluciones estándar: Preparar las soluciones estándar indicadas en el método utilizado. Medir el volumen requerido de soluciones stock de NaCl-KCl en pipetas o buretas calibradas (Nota 20). Las soluciones stock de cloruro de calcio, si fuera necesario, pueden ser medidos en probetas graduadas. Si el instrumento que está siendo usado requiere un estándar interno, medir la solución del estándar interno con una pipeta o bureta. Colocar cada solución en un frasco volumétrico, diluir el volumen indicado y mezclar completamente.

Nota 20. Pueden usarse soluciones comercialmente disponibles y de las concentraciones requeridas.

Si se requieren soluciones más diluidas para el método en uso, pipetear la alícuota requerida al tamaño apropiado del frasco volumétrico, añadir cualquier estándar interno necesario, enrasar y mezclar completamente.

Calibración de equipos

Encender el instrumento y dejar calentar de acuerdo con las instrucciones del Manual del Instrumento. (Se requiere un mínimo de 30 min para la mayoría de instrumentos). Regular las presiones del gas combustible y del gas oxidante. Encender y regular el quemador para una óptima operación. Realizar cualquier otro ajuste que pueda ser necesario para establecer las condiciones operativas apropiadas para el instrumento, siguiendo cuidadosamente todas las indicaciones del Manual del Instrumento.

Procedimiento

Nota 21. Este método de ensayo es apropiado para cementos hidráulicos que son completamente descompuestos por el ácido clorhídrico y no deben ser usados para la determinación de álcalis totales en cemento hidráulicos que contienen gran cantidad de material insoluble en ácido, por ejemplo, cementos puzolánicos. Para tales cementos puede usarse este método para determinar solo álcalis solubles en ácido.

6.11.1.1 Preparación de la muestra

Nota 22. La presencia de SiO_2 en la solución de la muestra afecta la exactitud de algunos fotómetros de llama. Cuando un instrumento no proporciona resultados prescritos dentro del grado de exactitud, considerar lo señalado en los ítems 4.3.2.1 – 4.3.3 de NTP 334086. Los ensayos deberán ser realizados con soluciones en las cuales el SiO_2 haya sido separado. Para esta remoción proceder como se indica en 6.11.1.2.

Colocar $1,000 \pm 0,001$ g del cemento en un vaso de precipitado de 150 mL y dispersar con 20 mL de agua mediante agitación en remolino del vaso. Mientras se agita añadir 5,0 mL de HCl de una sola vez. Diluir inmediatamente a 50 mL con agua. Romper algún grumo de cemento no disperso con el extremo de la bagueta. Digerir en baño maría o en una plancha caliente durante 15 min; luego filtrar a través de un papel de filtro de textura media en una fiola de 100 mL. Lavar el vaso de precipitado y el papel con agua caliente, enfriar el

contenido del frasco a temperatura ambiente, diluir a 100 mL, y mezclar la solución totalmente. Continuar como se indica en 6.11.1.2

- 6.11.1.2 Colocar $1,000 \pm 0,001$ g de cemento en una capsula de evaporación de platino y dispersar en 10 mL de agua con agitación. Mientras se agita, añadir 5,0 mL de HCl de una sola vez. Romper los grumos con la bagueta y evaporar a sequedad en un bañomaria. Asegurarse que ya no tenga más apariencia gelatinosa. Tratar el residuo con 2,5 mL de HCl y cerca de 20 mL de agua. Digerir en un bañomaria por 5 min a 10 min y filtrar inmediatamente a través de un papel de textura media de 9 cm. Hacia un frasco volumétrico de 100 mL. Lavar varias veces con cantidades pequeñas de agua caliente hasta que el volumen total de la solución sea 80 a 95 mL. Enfriar a temperatura ambiente diluir y enrasar.

Cuando se ha demostrado que es necesaria la separación SiO_2 para obtener la exactitud requerida señalada en los ítems 4.3.2.1 – 4.3.3 de NTP 334.086 para un fotómetro de llama específico, el SiO_2 siempre debe separarse cuando el análisis se va a usar como base para el rechazo de un cemento por no cumplir con las especificaciones o cuando dicho cumplimiento esté en juego. Cuando no hay duda en el cumplimiento de la especificación, el análisis puede ser realizado sin separación de SiO_2 en tales instrumentos a condición que las desviaciones respecto de los valores certificados obtenidas para los ensayos señalados en los ítems 4.3.2.1 – 4.3.3 de NTP 334.086 no sean más del doble que los límites indicados.

- 6.11.1.3 Si el método de ensayo en uso requiere soluciones más diluidas, un estándar interno, o ambos, pipetear la alícuota requerida al tamaño apropiado del frasco volumétrico, añadir el estándar interno necesario, enrasar y mezclar completamente. El estándar y las soluciones de la muestra a ser analizada deben prepararse en la misma forma y a la misma dilución que las soluciones de los cementos estándar analizados para la calificación del instrumento.
- 6.11.1.4 Procedimiento para Na_2O (Nota 24): Calentar y regular el instrumento para determinación de Na_2O como se describe en la calibración del equipo, inmediatamente luego de los ajustes, atomizar la solución de cemento y anotar la lectura de la escala (Nota 23). Elegir las soluciones estándar que más se aproximan en contenido de Na_2O a la solución de muestra cemento y anotar sus lecturas. Estos valores deben concordar con aquellos previamente establecidos durante la calibración del equipo. Si no es así, recalibrar el equipo para este constituyente. Finalmente, alternar el uso de una solución desconocida y las soluciones estándares contrastantes hasta que las lecturas para la solución desconocida concuerden dentro de una división de la escala de transmisión o de medición, o dentro del 0,01% en peso para un instrumento con lectura digital, y que las lecturas para los estándares concuerden en forma similar con los valores de calibración. Registrar el promedio de las dos últimas lecturas obtenidas para la solución desconocida.

Nota 23. El orden en la determinación de Na_2O o K_2O es opcional. Sin embargo, en todos los casos, la determinación debe seguir inmediatamente al ajuste del instrumento.

- 6.11.1.5 Si la lectura excede el máximo de la escala, transferir una alícuota de 50 mL de la solución preparada en 6.11.1.1 a un frasco volumétrico de 100 mL o si se prefiere, preparar una nueva solución usando 0,500 g de cemento y 2,5 mL de HCl. En el caso de que la sílice tenga que ser separada de la muestra de cemento de 0,5 g tratar el material deshidratado con 1,25 mL de HCl y cerca de 20 mL de agua, luego digerir, filtrar, y lavar. En cada caso añadir 5 mL de la solución stock de cloruro de calcio antes de enrasar con agua. Proceder como en la solución estándar si se requieren soluciones de concentración menor. Determinar el contenido de álcali de esta solución como se describe en (6.11.1.4) y multiplicar por un factor de 2 el porcentaje de óxido de álcali.
- 6.11.1.6 Procedimiento para K_2O : Repetir el procedimiento descrito en 6.11.1.4 ajustando previamente el equipo para la determinación de K_2O . Para equipos que leen simultáneamente Na_2O y K_2O , determinar K_2O al mismo tiempo que se determina Na_2O .

6.11.1.7 Cálculos y reporte: De los promedios de las lecturas registrados para Na_2O y K_2O en la muestra de cemento reportar cada óxido redondeado al centésimo.

6.12 ALCALIS SOLUBLES EN AGUA (Método de Ensayo de Referencia)

Nota 24. La determinación de álcali soluble en agua no debe ser considerada como un sustituto para la determinación de álcali total según 6.11, ello no supone que en este método todo el álcali soluble en agua del cemento será disuelto. Es esencial seguir estrictamente el procedimiento descrito cuando hay un límite especificado en el contenido del álcali soluble en agua o cuando varios lotes de cemento son comparados sobre la base del álcali soluble en agua.

6.12.1 Procedimiento

6.12.1.1 Pesar 25,0 g de muestra en un frasco Erlenmeyer de 500 mL y añadir 250 mL de agua. Taponar el frasco con un tapón de jebes y agitar continuamente por 10 min a temperatura ambiente. Filtrar al vacío (débil) a través de un embudo Büchner, que contenga un papel de filtro retentivo seco y recibir el filtrado en un kitasato de 500 mL. No es necesario lavar.

6.12.1.2 Solución de ensayo inicial:

Cuando el nivel esperado de K_2O o Na_2O está entre 0,08% a 0,16 %, se procede del siguiente modo:

Transferir 50 mL del filtrado a una fiola de 100 mL y acidificar con 0,5 mL de HCl concentrado (p.e. 1,19), y añadir 9,0 mL de solución stock de CaCl_2 (63 000 ppm CaO), enrasar a 100 mL con agua. Si el método de ensayo en uso requiere soluciones más diluidas, un estándar interno, o ambos, realizar las mismas diluciones como lo descrito en soluciones estándares según sea necesario. Determinar el contenido Na_2O o K_2O de esta solución como se describe en 6.11.1.4 y 6.11.1.6. Registrar las partes por millón de cada álcali en la solución preparada.

6.12.1.3 Si el Na_2O o K_2O exceden el 0,16%, proceder del siguiente modo:

Colocar una alícuota de 50 mL de la solución de ensayo inicial 6.12.1.2 en un frasco volumétrico de 100 mL, añadir 5 mL de la solución stock de CaCl_2 , y diluir a 100 mL.

6.12.1.4 Cuando el nivel de K_2O o Na_2O es menor que 0.08% tomar una alícuota de 100mL del filtrado original (Obtenido según 6.12.1.1), añadir 1 mL de HCl, y evaporar en una plancha caliente en un vaso de precipitado de 250 mL a cerca de 70 mL. Añadir 8 mL de solución stock de CaCl_2 y transferir la muestra a un frasco volumétrico, lavando el vaso de precipitado con una pequeña porción de agua destilada. Enfriar la solución a temperatura ambiente y diluir a 100 mL.

6.12.1.5 Cálculos

Calcular el porcentaje de álcali soluble en agua, expresada como Na_2O , como sigue:

Álcali soluble en agua total, como $\text{Na}_2\text{O} = A + E$

$$A = B / (V \times 10)$$

$$C = D / (V \times 10)$$

$$E = C \times 0,658$$

Donde:

- A = porcentaje de óxido de sodio soluble en agua (Na_2O),
- V = mililitros del filtrado original en el frasco de 100 mL,
- B = partes por millón de Na_2O de la solución en el frasco de 100 mL,
- C = porcentaje de óxido de potasio soluble en agua (K_2O),
- D = partes por millón de K_2O en el frasco de 100 mL,
- E = porcentaje de Na_2O equivalente al K_2O determinado, y

0,658 = proporción molecular de Na_2O a K_2O

Reportar el resultado con dos decimales

6.13 OXIDO MANGANICO Método de Ensayo de Referencia

Reactivos

Solución estándar de arsenito de sodio, (1 mL = 0,0003 g de Mn_2O_3):

Disolver en 100 mL de agua 3,0 g de carbonato de sodio (Na_2CO_3) y luego 0,90 g de tritóxido de arsénico (As_2O_3), Calentar la mezcla hasta que la disolución completa.

Si la solución no es clara o contiene un residuo, filtrar la solución. Enfriar a temperatura ambiente, transferir a una fiola de 1 L.

Disolver 0,58 g de permanganato de potasio (KMnO_4) en 1 L de agua y estandarizar con 0,03 g de oxalato de sodio ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$), según las indicaciones del proveedor de este estándar oxidimétrico (Ej. estándar N° 40 de NIST), proveedor reconocido por INDECOPI.

Poner 30,0 mL de la solución de KMnO_4 en un Erlenmeyer de 250 mL. Añadir 60 mL de HNO_3 (1+4) y 10 mL de nitrito de sodio (NaNO_2 , 50 g/L). Hervir la solución hasta expulsar totalmente el HNO_2 . Enfriar la solución, añadir NaBiO_3 , y titular con la solución estándar de arsenito de sodio (NaAsO_2) como se describe en 6.13.2.

Calcular el equivalente de óxido de mangánico (Mn_2O_3) de la solución de NaAsO_2 , en g/mL, como sigue:

$$E = (A \times 7,08) / BC$$

Donde:

- E = equivalente en Mn_2O_3 de la solución de NaAsO_2 , g/mL,
- A = gramos de $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ usados,
- B = mililitros de la solución de KMnO_4 requeridos para el $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$,
- C = mililitros de la solución de NaAsO_2 requeridos por 30,0 mL de la solución de KMnO_4 , y
- 7,08 = relación molecular de Mn_2O_3 a $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (0,236) multiplicado por 30,0 (mililitros de solución de KMnO_4).

Metabismutato de sodio (NaBiO_3).

Solución de nitrito de sodio (50 g NaNO_2 /L).

Procedimiento

- 6.13.1 Pesar de 1,0 a 3,0 g de muestra (Nota 25) en un vaso de precipitado de 250 mL y tratarlo con 5 a 10 mL de agua y luego 60 a 75 mL de HNO_3 (1+4). Hervir la mezcla, hasta disolución. Añadir 10 mL de solución de NaNO_2 (50 g/L) y hervir hasta expulsar el ácido nitroso completamente (Nota 26), teniendo cuidado de no dejar que el volumen de la solución llegue a ser tan pequeña como para causar la precipitación gelatinosa del SiO_2 . Si se percibe un residuo rojo o marrón, usar más solución de NaNO_2 (50g/L) para efectuar una descomposición completa, y luego hervir de nuevo para expeler el ácido nitroso. Filtrar la solución a través de un papel de textura media a un erlenmeyer de 250 mL y lavar el papel de filtro con agua hasta obtener un volumen de 100 mL a 125 mL.

Nota 25. La cantidad de cemento tomado para análisis dependerá del contenido de manganeso, variando de 1 g para cerca de 1% de Mn_2O_3 a 3 g para 0,25 % o menos de Mn_2O_3 .

Nota 26. Cuando se agrega NaNO_2 , se debe expulsar totalmente el HNO_2 por ebullición. Si algo de HNO_2 permanece en la solución, reaccionara con el NaBiO_3 añadido disminuyendo su valor oxidante. Si hay algo de manganeso en el cemento, la primera cantidad pequeña de NaBiO_3 debe producir un color púrpura.

- 6.13.2 Enfriar el filtrado a temperatura ambiente, añadir 0,5 g de NaBiO_3 en varias porciones, mientras se agita intermitentemente. Después de completar la adición, agitar la solución de vez en cuando durante 5 min y luego añadir 50 mL de HNO_3 (1+33) frío, el cual ha sido previamente hervido para expeler el ácido nitroso. Filtrar al vacío la solución a través de un lecho de asbesto calcinado, en un crisol Gooch o de carbón o un filtro de vidrio sinterizado. Lavar el residuo cuatro veces con el HNO_3 (1+33) frío. Titular el filtrado inmediatamente con la solución estándar de NaAsO_2 . El punto final se alcanza cuando se obtiene un color amarillo libre de un tinte marrón o púrpura y no cambia con un agregado adicional de la solución de NaAsO_2
- 6.13.3 Blanco: Hacer la determinación de un blanco, siguiendo el mismo procedimiento y usando las mismas cantidades de reactivos, y corregir los resultados obtenidos en el análisis correspondiente.
- 6.13.4 Calcular el porcentaje de Mn_2O_3 con aproximación de 0,01 como sigue:

$$\text{Mn}_2\text{O}_3, \% = (\text{EV} / \text{S}) \times 100$$

Donde.

- E = equivalente en Mn_2O_3 de la solución de NaAsO_2 , g/ mL.
V = mililitros de solución de NaAsO_2 requerida para la muestra, y
S = gramos de la muestra usada.

6.14 CLORURO TOTAL (Método de Ensayo de Referencia)

En la mayoría de casos el cloruro soluble en ácido de un cemento Portland es el contenido total de cloruro.

Equipos

Electrodo de ión selectivo cloruro, plata/sulfuro, o un electrodo de plata revestido con cloruro de plata (Nota 27), con un electrodo de referencia apropiado.

Potenciómetro, con escala de lectura de 1 mV milivoltio o mejor. Una lectura no indispensable.

Nota 27. Se encuentran disponibles electrodos apropiados de Orión, Beckman Instruments, y Leeds & Northrup. En caso de utilizar un electrodo metálico de plata, éste debe ser recubierto electrolíticamente, para lo cual se seguirán las instrucciones del fabricante.

Reactivos:

Cloruro de Sodio (NaCl), grado estándar primario.

Nitrato de Plata (AgNO_3) grado reactivo.

Cloruro de Potasio (KCl), grado reactivo (servirá para el electrodo de plata).

Agua Reactiva de acuerdo a los requerimientos del tipo III de agua reactiva en la Especificación ASTM D 1193.

Preparación de soluciones

Solución estándar de cloruro de sodio (NaCl 0,05 N): Secar cloruro de sodio (NaCl) entre 105 °C a 110 °C a peso constante. Pesar 2,9222 g de cloruro de sodio seco. Disolver en agua y diluir exactamente a 1 L en una fiola y mezclar completamente. Esta solución es el estándar y no requiere estandarización adicional.

Solución estándar de nitrato de plata (AgNO_3 0,05N): Disolver 8,4938 g de nitrato de plata (AgNO_3) en agua. Diluir a 1 L en una fiola y mezclar. Estandarizar con 5,0 mL de solución estándar de cloruro de sodio 0,05 N diluido a 150 mL con agua siguiendo el método de titulación indicado en 6.14.4 empezando con la segunda fase. La normalidad exacta debe ser calculada del promedio de tres determinaciones como sigue:

$$N = 0,25 / V$$

Donde:

- N = normalidad de la solución AgNO_3 ,
0,25 = miliequivalente de NaCl ($5,0 \text{ mL} \times 0,05 \text{ N}$), y
V = Volumen de la solución de AgNO_3 , mL

Cuando se use soluciones estándar comercialmente disponibles, la normalidad se verificará según al procedimiento de estandarización antes indicado.

Indicador anaranjado de metilo: Preparar una solución conteniendo 2g de anaranjado de metilo por litro de alcohol etílico de 95 %.

- 6.14.1 Pesar una muestra de 5 g de cemento en un vaso de precipitado de 250 mL (Nota 28). Dispersar la muestra con 75 mL de agua. Inmediatamente añadir 25 mL de ácido nítrico diluido (1+1), lentamente, triturando los grumos con la bagueta. Si en este punto el olor del sulfuro de hidrogeno es fuerte, añadir 3 mL de peróxido de hidrogeno (solución al 30 %) (Nota 29). Añadir 3 gotas de indicador anaranjado de metilo y agitar. Tapar el vaso con una luna de reloj y dejar reposar por 1 min a 2 min. Si aparece un color amarillo o amarillo-naranja sobre los sólidos asentados, la solución no está suficientemente acidificada. Añadir ácido nítrico diluido (1 + 1) adicionar gota a gota mientras se agita hasta la presencia de un color rosado débil o rojo persistente. Luego añadir 10 gotas en exceso. Tapar el vaso y calentar a ebullición. Dejar hervir por pocos segundos y retirar de la plancha. (Nota 30).

Nota 28. Utilizar unos 5 g de muestra para cemento y otros materiales para un contenido esperado menor que 0,15 % de cloruro. Usar muestras proporcionalmente más pequeñas, si se espera un porcentaje mayor de cloruro. Muestras con grumos o más gruesas requieren una molienda y pasar por un tamiz N°20. Si una muestra es demasiado fina, se puede formar gel de sílice excesivo durante la digestión con ácido nítrico, ocasionando una filtración lenta.

Nota 29. Escorias y cementos de escoria contienen azufre como sulfuro en concentraciones que pueden interferir con la determinación.

Nota 30. Es importante mantener el vaso de precipitado tapado durante el calentamiento y digestión para prevenir la pérdida de cloruro por volatilización. No debe usarse una excesiva cantidad de ácido ya que esto ocasionaría una remoción temprana del cloruro de plata que cubre el electrodo de plata. Una suspensión ligeramente acidificada es suficiente.

- 6.14.2 Colocar un papel de filtro de textura gruesa de 9 cm de diámetro sobre embudo Büchner y lavar con agua por filtración al vacío con 100 mL fraccionados en 25 mL, recibiéndolos en un kitasato de 250 mL ó 500 mL. Descartar los lavados y enjuagar el kitasato una vez con una pequeña porción de agua. Volver a ensamblar el aparato de succión y filtrar la solución de la muestra. Enjuagar el vaso y el papel de filtro dos veces con pequeñas porciones de agua. Transferir el filtrado a un vaso de 250 mL y enjuagar el kitasato una vez con agua. Se puede usar el vaso original (nota 31). Enfriar el filtrado a temperatura ambiente. El volumen no debe exceder los 175 mL.

Nota 31. No es necesario limpiar todos los residuos en suspensión de las paredes del vaso ni remover del filtro todo el material fino. La titulación puede tener lugar en una solución que contiene una pequeña cantidad de materia sólida.

- 6.14.3 Para instrumentos equipados con dial de lectura es necesario establecer un " punto de equivalencia" aproximado por inmersión de los electrodos en un vaso con agua y regular el instrumento a una lectura de unos 20 mV por debajo de la media escala. Registrar la lectura aproximada de la mili voltímetro. Retirar el vaso y limpiar los electrodos con papel absorbente.
- 6.14.4 Al vaso con la muestra enfriada, pipetear 2,00 mL de solución estándar de NaCl 0,05 N (nota 32). Colocar el vaso sobre un agitador magnético e introducir una barra de agitación

con revestimiento de TFE-fluoro carbón. Sumergir los electrodos en la solución teniendo cuidado de que la barra agitadora no golpee los electrodos; iniciar la agitación suavemente. Colocar el extremo de descarga de la bureta de 10 mL, llenada a la marca con solución de nitrato de plata estándar, en (preferible) o por encima de la solución (Nota 33).

Nota 32. Es conveniente mantener constante la temperatura durante la medición, debido a que la relación de solubilidad del cloruro de sodio varía marcadamente con la temperatura a bajas concentraciones.

Nota 33. Si el pico de la bureta esta fuera de la solución, cualquier gotita adherida debe ser enjuagada dentro del vaso con un chorrito de agua luego de cada incremento de titulación.

- 6.14.5 Titular gradualmente, registrar la cantidad de solución estándar de nitrato de plata 0,05 N requerido para llevar la lectura del milivoltmetro a -60,0 mV del punto de equivalencia determinado en el agua.
- 6.14.6 Continuar la titulación con incrementos de 0,20 mL. Registrar la lectura de la bureta y la correspondiente lectura en el mili voltímetro, siguiendo el formato el Anexo A1. Dejar suficiente tiempo entre cada adición para que los electrodos alcancen el equilibrio con la solución de la muestra. La experiencia ha demostrado que se obtienen lecturas aceptables cuando la lectura mínima de la escala no cambia en un periodo de 5 s (usualmente dentro de los 2 min).
- 6.14.7 Cuando se va alcanzando el punto de equivalencia adiciones iguales de la solución de AgNO_3 causaran cambios cada vez mayores en la lectura de la mili voltímetro. Pasado el punto de equivalencia el cambio por incremento disminuirá otra vez. Continuar la titulación hasta que tres lecturas pasen el punto de equivalencia aproximado que fue registrado.
- 6.14.8 Calcular la diferencia de lecturas en milivoltios entre adiciones sucesivas de titulante e introducir los valores en el formato. Calcular la diferencia entre valores consecutivos de la columna 3 e introducir los resultados en la columna 4. El punto de equivalencia de la titulación estará dentro del intervalo ΔmV máximo. El punto de equivalencia preciso puede ser interpolado de los datos listados del formato (anexo A1).
- 6.14.9 Blanco: Hacer la determinación de un blanco usando 75 mL de agua en lugar de la muestra siguiendo el mismo procedimiento señalado en 6.14.1. Corregir los resultados obtenidos en conformidad con el análisis (Nota 34) por sustracción del blanco.

Nota 34. Para análisis no arbitrables y cuando ya se conoce un valor del blanco este puede ser omitido.

Calculos: Calcular el porcentaje de cloruro con aproximación de 0,001 % como sigue:

$$\text{Cl, \%} = 3,545 [(V_1 - V_2) N] / W$$

Donde:

- V_1 = mililitros de solución de AgNO_3 0,05 N usados para la titulación de la muestra (punto de equivalencia),
- V_2 = mililitros de solución de AgNO_3 0,05 N usados para la titulación del blanco (punto de equivalencia),
- N = normalidad exacta de la solución de AgNO_3 0,05 N, y
- W = peso de la muestra, g.

Reportar el resultado redondeado a la milésima.

- 6.15 SUSTANCIAS ORGANICAS SOLUBLES EN CLOROFORMO (Método de Ensayo de Referencia)
 - 6.15.1 En un embudo de separación Squibb de 1 L, colocar 40 g de cemento (Nota 35) y mezclar con 520 mL de agua añadida en dos porciones aproximadamente iguales. Agitar vigorosamente inmediatamente después de la primera porción para efectuar la dispersión completa. Luego añadir la segunda porción y agitar nuevamente. De una sola vez e

inmediatamente añadir 185 mL de HCl en el cual se han disuelto 10 g de SnCl_2 (Nota 36), rápidamente insertar el tapón del embudo, invertir y agitar con un movimiento de rotación por unos pocos segundos para separar y dispersar todo el cemento, teniendo cuidado de evitar el desarrollo de grandes presiones internas debido a innecesaria agitación violenta. Aliviar las presiones internas inmediatamente abriendo y cerrando la llave. Repetir la agitación y aliviar la presión hasta la descomposición total del cemento. Si es necesario, romper grumos persistentes con el extremo plano de una varilla de vidrio larga. Enfriar a temperatura ambiente rápidamente dejando caer agua de caño sobre el frasco.

Nota 35. Evitar el uso de grasa para lubricar llaves y tapones de vidrio del embudo de separación. Humedeciendo las llaves con agua antes de su uso se facilitara su operación.

Nota 36. El propósito del SnCl_2 es prevenir la oxidación del sulfuro de azufre elemental, el cual es soluble en cloroformo.

- 6.15.2 Añadir 75 mL de cloroformo a la solución, taponar el embudo de separación, agitar vigorosamente por 5 min y dejar reposar por 15 min para que el agua y el cloroformo se separen. Descargar el cloroformo (capa más baja, cercana a la llave) en otro embudo de separación Squibb de 125 mL, incluyendo la espuma (Nota 37) y un mínimo de mililitros de la capa acuosa, teniendo la seguridad de que toda la espuma sea transferida. Mantener la cantidad mínima de agua porque un poco de exceso puede dar lugar a una extracción incompleta de la espuma y puede causar una emulsión que no se separa fácilmente. Agitar la pera vigorosamente para asegurar la completa extracción de la espuma. Dejar que las fases se separen, y descargar el cloroformo en otro embudo de separación Squibb de 250 mL el cual contiene 50 mL de agua y unas pocas gotas de HCl. Agitar este embudo como en el caso del primer embudo de 250 mL. Cuando el cloroformo se ha separado, extraerlo hacia un frasco de ebullición de boca esmerilada estándar y base plana (Nota 38), cuidando de no dejar ingresar algo de agua en el frasco.

Nota 37. En la primera separación, en la interface del líquido, usualmente hay una espuma coloreada oscura. Esta puede contener sustancias orgánicas solubles en cloroformo después de la agitación en el embudo, y pueden ser concentradas y llevadas a un pequeño volumen por un suave movimiento de remolino del embudo después extraer la espuma en la parte más gosta del embudo.

Nota 38. El líquido es destilado a través de un tubo condensador. No deben usarse corchos o tapones de caucho, pero sí uniones esmeriladas. El cloroformo así recuperado se puede volver a utilizar como reactivo.

- 6.15.3 Añadir 25 mL de cloroformo a la solución en el embudo de separación original de 1 L, y realizar las operaciones como se describe en 6.15.2, reteniendo el agua de lavado original en la pera de 250 mL repetir usando otra porción de 25 mL de cloroformo.
- 6.15.4 Destilar los extractos combinados de cloroformo en el frasco de ebullición hasta reducir el volumen entre 10 a 15 mL. Filtrar el líquido remanente en un vaso de precipitado de 100 mL, o en una cápsula de platino ambos previamente tarados (Nota 39) a través de un papel de filtro de textura media que ha sido lavado con cloroformo fresco. Enjuagar el frasco y lavar el papel con varias cantidades pequeñas de cloroformo fresco. Evaporar los extractos a baja temperatura (no más de 63 °C) a sequedad (Nota 40) y calentar en un horno entre 57 °C y 63 °C por 3 min. Pasar aire seco en el vaso por 15s. enfriar y pesar. Repetir el calentamiento y pesado hasta que dos pesadas sucesivas no difieran por más de 0,0010 g. El mayor de los dos pesos debe ser tomado como el peso verdadero.

Nota 39. Es preferible una capsula de platino, ya que ésta alcanza rápidamente la temperatura ambiente. Si se usa un vaso de vidrio, este debe dejarse en el desecador por lo menos 20 min antes del pesado.

Nota 40. Se debe tener cuidado en manejar el extracto, ya que muchas de las sustancias orgánicas solubles en cloroformo son algo volátiles cuando son calentadas por largo tiempo, aún a temperaturas moderadas; por lo que hay que protegerlas de la acumulación de polvo,

la solución puede ser evaporada a temperatura ambiente durante toda la noche. Cuando se requiere una evaporación rápida, la solución puede evaporarse en una plancha caliente bajo una corriente de aire seco a través de un tubo de vidrio (de alrededor de 10 mm de diámetro interno) hasta llegar cerca de 3 mm de su profundidad. Luego retirar el vaso de la plancha caliente y continuar aplicando una lenta corriente de aire seco hasta secar el residuo. Continuar con una velocidad mayor de corriente de aire seco por 5 min a temperatura ambiente antes de colocar el vaso en el horno entre 57 °C y 63 °C Después de cada periodo de calentamiento de 3 minutos en el horno, pasar aire seco en el vaso por cerca de 15 s antes del pesado. El aire puede secarse pasándolo a través de un desecante barato, como cloruro de calcio o ácido sulfúrico, seguido por un desecante de alta eficiencia como perclorato de magnesio o sulfato de calcio anhidro, teniendo cuidado que el aire no arrastre el polvo del desecante. En lugar de usar aire comprimido, el cual es a menudo contaminado con aceite, suciedad y humedad, uno puede colocar la solución de cloroformo bajo una campana de vidrio e inducir una corriente de aire hacia el desecante por medio de un aspirador o bomba de vacío.

Cuando se sabe que la resina de Vinsol es la única sustancia presente, el residuo es más estable y puede calentarse entre 100 °C y 105 °C, en lugar de entre 57 °C y 63 °C, para expulsar las posibles trazas de cloroformo.

- 6.15.5 Blanco: Hacer la determinación de un blanco. Calcinar 40 g de la muestra de cemento entre 950 °C a 1000 °C por 1 hora (Nota 41) y volver a moler. Tratar esta muestra calcinada por el mismo procedimiento usando los mismos reactivos como en el análisis y corregir los resultados correspondientes.

Nota 41. Se debe tener cuidado de quemar completamente la sustancia orgánica. Se puede usar una capsula plana de platino de 100 mL, en la cual la muestra esté bien esparcida, si no se dispone de un horno, puede usarse un quemador de alta temperatura del tipo Meker. Cuando se usa un quemador, se debe revolver la muestra frecuentemente cada 5 min.

- 6.15.6 Cálculos: Calcular el porcentaje de sustancias orgánicas solubles en cloroformo con aproximación de 0,001 multiplicando el peso en gramos del residuo (Nota 42) por 2,5 (100 dividido por el peso de la muestra usada (40g)).

Reportar el resultado redondeado a la milésima.

Nota 42. Si la sustancia orgánica en el cemento presenta grasa es, el residuo es la resultante de la hidrólisis de los ácidos grasos en la solución ácida caliente y su peso debe ser multiplicado por 1,05 para dar el peso del glicérico original en la grasa. Si la sustancia original es estearato de calcio, el residuo es ácido esteárico, y su peso se obtiene multiplicando el residuo de la hidrólisis por 1,07.

B. Métodos alternativos

- 6.16 OXIDO DE CALCIO (Método de Ensayo Alternativo)

Procedimiento

- 6.16.1 Acidificar los filtrados combinados obtenidos de las precipitaciones del grupo del hidróxido de amonio, F3 (6.3.2), y de ser necesario evaporar el volumen a cerca de 200 mL, añadir 5 mL de HCl y unas gotas del indicador rojo de metilo y 30 mL de solución caliente de oxalato de amonio (50 g/L (Nota 12 – Métodos Referenciales). Caliéntese, la solución a una temperatura de 70 a 80 °C y añádase NH₄OH (1:1) gota a gota, con agitación, hasta que el color cambie de rojo a amarillo (ver Nota 13 –Métodos Referenciales). Dejar la solución en reposo sin calentarla durante una hora, agitándola ocasionalmente durante los primeros 30 minutos. Filtrar usando un papel retentivo y lavar moderadamente con una solución de oxalato de amonio frío (1g/L). Reservar el filtrado F6 y lavado (Nota 43).

Nota 43.- Cuando se realizan análisis para determinar la conformidad con las especificaciones y cuando exceda el óxido de manganeso, se puede separar el manganeso como se indica en 6.8.2 antes de determinar el óxido de calcio por este método alternativo.

- 6.16.2 Transferir el precipitado y el papel de filtro al vaso en que se efectuó la precipitación. Disolver el oxalato con 50 mL de HCl (1:4) caliente y macerar el papel de filtro. Diluir hasta 200 mL con agua, añadir unas cuantas gotas de indicador rojo de metilo y 20 mL de solución de oxalato de amonio, calentar la solución casi hasta la ebullición y precipitar el oxalato de calcio nuevamente, neutralizando la solución ácida con NH_4OH como se describe en 6.8.1. Dejar la solución en reposo de 1 a 2 horas, filtrar y lavar, combinar el filtrado con el F6 y reservar para la determinación de MgO (6.9.1).
- 6.16.3 Secar el precipitado en un crisol de platino, previamente tarado, carbonizar el papel sin llama a una temperatura baja y finalmente llevar a una temperatura de 1100 a 1200 °C en una mufla. Enfriar en un desecador, pesar como CaO . Repetir la ignición hasta obtener un peso constante.
- 6.16.4 Hacer una determinación en blanco, siguiendo el mismo procedimiento, usando la misma cantidad de reactivos y corregir los resultados obtenidos en el análisis.
- 6.16.5 Calcular el porcentaje de CaO con una aproximación de 0,1 multiplicando el peso en gramos de CaO por 200 (100 dividido por el peso de la muestra usada que es de 0,5 g).

6.17 OXIDO DE MAGNESIO

Reactivos

- 6.17.1 Solución de nitrato de amonio (20 g/L $\text{NH}_4 \text{NO}_3$)

Solución de oxalato de amonio (50 g/L)

Solución de hidróxidoquinoleína: Disolver 25 g de 8-hidroxiquinoleína en 60 ml de ácido acético. Cuando la disolución está completa diluir a 2 litros con agua fría. 1 mL de esta solución es equivalente a 0.0016 g de óxido de magnesio (MgO).

Solución estándar de bromato de potasio – Bromuro de potasio, (0,2N): Disolver 20 g de bromuro de potasio (KBr) y 5,57g de bromato de potasio (KBrO_3) en 200 mL de agua y diluir a 1 litro. Obtener la proporción de concentración de esta solución respecto a la de una solución de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N) como sigue: A 200 mL de agua en un erlenmeyer de 500 mL añadir 25 mL de la solución $\text{KBrO}_3\text{-KBr}$ 0,2 N, medido de una pipeta o bureta. Añadir 20 mL de HCl, agitar, y añadir inmediatamente 10 mL de KI (250 g/L). Mezclar bien y titular de una sola vez con la solución de tiosulfato de sodio hasta que casi se torne incolora. Añadir 2 mL de solución de almidón y titular hasta que desaparezca el color azul. Calcular la relación de concentración de la solución de $\text{KBrO}_3\text{-KBr}$, respecto a la del tiosulfato de sodio por división del volumen de tiosulfato de sodio entre el volumen de la solución de $\text{KBrO}_3\text{-KBr}$ usada en la titulación.

Solución de KI (250 g/L)

Solución estándar de tiosulfato de sodio (0,1 N): Disolver 25 g de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) en 250 mL de agua, añadir 0,1 g de carbonato de sodio (Na_2CO_3) y diluir a 1 litro. Dejar reposar por lo menos una semana. Estandarizar esta solución directamente contra un estándar primario de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Un mL de esta solución de tiosulfato de sodio 0,1 N es equivalente a 0,000504 g de óxido de magnesio.

Solución de almidón: A 500 mL de agua hervida fría, añadir una suspensión fría de 5g de almidón en 25 mL de agua, añadir una solución fría de 5 g de hidróxido de sodio (NaOH) en 50 mL de agua, añadir 15 g de KI y mezclar.

Procedimiento

- 6.17.2 Dispersar 0,5 g de la muestra de cemento (Nota 44) en un vaso de precipitados de 400 mL, añadir 10 ml HCl. Diluir inmediatamente a 100 mL, calentar suavemente y dispersar las partículas con una bagueta hasta que la descomposición sea completa, añadir 2 ó 3 gotas de HNO_3 y calentar a ebullición (Nota 45).

Nota 44. Si el SiO_2 , el grupo de hidróxido de amonio y el CaO , son separados y determinados según los métodos referencial o alternativo, el filtrado remanente puede ser usado para la determinación de MgO , como se describe en 7.2.2. En este caso, continuar con lo señalado después de la Nota 46

Nota 45. En el caso de cementos que contienen escorias de alto horno o una cantidad significativa de azufre como sulfuro, añadir 12 gotas de HNO_3 y hervir por 20 min para oxidar el fierro y separar el sulfuro.

- 6.17.3 Añadir 3 gotas de indicador rojo de metilo a la solución y luego adicionar NH_4OH , hasta que la solución sea amarilla. Calentar la solución hasta ebullición por 50 a 60 segundos. Si se produjera una ebullición brusca de la solución amoniacal es preferible la digestión en baño maría por 20 min. Retirar la solución y dejar decantar. Usando papel de textura media, filtrar la solución, lavar el precipitado dos veces con solución caliente de NH_4NO_3 (20 g/L) y reservar el filtrado. Transferir el precipitado con el papel de filtro a un vaso y disolver con 10 mL de HCl (1+1). Macerar el papel de filtro. Diluir a cerca de 100mL y calentar a ebullición. Volver a precipitar, filtrar y lavar los hidróxidos como se indica líneas arriba. Combinar estos filtrados y lavados con los de la primera precipitación teniendo cuidado de que el volumen no exceda de los 300 mL. (Nota 46). Añadir 5 mL de HCl , unas cuantas gotas de la solución indicadora rojo de metilo y 30 mL de la solución caliente de oxalato de amonio (50 g/L). Calentar la solución entre 70 y 80 °C y añadir lentamente el hidróxido de amonio (1+1) gota a gota, mientras se agita, hasta que el color cambie de rojo a amarillo y evitar que el precipitado pase a través del papel de filtro. Dejar que la solución repose sin calentamiento adicional por 15 minutos en un baño maría.

Nota 46. En el caso de cementos que contienen escorias de alto horno o aquellos que se cree que tienen una cantidad significativa de manganeso, acidificar con HCl , evaporar hasta 100 mL y remover el manganeso, acidificando los filtrados combinados obtenidos en las precipitaciones del grupo de hidróxidos de amonio (6.3 Métodos Referenciales), con HCl al punto final del indicador rojo de metilo.

- 6.17.4 Añadir 10 a 25 mL de reactivo 8-Hidroxiquinoleina (Nota 47) y 4 mL de NH_4OH por cada 100 mL de solución. Agitar con un agitador mecánico durante 15 minutos y dejar que decante el precipitado (Nota 48). Filtrar la solución en pape de textura media y lavar el precipitado con NH_4OH (1+40) caliente. Disolver el precipitado con 50 a 75 mL de HCl (1+9) caliente en un matraz de 500 mL. Diluir la solución resultante a 200 mL y añadir 15 mL de HCl . Enfriar la solución a 25 °C y añadir entre 10 a 35 mL de solución $\text{KBrO}_3\text{-KBr}$ 0,2 N (Nota 49) desde una pipeta o bureta. Agitar bien la solución y dejar reposar por 30 s, para asegurar la bromación completa. Añadir 10 mL de KI (250 g/L). Agitar bien la solución resultante y luego titular con la solución 0,1 N de Na_2SO_3 hasta que el color del yoduro llegue a ser tenuemente amarillo. En este punto añadir 2 mL de la solución de almidón y titular la solución hasta que desaparezca el color azul.

Nota 47. Es necesario un exceso de reactivo 8-hidroxiquinoleina, para evitar un bajo resultado MgO , el exceso mayor dará resultados altos, ver Tabla 1.

Nota 48. El precipitado debe ser filtrado máximo al término de una hora, para evitar resultados erróneos.

Nota 49. La cantidad de solución estándar de $\text{KBrO}_3\text{-KBr}$ usada debe ser según la Tabla 2.

Tabla 1: (66 de 89 de la NTP).

Contenido Aproximado de MgO, %	Cantidad Aproximada de Reactivo Requerido, mL
0 a 1,5	10
1,5 a 3,0	15
3,0 a 4, 5	20
4,5 a 6,0	25

Tabla 2

Contenido Aproximado de MgO, %	Cantidad de Solución estándar de KBrO ₃ -KBr, mL
0 a 1	10
1 a 2	15
2 a 3	20
3 a 4	25
4 a 5	30
5 a 6	35

- 6.17.5 Blanco: Hacer la determinación de un blanco siguiendo el mismo procedimiento y utilizando las mismas cantidades de reactivos y corregir los resultados obtenidos.
- 6.17.6 Cálculo: El porcentaje de óxido de magnesio se calcula con aproximación de 0,1, del siguiente modo (Nota 50).

$$\text{MgO \%} = E (V_1 \times R - V_2) \times 200$$

Donde:

- E = Equivalente de MgO de la solución de Na₂S₂O₃, g/mL
V₁ = mililitros de la solución utilizada de KBrO₃-KBr
R = Proporción en la concentración de la solución de KBrO₃-KBr
V₂ = mililitros de la solución Na₂S₂O₃ usada, y
200 = 100 dividido por el peso de la muestra usada (0,5 g).

Nota 50. V1R representa el volumen de la solución Na₂S₂O₃, equivalente al volumen de la solución KBrO₃-KBr usado. V2 representa la cantidad de Na₂S₂O₃, requerido por el exceso KBrO₃-KBr, el cual no es reducido por oxiquinolato de magnesio.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Los cálculos están especificados en cada método de ensayo de referencia.

MTC E 603

EXPANSION DEL CEMENTO EN EL AUTOCLAVE

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la estabilidad del volumen de muestras de pastas de cemento puro, al ser sometidas a tratamientos en autoclave.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

El propósito de este ensayo es determinar la posibilidad de una expansión potencial causada por la hidratación de cal libre CaO, o del óxido de magnesio, MgO, o de ambos, cuando se encuentran presentes en el cemento Pórtland.

- 2.1 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados en el presente método.
- 2.2 Este ensayo no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad correspondientes y determinar las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 334.004-2008 CEMENTO: Ensayo en autoclave para determinar la estabilidad de volumen.
- 3.2 ASTM C 151 Standard Test Method for Autoclave Expansion for Portland Cement.
- 3.3 AASHTO T 107-91: "Standard Test Method for Autoclave Expansion for Portland Cement".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanzas de $1000 \pm 1,0$ g de sensibilidad.
- 4.1.2 Cámara húmeda. Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan almacenarse con facilidad. Además, debe mantenerse a una temperatura de $23 \pm 1,7$ °C y a una humedad relativa no menor de 90%.
- 4.1.3 Autoclave: Constituida por una cámara de vapor de agua a alta presión con los siguientes accesorios: válvula de desfogue de aire y de vapor; una unidad de calefacción; un regulador automático de presión; una válvula de seguridad o un disco de seguridad y un manómetro. Tiene, además, un receptáculo que permite introducir un termómetro para medir la temperatura del vapor saturado. La potencia de la unidad de calefacción debe ser suficiente, para elevar la presión manométrica del vapor de agua saturado a $2,0 \pm 0,07$ MPa (295 ± 10 lb/pulg²), en un tiempo comprendido entre 45 y 75 minutos, después de ser puesta en funcionamiento, estando el autoclave con la máxima carga, o sea con el agua y las muestras. El regulador automático de presión debe ser capaz de mantener la presión manométrica por lo menos durante 3 horas, en $2,0 \pm 0,07$ MPa (295 ± 10 lb/pulg²), que corresponde a una temperatura de vapor saturado de entre 216 ± 2 °C.

El autoclave debe ser diseñado para permitir que, una vez suprimida la calefacción, la presión descienda a menos de 0,07 MPa (10 lb/pulg²), en un plazo de 90 minutos. La válvula de desfogue debe permitir el escape del aire cuando comienza el calentamiento e igualmente la eliminación de cualquier presión que pueda quedar al término del período de enfriamiento.

El manómetro debe tener un tablero con diámetro de 114 mm (4½") y debe estar graduado hasta por lo menos 4,1 MPa (600 lb/pulg²), con subdivisiones no mayores de 0,05 MPa (5 lb/pulg²).

El error admisible del manómetro no debe ser mayor de 0,02 MPa (± 3 lb/pulg²), a la presión de trabajo de 2 MPa (295 lb/pulg²).

4.1.4 Comparador de longitudes. El comparador para medir cambios de longitud debe tener un diseño que reúna las siguientes condiciones:

- Medios efectivos de contacto con los topes de medida de la muestra que aseguren la reproducción de las medidas de longitud. Un micrómetro, graduado para hacer lecturas en unidades de 0,0025 mm (0,0001"), que tenga una precisión de 0,0025. mm (0,0001") dentro de variaciones de longitud de 0,025 mm (0,0010") y de 0,005 mm (0,00020") dentro de variaciones de longitud de 0,25 mm (0,0100").
- Suficiente margen de operación para poder medir las posibles variaciones en la longitud de las muestras.
- Facilidad para realizar las medidas rápida y cómodamente.
- Posibilidad de controlar el aparato de medida a intervalos periódicos con un patrón de referencia.

Nota 1. El patrón de referencia está constituido por una barra de acero de longitud total $295,275 \pm 1,587$ mm ($115/8 \pm 1/16$ "). Su coeficiente de dilatación lineal no debe ser mayor de $1,8 \times 10^{-6}$ °C. Los extremos de la barra deben poder adaptarse a los del comparador y deben ser tratados térmicamente antes de pulirlos. En la parte media de la barra patrón, debe colocarse un tubo de caucho de 100 mm (4") de longitud y de por lo menos 3 mm ($1/8$ ") de espesor, para reducir el efecto del cambio de temperatura durante el manipuleo. La barra patrón debe tener una marca cerca a uno de sus extremos con el fin de colocarla en el comparador, siempre en la misma posición. El comparador debe controlarse con la barra patrón antes y después de hacer las lecturas inicial y final para cada serie de muestras

4.2 MATERIALES

4.2.1 Probeta graduada de $250 \pm 1,0$ mL, a 20 °C.

4.2.2 Moldes: Pueden ser sencillos o dobles (Figuras 1 y 2) y deben suministrar muestras en forma de prismas, de sección cuadrada de 25,4 mm (1") de lado de longitud efectiva de 254 mm (10").

La longitud efectiva es la distancia entre los topes de medida ajustables.

Al montarse los moldes, sus partes deben hacer un ajuste hermético y deben mantenerse firmemente unidas.

Deben fabricarse de acero u otro metal duro inatacable por el cemento; sus paredes deben ser suficientemente rígidas para evitar que la muestra se deforme y sus placas terminales deben construirse de modo que alojen los topes de medida.

La distancia entre las caras opuestas de los moldes deben ser de $25,4 \pm 0,8$ mm ($1 \pm 0,03$ ") y su altura, medida separadamente para cada compartimiento, debe ser de $25,4 \pm 0,8$ mm ($1 \pm 0,03$ ") tanto para moldes en uso como para nuevos.

4.2.3 Topes de medida. Deben ser de acero inoxidable adecuado y su sección debe ser circular, con diámetro de 6,4 mm ($1/4$ "). Deben colocarse de manera que su eje principal coincida con el eje principal de la muestra, que se introduzca dentro de ellas 16 mm y que la distancia entre sus extremos interiores, sea de $25,4 \pm 2,5$ mm ($1 \pm 0,1$ ").

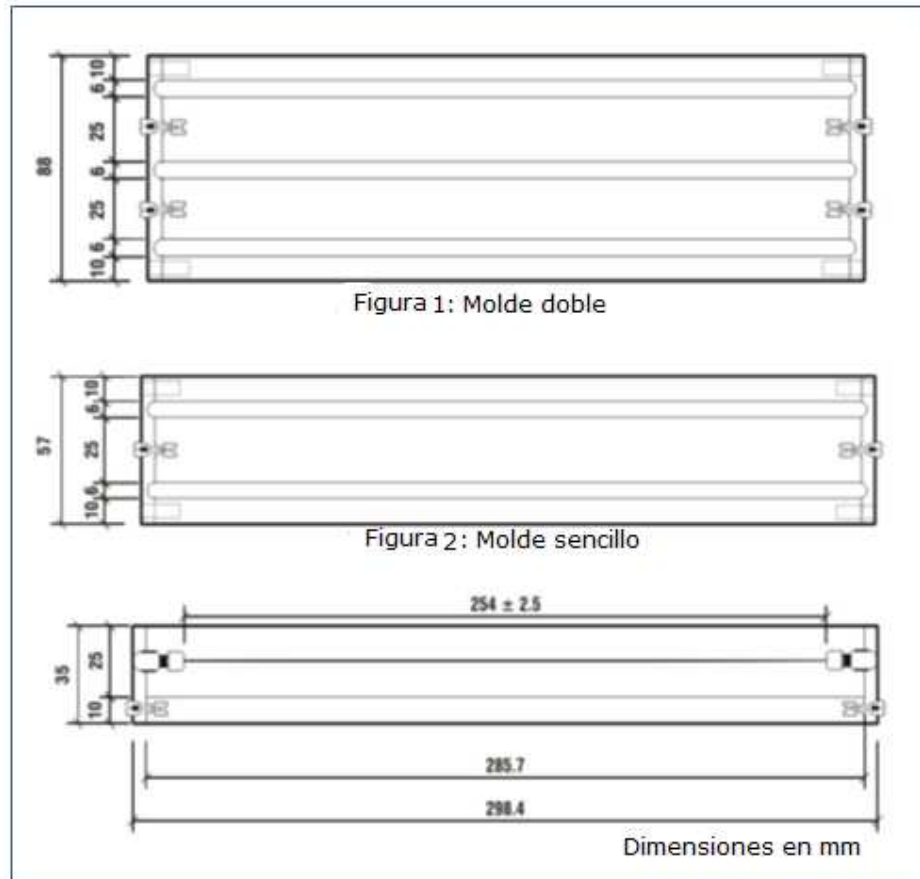


Figura 1 y 2: Moldes sencillo y doble

- 4.2.4 Espátula o badilejo de acero, cuya paleta tenga de 100 a 150 mm de longitud.
- 4.2.5 Guantes de cuero y jebe.
- 4.3 INSUMOS
- 4.3.1 Agua desionizada o destilada (la temperatura del agua durante la mezcla será de $23 \pm 1,7$ °C, dentro del rango de temperatura del laboratorio 20 °C – $27,5$ °C y la humedad relativa no debe ser inferior al 50%)

5.0 MUESTRA

PREPARACION DE MUESTRA

- 5.1 Normalmente se debe preparar un espécimen pero cuando se necesite repetir un ensayo, se deben preparar tres.
- 5.2 Preparación de los moldes. Los moldes y los topes de medida se deben limpiar perfectamente; armar los moldes y recubrir interiormente con una capa delgada de aceite mineral para que la muestra se pueda retirar con facilidad. Luego colocar los topes en su sitio, cuidando que estén libres de aceite.
- 5.3 Preparación de la pasta de cemento. Sobre una superficie pulida y no absorbente, colocar 650 g de cemento y la cantidad de agua que se ha determinado para obtener una pasta de consistencia normal según MTC E605.
- 5.4 Llenado de los moldes. Llenar los moldes tan pronto termina la operación anterior. Colocar dos capas aproximadamente iguales, presionando la pasta con los dedos pulgares o índices para obtener el mejor llenado posible y cuidando de obtener una perfecta compactación

alrededor de los topes de medida. Luego retirar la pasta sobrante pasando una espátula al ras del molde y retocar las caras si fuese necesario.

- 5.5 Almacenamiento y fraguado. Inmediatamente después que termina la preparación de las muestras, colocar los moldes en la cámara húmeda donde deben permanecer no menos de 20 horas; si las muestras se sacan de los moldes antes de 24 horas, deben colocarse de nuevo en la cámara húmeda hasta el momento de ser ensayadas.

6.0 PROCEDIMIENTO

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

- 6.1 El manómetro deberá tener una capacidad máxima de 4,1 MPa (600 lb/pulg²). Esto es importante, ya que con una capacidad muy pequeña, solamente una pequeña longitud de arco queda para indicar presiones superiores a la presión máxima de trabajo. El operador deberá estar siempre seguro de que la manecilla del manómetro no sobrepase la máxima graduación de la escala.
- 6.2 Verificar que el manómetro se encuentre calibrado, es decir funcione adecuadamente. Para detectar alguna falla e indicar cualquier condición no usual del manómetro, se debe usar siempre junto a éste un termómetro.
- 6.3 Mantener el control automático en perfectas condiciones de funcionamiento.
- 6.4 Fijar la válvula de seguridad que libera la presión del vapor, entre 6% y 10% por encima del máximo de 2,1 MPa (305 psi). El mantenimiento de esta válvula debe ser dos veces al año.
- 6.5 Usar guantes de cuero grueso para evitar quemaduras al retirar la tapa de la autoclave, dirigiendo la válvula de seguridad lejos del operador.
- 6.6 Es importante que el operador conozca que el punto inicial del manómetro no necesariamente indica presión cero en el autoclave.

7.0 CALCULOS E INFORME

La longitud de cada muestra se mide antes y después del ensayo para determinar la diferencia, la cual se expresa en porcentaje de la longitud efectiva con aproximación de 0,01%. En caso de que haya contracción, el resultado se indica por un número negativo.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 Para un mismo operador la desviación típica ha sido establecida en 0,024% para un rango de expansión entre 0,11% a 0,94% entonces dos resultados de ensayo del mismo, operador realizados con tandas similares, no diferirá en más de 0,07% de expansión.
- 8.1.2 Para la precisión multilaboratorio la desviación típica ha sido establecida en 0,03% con un rango de expansión entre 0,11% a 0,94%, luego los resultados de dos ensayos realizados por dos laboratorios diferentes, con materiales similares, no diferirá en más de 0,09% de expansión.

MTC E 604**FINURA DEL CEMENTO POR MEDIO DE LA MALLA N° 200****1.0 OBJETO**

1.1 Determinar la finura del cemento por medio del tamiz N° 200 (75 µm).

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados en el presente método.
- 2.2 Este ensayo no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad correspondientes y determinar las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM C 184 – 94 Standard Test Methods for Fineness of Hydraulic Cement by the 150-µm (No. 100) and 75- µm (No. 200) Sieves.
- 3.2 AASHTO T 128 – 92 Standard Test Methods for Fineness of Hydraulic Cement by the No. 100 (150-µm) and N° 200 (75- µm) Sieves.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES**4.1 EQUIPOS**

4.1.1 Balanza analítica de 200 g ± 0,0002 g.

4.2 MATERIALES

4.2.1 Tamiz N° 200 (75 µm)

4.2.2 Brocha

5.0 MUESTRA

Se usan generalmente 50 gramos de cemento para este ensayo.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Pesar 50 g de cemento con ± 0,0002 g de aproximación.
- 6.2 Colocar la malla N° 200 limpia y seca sobre el recipiente base y transferir cuantitativamente la muestra a la malla y tapar.
- 6.3 Agitar suavemente la malla, horizontalmente con movimientos de rotación, y verticalmente con golpes de vez en cuando. El tiempo de agitado debe ser entre 5 y 10 minutos.
- 6.4 Quitar la tapa y separar la malla N° 200, vaciando la fracción de cemento que ha sido retenida en ella sobre un papel bien limpio y tarado. Las partículas que han quedado atrapadas sobre los hilos de la malla no hay que forzarlas a pasar a través de ella; inviértase el tamiz y con ayuda de una brocha o un cepillo de alambre, despréndanse y agréguese a las depositadas en el papel.
- 6.5 Pesar cuidadosamente la fracción de la muestra obtenida en 6.4.

7.0 CALCULOS E INFORME**7.1 CALCULOS**

La finura del cemento se calcula por medio de la fórmula:

$$F = \frac{R}{50} \times 100$$

Donde:

- F = Finura del cemento expresada como porcentaje en peso del residuo que no pasa el tamiz N° 200
- R = Peso del residuo que no pasa el tamiz N° 200, en gramos.

MTC E 605**CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar la consistencia de fraguado del cemento hidráulico utilizando la aguja de Vicat.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 La consistencia normal del cemento está definida por la cantidad de agua requerida para obtener una pasta que permita la penetración de 10 ± 1 mm del émbolo del equipo Vicat, después de 30 segundos de concluida su preparación.
- 2.2 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados en el presente método.
- 2.3 Este ensayo no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad correspondientes y determinar las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 NTP 334.006:2003 CEMENTOS: Determinación del tiempo de fraguado del cemento Hidráulico utilizando la aguja de Vicat.
- 3.2 ASTM C 187 – 98: "Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement"
- 3.3 AASHTO: T 129 – 88: Normal Consistency of Hydraulic Cement.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Balanza y pesas de capacidad $1000 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$.

- 4.1.2 Equipo de Vicat (Figura 1), consistente en un soporte (A), un vástago móvil (B) que pesa 300 g; uno de sus extremos (C) de 10 mm de diámetro y 50 mm de longitud es de sondaje; el otro extremo (D) tiene una aguja de 1 mm de diámetro y 50 mm de longitud. El vástago (B) es reversible y puede sostenerse en la posición deseada por medio de un tornillo (E) y tiene un indicador ajustable (F) que se mueve sobre la escala graduada en milímetros, rígidamente unida al soporte (A).

El equipo de Vicat también puede estar construido con vástago no reversible, pero en este caso debe tener un dispositivo de compensación de peso que permita cambiar la sonda por la aguja. Las secciones terminales de la aguja y de la sonda deben ser planas y perpendiculares al eje del vástago.

El molde (G) donde se coloca la pasta debe ser de forma tronco-cónica con un diámetro interior 60 mm en la parte superior y 70 mm en la base mayor, que debe reposar sobre una placa de vidrio (H) de 100 mm x 100 mm x 0,5 mm. El molde debe ser de material no absorbente y resistente física y químicamente al ataque de las pastas de cemento.

Adicionalmente a lo descrito el equipo de Vicat y el molde deben cumplir con los requisitos indicados en el Anexo A.

- 4.1.3 Mezcladora, paleta, recipiente de mezcla y raspador. Deben cumplir con los requisitos establecidos en la norma MTC E-611.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Probeta graduada de 250 ± 1 mL, a 20 °C.
- 4.2.2 Espátula o badilejo de acero, cuya paleta tenga de 100 mm a 150 mm de longitud.
- 4.2.3 Guantes de jebe.

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Agua desionizada o destilada (la temperatura del agua durante la mezcla será de $23\text{ °C} \pm 1,7\text{ °C}$, dentro del rango del ambiente de mezclado, $20\text{°C} - 27,5\text{ °C}$)

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pesar $650\text{ g} \pm 0,1\text{ g}$ de cemento.
- 5.2 Colocar toda el agua (agua desionizada o destilada, de no disponer puede ser agua potable limpia) en el recipiente de mezclado.
- 5.3 Agregar el cemento al agua y se permite la absorción de agua durante 30 segundos.
- 5.4 Encender la mezcladora y mezclar a velocidad lenta ($140 \pm 5\text{ rpm}$), durante 30 segundos.
- 5.5 Detener la mezcladora durante 15 segundos, en este tiempo se raspa la pasta que pueda haber quedado adherida a las paredes del recipiente y se incorpora al resto de la pasta.
- 5.6 Encender la mezcladora, nuevamente, a velocidad media ($285 \pm 10\text{ rpm}$) y se mezcla durante 1 minuto para obtener la pasta.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Llenado de moldes

Con la pasta de cemento preparada, formar rápidamente una masa esférica con las manos protegidas de guantes y manteniéndolas separadas unos 150 mm, arrojar la masa de una mano a otra 6 veces. Manteniendo la masa esférica en la palma de una de las manos, y la base menor del molde sobre la otra mano, llenar completamente el molde (G), Retirar el exceso de masa en la base mayor, colocar encima la placa de vidrio (H). Y voltear el conjunto, retirando el exceso de masa en la base menor con la ayuda de la espátula. Alisar la parte superior, si es necesario con unos cuantos toques ligeros con la espátula, teniendo cuidado de no comprimir la pasta.

6.2 Determinación de la consistencia normal

Colocar y centrar debajo del vástago (B) la placa de vidrio con el molde que contiene la pasta, se hace descender el vástago hasta que el extremo de la sonda (C) haga contacto con la superficie de la pasta y se fija en esta posición por medio del tornillo (E). Se lee la posición inicial del indicador (F) en la escala o se desplaza el indicador hasta que coincida con el cero superior; 30 segundos después de terminada la mezcla, se suelta el vástago cuidando que el equipo no esté sometido a ninguna vibración durante el ensayo. Se considera que la pasta tiene consistencia normal cuando la sonda penetra $10 \pm 1\text{ mm}$, 30 segundos después de haber sido soltado. Si no se obtiene la consistencia normal en el primer ensayo, debe repetirse toda la operación, variando la cantidad de agua, hasta obtenerla; cada vez hay que emplear cemento nuevo.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

La cantidad de agua requerida para obtener una pasta de consistencia normal debe calcularse como un porcentaje en peso del cemento seco, con aproximación del 0,1% y reportarse con aproximación del 0,5%.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

Los resultados de dos ensayos repetidos de consistencia normal debidamente realizados en un laboratorio, deberán coincidir dentro de 0,5%. Los resultados de dos laboratorios no diferirán en más de 1,0

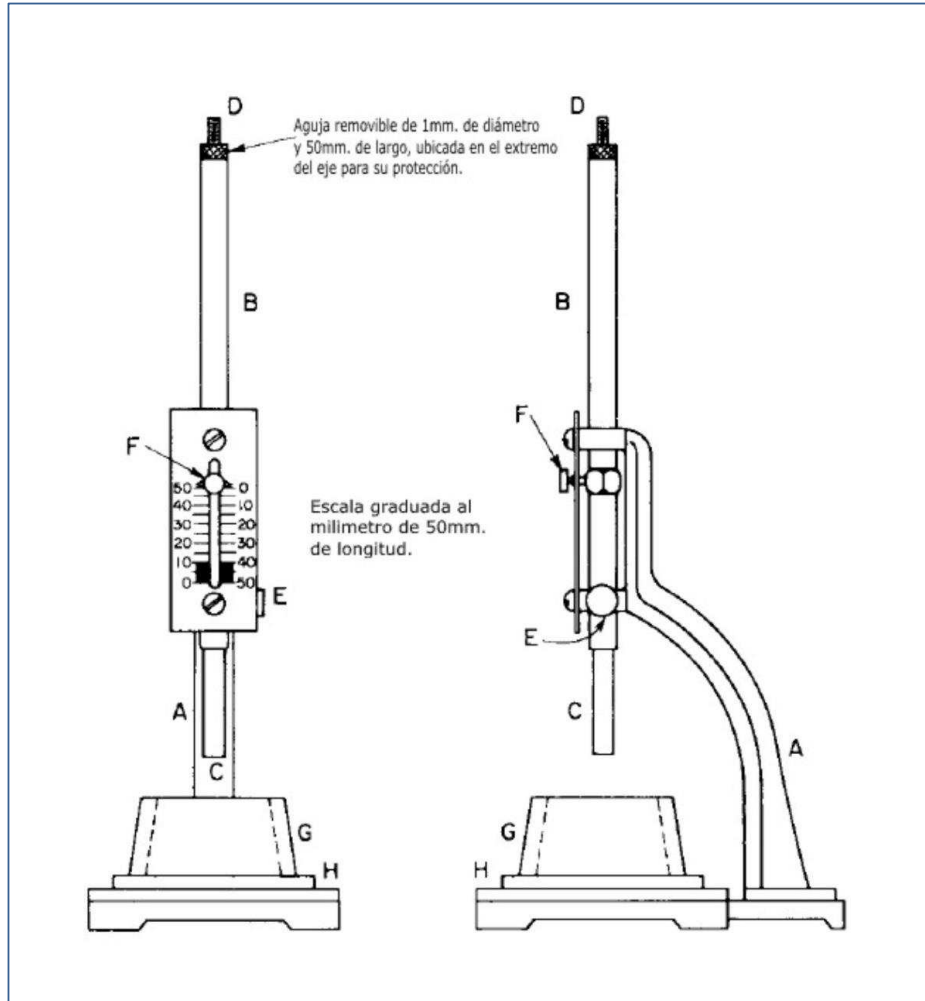


Figura 1: Equipo de Vicat

El Equipo de Vicat y el molde deben cumplir con los siguientes requisitos: (Este texto podría ir debajo del esquema del equipo para un mayor entendimiento).

• Peso de sonda.....	300 + 0,5 g (0,661 lb ± 8 gramos)
• Diámetro de sonda.....	10 ± 0,05 mm (0,394 ± 0,002")
• Diámetro de la aguja.....	1 ± 0,05 mm (0,039 ± 0,002")
• Diámetro interior de la base mayor del molde	70 ± 3 mm (2,75 ± 0,12")
• Diámetro interior de la base menor del molde	60 ± 3 mm (2,36 ± 0,12")
• Altura del molde	40 ± 1 mm (1,57 ± 0,04")

La escala graduada, comparada con una escala patrón de exactitud de 0,1 mm en todos sus puntos, no debe indicar en ninguna parte una desviación mayor de 0,25 mm.

MTC E 606**TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO PORTLAND (METODO DE VICAT)****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar el tiempo de fraguado del cemento Pórtland, mediante la aguja de Vicat.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

Este ensayo permite determinar el tiempo de fraguado inicial y final del cemento Pórtland mediante la Vicat.

- 2.1 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados en el presente método.
- 2.2 Este ensayo no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad correspondientes y determinar las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 NTP 334.006:2003 CEMENTOS. Determinación del tiempo de fraguado del cemento Hidráulico utilizando la aguja de Vicat.
- 3.2 NTP 334.009:2002 CEMENTOS. Cemento Pórtland. Requisitos.
- 3.3 ASTM C 191 – 2001a: CEMENTOS. Standard Test Method for time of setting of Hydraulic Cement by Vicat needle.
- 3.4 AASHTO: T 131 - 88 Time setting of Hydraulic Cement by Vicat needle

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Balanza y pesas de capacidad 1000 g \pm 0,1 g.
- 4.1.2 Equipo de Vicat, que cumpla con los requisitos establecidos en la presente norma (ver Figura 1).
- 4.1.3 Cámara húmeda, que mantenga una temperatura de 21 a 25 °C y una humedad relativa no menor del 90%. Además, tendrá las dimensiones necesarias para que las muestras puedan ser almacenadas con facilidad.
- 4.1.4 Mezcladora, paleta, recipiente de mezcla y raspador – Deben cumplir con los requisitos establecidos en la norma MTC E-611.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Probeta graduada de 250 mL \pm 1 mL, a 20 °C.
- 4.2.2 Espátula o badilejo de acero, cuya paleta tenga de 100 mm a 150 mm de longitud.
- 4.2.3 Guantes de jebe.

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Agua desionizada o destilada (la temperatura del agua durante la mezcla será de 23 °C \pm 1,7 °C, dentro del rango del ambiente de mezclado, 20 °C – 27,5 °C).

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pesar 650 g \pm 0,1 g de cemento.
- 5.2 Colocar toda el agua (agua desionizada o destilada, de no disponer puede ser agua potable limpia) en el recipiente de mezclado.
- 5.3 Agregar el cemento al agua y se permite la absorción de agua durante 30 segundos.

- 5.4 Encender la mezcladora y mezclar a velocidad lenta ($140 \text{ rpm} \pm 5 \text{ rpm}$), durante 30 segundos.
- 5.5 Detener la mezcladora durante 15 segundos, en este tiempo se raspa la pasta que pueda haber quedado adherida a las paredes del recipiente y se incorpora al resto de la pasta.
- 5.6 Encender la mezcladora, nuevamente, a velocidad media ($285 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$) y se mezcla durante 1 minuto para obtener la pasta.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Llenado de moldes

Con la pasta de cemento preparada, formar rápidamente una masa esférica con las manos protegidas de guantes y manteniéndolas separadas unos 150 mm, arrojar la masa de una mano a otra 6 veces. Manteniendo la masa esférica en la palma de una de las manos, y la base menor del molde sobre la otra mano, llenar completamente el molde (G), Retirar el exceso de masa en la base mayor, colocar encima la placa de vidrio (H). Y voltear el conjunto, retirando el exceso de masa en la base menor con la ayuda de la espátula. Alisar la parte superior, si es necesario con unos cuantos toques ligeros con la espátula, teniendo cuidado de no comprimir la pasta.

6.2 Determinación del tiempo de fraguado

Mantener la masa preparada anteriormente dentro de la cámara húmeda durante 30 minutos sin que sufra ninguna alteración. Debe determinarse la penetración de la aguja de 1 mm en ese instante y luego debe repetirse cada 15 minutos (Para cementos de tipo 3 debe repetirse cada 10 minutos), hasta que se obtenga una penetración de 25 mm o menos. Para el ensayo de penetración debe hacerse descender la aguja D del vástago B, hasta que el extremo haga contacto con la superficie de la pasta de cemento. Debe apretarse el tornillo de sujeción E y ajustarse el índice F, en el extremo superior de la escala o anotarse una lectura inicial. Se suelta el vástago rápidamente aflojando el tornillo de sujeción E y dejando que la aguja penetre durante 30 segundos, momento en el cual debe tomarse la lectura para determinar la penetración. (Si durante las primeras lecturas la pasta se mantiene blanda, el descenso del vástago se puede hacer lentamente para evitar la deformación de la aguja de 1 mm, pero las determinaciones de penetración para el tiempo de fraguado se deben hacer aflojando el tornillo).

Las penetraciones deben estar separadas por lo menos 6 mm entre sí y 9 mm del borde interior del molde. Se anotan los resultados de todas las penetraciones y por interpolación debe determinarse el tiempo obtenido para una penetración de 25 mm, el cual indica el tiempo de fraguado.

6.3 Precauciones

Evitar las vibraciones durante la penetración. La aguja, de 1 mm de diámetro, debe ser recta y estar limpia, pues la acumulación de pasta en su periferia puede retardar la penetración, así como la pasta en la punta puede aumentar la misma. Esta determinación es sólo aproximada, puesto que no sólo la temperatura y la cantidad de agua de amasado influyen en el resultado, sino también la temperatura y humedad del aire.

- 6.4 El tiempo de fraguado final se determinará, invirtiendo el molde cuando la penetración sea igual o menor a 2 mm y ensayando penetraciones hasta que la aguja no deje marca visible sobre la nueva superficie.
- 6.5 Los resultados de un mismo operador, con pastas similares no diferirán en más de 34 min. Para el tiempo inicial de fragua, ni más de 56 min para el tiempo final.
- 6.6 Los resultados de dos diferentes laboratorios, con pastas similares no diferirán con más de 45 min, para el tiempo inicial de fragua y no más de 122 min para el tiempo final.

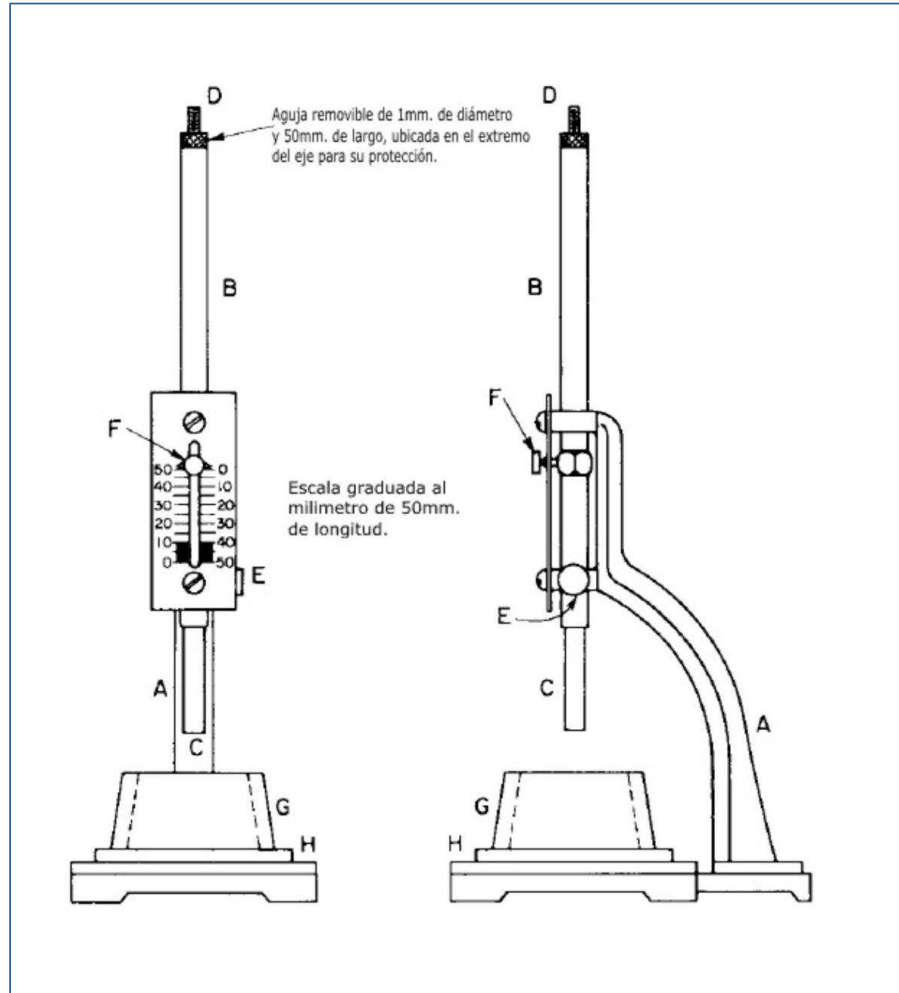


Figura 1: Equipo de Vicat

MTC E 607**FRAGUA DEL CEMENTO HIDRÁULICO (AGUJAS DE GILLMORE)****1.0 OBJETO**

1.1 Determinar el tiempo de fraguado del cemento Pórtland, mediante la aguja de Gillmore.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

2.1 El tiempo de fraguado es afectado no sólo por el porcentaje, temperatura del agua usada y la cantidad de pasta recibida, sino también por la temperatura y humedad del aire.

2.2 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados en el presente método.

2.3 Este ensayo no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad correspondientes y determinar las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

3.1 CEMENTOS. Método de ensayo para determinar los tiempos de fraguado de pasta de cemento Portland por medio de las agujas Gillmore.

3.2 NTP 334.003:1998 CEMENTOS. Procedimientos para la obtención de pastas y morteros de consistencia plástica por mezcla mecánica.

3.3 ASTM C 266 – 1999 Standard Test Method for time of setting of Hydraulic Cement Past by Gillmore Needles.

3.4 AASHTO T 154 Time setting of Hydraulic Cement by Gillmore needle

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

4.1.1 Balanza y pesas de capacidad 1000 g \pm 0,1 g

4.1.2 Equipo de Gillmore (Figura 1). Consta de los siguientes elementos.

- Un soporte con dos brazos rígidamente unidos a él, que mantiene en posición vertical los dispositivos de penetración.
- *Un dispositivo de penetración inicial.* Tiene un vástago móvil, con un compensador de peso y una aguja en uno de sus extremos. El conjunto debe pesar 113,5 \pm 0,5 g (0,250 lb \pm 0,01lb). El diámetro de la aguja debe ser de 2,12 \pm 0,05 mm (0,084 \pm 0,002") y su longitud de 4,8 mm (3/16").
- *Un dispositivo de penetración final.* Tiene un vástago móvil, con un compensador de peso y una aguja en uno de sus extremos. El conjunto debe pesar 453,6 \pm 0,5 g (1 lb \pm 0,001lb). El diámetro de la aguja debe ser de 1,06 \pm 0,05 mm y su longitud de 4,8 mm \pm 0,5mm (0,189 \pm 0,020 pulg).

4.1.3 Cámara húmeda. Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan almacenarse con facilidad. Además, debe mantenerse a una temperatura de 23 \pm 1,7 °C y a una humedad relativa no menor de 90%.

4.1.4 Mezcladora, paleta, recipiente de mezcla y raspador – Deben cumplir con los requisitos establecidos en la norma MTC E-611.

4.2 MATERIALES

4.2.1 Probeta graduada de 250 \pm 1 mL, a 20 °C.

4.2.2 Espátula o badilejo de acero, cuya paleta tenga de 100 a 150 mm de longitud.

4.2.3 Guantes de jebe.

4.3 INSUMOS

4.3.1 Agua desionizada o destilada (la temperatura del agua durante la mezcla será de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, dentro del rango del ambiente de mezclado, $20\text{ }^{\circ}\text{C} - 27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$)

5.0 MUESTRA

5.1 PREPARACION DE MUESTRA

Se efectúa según la norma MTC E 605

Después de preparar la pasta, extenderla sobre una placa de vidrio; luego, con ayuda de una espátula, llevar la pasta desde la periferia hacia el centro, hasta formar un tronco de cono de bases paralelas, de unos 76 mm de diámetro en la base mayor y unos 13 mm de altura. Inmediatamente después alisar la superficie (véase Figura 2). La placa de vidrio debe ser cuadrada, de unos 100 mm de lado, limpia y plana.

Mantener dentro de la cámara húmeda la pasta sobre la placa, hasta el inicio de las determinaciones.

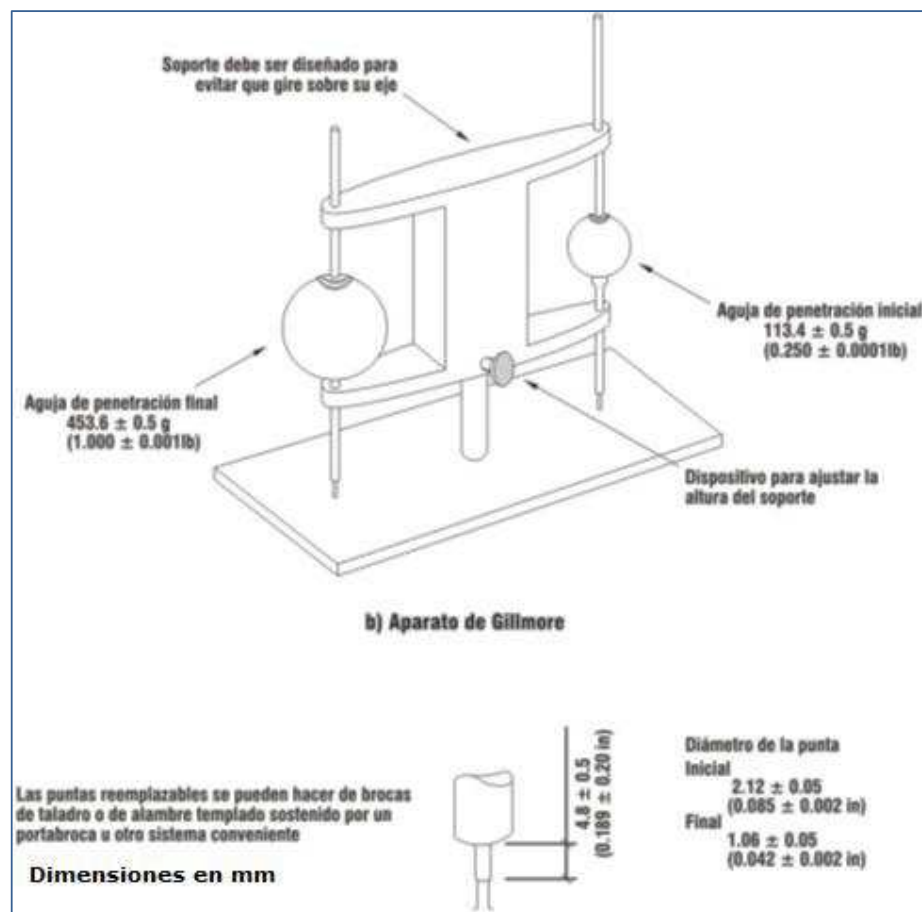


Figura 1: Aparato de Gillmore

6.0 PROCEDIMIENTO

Determinación de los tiempos de fraguado.

Retirar la muestra de la cámara húmeda y colocarla debajo de los dispositivos de penetración y luego bajar éstos suavemente hasta que tomen contacto con ella. Se repite el método hasta que las agujas de los dispositivos de penetración no dejen huella sobre la muestra. Los extremos de las agujas deben ser planos y perpendiculares a su eje. Entre cada determinación y la siguiente, la muestra de ensayo debe permanecer en la cámara húmeda.

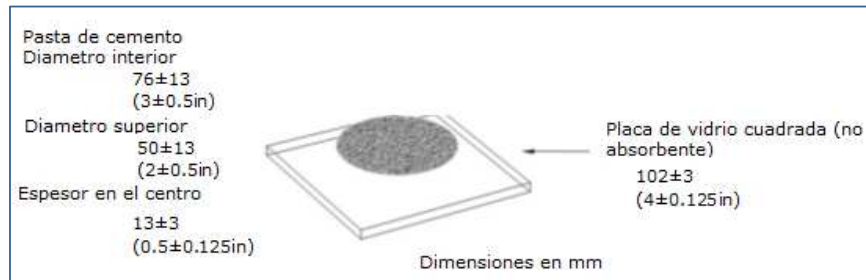


Figura 2: forma de la muestra para el ensayo

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME

Reportar el tiempo fragua como sigue.

Tiempo inicial de fragua Gillmore -min

Tiempo final de fragua Gillmore -min

Nota1. Esta determinación es sólo aproximada porque la temperatura, cantidad de agua de amasado y humedad del aire afectan el ensayo

MTC E 608

FINURA DEL CEMENTO PORTLAND (TURBIDÍMETRO)

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la finura del cemento Portland por medio del Turbidímetro de Wagner, expresando la finura como el área de la superficie total en cm^2 / g de cemento.
- 1.2 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados en el presente método.
- 1.3 Este ensayo no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad correspondientes y determinar las obligaciones de su uso e interpretación.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método determina la fineza del cemento Portland, midiendo la intensidad de luz que pasa a través de una suspensión del material pulverizado, utilizando el turbidímetro de Wagner.

La fineza del cemento es solamente una de las muchas características que influyen en la capacidad de la fuerza del concreto.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 ASTM C 115: "Standard Test Methods for Fineness of Portland Cement by the Turbidimeter".
- 3.2 AASHTO T 98: "Standard Methods of Test for Fineness of Portland Cement by the Turbidimeter".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Turbidímetro de Wagner.

Consiste fundamentalmente de una fuente de luz de intensidad constante, cuyos rayos pasan a través de una muestra de cemento en suspensión e inciden en una celda fotoeléctrica. La corriente generada es medida por un micro amperímetro, relacionando esta medida con la turbiedad de la suspensión. Esta turbiedad es, a su vez, una medida de la superficie específica del cemento.

La figura 1, muestra el diseño, dimensiones y detalles de los componentes del turbidímetro. La caja puede ser de madera o de metal.

Elementos:

- **Fuente luminosa:** Consta de una lámpara eléctrica con 3 a 6 bujías alimentada por una fuente constante de 6 voltios, provista de un reflector de forma parabólica, de modo que los rayos paralelos pasen por la cubeta de sedimentación y lleguen hasta la celda fotoeléctrica.
- **Cámara absorbente de calor:** Consta de un tubo de aleación cobre - zinc de 76 mm (3") de diámetro interior y 102 mm (4") de largo, con ventanas de vidrio en sus extremos y provisto de un orificio con tapón para el llenado con agua destilada. Este dispositivo se debe colocar entre la fuente de luz y la cubeta para absorber parte del calor irradiado por la bujía.
- **Filtro de luz:** El filtro será de vidrio u otro dispositivo capaz de reducir la intensidad de la luz de 100 μA hasta 20 a 30 μA . Esta reducción será uniforme en toda la sección del haz luminoso.
- **Cubeta de Sedimentación:** La cubeta de sedimentación es de vidrio, de 4,8 mm (3/6") de espesor y de forma rectangular. Sus dimensiones interiores son:

Largo 50,0 mm \pm 0,8 mm (2" \pm 0,03"); ancho 38,0 mm \pm 0,8 mm (1,5" \pm 0,03") y alto 203,0 mm \pm 2,50 mm (8,0" \pm 0,10"). Las caras de 50,0 mm (2") de largo están normales al rayo luminoso y deben estar equidistantes en todos sus puntos con tolerancia de \pm 0,3 mm (0,01"). La marca correspondiente a un volumen de 335 mL indica el nivel hasta donde debe llenarse la cubeta.

- **Celda fotoeléctrica:** La célula fotoeléctrica sensible mide la intensidad de la luz y se conecta directamente al microamperímetro. Frente a la célula hay una pantalla con una ranura horizontal de 12,7 mm (1/2") de ancho por 35 mm (1 3/8") de largo. La cara de la célula fotoeléctrica será paralela a la pared de la cubeta con tolerancia de 0,5 mm.
- **Pantalla metálica:** La pantalla metálica tiene una ranura horizontal de 1 mm de ancho por 38 mm de largo y estará entre el recipiente con agua y la cubeta de sedimentación.
- **Microamperímetro:** Con escala 0 μ A a 50 μ A, mide la corriente generada en la célula y permite leer el décimo de microampere con una exactitud de 1 %.
- **Plataforma móvil:** Sobre la plataforma móvil están montados la fuente luminosa, el recipiente con agua y la célula. Su altura se regula por medio de un tornillo con manivela para conseguir que los rayos luminosos puedan atravesar la suspensión a diferentes niveles. La cubeta de sedimentación está montada en una base independiente del resto del aparato, de modo que permanezca libre de las vibraciones causadas por el movimiento de la plataforma. Un índice unido a la plataforma móvil indica en una escala colocada sobre la cámara la posición del nivel del haz luminoso con respecto al nivel del líquido en la cubeta.
- **Tamiz - 18:** Es de metal anticorrosivo; tiene 50,0 mm + 1,2 mm de diámetro, 76,0 mm \pm 0,6 mm de alto y provisto de una malla -18 según NCh32.0f48; el factor de corrección del tamiz será inferior o igual a 12 %.
- **Agitador:** El agitador consiste en una escobilla cilíndrica de cerdas, de 19 mm de diámetro y alrededor de 45 mm de largo y debe girar aproximadamente a 3500 rpm. También puede usarse otro dispositivo que reproduzca igual eficiencia en la dispersión.
- **Surtidor:** El surtidor consta de una válvula, un manómetro y una boquilla con un disco perforado.
- **Bureta:** La bureta consiste en un tubo de vidrio cuyo extremo inferior es un tubo capilar y el extremo superior tiene un ensanchamiento en forma de embudo. Las líneas de graduación de la bureta son círculos completos e indican los tiempos de medición.

Las dimensiones de la bureta son las siguientes:

○ Longitud del tubo grande	38,0 \pm 4
○ Diámetro interior del tubo grande	1,9 \pm 0,2
○ Longitud del tubo capilar	
○ Diámetro del tubo capilar	17,5 \pm 2,5
○ Distancia del borde superior de la bureta a la marca cero	0,09 \pm 0,005 7,0 \pm 1

- **Líquido para la suspensión:** Kerosene blanco y puro.

Calibración del turbidímetro

- **Bureta graduada**

Para la graduación de la bureta usar el mismo kerosene con el cual se ha preparado la suspensión. Deberá conocerse la viscosidad y masa específica para la temperatura a que se efectúe la graduación.

Calcular el tiempo de sedimentación de las diferentes partículas por la ley de Stokes:

$$t = \frac{1837000}{(d_1 - d_2)} \mu \times \frac{h}{d^2}$$

Donde:

- t = tiempo de sedimentación, en s
- μ = viscosidad del líquido, en poises
- h = altura de caída, en cm
- d_1 = masa específica de las partículas de cemento, en g/cm³
- d_2 = masa específica del kerosene, en g/cm³

Los valores de h/d^2 están dados en la Tabla 1

Llenar la bureta casi completamente con kerosene, a la temperatura deseada. Poner en movimiento, un cronómetro en el instante en que la superficie libre del kerosene pase por la marca cero. Los niveles alcanzados por el kerosene, al cabo de cada uno de los intervalos de tiempo, aproximadamente calculados, se marcarán en la bureta. En estas marcas se grabarán, trazos y números, indicando los diámetros correspondientes de las partículas.

Con el auxilio de la bureta así graduada, podrá usarse el aparato en los límites normales de variación de temperatura de las salas, sin corrección ulterior.

- **Tamiz**

Para calibrar el tamiz -18, pesar 1,000 g de la muestra patrón de cemento y colocar en el tamiz. Con el surtidor colocado, regular la presión del agua a 6,86 N/cm² (0,7 kgf/cm²). Tamizar el cemento durante 1 min colocando el tamiz bajo el chorro continuo del surtidor y agitando ligeramente el tamiz.

Colocar el tamiz con el residuo en una estufa, secar entre 100 y 110 °C y pesar el residuo. La diferencia entre los porcentajes de los residuos en los ensayos de la muestra y de la muestra patrón será la corrección que se aplicará, con su signo correspondiente.

- Célula Fotoeléctrica. El medio de medición de la intensidad luminosa debe ser una fotocelda (del tipo Weston Photronic ó similar), conectada directamente al macroamperímetro, provista de una cubierta con una ventanilla de 12,7 mm (1/2") de alto por 35 mm (1 3/8") de ancho y colocada a 25 ± 2 mm (1 ± 1/6") de la célula fotoeléctrica. La cara de la célula fotoeléctrica debe ser paralela a las caras del tanque con tolerancia de 0,5 mm (0,02").
- Limitador del haz luminoso. Una lámina metálica con una ventanilla de 16 mm (5/8") de alto por 38 mm (1 1/2") de ancho, como se indica en la Figura 1, colocada entre la cámara de agua y el tanque de sedimentación.
- Elevador. La fuente de luz, la cámara de agua, la fotocelda, el filtro retardador y la valla protectora, se deben montar sobre una repisa móvil, la cual se puede subir o bajar por medio de tornillos para determinar la turbidez de la suspensión a cualquier profundidad. Los centros de la fuente de luz, del dispositivo absorbente de calor, de la fotocelda, y los de las ventanillas del limitador de haz luminoso y de la cubierta de la fotocelda deberán estar en línea recta, paralela al elevador. El tanque de sedimentación se debe colocar sobre una base independiente al resto del aparato para evitar las vibraciones causadas por el movimiento de la repisa. Se debe tener el cuidado de que la repisa esté nivelada y el tanque normal a ella. La distancia entre el tanque y los ejes del vano en la repisa no deben variar en más de 0,4 mm (1/64") entre las posiciones 30 - 50 y 0. El nivel del rayo de luz en relación con la superficie de suspensión se debe señalar por medio de un indicador desplazable a lo largo de la escala montada en el gabinete

El cero de la escala debe indicar la posición de la línea central de la ranura cuando el rayo de luz este al nivel de los 335 mL. Las marcas correspondientes a 7,5; 10; 15; 20; 25 y 30 a 50, se deben localizar a partir de la marca cero de la escala, a distancias



iguales a los valores h dados en la Tabla 1. La escala, cuando es comparada con una escala estándar, con precisión de 0,1 mm en todos los puntos, no deberá mostrar una desviación en cualquier punto, superior a los 2,5 mm y deberá indicar la posición a la cual la aguja deberá localizarse cuando las lecturas de turbidez para estos valores de h son tomadas. El interior del gabinete del turbidímetro, las caras exteriores de la repisa, el reflector parabólico, la cámara de agua, la valla protectora y la fotocelda se deben pintar de negro opaco.

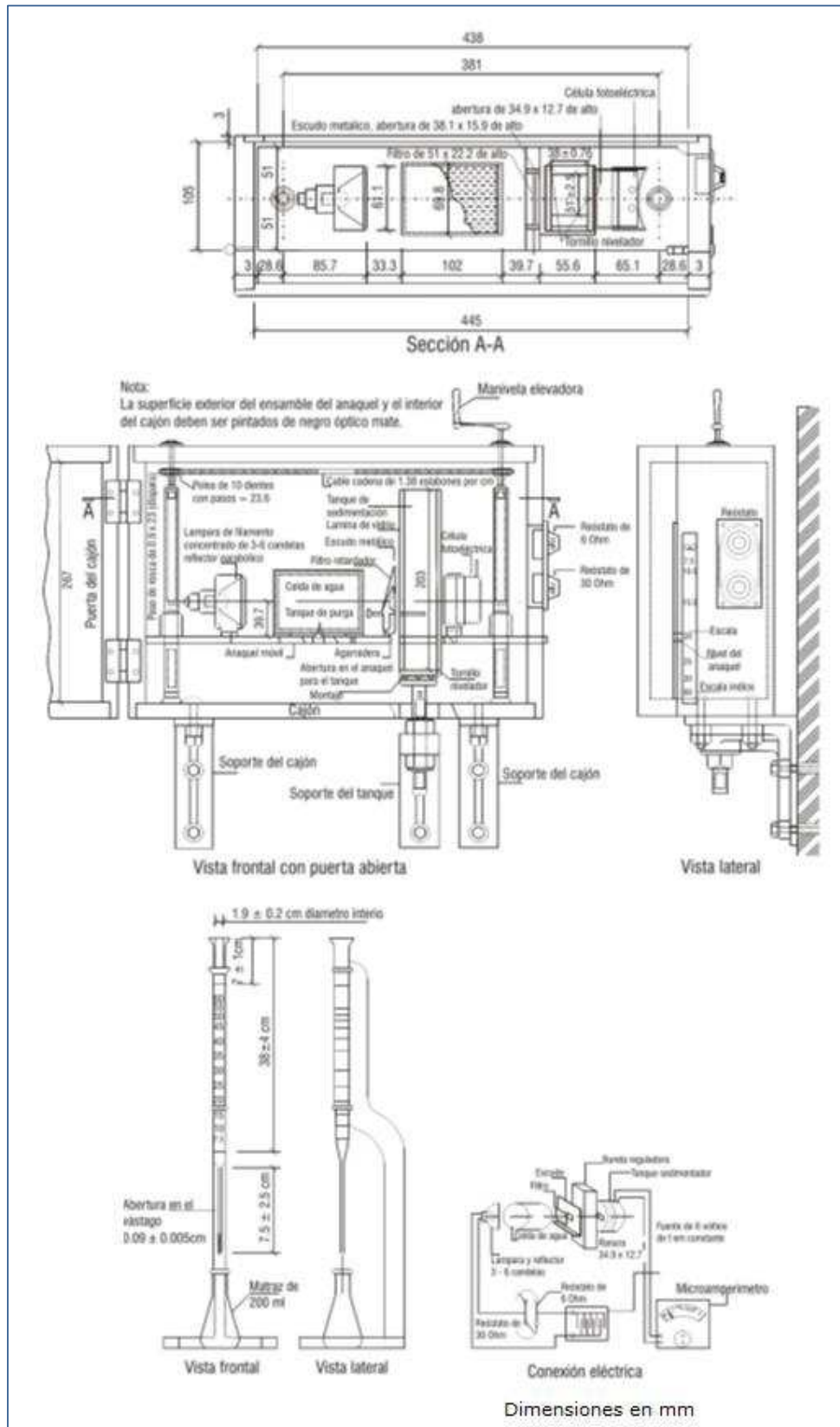


Figura 1: Turbidímetro

Tabla 1

Valores de h , d y h/d^2 empleados en la calibración del turbidímetro

Diámetro de las partículas d (mm)	Profundidad de suspensión, h (cm)	h/d^2
50	15	0,00600
45	15	0,00741
40	15	0,00938
35	15	0,01224
30	15	0,01667
25	13,1	0,0210
20	10	0,0250
15	6,6	0,0293
10	3,3	0,0330
7,5	2,1	0,0373

4.1.2 Microamperímetro.

Tipo D'Arsonval. Debe tener una escala graduada de 0 a 50 mA que permita lecturas de 0,1 mA. Los microamperímetros nuevos deben tener una exactitud de $\pm 0,5\%$ del valor de la escala total en cualquier parte de la misma y a 25 °C; en microamperímetros usados, la exactitud debe ser la misma de los aparatos nuevos excepto que la exactitud correspondiente a 40 y 50 mA debe ser de $\pm 1\%$ la escala total. El microamperímetro no se debe colocar sobre una superficie de hierro o acero, ni cerca a cualquier influencia magnética.

- Microamperímetro digital.

Nota 1. Un medidor con una amplitud de 199,9 mA es satisfactorio y permite al operador leer el 0 teórico directamente, sin dispositivos adicionales. La alta resistencia interna que tiene el microamperímetro digital, no afecta la linealidad de las lecturas a los niveles de intensidad altos encontrados en una determinación turbidimétrica de la finura.

4.1.3 Fuente de energía. Puede ser una batería de automóvil de 6 voltios o una f.e.m. (fuente de fuerza electromotriz) constante para suministrar corriente a la lámpara.

4.2 MATERIALES

4.2.1 Tamices. Un tamiz N° 325.

4.2.2 Agitador. Puede ser un cepillo cilíndrico de 19 mm (3/4") de diámetro y 45 mm (1 3/4") de longitud, con el extremo que se ajuste aproximadamente al contorno del fondo de un tubo de ensayo de 22 mm (7/8") de diámetro, o cualquier otro agitador que sea igualmente eficiente en la dispersión medida por la determinación de la superficie específica en una muestra patrón; el agitador debe girar a 3500 rpm. (aproximadamente)

4.2.3 Bureta reguladora. El tiempo de asentamiento para los diferentes tamaños de partícula se debe obtener en una bureta de la cual fluya kerosene.

Tabla 2
Dimensiones de la bureta

	Dimensión (cm)	Tolerancia (cm)
Longitud del tubo mayor	38	± 4
Diámetro interior del tubo mayor	1,9	$\pm 0,2$
Longitud del capilar	17,5	$\pm 2,5$
Diámetro del tubo capilar	0,09	0,005
Distancia de la parte superior de la bureta hasta la marca cero	7,0	± 1

La bureta consiste en un tubo de vidrio, con un capilar fundido en el extremo inferior y con el extremo superior ensanchado para que sirva como embudo y se facilite introducir el kerosene en él. La bureta debe cumplir con las dimensiones dadas en la Tabla 2 y sus líneas de graduación deben ser círculos. Se debe usar con la bureta un filtro hecho con malla de 45 mm. Cuando la bureta no esté en uso se le debe colocar una tapa.

4.3 INSUMOS

4.3.1 Líquido de suspensión. Se debe usar kerosene transparente y claro. El kerosene utilizado no se debe volver a usar.

5.0 MUESTRA

5.1 Tamaño de la muestra. La muestra de cemento para el ensayo se debe seleccionar para que las lecturas en el microperímetro se presenten en la parte media de la escala.

5.2 Las siguientes aproximaciones son útiles en muchos casos al seleccionar el tamaño de una muestra; una muestra de 0,3 g para un cemento que pase más de 85% por el tamiz de 45 mm (No. 325); una muestra de 0,4 g para un cemento que pase entre 70% y el 85% y una muestra de 0,5 g para un cemento que pase menos del 70%.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 CALIBRACIÓN DEL TURBIDÍMETRO

Se debe calibrar de acuerdo con el siguiente procedimiento:

6.1.1 Calibración de la escala de la bureta. Usar kerosene con viscosidad y densidad conocida para la temperatura a la cual se hace la calibración. Calcular los tiempos de flujo de la bureta que corresponden a los tiempos de sedimentación para los diferentes tamaños de partículas de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$T = \frac{1837000 \mu}{P_1 - P_2} \times \frac{h}{d_2}$$

Donde:

- t = Tiempo de asentamiento o de flujo, en segundos.
- μ = Viscosidad del kerosene a la temperatura de calibración, en poises.
- P_1 = Densidad de las partículas de cemento, en g/cm³ (3,15 para el cemento Portland).
- P_2 = Densidad del kerosene a la temperatura de calibración, en g/cm³.
- H = Profundidad de la suspensión al nivel de la luz, en cm.
- D = Diámetro de la partícula, en mm (micrones).

Los valores de h/d₂ están dados en la Tabla 1.

Llénese la bureta con kerosene a la temperatura de calibración y anotar el tiempo de iniciación en el momento en que el kerosene señala la marca cero; se marcan los niveles alcanzados por el kerosene para cada uno de los tiempos t, calculados como se indicó anteriormente, mediante líneas y números grabados sobre la bureta, que indiquen los diámetros correspondientes (Nota 2). La construcción y graduación de la bureta debe ser tal que a la temperatura de calibración, el tiempo requerido para que el kerosene pase por las marcas permanentes de la bureta, coincida con el tiempo calculado de sedimentación con aproximación de 1%, pero la variación permisible no debe ser menor de 1 segundo.

Nota 2. Empleando la bureta graduada, el aparato se puede usar dentro de la escala normal de la temperatura ambiente sin una corrección apreciable; el cambio en la velocidad de flujo del kerosene de la bureta queda compensado por el cambio de la viscosidad en la suspensión debido a la temperatura. El kerosene de la bureta y la suspensión, se deben mantener a la misma temperatura, con una variación de $\pm 0,5$ °C; generalmente se cumple con esta condición, si se guardan en el mismo sitio el kerosene y el aparato. Se debe tener gran

cuidado en usar solamente kerosene limpio, libre de cualquier elemento extraño. Con estas mismas características deberá conservarse el capilar.

- 6.1.2 Calibración del tamiz de 45 mm (Nº 325). Debe hacerse lavando 1 g de muestra estándar Nº 114 (National Bureau of Stds.) sobre el tamiz de 45 mm (Nº 325) durante un minuto. Se secan tamiz y residuo al horno o sobre una plancha caliente, se cepilla el residuo del tamiz y se pesa en una balanza analítica. El factor de corrección es la diferencia entre la cantidad de residuo medido y la indicada por la finura especificada para la muestra estándar (% del residuo medido).
- 6.1.3 Determinación de la intensidad de la luz apropiada, I₀. Se debe llevar a cabo la calibración adecuada del turbidímetro, ajustando la intensidad de la luz I₀. Aumentando la intensidad de la luz se reduce el arca superficial calculada de cualquier muestra y viceversa.

Siguiendo el procedimiento regular de ensayo descrito en el numeral 6 y con la luz ajustada a un valor de prueba de 25 mA a través del filtro, se hace una determinación de la superficie específica usando la muestra estándar Nº 114; si se obtiene una superficie específica mayor que la señalada por la muestra patrón, se aumenta la intensidad de la luz a través del filtro, se vuelve a agitar la suspensión y se repite el análisis. Si se obtiene una superficie específica menor que el valor señalado, se disminuye la intensidad de la luz, se vuelve a agitar la suspensión y se repite el análisis. Remuévase el tanque y regístrese la intensidad a través del filtro.

Con nuevas suspensiones, se repite el procedimiento anterior dos veces y se anota el promedio de las tres intensidades. Al encontrar una intensidad que dé como resultado una superficie específica promedio de las tres determinaciones dentro de $\pm 15 \text{ cm}^2$ del valor asignado a la muestra patrón, se ajusta la luz a este valor promedio y se coloca un tanque con kerosene puro en la trayectoria de los rayos. Se anota la intensidad a través del filtro y del tanque de kerosene. Este es el valor de referencia permanente para la intensidad de la luz; al principio de cada ensayo se ajustan los reóstatos hasta obtener la intensidad de referencia estando colocado el filtro y el tanque de sedimentación con kerosene puro.

- 6.2 Tamizado. Pásese por el tamiz de 45 mm (Nº 325) una muestra de 1 g de cemento, de acuerdo con el procedimiento utilizado para la calibración. Se debe anotar el porcentaje corregido de cemento que pasa el tamiz como r (numeral 5.2).

Después de tres determinaciones, se debe sumergir el tamiz en HCI diluido (1:10) e inmediatamente lávese con agua para eliminar las partículas retenidas en la malla. Después de 25 determinaciones, se debe calibrar el tamiz nuevamente.

- 6.3 Preparación de la suspensión. Colóquese la muestra de cemento en un tubo de ensayo con 10 mL a 15 mL de kerosene y 5 gotas del dispersante (ácido oleico o aceite de linaza envejecido, véase Nota 3). Se agita la muestra durante 1 minuto con el agitador y luego se lleva al tanque de sedimentación.

Se lava el cepillo y el tubo de ensayo con kerosene puro, haciendo girar el agitador y este kerosene se agrega a la suspensión; luego se adiciona kerosene puro hasta que el volumen total de la suspensión en el tanque sea 335 mL. Deben limpiarse las caras del tanque.

Nota 3. Si se usa ácido oleico, debe ser de grado USP. Si se usa aceite de linaza debe tener un peso específico de 0,948 a 0,953. Estos dispersantes no afectan la viscosidad del kerosene, pero pueden cambiar con el tiempo o con la exposición al calor y a la luz; por consiguiente, deben mantenerse en frascos bien tapados y de paredes oscuras. Cuando se usen frascos goteros, deben vaciarse, limpiarse, secarse y llenarse con ácido oleico fresco periódicamente. Cuando se obtenga una dispersión pobre con el ácido oleico o cuando se produzca espuma en la suspensión, motivada por posibles rastros de agua en el kerosene, se debe usar aceite de linaza envejecido como dispersante. Se debe usar el mismo agente dispersante para la calibración del aparato y la determinación de la finura.

Agitación de la suspensión. Antes de colocar el tanque en la trayectoria del haz luminoso, se debe agitar el contenido para lograr la suspensión uniforme. Luego cubrir el tanque con una tapa de vidrio esmerilado y oscílese 180° alrededor de un eje horizontal que pase a través del centro del tanque, aproximadamente 60 veces durante 1 minuto, evitando la pérdida de kerosene (Nota 4). La suspensión estará entonces lista para colocarla en la posición adecuada en la trayectoria del haz luminoso.

Nota 4. La tapa del tanque deberá ajustarse de tal forma que no fluya kerosene por las paredes externas del tanque. Las caras del tanque de vidrio deberán estar limpias cuando la solución sea añadida, y deberá evitarse limpiar las caras hasta que se complete la determinación

- 6.4 Operación del turbidímetro. Se debe colocar en la trayectoria de la luz, el filtro retardador y el tanque de sedimentación con aproximadamente 100 mL de kerosene puro y se ajusta la luz a la intensidad adecuada I₀; se hacen lecturas a intervalos de 1 minuto hasta que se obtenga un valor constante que indique el equilibrio entre la lámpara y la célula fotoeléctrica (Nota 5). Retírese el tanque, verifíquese y regístrese la intensidad de la lámpara.

Nota 5. Para proteger el microamperímetro, la lámpara sólo se debe encender con el tanque listo para el ensayo o con el filtro retardador, para reducir la intensidad de la luz a un valor dentro de la escala del microamperímetro. Una batería recién cargada debe ponerse momentáneamente en corto circuito para reducir el voltaje a un valor constante. Si el microamperímetro continúa fluctuando, se debe comprobar si las instalaciones eléctricas están correctas.

La muestra de cemento se debe pesar como se indica en el numeral 5, y se prepara una suspensión de acuerdo con el numeral 6.3.

El indicador del nivel de la plataforma se debe colocar en una posición entre 30 y 50 µm. (micrones)

Se debe llenar la bureta con kerosene hasta la altura calibrada, usando éste del mismo lote y a la misma temperatura del empleado en la suspensión y se inicia la oscilación del tanque que contiene la suspensión como se indica en el numeral 6.2. Se continúa la oscilación hasta que el kerosene llegue al cero de la bureta; entonces debe cesar la agitación e inmediatamente se debe colocar en posición de ensayo. La tapa se debe ajustar de manera que el kerosene no salga del tanque (no drene)

Inmediatamente se debe retirar el filtro retardador de la trayectoria de la luz y cerrar la puerta del gabinete.

Se debe leer el microamperímetro con precisión de 0,1 mA, en el momento que el kerosene pase las marcas 50, 45, 40, 35 y 30 de la bureta.

Luego se debe levantar la plataforma sucesivamente hasta las marcas 25, 20, 15, 10 y 7,5 leyendo el microamperímetro cuando el kerosene pase las correspondientes marcas en la bureta. Se vuelve a colocar el filtro en la trayectoria de la luz, se retira el tanque y se comprueba la intensidad de la lámpara. Si la indicación del microamperímetro varía en más de 0,3 mA de la lectura inicial a través del filtro solo, repítase el ensayo.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Superficie específica. Se debe calcular mediante la siguiente ecuación:

$$S = \frac{38 \cdot r \cdot (2 - \log I_{50})}{1,5 + 0,75 \cdot \log I_{7,5} + \log I_{10} + \log I_{15} + \log I_{45} - 9,5 \cdot \log I_{50}}$$

Donde:

S = Superficie específica de la muestra, en cm² /g

r = Porcentaje corregido en peso que pasa el tamiz de 45 mm (Nº 325).

$l_{7,5}, l_{10}, l_{15}, l_{50}$ = Lectura en μA , correspondientes a partículas de diámetro 7,5; 10; 15...50 μm .

Nota 6: El factor constante 38 sólo se debe aplicar a un material que tenga el peso específico del cemento Pórtland (3,15 aprox.). Para cualquier otro material se debe calcular adecuadamente el valor correspondiente para este factor, el cual derivando la fórmula, varía inversamente con la densidad de las partículas, en g/cm^3

7.1.2 Anotación de los datos. En este numeral se indica la forma aconsejada para anotar los datos del ensayo del turbidímetro y el cálculo de la superficie específica.

EJEMPLO:

Los valores dados son solamente ilustrativos.

- Identificación de la muestra..... Muestra X
- Pasa tamiz de 45 mm (Nº 325), r corregido 89,5%
- Filtro de referencia (únicamente a través del filtro)
 - Después del ensayo..... 20,5 mA
 - Antes del ensayo..... 20,5 mA
- Peso de la muestra ensayada..... 0,3 g.

Tabla 3

Tamaño de las partículas	1 (μA)	Log I	
50	11,1	...	1,045 ^(a)
45	11,5	1,061	
40	11,7	1,063	
35	12,1	1,083	
30	12,6	1,100	
25	13,4	1,127	
20	14,4	1,158	
15	15,7	1,196	
10	19,1	1,281	
7,5	23,0	...	1,362 ^(a)
	$0,75 \times 1,362 =$	1,022	
		1,500	
	Suma =	11,591	
	$9,5 \times 1,045 =$	9,928	
	Diferencia =	1,663	

$$S = \frac{38 \times 89,5 \times 0,955}{1,663} = 1,953 \text{ cm}^2 / \text{g}$$

^(a) Por conveniencia en los cálculos, el $\log l_{50}$ y el $\log l_{7,5}$ se anotan en la columna separada.

7.1.3 Cálculo de la superficie específica con base en la primera lectura I_{50} . Este método se puede usar para determinaciones sucesivas de una misma planta, siempre que se use el mismo tamaño de muestras de ensayo y que no haya gran cambio en la finura, color y otra propiedad del cemento. Bajo estas condiciones, la superficie específica de una muestra se puede calcular con la primera lectura I_{50} , usando la siguiente ecuación:

$$S = C (2 - \log I_{50})$$



Donde:

S = Superficie específica de la muestra, en cm^2 / g .

I_{50} = Lectura del microamperímetro correspondiente a una partícula de diámetro de 50 μm .

C = Constante de transmisión para la planta en particular.

Nota 7. La constante de la transmisión C se puede evaluar sustituyendo en la ecuación anterior los valores conocidos de S y $(2 - \log I_{50})$ calculados de un ensayo completo de turbidímetro. En la ecuación anterior debe usarse el promedio de no menos de cinco valores de C.

- 7.1.4 Si la finura de la muestra, como se determina según el numeral 7.1.3, falla en cumplir los requisitos establecidos para la finura, deberá efectuarse otro ensayo mediante el procedimiento completo de las secciones 6.4 y 7.1.1 y 7.1.2.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 Los resultados de dos ensayos efectuados por un mismo operador, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 7,3 % de su promedio.
- 8.1.2 Los resultados de dos ensayos efectuados en laboratorios distintos, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 11,5 % de su promedio.

APENDICE

1.0 INDICACIONES COMPLEMENTARIAS

- 1.1 Para investigación o propósito (u objetos) de comparación, la distribución del tamaño de las partículas puede ser tomada de un valor mínimo de 7,5 μm .
- 1.2 El cálculo de la distribución del tamaño de las partículas se hace de acuerdo con la Tabla 4, donde se desarrolla un ejemplo ilustrativo.

$$F = r / \Sigma(d_1 \times \text{diferencia}) = 89,5/8,476 = 10,559$$

$$\text{Fracción porcentual} = F (d_1 \times \text{diferencia}).$$

Tabla 4

Ejemplo de cálculo de distribución del tamaño de partículas

Tamaño de las partículas, μm	1(μa)	Log I	Diferencia	Tamaño promedio de las partículas, d_1 , μm
50	11,1	1,045	0,016	47,5
45	11,5	1,061	0,007	42,5
40	11,7	1,063	0,015	37,5
35	12,1	1,083	0,017	32,5
30	12,6	1,100	0,027	27,5
25	13,4	1,127	0,031	22,5
20	14,4	1,158	0,038	17,5
15	15,7	1,196	0,085	12,5
10	19,1	1,281	0,081	8,8
7,5	23,0	1,362	0,638	3,8
0	(100)	(2,000)		

Tabla 5

Ejemplo de cálculo de distribución del tamaño de partículas

D ₁ por diferencia	Peso %	
	Fracción	Acumulativo
0,760	8,02	89,5
0,298	3,15	81,3
0,562	5,93	78,3
0,552	5,83	72,4
0,742	7,83	66,6
0,698	7,37	58,7
0,665	7,02	51,4
1,062	11,21	44,13
0,713	7,53	33,1
2,424	25,6	25,6
8,476		

MTC E 609

COMPRESION DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRAULICO (CUBOS DE 50,8 mm)

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico, usando cubos de 50,8 mm (2") de lado.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Se aplica para determinar la resistencia a la compresión de cemento Pórtland y otros morteros, y los resultados pueden ser usados para verificar el cumplimiento de requisitos.
- 2.2 Este método es utilizado como referencia por otras normas de requisitos y métodos de ensayo. Se debe tener cuidado de utilizar los resultados de este método para predecir la resistencia del concreto.
- 2.3 La compresión se medirá sobre dos (2) cubos de 50,0 mm (2") compactados en dos (2) capas. Los cubos serán curados un día en los moldes y se desmoldarán y sumergirán en agua - cal hasta su ensayo.
- 2.4 Este ensayo no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad correspondientes y determinar las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 NTP 334.051-2006: CEMENTO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de mortero de cemento Pórtland, usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado.
- 3.2 ASTM C 109 Standard Test Method for Compressive of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or (50-mm.) Cube Specimens). Normal Consistency of Hydraulic Cement.

4.0 EQUIPOS, MATERIAL E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza y pesas de capacidad 2000 g \pm 2 g.
- 4.1.2 Cámara húmeda. Se requiere una cámara que tenga condiciones adecuadas para almacenar con facilidad las muestras, y mantener una temperatura de 23 °C \pm 1,7 °C, con una humedad relativa no menor del 90%.
- 4.1.3 Moldes. Para los cubos de 50,0 mm (2") se requieren moldes que no tengan más de tres (3) compartimentos, ni consten de más de dos (2) elementos separables. Estos elementos deben estar dotados de dispositivos que aseguren una perfecta y rígida unión; serán fabricados de metal duro, no atacable por las mezclas de cemento y que no produzcan ensanchamientos o pandeos en los especímenes.

Las caras interiores de los moldes deben ser planas, con una variación máxima permisible de acuerdo a las tolerancias indicadas en la Tabla 1.

Tabla 1

Variaciones permisibles de los moldes cúbicos

Parámetro	Moldes cúbicos de 2 pulg.		Moldes cúbicos de 50 mm	
	Nuevo	En uso	Nuevo	En uso
Plenitud de los lados.	<0,001 pulg	< 0,002 pulg	< 0,025 mm	< 0,05 mm
Distancia entre lados opuestos.	2 pulg \pm 0,005	2 pulg \pm 0,02	50 mm \pm 0,13 mm	50 mm \pm 0,50m
Altura de cada compartimiento.	2 pulg + 0,01pulg a - 0,005 pulg	2 pulg + 0,01pulg a - 0,015 pulg	50 mm + 0,25mm a - 0,13 mm	50 mm + 0,25mm a - 0,38 mm
Angulo entre caras adyacentes. (A)	90° \pm 0,5°	90° \pm 0,5°	90° \pm 0,5°	90° \pm 0,5°

(A): Medidos en los puntos ligeramente removidos desde la intersección. Medios separadamente para cada compartimiento entre todas las caras adyacentes e interiores y la plenitud de la base y el tope del molde.

- 4.1.4 Mezcladora recipiente y paleta. Mezcladora mecánica con mando eléctrico, equipada con paleta y recipiente tal como se especifica en la norma en el MTC E 611 Mezcla mecánica de pastas de cemento y morteros de consistencia plástica.
- 4.1.5 Mesa y molde de flujo. Deben cumplir con los requisitos de las Especificaciones Normales, indicados en los Ensayos de Cemento Hidráulico.
- 4.1.6 Máquina de ensayo. Podrá ser mecánica (de tornillo) ó hidráulica, con una abertura suficiente entre los apoyos, para que permita colocar la muestra y los aparatos de comprobación. La carga aplicada a la muestra deberá medirse con una exactitud de $\pm 1,0\%$. El soporte superior tendrá una esfera metálica firmemente asegurada al centro del apoyo superior de la maquina (sistema de rotula) (Figura 1). El centro de la esfera estará sobre la perpendicular levantada al centro de la superficie del bloque en contacto con la muestra (cubo).

El bloque se colocará asentando sobre la esfera, pero podrá inclinarse libremente en cualquier dirección. La diagonal o diámetro de la superficie de apoyo será ligeramente mayor que la diagonal de la cara de la muestra (cubo), para facilitar su centrado. Debajo del cubo se colocará un bloque metálico para minimizar el desgaste del plato inferior de la máquina. Este bloque tendrá marcas grabadas, que permitan centrar exactamente el cubo y su dureza Rockwell no será inferior a 60 HRC. Las superficies que van a hacer contacto con los cubos deben ser planas y con variación permisible de 0,013 m para bloques nuevos y de 0,025mm para bloques en uso.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Compactador. Cumplirá con lo especificado en la norma MTC E617 "Fluidez del Cemento Hidráulico".
- 4.2.2 Tamices.
1,19 mm (Nº 16), 300 μ m (Nº 50), 600 μ m (Nº 30), 150 μ m (Nº 100).
- 4.2.3 Probetas. Las probetas de vidrio deben tener con preferencia una capacidad que permita medir el agua total de mezcla, en una sola operación; serán graduadas por lo menos cada 5 mL y tendrán una aproximación de 2 mL al indicar el volumen a 20 °C.
- 4.2.4 Badilejo. Será de una longitud entre 100 mm y 150 mm (4" y 6") con hoja de acero y bordes rectos.
- 4.2.5 Arena. La arena usada para hacer las muestras (cubos), en este ensayo, será natural de sílice o de Ottawa; normalizada para ensayo y gradada de acuerdo con los siguientes tamices:

Tabla 2

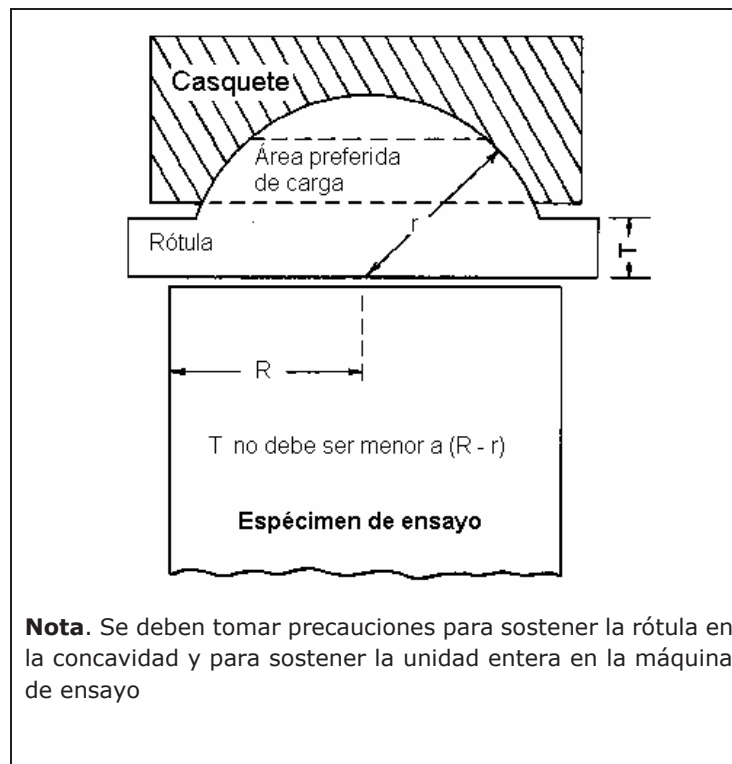
Características Graduación, tamiz	Arena 20-30 % que pasa	Arena Gradada % que pasa
18mm (Nº16)	100	100
850µm (Nº20)	85 a 100	
600µm (Nº30)	0 a 5	96 a 100
425µm (Nº40)		65 a 75
300µm (Nº50)		20 a 30
150µm (Nº100)		0 a 4
Diferencia en contenido de aire hechos con arena "lavada" y sin lavar, %aire máximo.	2,0	1,5 ^B
Procedencia de arena	Otawa IL ó LESUER,MN	OTAWA IL

Para comprobar la graduación normalizada, se toma el contenido de un saco lleno de arena, de aproximadamente 45 kg, se extiende en una superficie plana y por cuarteo se toman unos 700 g; de esta muestra, se toman unos 100 g y se hace el tamizado, tomando las mallas en forma independiente; en 60 segundos de continuo tamizado no pasarán por el tamiz más de 0,5 g. El material retenido en cada malla estará de acuerdo con la graduación mencionada en la tabla 1.

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Agua desionizada o destilada (la temperatura del agua durante la mezcla será de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, dentro del rango de temperatura del laboratorio $20\text{ }^{\circ}\text{C} - 27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la humedad relativa no debe ser inferior al 50%).

Se deben hacer varios morteros de prueba con variantes en el porcentaje de adición del agua hasta obtener el flujo especificado. Cada prueba se hará con mortero nuevo. (MTC E617).


Figura 1. Dibujo esquemático de un bloque de carga típico con rótula

5.0 MUESTRA

- 5.1 Preparación de los moldes. A los moldes se les aplicará en sus caras interiores una capa delgada de aceite mineral ligero o de grasa lubricante ligero. Las superficies de contacto de los elementos separables se revestirán de una capa de aceite mineral pesado, luego se unen estos elementos y se elimina el exceso de aceite en cada uno de los compartimentos.

Después colocar el molde sobre una placa plana, no absorbente, cubierta con una delgada capa de aceite. En la parte exterior de las juntas de las partes que componen el molde, o de estos con la placa, se aplicará una mezcla de 3 partes en peso de parafina y 5 partes de resina o cera calentada a 110 °C -120 °C para impermeabilizar las juntas.

- 5.2 Composición del mortero y determinación de fluidez. Las proporciones en peso de materiales para el mortero normal serán de una (1) parte de cemento y 2,75 partes de arena gradada (patrón), usando una relación agua - cemento de 0,485 para los cementos Portland y 0,460 para las que contienen aire; sin embargo, será tal que produzca un flujo de 110 ± 5 , expresada en porcentaje del cemento. Para cementos adicionados y $87,5 \pm 7,5$ para cementos Portland. MTC E617 Fluidez de morteros de cemento hidráulico (Mesa de Flujo).

Las cantidades que deben ser mezcladas para formar la tanda para seis (6) cubos de ensayo, serán de 500 g de cemento y 1375 g de arena y 242 mL de agua aproximadamente. Para nueve (9) cubos se requieren 740 g de cemento, 2035 g de arena y 359 mL de agua.

Inmediatamente después de haber completado el ensayo de flujo, regresar el mortero de la mesa de flujo al recipiente de mezclado. Raspar las paredes del envase y transferir lo que se ha reunido a la tanda de mortero y luego premezclar la tanda entera durante 15 segundos a velocidad media. Luego de completar el mezclado, se removerá el exceso de mortero de la paleta de mezclado hacia el recipiente de mezclado.

- 5.3 Se inicia el llenado de los compartimentos, antes de los 150 segundos, contados desde la finalización de la mezcla inicial del mortero. Para el ensayo de compresión debe hacerse un mínimo de 3 cubos. Colocar una capa de más o menos 25 mm (1") de espesor (aproximadamente la mitad del molde), en cada uno de los compartimentos, y se apisonan con 32 golpes que se aplicarán sobre la superficie, en 30 segundos en 4 etapas de 8 golpes adyacentes cada una, como se ilustra en el siguiente esquema:

Los golpes de cada etapa se darán siguiendo una dirección perpendicular a los de la anterior; la presión del compactador será tal que asegure el llenado uniforme de los compartimentos. Se deben completar las cuatro (4) etapas de compactación, en cada compartimiento, antes de seguir con el siguiente. Una vez terminada la etapa de la primera capa en todos los compartimentos, se llenan con una segunda capa y se procede como en la primera.

Durante la compactación de la segunda capa, al completar cada etapa y antes de iniciar la siguiente, introducir en el compartimiento el mortero que se ha depositado en los bordes del molde, con la ayuda de los dedos enguantados. Al finalizar la compactación, las caras superiores de los cubos deben quedar un poco más altas que el borde superior de los moldes. La superficie de los cubos debe ser alisada con la parte plana de la espátula, retirando el mortero sobrante con un movimiento de vaivén.

- 5.4 Almacenamiento de los especímenes de ensayo. Terminada la operación de llenado, el conjunto de molde y placa se colocará en la cámara húmeda durante 20 ó 24 horas, con la cara superior expuesta al aire húmedo, pero protegidos contra la caída de gotas. Si los cubos se retiran del molde antes de las 24 horas, le dejarán en la cámara húmeda hasta completar este tiempo. Los cubos que no se van a ensayar a las 24 horas, se sumergen en agua - cal saturada dentro del tanque de almacenamiento, construido con material no corrosivo; el agua del tanque se renovará frecuentemente para que permanezca limpia.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Retirar de la cámara húmeda los cubos que van a ser ensayados a las 24 horas, cubriéndolos con un paño húmedo, mientras se van pasando a la máquina. Los otros cubos, deben sacarse

del tanque de almacenamiento uno por uno y probarse inmediatamente. Todos los cubos se ensayarán dentro de las siguientes tolerancias de tiempo: a las 24 horas $\pm 1/2$ hora; a los 3 días ± 1 hora; a los 7 días ± 3 horas; y a los 28 días ± 12 horas.

- 6.2 Los cubos deberán secarse y dejarse limpios de arena suelta, o incrustaciones, en las caras que van a estar en contacto con los bloques de la máquina de ensayo. Se debe comprobar por medio de una regla que las caras están perfectamente planas. Colocar cuidadosamente el espécimen en la máquina centrando debajo del bloque superior, comprobándose antes de ensayar cada cubo, que la rótula gire libremente en cualquier dirección. No se usarán amortiguadores entre el cubo y los bloques de carga.
- 6.3 Cuando se espera que el cubo resista una carga máxima superior a 13,3 kN (3000 lbf), se aplica a este una carga inicial de la mitad del valor esperado, a velocidad conveniente; si se espera que la carga que va a resistir sea menor de 13,3 kN (3000 lbf), no se aplicará carga inicial al cubo. La velocidad de aplicación de la carga se calcula en tal forma que la carga restante para romper los cubos con resistencia esperada mayor de 13,3 kN (3000 lbf) o la carga total en los otros, se aplique sin interrupción en un tiempo comprendido entre 20 y 80 segundos, desde el inicio de la carga. No se hará ningún ajuste a la máquina mientras se esté efectuando el ensayo.

7.0 CÁLCULOS E INFORME

7.1 CÁLCULOS

Se debe anotar la carga máxima indicada por la máquina de ensayo en el momento de rotura y se debe calcular la resistencia a la compresión como sigue:

$$f_m = P/A$$

Donde:

- f_m = Es la resistencia a la compresión en MPa
 P = Es la carga máxima total en N;
 A = Área de la superficie de carga en mm²

Si el área real de la sección transversal de del cubo varia en 1.5% de la nominal, se debe hacer calculo en función del área actual.

Los cubos defectuosos o los que den resistencias que difieran en más del 10% del promedio de todas las muestras hechas de la misma mezcla y ensayadas al mismo tiempo, no se tendrán en cuenta al determinar la resistencia. En cambio aquellos cuyos resultados sean aceptables, serán promediados y reportados con aproximación al 0,1 MPa.

7.2 INFORME

Informar el flujo con aproximación de 1% y el porcentaje de agua usado con aproximación 0,1%. La resistencia a la compresión promedio de todos los especímenes de la misma muestra, deberán ser reportados con aproximación de 0,1 MPa.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

La precisión, para este ensayo, está establecida en la NTP 334.051 de la referencia.

MTC E 610

DENSIDAD DEL CEMENTO PORTLAND (FRASCO DE LE CHATELIER)

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la densidad del cemento Pórtland.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método se relaciona con el diseño y control de mezclas de hormigón.
- 2.2 Este ensayo no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad correspondientes y determinar las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 NTP 334.005: 2001 CEMENTOS. Método de Ensayo para determinar la densidad del Cemento Portland.
- 3.2 NTP 334.086:1999 CEMENTOS. Método para el análisis químico del cemento Portland.
- 3.3 ASTM C 188 – 95: "Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement".

Terminología

La densidad del cemento está definida como la masa de una unidad de volumen del sólido.

4.0 EQUIPOS , MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza de $200 \pm 0,005$ g.
- 4.1.2 Baño termostático $\pm 0,1$ °C: Que mantenga la temperatura constante y próxima a la temperatura ambiente
- 4.1.3 Frasco patrón de Le Chatelier, de sección transversal circular que cumpla con las dimensiones indicadas en la Figura 1. Debe tener aproximadamente 250 mm de altura, con una ampolla de 250 mL de capacidad, cuello graduado de 0 mL a 1 mL y de 18 mL a 24 mL, con separaciones de 0,1 mL y tapón de vidrio esmerilado. El material de construcción deberá ser vidrio de la mejor calidad y libre de estrías.

Los requisitos con respecto a las tolerancias, inscripción y longitud, espaciamiento y uniformidad de la graduación serán tenidos en cuenta en forma estricta. Deberá existir un espacio de por lo menos 10 mm entre la marca más alta de la graduación y el punto más bajo del tapón de vidrio.

El cuello deberá ser graduado de 0 mL a 1 mL y de 18 mL a 24 mL, con separaciones de 0,1 mL. El error de cualquier capacidad indicada no deberá ser superior a 0,05 mL.

En la determinación de la densidad se debe emplear Kerosene libre de agua, o nafta con una densidad mayor que 0,73g/mL a $23 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ será usado en la determinación.

El uso de equipo alterno o de métodos alternos para determinar la densidad del cemento Pórtland es permitido siempre y cuando el resultado obtenido por sólo un operador, mediante el equipo o método alterno, no difiera en más de 0,03 g/mL del resultado obtenido mediante esta norma.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Termómetro: graduado en 0,1 grado Celsius.
- 4.2.2 Embudos: Dos de vidrio, uno de vástago largo para líquidos y el otro de vástago corto para el cemento.

4.3 INSUMOS

4.3.1 Kerosene libre de agua y de densidad mayor de 0,73 g/mL a 23 °C ± 2 °C

5.0 MUESTRA

La muestra no requiere preparación, se procesará tal como se recibe a menos que se especifique otra cosa.

Si la determinación del peso específico se requiere sobre una muestra sometida previamente al ensayo de la pérdida al fuego, debe ponérsela primero en ignición como se indica en el procedimiento descrito en la norma.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Llenar el frasco con cualquiera de los líquidos especificados en el numeral 4 hasta un punto situado entre las marcas 0 mL y 1 mL, secar el interior del frasco por encima del nivel líquido, si es necesario.

6.2 Sumergir el frasco en el baño de agua como indica 6.4, agregar cemento Pórtland, aproximadamente 64 g, en pequeñas cantidades, a la misma temperatura que el líquido, procurando evitar salpicaduras y observando que el cemento no se adhiera a las paredes del frasco por encima del líquido. Puede usarse un vibrador para acelerar la adición del cemento dentro del frasco y evitar que éste se atasque en el cuello. Después de agregar todo el cemento, debe colocarse el tapón en el frasco y hacerse girar en posición inclinada o en círculo horizontal poco a poco, hasta que no asciendan burbujas a la superficie del líquido, para sacarle el aire. Si se ha añadido una cantidad apropiada de cemento, el nivel del líquido debe estar en su posición final en cualquier punto en la serie superior de graduaciones.

6.3 Debe hacerse la lectura final una vez que el frasco se haya sumergido en el baño de agua, de acuerdo con el numeral 6.4

6.4 Debe sumergirse el frasco en un baño de agua a temperatura ambiente durante un tiempo suficiente, antes de hacer cualquiera de las lecturas, para evitar variaciones mayores de 0,2 °C en la temperatura del líquido dentro del frasco. Todas las lecturas se deben comprobar hasta obtener un valor constante para asegurarse de que los contenidos del frasco han alcanzado la temperatura del baño de agua.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

La diferencia entre las lecturas inicial y final representa el volumen líquido desplazado por el peso de cemento usado en el ensayo. La densidad debe calcularse como sigue:

$$Densidad = \frac{\text{Masa de Cemento (g)}}{\text{Volumen desplazado (mL)}}$$

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 Los resultados de dos ensayos efectuados por un mismo operador, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 0,03 g/mL

8.1.2 Los resultados de dos ensayos efectuados en laboratorios distintos, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 0,10 g/mL

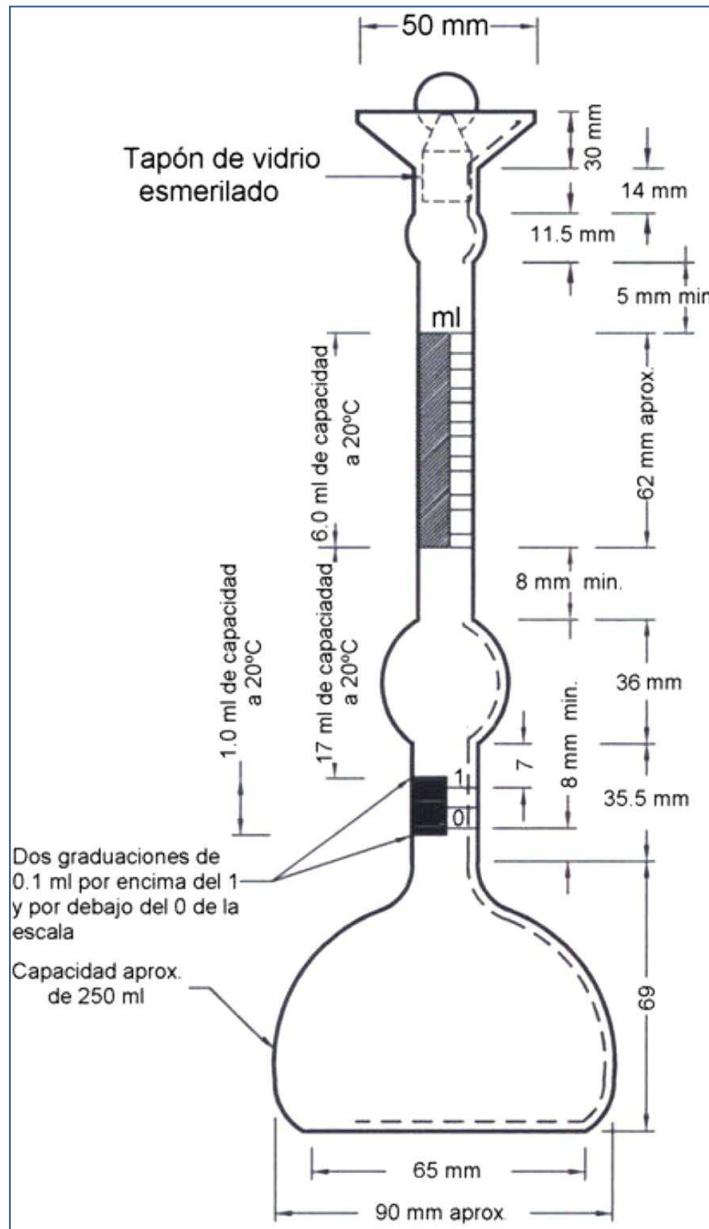


Figura 1: Frasco de Le Chatelier

MTC E 611

MEZCLA MECANICA DE PASTAS DE CEMENTO Y MORTEROS DE CONSISTENCIA PLASTICA

1.0 OBJETO

- 1.1 Obtener pastas y morteros de consistencia plástica por mezcla

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este ensayo se usa para la preparación de las pastas y morteros de consistencia plástica.
- 2.2 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados en el presente método.
- 2.3 Este ensayo no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad correspondientes y determinar las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

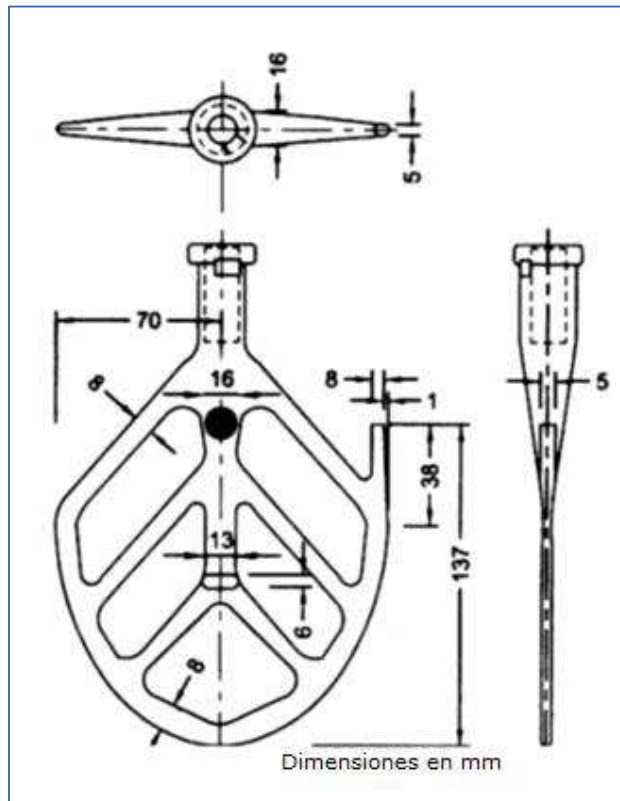
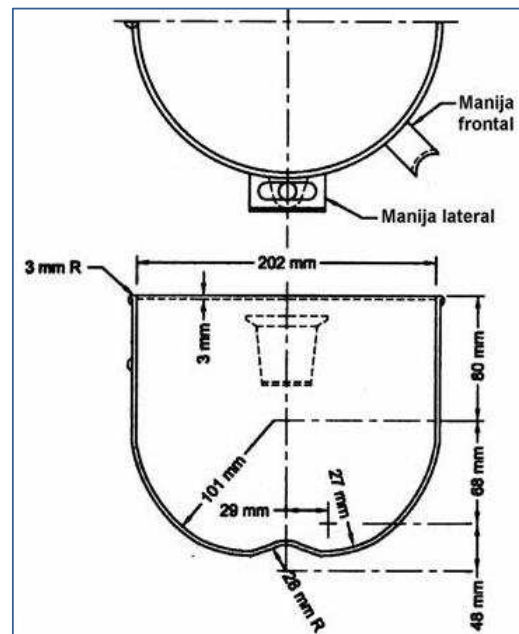
- 3.1 NTP 334.003:1998 CEMENTOS. Procedimiento para la Obtención de Pastas y Morteros de Consistencia Plástica por Mezcla Mecánica.
- 3.2 ASTM C 305 – 1999: "Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency".
- 3.3 AASHTO: T 162 -1993: "Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Mezcladora. Consta de una paleta y un recipiente. Es de tipo epicíclico, está impulsada eléctricamente por un motor con potencia mínima de 124 W (1/6 HP), que imparte a la paleta movimientos de rotación y translación. La mezcladora tendrá mínimo dos (2) velocidades, controladas por medios mecánicos (no se aceptarán ajustes de velocidad por medio de reóstatos; la primera velocidad (baja), girará la paleta a razón de 140 rpm \pm 5 rpm y el movimiento de translación será aproximadamente 62 rpm. La segunda velocidad (rápida), girará la paleta a razón de 285 rpm \pm 10 rpm, con movimiento de translación de aproximadamente 125 rpm. Cuando se coloca la paleta en la mezcladora, la distancia entre el borde inferior de la paleta y el fondo del recipiente de mezcla, no será mayor de 2,54 mm, ni menor de 0,76 mm.

- Paleta mezcladora. Fácilmente removible hecha de acero inoxidable (ver Figura 1). Sus medidas serán tales que, cuando se encuentre en funcionamiento, su contorno se adapte al del recipiente usado con la mezcladora y quede entre ambos una luz de unos 4 mm pero no menor de 0,76 mm en el momento de su mayor proximidad.
- Cubo mezclador. Removible, construido de acero inoxidable, con las dimensiones y forma mostradas en la Figura 2, tendrá una capacidad nominal de 4,75 litros. Estará equipado con los elementos necesarios para su fijación a la base de la mezcladora y una tapa de material no absorbente ni atacable por las mezclas de cemento.
- Espátula. Es una hoja de caucho semiduro, de unos 75 mm de largo, por 50 mm de ancho y espesor que va disminuyendo hacia el borde hasta 2 mm, unida a un mango de alrededor de 150 mm de largo.


Figura 1: Paleta mezcladora

Figura 2: Recipiente de mezcla

4.1.2 Balanzas y pesas de capacidad $1000 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$.

4.2 MATERIALES

4.2.1 Probeta graduada de $250 \text{ mL} \pm 1 \text{ mL}$, a $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.2.2 Espátula o badilejo de acero, cuya paleta tenga de 100 mm a 150 mm de longitud.

4.2.3 Guantes de jebe.

4.3 INSUMOS

4.3.1 Agua desionizada o destilada (la temperatura del agua durante la mezcla será de $23\text{ °C} \pm 1,7\text{ °C}$)

CONDICIONES AMBIENTALES

La temperatura del ambiente donde se efectúa el ensayo se mantendrá entre 20 °C y $27,5\text{ °C}$ y la humedad relativa no será inferior al 50%.

Los materiales secos, la paleta y el recipiente mezclador o cubos, estarán dentro de los rangos indicados.

5.0 MUESTRA

5.1 No existe información al respecto para este método

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Para mezcla de pastas.

Colocar la paleta mezcladora y el recipiente de mezcla secos, en la posición de trabajo, y proceder del modo siguiente:

- Verter la totalidad del agua de amasado en el recipiente.
- Adicionar el cemento y dejar en reposo 30 segundos, para que absorba el agua.
- Mezclar a la velocidad lenta ($140 \pm 5\text{ rpm}$) durante 30 segundos.
- Detener la mezcladora por 15 segundos, durante los cuales con la espátula, se retira la pasta que adherida a las paredes, al fondo del recipiente.
- Mezclar a velocidad rápida ($285 \pm 10\text{ rpm}$) durante 60 segundos.

6.2 Para la mezcla de morteros

Colocar la mezcladora en posición de trabajo (secando la paleta y el recipiente) y se procede así:

- Adicionar el agua de amasado en el recipiente.
- Agregar el cemento al agua y mezclar en baja velocidad ($140 \pm 5\text{ rpm}$) por 30 segundos.
- Agregar lentamente la totalidad de la arena en un lapso de 30 segundos, mientras la mezcladora funciona a baja velocidad.
- Detener la mezcladora, cambiar a la velocidad rápida ($285 \pm 10\text{ rpm}$) y mezclar durante 30 segundos.
- Detener la mezcladora durante 90 segundos. En los primeros 15 segundos de este intervalo, se arrastra rápidamente hacia el fondo el mortero que se ha adherido a las paredes. Para el resto del intervalo se tapa el recipiente.
- Finalmente se mezcla a velocidad rápida, ($285 \pm 10\text{ rpm}$) durante 60 segundos.

En caso de que el mortero requiera de remezclado, retirar el mortero adherido a las paredes de la mezcladora antes de iniciar el mezclado adicional.

Nota 1: precaución

La luz entre el contorno de la paleta y el recipiente, especificada en este método, es adecuada para morteros ejecutados con arena normalizada. Cuando se use arena gruesa se debe reajustar la distancia entre el borde de la paleta y el recipiente, para evitar serios desperfectos al equipo.

MTC E 612

CONTENIDO DE AIRE EN MORTEROS DE CEMENTO

1.0 OBJETO

- 1.1 Describir el procedimiento que debe emplearse para determinar el contenido de aire en un mortero de cemento hidráulico.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este ensayo se aplica para evaluar si el cemento cumple o no los requerimientos de inclusión de aire de la especificación pertinente de cemento.
- 2.2 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados en el presente método.
- 2.3 Este ensayo no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad correspondientes y determinar las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 NTP334.048 – 2003: CEMENTOS. Determinación del contenido de aire en morteros de cemento hidráulico.
- 3.2 ASTM C 185 – 01: "Standard Test Method for air content of hydraulic Cement Mortar"
- 3.3 AASHTO: T 137-93: "Standard Test Method for air content of hydraulic Cement Mortar"

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanzas. De capacidad de $2\ 000\text{ g} \pm 1\text{ g}$.
- 4.1.2 Mesa de flujo, molde de flujo y calibrador, de conformidad con los requerimientos de la norma MTC E617 "Fluidez de Morteros de Cemento Hidráulico" (Mesa de Flujo).
- 4.1.3 Calibrador o Medidor. Cilindro de metal inatacable por el mortero de cemento, con un diámetro interior de $76,2\text{ mm} \pm 1,6\text{ mm}$ y una profundidad aproximada de 90 mm, calibrado para contener $400\text{ mL} \pm 1\text{ mL}$ de agua a 23 °C (véase Nota 1). El espesor de las paredes y del fondo debe ser uniforme, y no inferior a 2,92 mm, el peso del medidor vacío no debe ser mayor de 900 g.

Para los fines de este ensayo, la capacidad del medidor en mL, es la masa de agua en gramos contenida en éste, dividido por 0,998; sin hacer corrección por el efecto de flotación en el aire.

Nota 1. La medida de 400 mL en el medidor puede ser calibrada rápidamente, llenándolo con agua destilada a 23 °C, hasta un punto donde el menisco sobrepase en forma apreciable el borde, colocando una placa de vidrio limpio encima del medidor y eliminando el exceso de agua. La ausencia de burbujas de aire debe ser comprobada a través del vidrio, para asegurar que el medidor está completamente lleno. Se tendrá cuidado de secar el exceso de agua de las paredes del medidor, antes de pesarlo

- 4.1.4 Mezcladora, recipiente y espátula. Deben cumplir con lo especificado en la norma MTC E611, correspondiente a: "Mezcla Mecánica de Morteros de Cemento Hidráulico, de consistencia plástica".

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Probeta de vidrio graduada a 20 °C, de capacidad $250\text{ mL} \pm 2\text{ mL}$
- 4.2.2 Pisón de material no absorbente, ni abrasivo, ni frágil, como por ejemplo un compuesto de caucho, con dureza Shore A de 80 durómetros ± 10 durómetros, o roble seco no absorbente

por inmersión durante 15 minutos en parafina a una temperatura aproximada de 200 °C; debe tener una sección transversal de 13 mm x 26 mm y una longitud conveniente (130 mm a 150 mm). La cara apisonadora debe ser plana y normal a su eje longitudinal.

- 4.2.3 Tamices. De 850 μm (Nº 20) y 600 μm (Nº 30).
 - 4.2.4 Regla. Recta, de acero, con una longitud no menor de 102 mm y un espesor de 2,4 mm \pm 0,8 mm.
 - 4.2.5 Espátula. Metálica, con una hoja de 150 mm de longitud y 13 mm de ancho, con bordes rectos y mango de madera.
 - 4.2.6 Barra. Debe ser de madera dura, con un diámetro de 16 mm y una longitud de 150 mm.
 - 4.2.7 Cuchara metálica, con una longitud total aproximada de 230 mm; la cavidad debe ser aproximadamente de 100 mm de largo, 63 mm de ancho y de 13 mm a 19 mm de profundidad.
 - 4.2.8 Arena. La arena usada para hacer el mortero normal debe ser de sílice natural, normalizada para ensayos (ASTM C 778), que pase por el tamiz de 850 μm (Nº 20) y que quede retenida en el tamiz de 600 μm (Nº 30).
- 4.3 INSUMOS
- 4.3.1 Agua desionizada o destilada (la temperatura del agua durante la mezcla será de 23 °C \pm 1,7 °C, dentro del rango de temperatura del laboratorio 20 °C – 27,5 °C y la humedad relativa no debe ser inferior al 50%)

5.0 MUESTRA

Mortero. La proporción del mortero patrón debe ser de 350 g de cemento y 1400 g de arena (estándar 20 – 30) con agua suficiente para obtener un flujo de 87,5 % \pm 7,5% en la mesa de flujo, cuando se determina de acuerdo con el numeral 6.2

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Mezcla de mortero. Debe hacerse de acuerdo con la norma MTC E 611 "Mezcla Mecánica de Morteros de Cemento de consistencia plástica.
- 6.2 Determinación de flujo. Secar cuidadosamente la parte superior de la mesa de flujo y colocar el molde de flujo en el centro de ésta. Usando la cuchara colocar en el molde una capa de mortero de 20 mm de espesor aproximadamente, y compactar cada capa 20 veces con el pisón, ejerciendo una presión suficiente que asegure el llenado uniforme del molde.

A continuación cortar el mortero para obtener una superficie plana y nivelar la parte superior de la pasta usando la regla con un movimiento de corte encima del molde. Limpiar y secar la mesa de flujo, teniendo especial cuidado de eliminar el agua existente alrededor de los bordes del molde. Después de 1 minuto de haber terminado la operación de mezcla, retirar el molde del mortero e inmediatamente golpear la mesa, dejándola caer desde una altura de 12 mm, 10 veces en 6 segundos.

El flujo es el incremento del diámetro promedio de la masa de mortero debido a los golpes y se determina usando el calibrador, midiendo al menos cuatro diámetros, equidistantes entre sí y expresando tales diámetros como porcentaje del diámetro original.

Se debe hacer distintos morteros de prueba, variando los porcentajes de agua hasta obtener el flujo especificado, y se debe utilizar mortero fresco en cada prueba.

- 6.3 Masa para 400 mL de mortero: Una vez encontrada la cantidad de agua que produce un flujo entre 80 % y 95%, inmediatamente determinar la masa para 400 mL de mortero, usando el mortero remanente que queda en la mezcladora después de que se haya determinado el flujo.

Utilizando la cuchara, depositar suavemente el mortero dentro del medidor de 400 mL, en tres capas iguales, compactar cada capa con el pistón 20 veces alrededor de la superficie en el interior del medidor en una revolución completa, con una presión suficiente para llenar adecuadamente el medidor y eliminar los vacíos dentro del mortero.

Después de haber llenado el medidor y apisonado la última capa en la forma antes descrita, golpear suavemente los lados externos del medidor con el extremo de la barra de madera en 5 puntos diferentes ubicados a distancias aproximadamente iguales, para liberar aire posiblemente atrapado en el mortero. Debe evitarse dejar espacios entre el mortero y la superficie interna del medidor durante las operaciones de distribución y apisonado. Luego con la espátula, enrasar el mortero en la parte superior del medidor para obtener una superficie plana, mediante movimientos de sierra, realizando dos pasadas, la segunda en dirección tal que forme ángulo recto con la primera. Si al enrasar, quedan en la superficie granos sueltos que forman surcos, tales granos deben ser removidos y se debe volver a enrasar. La operación completa de llenado y enrasado del medidor debe hacerse en un tiempo de 1,5 minutos.

Limpiar el mortero y el agua adherida a las paredes del medidor. Determinar la masa del medidor y su contenido, restar la masa del medidor y registrar la masa del mortero en gramos

7.0 CALCULOS É INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Calcular el contenido de aire del mortero a partir de la siguiente fórmula, en la cual se considera las proporciones de mezcla indicadas en el numeral 5,0; tomando como peso específico del cemento Pórtland 3,15 y de la arena estándar 2,65 y las características del medidor.

$$\text{Contenido de aire, en volumen (\%)} = 100 - W \frac{(182,7 + p)}{(2000 + 4p)} \quad (1)$$

Donde:

W = Masa de los 400 mL de mortero en gramos.

P = Porcentaje de agua en la mezcla referido a la masa de cemento usado.

Cuando el cemento hidráulico es diferente al Pórtland, el valor de su peso específico debe sustituirse por el 3,15 mostrado en la deducción de la fórmula que sigue a continuación.

7.1.2 Deducción de la fórmula

Donde:

W_a = Masa del mortero por unidad de volumen, determinado según el ensayo
= W/400 g/mL, donde W es la masa en gramos de los 400 mL, especificados en el punto 6.3

W_e = Masa teórica del mortero, por unidad de volumen, suponiendo al mortero libre de aire.

Entonces:

$$\text{Contenido de aire, en volumen (\%)} = 100 \left[1 - \frac{W_a}{W_e} \right] \quad (2)$$

Ahora:

$$W_e = \frac{350 + 1400 + 350 \times p \times 0,01}{\frac{350}{3,15} + \frac{1400}{2,65} + \frac{350 \times P \times 0,01}{1}} = \frac{5 + 0,01p}{1,827 + 0,01p}$$

$$W_e = \frac{(5 + 0,01p)}{(1,827 + 0,01p)}$$

Donde:

P = Porcentaje de agua de mezcla basado en la masa del cemento.

Sustituyendo W_a y W_e en (2), se obtiene la ecuación (1).

La temperatura del ambiente donde se efectúa el ensayo se mantendrá entre 20 °C y 27,5 °C y la humedad relativa no será inferior al 50%.

Los materiales secos, la paleta y el recipiente mezclador o cubos, estarán dentro de los rangos indicados.

7.2 INFORME

Reportar el contenido de aire del mortero de cemento hidráulico en porcentaje por volumen, con aproximación al 1%.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 Para un simple operador, dentro del laboratorio la desviación estándar ha sido establecida en 0,56% para el rango de 8% a 19% del contenido de aire. Dos determinaciones correctamente realizadas por un mismo operador, en similares mezclas no variarán entre sí en más de 1,6%.

La desviación estándar de ensayos multilaboratorios ha sido establecida en 1% para el rango de 8% a 19% del contenido de aire. Las determinaciones de dos distintos laboratorios, no variarán entre sí en más de 2,8% de aire.

MTC E 613**FINURA DEL CEMENTO PORTLAND MÉTODO DEL APARATO BLAINE (PERMEABILIDAD)****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar la finura del cemento Portland en términos de superficie específica, expresada en cm^2/g o m^2/kg de cemento, por medio del aparato (Blaine) de permeabilidad al aire.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método de ensayo verifica si el cemento cumple con las especificaciones normalizadas. Eventualmente es un indicador de la resistencia, especialmente en edades tempranas
- 2.2 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados en el presente método.
- 2.3 Este ensayo no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad correspondientes y determinar las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 NTP 334.002:1997 CEMENTOS. Determinación de la Finura Expresada por la Superficie Específica (Blaine).
- 3.2 NTP 334.005:1968 CEMENTOS. Método de Determinación del Peso Específico.
- 3.3 ASTM C 204 - 2000: "Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus".
- 3.4 AASHTO: T 153-1993: "Standard Test Method for Fineness of Portland Cement by Air-Permeability Apparatus".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Balanza y pesas de capacidad $1000 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$.
- 4.1.2 Equipo Blaine. Consta de las siguientes partes: cámara de permeabilidad, disco perforado, émbolo y manómetro, (Figura 1).
- Célula de permeabilidad: está formada por un cilindro rígido, de diámetro interior de $12,7 \text{ mm} \pm 0,10 \text{ mm}$ construido de vidrio o de metal no corrosible. La parte superior de la cámara está dispuesta en ángulo recto con respecto al eje de la misma. La parte inferior de la cámara ajusta herméticamente con la parte superior del manómetro. En el interior de la cámara y a $55 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ de la parte superior, se hace un reborde de $0,5 \text{ mm}$ a 1 mm de ancho para soportar un disco metálico perforado.
 - Disco perforado. Debe ser construido de un metal no corrosible; su superficie es plana y tiene un espesor de $0,9 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$; está provisto de 30 ó 40 orificios de 1 mm de diámetro, distribuidos uniformemente sobre su superficie. El disco debe ajustar el reborde del tubo.

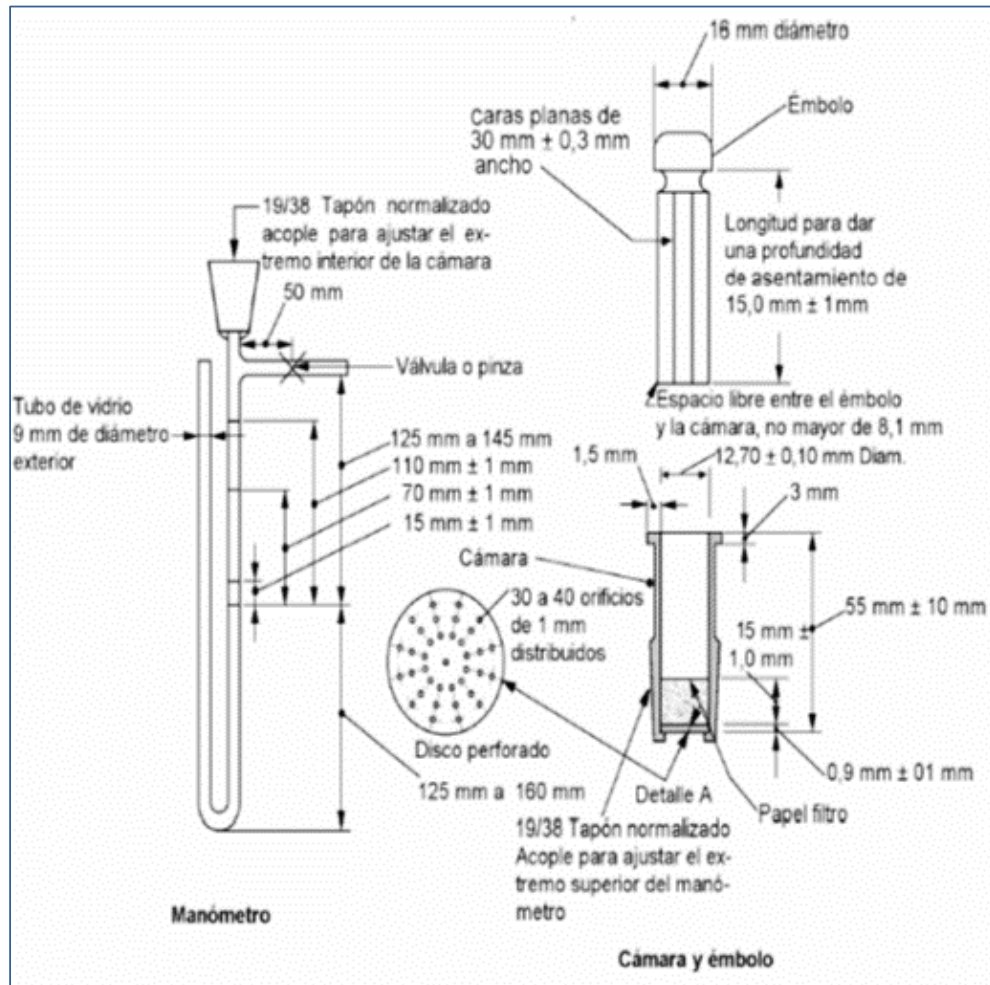


Figura 1: Aparato de Blaine

- **Émbolo.** Debe ser fabricado con un material indeformable e inatacable por el cemento y debe ajustar dentro del tubo con una tolerancia (holgura) máxima de 0.1 mm. La parte inferior del émbolo es plana, tiene bordes regulares y forma ángulo recto con su eje principal. En el control a un lado del émbolo hay un desfogue para el aire. La parte superior del émbolo debe tener un reborde de tal forma que cuando el émbolo se coloque en el tubo y el reborde haga tope en la parte superior del mismo, la distancia entre el extremo inferior del émbolo y la parte superior del disco perforado sea de $15 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$.
- **Manómetro.** En forma de U, de acuerdo con la Figura 1. Para construirlo, se emplea un tubo de vidrio de 9 mm de diámetro exterior. El extremo superior de uno de los brazos del manómetro debe hacer un ajuste hermético con la cámara de permeabilidad. Dicho brazo tiene un sistema lateral de tubos para sacar el aire, situado a una distancia entre 250 mm y 305 mm del fondo del manómetro y tiene, además, una marca grabada a una distancia de 125 mm a 145 mm por debajo de la parte superior del sistema lateral de tubos. También hay otras tres marcas por encima de la primera, a distancias de 15 mm, 70 mm y 110 mm, respectivamente. En el sistema lateral de tubos hay una válvula, que puede hacer un cierre hermético, situada a una distancia no mayor de 50 mm del brazo. Al montarse el manómetro, debe quedar firme y con los brazos perfectamente verticales.

4.1.3 **Cronómetro.** Debe permitir lecturas con aproximación de 0,5 segundos o menos, en intervalos de tiempo hasta 60 segundos, y de 1,0% o menos para intervalos de 60 a 300 segundos.

4.2 MATERIALES

4.2.1 Papel de filtro, Debe ser del tipo grado UU-P-236 de la federal specification (USA) o similar, de forma circular, sus bordes regulares y debe tener el mismo diámetro que el interior de la cámara de permeabilidad.

4.3 INSUMOS

4.3.1 Líquido para llenar el manómetro. El manómetro debe llenarse hasta la mitad, con un aceite mineral ligero o con un líquido que no sea volátil ni higroscópico y que tenga viscosidad y densidad bajas, tal como el ftalato dibutilo (dibutil 1,2 bencendicarboxilato). Es aconsejable colorear el líquido para facilitar las lecturas.

Nota 1. Si los discos de papel de filtro son muy pequeños, pueden dejar que parte de la muestra se adhiera a la pared interior de la cámara por encima del disco superior. Si, por el contrario, son muy grandes, tenderán a doblarse y a causar resultados errados

5.0 MUESTRA

5.1 CALIBRACION DEL EQUIPO

5.1.1 La calibración, se hace empleando una muestra patrón (muestra 114 del National Bureau of Standards, USA). En el momento del ensayo, la muestra debe estar a la temperatura ambiente.

5.1.2 Determinación del volumen de la capa compactada de cemento. Se determina en la forma siguiente:

- Colocar dentro de la cámara de permeabilidad dos discos de papel de filtro de diámetro igual al de ella, haciéndoles presión con una varilla de longitud ligeramente inferior al diámetro de la cámara, hasta que se asienten bien sobre el disco perforado. Se llena luego la cámara con mercurio y se eliminan las burbujas de aire adheridas a las paredes. Si la cámara está hecha de un metal que pueda amalgamarse, su interior se protege con una película muy fina de aceite que se pone inmediatamente antes de agregar el mercurio. Se engrasa el mercurio cuidadosamente con una placa de vidrio. Se saca el mercurio, se pesa y se anota el peso obtenido. Se saca de la cámara de permeabilidad uno de los discos de papel filtro. Se colocan en ella 2,80 g de cemento (véase Nota 2) y sobre éste, el mismo disco de papel de filtro que se había sacado; luego se hace presión sobre el cemento (véase Nota 3). Se acaba de llenar con mercurio la cámara, se elimina el aire y se engrasa nuevamente. Se saca el mercurio, se pesa y se anota ese peso.
- El volumen ocupado por el cemento se calcula, con aproximación de 0,005 cm³, como sigue:

$$V = \frac{W_A - W_B}{D} \quad (1)$$

Donde:

V = Volumen de la capa de cemento, en cm³

W_A = Peso del mercurio que se coloca en la cámara de permeabilidad cuando no hay cemento en la misma, en g.

W_B = Peso del mercurio que llena la parte de la cámara de permeabilidad no ocupada por la capa de cemento, en g.

D = Peso específico del mercurio a la temperatura a que se hace el ensayo, en g/cm³ (véase Tabla 1).

- Como mínimo, se deben hacer dos determinaciones del volumen del cemento. El volumen empleado en los cálculos correspondientes, debe ser el promedio de dos resultados que no difieran, en más o menos, de 0,005 cm³. Se debe anotar la temperatura ambiente que rodea a la cámara de permeabilidad, inmediatamente antes y después de cada determinación.

Nota 2. No es necesario emplear la muestra patrón en la determinación del volumen.

Nota 3. La capa de cemento que se prepare debe ser consistente. Si está demasiado floja o si el cemento no puede comprimirse al volumen deseado, se varía la cantidad de cemento empleado en el ensayo.

Tabla 1

Peso específico del mercurio, viscosidad del aire (η) y $\sqrt{\eta}$ a algunas temperaturas

Temperatura ambiente °C	Densidad mercurio g/cm ³	Viscosidad del aire, en poises, η	$\sqrt{\eta}$
16	13,56	0,0001788	0,01337
18	13,55	0,0001798	0,01341
20	13,55	0,0001808	0,01345
22	13,54	0,0001818	0,01348
24	13,54	0,0001828	0,01352
26	13,53	0,0001837	0,01355
28	13,53	0,0001847	0,01359
30	13,52	0,0001857	0,01363
32	13,52	0,0001867	0,01366
34	13,51	0,0001876	0,01370

5.1.3 Preparación de la muestra. La muestra patrón se introduce, inmediatamente antes de ser utilizada, en un frasco de 100 cm³ a 150 cm³ de capacidad y se agita vigorosamente durante 2 minutos, a fin de deshacer los grumos.

5.1.4 Peso de la muestra patrón. Debe ser tal que permita obtener una capa de cemento que tenga una porosidad de $0,500 \pm 0,005$. Dicho peso se calcula con la siguiente fórmula:

$$W \times 3,15 \cdot v(1 - e) \quad (2)$$

Donde:

W = Peso de la muestra patrón, en g con una aproximación de 0,001 g.

3,15 = Peso específico del cemento Pórtland

φ = Volumen de la capa de cemento, en cm³ que se determina de acuerdo con lo expuesto en el numeral 5.1.2

e = Porosidad de la capa de cemento ($0,500 \pm 0,005$).

5.1.5 Preparación de la capa de cemento. Se coloca el disco perforado en el reborde de la cámara de permeabilidad. Se pone un disco de papel de filtro sobre el disco perforado y se presiona con una varilla de longitud ligeramente menor que el diámetro de la cámara. Se añade cemento a ella, de acuerdo con el numeral 5.1.4 y se dan unos ligeros golpes en sus paredes para que la capa de cemento quede nivelada. Se coloca un disco de papel de filtro sobre el cemento. Se baja el émbolo hasta que su reborde toque el extremo superior de la cámara. Se levanta un poco el embolo en forma lenta, se rota 90° y se vuelve a bajar. Por último, se saca el embolo lentamente. Para cada determinación es necesario utilizar discos nuevos de papel de filtro.

5.1.6 Ensayo de permeabilidad

- La cámara de permeabilidad se conecta con el manómetro, cerciorándose que haya una conexión hermética (véase Nota 4) y cuidando que la capa de cemento no se altere.
- El aire contenido en el brazo del manómetro que tiene las marcas, se elimina lentamente hasta que el líquido alcance la marca más alta y luego se cierra herméticamente la válvula. Se hace funcionar el cronometro en el momento en que el menisco del líquido

llegue a la segunda marca la que sigue a la más alta y se detiene en el momento en que el menisco llegue a la tercera marca.

- El intervalo de tiempo observado se anota en segundos; se anota también la temperatura a que hizo el ensayo, en °C. Para la calibración del aparato se hacen como mínimo tres determinaciones del tiempo de flujo en cada una de tres capas diferentes de la muestra patrón (véase Nota 5). La calibración debe hacerla la misma persona que va a efectuar las determinaciones de la finura.

Nota 4. Si se usa un tapón de goma para la conexión, éste debe humedecerse con agua. Si la unión es esmerilada, debe aplicarse un poco de grasa. La eficiencia de la conexión puede apreciarse tapando la parte superior de la cámara (después de haber colocado el manómetro), haciendo salir aire y cerrando luego la llave. Un descenso continuo del menisco es indicio de falla en el sistema

Nota 5. Puede volver a usarse la misma muestra patrón para preparar las capas de cemento, volviéndola a aflojar según el numeral 4.1.3 y siempre que se mantenga seca y se hagan las pruebas dentro de las 4 horas siguientes a la apertura de la muestra.

5.1.7 Recalibración. El aparato debe ser recalibrado en los casos siguientes:

- Para corregir posibles desgastes del émbolo o de la cámara de permeabilidad; esto deberá hacerse periódicamente.
- Si hay alguna pérdida de líquido del manómetro.
- Si se efectúa algún cambio en el tipo o en la calidad del papel de filtro empleado en los ensayos.

Nota 6. Se sugiere preparar una muestra secundaria para ser usada en las comprobaciones rutinarias del instrumento; éstas se deben efectuar entre las calibraciones regulares, en las cuales se debe usar la muestra patrón.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Temperatura del cemento. La muestra de cemento debe estar a la temperatura ambiente en el momento de efectuar el ensayo.

6.2 Cantidad de muestra. La muestra debe tener el mismo peso que la muestra patrón utilizada para la calibración, excepto cuando se vaya a determinar la finura de un cemento de alta resistencia inicial, caso en el cual el peso de la muestra debe ser el necesario para obtener una capa con porosidad de 0,530 e \pm 0,005 e.

Nota 7. Cuando este método sea utilizado para materiales diferentes del cemento Portland, el peso de la muestra debe ser ajustado de tal forma que del proceso de compactación se obtenga una capa firme y dura.

6.3 Preparación de la capa de cemento. La capa de cemento para el ensayo debe prepararse de acuerdo con el método descrito en el numeral 5.1.5.

6.4 Ensayo de permeabilidad. Debe efectuarse de acuerdo con el método descrito en el numeral 5.1.6, con la excepción de que sólo es necesaria una determinación del tiempo de flujo para la capa de cemento.

7.0 CALCULOS E INFORMES

7.1 CALCULOS

7.1.1 La superficie específica se calcula mediante las siguientes fórmulas:

$$S = \frac{S_p \sqrt{T}}{\sqrt{T_p}} \quad (3)$$

$$S = \frac{S_p \sqrt{N_p} \sqrt{T}}{\sqrt{T_p} \sqrt{N}} \quad (4)$$

$$S = \frac{S_p (b - e_p) \sqrt{e^3} \sqrt{T}}{(b - e) \sqrt{(e_p)^3} \sqrt{T_p}} \quad (5)$$

$$S = \frac{S_p (b - e_p) \sqrt{e^3} \sqrt{T} \sqrt{N}}{(b - e) \sqrt{(e_p)^3} \sqrt{T_p} \sqrt{N}} \quad (6)$$

$$S = \frac{S_p G_p (b_p - e_p) \sqrt{e^3} \sqrt{T}}{G (b - e) \sqrt{(e_p)^3} \sqrt{T_p}} \quad (7)$$

$$S = \frac{S_p G_p (b_p - e_p) \sqrt{e^3} \sqrt{T} \sqrt{N_p}}{G (b - e) \sqrt{(e_p)^3} \sqrt{T_p} \sqrt{N}} \quad (8)$$

Donde:

- S = Superficie específica de la muestra de ensayo, en cm² /g
- S_p = Superficie específica de la muestra patrón, en cm² /g
- T = Tiempo determinado para la muestra en ensayo, en segundos, según la Nota 8
- T_p = Tiempo determinado para la muestra patrón, en segundos, según la Nota 8
- N = Viscosidad del aire a la temperatura de ensayo de la muestra a ensayar en poises (Nota 8)
- N_p = Viscosidad del aire a la temperatura de ensayo de la muestra patrón en poises (Nota 8)
- e = Porosidad de la capa de la muestra de ensayo (Nota 8)
- e_p = Porosidad de la capa de la muestra patrón (Nota 8)
- G = Peso específico de la muestra de ensayo (para el cemento Portland: 3.15).
- G_p = Peso específico de la muestra patrón (adóptese 3.15).
- b = Constante para la muestra de ensayo, para cemento Portland deberá usarse el valor 0,9
- b_p = Constante para la muestra patrón se empleará el valor de 0,9.

Nota 8. Los valores de \sqrt{N} y $\sqrt{e^3}$ se toman de las tablas 1 y 2, respectivamente

Las fórmulas (3) y (4) se deben usar para cemento Pórtland, cuando las porosidades de la muestra en ensayo y del patrón sean las mismas. En particular, se debe emplear la (3) si las temperaturas de dichas muestras no difieren en más de 3 °C entre sí; y la (4), si ocurre lo contrario.

Las fórmulas (5) y (6) se deben emplear para cemento Pórtland cuando las porosidades de las dos muestras aludidas sean distintas. La (5) se debe utilizar cuando las temperaturas no difieran en más de 3 °C entre si; y la (6) cuando la diferencia sea mayor.

Las fórmulas (7) y (8) se deben usar para materiales distintos del cemento Pórtland. La (7) en los casos en que las temperaturas de la muestra en ensayo y la patrón no difieran en más de 3 °C entre sí; y la (8) en caso contrario.

Se recomienda que los valores de b sean determinados sobre no menos de tres (3) muestras del material en cuestión. Ensáyese cada muestra a un mínimo de cuatro porosidades sobre un intervalo de porosidad de por lo menos 0,06. Los coeficientes de correlación deberán exceder el valor 0,9970 para la correlación de $\sqrt{e^3} \cdot T$ versus e, sobre cada muestra ensayada.

- 7.1.2 Para calcular los valores de superficie específica en m^2/kg multiplíquese el área superficial en cm^2/g por el factor 0,1.
- 7.1.3 Aproxímense los valores en cm^2/g a las 10 unidades más cercanas (m^2/kg a la unidad más cercana). Ejemplo: $3447 cm^2/g$ y se redondea a $3450 cm^2/g$ o $345 m^2/kg$.

Tabla 2
Porosidad de la capa de cemento

Porosidad de la capa, $e \sqrt{e^3}$		Porosidad de la capa, $e \sqrt{e^3}$	
0,495	0,348	0,509	0,363
0,496	0,349	0,510	0,364
0,497	0,350		
0,498	0,351		
0,499	0,352	0,525	0,380
		0,526	0,381
		0,527	0,383
0,500	0,354	0,528	0,384
0,501	0,355	0,529	0,385
0,502	0,356		
0,503	0,357		
0,504	0,358	0,530	0,386
		0,531	0,387
		0,532	0,388
0,505	0,359	0,533	0,389
0,506	0,360	0,534	0,390
0,507	0,361	0,535	0,391
0,508	0,362		

7.2 INFORME

- 7.2.1 Para cementos Pórtland o materiales basados en cemento Pórtland, infórmense los resultados de una sola determinación sobre una sola capa de cemento.
- 7.2.2 Para materiales de finura muy alta, con intervalos de tiempo largos, infórmese el valor promedio de finura de dos ensayos de permeabilidad, siempre y cuando los dos no difieran más del 2% entre sí. Si difieren en más, repítase el ensayo hasta obtener dos valores que cumplan este requisito.

Nota 9. La amplia diferencia de resultados indica una necesidad de verificar el procedimiento y el aparato. Debe tenerse especial cuidado en la preparación de las capas de ensayo y deben tenerse precauciones para asegurar una conexión hermética entre la cámara de permeabilidad y el brazo del manómetro.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISIÓN

- 8.1.1 Los resultados de dos ensayos efectuados por un mismo operador sobre una misma muestra no diferirán en más de 3,4% de su promedio.
- 8.1.2 Los resultados de dos ensayos efectuados en laboratorios distintos sobre una misma muestra no diferirán en más de 6% de su promedio.

MTC E 614**FALSO FRAGUADO DEL CEMENTO****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar el falso fraguado de pastas de cemento Portland.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El propósito de este método es determinar la capacidad de un cemento para desarrollar endurecimiento temprano o establecer si un cemento cumple o no con el límite señalado para el falso fraguado.
- 2.2 Para la determinación del cumplimiento con un límite especificado, éste generalmente se da en porcentaje de acuerdo con la forma de expresión de resultados, en términos de la mínima penetración final permitida. Cuando se use para estimar la tendencia relativa de un cemento a manifestar falso fraguado se obtiene información adicional empleando el procedimiento de remezclado. Puede establecerse una mayor o menor tendencia al falso fraguado, de acuerdo a su persistencia, comparando su comportamiento en el ensayo inicial y en el de remezclado.
- 2.3 Un falso fraguado muy marcado puede causar dificultades desde el punto de vista de la colocación y manipulación. Pero esto no es probable cuando el concreto se mezcla generalmente por un tiempo largo, como ocurre en un camión mezclador, o cuando éste es remezclado antes de colocarlo o transportarlo, como sucede en operaciones de concreto bombeado. Esto es mucho más importante cuando el concreto se mezcla por un tiempo corto en mezcladoras fijas y se transporta en equipos sin agitador, como sucede en algunos trabajos de pavimentación.
- 2.4 Un falso fraguado muy marcado, generalmente requiere más de agua de mezcla para producir la misma consistencia, dando una disminución de la resistencia e incremento de la contracción por secado.
- 2.5 Un fraguado rápido de suficiente intensidad como para causar dificultades desde el punto de vista de la colocación y manipulación, generalmente hace que el cemento no cumpla con los requisitos de fraguado.
- 2.6 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados en el presente método.
- 2.7 Este ensayo no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad correspondientes y determinar las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 NTP 334.052:1998 CEMENTOS. Método de ensayo para determinar el falso fraguado del cemento. Método de la pasta.
- 3.2 ASTM C 451: 1995: "Standard Test Method for Early Stiffening of Hydraulic Cement (Paste Method)".
- 3.3 ASSHTO T186: "Early Stiffening of Portland Cement (Paste Method)".

DEFINICIONES

Falso fraguado. Endurecimiento rápido de una pasta de cemento Portland, mortero o concreto, sin desprendimiento apreciable de calor. La plasticidad se recupera continuando la mezcla de la pasta endurecida sin adición de agua.

Fraguado rápido o instantáneo. Endurecimiento rápido de una pasta de cemento Portland, mortero o concreto, generalmente con desarrollo de apreciable cantidad de calor. La rigidez de la pasta no se elimina ni su plasticidad se recupera, continuando la mezcla de la pasta endurecida sin adición de agua.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

4.1.1 Balanza y pesas de capacidad 1000 g \pm 0,1 g.

4.1.2 Equipo de Vicat de acuerdo a lo especificado en el método MTC E 605.

El equipo de Vicat también puede estar construido con vástago no reversible, pero en este caso debe tener un dispositivo de compensación de peso que permita cambiar la sonda por la aguja. Las secciones terminales de la aguja y de la sonda deben ser planas y perpendiculares al eje del vástago.

4.1.3 Mezcladora, debe cumplir con los requisitos establecidos en el método de ensayo MTC E 611 "Mezcla Mecánica de Pasta de Cemento".

4.2 MATERIALES

4.2.1 Probeta graduada de 250 mL \pm 1 mL, a 20 °C.

4.2.2 Espátula o badilejo de acero, cuya paleta tenga de 100 mm a 150 mm de longitud.

4.2.3 Guantes de jebe.

4.2.4 Bandeja. Debe ser de acero, con longitud de 125 mm \pm 25 mm (4" a 6") y de bordes rectos.

4.3 INSUMOS

4.3.1 Agua desionizada o destilada (la temperatura del agua durante la mezcla será de 23 °C \pm 1,7 °C, dentro del rango del ambiente de mezclado, 20 °C – 27,5 °C)

5.0 MUESTRA

5.1 Preparación de la pasta de cemento.

Mezclar 500 g de cemento con agua suficiente para obtener una pasta con una penetración inicial de 32 mm \pm 4 mm empleando el siguiente procedimiento:

- Colocar la paleta y el recipiente, secos, en posición de trabajo en la mezcladora.
- Introducir los materiales en el recipiente y mezclar de la siguiente manera:
- Verter el agua de amasado en el recipiente.
- Agregar el cemento y se dejar 30 segundos para que absorba el agua.
- Poner en movimiento la mezcladora a velocidad de 140 rpm \pm 5 rpm durante 30 segundos.
- Detener la mezcladora 15 segundos y colocar la pasta adherida a las paredes, nuevamente en el centro del recipiente
- Poner en movimiento la mezcladora a velocidad de 285 rpm \pm 10 rpm durante 150 segundos.

5.2 Moldeo de la muestra de ensayo.

Rápidamente moldear la pasta de cemento con las manos enguantadas dándole forma esférica.

Con la muestra que cabe en una mano se llena completamente por la base mayor el molde G sostenido en la otra (Figura 1 de la norma MTC E 605) llenando completamente el molde con la pasta. Se debe quitar el exceso en esta base con un simple movimiento de la palma de la mano. Colocar el molde sobre su base mayor en una placa de vidrio (H); quitar el exceso de pasta de la parte superior del molde, con un solo paso del badilejo, el cual debe colocarse formando un pequeño ángulo con la base superior del molde. Alisar la parte superior de la muestra, si es necesario, con una o dos pasadas suaves del extremo puntiagudo de la herramienta, o sacudiendo suavemente el conjunto. Durante estas operaciones debe tenerse el cuidado de no comprimir la pasta.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Determinación de la penetración inicial.

Colocar la pasta confinada en el molde, que descansa sobre la placa de vidrio (H), bajo el vástago B (Figura 1, método de ensayo MTC E 605) de tal manera que la sonda C quede en contacto con la superficie de la pasta en un punto que esté aproximadamente a un tercio del diámetro del molde a partir de su borde; por medio del tornillo de sujeción E, fíjese el vástago en la posición indicada. Colocar el índice móvil F, marcando el cero superior de la escala y soltar el vástago exactamente 20 segundos después de completarse la mezcla. El aparato no debe estar sometido a vibración durante el ensayo. Se considera que la pasta tiene consistencia para penetración inicial cuando la sonda penetra $32 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$ abajo de la superficie, después de 30 segundos. Háganse pastas de prueba con diferentes porcentajes de agua hasta obtenerse esta consistencia. Dicha consistencia corresponde a la penetración inicial. Durante los 30 segundos necesarios para la penetración inicial, debe ponerse el exceso de pasta en el recipiente; tápese éste y la paleta de mezclar

6.2 Determinación de la penetración final.

Después de hecha la lectura inicial, retírese la sonda de la pasta y límpiense; colóquese el molde y la placa en una nueva posición. Esta operación debe llevarse a cabo alterando lo menos posible la pasta confinada en el molde Vicat. Colóquese la sonda nuevamente en contacto con la superficie de la pasta. Transcurridos 5 minutos después de terminado el periodo de mezcla, repítase el proceso enunciado para penetración inicial, la lectura obtenida corresponde a la penetración final.

6.3 Procedimiento de remezclado. Si la penetración determinada por el procedimiento descrito muestra endurecimiento rápido del cemento, puede obtenerse información adicional sobre su naturaleza por el siguiente ensayo:

Al terminar la medida de la penetración final, trasládese inmediatamente la pasta del molde al recipiente. Póngase en marcha la mezcladora, levántese el recipiente a la posición de mezcla y remézclase a velocidad de $285 \text{ rpm} \pm 10 \text{ rpm}$ durante 1 minuto. Llénese el molde y determínese la penetración de la misma manera como se especifica en el numeral 6.1.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Se calcula la penetración en porcentaje, mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de penetración} = \frac{\text{Penetración final}}{\text{penetración inicial}} \times 100$$

7.1.2 El informe debe incluir los siguientes datos:

Penetración inicial	mm
Penetración final	mm
Penetración de mezcla	mm
Porcentaje de penetración	%
Penetración de remezclado	mm

MTC E 615**RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO****1.0 OBJETO**

1.1 Determinar la resistencia a la tensión de morteros de cemento hidráulico.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

2.1 Consiste en someter a tracción un espécimen característico

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

3.1 AASHTO T 132: Tensile Strength of Hydraulic Cement Mortars.

3.2 NTP 334.060: Método de ensayo para determinar la resistencia a la tensión de mortero de cemento hidráulico.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES**4.1 EQUIPOS**

4.1.1 Balanzas. Deben ser equipos de precisión para efectuar pesadas desde 1000 g \pm 1 g, 1500 g \pm 2 g.

4.1.2 Pesas calibradas y certificadas, para la verificación.

4.1.3 Tamices. Se requieren los tamices de 0,840 mm (No. 20) y 0,590 mm (Nº 30).

4.1.4 Probetas graduadas. Preferentemente de un tamaño tal, que permitan medir el agua de amasado en una sola operación. Pueden ser de 100, 150, 200 mL, etc.; graduados a partir de 5 mL (100 y 150 mL) y de 10 mL para el de 200 mL; el error permisible no debe ser mayor de \pm 1,0 mL a 20 °C.

4.1.5 Moldes. Estarán contruidos con un metal no atacable por los morteros de cemento, y con espesor suficiente para evitar deformaciones al verter el mortero. Pueden usarse moldes en cadena como los mostrados en la Figura 1.

Las dimensiones del molde que conforma una briqueta se muestran en la Figura 3 y además deberán cumplir lo siguiente: la distancia entre las caras interiores a lo largo del eje de simetría transversal será de 25,4 mm (1") con variación permisible de \pm 0,13 mm (\pm 0,005") para moldes nuevos y de \pm 0,25 mm (\pm 0,01") para moldes en uso. La altura medida en los puntos de mayor espesor de las paredes, a cada lado de la cintura, debe ser de 25,4 mm (1"), con variación permisible de \pm 0,10 mm (\pm 0,004") y -0,05 mm (-0,002") para moldes nuevos; y de 0,5 mm (-0,02") para moldes en uso.

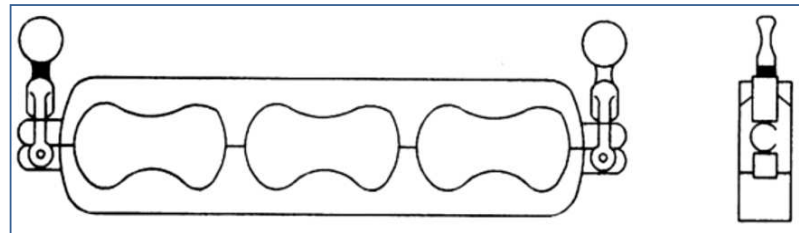


Figura 1: Molde

4.1.6 Máquina de ensayo "Balanza Michaelis". Capaz de poder aplicar a la muestra sin interrupción, una carga de 272 kg/minuto \pm 12 kg/minuto (600 lbf/minuto \pm 25 lbf/minuto) y estará dotada de dispositivos para regular la velocidad de aplicación de la carga. Deberá cumplir los siguientes requisitos de exactitud: para cargas no menores de 45 kg (100 lbf no excederá \pm 1,0% para máquinas nuevas, ni de \pm 1,5% para las usadas). La máquina debe ser calibrada frecuentemente.

- 4.1.7 Abrazaderas o Mordazas. Para colocar la muestra para someterla a tensión, estarán de acuerdo con la Figura 2.

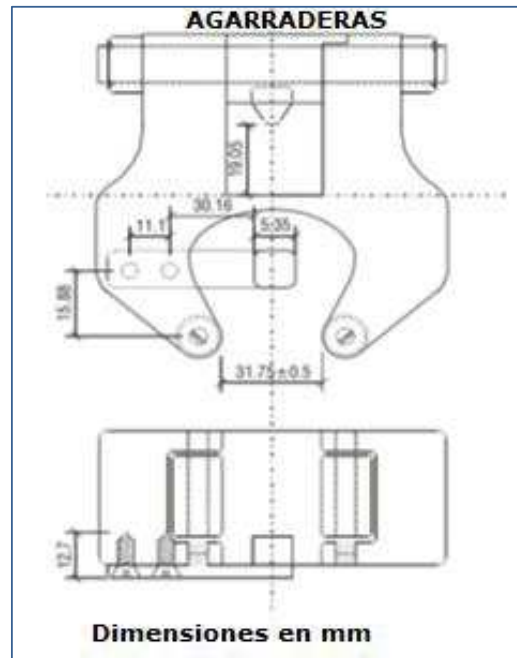


Figura 2: Abrazaderas

- 4.1.8 Badilejo, herramientas menores. El badilejo tendrá una hoja de acero de 100 mm a 150 mm (4" a 5").
- 4.2 MATERIALES
- 4.2.1 Guantes de plástico
- 4.2.2 Arena. Debe ser de sílice natural, normalizada para ensayos, que pase por el tamiz de 0,840 mm (Nº 20) y quede retenida en el tamiz de 0,590 mm (Nº 30). Se considera que cumple la condición normalizada, si al tomar una muestra de 100 g se retiene menos de 15 g en el tamiz de 0,840 mm (Nº 20) y no más de 5 g pasan el tamiz de 0,590 mm (Nº 30), después de 5 minutos de tamizado continuo.

5.0 MUESTRA

5.1 PREPARACION Y CONSERVACION DE MUESTRAS

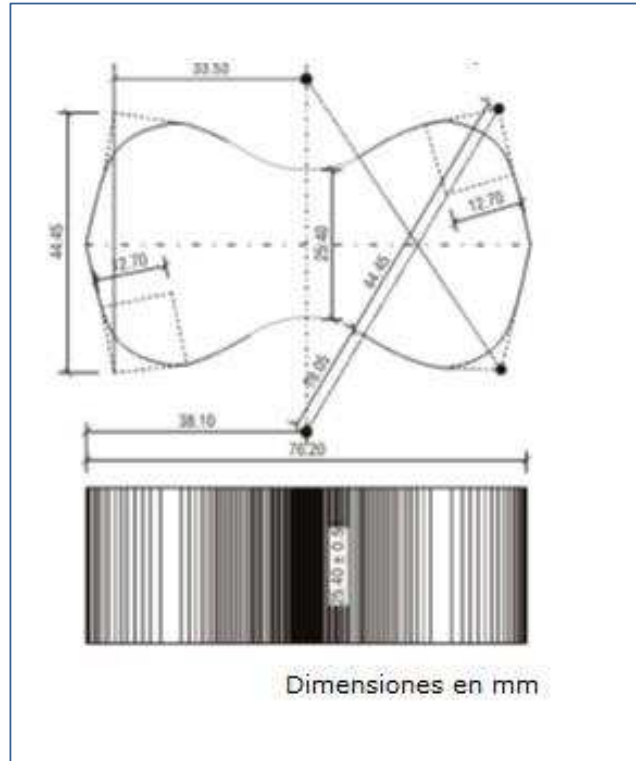
5.1.1 Condiciones ambientales

La temperatura de la sala de trabajo, herramientas, materiales, estará entre 20 °C y 27,5 °C. El agua de amasado y la utilizada para sumergir las muestras, estará entre 23 °C ± 1,7 °C. La humedad relativa no debe ser menor del 50%. Se debe contar con cámara húmeda con suficiente espacio y con una humedad relativa no menor del 90%.

5.1.2 Preparación de muestras

Tres o más briquetas deben construirse para cada periodo de ensayo, teniendo en cuenta las dimensiones mostradas en la Figura 3.

Las proporciones en peso para formar el mortero, deben ser de una (1) parte de cemento seco por tres (3) partes de arena seca. Las cantidades de material seco que son mezcladas una sola vez en la carga del mortero será: para 6 muestras entre 1000 g y 1200 g; para 9 muestras entre 1500 g y 1800 g.


Figura 3: Muestras para ensayo

El porcentaje de agua requerido para la mezcla, dependerá del porcentaje requerido para producir una pasta normal de cemento puro, del mismo que se va a usar en el mortero y de acuerdo con la Tabla 1.

Cuando se usan proporciones de cemento y arena diferentes de 1:3, la cantidad de agua de amasado se calcula con la siguiente fórmula:

$$Y = 2/3 [P/n+1] + K$$

Donde:

- Y = Porcentaje de agua, requerido para elaborar el mortero de arena (referido al peso de los materiales secos).
- P = Porcentaje de agua necesario para producir una pasta de cemento puro, de consistencia normal.
- N = Número de partes de arena, por una de cemento, en peso.
- K = Constante que depende de la arena usada, para la arena normalizada de Ottawa, tiene un valor de 6.5.

Tabla 1

Porcentaje de agua para morteros estándar Porcentaje de agua para producir una pasta de consistencia normal	Porcentaje de agua para elaborar un mortero de 1 parte de cemento por 3 partes de arena normalizada
15	9,0
16	9,2
17	9,3
18	9,5
19	9,7
20	9,8

Porcentaje de agua para morteros estándar Porcentaje de agua para producir una pasta de consistencia normal	Porcentaje de agua para elaborar un mortero de 1 parte de cemento por 3 partes de arena normalizada
21	10,0
22	10,2
23	10,3
24	10,5
25	10,7
26	10,8
28	11,2
29	11,3
30	11,5

5.1.3 Preparación del mortero. Se pesan los materiales secos, se colocan sobre una placa lisa y no absorbente; cuidadosamente se mezclan arena y cemento y se forma un cono, luego hace un cráter en el centro, dentro de éste se vierte la cantidad de agua determinada y con ayuda del badilejo se va pasando el material seco dentro del cráter, empleando en esta operación 30 segundos. Durante los próximos 30 segundos y mientras se permite la absorción de agua, se van cubriendo con mortero seco las manchas de humedad que van apareciendo por evaporación y facilitar la absorción completa. Luego se termina la operación, mezclando durante 90 segundos en forma continua y vigorosa. Durante esta operación, el operador debe usar guantes de plástico bien ajustados.

5.1.4 Llenado de los moldes. Antes de proceder a llenar los moldes, se recubren con una capa delgada de aceite mineral y se colocan sobre una placa de vidrio o metal sin aceitar. Terminada la operación de mezclado, se llena el molde con el mortero, teniendo cuidado de no compactarlo y en tal forma que sobresalga por encima de los bordes del molde. Luego el mortero debe presionarse 12 veces con los pulgares en cada briqueta en puntos distribuidos sobre la totalidad de la superficie de la muestra. La fuerza aplicada por los pulgares debe estar comprendida entre 7 kg y 9 kg (15 lbf a 20 lbf) y no debe durar más tiempo que el necesario para obtenerla.

Luego se vierte más mortero sobre la superficie de la muestra, se enrasa y alisa con el badilejo. Al alisar la superficie, no se debe ejercer una fuerza mayor de 2 kg (4 lbf) ni deslizarlo más veces de las necesarias. Luego se coloca en la cara inferior del molde, una placa de vidrio o metal previamente aceitada. Luego, con ayuda de las manos, se hacen girar el molde y las placas alrededor de su eje longitudinal y se deja descansar sobre la placa que ha sido aceitada. Se retira la placa superior y sobre la superficie de la muestra se hacen las mismas operaciones de sobrellenado, presión con los pulgares y alisado, hechas a la otra superficie. No se debe compactar la muestra con pisones.

5.1.5 Almacenamiento de muestras. Terminada la operación de llenado, el conjunto formado por las muestras, el molde y la placa, se lleva a la cámara húmeda durante 20 horas o 24 horas, con las caras superiores de las muestras expuestas al aire húmedo y protegidas contra la eventual caída de gotas. Si las muestras se retiran antes de las 24 horas, permanecerán en la cámara hasta que se complete este tiempo. Si las muestras no van a ser ensayadas a las 24 horas, deberían sumergirse en agua limpia, dentro de los tanques construidos para tal fin. El agua del tanque deberá renovarse frecuentemente para que siempre esté limpia.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Las muestras que se van a ensayar a las 24 horas, se sacarán de la cámara e inmediatamente se pasan a la máquina de prueba. Si se sacan varias muestras, deben cubrirse con una toalla húmeda hasta el momento de pasar a la máquina de prueba. En el caso de que las muestras se encuentren en el tanque, se sacarán una por una y se llevarán a la máquina de prueba.

Si es necesario demorar la prueba, después de haber sacado la muestra del tanque, deberá sumergirse en agua a temperatura de $23\text{ °C} \pm 1,7\text{ °C}$ hasta el momento del ensayo.

Las superficies de las muestras deben secarse y retirar los granos de arena desprendidos. Las superficies de las abrazaderas que van a estar en contacto con la muestra deben conservarse limpias. Los rodillos de apoyo deben aceitarse y mantenerse en tal forma que puedan girar libremente. Los soportes de las abrazaderas deben estar libres de residuos y los pivotes deben tener un ajuste correcto para que las abrazaderas puedan girar libremente. Las muestras se centrarán cuidadosamente y se les aplicará una carga en forma continua, a una rata de $272 \pm 12\text{ kg/min}$ ($600 \pm 25\text{ lbf/min}$).

Todas las muestras deben ser probadas dentro de las tolerancias de tiempo establecidas en la Tabla 2.

Tabla 2

Edad de las muestras	Tolerancia permisible
24 horas	$\pm 1/2$ hora
3 días	± 1 hora
7 días	± 3 horas
28 días	± 12 horas

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Se anotará la carga máxima indicada por la máquina de ensayo en el momento de la rotura y se calcula la resistencia a la tensión en kg/cm^2 o lb/pie^2 . La resistencia del mortero será el promedio de los resultados obtenidos con la misma muestra y en el mismo período de ensayo.

Las muestras defectuosas o resistencias que difieran en más del 15% del promedio no se tendrán en cuenta. Si una vez hecho este descarte, se dispone de un solo valor, deberá repetirse el ensayo.

MTC E 616

FLUIDEZ DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRAULICO (MESA DE FLUJO)

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la fluidez de morteros de cemento hidráulico, utilizando la mesa de flujo.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El agua contenida en el mortero hidráulico le confiere cierta fluidez, hay morteros que requieren cierto nivel especificado de fluidez el mismo que se mide por el incremento del diámetro de la base mayor del molde que contiene al mortero.
- 2.2 Este ensayo no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad correspondientes y determinar las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 NTP 334.057: CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento Portland.
- 3.2 NTP 334.126: CEMENTOS. Mesa de flujo para ensayos de cemento Portland.
- 3.3 ASTM C 230: "Standard Specification for Table for Use in Test of Hydraulic Cement".

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Mesa de flujo, mostrada en la Figura 1, consta básicamente de lo siguiente: un soporte, un árbol y una plataforma circular.

La plataforma o mesa (Figura 2a) de forma circular, de $254 \text{ mm} \pm 2,54 \text{ mm}$ ($10'' \pm 0,1''$) de diámetro y $7,62 \text{ mm}$ ($0,3''$) de espesor; de bronce o latón de dureza Rockwell no menor de 25 B, la cara inferior reforzada con 6 nervios integrales dispuestos radialmente. La cara superior plana, pulida y libre de defectos superficiales.

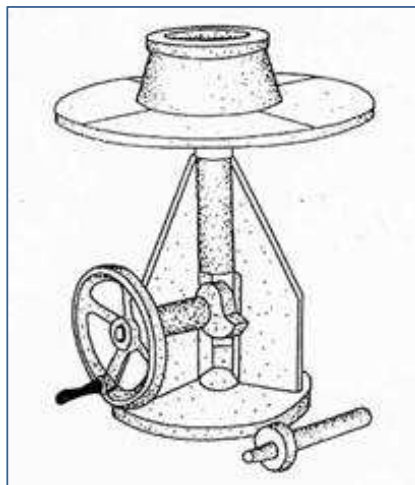


Fig. 1 Mesa de flujo

El árbol es un elemento que va unido perpendicularmente al centro de la plataforma por medio de una rosca, y que a su vez se montará rígidamente en el soporte, de tal forma que pueda bajar y subir verticalmente, dentro de una altura determinada, por medio de una leva rotativa. La tolerancia para la altura es de $\pm 0,13 \text{ mm}$ ($\pm 0,005''$) para mesas nuevas, y de $\pm 0,38 \text{ mm}$ ($\pm 0,015''$) para mesas en uso.

La leva y el árbol (figuras 2b y 2c) deben ser de acero semiduro; el acero del árbol debe ser endurecido por templado. El árbol debe ser recto. La tolerancia entre el diámetro del cilindro del soporte y el árbol, estará comprendida entre 0,05 mm y 0,08 mm (0,002" y 0,003") para mesas nuevas, y entre 0,05 mm y 0,25 mm (0,002" y 0,010") para mesas usadas. La leva debe tener forma de espiral, con un radio que aumenta de 12,7 mm a 31,75 mm (1/2" a 1/4") en 360 grados. El extremo del árbol no debe golpear la leva en el punto de caída, debe hacer contacto con ésta suavemente antes de 120 grados, contados a partir de dicho punto. La leva y el árbol deben diseñarse en tal forma que la plataforma no rote más de una vuelta en 25 caídas. Las superficies de la cara superior del soporte y del resalte del árbol, deben hacer contacto perfecto en el momento de la caída de la plataforma; para esto, deben mantenerse pulidas, planas y paralelas a la cara superior de la plataforma.

El soporte debe ser de hierro fundido de grano fino de alta calidad y debe tener tres (3) nervios de refuerzo integral, a lo largo de toda la altura, separados 120 grados. Un mínimo de 6,35 mm (1/4") de la cara superior del soporte, debe endurecerse por templado (véase Figura 3).

La mesa de flujo debe ser accionada por un motor de 0,3 W (1/20 HP) como mínimo, conectado al eje de la leva por medio de un engranaje helicoidal blindado, que reduzca la velocidad. La velocidad de la leva debe ser de 100 rpm. El motor no debe montarse o soportarse en la base del soporte, ni en el árbol.

- 4.1.2 Fundido de la mesa de flujo. El soporte de la mesa se atornillará firmemente a una platina de hierro o acero, de 254 mm (10") de lado y 25,4 mm (1") de espesor, cuya cara superior sea fresada hasta obtener una superficie plana y pulida. La placa debe anclarse a un pedestal de concreto por medio de cuatro (4) pernos de 12,7 mm (1/2") de diámetro, embebidos en el pedestal un mínimo de 152,4 mm (6"). La base del pedestal y la cara inferior de la placa deben hacer contacto en todos sus puntos. El pedestal será un tronco piramidal monolítico, de 635 mm a 762 mm (25" a 30") de altura, con sección cuadrada superior, cuyo lado sea entre 254 mm y 280 mm (10" y 11") y cuya base cuadrada que tiene como lado entre 381 mm y 406 mm (15" y 16").

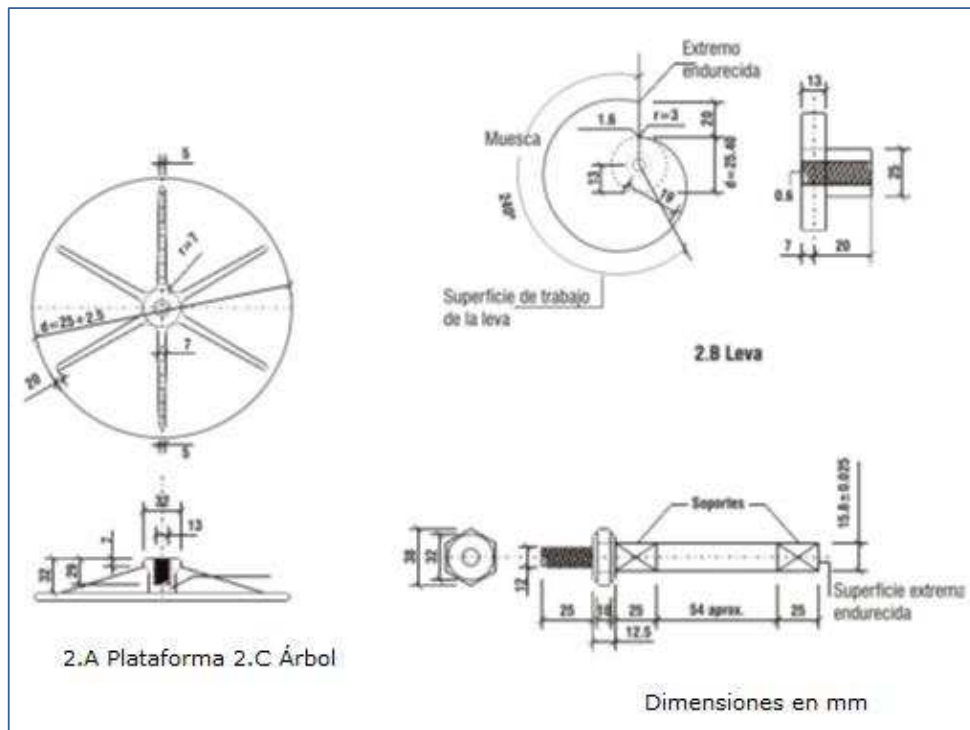


Figura 2: Plataforma, leva y árbol

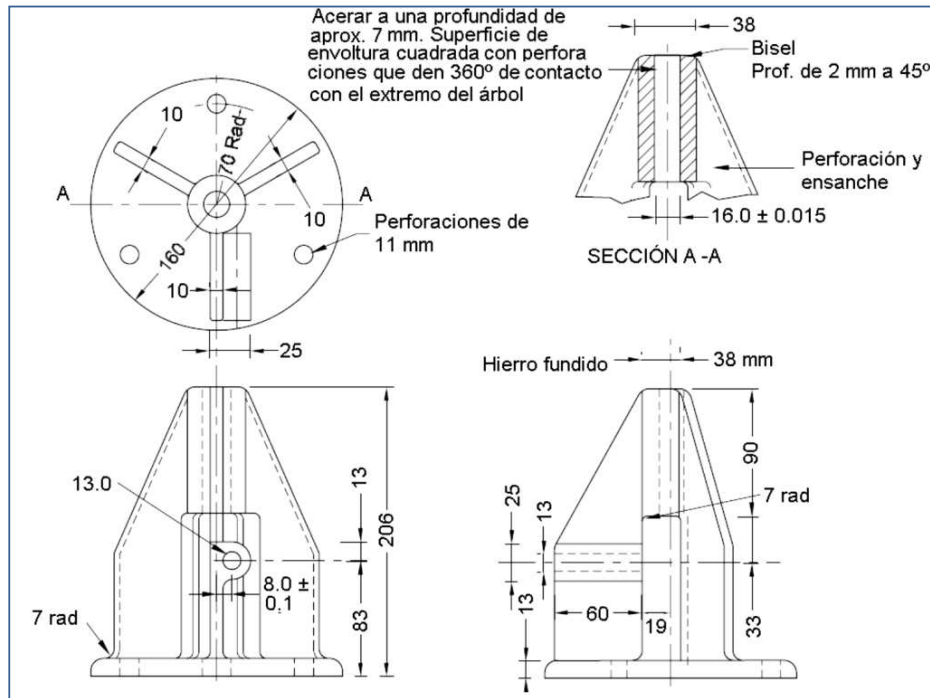


Figura 3: Soporte

Bajo cada esquina del pedestal debe colocarse un empaque cuadrado de corcho de 100 mm (4") de lado, por 12,7 mm (½") de espesor. Se debe controlar frecuentemente el nivel de la mesa, la firmeza del pedestal y el ajuste de los pernos de anclaje.

Una vez que ha sido montado el árbol en el pedestal, la plataforma deberá nivelarse en las posiciones alta y baja a lo largo de diámetros perpendiculares entre si.

El árbol de la mesa de flujo, debe mantenerse limpio y cuidadosamente lubricado con aceite liviano, tipo (SAE-10), lo mismo que la leva, para disminuir el desgaste. Cuando la mesa no haya sido usada durante algún tiempo, debe levantarse y dejarse caer la plataforma por lo menos 12 veces antes de empezar los ensayos.

- 4.1.3 Molde (véase Figura 4). Será de bronce o latón, de dureza Rockwell no inferior a 25 B, su peso no será inferior a 907 g, y su espesor mínimo de 5,1 mm (0,2"); su forma es de tronco de cono recto, con base superior de 69,8 mm ± 0,5 mm (2,75" ± 0,02") de diámetro para moldes nuevos y 69,8 mm ± 1,3 mm (2,75 ± 0,05") de diámetro, para moldes usados; la base inferior será de 100 mm ± 0,5 mm (4" ± 0,02") de diámetro y altura de 50 ± 0,5 mm (2 ± 0,02"). La base menor estará provista de un collar integral para facilitar su remoción en la base inferior del molde, debe colocarse una corona de un material resistente a la acción corrosiva del mortero y unos 254 mm de diámetro mayor y 100 mm de diámetro menor, con el objeto de evitar que el mortero que queda fuera del molde, cuando esté lleno, caiga sobre la plataforma.
- 4.1.4 Calibrador. Se usará uno del tipo mostrado en la Figura 5 para medir los diámetros de la base del mortero.
- 4.1.5 Compactador. Será de material no absorbente, no abrasivo, ni quebradizo, como caucho de dureza media o madera (roble curado). La sección transversal debe ser rectangular, de unos 13 mm x 16 mm (½" x 0,6") y una longitud entre 130 mm y 150 mm (5" y 6").
- 4.2 MATERIALES
 - 4.2.1 Probeta graduada de 250 mL ± 1 mL a 20 °C.
 - 4.2.2 Espátula o badilejo de acero, cuya paleta tenga de 100 mm a 150 mm de longitud.

4.2.3 Guantes de jebe.

4.3 INSUMOS

4.3.1 Agua desionizada o destilada (la temperatura del agua durante la mezcla será de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, dentro del rango del ambiente de mezclado, $20\text{ }^{\circ}\text{C} - 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la humedad relativa en el laboratorio no debe ser menor de 50%.)

5.0 MUESTRA

5.1.1 Pesar $650\text{ g} \pm 0,1\text{ g}$ de cemento.

5.1.2 Colocar toda el agua (agua desionizada o destilada, de no disponer puede ser agua potable limpia) en el recipiente de mezclado.

5.1.3 Agregar el cemento al agua para permite la absorción durante 30 segundos.

5.1.4 Encender la mezcladora y mezclar a velocidad lenta ($140\text{ rpm} \pm 5\text{ rpm}$), durante 30 segundos.

5.1.5 Detener la mezcladora durante 15 segundos, en este tiempo se raspa la pasta que pueda haber quedado adherida a las paredes del recipiente y se incorpora al resto de la pasta.

5.1.6 Encender la mezcladora, nuevamente, a velocidad media ($285\text{ rpm} \pm 10\text{ rpm}$) y mezclar durante 1 minuto para obtener la pasta.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Llenado del molde

Limpiar y secar la plataforma de la mesa de flujo, colocar el molde en el centro, verter en el molde una capa del mortero, de unos 25 mm (1") de espesor, y apisonar con 20 golpes del compactador, uniformemente distribuidos; llenar totalmente el molde con una segunda capa de mortero y proceder igual que en la primera capa. La presión del compactador, deberá ser tal que asegure el llenado total y uniforme del molde, retirando el exceso de mortero de la capa superior y alisando la superficie por medio de una espátula.

6.2 Determinación de la fluidez

Lleno el molde, limpiar y secar la plataforma de la mesa, teniendo cuidado de secar el agua que está alrededor de la base del molde. Después de un (1) minuto de terminada la operación de mezclado, retirar el molde, levantándolo e inmediatamente dejar caer la mesa de flujo desde una altura de 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ ") 25 veces en 15 segundos. Luego medir el diámetro de la base del mortero, por lo menos en cuatro puntos equidistantes y calcular el diámetro promedio.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 La fluidez, es el aumento del diámetro promedio de la base de la muestra, expresado como un porcentaje del diámetro original.

7.1.2 Determinar el diámetro promedio y calcular el porcentaje de fluidez, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ fluidez} = \frac{\text{Diametro Promedio} - 101,6\text{mm}}{101,6\text{mm}} \times 100$$

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 Para un operador de laboratorio, se ha establecido la desviación normal en 4 %.

Luego de dos ensayos realizados por el mismo operador con tandas similares, no deben diferir en más del 11%. (Nota 1)

La desviación estándar multilaboratorio, ha sido establecida en 11 %. Luego, los resultados de dos diferentes laboratorios con tandas similares, no deben diferir en más del 31% (Nota 1).

Nota 1. Los valores obtenidos cuando se varía el contenido de agua para obtener una fluidez dada, no son aplicables para la precisión.

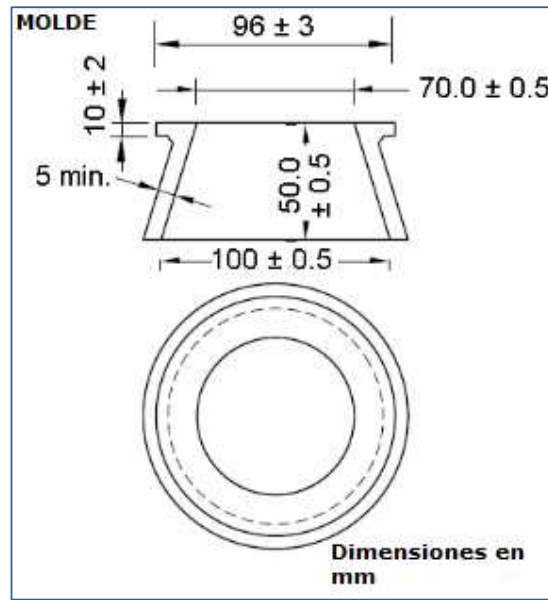


Figura 4: Molde

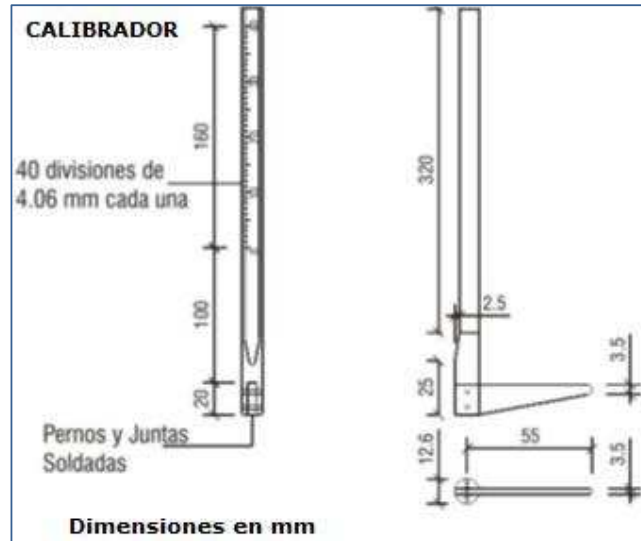


Figura 5: Calibrador

MTC E 617

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la resistencia a la flexión, de morteros de cemento hidráulico.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 La resistencia a la flexión de morteros del cemento Portland. Los valores determinados por este método serán para propósitos de investigación o de referencia solamente y no se utilizarán para determinar la conformidad con los requisitos de las especificaciones.
- 2.2 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados en el presente método.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 NTP 334.120: CEMENTOS. Método de Ensayo Normalizado de Resistencia a la Flexión de Morteros cemento Portland.
- 3.2 ASTM C 348: Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic - Cement Mortars.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza y pesas de capacidad 1000 g \pm 0,1 g.
- 4.1.2 Mezcladora, paleta, recipiente de mezcla y raspador – Deben cumplir con los requisitos establecidos en la norma MTC E-611 (Mezcla Mecánica de Pastas de Cemento y Morteros de Consistencia Plástica).
- 4.1.3 Mesa de flujo, de acuerdo con la norma MTC E616 “Fluidez de morteros”.
- 4.1.4 Dispositivo de Flexión y accesorios. Los dispositivos para la prueba de flexión, se muestran en las figuras 3 y 4 serán diseñados en tal forma que cumplan con los siguientes requisitos:
- La muestra será cargada en su punto medio.
 - Las distancias entre los puntos de apoyo y el de aplicación de la carga, permanecerán constantes.
 - La carga será aplicada normal a la superficie de la muestra de manera que no produzca excentricidades.
 - Las direcciones de las reacciones serán paralelas a la de la carga aplicada durante el ensayo.
 - La carga será aplicada a velocidad uniforme y sin producir impacto.

Estos dispositivos pueden ser acoplados a la máquina de compresión o a la de tensión, respectivamente. Si se emplea una máquina de compresión hidráulica, con suficiente abertura entre las superficies de apoyo para permitir el uso de los aparatos de comprobación, deberá usarse el dispositivo mostrado en la Figura 3. Si se utiliza máquina de tensión, MTC E 615, se utilizará el dispositivo mostrado en la Figura 4.

- 4.1.5 Moldes. Serán contruidos de metal no atacable por los morteros de cemento y de espesor tal, que no presenten deformaciones al ser llenados con la muestra; constarán de tres (3) compartimentos de 40 mm x 40 mm x 160 mm (1,575 pulg x 1,575 pulg x 6,3 pulg) cada uno, con las siguientes tolerancias para el ancho y alto: de \pm 0,13 mm (0,01 pulg) para moldes nuevos, o 0,25 mm (\pm 0,02 pulg) para moldes en uso; la longitud puede variar en \pm 2,54 mm (\pm 0,10 pulg). Las caras interiores serán planas; los ángulos entre dos caras interiores adyacentes deben ser de 90° \pm 0,5°. El molde debe colocarse sobre una placa de unos 10 mm (3/8 pulg) de espesor, con una superficie plana de 178 mm (7 pulg) por 203 mm (8 pulg) con variación permisible de 0,025 mm (0,001 pulg).

- 4.1.6 Apisonador. Será de un material no absorbente ni quebradizo, como caucho de dureza media o madera curada, deberá cumplir con la forma y dimensiones de la Figura 1.
- 4.1.7 Guía del compactador. Se construirá de un metal no atacable de dureza no inferior 55B, resistente al ataque del mortero, como bronce. Se deberá apoyar en forma plana sobre el molde y no deberá sobresalir sobre ningún borde interior de la forma más de 0,40 mm. La altura de la guía deberá ser 25 mm.
- 4.2 MATERIALES
- 4.2.1 Probeta graduada de 250 mL \pm 1 mL, a 20 °C.
- 4.2.2 Tamices.
- 4.2.3 Espátula o badilejo de acero de 112 mm x 254 mm.
- 4.2.4 Guantes de jebe.
- 4.2.5 Arena gradada normalizada, del tipo Ottawa, o la especificada en el ensayo, MTC E 615 “ Resistencia a la Tensión de Morteros de Cemento”
- 4.3 INSUMOS
- 4.3.1 Agua desionizada o destilada (la temperatura del agua durante la mezcla será de 23 °C \pm 1,7 °C, dentro del rango del ambiente de mezclado, 20 °C – 27,5°C).

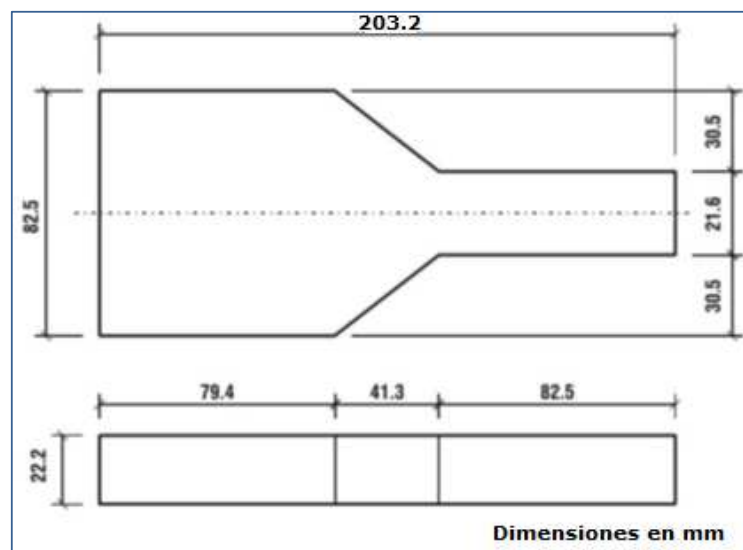


Figura 1: Compactador

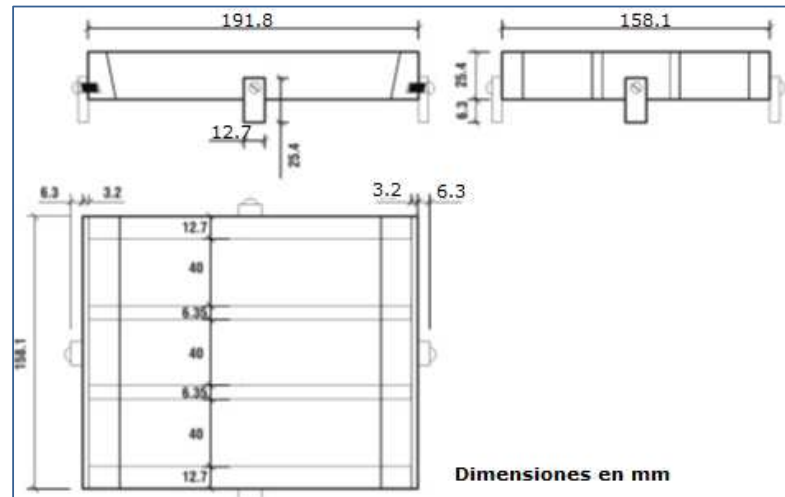


Figura 2: Guía del compactador

5.0 MUESTRA

- 5.1 Deben prepararse tres (3) o más muestras para cada periodo de ensayo. La temperatura del ensayo estará entre 20 °C y 27,5 °C; el agua de amasado estará a 23 °C ± 1,7 °C. La humedad relativa no será menor del 50%.

Las proporciones en peso para formar un mortero normal, deben ser de una (1) parte de cemento y 2,75 partes de arena gradada seca. Para obtener tres (3) muestras, deberán usarse 500 g de cemento y 1375 g de arena.

La cantidad de agua de amasado, dada en mL, será la que produzca una fluidez de 110 ± 5, determinada de acuerdo con la norma MTC E 616 "Fluidez de Morteros de Cemento Hidráulico". La mezcla se ejecutará mecánicamente, según la norma MTC E 611 "Mezcla Mecánica de Pastas y Morteros de Consistencia Plástica".

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Preparación y llenado de moldes

Aplicar una capa delgada de aceite mineral ligero o grasa lubricante ligera a los moldes y a las superficies de contacto de los elementos separables revestir con una capa de aceite mineral pesado. Luego, unir los elementos que componen el molde y eliminar los excesos de aceite o grasa en cada uno de los compartimentos, colocar el molde en una placa plana no absorbente y cubierta con una capa delgada de aceite mineral. En la parte exterior de las juntas de los elementos, se aplicará una mezcla de tres (3) partes en peso parafina y cinco (5) de resina, o cera, calentadas entre 110 °C y 120 °C, para impermeabilizar las juntas.

Preparado el mortero y remezclado por 15 segundos a velocidad lenta, se vierte una capa de aproximadamente 20 mm de espesor, uniformemente distribuida en cada compartimiento, acoplado previamente la guía del compactador al molde y se procede a compactar el mortero en cada molde, por 12 veces, aplicadas en tres (3) etapas de 4 golpes cada una, como se muestra en el esquema. Para dar cada golpe del compactador, se coloca la cara inferior de éste en posición horizontal a unos 25 mm de la superficie de la capa, y se baja verticalmente con una fuerza tal, que haga salir una pequeña cantidad de mortero debajo de la superficie de compactación. Se termina el llenado total de los compartimentos con capas de mortero uniformemente distribuidas, que se compactan en la forma utilizada con la primera capa.

Retirar la guía de compactación y alisar la superficie de la muestra; enrasar y eliminar el exceso de mortero; reparar las rajaduras en la cara superior y alisar la superficie con 2 o 3

pasadas del palustre. Las muestras se almacenan como se indica en el ensayo MTC E 609 Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Cubos de 50,8 mm.)

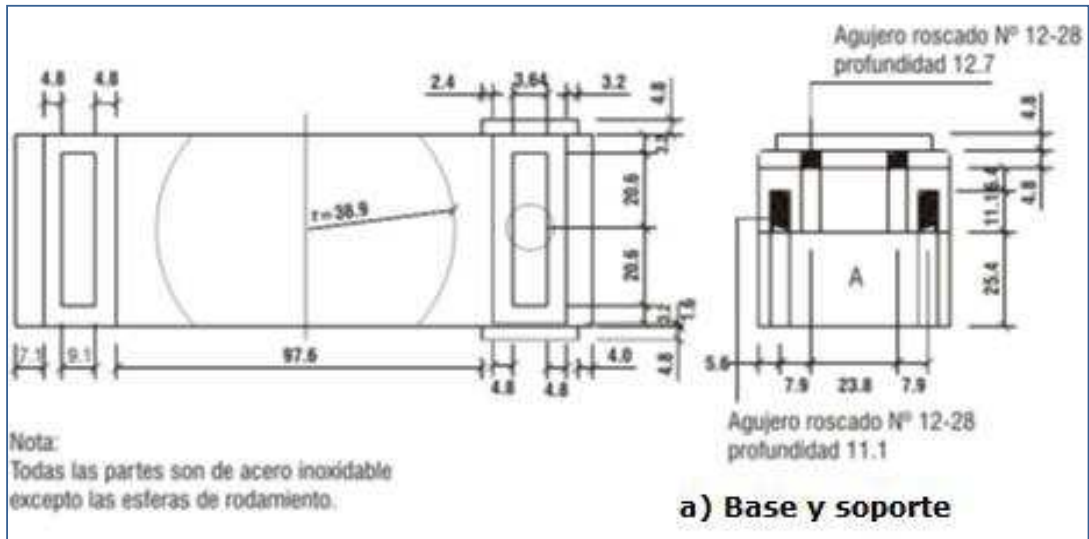
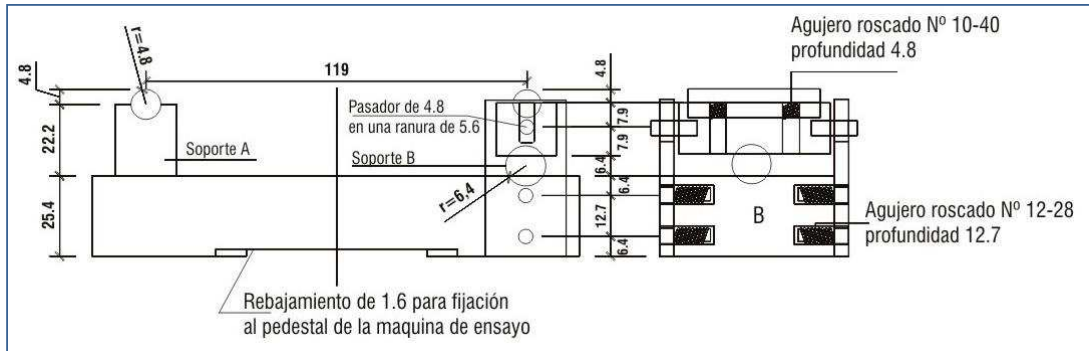
Orden de apisonado de las capas

1	2
3	4

6.2 Medición de la Resistencia a la Flexión

Las muestras que van a ser ensayadas a las 24 horas se sacan de la cámara húmeda, se secan y limpian superficialmente y se pasan a la máquina de prueba. Si son varias las muestras que se sacan de la cámara húmeda o del tanque, se cubrirán con una toalla húmeda. Todas las muestras se probarán dentro de las siguientes tolerancias:

Edad de la muestra	Tolerancia
24 horas	± ½ hora
3 días	± 1 hora
7 días	± 3 horas
28 días	± 12 horas



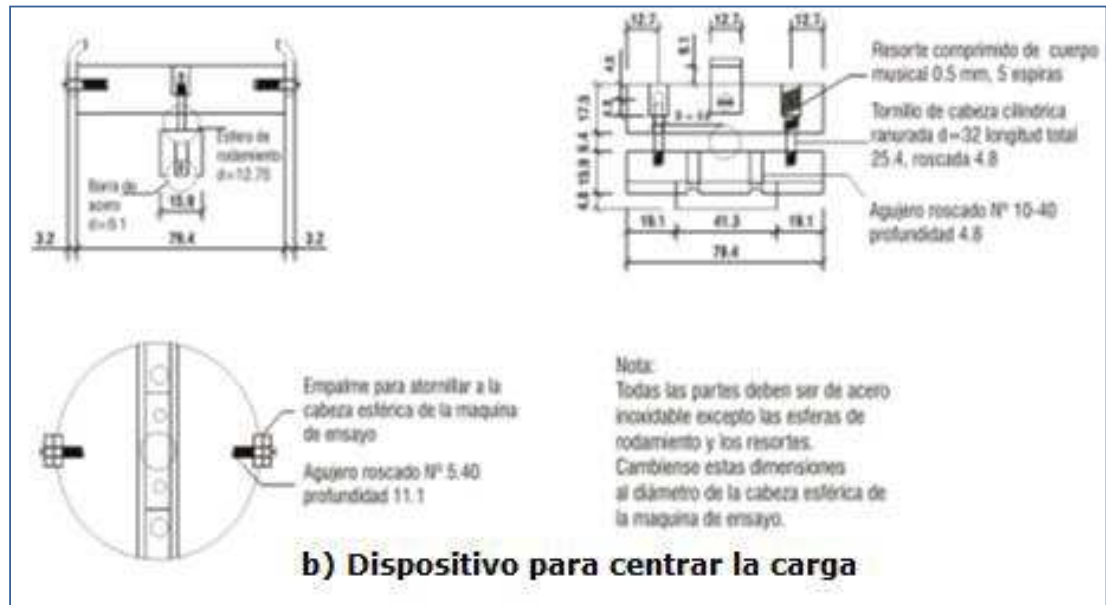


Figura 3: Dispositivos especiales para ensayar prisma de mortero de 40 x 40 x 160 mm

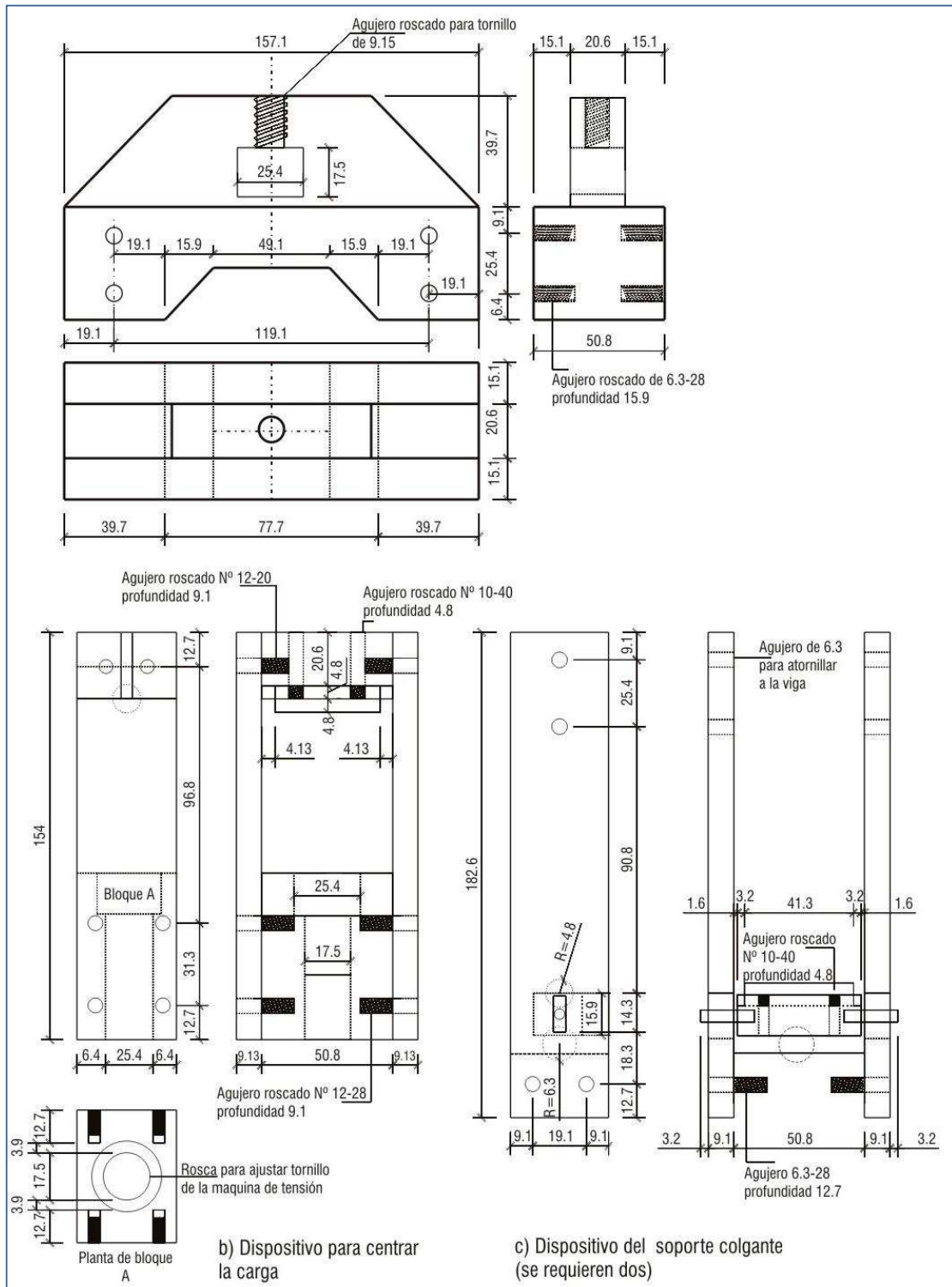


Figura 4: Dispositivos especiales para ensayar prisma de morteros de 40x 40x 160 mm

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Se anota la carga máxima de rotura y se calcula la resistencia en KPa como sigue:

$$S = 0,28P$$

Donde:

- S = Resistencia a la flexibilidad, KPa
- P = Carga máxima total, N

La resistencia del mortero a la flexión es el promedio de los resultados obtenidos con la misma muestra (bachada) y en el mismo periodo de ensayo.

Nota 1. Las muestras defectuosas o las resistencias que difieran más del 10% del promedio no se tendrán en cuenta para promedio

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 Los siguientes valores de la precisión son aplicables cuando un resultado del ensayo, es el promedio de los ensayos de resistencia a la flexión de los tres prismas moldeados de una tanda simple de mortero y ensayados a la misma edad. Los morteros con cemento hidráulico se ensayarán a los 3, 7 y 28 días. La precisión de un laboratorio se ha establecido en 5,1 %. Por lo tanto, los resultados de dos pruebas correctamente efectuadas de tandas simples de morteros hechos con los mismos materiales en el mismo día o dentro de la misma semana, no deberán diferir cada uno del otro por más del 14,4% de su promedio.

Precisión multilaboratorio: El coeficiente de variación multilaboratorio se ha establecido en 8,4 %. Por lo tanto, los resultados de los ensayos apropiadamente efectuados de una misma tanda por dos laboratorios diferentes, no deberán diferir en más del 23,8 % de su promedio.



SECCION N° 7 CONCRETO

MTC E 701

TOMA DE MUESTRAS DE CONCRETO FRESCO

1.0 OBJETO

- 1.1 Describir los procedimientos recomendados para obtener muestras representativas del concreto fresco, para ser utilizado en el sitio de las obras (se refiere tanto al concreto fabricado en centrales de mezclas como al concreto producido en el sitio mismo de las obras), sobre las cuales se efectuarán los ensayos de comprobación de la calidad y de las características requeridas para el concreto.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Se incluyen procedimientos para tomar muestras en mezcladoras estacionarias, mezcladoras de pavimentación y camiones mezcladores (mixers), y en equipos agitadores o no agitadores usados para transportar el concreto mezclado de una central (planta) de producción.

Nota 1. Los procedimientos aquí descritos son para la toma muestras compuestas o acumulativas, a menos que el ensayo particular para el cual se requiere la muestra especifique muestras individuales, como en el caso de ensayos para verificación de la uniformidad de la mezcla o de la eficiencia de la mezcladora. No se describen procedimientos para escoger las tandas particulares de las cuales habría que extraer la muestra, sino que se recomienda un muestreo aleatorio representativo sobre el cual se verifica el cumplimiento de las especificaciones.

- 2.2 También se incluyen en esta norma los procesos necesarios para preparar una muestra de concreto que se usará en ensayos posteriores, donde es necesario eliminar las partículas del agregado mayores a un tamaño determinado. Esta remoción se hace preferiblemente por tamizado en húmedo.
- 2.3 Los valores dados en unidades SI deben ser considerados como la norma.
- 2.4 Esta norma no pretende referirse a las precauciones de seguridad que se deben tomar para la manipulación de materiales y equipos aquí descritos, ni establece pautas al respecto para el desarrollo de cada proceso en términos de riesgo y seguridad industrial. Es responsabilidad del usuario, establecer las normas apropiadas, con el fin de minimizar los riesgos en la salud e integridad física, que se puedan generar a causa de la ejecución de los procedimientos de la presente norma y determinar las limitaciones que regulen su uso.
- 2.5 Este método provee los requerimientos y procedimientos normalizados, necesarios para efectuar el muestreo de mezclas de concreto de diferentes recipientes usados tanto en la producción como en el transporte y extendido del mismo. Los requisitos que deben cumplir los materiales, la mezcla, así como los parámetros de contenido de aire, temperatura, número de especímenes, asentamiento de la mezcla y la interpretación, precisión y tolerancia de los resultados, se indican en las normas referentes a los ensayos respectivos.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.036 1999 HORMIGÓN. Práctica normalizada para muestreo de mezclas de concreto fresco.
- 3.2 ASTM C 172: Standard Practices for Sampling Freshly Mixed Concrete
- 3.3 AASHTO T 141: Standard Method of Test for Sampling Freshly Mixed Concrete.

4.0 EQUIPO Y MATERIALES

- 4.1 EQUIPOS
- 4.1.1 Tamices, del tamaño requerido

- 4.1.2 Equipo para tamizado en húmedo, que comprende al tamiz del tamaño requerido y lo necesario para soportarlo y agitarlo por medios manuales o mecánicos. Generalmente se prefiere que la agitación se realice mediante movimientos horizontales. El equipo debe ser capaz de remover el agregado no deseable de forma rápida y eficiente.
- 4.1.3 Herramientas de mano: palas, palustres, espátulas, guantes de caucho, según se requieran.

5.0 MUESTRA

El tiempo total transcurrido entre la obtención de la primera y la última muestra individual, deberá ser tan corto como sea posible y en ningún caso, podrá exceder de 15 minutos.

- 5.1 Las muestras individuales se deben transportar hasta el lugar donde se ejecuten los ensayos sobre el concreto fresco o se elaboren los especímenes para ensayos posteriores. Efectuado el transporte, las muestras individuales se deben combinar y mezclar con una pala en la cantidad mínima necesaria para asegurar su uniformidad y el cumplimiento con los límites mínimos de tiempo dados en la Sección 5.2.
- 5.2 Los ensayos de asentamiento, temperatura y contenido de aire se deben iniciar dentro de los 5 minutos siguientes a la obtención de la porción final de la mezcla compuesta o de la terminación de la toma de las muestras individuales.

Dichos ensayos se deben terminar tan pronto como sea posible.

La elaboración de especímenes para ensayos de resistencia se debe iniciar dentro de los 15 minutos siguientes a la terminación de la toma de la muestra compuesta. El tiempo transcurrido entre la obtención y la utilización de la muestra compuesta debe ser tan corto como sea posible y ésta se debe proteger de elementos contaminantes y agentes de evaporación rápida, tales como el sol, el viento, etc.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Tamaño de las muestras – Las muestras para ensayo deberán tener un volumen mínimo de 28 litros, (1 pie³). Se permiten tamaños de muestra más pequeños para ensayos rutinarios de contenido de aire y de asentamiento, dependiendo del tamaño máximo del agregado.
- 6.2 Los procedimientos usados en la toma de muestras deberán incluir cualquier precaución que permita la obtención de muestras realmente representativas de la naturaleza y condiciones del concreto muestreado, como se describe a continuación:

Nota 2. La toma de muestras se debe efectuar normalmente a medida que el concreto es vaciado de la mezcladora al vehículo que lo transporta. Sin embargo, según el caso, se puede requerir que se tomen las muestras en otros puntos como, por ejemplo, en el punto donde descarga una bomba de concreto.

Nota 3. Como los ensayos de contenido de aire y de asentamiento no se adaptan a la toma de muestras de concreto a dos o más intervalos de tiempo, espaciados regularmente durante la descarga de la porción media de la tanda de concreto, como se especifica en esta norma, las muestras para la determinación del contenido de aire, asentamiento y temperatura se pueden tomar después de que se hayan descargado al menos 0,2 m³ (7,06 ft³) de concreto

- 6.2.1 Toma de muestras de mezcladoras estacionarias, con excepción de mezcladoras de pavimentación – Las muestras individuales se toman a intervalos de tiempo espaciados regularmente, dentro del plazo indicado en la Sección 5, durante la descarga de la porción media de la tanda de concreto y, en ningún caso, se tomarán de las porciones inicial y final.

Las muestras individuales se toman en un recipiente capaz de abarcar todo el chorro de descarga del concreto o desviando éste hacia un recipiente para la muestra.

Si la descarga del concreto fuese demasiado rápida para desviar todo el chorro de descarga, el concreto se deberá descargar en un recipiente o unidad de transporte de tamaño suficiente para acomodar la totalidad de la tanda y entonces, efectuar el muestreo como se indicó anteriormente.

Se debe tener especial cuidado de no restringir la salida del concreto de la mezcladora, recipiente o unidad de transporte, pues tal restricción puede causar segregación. Estos requisitos se aplicarán tanto a mezcladoras fijas como a mezcladoras reclinables.

Nota 4. No se deben tomar muestras antes de que el 10 % o después de que el 90 % de la tanda haya sido descargada. Debido a la dificultad de determinar la cantidad real de concreto descargado, lo que se intenta es obtener muestras que sean representativas de porciones muy separadas, pero que no se encuentren ni al inicio ni al final de la carga

- 6.2.2 Toma de muestras de mezcladoras para pavimentación – Las muestras individuales se toman de la pila formada por la descarga de la mezcladora, por lo menos de 5 sitios distintos de ellas, ubicados a diferentes profundidades. Se debe evitar la contaminación con el material sobre el cual se coloque el concreto, o el contacto prolongado con un material absorbente; para ello se pueden colocar tres recipientes de poca profundidad sobre tales materiales antes de efectuar la descarga.

Las muestras individuales se obtendrán dentro del tiempo especificado en la Sección 5 y se deberán mezclar para formar la muestra compuesta.

Los recipientes que se utilicen deberán tener un tamaño suficiente para contener la muestra compuesta y estar de acuerdo con el tamaño máximo del agregado pétreo.

- 6.2.3 Toma de muestras de camiones mezcladores (Mixers) o camiones agitadores – Las muestras individuales se tomarán en dos o más intervalos de tiempo dentro del plazo indicado en la Sección 5, espaciados regularmente durante la descarga de la porción media del concreto. En ningún caso se tomarán de las porciones inicial y final.

Las muestras individuales se toman después de haber adicionado y mezclado toda el agua en el camión mezclador.

Las muestras individuales se toman haciendo pasar repetidamente un recipiente a través de todo el chorro de descarga del concreto o desviando completamente el chorro hacia un recipiente. La velocidad de descarga de la tanda se deberá regular mediante la velocidad de giro del tambor y nunca por la abertura de la compuerta.

Las muestras individuales así obtenidas se deberán mezclar para formar la muestra compuesta.

- 6.2.4 Toma de muestras de camiones mezcladores abiertos, agitadores, equipos sin agitador u otros tipos de recipientes abiertos – Según las condiciones existentes, se tomarán las muestras individuales por el método que más se ajuste a las especificaciones de los diferentes equipos citados en este numeral.

- 6.3 Procedimiento adicional para agregados de concreto mayores a los de tamaño máximo

- 6.3.1 Cuando el concreto contiene agregado de tamaño máximo mayor que el máximo apropiado para los moldes o el equipo que va a ser utilizado, se deberá tamizar en húmedo la muestra en la forma que se describe adelante, excepto para la determinación de la masa unitaria, puesto que este ensayo se deberá realizar a partir de la mezcla completa.

Nota 5. Se deben considerar los efectos producidos por el tamizado en húmedo sobre los resultados de los ensayos. Por ejemplo, el tamizado húmedo causa la disminución del contenido de aire debido al manipuleo adicional. El contenido de aire de la fracción de concreto que se tamiza en húmedo, es mayor que el del total de éste, porque las partículas de agregado mayores removidos no contienen aire. La resistencia aparente del concreto que se tamiza en pequeñas muestras, es usualmente mayor que la del total de éste en muestras de tamaño apropiado. El efecto de estas diferencias puede requerir consideración o ser determinado mediante ensayos adicionales con propósitos de control de calidad o para la evaluación de los resultados

- 6.3.2 Definición de tamizado en húmedo del concreto: es el proceso de remover del concreto fresco aquel agregado de tamaño superior al establecido, haciendo pasar la mezcla por un tamiz de tamaño establecido.
- 6.3.3 Procedimiento de tamizado en húmedo – Después de tomar la muestra de concreto, se pasa el concreto sobre el tamiz establecido. Se remueve y se descarta el agregado retenido. Esto se debe realizar antes de volver a mezclar.

La agitación o vibración del tamizado se puede hacer manual o mecánicamente, hasta que ninguna partícula menor al tamaño designado se retenga en el tamiz. El mortero adherido al agregado retenido no se debe remover antes de que el agregado retenido se descarte. Cada tamizado se hará sobre una cantidad de concreto lo suficiente mente pequeña para que la capa de agregado retenida no exceda el espesor de una partícula. El concreto que pasa el tamiz deberá caer sobre un recipiente impermeable y no absorbente, o sobre una superficie limpia, previamente humedecida y no absorbente. Se raspan las paredes del equipo de tamizado, dejando caer el mortero adherido junto al concreto tamizado.

Luego de remover las partículas de agregado mayores por tamizado húmedo se remezcla la tanda así tamizada con una pala, lo mínimo que sea necesario para asegurar la uniformidad de la mezcla y se procede a efectuar el ensayo inmediatamente.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME

- 7.1.1 La información de la toma de muestras se dará conjuntamente con la del ensayo al cual se destinaran las muestras.

MTC E 702

ELABORACION Y CURADO DE ESPECIMENES DE HORMIGON (CONCRETO) EN EL LABORATORIO

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el procedimiento para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto compactado por apisonado o vibración.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Esta práctica proporciona requisitos normalizados para la preparación de materiales, mezclas de concreto y la elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo bajo condiciones controladas.
- 2.2 Si la preparación de los especímenes se controla como lo indica esta norma, ellos se pueden emplear para obtener información útil en:
- 2.2.1 Dosificación de mezclas de concreto.
- 2.2.2 Evaluación de diferentes mezclas y materiales.
- 2.2.3 Correlaciones con resultados de pruebas no destructivas, y
- 2.2.4 Elaboración de especímenes con fines de investigación.
- 2.3 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.
- 2.4 Esta norma no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien emplee esta norma, establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y determinar la aplicación de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

3.0 REFERENCIA S NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.183 CONCRETO. Practica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.
- 3.2 ASTM C 192 Standard Practices for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.

4.0 EQUIPO Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Moldes en general – Los moldes para las muestras y los sujetadores de dichos moldes que deben estar en contacto con el concreto deben ser de acero, hierro forjado, o de otro material no absorbente y que no reaccione con el concreto utilizado en los ensayos. Los moldes deben estar hechos conforme a las dimensiones y tolerancias especificadas en el método para el cual van a ser usados. Los moldes deben ser herméticos de tal forma que no se escape el agua de la mezcla contenida. Un sellante apropiado como arcilla, parafina, grasa o cera microcristalina, puede ser utilizado para impedir filtraciones por las uniones. Para fijar el molde a la base del mismo, éste debe tener medios adecuados para ello. Los moldes reutilizables se deben cubrir ligeramente con aceite mineral o un material apropiado de desprendimiento, antes de su uso.

4.1.2 Moldes cilíndricos reutilizables

- 4.1.2.1 Moldes para fabricación de muestras para pruebas verticales – Deben estar hechos de un metal de alta resistencia o de otro material rígido no absorbente.

El plano transversal del cilindro debe ser perpendicular al eje del cilindro.

La tolerancia en la medida del diámetro exigido debe ser de $\pm 2,0$ mm y en la altura la tolerancia será de $\pm 6,0$ mm

Los moldes de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura, deben estar de acuerdo con la especificación ASTM C-470 "Molds For Forming Concrete Test Cylinders Vertically".

4.1.2.2 Moldes para fabricación de muestras para pruebas de flujo plástico (Creep)

El uso de moldes horizontales está proyectado solamente para especímenes de flujo plástico (creep) que contienen medidores de deformación embebidos axialmente. Los moldes para cilindros de flujo plástico (creep) que van a ser llenados mientras se sostienen en posición horizontal deben tener un canal alimentador paralelo al eje del molde que se extienda a todo lo largo para recibir el concreto. El ancho del canal debe ser de la mitad del diámetro del espécimen. Si es necesario, los bordes del canal pueden ser reforzados para mantener la estabilidad dimensional. A menos que los especímenes vayan a ser refrendados para obtener extremos planos, los moldes deberán estar equipados con dos placas maquinadas de metal para las bases. Estas placas deben ser de, por lo menos, 1" (25 mm) de espesor y las superficies de trabajo deben cumplir con los requerimientos de ser planas y regulares superficialmente como se indica en la norma ASTM C 617. Se deben tomar las medidas necesarias para fijar las placas firmemente al molde. La superficie interna de cada placa de base debe estar provista de, por lo menos, tres uñas o pernos de aproximadamente 1" (25 mm) de largo, sujetos firmemente a la placa para empotrarse en el concreto. Una placa base debe perforarse desde adentro en un ángulo que permita al alambre del medidor de deformación salir del espécimen a través del borde de la placa. Se deben tomar las medidas necesarias para colocar con precisión el medidor de deformación. Todos los orificios necesarios deben ser lo más pequeños que sea posible, para minimizar alteraciones en las subsecuentes medidas de deformación y deben ser sellados para prevenir escapes.

4.1.3 Vigas y moldes prismáticos – Deben ser de forma rectangular (salvo que se especifique de otro modo) y de las dimensiones requeridas para producir especímenes del tamaño deseado. La superficie interior del molde debe ser lisa, y las caras interiores deben ser perpendiculares entre sí y libres de torceduras u ondulaciones.

La tolerancia en las dimensiones nominales de la sección transversal será de $\pm 3,2$ mm (1/16") para dimensiones mayores o iguales a 152 mm (6") y de $\pm 1,6$ mm (1/16") para dimensiones menores de 152 mm (6").

Excepto para muestras destinadas a ensayos de flexión, la longitud nominal de los moldes debe tener una tolerancia de 1,6 mm (1/16"). Los moldes para ensayos de flexión no deberán tener una longitud inferior en más de 1,6 mm (1/16") con respecto a la longitud especificada, pero puede excederse dicha longitud en más del valor mencionado.

4.1.4 Varilla compactadora – Debe ser de acero, cilíndrica y su extremo compactador debe ser hemisférico con radio igual al radio de la varilla. Según el diámetro y longitud, la varilla compactadora puede ser de dos tipos:

4.1.4.1 Varilla compactadora larga – De diámetro igual a 16 mm (5/8"), y aproximadamente 600 mm (24") de longitud.

4.1.4.2 Varilla compactadora corta – De diámetro igual a 10 mm (3/8") y aproximadamente 300 mm (12") de longitud.

4.1.5 Martillo – Debe ser de caucho, que pese $0,57 \pm 0,23$ kg ($1,25 \pm 0,5$ lb).

4.1.6 Vibradores:

4.1.6.1 Vibradores Internos – Pueden ser de eje rígido o flexible, preferiblemente accionados por motores eléctricos. La frecuencia de vibración debe ser de 7000 rpm o mayor. El diámetro de un vibrador redondo no debe ser mayor de la cuarta parte del diámetro del cilindro ni de la cuarta parte del ancho de la viga o del molde prismático. Vibradores de otras formas deberán tener un perímetro equivalente a la circunferencia de un vibrador redondo apropiado.

La longitud total de vibrador y brazo deberá exceder a la profundidad de la sección que está siendo vibrada en 76,0 mm (3"), como mínimo.

- 4.1.6.2 Vibradores externos – Pueden ser de mesa o de plancha. La frecuencia de vibración debe ser de 3600 rpm o mayor y su construcción debe ser tal, que el molde quede firme y asegurado sobre la mesa. Se debe usar un tacómetro para controlar la frecuencia de vibración.
- 4.1.7 Cono para medir el asentamiento – Debe cumplir con los requisitos indicados en la norma MTC E 705.
- 4.1.8 Recipientes para muestreo y mezcla – Deben ser de fondo plano, metálico, de alto calibre, impermeable, de profundidad adecuada y de suficiente capacidad para permitir una mezcla fácil de toda la bachada con una pala o palustre o, si la mezcla se hace de manera mecánica, para recibir toda la bachada de la descarga del mezclador y permitir la remezcla en el recipiente con la pala o palustre.
- 4.1.9 Aparatos para medir el contenido de aire – El aparato para medir el contenido de aire debe cumplir con lo establecido en la norma MTC E 706.
- 4.1.10 Balanzas – Las balanzas para determinar la masa de las muestras deben tener una precisión de 0,30%.
- 4.1.11 Mezcladora de concreto – La mezcladora puede ser mecánica o manual. Para concretos con asentamiento inferior a 25 mm (1"), es más apropiado utilizar un recipiente mezclador (mezcla manual) que una mezcladora de tambor reclinable. Es aconsejable, cuando en tal caso tenga que utilizarse esta última, reducir la rata de rotación y el ángulo de inclinación del tambor y trabajarla a una capacidad inferior a la especificada por el fabricante.
- 4.1.12 Equipo Misceláneo – Tamices, palas, palustres, reglas, guantes de caucho, calibrador de espesores, etc.
- 4.1.13 Termómetro – Debe cumplir los requisitos de la norma ASTM C 1064.
- 4.1.14 Equipo para tamizado por vía húmeda – Si se requiere este tipo de tamizado, el equipo deberá satisfacer los requisitos de la norma MTC E 701.

4.2 MATERIALES

Temperatura: Los materiales deben ser llevados a una temperatura uniforme, preferiblemente entre 20° a 30°C, antes de ser mezclados excepto cuando se estipule otra temperatura.

- 4.2.1 Cemento - El cemento se debe almacenar en recipientes impermeables (preferiblemente metálicos) y colocados en un lugar seco. Debe ser mezclado perfectamente para proveer un suministro uniforme durante todo el ensayo.

Debe ser pasado por el tamiz de 850 μm (N° 20) para retirar cualquier grumo, ser mezclado de nuevo sobre un plástico y retornado al recipiente.

- 4.2.2 Agregados - Para evitar la segregación del agregado grueso, el agregado se debe separar en fracciones de tamaño individual y recombinar luego, para cada bachada, con las proporciones necesarias para producir la gradación deseada.

Cuando una fracción de tamaño está presente en cantidad superior al 10%, el cociente entre el tamaño del tamiz superior y el del inferior no debe exceder de 2,0. Grupos aún más cercanos de tamaño resultan aconsejables.

A menos que el agregado fino se separe en fracciones de tamaño individual, se debe mantener en condición húmeda, o devolver a su condición húmeda hasta que sea usado, para prevenir la segregación, a menos que el material uniformemente grado se subdivida en lotes de tamaño de bachada usando un cuarteador con aberturas de tamaño adecuado. Si se están estudiando gradaciones inusuales, se puede necesitar secar y separar el agregado fino en fracciones de tamaño individual. En este caso, si la cantidad total requerida de agregado fino es mayor que la que se puede mezclar de forma eficiente como una sola unidad, las fracciones de tamaño individual deben ser pesadas en las cantidades requeridas para cada bachada individual. Si la cantidad total de agregado fino requerida es tal que se puede mezclar perfectamente y mantener en una condición

húmeda, entonces se deberá manejar de esta manera. El peso específico y la absorción de los agregados se deberán determinar de acuerdo con las normas MTC E 205 e MTC E 206.

Antes de incorporarse en el concreto, el agregado se debe preparar a una condición definida y uniforme de humedad. El peso del agregado que va a ser usado en la bachada se debe determinar por uno de los siguientes procedimientos:

- Los agregados de baja absorción (absorción inferior al 1,0%) pueden ser pesados en un ambiente seco, teniendo en cuenta la cantidad de agua que será absorbida por el concreto sin fraguar. Este procedimiento es particularmente útil para el agregado grueso, el cual puede ser reducido a bachadas como tamaños individuales; debido al peligro de la segregación, este procedimiento puede ser usado con el agregado fino únicamente cuando tal agregado se ha separado en tamaños individuales.
- Las fracciones de tamaños individuales de agregado pueden ser pesadas separadamente, recombinadas en un recipiente tapado en las cantidades requeridas para la bachada y sumergidas en agua por 24 horas, antes de su uso. Después de la inmersión, se deja decantar el exceso de agua y se determina el peso del agregado combinado junto con el agua de mezcla. Se debe tener en cuenta la cantidad de agua absorbida por el agregado.
- El agregado se puede llevar hasta una condición saturada y mantenerse en ella, con una humedad superficial suficiente para evitar pérdidas por drenaje, al menos 24 horas antes de su uso. Cuando se utiliza este método, la humedad del agregado debe ser determinada para poder calcular las cantidades de agregado saturado que se van a utilizar. La humedad superficial debe considerarse como parte del agua de mezcla. Este método descrito (humedad un poco por encima de la cantidad de absorción), es particularmente útil para agregados finos. Es menos usado para agregados gruesos, debido a la dificultad para encontrar con precisión la humedad, pero si se usa, cada fracción de tamaño individual debe manejarse separadamente para asegurar la obtención de la gradación apropiada.
- Los agregados fino y grueso pueden ser llevados hasta una condición saturada y superficialmente seca y mantenidos en ella, hasta que sean formadas las bachadas para su uso. Este método se usa principalmente para preparar material para bachadas que no excedan de $0,007 \text{ m}^3$ ($\frac{1}{4} \text{ pie}^3$) en volumen. Se debe tener mucho cuidado en evitar el secado durante su pesaje y su uso.

Agregados livianos – Estos agregados tienen generalmente un grado de absorción tal que ninguno de los procedimientos descritos es aplicable para ellos. La humedad de estos agregados en el momento del mezclado puede tener efectos importantes sobre las propiedades de los concretos, frescos y endurecidos, tales como pérdida de asentamiento, resistencia a la compresión, y al congelamiento y deshielo.

- 4.2.3 Aditivos – Los aditivos en polvo que son enteramente o en parte insolubles, que no contengan sales higroscópicas y que tengan que ser agregados en cantidades pequeñas, deben ser mezclados con una porción de cemento antes de introducir la mezcla en la mezcladora, de manera de asegurar su perfecta distribución en el concreto.

Los aditivos insolubles que son usados en cantidades excedentes al 10% en masa del cemento, como las puzolanas, deben ser manejados y adicionados a la mezcla en la misma forma como se maneja el cemento.

Los aditivos en polvo altamente insolubles, pero que contienen sales higroscópicas, pueden causar la aglomeración del cemento y deben ser mezclados con la arena antes de introducirlos a la mezcladora.

Los aditivos que son solubles en agua y los aditivos líquidos, deben ser adicionados a la mezcladora en solución con el agua de la mezcla. La cantidad de tal solución usada debe ser incluida en el cálculo del agua de la mezcla.

Los aditivos que son incompatibles en su forma concentrada, tales como las soluciones de cloruro de calcio y algunos aditivos incluso de aire y retardantes de fraguado, no deben ser entremezclados antes de ser adicionados al concreto.

El tiempo, la secuencia y el método utilizados para adicionar algunos aditivos a la mezcla de concreto, pueden tener efectos importantes sobre propiedades tales como el tiempo de fraguado y el contenido de aire.

El método seleccionado para la adición de aditivos se debe mantener inalterable de una mezclada a otra.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Muestras cilíndricas – Puede ser de varios tamaños, siendo el mínimo de 50,0 mm (2") de diámetro por 100 mm (4") de longitud.

Si se desea establecer correlaciones o comparaciones con cilindros elaborados en el campo, los cilindros deberán ser de 150 mm x 300 mm (6" x 12"). De lo contrario, las dimensiones dependerán de lo indicado en la Sección 4.4 de esta norma y del método específico de ensayo.

Las muestras cilíndricas para los ensayos, exceptuando las destinadas al flujo plástico bajo carga (creep), deben ser moldeadas con el eje del cilindro vertical y dejándolo en esta posición durante el fraguado.

Los especímenes cilíndricos para flujo plástico bajo carga (creep), deben ser moldeados con el eje cilíndrico, ya sea vertical u horizontal y puede permitirse su endurecimiento en la posición en la cual fueron moldeados.

- 5.2 Muestras prismáticas – Las vigas para ensayos de flexión, prismas para congelamiento y deshielo, compresión, adherencia, cambios de longitud o de volumen, deben ser elaboradas con el eje longitudinal en posición horizontal, a menos que el ensayo en cuestión lo exija de otra manera, y sus dimensiones se deberán ajustar a los requisitos especificados de cada ensayo.

- 5.3 Otras muestras – Otras formas y tamaños de muestras para ensayos específicos pueden ser elaboradas de acuerdo con las condiciones generales especificadas en esta norma.

- 5.4 Tamaño de la muestra de acuerdo con el tamaño del agregado – El diámetro de una muestra cilíndrica o la mínima dimensión de una sección transversal rectangular debe ser, por lo menos, 3 veces mayor que el tamaño máximo nominal del agregado grueso utilizado en la elaboración de la mezcla.

Partículas superiores al tamaño máximo nominal, que presenten de manera ocasional, deben ser retiradas de la mezcla, durante el moldeo. Cuando el concreto contenga partículas de tamaño mayor que el apropiado para el tamaño del molde o de los equipos a ser usados, la muestra deberá someterse a tamizado húmedo, conforme se describe en la norma MTC E 701.

- 5.5 Número de muestras – El número de especímenes y el número de bachadas de ensayo dependen de la práctica local y de la naturaleza del programa de ensayos. Los métodos de ensayo o las especificaciones para los cuales se elaboran los especímenes suelen dar orientaciones sobre el particular.

Usualmente, se deben elaborar tres o más especímenes para cada edad y condición del ensayo, a menos que se especifique otra cosa. Los especímenes de ensayo que tienen en cuenta el análisis de una variable, deben ser elaborados a partir de tres bachadas separadas, mezcladas en días diferentes.

En todas las bachadas se debe elaborar un número igual de especímenes.

Cuando sea imposible moldear al menos un espécimen para cada variable en un día determinado, la mezcla para completar la serie entera de especímenes se debe efectuar tan pronto como sea posible (cuestión de pocos días) y una de las mezclas deberá ser repetida cada día, como un estándar de comparación.

Generalmente, los ensayos se hacen a edades de 7 y 28 días para compresión y a edades de 14 y 28 días para flexión. Los especímenes que contienen cemento tipo III son ensayados frecuentemente a 1, 3, 7 y 28 días. Tanto para el ensayo de compresión como el de flexión, se pueden hacer ensayos a 3 meses, 6 meses y un año. Para otras edades de ensayo se pueden requerir otros tipos de especímenes.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Mezcla de concreto – La mezcla de concreto debe ser tal, que deje un 10% de residuo después de haber moldeado el espécimen de ensayo.

Los procedimientos de mezclado manual no son aplicables a concretos con aire incluido o a concretos con asentamiento no medible. El mezclado manual se debe limitar a bachadas de 0,007 m³ (¼ pie³) de volumen o menos.

- 6.1.1 Mezcla con máquina – Antes que empiece la rotación de la mezcladora se debe introducir el agregado grueso con algo del agua que se use en la mezcla y la solución del aditivo, cuando ésta se requiera, según se indica en la Sección 5.4. Siempre que sea posible, el aditivo se debe dispersar en el agua antes de su adición a la mezcla. Se pone en funcionamiento la mezcladora, al cabo de unos cuantas revoluciones se adicionan el agregado fino, el cemento y el agua, con la mezcladora en funcionamiento.

Si para una mezcla particular o para un determinado ensayo no resulta práctico incorporar al agregado fino, el cemento y el agua con la mezcladora funcionando, ellos se incluirán con la máquina detenida, luego de haberse permitido algunas revoluciones.

Seguidamente se debe mezclar el concreto durante 3 minutos a partir del momento en que todos los ingredientes estén en la mezcladora. Se apaga la mezcladora durante 3 minutos y se pone en funcionamiento durante 2 minutos de agitación final.

Se debe cubrir el extremo abierto de la mezcladora para evitar la evaporación durante el período de reposo.

Se debe restituir todo mortero que se pierda por adhesión a la mezcladora, para conservar las proporciones (Nota 1).

El concreto se debe recibir en el recipiente limpio y seco y se debe remezclar con un palustre o pala, hasta hacerlo uniforme y evitar la segregación.

Nota 1. Es difícil recobrar todo el mortero impregnado en las partes de las mezcladoras. Para compensar esta dificultad, se puede seguir uno de los procedimientos siguientes para asegurar las proporciones finales correctas en la mezcla:

1) "Embadurnando la mezcladora" – Justo antes de mezclar la bachada, la mezcladora es "embadurnada" mezclando una bachada proporcionada de tal forma que simule cercanamente la bachada del ensayo. El mortero que se adhiera a la mezcladora después de descargar la bachada intenta compensar la pérdida de mortero de la bachada del ensayo.

2) "Sobre proporción de la mezcla" – La mezcla de ensayo se proporciona con una cantidad de mortero en exceso, cantidad estimada de antemano, que pretende compensar en promedio, aquella que se queda adherida a la mezcladora. En este caso, el tambor es limpiado antes de mezclar la bachada de ensayo

- 6.1.2 Mezcla manual – Se debe hacer la mezcla en una bandeja o vasija metálica, impermeable, limpia y húmeda, con un palustre despuntado de albañil, utilizando el siguiente procedimiento:

Se debe mezclar el cemento, aditivo en polvo insoluble, si se va a utilizar, y el agregado fino sin adición de agua hasta que se logre una mezcla homogénea.

Seguidamente, se adiciona el agregado grueso mezclándolo sin adición de agua, hasta que se distribuya uniformemente en la mezcla.

Se adicionan el agua y el aditivo soluble si se va a utilizar, y se mezcla la masa lo suficiente para obtener una mezcla de concreto homogénea y de consistencia deseada. Si se necesita mezclado prolongado debido que el agua se añade por incrementos para ajustar la consistencia, se debe descartar la bachada y efectuar otra en la cual el mezclado no sea interrumpido para hacer tanteos con la consistencia.

- 6.2 Determinación del asentamiento – Se debe medir el asentamiento de cada bachada de acuerdo con la norma MTC E 705.
- 6.3 Determinación del contenido de aire – Se debe determinar el contenido del aire de acuerdo con la norma MTC E 706. El concreto usado para determinar el contenido de aire se debe decantar.
- 6.4 Rendimiento – Si se requiere se determina el rendimiento de cada bachada de concreto, de acuerdo con la norma MTC E 704, El concreto utilizado en los ensayos de asentamiento y de rendimiento se puede devolver al recipiente de la mezcla y remezclarse con la bachada.
- 6.5 Temperatura – Se determina la temperatura de cada bachada de concreto, en acuerdo con la norma ASTM C 1064.
- 6.6 Vaciado del concreto
 - 6.6.1 Lugar del moldeo – Se deben moldear los especímenes lo más cerca posible al lugar donde se van a guardar para su fraguado en las siguientes 24 horas. Los moldes se llevarán al depósito inmediatamente después de su elaboración y se colocarán sobre una superficie rígida y libre de vibraciones, evitando inclinaciones y movimientos bruscos. Durante el transporte, se deben evitar sacudidas, golpes, inclinaciones o raspaduras de la superficie.
 - 6.6.2 Colocación – El concreto se debe colocar en los moldes utilizando un palustre o utensilio similar. Se debe seleccionar cada palada de concreto de tal manera que sea representativa de la bachada; además, la mezcla de concreto en el recipiente se debe remezclar continuamente durante el moldeo de los especímenes, con el objeto de prevenir la segregación. El palustre se debe mover alrededor del borde superior del molde a medida que se descarga el concreto, con el fin de asegurar una distribución simétrica de éste y minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde. Posteriormente se distribuye el concreto con la varilla compactadora, antes del inicio de la consolidación.

En la colocación de la capa final se debe intentar colocar una capa de concreto que complete exactamente el relleno del molde. No se permite la adición de muestras que no sean representativas del concreto dentro de un molde insuficientemente llenado.
- 6.6.3 Número de capas – El número de capas con el cual se fabrica el espécimen debe ser el especificado en la Tabla 1.
- 6.7 Compactación. La selección del método de compactación debe hacerse con base en el asentamiento, a menos que el método sea establecido en las especificaciones bajo las cuales se trabaja (Tabla I). Los dos métodos de compactación son: apisonado (por varillado) y vibración (externa o interna). Si el concreto tiene un asentamiento mayor de 75 mm (3") debe usarse el método de apisonado. Si el asentamiento es de 25 a 75 mm (1 a 3") debe usarse el método de apisonado o el de vibración, prefiriéndose el método usado en la ejecución de la obra. Si el asentamiento es inferior a 25 mm (1") debe usarse el método de vibración. No se debe usar vibración interna para cilindros con diámetro inferior a 100 mm y para prismas de 100 mm de profundidad o menos. Los concretos con contenido de agua tal que no pueden ser compactados por los ensayos aquí descritos no estarán contemplados por la presente norma.

Tabla 1

Número de capas requeridas en la elaboración de las muestras

Tipo de tamaño de la muestra en mm (pulgadas)	Método de compactación	Número de capas	Altura aproximada De la capa en mm (pulgadas)
CILINDROS Hasta 300(12) Mayor que 300(12) Hasta 460(18) Mayor que 460(18)	Apisonado(varillado)	3 iguales	100(4)
	Apisonado(varillado)	Las requeridas	
	Vibración	2 iguales	200(4)
	Vibración	3 ó más	
PRISMAS Hasta 200(8) Mayor que 200(8) Hasta 200(8) Mayor que 200(8)	Apisonado(varillado)	2 iguales	100(4)
	Apisonado(varillado)	3 o más	
	Vibración	1	200(8) C 172
	Vibración	2 o más	

- a) Apisonado por varillado. Se coloca el concreto en el molde con el número de capas requeridas (Tabla 1) aproximadamente del mismo volumen.

Se apisona cada capa con la parte redonda de la varilla, utilizando el número de golpes y el tamaño de la varilla especificado en la Tabla 2. La capa inicial se apisona introduciendo la varilla hasta el fondo del molde. La distribución de golpes para cada capa debe ser uniforme sobre toda la sección transversal del molde.

Para cada capa superior a la inicial se debe atravesar aproximadamente en 12 mm (1/2") la capa anterior cuando la profundidad de la capa sea menor de 100 mm (4"); aproximadamente en 25 mm (1") cuando la profundidad de la capa sea mayor de 100 mm (4"). En caso de dejar algunos huecos por la varilla se deben golpear ligeramente los lados del molde para cerrar dichos huecos. En los elementos prismáticos, introdúzcase el badilejo (o similar) por los costados y extremos después de apisonar cada capa.

- b) Vibración. Manténgase un mismo tiempo de vibración para un conjunto particular de concreto, vibrador y molde que se esté utilizando. La vibración se debe transmitir al cilindro durante el tiempo suficiente para lograr la adecuada compactación del concreto, pues un exceso de vibrado puede causar segregación. El molde se debe llenar y vibrar en capas iguales aproximadamente. Todo el concreto para cada capa se debe colocar en el molde antes de iniciar el vibrado. La duración del vibrado depende de la manejabilidad del concreto y la efectividad del vibrador. Se considera suficiente el vibrado, cuando el concreto presente una superficie relativamente lisa.

Vibración interna. El diámetro del eje o dimensión lateral de un vibrador interno no debe ser mayor de 1/3 del ancho del molde en el caso de vigas o prismas. Para cilindros, la relación del diámetro del cilindro al diámetro del vibrador debe ser igual o mayor de 4,0. Al compactar la muestra el vibrador no debe tocar el fondo, las paredes del molde u objetos embebidos en el concreto. El vibrador se debe extraer cuidadosamente de tal manera que no queden bolsas de aire dentro de las muestras. Se deben golpear ligeramente los lados del molde para asegurarse que no queden aprisionadas burbujas de aire en su superficie.

Vibración interna para cilindros. En cada capa se debe introducir el vibrador en tres sitios diferentes. En cada capa el vibrador debe penetrar en la capa anterior aproximadamente 25 mm.

Vibración interna para vigas y prismas. Se debe introducir el vibrador en puntos separados por una distancia no mayor de 150 mm (6") a lo largo de la línea central de la mayor dimensión de la

muestra. Para moldes de ancho mayor de 150 mm (6") se debe introducir el vibrador en dos líneas alternando las inserciones. Se debe permitir penetrar el eje del vibrador en la capa del fondo aproximadamente 25 mm (1").

Vibración externa. Cuando se use un vibrador externo debe tenerse el cuidado de que el molde este rígidamente unido a la superficie o elemento vibrante.

Tabla 2

Diámetro de varilla y número de golpes por capa

CILINDROS		
Diámetro del cilindro en mm (pulgadas)	Diámetro de varilla en mm (pulgadas)	Número de golpes por cada
50 (2) a 150 (6)	10 (3/8)	25
150 (6)	16 (5/8)	25
200(8)	16 (5/8)	50
250(10)	16 (5/8)	75
VIGAS Y PRISMAS		
Área de la superficie superior De la muestra en cm ² (pulg ²)	Diámetro de varilla en mm (pulgada)	Número de golpes por capa
160(25)	10(3/8)	25
165(26) a 310 (49)	10(3/8)	1 por cada 7 cm ² (1 pulg ²) de área
320(50) o más	16(5/8)	1 por cada 14m ² (2pulg ²) de área

- 6.8 Acabado. Después de la compactación, se debe efectuar el acabado con las manipulaciones mínimas, de tal manera que la superficie quede plana y pareja a nivel del borde del cilindro o lado del molde, y no debe tener depresiones o protuberancias mayores de 3,2 mm (1/8").
- 6.9 Acabados de cilindros. Después de la compactación, se debe efectuar el acabado de la superficie por medio de golpes con la varilla apisonadora cuando la consistencia del concreto lo permita o con un badilejo o llana de madera. Si se desea, puede colocarse una capa de pasta de cemento sobre el espécimen a manera de refrentado (capping) (véase norma MTC E 703).
- 6.10 CURADO
- 6.10.1 Cubrimiento después del acabado. Para evitar la evaporación de agua del concreto sin endurecer, los testigos deben ser cubiertos inmediatamente después del acabado, preferiblemente con una platina no reactiva con el concreto, o con una lámina de plástico dura e impermeable. Se permite el uso de lona húmeda para el cubrimiento de la muestra, pero se evitará el contacto directo de la muestra con la lona, la cual debe permanecer húmeda durante las 24 horas contadas a partir del acabado de la muestra.
- 6.10.2 Extracción de la muestra. Las muestras deben ser removidas de sus moldes en un tiempo no menor de 20 horas ni mayor de 48 horas después de su elaboración cuando no se empleen aditivos; en caso contrario, se podrán emplear tiempos diferentes.
- 6.10.3 Ambiente de curado – A menos que se especifique otra cosa, las muestras se deben mantener en condiciones de humedad con temperatura de 23,0° ± 2,0°C desde el momento del moldeo hasta el momento de ensayo.

El almacenamiento durante las primeras 48 horas de curado debe hacerse en un medio libre de vibraciones.

La condición de humedad debe lograrse por inmersión de la muestra sin el molde en agua. Se permite lograr la condición de humedad por el almacenamiento en un cuarto húmedo.

No deben exponerse los especímenes a condiciones de goteo o de corrientes de agua.

Debe evitarse que se sequen las paredes de la muestra luego del periodo de curado.

7.0 PRECISION Y DISPERSION

7.1 PRECISION

- 7.1.1 Los datos para el establecimiento de los índices de precisión de varios ensayos realizados requeridos por esta norma fueron obtenidos en Estados Unidos en el Programa "The Concrete Proficiency Sample Program of de Cement and Concrete Reference Laboratory".
- 7.1.2 Las desviaciones normales para un operador en los ensayos de asentamiento, peso unitario, contenido de aire y resistencia a la compresión a 7 días de tandas de prueba han sido establecidos en: 18 mm (0,7 pulg), 14 kg/m³ (0,9 lb/p³), 0,3 % y 14 kg/cm² (203 lb/p²), respectivamente; luego los resultados de dos tandas de prueba realizadas en el mismo laboratorio no diferirán en más de 50 mm (2,0 pulg), 40 kg/m³ (2,5 lb/pie³), 0,8 % y 40 kg/cm² (574 lb/pulg²), respectivamente. Esta precisión es considerada aplicable para tandas de prueba del laboratorio dosificadas para cantidades específicas de materiales y una relación agua/cemento constante. Los valores deberán ser usados con precaución para concreto con aire incorporado, concreto con asentamiento menor a 50 mm (2 pulg) o sobre 150 mm (6 pulg) u concreto elaborado con agregado de peso diferente del normal o agregado de tamaño máximo nominal mayor a 25 mm (1 pulg).
- 7.1.3 Las desviaciones normales multi-laboratorios en los ensayos de asentamiento, peso unitario, contenido de aire y resistencia a la compresión a 7 días de tandas de prueba han sido establecidas en: 25 mm (1,0 pulg), 22 kg/m³ (1,4 lb/pie³), 0,4 % y 25 kg/cm² (347 lb/pulg²), respectivamente; luego los resultados de un ensayo realizado de tandas de pruebas realizadas en dos laboratorios diferentes no deberían diferir en más de 70 mm (2,8 pulg), 62 kg/m³ (4,0 lb/pie³), 1,1 % y 70 kg/cm² (981 lb/pulg²), respectivamente. Esta precisión es considerada aplicable para tandas de pruebas de laboratorio dosificadas para cantidades específicas de materiales y una relación agua/cemento constante. Los valores deberán ser usados con precaución para hormigón (concreto) con aire incorporado, hormigón (concreto) con asentamiento menor a 50 mm (2 pulg) o sobre 150 mm (6 pulg) u hormigón (concreto) elaborado con agregado de peso diferente del normal o agregado de tamaño máximo nominal mayor a 25 mm (1 pulg).

MTC E 703

REFRENTADO DE CILINDROS DE CONCRETO (CAPPING)

1.0 OBJETO

- 1.1 Especificar los aparatos, materiales y procedimientos necesarios para llevar a cabo el refrentado de cilindros de concreto, frescos o endurecidos, y de núcleos de concreto extraídos mediante rotación.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Los cilindros de concreto frescos son refrentados con cemento puro, mientras que los cilindros endurecidos y los núcleos de concreto se refrentan con yeso de alta resistencia o con mortero de azufre.
- 2.2 Una capa para el refrentado debe ser al menos tan fuerte como el concreto. La superficie de los especímenes ya refrentados deberá ser plana, con una tolerancia de 0,05 mm (0,002"), a lo largo de cualquier diámetro. Durante las operaciones de refrentado, deberá verificarse que las superficies sean realmente planas, escogiendo un espécimen de cada diez (10), mediante el uso de una regla y un medidor, haciendo un número mínimo de tres (3) mediadas, sobre diámetros diferentes, para asegurar que las superficies de las capas no se aparten del plano en más de 0,05 mm (0,002").
- 2.3 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.
- 2.4 Esta norma no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y determinar la aplicación de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.037 HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para el refrentado de testigos cilíndricos de hormigón (concreto).
- 3.2 ASTM C 617 Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens
- 3.3 AASHTO T 231 Standard Practices for Capping Cylindrical Concrete Specimens.

4.0 EQUIPO Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Placas para refrentado: Placas planas de vidrio de por lo menos 6 mm de espesor se utilizarán para el refrentado con pasta de cemento y yeso de alta resistencia, o un plato de metal mecanizado de por lo menos 11 mm de espesor, o un plato pulido de granito o diabasa de por lo menos 76 mm de espesor. Para el refrentado con mortero de azufre se utilizarán placas de metal similar al anterior o placas de piedra, sólo que el área de llenado que recibe el azufre fundido no será más profunda que 12 mm. En todos los casos, el diámetro de los platos será por lo menos 25 mm mayor que el diámetro del espécimen en ensayo y las superficies de refrentado no se apartarán de un plano por más de 0,05 mm en 152 mm. La rugosidad de la superficie de platos de metal recientemente acabados no excederá de los valores dados en la Tabla 4 de la norma ANSI B46.1 o 3,2 μm para cualquier tipo de superficie y dirección de disposición. La superficie de los platos cuando están nuevos, estará libre de estrías, ranuras, o indentaciones más allá de aquellas causadas por la operación de acabado. Platos de metal que han estado en uso estarán libres de estrías, ranuras e indentaciones mayores que 0,25 mm de profundidad o mayor que 32 mm² en área de la superficie.

Nota 1. Se sugiere una dureza de Rockwell de 48 HRC para las placas y dispositivos utilizados para el refrentado con mortero de azufre.

- 4.1.2 Dispositivos de alineación – En conjunto con las placas de refrentado deberán usarse dispositivos de alineación apropiados, como barras-guía o niveles de ojo, para asegurar la

perpendicularidad del eje del espécimen cilíndrico, con tolerancia de 0,5° [Aproximadamente equivalente a 3,2 mm en 305 mm (0,125" en 12")]. El mismo requisito se aplica a la relación entre el eje del dispositivo de alineación y la superficie de la placa para refrentado, en caso de barras guía. Además, la localización de cada barra con respecto a su placa debe ser tal que ninguna capa de refrentado quedará descentrada sobre un espécimen de ensayo por más de 2 mm. Para refrentado de cilindros de concreto endurecido, puede usarse un aparato igual o equivalente al de la Figura 1.

4.1.3 Ollas de fundición para el mortero de azufre: Las ollas de fundición usadas para los morteros de azufre contarán con dispositivos automáticos de control de temperatura y serán de un metal o revestidos con un material que no sea reactivo con el azufre fundido.

4.1.3.1 Precaución: Las ollas de fundición equipadas con calentadores periféricos, proporcionaran seguridad contra posibles accidentes durante el recalentamiento de mezclas de azufre frías que tienen costras superficiales. Cuando se usen ollas de fundición no equipadas como lo indicado, se tendrá el cuidado de mover la mezcla con una varilla de metal, introduciéndola hasta el fondo de esta mientras se enfría, para evitar la presión bajo las costras superficiales endurecidas. La varilla debe ser de tamaño suficiente para que conduzca suficiente calor hacia la superficie y funda el anillo de mezcla que lo rodea evitando de esa manera la presión.

Las ollas de fundición se deben usar con campanas extractoras para eliminar los humos al exterior. El calentamiento sobre una llama directa es peligroso porque el punto de inflamación del azufre es aproximadamente 227 °C y la mezcla puede causar ignición debido al sobrecalentamiento. Si la mezcla causa ignición, se debe cubrir la olla para cortar o apagar las llamas. La olla debe recargarse con el material fresco después de que la llama se ha extinguido.

4.2 MATERIALES

La resistencia del material de refrentado y el espesor de la capa deberá estar de acuerdo a los requerimientos de la Tabla 1.

Tabla 1

Esfuerzo de compresión y máximo espesor de la capa de refrentado

Esfuerzo de compresión del cilindro	Esfuerzo mínimo del material de refrentado	Máximo espesor promedio del refrentado	Máximo espesor de cualquier parte del refrentado
3,5 – 50 Mpa(500 – 7000psi)	35 Mpa (5000 psi)	6mm (0,25")	8 mm (0,31")
> 50 Mpa (7000 psi)	Resistencia a la compresión no menor que la del cilindro	3mm (0,125")	5 mm (0,20")

4.2.1 Si el mortero de azufre, yeso de alta resistencia y otros materiales, excepto la pasta de cemento, serán utilizados para ensayar hormigón (concreto) con una resistencia mayor que 50 MPa, el fabricante o el usuario del material deberán proporcionar la documentación siguiente.

4.2.1.1 Que el promedio de la resistencia de 15 cilindros refrentados con estos materiales no sea menor que el 98 % del promedio de la resistencia de 15 cilindros compañeros refrentados con pasta de cemento o 15 cilindros alisados con una planitud dentro de 0,05 mm.

- 4.2.1.2 La desviación normal de las resistencias de los cilindros refrentados no sea mayor a 1,57 veces la desviación normal de los cilindros de referencia.
- 4.2.1.3 Que los requisitos de espesor de las capas de refrentado cumplieron con los ensayos de calificación, y
- 4.2.1.4 El tiempo de endurecimiento de las capas de refrentado usadas en los ensayos de calificación.
- 4.2.2 Adicionalmente, el informe del ensayo de calificación debe incluir la resistencia a la compresión de cubos de 50 mm de lado del material calificado y de cubos de pasta de cemento, si se utilizó. Los materiales de refrentado que cumplan con los requisitos se permiten usar en cilindros con resistencias 20 % mayor que el hormigón (concreto) ensayado en éstas pruebas de calificación. El fabricante deberá recalificar anualmente los lotes de materiales manufacturados, o siempre que haya un cambio en la formulación o en las materias primas. El usuario del material debe retener una copia de los resultados de calificación y las fechas de fabricación del material calificado y del material que corrientemente se está utilizando. Véase la Tabla 2.
- 4.2.3 La resistencia a la compresión de los materiales de refrentado será determinada de acuerdo con los procedimientos indicados en la NTP 334.051. Excepto para los morteros de azufre, el procedimiento de moldeado debe ser de acuerdo con la NTP 334.051, a menos que se especifiquen otros procedimientos para eliminar el aire atrapado en los poros. Véase la ASTM C 472 para los procedimientos de compactación alternativos. Los cubos se deben curar en el mismo ambiente para el mismo periodo de tiempo como el requerido para refrentar los cilindros de hormigón (concreto) en ensayo.
- 4.2.4 La resistencia del material de refrentado será determinada cada vez que se reciba un nuevo lote, o a intervalos que no exceden tres meses. Si algún lote falla en el cumplimiento de los requisitos de resistencia, no deberá ser utilizado y los ensayos de resistencia del material de reemplazo se realizarán semanalmente hasta que cuatro determinaciones consecutivas cumplan con los requisitos de la especificación.
- 4.2.5 Pasta de cemento
- 4.2.5.1 Realizar el ensayo de calificación de la pasta de cemento hidráulico, antes de usar para el refrentado, para establecer los efectos de relación de agua/cemento y la edad sobre la resistencia a la compresión en cubos de 50 mm de lado.

Nota 2. Los cementos usados generalmente son los Tipos I, II o III que cumplen con la NTP 334.009, sin embargo, los cementos adicionados de la NTP 334.090, los cementos de aluminato de calcio u otros cementos hidráulicos que producen resistencias aceptables pueden usarse.



TABLA 2 - Ejemplo de informe de calificación de material de refrentado

NOTA: Fabricante: Testing Supplies Co.

Material de refrentado: Mortero de Azufre Super Strong AAA

Lote: 12 a 45

Fecha ensayos: 11/3/98

Firmado por: _____ (Responsable oficial de la agencia de ensayos)

Ítem	Material de refrentado	Control de cilindros	Relación	Criterio	Cumple/ no cumple
Cilindros de hormigón – Información de ensayos					
Tipo de material de refrentado	Azufre	Ground			
Resistencia promedio del hormigón (concreto) MPa (lb/pulg ²)	76,2 (11 061)	75,9 (11008)	1,005	>0,98Xc	Pasa
Desviación estándar MPa (lb/pulg ²)	2,59 (376)	1,72 (250)	1,504	≤1,57C	Pasa
Número de cilindros ensayados	15	15			
Edad de la capa al momento del ensayo	7 días	NA			
Material de refrentado – Información de ensayos					
Espesor promedio de la capa mm (pulg)	2,8 (0,11)	NA			
Resistencia a la compresión de cubos de 50 mm, MPa (lb/pulg ²)	91 (12 195)				
Edad de los cubos al momento del ensayo	7 días				
Resistencia máxima calificada del hormigón MPa (lb/pulg ²)				1,2 Resist. 91,5 ^A (13 273)	Prom.=

^A Resistencia nominal especificada de 75 MPa (11 000 lb/pulg²) y quizás algo mayor

4.2.5.2 Mezclar la pasta de cemento a la consistencia deseada para una relación agua/cemento igual o menor que la especificada para producir la resistencia requerida, generalmente 2 a 4 h antes de que la pasta se use (Nota 3). Remezclar las veces que sea necesario para mantener la consistencia aceptable (Nota 4). Se acepta algún reajuste de la pasta, si la relación agua/cemento requerida no es excedida. La consistencia óptima generalmente se produce a relaciones agua/cemento de 0,32 a 0,36 en masa para los cementos Tipo I y Tipo II y 0,35 a 0,39 en masa para cementos Tipo III.

Nota 3. Las pastas frescas tienden a exudar y contraerse resultando en capas inaceptables. Generalmente, para cementos Portland, el periodo apropiado es de 2 h a 4 h.

Nota 4. La consistencia requerida de la pasta se determinará por la apariencia de la capa cuando es desmoldado. La pasta fluida resulta en trazas en la capa. Las pastas densas resultan en capas gruesas.

4.2.6 Pasta de yeso - cemento de alta resistencia

4.2.6.1 No se adicionará ningún filler ni extendedores a la pasta pura de yeso - cemento de alta resistencia, subsecuentemente a la fabricación del cemento (Nota 5). Se realizarán los ensayos de calificación para determinar los efectos de la relación agua/cemento y edad sobre la resistencia a la compresión de cubos de 50 mm de lado. Podrán utilizarse retardadores para extender el tiempo de trabajo, pero debe determinarse sus efectos sobre la relación agua/cemento requerida y la resistencia. (Nota 6).

Nota 5. El yeso de baja resistencia, el yeso de Paris, o las mezclas de yeso de paris y cemento Portland no son adecuados para el refrentado.

Nota 6. La relación agua/yeso-cemento, debe estar entre 0,26 y 0,30. El uso de una relación agua/cemento baja y un vigoroso mezclado normalmente permitirá desarrollar 35 MPa a las edades de 1 h o 2 h. Las relaciones agua/yeso-cemento altas extienden el tiempo de trabajo, pero reduce la resistencia.

4.2.6.2 Mezclar la pasta pura de yeso-cemento a la relación agua/cemento deseada y utilizarla prontamente mientras fragua rápidamente.

4.2.7 Mortero de azufre

4.2.7.1 Se verificará que los morteros de azufre comerciales o preparados en laboratorio desarrollen en 2 h una resistencia mínima de 35 MPa, cuando la resistencia esperada de los cilindros de hormigón (concreto) es menor de 35 MPa. Para resistencias superiores a 35 MPa, deben permitirse un periodo mínimo de endurecimiento del mortero de azufre de 16 h antes del ensayo, pudiendo reducirse el tiempo si el material cumple con lo especificado en 4.2.1.

4.2.7.2 Determinación de la resistencia a la compresión: Preparar especímenes de ensayo usando un molde cúbico y una placa de base conforme los requisitos de la NTP 334.051 y una placa de cubierta de metal conforme el diseño mostrado en la Figura 1 (Nota 7). Calentar las partes del aparato a una temperatura de 20 °C a 30 °C, y cubrir ligeramente con aceite mineral las superficies que estarán en contacto con el mortero de azufre y colocarlas cerca de la olla de fundición. Llevar la temperatura del mortero fundido en la olla dentro de un rango de 129 °C a 143 °C, agitar completamente con la barra y empezar a llenar los cubos. Usando un cucharón, u otro dispositivo similar para verter, llenar rápidamente cada uno de los tres compartimientos hasta que el material fundido llegue hasta el tope del agujero de llenado. Dejar el tiempo suficiente para que se produzca la máxima contracción, debido al enfriamiento y solidificación, (aproximadamente 15 min) y rellenar cada agujero con el material fundido (Nota 8). Después que la solidificación se ha completado, se retiran los cubos del molde sin romper la colada formada por el agujero de llenado en la placa de cubierta. Se limpia el aceite, y se retiran los bordes afilados y aristas de los cubos y se verifica la planitud de las superficies de contacto productivas de la manera descrita en la NTP 334.051. Después de almacenar los cubos a la temperatura ambiente del cuarto hasta la edad deseada, pero no menos de 2 h, los cubos se ensayan conforme el procedimiento descrito en la NTP 334.051 y se calcula la resistencia a la compresión.

NOTA 7. Si se desea, una placa plana de fenol formaldehído (baquelita) 3 mm de espesor, con tres agujero apropiadamente espaciados para permitir el llenado del molde, puede insertarse entre la placa de cubierta y el molde para retardar el enfriamiento de los especímenes de ensayo.

NOTA 8. El segundo llenado ayuda a prevenir la formación de huecos o tubos de contracción en el cuerpo del cubo. Sin embargo, tales defectos pueden ocurrir a pesar del cuidado que se ejerza, por consiguiente es aconsejable inspeccionar el interior de los cubos de mortero de azufre ensayados para verificar su homogeneidad, siempre que los valores de resistencia obtenidos sean significativamente bajos que los esperados

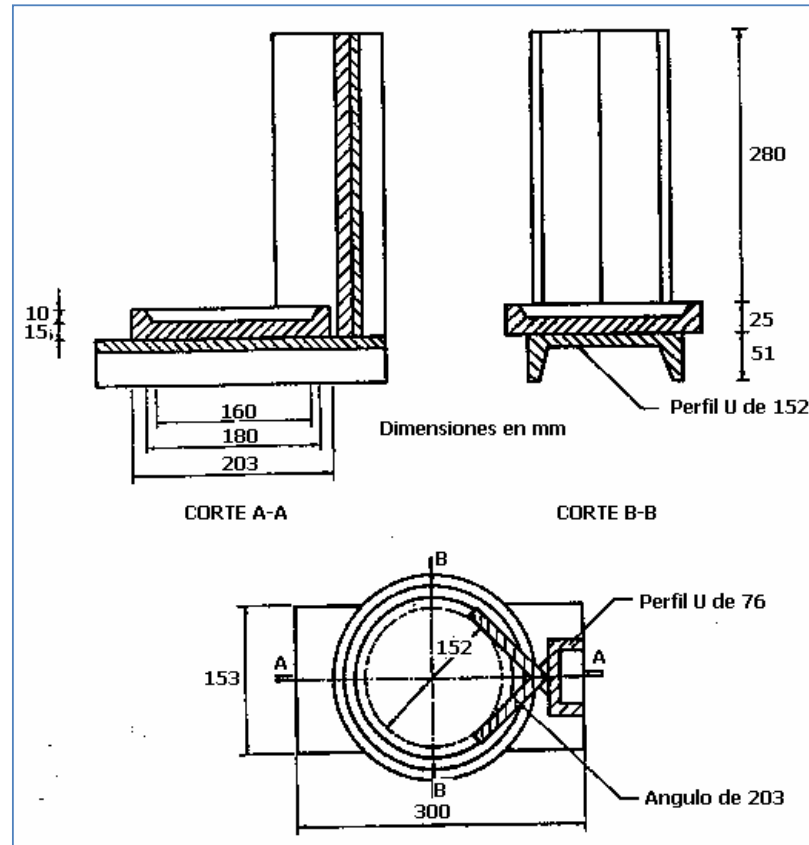


Figura 1. Aparato para refrentado de cilindros de concreto endurecido

5.0 MUESTRA

5.1 Refrentado de cilindros de hormigón (concreto) fresco con pasta de cemento

6.0 PROCEDIMIENTOS

6.1 Se debe usar solamente pastas de cemento portland (Nota 9) para refrentar cilindros de hormigón (concreto) fresco. Las capas de refrentado de cemento deben ser lo más delgadas como sea factible. No se debe aplicar la pasta de cemento al extremo expuesto del cilindro hasta que el hormigón haya fraguado en los moldes, generalmente esto ocurre de 2 h a 4 h después del moldeo. Durante el moldeo del cilindro, se debe golpear suavemente las paredes del cilindro bajo la superficie plana superior de hormigón (concreto) del molde. Eliminar el agua libre y lechada de cemento, inmediatamente antes de realizar el refrentado con pasta de cemento de la superficie superior del cilindro moldeado. Se forma la capa de refrentado, poniendo una porción cónica de pasta de cemento sobre el cilindro, y presionando suavemente una placa de refrentado, ligeramente aceitada, hasta que quede en contacto con la corona del molde. Un movimiento de rotación muy ligero de la placa puede ser necesario para eliminar excesos de pasta y minimizar la formación de vacíos en la capa. La placa de refrentado no debe moverse, de otra forma, durante esta operación. Cuidadosamente se cubre la placa y el molde con una capa doble de arpillera húmeda y una hoja del polietileno para prevenir el secado. Después del endurecimiento de la pasta, se retira

la placa de refrentado, golpeando suavemente uno de sus bordes con un martillo de goma en una dirección paralela al plano de refrentado.

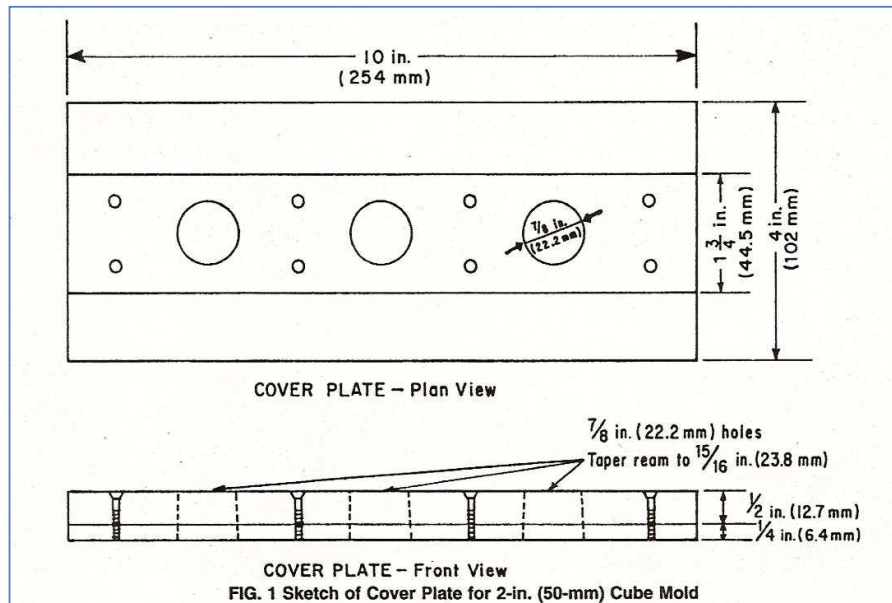


Figura 2. Placa de cubierta para moldes cúbicos de 50 mm

Nota 9. La pasta de cemento portland Tipo I generalmente requieren por lo menos a 6 días para desarrollar una resistencia aceptable y la pasta de cemento portland Tipo por lo menos 2 días. Los cilindros de hormigón (concreto) seco absorberán el agua de mezcla de la pasta frescas de cemento y producirán capas de refrentado poco satisfactorias. Las capas de pasta de cemento presentaran contracción y agrietamiento durante el proceso de secado y, por consiguiente, sólo deben usarse para especímenes que estarán continuamente curados con humedad hasta el momento del ensayo.

Nota 10. Las capas de yeso de alta resistencia en contacto con el agua, pierden su consistencia y se deterioran y no pueden usarse para el refrentado de cilindros de hormigón (concreto) fresco o almacenados en un cuarto húmedo por períodos muy cortos.

- 6.2 Refrentado de cilindros de hormigón (concreto) endurecido
 - 6.2.1 Generalidades: Si los extremos del cilindro presentan una capa o depósito de materiales aceitosos o cerosos que puedan interferir con la adherencia de la capa, se debe proceder a eliminarlos. Si es necesario, se puede someter a un cepillado ligero, con cepillo de acero o cepillo del alambre, los extremos del cilindro para ponerlos ásperos con el fin de producir una adherencia apropiada de la capa de refrentado. Si se desea, la placa de refrentado se puede untar con una capa delgada de aceite mineral o puede engrasarse para evitar que el material de refrentado se adhiera a la superficie de la placa.
 - 6.2.2 Condición final: Las bases del cilindro sin refrentar deberán estar lisas, planas y perpendiculares a su eje con una tolerancia máxima de 3 mm en cualquier punto con respecto de un plano que pase por el punto más alto y que sea perpendicular al eje del cilindro (Nota 11). Si se excede este límite, las irregularidades de la superficie deberán ser pulidas, cortadas o rectificadas antes de proceder al refrentado.

Nota 11. Este requisito controla la diferencia entre las partes más gruesas y las más delgadas de la capa de refrentado. La distancia puede inspeccionarse usando una escuadra, la cual ubica uno de sus bordes paralelo al eje del cilindro y el otro borde tocando el punto más alto del extremo del cilindro. Se mide la distancia entre el borde de apoyo de la escuadra y el punto más bajo en el extremo del cilindro.

- 6.2.3 Refrentado con yeso de alta resistencia o pasta de cemento: Mezclar la pasta como se ha descrito en la Sección 2. No se debe exceder la relación agua-cemento determinada en los ensayos de calificación. Formar las capas de refrentado como se ha descrito en 6.1, usando las placas de refrentado descritas en 4.1.1 para lograr la alineación requerida en 4.1.2 (Nota 12). Generalmente, las placas de refrentado pueden ser removidas dentro de los 45 minutos con las pastas de yeso cemento y después de 12 h con la pasta de cemento puro, sin dañar la capa.

Nota 12. Diversos métodos se han usado para obtener la perpendicularidad deseada de la capa de refrentado respecto del eje del cilindro. Una cantidad de pasta puede colocarse sobre la placa de refrentado y el espécimen en su parte más baja. Con un nivel visual colocado sobre el cilindro ayuda a obtener la alineación. Una cantidad de pasta puede colocarse encima del cilindro y con la placa de refrentado ejercer una presión contra él, mientras se usa nuevamente el nivel visual. Un buen sistema es hacer un molde o anillo cilíndrico que tenga la mitad de la altura y guías para que pueda deslizarse a lo largo del cilindro endurecido. Para nivelar y posicionar el molde y asegurar el espesor de la capa de refrentado requerida, se usa abrazaderas de modo que el molde o anillo sobresalga lo necesario por encima de la superficie del cilindro. La pasta de refrentado puede colocarse entonces o en una placa de refrentado o distribuirla encima del cilindro para luego proceder a presionar con la placa y suaves movimientos de giro hasta lograr contacto con los bordes del molde. Como se ha explicado, la pasta de yeso muy rígida puede requerir la presión excesiva y puede producir espesores o capas defectuosas.

- 6.2.4 Refrentado con mortero de azufre: Preparar el mortero de azufre calentándolo a una temperatura aproximada de 130 °C, controlada con un termómetro de metal que se inserta cerca del centro de la masa. Verificar la temperatura a intervalos de una hora durante el refrentado. Vaciar la olla y recargar con material fresco, a intervalos que aseguren que el material más viejo en la olla no se use más de cinco veces. Cuando se refrenta cilindros de hormigón (concreto) que tiene una resistencia a la compresión de 35 MPa o mayor, no se permitirá usar compuesto recuperado de la operación de refrentado, o de capas viejas. El mortero de azufre fresco debe estar seco en el momento que se pone en la olla, ya que la humedad puede causar espuma. Por esta misma razón, se deberá evitar que el material fundido entre en contacto con el agua. La placa o el dispositivo de refrentado, debe calentarse ligeramente antes de su uso para reducir la velocidad de endurecimiento y la formación de capas delgadas. Antes de hacer cada refrentado, se aplica una capa delgada de aceite en las placas y se agita el mortero de azufre fundido a verter en cada capa. Las bases de los cilindros curados en húmedo, deberán estar lo suficientemente secas para evitar la formación de bolsas de vapor o espuma de 6 mm de diámetro o más, en la capa o bajo la misma. Reemplazar las capas con las bolsas de vapor o poros de más de 6 mm (Nota 13). Para asegurar la adherencia de la capa de mortero de azufre a la superficie del cilindro, no se debe aplicar aceite a dichas superficies antes de realizar la operación de refrentado. Cuando se use un equipo vertical para el refrentado, se vierte el mortero sobre la superficie del plato de refrentado y se coloca el cilindro en el dispositivo vertical de tal forma que sus generatrices contacten con las guías de alineación. Se hace descender, con cuidado, el cilindro hacia el material de refrentado, controlando constantemente el contacto de las paredes del cilindro, con las guías de alineación, hasta que el cilindro presione el material. El cilindro debe continuar descansando en el plato de refrentado, verificando el contacto de sus paredes con la alineación guía hasta que el mortero haya endurecido. Se debe usar suficiente material para cubrir el extremo del cilindro después de que el mortero de azufre solidifica.

Nota 13. Periódicamente la capa de mortero de azufre debe ser examinada después del ensayo para determinar la presencia de poros o bolsas de vapor. Antes del ensayo, la capa de refrentado puede golpearse con una moneda o frotarse con un instrumento de metal ligero, para ver si se emite un sonido hueco. Las capas que tienen sonido hueco deben ser removidas y reemplazarse.

6.2.4.1 Precaución: Se pueden producir gases de sulfuro de hidrogeno durante el proceso de refrentado, cuando el mortero de azufre se contamina con materiales orgánicos tales como, parafina y aceite. El gas es incoloro y tiene notoriamente un mal olor de huevo podrido; sin embargo, el olor no debería ser tomado como una señal de advertencia, porque la sensibilidad al olor desaparece rápidamente. Altas concentraciones son letales y concentraciones menores pueden producir náuseas, dolor de estómago, disnea, dolor de cabeza o irritación de los ojos. Por esto y otras razones, la olla de fundición debe ser colocada bajo una campana en un espacio abierto con extractores y el área de refrentado debe estar bien ventilada.

6.2.5 Control diario

6.2.5.1 Durante cada día de refrentado se debe verificar la planitud de las capas antes del ensayo de compresión por lo menos en tres especímenes, seleccionados al azar, representando el inicio, la mitad y el final de la faena. Verificar la planitud con una regla y un calibre, realizando un mínimo de tres medidas en diámetros diferentes para asegurar que la superficie de las capas no se desvíe más allá de 0,05 mm respecto del plano. También se debe verificar las áreas con vacíos (Nota 13). Registrar los resultados de estas determinaciones en la documentación de control de calidad del laboratorio. Si las capas no satisfacen los requerimientos de planitud o tienen áreas con vacíos se deben remover y reaplicar las capas.

6.2.5.2 Durante cada día de operación de ensayo de resistencia a la compresión, se debe verificar el espesor de las capas por lo menos en tres especímenes, seleccionados al azar que correspondan al inicio, intermedio y final del día de operación. Después de completar el ensayo de compresión, recupere por lo menos seis piezas del material de refrentado del extremo del cilindro seleccionado (Nota 14). Las piezas se seleccionarán al azar y se distribuirán encima del área entera de la capa. Las piezas seleccionadas serán separadas completamente del hormigón (concreto). Se mide y registra el espesor de las piezas con aproximación al 0,2 mm utilizando, un micrómetro, calibrador u otro dispositivo de medida del espesor. Comparar el espesor promedio y máximo con los valores de la Tabla 1. Registrar los resultados de las determinaciones de espesor en la documentación de control de calidad del laboratorio.

Nota 14. Las capas pueden ser removidas usando un martillo y cincel afilado. Colocar la punta del cincel en la línea de unión paralela con el plano de la capa de refrentado, para generar una acción de cuña cuando el cincel se golpea con el martillo. La recuperación de la capa entera puede simplificarse colocando una cinta adhesiva encima de la capa antes de intentar su levantamiento. La cinta mantendrá las piezas de material de refrentado antes de que se dispersen durante el levantamiento, y simplificará su selección según su distribución uniforme en el área de la capa de refrentado.

6.3 Protección de los especímenes después del refrentado

6.3.1 Se mantienen los cilindros curados en humedad, entre la realización del refrentado y el tiempo del ensayo, para lo cual se les almacena en un cuarto húmedo o envolviéndolos con una capa doble de arpillera mojada. No guarde los cilindros con capas de refrentado de yeso, sumergidos en agua o por más de 4 h en un cuarto húmedo. Proteja las capas de yeso del goteo de agua.

6.3.2 No se debe ensayar los cilindros refrentados antes de que el material del refrentado tenga el tiempo suficiente para desarrollar la resistencia requerida en 4.2.

MTC E 704**RESISTENCIA A LA COMPRESION TESTIGOS CILINDRICOS****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tanto cilindros moldeados como núcleos extraídos, y se limita a concretos con un peso unitario superior a 800 kg/m^3 (50 lb/pe^3).

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de éste.
- 2.2 Los resultados de este ensayo se pueden usar como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del concreto; para el cumplimiento de especificaciones y como control para evaluar la efectividad de aditivos y otros usos similares.
- 2.3 Se debe tener cuidado en la interpretación del significado de las determinaciones de la resistencia a la compresión mediante este método de ensayo, por cuanto la resistencia no es una propiedad intrínseca fundamental del concreto elaborado con determinados materiales. Los valores obtenidos dependen del tamaño y forma del espécimen, de la tanda, de los procedimientos de mezclado, de los métodos de muestreo, moldes y fabricación, así como de la edad, temperatura y condiciones de humedad durante el curado.
- 2.4 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.
- 2.5 Esta norma no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso, si los hay, es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y determinar la aplicación de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.034 HORMIGON (CONCRETO), Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.
- 3.2 ASTM C 39- 39M-2005e2 Standard Test Method compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- 3.3 AASHTO T 22-2005 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete.

4.0 EQUIPO Y MATERIALES**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Máquina de Ensayo – La máquina de ensayo debe ser de un tipo tal, que tenga suficiente capacidad de carga y que reúna las condiciones de velocidad descritas en la Sección 6.5.
- 4.1.1.1 Se hará una verificación de la calibración de la máquina de ensayo de acuerdo con la norma ASTM E-4. "Práctica para la verificación de la carga de las máquinas de Ensayo"; en las siguientes situaciones:
- Al menos anualmente y nunca excedido de trece (13) meses.
 - En la instalación original o en la relocalización de la máquina.
 - Inmediatamente después de hacer reparaciones o ajustes que puedan afectar de cualquier modo la operación del sistema de pesas o los valores mostrados, excepto para el ajuste a cero que compensa el peso propio del equipo o del espécimen, o ambos.
 - Cuando quiera que haya una razón para dudar de la exactitud de los resultados, sin tener en cuenta el intervalo de tiempo desde la última verificación.

4.1.1.2 Diseño – La máquina debe operar eléctricamente y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin choques. Si sólo tiene una velocidad de carga (que cumpla los requisitos de la Sección 6.5), deberá estar provista de medios suplementarios para cargar a una velocidad apropiada para la verificación. Estos medios suplementarios de carga se pueden operar manualmente o por medio de motor.

El espacio disponible para los especímenes debe ser lo suficientemente grande para acomodar, en posición legible, un aparato de calibración elástica de suficiente capacidad para cubrir el intervalo potencial de carga de la máquina de ensayo y que cumpla con los requisitos de la norma ASTM E 74. Los aparatos de calibración elástica generalmente disponibles y más comúnmente usados para este propósito, son el anillo de carga circular de ensayo y las celdas de carga.

4.1.1.3 Precisión – La precisión de la máquina de ensayo debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a) El porcentaje de error de las cargas dentro del rango propuesto para la máquina, no debe exceder del $\pm 1,0\%$ de la carga indicada.
- b) La precisión de la máquina de ensayo se debe verificar aplicando cinco (5) cargas de ensayo en cuatro (4) incrementos aproximadamente iguales en orden ascendente. La diferencia entre dos cargas de ensayo sucesivas cualesquiera no debe exceder en más de un tercio de la diferencia entre la máxima y la mínima carga de ensayo.
- c) La carga del ensayo tal y como se indica por la máquina de ensayo y la carga aplicada calculada a partir de las lecturas de los elementos de verificación, se deben registrar en cada punto de ensayo. Se debe calcular el error, E , y el porcentaje de error, Ep , para cada punto de estos datos como sigue:

$$E = A - B$$

$$Ep = 100 \frac{A - B}{B}$$

Donde:

A = carga, kN (o lbf) indicada por la máquina que está siendo verificada, y

B = carga aplicada, kN (o lbf) determinada por el elemento de calibración.

En el informe sobre la verificación de una máquina de ensayo, se debe consignar dentro de qué intervalo de carga se encontró que se ajustaba a los requisitos de la especificación, en lugar de informar una aceptación o rechazo general. En ningún caso el intervalo de carga deberá incluir cargas por debajo del valor que sea 100 veces el cambio más pequeño de carga que pueda estimar el mecanismo indicador de carga de la máquina de ensayo o cargas dentro de aquella porción del intervalo por debajo del 10% de la máxima capacidad del mismo.

- d) En ningún caso se debe consignar el intervalo de carga incluyendo cargas por fuera del rango de las cargas aplicadas durante el ensayo verificación.
- e) La carga indicada por la máquina de ensayo no se debe corregir ni mediante cálculos, ni mediante el uso de diagramas de calibración para obtener valores dentro de la variación permisible requerida.

4.1.2 La máquina de ensayo debe estar equipada con dos bloques de carga, de acero con caras endurecidas (Nota 1), uno de los cuales es un bloque con rótula el cual descansa sobre la superficie superior de la muestra, y el otro un bloque sólido sobre el cual se colocará el espécimen.

Las superficies de los bloques que estarán en contacto con el espécimen deben tener una dimensión al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen a ensayar. Excepto para los círculos concéntricos descritos a continuación, las caras de carga no se deben separar del

plano en más de 0,02 mm (0,001") en cualquiera de los 150 mm (6") de los bloques de 150 mm (6") de diámetro o mayores, o en más de 0,02 mm (0,001") de cualquier bloque con diámetro más pequeño; los bloques nuevos se deben fabricar con la mitad de estas tolerancias.

Cuando el diámetro de la cara de carga con rótula exceda el diámetro del espécimen en más de 13 mm (0,5"), se deben inscribir círculos concéntricos con una profundidad no mayor de 0,8 mm (0,03") y un ancho no mayor a 1,0 mm (0,04") para facilitar el centrado.

Nota 1. La dureza "Rockwell" de las caras de los bloques de carga utilizados para este ensayo no debe ser menor de 55 HRC

4.1.2.1 El bloque inferior de carga debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) Debe ser adecuado para proveer una superficie maquinada que cumpla con los requerimientos anteriormente indicados (Nota 2). Las superficies superiores e inferiores deben ser paralelas una a la otra. El bloque se debe poder asegurar a la platina de la máquina de ensayo. Su dimensión horizontal menor debe ser al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen ensayado. Los círculos concéntricos que se describen en la Sección 4.1.2 son opcionales.
- b) Se hará un centrado final con respecto al bloque superior cuando se use el bloque inferior para ayudar al centrado del espécimen. El centro de los anillos concéntricos, cuando éstos existan, o el centro del bloque mismo debe estar directamente debajo del centro de la rótula.
- c) El bloque de carga inferior debe tener al menos 25 mm (1") de espesor cuando sea nuevo, y al menos 22,5 mm (0,9") después de cualquier operación de afinado de la superficie, excepto cuando esté en completo e íntimo contacto con la platina interior de la máquina de ensayo, caso en el cual el espesor podrá ser de sólo 10 mm (0,38").

Nota 2. Si la máquina de ensayo está diseñada de tal forma que la plataforma sola se pueda mantener con su superficie en las condiciones especificadas, no se requerirá un bloque inferior

4.1.2.2 El bloque de carga con rótula debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) El diámetro máximo de la cara de carga del bloque con rótula no debe exceder los valores que se dan a continuación:

Tabla 1

Especificaciones de diámetro de la cara de carga

Diámetro del espécimen de ensayo, mm (pulg)	Diámetro máximo de la cara de carga, mm (pulg)
50 (2)	105 (4)
75 (3)	130 (4)
100 (4)	165 (6,5)
150 (6)	255 (10)
200 (8)	280 (11)

Nota 3. Se aceptan las superficies cuadradas, siempre y cuando el diámetro máximo del círculo inscrito más grande no exceda el diámetro indicado en la tabla.

- b) El centro de la rótula debe coincidir con el de la superficie de la cara de carga dentro de una tolerancia de $\pm 5\%$ del radio de la rótula. El diámetro de la rótula debe ser, al menos, el 75% del diámetro de la muestra que se va a ensayar.
 - c) La rótula debe ser diseñada de tal forma que el acero en el área de contacto no sufra deformaciones permanentes debido al uso, con cargas de hasta 82,7 MPa (12,000 psi) sobre el espécimen de prueba.
 - d) Las superficies de la rótula se deben mantener limpias y lubricadas con aceite de motor convencional. Después de entrar en contacto con el espécimen y de aplicar una pequeña carga inicial, se debe evitar cualquier movimiento adicional del bloque con rótula.
 - e) Si el radio de la rótula es más pequeño que el radio del espécimen más grande a ser ensayado, la porción de la superficie de carga que se extiende más allá de la rótula debe tener un espesor no menor que la diferencia entre el radio de la esfera y el radio del espécimen. La menor dimensión de la superficie de carga debe ser al menos igual que el diámetro de la rótula (Ver Figura 1).
 - f) La porción móvil del bloque de carga se debe sostener lo más segura que sea posible, pero el diseño debe ser tal que la cara de carga pueda girar libremente e inclinarse al menos 4° en cualquier dirección.
- 4.1.3 Indicador de Carga – Si la carga de una máquina de compresión usada en el ensayo de concreto se registra en un dial, éste debe tener una escala graduada que permita leer con una precisión del 0,1% de la carga total de la escala.

(Nota 4). El dial debe ser legible dentro del 1% de la carga indicada a cualquier nivel de carga dado dentro del intervalo de carga. En ningún caso se debe considerar el intervalo de carga de un dial que incluya cargas por debajo del valor que sea 100 veces el más pequeño cambio de carga que se pueda leer sobre la escala. La escala debe tener una línea y un número que indique el cero (0). El puntero debe tener una longitud tal, que alcance las marcas indicadoras.

El espesor del extremo del puntero no debe exceder la distancia libre entre las graduaciones más pequeñas. Cada dial debe estar equipado con un dispositivo de ajuste al cero, accesible desde afuera, y con un indicador apropiado para que en todo momento y hasta cuando sea reiniciado indique, con una exactitud del 1%, la carga máxima aplicada al espécimen.

Nota 4. La distancia más cercana, razonablemente legible se considera que es 0,5 mm (0,02") a lo largo del arco descrito por el extremo del puntero.

Si la máquina de ensayos indica la carga en forma digital, el número debe ser suficientemente grande para que sea legible, con un incremento numérico igual o menor al 0,05% de la carga total de la escala y dentro del 1,0% de la carga indicada en cualquier nivel dentro del rango de valores de carga dados.

Se deben realizar los ajustes para que la aguja señale el cero verdadero cuando se encuentre con carga cero (0). Se debe proveer un indicador de carga máxima que, en todo momento, hasta cuando la máquina sea reiniciada, indique con una precisión del 1%, la carga máxima que fue aplicada al espécimen.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Las muestras no se deben ensayar si cualquier diámetro individual de un cilindro difiere de cualquier otro diámetro del mismo cilindro en más de 2% (Nota 5).

Nota 5. Esto puede ocurrir cuando uno de los moldes sea dañado o deformado durante su transporte, cuando se usen moldes flexibles y éstos se deformen durante el moldeo, o cuando una muestra proveniente del núcleo se deflece o tuerza durante el proceso de perforación.

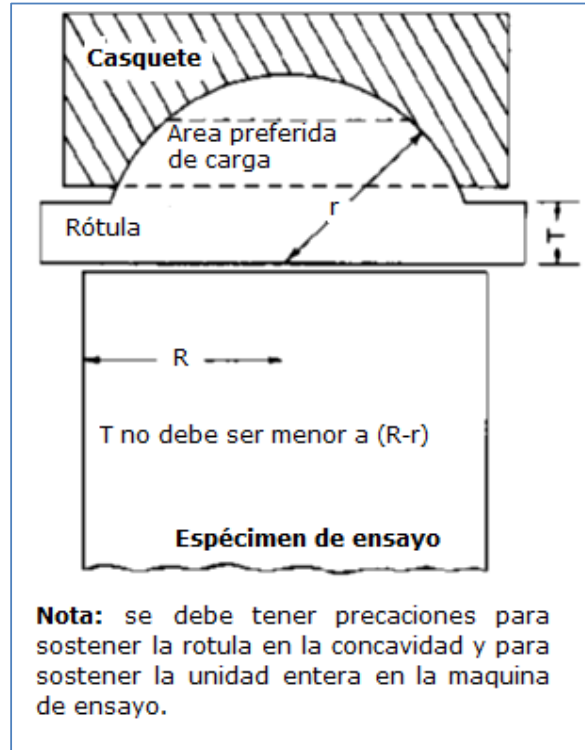


Figura 1 Dibujo esquemático de un bloque de carga típico con rótula

5.2 Ninguna de las muestras ensayadas a compresión se debe separar de la perpendicularidad del eje en más de $0,5^\circ$ (equivalentes a 3 mm en 300 mm (0,12" en 12") aproximadamente). El extremo de una muestra que no sea plana en 0.05 mm (0,002") debe ser refrentado de acuerdo a lo indicado por la norma MTC E 703 o cuando se le permita la NTP 339.216. El diámetro usado para calcular el área de la sección transversal de la muestra se debe determinar con una precisión de 0,25 mm (0,01"), promediando los dos diámetros medidos en ángulo recto uno con respecto al otro y en la mitad del espécimen.

5.3 El número individual de cilindros medidos para la determinación del diámetro promedio se puede reducir a uno por cada diez especímenes o tres especímenes por día, lo que sea mayor, si se sabe que todos los cilindros han sido hechos con un único lote de moldes reutilizables que consistentemente producen especímenes de diámetro promedio en una variación de 0,50 mm (0,02").

Cuando el diámetro promedio con un rango de variación de 0,50 mm o cuando los cilindros no están hechos con un único lote de moldes, cada cilindro ensayado se debe medir y el valor encontrado ser usado en los cálculos de la resistencia a la compresión de cada muestra. Cuando los diámetros son medidos con frecuencia reducida, el área de los cilindros ensayados en un determinado día se calculará como el promedio de la de los tres (3) o más cilindros que representan el grupo ensayado dicho día.

5.4 Si el cliente que requiere los servicios solicita la determinación de la densidad de la muestra, se debe determinar la masa de la muestra antes del refrentado. Se debe remover cualquier humedad de la superficie con una toalla y medir la masa de la muestra usando una balanza o báscula con una precisión del 0,3% de la masa que esté siendo medida. Se debe medir la longitud de la muestra con una aproximación de 1 mm (0,05") en tres partes espaciadas regularmente alrededor de la circunferencia. Se debe sacar un promedio de la longitud con una precisión de 1mm (0,05"). Alternativamente, se puede determinar la densidad del cilindro pesándolo en el aire y luego en el agua a $23^\circ \pm 2^\circ$ C, y calculando el volumen de acuerdo con lo indicado en la Sección 6.3.

Cuando no se requiera determinar la densidad y la relación longitud/diámetro del cilindro sea menor de 1,8 ó mayor de 2,2 la longitud de éste se deberá medir con una aproximación de 0,05 D.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 El ensayo de compresión de muestras curadas en agua se debe hacer inmediatamente después de que éstas han sido removidas del lugar de curado.
- 6.2 Las muestras se debe n mantener húmedas utilizando cualquier método conveniente, durante el período transcurrido desde su remoción del lugar de curado hasta cuando son ensayadas. Se deberán ensayar en condición húmeda.
- 6.3 Todos los especímenes de una edad determinada, se deben romper dentro de las tolerancias indicadas a continuación:

Tabla 2

Tolerancias de edad de ensayo de los especímenes

Edad del Ensayo	Edad del Ensayo
12 horas	0,25 o 2,1%
24 horas	± 0,5 horas o 2,1 %
3 días	2 horas ó 2,28%
7 días	6 horas ó 3,6%
28 días	20 horas 3,0%
56 días	40 horas ó 3,0%
90 días	2 días ò 2,2%

- 6.4 Colocación de la Muestra – Se coloca el bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de ensayo, directamente debajo del bloque superior.

Se limpian con un paño las superficies de los bloques superior e inferior y se coloca el espécimen sobre el bloque inferior.

Se alinea cuidadosamente el eje del espécimen con el centro de presión del bloque superior. El bloque con rótula se debe rotar inmediatamente antes de proceder al ensayo, para asegurar la libertad de movimiento requerida en la Sección 2.2.

Antes de ensayar el espécimen se debe verificar que el indicador de carga esté ajustado en cero.

- 6.5 Velocidad de Carga – Se aplica la carga continuamente sin golpes bruscos.

La carga se deberá aplicar a una velocidad correspondiente a una tasa de aplicación de carga comprendida en el rango de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s (35 ± 7 psi/s). La velocidad escogida se debe mantener, al menos, durante la segunda mitad del ciclo de ensayo, para la fase de carga prevista. Sin embargo, no se deberá ajustar la velocidad de movimiento a medida que se está alcanzando la carga última y la tasa de aplicación de carga decrece debido al agrietamiento del cilindro.

Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, se permite una velocidad de carga mayor, siempre que ésta se controle para evitar cargas por impacto.

Nota 6. Para máquinas de tipo tornillo o de deformación controlada, se requiere un ensayo preliminar para establecer la velocidad de movimiento requerida para generar la tasa de carga especificada. Dicha velocidad dependerá del tamaño del cilindro, del módulo elástico del concreto y de la rigidez de la máquina de ensayo

- 6.6 Se aplica la carga hasta que el indicador señale que ella comienza a decrecer de manera continua y el cilindro muestra un patrón de falla bien definido (Figura 2). Si se usa una máquina equipada con un detector de rotura del espécimen no se permitirá su reconexión hasta que la carga haya caído a un valor menor de 95% de la máxima.

Cuando se ensayan cilindros sin refrentar, puede ocurrir una fractura de esquina antes de alcanzar la carga última; en tal caso se debe continuar la compresión hasta que se tenga la certeza de haber alcanzado la carga última.

Se registra la carga máxima soportada por el cilindro durante el ensayo y se anota el patrón de falla de acuerdo con los modelos de la Figura 2, si se ajusta a alguno de ellos. En caso contrario se harán un dibujo y una descripción del tipo de falla producido.

Si la resistencia medida es muy inferior a la esperada, se examina el cilindro para detectar zonas con vacíos o con evidencias de segregación o si la fractura atraviesa partículas del agregado grueso y se verifican, también, las condiciones del refrentado.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Se calcula la resistencia a la compresión, dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, por el promedio del área de la sección transversal determinada en la forma descrita en la Sección 4.1.3, y expresando el resultado con una aproximación de 0,1 MPa (10 psi).
- 7.1.2 Si la relación entre la longitud del espécimen y su diámetro es 1,75 o menor, se corrige el resultado obtenido en la Sección 6.1, multiplicándolo por el factor apropiado de los que se indican a continuación (Nota 7):

L/D	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

Nota 7. Estos factores de corrección se aplican a concretos livianos que pesen entre 1600 y 1920 kg/m³ y a concretos de peso normal. Se aplican a concretos secos o húmedos en el momento de la carga. Los valores que no se dan en la tabla se pueden obtener por interpolación. Los factores de corrección se aplican a concretos con una resistencia entre 15 y 45 MPa (2000 a 6000 Psi). Para concretos de resistencia superior a 45 MPa (6000 psi) los factores de corrección pueden ser mayores que los mostrados en la tabla. Ver referencia: Barlett, F.M. y J.G. MacGregor. "Effect of Core Length-to-Diameter Ratio on Concrete Core Strength." ACI Materials Journal, Vol. 91, No. 4, July-August, 1994, pp. 339-348.

- 7.1.3 Cuando se requiera, se calculará la densidad de la muestra con una precisión de 10 kg/m³ (1lb/pie³), de la siguiente manera:

$$densidad = \frac{W}{V}$$

Donde:

W = masa aparente de la muestra sumergida, kg (lb), y

V = volumen de la muestra calculado con el diámetro promedio y la longitud promedio o pesando el cilindro en el aire y sumergido en agua, m³ (pie³)

Cuando el volumen es calculado sumergiendo la muestra, se determina de la siguiente manera:

$$V = \frac{W - W_s}{Y_w}$$

Donde:

W = masa de la muestra, kg (lb), y

Yw = densidad del agua a 23° C = 997,5 kg/m³ (62,27lbs/pie³).

7.2 INFORME

El informe de los resultados deberá incluir:

- 7.2.1 Número de identificación del cilindro.
- 7.2.2 Diámetro (y longitud, si está por fuera del rango de 1,8D a 2,2D) en mm o pulgadas.
- 7.2.3 Área de la sección transversal (cm² o pulgada²).
- 7.2.4 Carga máxima (KN o lbf).
- 7.2.5 Resistencia a la compresión (MPa o psi), con una precisión de 0,1MPa (10 psi).
- 7.2.6 Edad del espécimen.
- 7.2.7 Defectos en el refrentado del espécimen.
- 7.2.8 Cuando se determine, la densidad con una precisión de 10 kg/m³ (1lb/pie³)
- 7.2.9 Tipo de falla (Figura 2).

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 La precisión de los ensayos efectuados por un solo operador sobre cilindros individuales de 150 mm por 300 mm (6" x 12") elaborados de una buena muestra de concreto, para cilindros hechos en el laboratorio y bajo condiciones normales de campo, está dada en la tabla siguiente:

Un solo operador	Coeficiente de Variación	Rango aceptable de	
		Dos resultados	Tres resultados
Condiciones de laboratorio	2,37%	6,6%	7,8%
Condiciones de campo	2.87%	8.0%	9.5%

Los valores dados son aplicables a cilindros de 150 mm por 300 mm (6" x 12") con resistencia a la compresión entre 15 MPa y 55 MPa (2000 psi y 8000 psi).

8.2 DISPERSIÓN

- 8.2.1 Tolerancias – Como no existe un material de referencia aceptado para la determinación de las tolerancias, no se hace ninguna declaración sobre el particular.

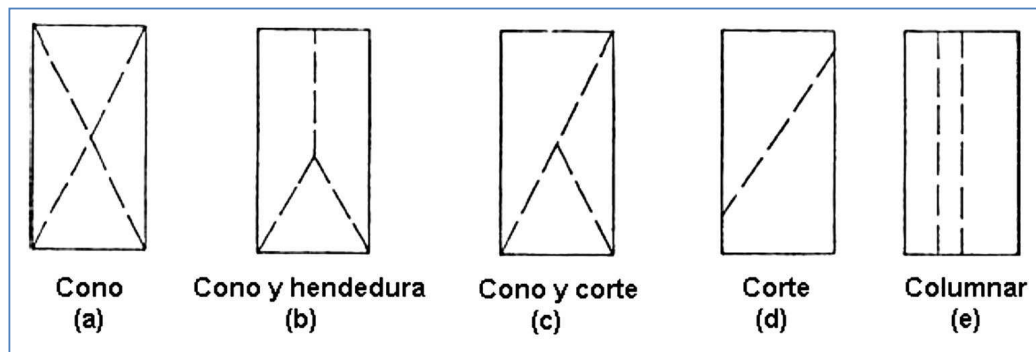


Figura 2. Esquemas de los tipos de falla

APÉNDICE A

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MUESTRAS CILINDRICAS DE CONCRETO CON REFRENTADO DE NEOPRENO.

A.1 OBJETIVO

Este método cubre el procedimiento para el ensayo de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto de 150mm (6") de diámetro por 300 mm (12") utilizando refrentado de neopreno con reguladores de fijación de acero.

Se deben tomar provisiones para sistemas alternos reutilizables de refrentado los cuales emplean otros materiales para la almohadilla y la fijación, diferentes del neopreno y del acero.

A.2 FINALIDAD Y ALCANCE

El uso de refrentado de neopreno deberá ser considerado como una alternativa adecuada para los ensayos de resistencia a la compresión. Los sistemas alternos de refrentado reutilizables deben ser verificados de acuerdo a las secciones A10 y A11.

A.3 EQUIPO

Se deben utilizar 2 reguladores de fijación de acero (ver Tabla A1). Una configuración aceptable para ellos se muestra en la Figura 3.

Todas las superficies de carga del regulador, tanto las interiores como exteriores, deben ser perfiladas con máquina con una precisión de 0,05 mm (0,002"). Durante su uso, la superficie de carga exterior se debe mantener libre de estrías, o indentaciones de profundidad mayor a 0,25 mm (0,010") o con área de superficie de 32 mm² (0,05 pulg²). Tampoco se admiten protuberancias de cualquier tipo.

Tabla A1. Tolerancias

Diámetro interior del regulador	0mm (0")	+0,8mm(+1/32")
Pared del regulador	-1,6mm (-1/16")	-1,6mm (-1/16")
Cualquier tolerancia no especificada	-0,4mm (-1/64")	+0,4mm (+1/64")

Los casquetes de neopreno deben cumplir los requerimientos de la norma ASTM D 2000. Sus dimensiones deberán ser 155mm (6,12") de diámetro y 12,7mm (5") de espesor.

Se requiere una máquina de ensayo a la compresión que cumpla los requerimientos del método principal de ensayo.

A.4 PRECAUCIONES

Los cilindros de concreto ensayados con refrentado de neopreno se rompen con mayor intensidad que los cilindros similares ensayados con refrentado de mortero de azufre. Como una precaución de seguridad, la máquina de ensayo de cilindros deberá estar equipada con una cabina protectora.

La velocidad de carga para algunas máquinas de ensayo tendrá que ser ajustada cuando se utilice refrentado de neopreno.

A.5 MUESTRAS DE ENSAYO

Las muestras de ensayo deben ser las especificadas en el método de ensayo principal y modificado como se explica a continuación:

Cada extremo del cilindro de concreto deberá ser nivelado con un margen dentro de 3 mm (0,12") a través de cualquier diámetro; es decir, no deberá haber ninguna depresión en las superficies del concreto con profundidad mayor de 3 mm (0,12").

Los cilindros que no cumplan con esta tolerancia no deberán ser ensayados, a menos que sea corregida primero cualquier irregularidad de la superficie.

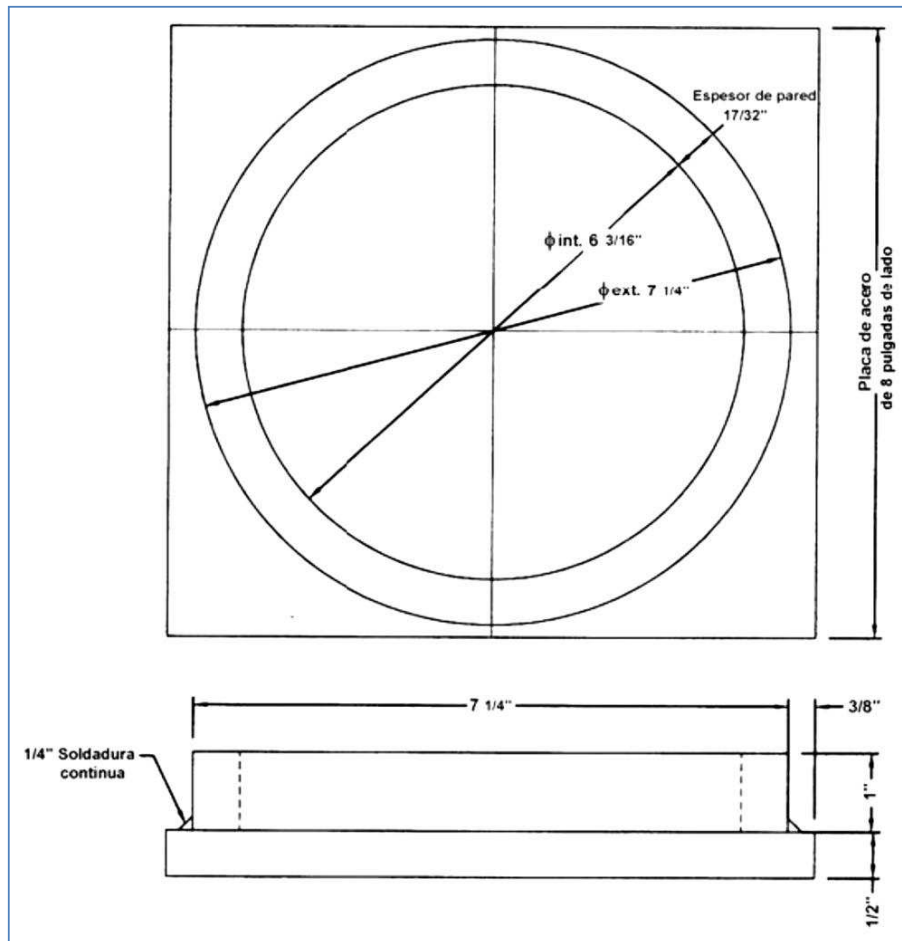


Figura 3. Regulador externo de fijación

Ninguno de los extremos de las muestras de ensayo a compresión se deberá separar de la perpendicularidad al eje en más de 2° (aproximadamente igual a la diferencia en altura de 5 mm (0,2") para dos cilindros de diámetro 150 mm (6").

Los cilindros que no cumplan esta tolerancia no se deberán ensayar, a menos que se corrija primero esta irregularidad.

A.6 PROCEDIMIENTO

El procedimiento a seguir deberá ser el especificado en el método principal de ensayo, modificado como se indica a continuación:

Se coloca un regulador externo de fijación conteniendo un casquete de neopreno, en las superficies superior e inferior del cilindro de concreto. Con los casquetes de neopreno en contacto con el cilindro de concreto, se alinea cuidadosamente el eje de la muestra con el centro de empuje del bloque de carga con rótula. Se colocan las placas de carga de la máquina en contacto con ambos reguladores externos de fijación.

No debe haber partículas sueltas entre el cilindro de concreto y el casquete de neopreno ó entre las superficies de carga de los reguladores externos de fijación y las placas de carga de la máquina de ensayo.

La misma superficie del casquete de neopreno deberá descansar sobre el cilindro de concreto para todos los ensayos realizados con ese mismo casquete. Cada casquete de neopreno no

deberá ser utilizado para más de 100 cilindros. La duración de almohadillas alternativas deberá ser verificada de acuerdo con la sección A.11.

A.7 cálculos

La resistencia a la compresión deberá ser calculada como se describe en la Sección 7.1 de la presente norma.

A.8 INFORME

El informe de los resultados debe incluir todos los ítems anotados en la Sección 8 prescritos en esta norma.

A.9 PRECISIÓN

La variación en el ensayo asociada al refrentado con neopreno no es más alta y posiblemente sea más baja que la asociada al refrentado con azufre. Los resultados de un estudio indican que los coeficientes de variación asociados al refrentado con neopreno estuvieron dentro del rango 0,0 a 4,0 %, considerado para representar un excelente control.

Los refrentados de neopreno se deben considerar como un sustituto aceptable del refrentado de azufre sin correcciones por diferencias aparentes de resistencia.

A.10 SISTEMAS ALTERNOS DE REFRENTADO REUTILIZABLE

Existen diversos sistemas comerciales que emplean almohadillas de refrentado reutilizables, fabricadas con materiales diferentes al neopreno y reguladores externos de fijación con metales distintos al acero. Un sistema de refrentado reutilizable alternativo podrá ser empleado siempre que el siguiente criterio y las verificaciones del fabricante, y de la agencia (o del comprador) sean satisfechos.

A.11 CRITERIOS PARA ACEPTAR SISTEMAS ALTERNOS DE REFRENTADO REUTILIZABLE

El sistema debe emplear refrentados reutilizables retenidos en los reguladores externos de fijación. Las tolerancias de todas las superficies de carga de los reguladores externos de fijación deberán cumplir los requerimientos de la sección A.

El refrentado reutilizable deberá suministrar un espesor compresible de mínimo 12,7 mm (0,5") en toda el área de carga. El fabricante deberá producir un refrentado reutilizable que sea uniforme en dimensiones y propiedades físicas.

A.11.1 Verificación por parte del fabricante de los sistemas de refrentado reutilizable:

El fabricante deberá suministrar resultados de un experimento factorial de dos factores, con el método de refrentado como factor principal y una tanda de concreto como factor secundario. Para la estimación de varianzas por error, interacción entre factores, o para factores, el factor del sistema de refrentado deberá ser considerado como una variable fija y el factor de la tanda como una aleatoria. El experimento deberá ser repetido a tres niveles de la resistencia del concreto a los 28 días, representando un rango de resistencia promedio de 15 a 45 MPa (2000 a 6000 psi), como 15 (2000), 30 (4000), 45 (6000) MPa (psi). El nivel de significación del ensayo F para medir la significación de la diferencia entre varianzas deberá ser 0,05.

Al conducir el experimento, un mínimo de ocho tandas de cuatro cilindros por tanda deberán ser preparadas para cada nivel de resistencia, proporcionando dos réplicas para cada método de refrentado por combinación de tanda. Dentro de cada tanda se deben escoger aleatoriamente igual número de cilindros para ensayarlos con el sistema de refrentado reutilizable y por el método del azufre (norma MTC E 703). La secuencia de ensayo para el método refrentado por tanda por nivel de resistencia se deberá hacer aleatoriamente. Si las instalaciones del laboratorio no permiten fabricar todos los cilindros en un solo día, los cilindros para un nivel completo de resistencia deberán ser fabricados en tres días sucesivos; la secuencia de ensayo por el método de refrentado por tanda será aleatoria. Se deberá emplear un grupo de almohadillas nuevas para todos los ensayos dentro de cada nivel de

resistencia. A opción del fabricante, se podrá utilizar un grupo de almohadillas nuevas para todos los ensayos en todos los niveles de resistencia; pero la secuencia de ensayo por el método de refrentado por tanda por nivel de resistencia deberá ser aleatorias.

Las equivalencias estadísticas específicas que el fabricante debe demostrar deberán ser como se indica a continuación:

El análisis de la varianza de cada nivel de resistencia no deberá mostrar un efecto significativo del método de refrentado.

El promedio de las diferencias en resistencia estimado entre los métodos de refrentado utilizando los promedios de las celdas para cada método de refrentado por tanda por nivel de resistencia no deberá ser significativamente diferente de cero. Se deberá utilizar el ensayo testigo t con un nivel de significancia de 0,10.

Nota A.1. Una referencia que describe experimentos factoriales es "Fundamental Concepts in the Design of Experiments" de Charles R. Hicks, publicado por Holt, Rinehart, y Winston

A.11.2 Verificación de los sistemas de refrentado reutilizable por parte de la agencia (o del comprador):

Antes de implementar un sistema de refrentado reutilizable, la agencia (o el comprador) deberá llevar a cabo una evaluación interna comparando resistencia a la compresión y la variabilidad para grupos de cilindros de campo fabricados de las mismas muestras de concreto; el sistema de refrentado reutilizable deberá ser comparado con el descrito en la norma INV E – 403. El ensayo testigo t deberá ser utilizado con un nivel de significancia de 0,10.

Se deberán comparar un mínimo de 30 grupos de cilindros para la resistencia a la compresión para una evaluación con un grupo de almohadillas reutilizables; sin embargo, el número de grupos se debe incrementar (para determinar la vida útil) si el refrentado reutilizable no ha desarrollado un daño visible como rajaduras, ranuras o compresión permanente en el área de carga en 30 repeticiones. La evaluación se deberá repetir al menos una vez con un nuevo grupo de refrentado reutilizable. Se deberán utilizar cilindros de control de trabajo de dos o más por grupo obtenidos de la misma muestra. Si los cilindros son obtenidos de tandas sucesivas en el laboratorio, la selección de los cilindros se deberá hacer aleatoriamente entre tandas por método de refrentado.

La agencia (o comprador) deberá rechazar un sistema de refrentado reutilizable si la evaluación interna muestra una diferencia significativa en la resistencia a la compresión o en la variabilidad en relación con el procedimiento de la norma MTC E 703.

La agencia (o comprador) deberá reservarse el derecho a rechazar un sistema de refrentado reutilizable si el número de posibles repeticiones o la vida útil de un grupo de almohadillas no son aceptable para la agencia (o para el comprador).

Nota A.2. Este método es acorde técnicamente con la norma ASTM C 3 9-04a, excepto por el uso del sistema internacional de unidades y el apéndice A

MTC E 705**ASENTAMIENTO DEL CONCRETO (SLUMP)****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer el método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto en las obras y en el laboratorio.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este ensayo no es aplicable cuando el concreto contiene una cantidad apreciable de agregado grueso de tamaño mayor a 37,5 mm (1½") o cuando el concreto no es plástico o cohesivo. Si el agregado grueso es superior a 37,5 mm (1½"), el concreto deberá tamizarse con el tamiz de este tamaño según la norma MTC 701 "Muestras de Concreto Fresco".
- 2.2 Concretos que presenten asentamientos menores a 15 mm (1/2") pueden no ser adecuadamente plásticos y concretos que presenten asentamientos mayores a 230 mm (9") pueden no ser adecuadamente cohesivos para que este ensayo tenga significado. Se debe tener precaución en la interpretación de estos resultados.
- 2.3 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.
- 2.4 Esta norma no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien emplee esta norma el establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y el determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.035 HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento portland.
- 3.2 AASHTO: T 119M Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete.
- 3.3 ASTM: C 143 Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete.

4.0 EQUIPO**4.1 EQUIPO**

- 4.1.1 Molde – Debe ser metálico, inatacable por el concreto, con espesor de lámina no inferior a 1,14 mm (0,045"). Su forma interior debe ser la superficie lateral de un tronco de cono de 203 ± 2 mm (8" ± 1/8") de diámetro en la base mayor, 102 ± 2 mm (4" ± 1/8") de diámetro en la base menor y 305 ± 2 mm (12" ± 1/8") de altura. Las bases deben ser abiertas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cono. El molde debe estar provisto de agarraderas y de dispositivos para sujetarlo con los pies, como se indica en la Figura 1. La costura de la lámina debe ser esencialmente como la indicada en la Figura 1. El interior del molde debe estar libre de abolladuras, ser liso y sin protuberancias.
- 4.1.2 Varilla compactadora – Debe ser de hierro liso, cilíndrica, de 16 mm (5/8") de diámetro y de longitud aproximada de 600 mm (24"); el extremo compactador debe ser hemisférico con radio de 8 mm (5/16").

5.0 MUESTRA

La muestra que se utiliza en el ensayo debe ser representativa del concreto. Dicha muestra se debe obtener de acuerdo con la norma MTC 701.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se humedece el molde y se coloca sobre una superficie horizontal rígida, plana, húmeda y no absorbente. Se sujeta firmemente con los pies y se llena con la muestra de concreto en tres capas, cada una de ellas de un tercio del volumen del molde, aproximadamente.

Un tercio del volumen del molde corresponde, aproximadamente, a una altura de 67 mm; dos tercios del volumen corresponden a una altura de 155 mm.

- 6.2 Cada capa debe compactarse con 25 golpes de la varilla, distribuidos uniformemente sobre su sección transversal. Para la capa del fondo es necesario inclinar ligeramente la varilla dando aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro y avanzando con golpes verticales en forma de espiral, hacia el centro. La capa del fondo se debe compactar en todo su espesor; las capas intermedia y superior en su espesor respectivo, de modo que la varilla penetre ligeramente en la capa inmediatamente inferior.
- 6.3 Al llenar la capa superior se debe apilar concreto sobre el molde antes de compactar. Si al hacerlo se asienta por debajo del borde superior, se debe agregar concreto adicional para que en todo momento haya concreto sobre el molde. Después que la última capa ha sido compactada se debe alisar a ras la superficie del concreto. Inmediatamente el molde es retirado, alzándolo cuidadosamente en dirección vertical.

El concreto del área que rodea la base del cono debe ser removido para prevenir interferencia con el proceso de asentamiento. El alzado del molde debe hacerse en un tiempo aproximado de 5 ± 2 segundos, mediante un movimiento uniforme hacia arriba, sin que se imparta movimiento lateral o de torsión al concreto.

La operación completa, desde que se comienza a llenar el molde hasta que se retira, se debe hacer sin interrupción en un tiempo máximo de 2 minutos 30 segundos.

El ensayo de asentamiento se debe comenzar a más tardar 5 minutos después de tomada la muestra.

- 6.4 Inmediatamente después, se mide el asentamiento, determinando la diferencia entre la altura del molde y la altura medida sobre el centro original de la base superior del espécimen.

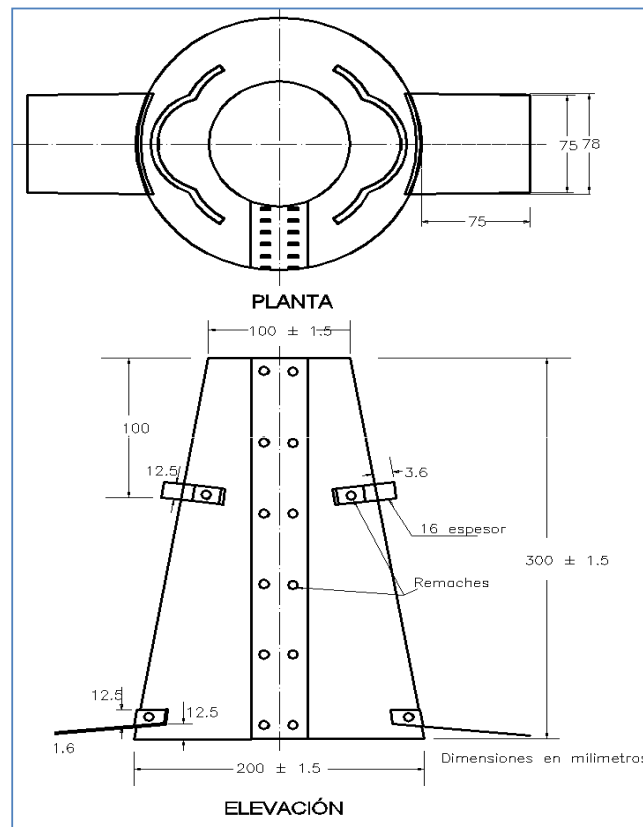


Figura 1. Molde para determinar el asentamiento



Si ocurre un derrumbamiento pronunciado o desprendimiento del concreto hacia un lado del espécimen, se debe repetir el ensayo sobre otra porción de la muestra. Si dos ensayos consecutivos sobre una muestra de concreto dan este resultado, el concreto carece probablemente de la plasticidad y cohesión necesarias para que el ensayo de asentamiento sea aplicable.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME

Se debe anotar el asentamiento del espécimen con aproximación al medio centímetro.

MTC E 706**CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO FRESCO METODO DE PRESION****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer el procedimiento de ensayo para determinar el contenido de aire en concreto fresco hecho con agregados relativamente densos, observando el cambio de volumen ocasionado por un cambio en la presión sobre el concreto.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Para determinar el contenido de aire en concreto fresco hecho con agregados livianos, escorias de alto horno enfriadas al aire o agregados de alta porosidad, se usa el método volumétrico establecido en las norma ASTM C 173.
- 2.2 Los valores dados en unidades SI deben ser considerados como la norma.
- 2.3 Esta norma no involucra las debidas precauciones de seguridad que se deben tomar para la manipulación de materiales y equipos aquí descritos, ni establece pautas al respecto para el desarrollo de cada proceso en términos de riesgo y seguridad industrial. Es responsabilidad del usuario, establecer las normas apropiadas con el fin de minimizar los riesgos en la salud e integridad física, que se puedan generar debidos a la ejecución de la presente norma y determinar las limitaciones que regulen su uso.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.083 Método de ensayo normalizado para contenido del aire de mezcla de hormigón (concreto) fresco por el método de presión.
- 3.2 ASTM C 231 Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method.
- 3.3 AASHTO T 152 Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method

4.0 EQUIPO Y MATERIALES**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Medidores de aire – Existen dos diseños que se basan en la ley Boyle y que para propósitos de referencia se designan como el tipo A y el tipo B.
- 4.1.1.1 Medidor tipo A – Se compone de un recipiente de medida y su cubierta, que deben cumplir lo especificado en las Secciones 4.1.2 y 4.1.3. El procedimiento consiste en introducir agua hasta una determinada altura sobre una muestra de concreto de volumen conocido; aplicar una determinada presión sobre el agua y observar el descenso de su nivel, lo cual indica una reducción del volumen del aire de la muestra de concreto (Figura 1).
- 4.1.1.2 Medidor tipo B – Se compone de un recipiente de medida y su cubierta, que deben cumplir lo especificado en las Secciones 4.1.2 y 4.1.3. El procedimiento consiste en igualar un volumen determinado de aire a presión conocida, con el volumen desconocido de aire en la muestra de concreto (Figura 2). Se recomiendan presiones de trabajo comprendidas entre 51 y 207 kPa (7,5 a 30 psi).
- 4.1.2 Recipiente de medida – Debe ser cilíndrico, de acero u otro metal duro no atacable por la pasta de cemento y tener una brida o un sistema que garantice junta hermética con la cubierta para lo cual la superficie de contacto debe ser pulida. Su rigidez debe ser suficiente para limitar el factor de expansión D (Sección A.9), hasta el 0,1% del contenido de aire que se está midiendo.

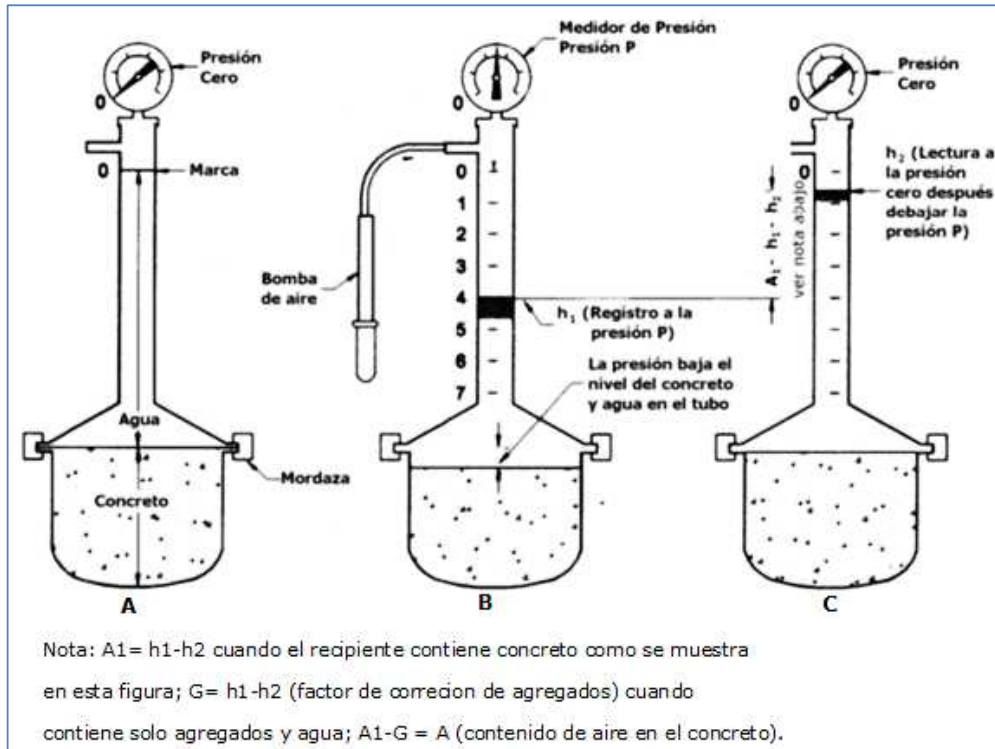


Figura 1. Medidor Tipo A

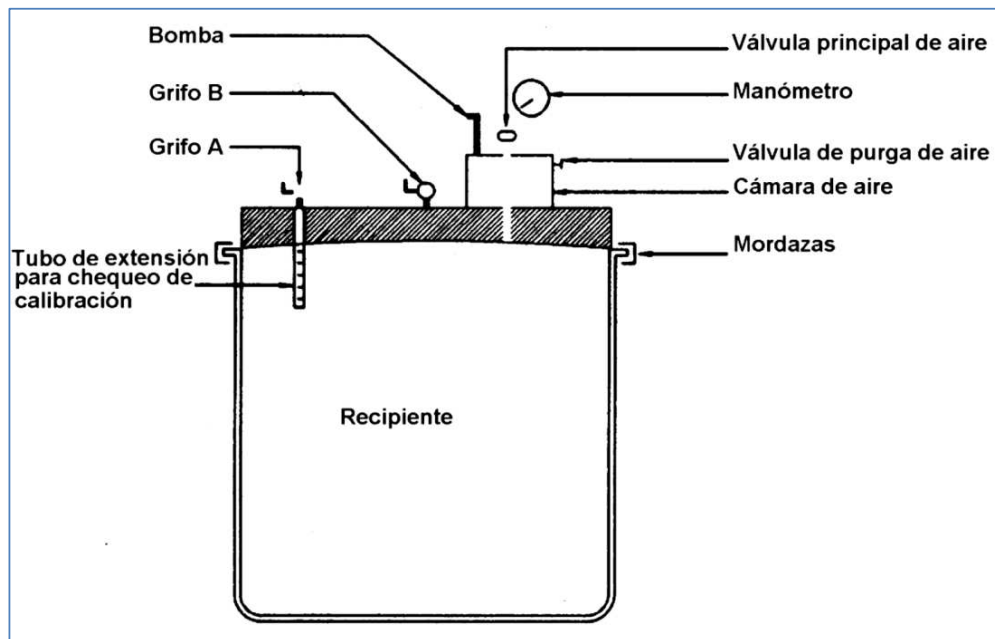


Figura 2. Medidor Tipo B

4.1.3 Cubierta – Debe ser de acero u otro material duro no atacable por la pasta de cemento y tener una brida o un sistema que garantice junta hermética (sin aire atrapado en ella) con el recipiente, para lo cual la superficie de contacto debe ser pulida. Su forma debe ser tal, que deje un espacio libre sobre la parte superior del recipiente. Su rigidez debe ser suficiente para limitar el factor de expansión D hasta el 0,1% del contenido de aire que se está midiendo.

La cubierta debe tener un dispositivo de lectura directa del contenido de aire. En el medidor Tipo A, debe ser un tubo vertical transparente, graduado y de diámetro constante. En el medidor Tipo B, el manómetro debe indicar porcentajes de aire. La escala de graduación para contenido de aire debe llegar por lo menos al 8% con aproximación al 0,1%.

Se debe disponer de una bomba manual ya sea acoplada a la cubierta o como un accesorio.

- 4.1.4 Vaso de calibración – Debe tener dimensiones tales que su volumen sea igual a un porcentaje del volumen del recipiente de medida, que corresponda al contenido aproximado de aire en el concreto bajo ensayo; si es más pequeño, debe ser posible verificar la calibración del indicador de medida, al porcentaje aproximado de aire en el concreto bajo ensayo, llenando repetidamente el vaso. Cuando el diseño del medidor de aire requiera la colocación del vaso de calibración dentro del recipiente de medida para verificar la calibración, el vaso debe ser cilíndrico y con una profundidad interior 13 mm ($\frac{1}{2}$ ") más pequeña que la del recipiente de medida. Cuando el diseño del medidor requiera la extracción de agua del conjunto recipiente-cubierta lleno de agua, con propósito de verificar la calibración, el vaso puede ser una parte integral de la cubierta o puede ser un vaso cilíndrico separado, similar al descrito anteriormente.
- 4.1.5 Otros aparatos adicionales cuyo empleo depende del tipo y marca del medidor son:
 - 4.1.5.1 Resorte o dispositivo similar para sostener el vaso de calibración en el sitio deseado.
 - 4.1.5.2 Tubo de rociado, el cual debe tener una forma tal, que no se perturbe el concreto al agregar agua al recipiente.
 - 4.1.5.3 Varilla de apisonado, con un diámetro de 16 mm y longitud de 400 mm aproximadamente y con un extremo redondeado.
 - 4.1.5.4 Maceta con cabeza de caucho de $0,57 \pm 0,23$ kg ($1,25 \pm 0,50$ lb) para medidores de volumen < 14 dm³ (0,5 pies³) o de $1,02 \pm 0,23$ kg ($2,25 \pm 0,50$ lb) para medidores de volumen > 14 dm³ (0,5 pies³).
 - 4.1.5.5 Platina de enrasado, palustre, embudo, medidor de agua, vibrador, tamices.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Calibración del equipo: Se deben calibrar los distintos aparatos con el objeto de asegurar su correcto funcionamiento y determinar la presión de operación del medidor usado, según lo indicado en el Apéndice.
- 5.2 Preparación de la muestra: la obtención de la muestra se hace de acuerdo a la norma MTC E 701. Si la mezcla contiene agregado grueso de tamaño mayor de 37,5 mm ($1\frac{1}{2}$ ") se debe pasar el concreto fresco sobre el tamiz correspondiente a ese tamaño, antes de tomar la muestra.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Colocación y compactación de la muestra
 - 6.1.1 Apisonado - Se coloca una muestra representativa de concreto en el recipiente de medida, en 3 capas de volumen aproximadamente igual. Se compacta cada capa de concreto por medio de 25 golpes de varilla distribuidos uniformemente sobre la sección. Después de apisonar cada capa se golpean suavemente los lados del recipiente 10 a 15 veces con la maceta hasta llenar cualquier vacío producido por el apisonado. Se debe tener cuidado de no golpear el fondo del recipiente al apisonar la primera capa; para el apisonado de las dos capas restantes se debe emplear la fuerza suficiente para que la varilla penetre alrededor de 25 mm (1") en la capa anteriormente apisonada.
 - 6.1.2 Vibrado - Este método de compactación se aplica para concreto de asentamiento menor de 75 mm (3"). Se coloca una muestra representativa de concreto en el recipiente, en dos capas de volumen aproximadamente igual. Se debe evitar un sobrellenado excesivo al colocar la

última capa. Se compacta cada capa insertando uniformemente tres veces el vibrador. El vibrador no debe tocar el fondo ni las paredes del recipiente y se debe retirar cuidadosamente para no dejar burbujas de aire en la muestra. Se debe conservar el mismo tiempo de vibración para el mismo tipo de concreto, vibrador y recipiente utilizados. El tiempo de vibrado, depende de la manejabilidad del concreto y de la efectividad del vibrador. Hay suficiente vibración cuando la superficie resultante sea lisa y brillante.

- 6.1.3 Enrasado - Terminada la compactación se debe enrasar la superficie del concreto, haciendo pasar la platina hasta que la superficie quede perfectamente lisa. Se puede añadir una pequeña cantidad de mezcla para corregir cualquier deficiencia. Lo ideal es rebajar una altura de 3 mm (1/8") durante esta operación. Si el sobrante es excesivo, se debe retirar un poco con un palustre o una cuchara antes de enrasar.

6.2 Medidor Tipo A

- 6.2.1 Preparación para el ensayo - Se limpian los bordes del recipiente con el objeto de que la junta de la cubierta sea cierre hermético. Se ensambla el aparato y se agrega agua sobre el concreto hasta aproximadamente la mitad de la escala. El aparato ensamblado se inclina aproximadamente 30° usando como apoyo el fondo del recipiente; se describen varios círculos completos con el extremo superior y se golpea simultáneamente la cubierta para eliminar las burbujas de aire atrapadas en la muestra. Se coloca nuevamente el aparato en posición vertical y se llena de agua hasta la marca cero, mientras se golpean ligeramente los lados del recipiente. Se quita la espuma de la superficie de la columna de agua por medio de una pera de caucho, con el objeto de obtener un menisco claro. Antes de cerrar el tubo se agrega agua para llevar su superficie libre hasta la marca cero.

La superficie interna del recipiente y la cubierta se deben conservar limpias y libres de aceites o grasas; deben estar húmedas para prevenir la adherencia de burbujas de aire que son difíciles de retirar después de ensamblado el aparato.

- 6.2.2 Procedimiento de ensayo - Por medio de la bomba manual se aplica la presión de ensayo P aumentada aproximadamente en 1380 KPa (0,2 psi) y se golpean las paredes del recipiente; cuando el manómetro indique la presión del ensayo P, se lee y se registra la marca en la escala (h_1 , Figura 1B). En muestras extremadamente duras puede ser necesario golpear vigorosamente hasta que no se produzca alteración alguna en el contenido de aire indicado. Se elimina gradualmente la presión golpeando al mismo tiempo los lados del recipiente, durante 1 minuto. Se lee y se registra la marca en la escala (h_2 , Figura 1C). El contenido aparente de aire es:

$$A_1 = h_1 - h_2$$

Donde:

A_1 = contenido aparente de aire,

h_1 = lectura del nivel de agua a la presión P, y

h_2 = lectura del nivel de agua a una presión de cero, después de liberar la presión P.

Se repite el procedimiento sin añadir agua para establecer el nivel cero. En dos determinaciones consecutivas las lecturas no deben variar en más de 0,2%, y se tomará el promedio para el cálculo del contenido de aire A_s (Sección 7.0)

En caso que el contenido de aire exceda la capacidad de la escala, cuando se opera a presión de ensayo P, se repite el ensayo con una presión inferior P1.

Se puede calcular un valor aproximado de la presión inferior P1, tal que el contenido aparente de aire sea igual al doble de la lectura de la escala, empleando la siguiente ecuación.

$$P_1 = \frac{Pa \times P}{2Pa + P}$$

Donde:

P_1 = presión inferior de ensayo, KPa (psi),

P_a = presión atmosférica, KPa (psi), y

P = presión de ensayo o presión del manómetro KPa (psi).

6.3 Medidor Tipo B

6.3.1 Preparación para el ensayo – Se limpian los bordes del recipiente con el fin de que la junta de la cubierta sea cierre hermético. Se ensambla el aparato. Se cierra la válvula entre la cámara y el recipiente (válvula N° 1) y se abren los dos grifos de la cubierta. Con una pera de caucho, se inyecta agua a través de uno de los grifos preferiblemente el A, hasta que el agua salga por el otro. Se golpea suavemente la tapa del medidor para eliminar las burbujas de aire atrapadas.

6.3.2 Procedimiento de ensayo – Se cierra la válvula de la cámara (válvula N° 2) y se bombea aire hasta que el puntero del manómetro coincida con la línea de presión inicial. Se dejan transcurrir unos segundos hasta que el aire comprimido llegue a temperatura normal. Se estabiliza el puntero del manómetro en la línea de presión inicial bombeando o dejando escapar aire y golpeándolo suavemente. Se cierran los grifos A y B. Se abre la válvula que comunica la cámara de presión con el recipiente de medida (válvula N° 1). Se golpea vigorosamente alrededor del recipiente y a continuación se golpea suavemente el manómetro y se lee el porcentaje de aire en este último. Antes de remover la cubierta se abren los grifos A y B.

6.4 Determinación del factor de corrección del agregado - Se determina el factor de corrección del agregado sobre una muestra combinada de agregado fino y grueso, como se describe en esta sección. Se determina independientemente aplicando la presión de calibración a una muestra de agregado fino y grueso sumergida, de la misma condición de humedad, cantidad y proporciones en que se encuentran en la muestra de concreto del ensayo.

6.4.1 Cantidad del agregado en la muestra – La masa de los agregados fino y grueso se determina usando las siguientes ecuaciones:

$$F_s = \frac{s}{B} \times F_b$$

$$C_s = \frac{s}{B} \times C_b$$

Donde:

F_s = peso del agregado fino en la muestra de concreto bajo ensayo en kg.

s = volumen de la muestra (igual al volumen del recipiente) en m^3

B = volumen total del concreto por bachada, en m^3

F_b = peso total del agregado fino en kg.

C_s = peso del agregado grueso en la muestra, en kg.

C_b = peso total del agregado grueso, en kg.

6.4.2 Colocación del agregado en el recipiente – Se llena el recipiente con agua hasta 1/3 de su capacidad. Se mezclan muestras representativas de agregado fino F_s y de agregado grueso C_s , y se colocan poco a poco en el recipiente agitándolas para evitar la incorporación de aire y eliminando la espuma que se forme.

Si es necesario, se debe agregar agua hasta cubrir el agregado. Se golpean los lados del recipiente y se compacta suavemente la parte superior de la muestra con la varilla de apisonado, de 8 a 12 veces.

6.4.3 Determinación del factor de corrección – Antes de continuar la determinación del factor de corrección, se debe dejar transcurrir un tiempo igual al empleado desde el momento de agregar agua a los materiales hasta el momento de hacer el ensayo del contenido de aire.

6.4.3.1 Medidor de tipo A – El factor de corrección G , es igual a:

$$G = h_1 - h_2$$

Donde h_1 y h_2 se determinan en forma similar a lo descrito en la sección 6.2.

6.4.3.2 Medidor de tipo B – Se realiza el ensayo descrito en la sección 6.3.

Del aparato ensamblado y lleno se saca un volumen de agua equivalente aproximadamente al volumen del recipiente y se completa el ensayo tal como se describe en la sección 6.3. El factor de corrección G , es igual a la lectura en la escala del contenido de aire menos el volumen de agua sacado del recipiente (figura 2).

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 Contenido de aire de la muestra bajo ensayo. Se calcula mediante la siguiente ecuación

$$As = A_1 - G$$

Donde:

As = contenido de aire de la muestra, en porcentaje.

A_1 = contenido aparente de aire de la muestra, en porcentaje (secciones 6.2 y 6.3)

G = factor de corrección del agregado, en porcentaje (sección 6.4)

7.2 Contenido de aire de la mezcla completa – Se calcula por la siguiente ecuación:

$$A_1 = \frac{100 \cdot As \cdot V_c}{100 \cdot V_t - As \cdot V_a}$$

Donde:

A_t = contenido de aire de la mezcla completa, en porcentaje.

V_c = volumen absoluto de los componentes de la mezcla, menores de 37,5 mm libres de aire, tal como se terminan a partir de los pesos originales de mezcla en m^3 .

V_t = volumen absoluto de todos los componentes de la mezcla, libres de aire, en m^3 .

V_a = volumen absoluto de los agregados en la mezcla densa, mayores de 37,5 mm tal como se determina a partir de los pesos originales de la mezcla, en m^3 .

7.3 Contenido de aire de la fracción de mortero – Se calcula por la siguiente ecuación:

$$A_m = \frac{100 \cdot As \cdot V_c}{100 \cdot V_m - As \cdot (V_c - V_m)}$$

Donde:

A_m = contenido de aire de la fracción de mortero, en porcentaje.

V_m = volumen absoluto de los componente de la fracción de mortero de la mezcla, libre de aire, en m^3 .

APÉNDICE: CALIBRACIÓN DE APARATOS

- A.1 Tanto el medidor A como el medidor tipo B, deben tratarse con cuidado para evitar que se afecte su calibración. La calibración del medidor tipo A, se afecta con los cambios de presiones barométricas, no así la del medidor tipo B.
- A.2 Los pasos descritos en los numerales A.6 y A.10 son requisitos para la calibración final que se hacen para determinar la presión de operación P en el manómetro del medidor tipo A, tal como se describe en el numeral A.11, o sirven para determinar la precisión de las divisiones del manómetro del medidor tipo B.
- A.3 Normalmente solo deben hacerse una vez los pasos indicados en los numerales A.6 a A.10 (en la calibración inicial), u ocasionalmente para comprobar el volumen del cilindro de calibración y del recipiente de medida. Por otro lado, el ensayo de calibración descrito en los numerales A.11 a A.13 debe hacerse cuando se considere necesario, con el objeto de asegurar el uso de la presión manométrica apropiada P, en el medidor tipo A, o que la indicación del contenido de aire en la escala del medidor tipo B sea correcta.
- A.4 Un cambio de altitud de más de 183 m (600 pies) desde el sitio en que se ha calibrado un medidor tipo A, hacen necesaria una nueva calibración de conformidad con el numeral A.11.
- A.5 Los ensayos de calibración deben hacerse de acuerdo con los siguientes procedimientos según sea el tipo de medidor empleado.
- A.6 Medida de la capacidad del vaso de calibración. Determínese con exactitud el peso de agua w, requerido para llenar el vaso de calibración, usando una balanza que permita determinar 0,1 % del peso del vaso lleno con agua. Esta operación podrá realizarse para los medidores tipo A y tipo B.
- A.7 Calibración del recipiente de medida. Determínese el peso del agua W, requerido para llenar el recipiente de medida, usando una balanza que permita determinar 0,1% del peso del recipiente lleno con agua. Colóquese una placa de vidrio sobre la brida del recipiente, de tal manera que garantice que aquel quede completamente lleno de agua. Una capa delgada de grasa en la brida del recipiente hace hermética la junta entre la placa de vidrio y la parte superior del recipiente. Esta operación podrá efectuarse para los medidores tipo A y tipo B.
- A.8 Volumen efectivo del recipiente de calibración. La constante R, representa el volumen efectivo del vaso de calibración expresado como porcentaje del volumen del recipiente de medida.

- a) Para medidor tipo A, se calcula R por la siguiente ecuación:

$$R = 0,98 w/W$$

Donde:

w = Peso de agua requerida para llenar el vaso de calibración.

W = Peso de agua requerida para llenar el recipiente de medida.

- b) El factor 0,98 se usa para tener en cuenta la reducción del volumen de aire en el vaso de calibración cuando se somete a una presión equivalente a una columna de agua de igual altura a la del recipiente de medida. Este factor es 0,98 para 203 mm (8") de profundidad del recipiente de medida, a nivel del mar. Su valor es 0,975 a 1,524 m (5,000 pies) por encima del nivel del mar y 0,970 a 3,962 m (13,000 pies). Esta constante disminuye en 0,01 por cada 102 mm (4") que se aumente la altura del recipiente. Dicha altura y la presión atmosférica no afectan el volumen efectivo del vaso de calibración para el medidor tipo B.

- c) Para el medidor tipo B se calcula R por la siguiente ecuación:

$$R = w/W$$

- A.9 Determinación o comprobación de la disminución del factor de expansión D.

- a) Para medidores tipo A, determínese el factor de expansión D, llenando el aparato con agua únicamente, teniendo cuidado de que se haya eliminado el aire atrapado, que el nivel del agua este exactamente en la marca cero y aplicando una presión igual a la de operación P, determinada por la calibración descrita en el numeral A.11. La cantidad que descienda la columna de agua es el factor de expansión equivalente D, para este aparato y para esa presión (numeral A.9 b)
- b) A pesar de que el recipiente es muy rígido, la aplicación de la presión interna produce un pequeño aumento de volumen, que no afecta los resultados de los ensayos en concreto que para el ensayo del factor de corrección del agregado.
- c) La columna indicadora en algunos medidores tipo A esta marcada con un nivel inicial de agua y una marca cero; la diferencia entre las dos marcas corresponde al factor de expansión. Esta diferencia podrá comprobarse de la misma manera usada para medidores sin marcas y en tal caso, el factor de expansión podrá omitirse en el cálculo de las lecturas de calibración descrito en el numeral A.11.
- d) Es suficiente para este propósito usar un valor aproximado para P, determinado por medio de un ensayo preliminar de calibración como se describe en el numeral A.11, excepto que debe usarse un valor del factor de calibración $K = 0,98R$, el cual es el mismo de la ecuación descrita en el numeral A.8 (a) salvo que la lectura de expansión D, se asume igual a cero.
- e) Para medidores tipo B, la previsión para el factor de expansión D se incluye en la diferencia entre la presión inicial indicada en el manómetro y la marca del porcentaje cero, que puede comprobarse llenando el aparato con agua (el aire atrapado debe eliminarse) y bombeando aire en la cámara hasta que la medida se estabilice en la línea de presión inicial y luego dejando pasar el aire al recipiente de medida. Si la línea que indica la presión inicial está en posición correcta, el manómetro deberá indicar cero %. La línea de presión inicial deberá ajustarse si dos o más determinaciones muestran la misma variación con respecto al cero %.

Este procedimiento puede llevarse a cabo junto con el ensayo de calibración descrito en el numeral A.13.

A.10 Calibración de la lectura K. La lectura K de calibración es la lectura final que se obtiene cuando el medidor se usa con la presión correcta de calibración.

- a) Para medidores tipo A la lectura de calibración K es la siguiente:

$$K = R + D$$

Donde:

R = Volumen efectivo del vaso de calibración

D = Factor de expansión

- b) Para medidores tipo B, la lectura de calibración K es igual al volumen efectivo del vaso de calibración.

$$K = R$$

- c) Si el indicador de la columna de agua esta graduado de tal manera que incluya el nivel de agua inicial y la marca cero, la diferencia entre las dos marcas equivale al factor de expansión. El término D se excluye de la ecuación descrita en el numeral A.10 (a).

A.11 Determinación de la presión de operación P, en el medidor tipo A. Si el borde del cilindro de calibración no tiene salientes, se coloca 3 o más espaciadores alrededor de su circunferencia.

- a) Inviértase el cilindro y colóquese en el centro del fondo seco del recipiente de medida. Los espaciadores permiten la entrada del agua al cilindro de calibración cuando se aplica presión. Asegúrese de que el cilindro invertido permanezca sin desplazarse y colóquese

cuidadosamente la tapa. Después colóquese cuidadosamente el aparato en posición vertical y añádase agua a temperatura ambiente por medio del tubo y el embudo hasta que ascienda por encima de la marca cero del indicador.

- b) Círrase la válvula y bombéese aire dentro del aparato hasta que alcance la presión de operación. Inclínese el conjunto 300 en relación con la vertical (numeral A.11 e) y usando el fondo del recipiente como pivote, descríbanse varios círculos completos con el borde superior del tubo vertical; simultáneamente, debe golpearse la cubierta y los lados del recipiente para remover el aire que se haya adherido a las superficies internas del aparato.

Colóquese de nuevo el aparato en posición vertical. Déjese bajar gradualmente la presión abriendo la salida de aire. Llévase el nivel a cero, dejando salir el agua a través de la llave colocada en el tope de la cubierta cónica. Círrase la llave y aplíquese presión hasta que el nivel del agua haya bajado entre 0,1 y 0,2% por enésima del valor de la lectura de calibración K, determinada como se describe en el numeral A.10. Golpéense suavemente los lados del recipiente y cuando el nivel del agua coincida en el valor de la lectura de calibración K, léase la presión P indicada en el manómetro y anótese con aproximación de 700 Pa (0,1 lbs/pulg²).

- c) Disminúyase gradualmente la presión y ábrase la salida del aire para determinar si el nivel del agua vuelve a cero cuando se golpean los lados del recipiente; si esto no ocurre, quiere decir que hay pérdida de aire en el recipiente de calibración o pérdida de agua debido a algún escape en el conjunto. Si no se logra que el nivel de agua retorne al 0,05% de la marca cero y no se encuentra que haya escape de agua, probablemente se perdió un poco de aire en el cilindro de calibración. En este caso, se repite todo el procedimiento desde el comienzo.
- d) Si el escape es mayor que unas pocas gotas, apriétese la unión antes de repetir el proceso de calibración. Compruébese el valor de la presión, haciendo que el nivel de agua marque exactamente cero, círrase la salida y aplíquese la presión P que se acaba de determinar. Golpéese ligeramente el manómetro con el dedo. Cuando indique la presión exacta P, la columna de agua debe marcar el valor del factor de calibración K utilizado en la primera aplicación de presión con una aproximación de 0,05% de aire.
- e) **Precaución.** El aparato no debe moverse de su posición vertical hasta que el agua llene 1/3 del cilindro de calibración después de aplicar presión. La calibración no es válida si hay escape de aire del cilindro.

A.12 Ensayo alterno de calibración. Para determinar la presión de operación P_I , medidor tipo A.

El intervalo del contenido de aire posible de medir mediante el aparato puede duplicarse, determinada la presión de operación alternada P_1 , de tal forma que las lecturas del medidor sean la mitad de las lecturas de calibración K (numeral A.10 a). Una calibración exacta requiere la determinación del factor de expansión a la presión reducida (numeral A.9). En la mayoría de los casos, el cambio en el factor de expansión se desprecia y la presión alterna de operación puede determinarse durante el proceso explicado en el numeral A.11.

A.13 Ensayo de calibración para comprobar las graduaciones del manómetro en el medidor.

- a) Llénese el recipiente de medida con agua como se describe en el numeral A.7. Atorníllase el tubo de extensión en la parte interior de la cubierta por debajo del grifo A. Ensámblase el aparato, círrase la válvula principal de aire No. 1, y ábranse los grifos A y B. Viértase agua por el grifo A, hasta que salga agua por el grifo B. Bombéese aire dentro de la cámara hasta que la aguja del manómetro coincida con la línea de presión inicial.
- b) Espérese algunos segundos para que el aire adquiera la temperatura ambiente; ajústese nuevamente la aguja del manómetro en la línea de presión inicial bombeando o sacando aire y golpeando suavemente el manómetro. Círrase el grifo B, sáquese el agua del medidor al vaso de calibración abriendo el grifo A y comunicando el aire de la cámara



de presión con el recipiente de medida. Sáquese la cantidad de agua necesaria para llenar el recipiente de medida hasta la línea que corresponda al volumen de aire que se quiera medir con ese aparato.

- c) Determínese la cantidad de agua por peso o volumen con una precisión del 0,1%. Calcúlese el contenido de aire correcto R , por medio de la ecuación establecida en el numeral A.8 (c) Déjese salir el aire sobrante del aparato por el grifo B. Bombéese aire dentro de la cámara hasta que la presión alcance la línea de presión inicial marcada en el manómetro. Se cierran ambos grifos y luego se abre la válvula No. 1. El contenido de aire indicado por la aguja del manómetro de presión debe corresponder con la medición efectuada anteriormente. Si dos o más determinaciones muestran la misma diferencia con respecto al valor correcto del contenido de aire, la aguja debe ajustarse al contenido de aire correcto y repetir el ensayo hasta que la lectura del manómetro corresponda al contenido de aire calibrado dentro de 0,1%. Una vez hecha esta operación, debe comprobarse nuevamente la marca de presión inicial tal como se indica en el numeral A.9.

MTC E 707

TOMA DE NUCLEOS Y VIGAS EN CONCRETOS ENDURECIDO

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el procedimiento de obtención, preparación y ensayo de: (a) núcleos extraídos de estructuras de concreto para determinaciones de longitud o resistencia a la compresión o a la tracción indirecta y, (b) vigas aserradas de estructuras de concreto para determinaciones de resistencia a la flexión.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Obtención de probetas cilíndricas, para obtener la resistencia a la compresión o a la tracción indirecta.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 NTP 339.059 HORMIGÓN (CONCRETO). Método para la obtención y ensayos de corazones diamantinos y vigas cortadas de hormigón (concreto).
- 3.2 ASTM C 42 Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.
- 3.3 AASHTO T 24 Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.

4.0 EQUIPOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Saca núcleos – Para obtener probetas cilíndricas. Si las probetas deben ser extraídas por taladrado perpendicular a una superficie horizontal, resulta satisfactorio un taladro de percusión; pero si las probetas deben ser taladradas en otra dirección o si su diámetro se debe determinar con exactitud para un cálculo más preciso de la resistencia a la compresión, se emplearán brocas de diamante.
- 4.1.2 Sierra – Para obtener probetas en forma de viga del tamaño adecuado para efectuar ensayos de resistencia a la flexión. La sierra deberá tener un borde cortante de diamante o carburo de silicio y deberá poder cortar las probetas con las dimensiones prescritas, sin calor excesivo o impacto.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Generalidades: Las muestras de concreto endurecido para uso en la preparación de probetas para ensayos de resistencia, no se deberán tomar hasta que el concreto haya endurecido lo suficiente para permitir la remoción de la muestra sin perturbar la adhesión entre el mortero y el agregado grueso. En general, el concreto deberá tener una edad de catorce (14) días antes de la extracción de las probetas. Cuando se preparen probetas para ensayos de resistencia de muestras de concreto endurecido, se deberán descartar aquellas que presenten defectos o que se hayan deteriorado durante el proceso de extracción.

Las probetas que contengan acero de refuerzo no se deberán usar para determinar la resistencia a la tracción indirecta. En caso de ensayos para determinar la resistencia a la flexión, no se usarán probetas que tengan refuerzo en la porción sometida a tensión.

Nota 1. Los núcleos que contengan refuerzo y estén destinados a la determinación de la resistencia a la compresión, pueden dar resultados mayores o menores que los núcleos sin acero embebido y, en lo posible, se deben evitar o recortar para eliminar el refuerzo, proporcionando simultáneamente una relación L/D de 1,0 o mayor

- 5.2 Extracción de Núcleo: Siempre que sea posible, los núcleos se extraerán perpendicularmente a una superficie horizontal, de manera que su eje sea perpendicular a la capa de concreto

tal como se colocó originalmente y cuidando de no hacerlo en vecindades de juntas o bordes obvios del elemento construido. Las probetas tomadas en dirección perpendicular a una superficie vertical o a una superficie irregular, se deberán extraer lo más cerca que sea posible del centro de la pieza y nunca cerca de juntas o bordes de ella.

- 5.3 Remoción de Losas: Se deberá remover una losa de tamaño suficiente para asegurar las probetas de ensayo deseadas, excluyendo todo concreto agrietado, astillado, mal cortado o con cualquier otra irregularidad.

6.0 PROCEDIMIENTO

Núcleos

- 6.1 Probetas para determinación de longitud: Deberán tener un diámetro de cuando menos 95 mm (3,75"). La medida de la longitud de los núcleos se hará conforme se describe en la norma MTC E 712.
- 6.2 Resistencia a compresión
- 6.2.1 Probetas de Ensayo: Los diámetros nominales de los núcleos para la determinación de la resistencia a compresión deberán ser, como mínimo, de 95 mm (3,75 pulg). Los diámetros de núcleos menores que 95 mm (3,75 pulg) son permitidos cuando es imposible obtener núcleos con una relación longitud – diámetro (L/D) =1 para la evaluación de la resistencia a la compresión. Para concreto con tamaño máximo nominal mayor a 37,5 mm (1 ½ pulg), el diámetro nominal debería ser preferiblemente igual a tres (3) veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso, y necesariamente debe ser como mínimo igual a dos (2) veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso. Su longitud, luego del refrentado, deberá estar entre 1,9 y 2,1 veces el diámetro. Si la relación longitud-diámetro del núcleo excede 2,1, se reduce la longitud del núcleo, para que la relación este entre 2,1 y 1,9. Los núcleos con relaciones longitud-diámetro menores a 1.75 requieren correcciones en la medida del esfuerzo a la compresión. No se deberán ensayar núcleos cuya altura sea inferior al noventa y cinco por ciento (95%) de su diámetro antes del refrentado o menor de su diámetro después de dicha operación.
- 6.2.2 Preparación de las bases: Las bases de los núcleos que van a ser ensayados a la compresión, deberán ser sensiblemente lisas, perpendiculares a su eje longitudinal y del mismo diámetro del cuerpo del núcleo. De ser necesario, las bases se deberán aserrar o maquinar hasta cumplir los siguientes requisitos:
- 6.2.2.1 Las salientes, si las hay, no se deberán extender más allá de 5 mm (0,2 pulg) de la superficie de la base.
- 6.2.2.2 Las superficies de las bases no se podrán apartar de la perpendicularidad al eje longitudinal en más de 1: (0,3d) o [1:(8d)] donde d es el diámetro promedio del cilindro expresado en milímetros o pulgadas (mm o pulg).
- 6.2.2.3 El diámetro de las bases no deberá diferir en más de 2,5 mm (0,1 pulg) del diámetro medio del núcleo.
- 6.2.3 Acondicionamiento en Humedad: Las probetas de ensayo se deberán sumergir en agua saturada de cal a $23^{\circ} \pm 1,7^{\circ}$ C por un período no inferior a 40 horas, antes someterlas al ensayo de resistencia a la compresión. Durante el lapso transcurrido entre el retiro de las probetas del agua y el ensayo, se deberán cubrir con una sábana, una franela húmeda u otra tela absorbente que resulte adecuada.

Nota 2. Cuando lo exija la entidad para la cual se realizan las pruebas, los núcleos se podrán ensayar en una condición de humedad diferente a la alcanzada por la inmersión durante un mínimo de 40 horas. Los factores de corrección por la relación longitud/diámetro que se muestran en la Sección 6.2.7, son aplicables tanto al concreto seco, como al sometido a inmersión en agua. Instrucciones para la consideración del ensayo en condiciones diferentes

a las alcanzadas por inmersión por 40 horas o más, se pueden hallar en el capítulo 17 del documento ACI-301 y en el capítulo 4 del ACI-318

6.2.4 Refrentado: Las bases de los núcleos se deberán refrentar antes del ensayo de acuerdo con el procedimiento prescrito en la sección pertinente de la norma de ensayo MTC E 703. Las superficies refrentadas deberán cumplir los requisitos de uniformidad exigidos en la misma norma.

6.2.5 Medida: Antes del ensayo, se deberá medir la longitud del núcleo refrentado con aproximación a la décima de pulgada (2,5 mm), longitud que se empleará para el cálculo de la relación longitud/diámetro. El diámetro se determinará promediando dos (2) medidas tomadas en ángulos rectos entre sí, aproximadamente en la mitad de la probeta. Siempre que sea posible, la medida del diámetro se realizará con aproximación a la centésima de pulgada (0,25 mm), pero como mínimo a la décima de pulgada (2,5 mm). No se ensayaran los núcleos cuya diferencia entre el diámetro mayor y el diámetro menor, exceda el 5% de su diámetro promedio.

Nota 3. La mayoría de los núcleos no tienen la lisura suficiente para justificar medidas del diámetro con aproximación mayor a la décima de pulgada (2,5 mm)

6.2.6 Ensayo: El ensayo a compresión de los núcleos se efectuará tal como se describe en la norma MTC E 704 "Resistencia a la compresión de cilindros de concreto". Los núcleos se ensayaran dentro de los siete días siguientes a la extracción, si no se especifica de otra manera.

6.2.7 Cálculos: El cálculo de la resistencia a la compresión de cada probeta se realizará utilizando su sección transversal basada en el diámetro medio determinado según se indicó en la Sección 6.2.5. Si la relación longitud/diámetro es apreciablemente inferior a 1,75, la resistencia a compresión calculada se deberá multiplicar por un factor de corrección, como se indica a continuación:

Relación L/D	Factor de corrección de resistencia ^a
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

A estos factores de corrección se aplicaran a concreto liviano (1600 a 1920 kg/m³) y a concreto normal, y son aplicables tanto a concreto seco como húmedo en el momento del ensayo

Los valores que no estén indicados en la tabla, se obtendrán por interpolación.

Los factores de corrección son aplicables para resistencias nominales a la compresión entre 2000 y 6000 lb/pulg² (13,8 a 41,4 MPa). (Los factores de corrección dependen de diferentes condiciones, tales como la resistencia y el módulo elástico. Los valores que se dan en la tabla son promedio).

6.2.8 Informe: Los resultados se informarán como lo exige la norma MTC E 704, adicionando los siguientes datos:

6.2.8.1 Longitud de la probeta antes y después del refrentado.

6.2.8.2 Resistencia a la compresión aproximada a 69 kPa (10 psi) cuando el diámetro se haya medido con aproximación de 0,25 mm (0,01 pulg), y a 345 Kpa (50 psi) cuando el diámetro se haya medido con aproximación de 2,5mm (0,1 pulg), luego de la corrección de la relación longitud/diámetro, si ella se requiere.

6.2.8.3 Dirección de aplicación de la carga en la probeta con respecto al plano horizontal del concreto.

6.2.8.4 Condición de humedad en el momento del ensayo.

- 6.2.8.5 Fecha y hora de obtención, empaçado y ensayo del núcleo.
- 6.2.8.6 Si fue usada agua para la preparación de las bases de los núcleos, se anotara la fecha y hora en que se completaron las bases y se empaco el núcleo.
- 6.2.8.7 Tamaño máximo nominal del agregado pétreo del concreto.
- 6.2.9 Precisión
- 6.2.9.1 Se ha encontrado que para un simple operador el coeficiente de variación en núcleos es 3,2% para un rango de resistencia a la compresión comprendido entre 32,0 MPa (4500 psi) y 48,3 MPa (7000 psi). Por consiguiente, los resultados de dos ensayos dirigidos apropiadamente con el mismo operador en núcleos en la misma muestra de material, no deberían diferir el uno del otro en más de 9% de su promedio.
- Se ha encontrado que para precisión multilaboratorio el coeficiente de variación en núcleos es 4,7% para un rango de resistencia a la compresión comprendido entre 32,0 MPa (4500 psi) y 48,3 MPa (7000 psi). Por consiguiente, los resultados de dos ensayos conducidos apropiadamente, sobre núcleos obtenidos del mismo concreto endurecido (donde un ensayo simple es definido como el promedio de dos observaciones (núcleos), cada una realizada en perforaciones adyacentes de diámetro 100 mm (4"), y probados por dos laboratorios diferentes no deben diferir el uno del otro en más de 13% de su promedio.
- 6.2.10 Tolerancias
- No hay ningún estándar aceptado para la determinación de la tolerancia en este ensayo, ninguna declaración sobre tolerancia se ha hecho.
- 6.3 Resistencia a la tracción indirecta
- 6.3.1 Probetas para Ensayo – Estarán de acuerdo con los requisitos sobre dimensiones, indicados en las Secciones 6.2.1, 6.2.2.1 y 6.2.2.2. Las bases no se deberán refrentar.
- 6.3.2 Condiciones de Humedad – Antes de ensayarlos, los núcleos deberán ser acondicionados como se describe en la Sección 6.1.3.
- 6.3.3 Superficies de Soporte – La línea de contacto entre la probeta y cada pieza de apoyo deberá ser recta y libre de salientes o depresiones mayores de 0,01 pulgadas (0,25 mm).
- En caso contrario, la probeta deberá ser rectificada o refrentada de manera de producir líneas de apoyo que cumplan estos requisitos. No se usarán probetas con salientes o depresiones superiores a 0,1 pulgadas (2,5 mm). Cuando se emplee refrentado, la capa deberá ser tan delgada como sea posible y deberá estar formada de pasta de yeso de alta resistencia.
- 6.3.4 Ensayo: Las probetas se ensayarán de acuerdo con lo indicado en la norma MTC E 708 "Ensayo de tracción indirecta de cilindros normales de concreto".
- 6.3.5 Cálculos e Informe: El cálculo de la resistencia y el informe se harán conforme lo indica la norma MTC E 708. Cuando se haya requerido rectificación o refrentado de las probetas, el diámetro se deberá medir entre las superficies terminadas. Se deberá indicar que la probeta es un núcleo y su condición de humedad en el momento del ensayo.
- 6.4 Resistencia a la flexión
- 6.4.1 Probetas para Ensayo: Una viga para el ensayo de resistencia a la flexión deberá tener, en general, una sección de 150 mm x 150 mm (6 pulg x 6 pulg) (Nota 4). El espécimen deberá tener, cuando menos, 530 mm (21") de longitud, pero cuando se vayan a realizar dos ensayos de resistencia a la flexión sobre un espécimen, éste deberá tener no menos de 840 mm (33 pulg) de longitud. La operación de aserrado se deberá efectuar de manera que el concreto no se vea debilitado por golpes o por calor. Las superficies aserradas deberán ser lisas, planas, paralelas y libres de huellas, salientes y ranuras. Se deberá tener cuidado durante el manejo de las vigas aserradas, con el fin de evitar astillamientos o agrietamientos.

Nota 4. En muchos casos, particularmente con prismas cortados de losas de pavimentos, el ancho estará gobernado por el tamaño del agregado pétreo y la profundidad por el espesor de la losa

- 6.4.2 Acondicionamiento en Humedad – Las probetas de ensayo se deberán sumergir en agua saturada de cal a $23^{\circ} \pm 1,7^{\circ}$ C por un período no inferior a 40 horas antes de efectuar el ensayo a flexión. El ensayo se deberá efectuar con la mayor prontitud luego de sacar las probetas del agua. Durante el lapso transcurrido entre la remoción del agua y el ensayo, se deberán cubrir con una sábana, una franela húmeda u otra tela absorbente que resulte adecuada.

Nota 5. Cuando lo exija la entidad para la cual se realizan las pruebas, las vigas se podrán ensayar en una condición diferente a la alcanzada por inmersión durante un mínimo de 40 horas.

Cantidades relativamente pequeñas de secado de la superficie de vigas para ensayo de resistencia a la flexión, inducen esfuerzos de tensión en las fibras extremas, los cuales reducen notoriamente la resistencia a la flexión.

- 6.4.3 Ensayo: Las probetas se ensayarán de acuerdo con las disposiciones de la norma MTC E 709 “Resistencia a la flexión del concreto. Método de la viga simple cargada en los tercios de la luz”.

Nota 6. Las resistencias a compresión de porciones de vigas rotas a la flexión, se pueden determinar ensayando dichas porciones como cubos modificados, de acuerdo con la norma MTC E 710, “Resistencia a la compresión del concreto usando una porción de viga rota en el ensayo de flexión”.

Nota 7. El aserrado puede producir reducciones sustanciales de la resistencia a la flexión; por lo tanto, las vigas se deberán ensayar con una superficie moldeada en tensión siempre que sea posible. Se deberá indicar la ubicación de la cara de tensión respecto a la posición del concreto como fue colocado, así como la posición de las superficies aserradas.

- 6.4.4 Informe: Los resultados se deberán informar de acuerdo con lo que resulte aplicable de la norma MTC E 709 y los requerimientos de este método, incluyendo la condición de humedad de las vigas en el momento de ensayo, y las caras de tensión con respecto a su posición en la máquina de ensayo.

MTC E 708

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA DE CILINDROS ESTANDARES DE CONCRETO

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el procedimiento de ensayo de tracción indirecta de cilindros normales de concreto (diámetro = 150 ± 3 mm y longitud = 300 ± 6 mm).

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.

Esta norma no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee, establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y determinar la aplicación de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.084 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la tracción simple del hormigón, por compresión diametral de una probeta cilíndrica.
- 3.2 ASTM C 496 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- 3.3 AASHTO T 192 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

- 4.1 Equipos

- 4.1.1 Máquina de ensayo – La máquina de ensayo se ajustará a los requerimientos de la norma MTC E 704 y deberá tener la suficiente capacidad para aplicar la carga que se describe más adelante en la Sección 6.4.

- 4.1.2 Platina de apoyo suplementaria – Si el diámetro o la mayor dimensión de las placas de apoyo, inferior y superior, es menor que la longitud del cilindro para ensayo, se debe usar una platina suplementaria de acero maquinado. Las superficies de la platinas deben ser planas dentro de una tolerancia de 0,025 mm (0,001 pulg), medida sobre cualquier línea de contacto del área de apoyo.

Debe tener un ancho, por lo menos, de 51 mm (2 pulg) y espesor no menor a la distancia entre el borde de las placas de apoyo y el extremo del cilindro. La platina se debe colocar de tal forma que la carga sea aplicada sobre la longitud total del cilindro.

- 4.1.3 Listones de apoyo – Deben ser dos tiras de cartón o dos listones de madera laminada, libres de imperfecciones, de 3,2 mm (1/8 pulg) de espesor, 25 mm (1 pulg) de ancho aproximadamente y longitud igual o ligeramente mayor que la del cilindro. Los listones de apoyo se deben colocar entre el cilindro de concreto y las placas superior e inferior de apoyo de la máquina de ensayo o entre el cilindro de concreto y la platina suplementaria, cuando ésta se utilice. Los listones de apoyo deben usarse solamente una vez.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Especímenes de ensayo

- 5.1.1 Los especímenes se prepararán y fabricarán de acuerdo con los métodos de hechura y curado de especímenes de concreto para ensayos, en el laboratorio o en el campo.

Los especímenes curados en cuarto húmedo, en el período comprendido entre su extracción del ambiente del cuarto y su ensayo, se deberán cubrir con una manta, cáñamo o yute húmedo, y serán ensayados en condiciones húmedas, tan pronto como sea posible.

Los núcleos deberán cumplir con el tamaño y las condiciones de curado estipuladas en la norma MTC E 707.

- 5.1.2 El siguiente procedimiento de curado será utilizado para la evaluación de concretos livianos: el espécimen ensayado a los 28 días, estará bajo condición de aire seco durante 21 días a $23,0^{\circ} \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ y $50 \pm 5\%$ de humedad relativa, después de 7 días de curado húmedo.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Marcas – Se dibujan diámetros sobre cada extremo del espécimen, utilizando un aparato adecuado, que permita asegurar que se encuentran en el mismo plano axial (Figuras 1 y 2).
- 6.2 Medida de Diámetro y Longitud – El diámetro se determina con aproximación de 0,25 mm (0,1") mediante el promedio de tres medidas realizadas una cerca a cada extremo y una en el centro del cilindro. La longitud se determina con aproximación de 0,25 mm (0,1"), mediante el promedio de por lo menos dos medidas.

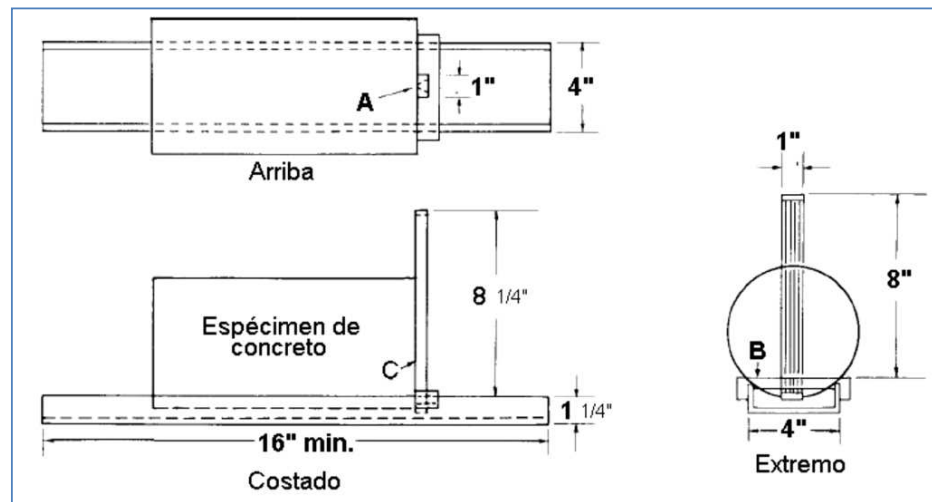


Figura 1. Vistas generales del equipo adecuado para la determinación del diámetro final usado para el alineamiento del espécimen en la máquina de prueba

- 6.3 Colocación de los listones de apoyo (Figura 3) – Se coloca un listón de apoyo a lo largo del centro de la placa inferior. Se pone el cilindro sobre el listón, de tal manera que el punto de tangencia de las dos bases esté concentrado sobre la lámina de apoyo. Se coloca el segundo listón longitudinalmente sobre el cilindro, centrándolo en forma similar al anterior.

También se puede centrar el espécimen utilizando las marcas dibujadas así: colocado el listón inferior, se alinea el cilindro de forma que una de las líneas marcadas, quede centrada y vertical. El otro listón se coloca de forma que el punto de tangencia coincida con el otro extremo del diámetro vertical.

- 6.4 Velocidad de carga – Se aplica carga al cilindro en forma continua evitando impacto, a velocidad constante comprendida entre 689 kPa/min (100 lb/pulg²/min) y 1380 kPa/min (200 lb/pulg²/min) mientras se rompe el cilindro.

Por lo tanto, la velocidad de aplicación de carga para cilindros normales de 152 mm por 305 mm (6" por 12") está comprendida entre 50 y 100 kN/min (11300 y 22600 lbf).

Se anota la carga de la máquina en el momento de rotura, lo mismo que el tipo de rotura y la apariencia del concreto.

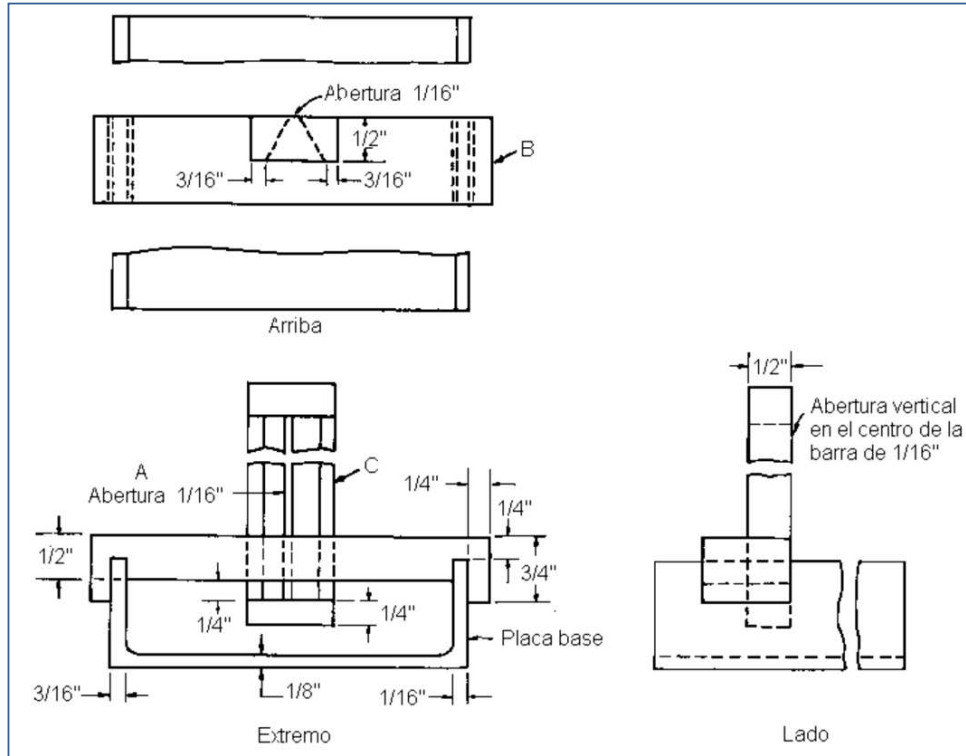


Figura 2. Detalle en planta del equipo adecuado para la determinación del diámetro final usado para el alineamiento del espécimen.



Figura 3. Cilindro colocado para ensayo de tensión indirecta

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

El esfuerzo de tracción indirecta del cilindro se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$T = 2P/nLd$$

Donde:

T = Esfuerzo de tracción indirecta, kPa (lb/pulg²).

P = Carga máxima indicada por la máquina de ensayo, kN (lbf).

L = Longitud del cilindro, m (pulg).

d = Diámetro del cilindro, m (pulg).

7.2 INFORME

El informe debe contener la siguiente información:

- 7.2.1 Identificación del cilindro.
- 7.2.2 Diámetro y longitud
- 7.2.3 Carga máxima, kN (lbf)
- 7.2.4 Edad del cilindro
- 7.2.5 Esfuerzo de tracción indirecta, calculado con aproximación a 35 kPa (5 lb/pulg²).
- 7.2.6 Porcentaje estimado de partículas de agregado fracturadas durante el ensayo.
- 7.2.7 Tipo de fractura si es diferente a la producida según un plano vertical.
- 7.2.8 Defectos en el cilindro.
- 7.2.9 Tipo de curado

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 No se ha realizado ningún estudio multilaboratorio de este método de ensayo. Datos de investigaciones disponibles, sin embargo, sugieren que el coeficiente de variación para un mismo lote es de 5% para muestras cilíndricas de 152 mm × 305 mm (6 pulg × 12 pulg) con un esfuerzo a la tracción indirecta promedio de 2,8 Mpa (405 psi). Los resultados de dos ensayos en el mismo material adecuadamente dirigidos, por consiguiente, no deberían diferir en más de 14% del promedio para esfuerzos a la tracción indirecta de 2,8 Mpa (400 psi).

8.2 DISPERSION

- 8.2.1 Tolerancias. No hay ningún estándar aceptado para la determinación de la tolerancia en este ensayo, ninguna declaración sobre tolerancia se ha hecho.

MTC E 709**RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGAS A LOS TERCIOS DEL TRAMO****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto, por medio del uso de una viga simple cargada en los tercios de la luz.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Valor del módulo de rotura indicado en MPa (lb/pulg²) se considerará como el normalizado.
- 2.2 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.
- 2.3 Esta norma no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso, si los hay. Es responsabilidad de quien la emplee, establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.078 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del hormigón en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.
- 3.2 ASTM C 78 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).
- 3.3 AASHTO T 97 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES**4.1 Equipos**

- 4.1.1 Máquina de ensayo – La máquina de ensayo deberá cumplir con los requerimientos del apéndice "Bases de verificación, Correcciones, e Intervalos de tiempo entre verificaciones". Las máquinas de ensayo operadas a mano con bombas que no suministren una carga continua en un recorrido, no serán permitidas. Se permitirán bombas con motor u operadas a mano, con desplazamiento positivo, que tengan suficiente volumen en un golpe continuo, para completar el ensayo sin requerir una nueva recarga, siempre y cuando sean capaces de aplicar las cargas a una rata uniforme, sin interrupciones o discontinuidades. El método de carga en los tercios se deberá utilizar en la realización de ensayos de flexión, empleando bloques de carga, los cuales asegurarán que las fuerzas aplicadas a la viga sean perpendiculares a la cara del espécimen y sin excentricidad. En la Figura 1 se muestra un diagrama del aparato que cumple con este propósito.
- 4.1.2 Todos los aparatos utilizados en el ensayo de flexión del concreto deben ser capaces de mantener la longitud especificada de la luz entre apoyos y las distancias entre los bloques de aplicación de carga y los bloques de apoyo constantes, con una tolerancia de $\pm 1,3$ mm ($\pm 0,05$ pulg).
- 4.1.3 Las reacciones deberán ser paralelas a la dirección de las fuerzas aplicadas en todo momento durante el ensayo y la relación entre la distancias del punto de aplicación de la carga a la reacción más cercana y la altura de la viga, no deberá ser menor que $1,0 \pm 0,03$.
- 4.1.4 Si se usa un aparato similar al que se ilustra en la Figura 1 se tendrá en cuenta lo siguiente:
- 4.1.4.1 Los bloques de aplicación de carga y de apoyo no tendrán más de 64 mm (2,5 pulg) de altura, medida desde el centro o eje del pivote, y se debe extender completamente a través o más allá del ancho completo del espécimen. Cada superficie endurecida de carga en contacto con la muestra no se debe separar del plano en más de 0,05 mm (0,002 pulg) y deberá ser una porción de un cilindro, el eje del cual deberá coincidir con el eje de la barra

o con el centro de la esfera en el cual el bloque se encuentre pivoteado. El ángulo subtendido por la superficie curva de cada bloque debe ser de 45° ($0,79$ rad), como mínimo.

4.1.4.2 Los bloques de aplicación de carga y de apoyo se deberán mantener en posición vertical y en contacto con la barra o esfera por medio de tornillos cargados con resortes, que los mantienen en contacto con la barra o esfera de pivotaje.

4.1.4.3 El plato de carga superior y la esfera del punto central en la Figura 1 se pueden omitir cuando se use un bloque apoyado sobre una rótula, siempre que se usen una barra y una esfera como pivotes para los bloques superiores de aplicación de carga.

Los especímenes de ensayo deben cumplir con los requerimientos de la norma MTC E 702 "Elaboración y curado de muestras de concreto para ensayos de laboratorio".

Las muestras deben tener una distancia libre entre apoyos de al menos, tres veces su altura, con una tolerancia del 2%. Los lados de la muestra deben formar ángulos rectos con las caras superior e inferior. Todas las superficies en contacto con los bloques de aplicación de carga y de soporte deben ser suaves y libres de grietas, identificación

5.0 MUESTRA

5.1 Los especímenes de ensayo deben cumplir con los requerimientos de la norma MTC E 702 "Elaboración y curado de muestras de concreto para ensayos de laboratorio".

5.2 Las muestras deben tener una distancia libre entre apoyos de al menos, tres veces su altura, con una tolerancia del 2%. Los lados de la muestra deben de la muestra deben formar ángulos rectos con las caras superior e inferior. Todas las superficies en contacto con los bloques de aplicación de carga y de soporte deben ser suaves y libres de grietas, indotaciones, agujeros o inscripciones.

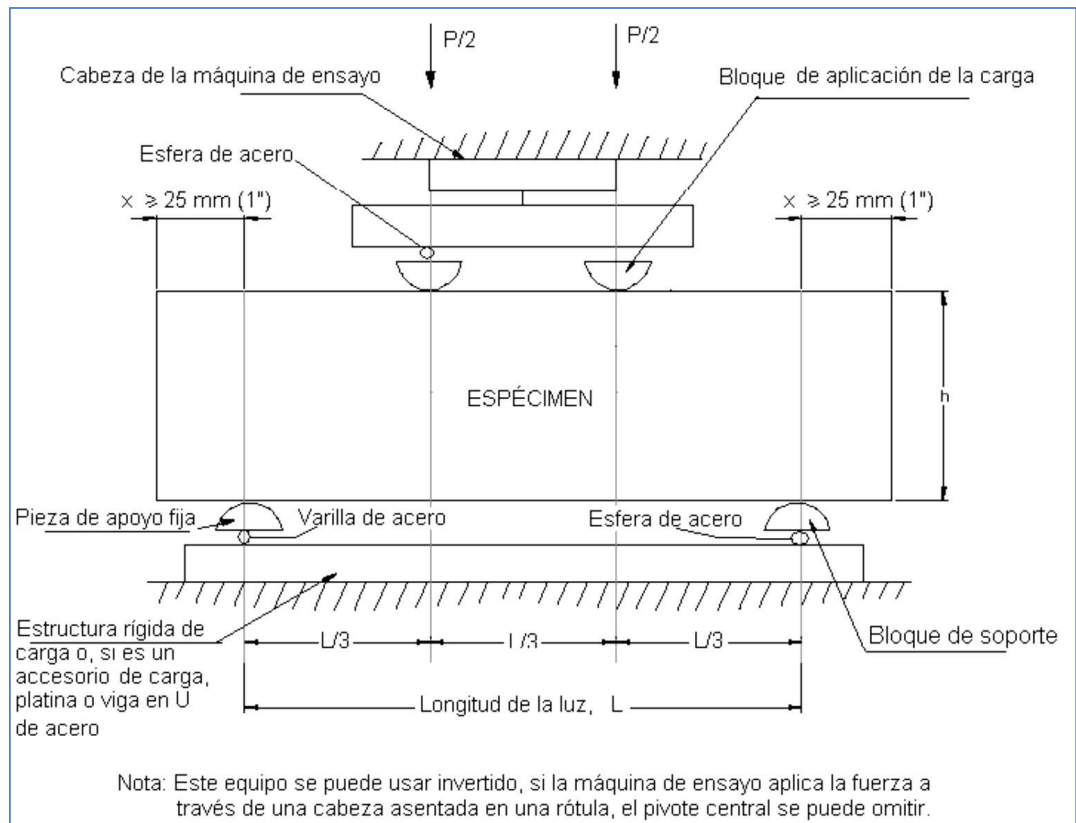


Figura 1. Esquema de un equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga simple cargada en los tercios de la luz

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Se gira la muestra sobre un lado con respecto a su posición de moldeo y se centra sobre los bloques de carga. Se centra el sistema de carga con relación a la fuerza aplicada. Se ponen los bloques de aplicación de carga en contacto con la superficie del espécimen en los puntos tercios entre los soportes y se aplica una carga entre el 3% y el 6% de la carga última estimada. Utilizando calibradores de la mina normalizados de 0,1 mm (0,004 pulg) y de 0,38mm (0,015 pulg), se determina si en una longitud de 25 mm (1 pulg) o más larga, se presenta un vacío entre la muestra y la superficie del bloque, mayor o menor al espesor de los calibradores. Se pulen o refrentan las superficies de contacto de la muestra, o se rellenan con láminas de cuero para eliminar cualquier vacío o separación mayor a 0,1 mm (0,004 pulg). Las láminas de cuero deben tener un espesor uniforme de 6,4 mm (0,25 pulg) y un ancho de 25 a 50 mm (1 a 2 pulg), y se deben extender a l ancho total de la muestra. Las separaciones mayores de 0,38 mm (0,015 pulg) deberán ser eliminadas sólo por refrentado o limado de la superficie. Se recomienda minimizar el pulimento de las superficies laterales de la muestra, ya que esto puede variar las características físicas de ésta y afectar los resultados del ensayo.

6.2 La carga se debe aplicar de manera continua sin sobresaltos, a una rata que incremente constantemente el esfuerzo de la fibra extrema entre 0,9 MPa/min y 1,2 MPa/min, hasta que ocurra la rotura. La rata de incremento de la carga se calcula usando la siguiente ecuación:

$$r = \frac{Sb d^2}{L}$$

Donde:

r = rata de carga, MN/min (lb/min).

S = rata de incremento de la tensión en la fibra extrema, MPa/min (psi/min).

b = ancho promedio de la muestra, mm (pulg).

d = altura promedio de la muestra, mm (pulg) y

L = longitud de la luz de la muestra, mm (pulg).

6.3 Medición de la muestra después del ensayo.

6.3.1 Se toman tres medidas de cada dimensión (una en cada borde y en el centro) con una precisión de 1,3 mm (0,05") para determinar el ancho promedio, la altura promedio y la localización de la línea de fractura del espécimen en la sección de falla.

6.3.2 Si la fractura ocurre en una sección refrentada, el espesor del refrentado se deberá incluir en la medida.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Si la fractura se inicia en la zona de tensión, dentro del tercio medio de la luz libre, el módulo de rotura se calcula de la siguiente forma:

$$R = \frac{P \cdot l}{b \cdot d^2}$$

Donde:

R = módulo de rotura KPa (psi),

P = máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo N(lbf),

l = longitud libre entre apoyos mm, (pulg),

b = ancho promedio de la muestra mm, (pulg), y

d = altura promedio de la muestra mm, (pulg), incluyendo el espesor refrentado, si corresponde.

- 7.1.2 Si la fractura ocurre en la zona de tensión, fuera del tercio medio de la luz libre, a una distancia no mayor del 5% de la luz libre, se calcula el módulo de rotura de la siguiente forma:

$$R = \frac{3P \cdot a}{b \cdot d^2}$$

Donde:

a = distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano, medida sobre la zona de tensión de la viga, mm.

- 7.1.3 Si la fractura ocurre en la zona de tensión y fuera del tercio medio de la luz libre en más del 5% de la luz libre, no se deberán tener en cuenta los resultados del ensayo.

7.2 INFORME

El informe debe contener la siguiente información:

- 7.2.1 Número de identificación de la muestra.
- 7.2.2 Ancho promedio, con una precisión de 1,0 mm (0,05").
- 7.2.3 Altura promedio, con una precisión de 1,0 mm (0,05").
- 7.2.4 Longitud de la luz, en mm (pulg).
- 7.2.5 Máxima carga aplicada en N (lbf).
- 7.2.6 Módulo de rotura calculado con una precisión de 0,05 MPa (5 psi).
- 7.2.7 Datos relativos al curado y condición de humedad aparente en el momento del ensayo.
- 7.2.8 Datos relativos al pulimento, refrentado, o uso de láminas de cuero.
- 7.2.9 Defectos del espécimen.
- 7.2.10 Edad del espécimen.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 Se ha observado que el coeficiente de variación de los resultados del ensayo depende del nivel de carga de las vigas. Se ha encontrado que para un solo operador, el coeficiente de variación es 5,7%. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos realizados apropiadamente por el mismo operador en vigas hechas de la misma tanda no deberían diferir el uno del otro en más de 16%. Se ha encontrado que para ensayos multilaboratorio el coeficiente de variación es de 7%. Por consiguiente, los resultados de dos laboratorios diferentes sobre vigas obtenidas de la misma tanda no deberían diferir uno del otro en más del 19%.

8.2 DISPERSION

- 8.2.1 Tolerancias. No hay ningún estándar aceptado para la determinación de la tolerancia en este ensayo, por lo que no se hace ninguna declaración sobre tolerancia.

APENDICE A

A.1 BASES DE VERIFICACIÓN

A.1.1 El porcentaje de error de las cargas dentro del rango de carga de la máquina de ensayo no debe exceder de $\pm 1,0$. Esto quiere decir que el informe de la verificación de una máquina de ensayo, indicará el rango verificado de carga dentro del cual puede ser utilizada, en lugar de informar la aceptación o rechazo total. En máquinas que tengan múltiples rangos de capacidad, se debe indicar cada rango de carga verificado.

A.1.2 Al establecer el límite inferior de un rango de carga verificado por debajo del 10% de la capacidad del rango, se requieren aplicaciones repetidas de la carga. La diferencia algebraica entre el más alto porcentaje de error y el más bajo, no debe ser superior a 1,0. Esto significa que para establecer el límite inferior de un rango de carga verificado a menos del 10% de la capacidad de aquél rango, los errores para una serie de 5 lecturas no excederán del 1%, pero tampoco dos errores podrán diferir en más del 1%. Si el error mínimo en esta serie es -1,0%, el máximo error no debe exceder de 0,5%. Si el error mínimo es -0,5%, el máximo error no debe exceder de +1,0%, etc.

A.1.3 En ningún caso, el rango verificado de carga se señalará como incluyendo las cargas por debajo del valor que sea 100 veces el cambio más pequeño de la carga que puede fácilmente estimarse en el indicador de carga de la máquina de ensayos.

Esto significa que en una máquina de ensayo que tiene graduaciones tan separadas que las estimaciones se pueden hacer a 1/10 de división, el rango verificado de carga no se deberá extender hacia abajo a una carga menor que la correspondiente a 1/10 de división. Si las graduaciones en la escala indicadora de carga se pueden estimar sólo a 2 divisiones, el rango de carga verificado podría no extenderse hacia abajo más allá de la carga correspondiente a 200 divisiones. En la mayoría de las máquinas, la menor carga que se puede medir se encuentra dentro de los dos ejemplos citados.

A.1.4 En ningún caso, el rango de carga verificado debe señalarse como incluyendo cargas fuera del rango de cargas aplicadas durante el ensayo de verificación.

A.1.5 Las máquinas de ensayo pueden ser más o menos exactas que el porcentaje permitido de error del 1%.

A.2 CORRECCIONES

La carga indicada de una máquina de ensayos que excede la variación permitida no se corregirá, mediante cálculos ni mediante diagramas de calibración, para obtener valores dentro de la variación permisible requerida.

A.3 INTERVALO DE TIEMPO ENTRE VERIFICACIONES

A.3.1 Se recomienda que las máquinas de ensayo se verifiquen anualmente o más frecuentemente si se requiere. En ningún caso, el intervalo de tiempo entre verificaciones debe exceder de 18 meses (excepto en máquinas en las que se está ensayando una prueba con duración mayor a 18 meses). En tales casos, la máquina se debe verificar después de terminar el ensayo.

A.3.2 Se requiere una verificación inmediatamente después de que la máquina ha sido relocalizada, y siempre que exista una razón para dudar de la exactitud de los resultados de la carga indicados por la máquina, sin importar el tiempo transcurrido desde la última verificación.

MTC E 711**RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO METODO DE LA VIGA SIMPLE CARGADA EN EL PUNTO CENTRAL****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer los procedimientos que deben seguirse en la determinación de la resistencia a la flexión de un pequeño espécimen de concreto por medio del uso de una viga simple cargada en el punto central.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método no pretende ser una alternativa al ensayo MTC E 709.
- 2.2 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.
- 2.3 Esta norma no pretende dar directivas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario, establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad, y determinar la aplicación de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.059 HORMIGÓN (CONCRETO). Método para la obtención y ensayos de corazones diamantinos y vigas cortadas de hormigón (concreto).
- 3.2 ASTM C 42 Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.
- 3.3 AASHTO T 24 Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.

4.0 EQUIPO Y MATERIALES**4.1 EQUIPO**

- 4.1.1 Máquina de ensayo – Debe estar acorde con el apéndice "Bases de verificación, correcciones e intervalos de tiempo entre verificaciones" de la norma MTC E 709. Las máquinas de ensayo operadas a mano, que tengan bombas que no suministren una carga continua hasta la falla en un recorrido, no serán permitidas. Las bombas mecánicas u operadas manualmente con desplazamiento positivo que tengan un volumen suficiente en una carrera continua para completar el ensayo sin requerir recarga se permitirán, siempre que sean capaces de aplicar las cargas a una rata uniforme sin choques o interrupciones.
- 4.1.2 Aparato de carga – El mecanismo mediante el cual se aplican las fuerzas al espécimen, debe emplear un bloque de aplicación de carga y dos bloques de soporte del espécimen que aseguren que todas las fuerzas se aplican perpendicularmente a la cara del espécimen sin excentricidad. En la Figura 1 se muestra un diagrama del aparato que cumple con este propósito.
- Todos los aparatos para realizar el ensayo de resistencia a la flexión por el método de carga en el punto central, serán similares al de la Figura 1 y deberán mantener la longitud de luz libre y la posición del bloque central de carga con respecto a los bloques de soporte constante, con una tolerancia de $\pm 1,3$ mm ($\pm 0,05$ pulg).
 - Las reacciones deben ser paralelas a la dirección de la carga aplicada en todo momento durante el ensayo, y la relación de la distancia horizontal entre el punto de aplicación de la carga y la reacción más cercana a la altura de la viga, deberá ser de $1,5 \pm 2\%$.
 - Los bloques de aplicación de carga y de soporte no deben tener una altura superior a 64 mm (2,5 pulg), medidos desde el centro ó el eje del pivote, y se deben extender al menos a través del ancho completo del espécimen. Cada superficie endurecida de carga en contacto con el espécimen no se debe desviar del plano en más de 0,051 mm (0,002 pulg) y debe ser una porción de un cilindro, el eje del cual deberá coincidir con el eje de la barra o el centro de la esfera, dependiendo sobre cuál de las dos el bloque pivotea. El ángulo sustentado por

la superficie curva de cada bloque debe tener al menos 45° (0,79 rad). Los bloques de aplicación de carga y de apoyo se deben mantener en posición vertical y en contacto con la barra o la esfera por medio de un tornillo cargado con resorte, el cual los mantiene en contacto con la barra o la esfera de pivote. La barra en el centro del bloque de aplicación de carga, Figura 1, se puede omitir cuando se use un bloque con rótula.

5.0 MUESTRA

5.1 El espécimen debe cumplir con los requerimientos señalados en la norma MTC E 702 aplicables a especímenes prismáticos y vigas y debe tener una luz libre de tres veces la altura, con una tolerancia del 2%. Los lados del espécimen deben formar ángulos rectos con la cara superior e inferior. Todas las superficies deben ser suaves y libres de costras, indentaciones, huecos o inscripciones de identificación.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Se gira la muestra sobre un lado con respecto a su posición de moldeo y se centra sobre los bloques de carga. Se centra el sistema de carga con relación a la fuerza aplicada. Se ponen los bloques de aplicación de carga en contacto con la superficie del espécimen en los puntos tercios, entre los soportes y se aplica una carga entre el 3% y el 6% de la carga última estimada. Utilizando calibradores de lámina normalizados de 0,1 mm (0,004 pulg) y de 0,38mm (0,015 pulg), se determina si en una longitud de 25 mm (1 pulg) o más larga, se presenta un vacío entre la muestra y la superficie del bloque, mayor o menor al espesor de los calibradores. Se pulen o refrentan las superficies de contacto de la muestra, o se rellenan con láminas de cuero para eliminar cualquier vacío o separación mayor a 0,1 mm (0,004 pulg). Las láminas de cuero deben tener un espesor uniforme de 6,4 mm (0,25 pulg) y un ancho de 25 a 50 mm (1 a 2 pulg), y se deben extender al ancho total de la muestra. Las separaciones mayores de 0,38 mm (0,015 pulg) deberán ser eliminadas solo por refrentado o limado de la superficie. Se recomienda minimizar el pulimento de las superficies laterales de la muestra, ya que esto puede variar las características físicas de ésta y afectar los resultados del ensayo.

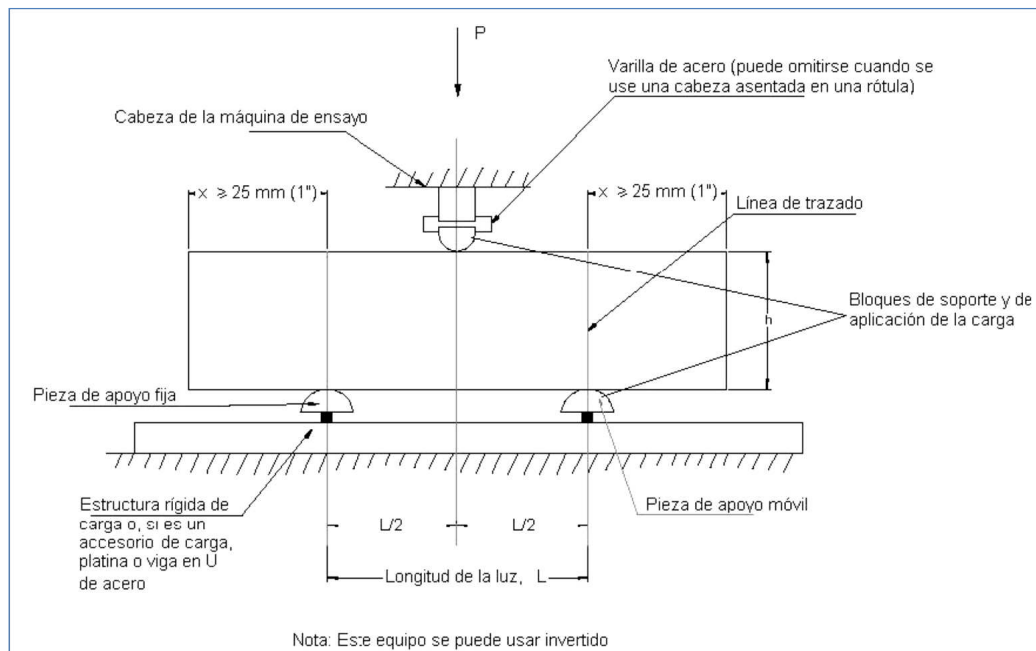


Figura 1. Esquema de un equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga cargada en el centro de la luz.

6.2 La carga se debe aplicar de manera continua sin sobresaltos, a una rata que incremente constantemente el esfuerzo de la fibra extrema entre (0.9 Mpa/min y 1.2 Mpa/min), hasta que ocurra la rotura. La rata de incremento de la carga se calcula usando la siguiente ecuación:

$$r = \frac{2Sbd^2}{3L}$$

Donde:

r = rata de carga Mn/min (lb/min),

S = rata de incremento de la tensión en la fibra extrema Mpa/min (psi/min),

b = ancho promedio de la muestra (mm), (pulg),

d = altura promedio de la muestra (mm), (pulg), y

L = longitud de la muestra (mm), (pulg).

6.3 Mediciones del espécimen después del ensayo

Se toman tres medidas a lo largo de cada dimensión (una en cada borde y una en el centro) con una precisión de 1,3 mm (0,05 pulg) para determinar el ancho y la altura promedio del espécimen, y el punto de fractura.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

Se calcula el módulo de rotura de la siguiente manera:

$$R = \frac{3Pl}{2bd^2}$$

Donde:

R = módulo de rotura, MPa (psi),

P = máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo, N (lbf),

l = longitud de la luz, mm (pulg),

b = ancho promedio del espécimen en el punto de fractura, mm (pulg), y

d = altura promedio del espécimen, en el punto de fractura mm (pulg).

Si la fractura ocurre en la zona refrentada, incluya el espesor de l recubrimiento en la medición.

En los cálculos anteriores no se incluye la masa de la viga.

7.2 INFORME

El informe de los resultados incluirá.

7.2.1 Número de identificación del espécimen.

7.2.2 Ancho promedio, con precisión de 1,3 mm (0,05 pulg).

7.2.3 Altura promedio, con precisión de 1,3 mm (0,05 pulg).

7.2.4 Longitud de la luz en mm (pulg).

7.2.5 Máxima carga aplicada en N (lbf).

7.2.6 Módulo de rotura calculado con precisión de 0,05 MPa (5 psi).

7.2.7 Curado y condición de humedad aparente del espécimen en el momento del ensayo.

7.2.8 Indicaciones acerca del proceso de refrentado, pulimento o colocación de láminas de cuero, cuando alguno de estos métodos se use.

7.2.9 Defectos en el espécimen.

7.2.10 Edad del espécimen.



8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 Se ha observado que el coeficiente de variación de los resultados del ensayo depende del nivel de carga de las vigas. Se ha encontrado que para un simple operador el coeficiente de variación es 4,4%. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos dirigidos apropiadamente con el mismo operador en vigas de la misma muestra de la tanda no deberían diferir el uno del otro en más de 12%. Se ha encontrado que para multilaboratorio el coeficiente de variación es de 5,3%. Por consiguiente los resultados de dos laboratorios diferentes en vigas obtenidas de la misma muestra de la tanda no deberían diferir uno del otro en más del 15%.

8.2 DISPERSION

8.2.1 Tolerancias – No hay ningún estándar aceptado para la determinación de la tolerancia en este ensayo, ninguna declaración sobre tolerancia se ha hecho.

MTC E 712**MEDIDA DE LA LONGITUD DE NUCLEOS DE CONCRETO (TESTIGOS EXTRAIDOS CON BROCAS)****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar la longitud de un núcleo extraído de una estructura de concreto, en particular de un pavimento rígido.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Los valores expresados en unidades SI, deben considerarse como norma.
- 2.2 Esta norma no involucra las debidas precauciones de seguridad que se deben tomar para la manipulación de materiales y equipos aquí descritos, ni establece pautas al respecto para el desarrollo de cada proceso en términos de riesgo y seguridad industrial. Es responsabilidad del usuario, establecer las normas apropiadas con el fin de minimizar los riesgos en la salud e integridad física, que se puedan generar debidos a la ejecución de la presente norma y determinar las limitaciones que regulen su uso.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.211 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para determinar el espesor de elementos de concreto mediante la extracción de corazones.
- 3.2 ASTM C 17 Standard Test Method for Measuring Thickness of Concrete Elements Using Drilled Concrete Cores.
- 3.3 AASHTO T 148 Standard Test Method for Measuring Length of Drilled Concrete Cores.

4.0 EQUIPO Y MATERIALES**4.1 EQUIPO**

- 4.1.1 Será un calibrador que servirá para medir la longitud de los elementos axiales de núcleos de concreto (Ver figura 1-ANEXO). Los detalles de su diseño mecánico no se encuentran prescritos, pero debe cumplir los requerimientos indicados en las Secciones 4.1.2 a 4.1.6.
- 4.1.2 El aparato debe tener un diseño tal, que el núcleo pueda ser sostenido con su eje axial en posición vertical por tres (3) soportes simétricamente colocados descansando contra el extremo inferior.
- 4.1.3 El calibrador debe permitir el acomodo de núcleos de diferente longitud, en un rango de 100 a 250 milímetros (4 pulg a 10 pulg), cuando menos.
- 4.1.4 El calibrador debe estar diseñado de manera que sea posible hacer una medida de longitud en el centro del extremo superior de la probeta y en ocho (8) puntos adicionales espaciados a iguales intervalos a lo largo de la circunferencia de un círculo cuyo centro coincida con el del área de la base de la probeta y cuyo radio no sea menor de un medio (1/2) ni mayor de tres cuartos (3/4) del radio de la probeta.
- 4.1.5 La vara de medida u otro dispositivo que haga contacto con la superficie de la base del núcleo se debe doblar con un radio de 3,2 mm (1/8 pulg). La escala en la cual se medirán las longitudes se debe marcar con graduaciones claras, definidas y espaciadas a intervalos exactos. El espaciamiento de las graduaciones debe ser 2,5 mm (0,10 pulg) durante todas las operaciones normales de medida.
- 4.1.6 El aparato debe ser estable y suficientemente rígido para mantener su forma y alineamiento sin distorsión o deflexión mayor a 0,25 mm durante las operaciones normales de medida.

5.0 MUESTRA**5.1 Probetas para ensayo**

Los núcleos usados como probetas para la medida de la longitud, deben ser representativos del concreto en la estructura de la cual se han extraído. El núcleo debe ser taladrado con el eje en posición normal a la superficie de la estructura, y las bases se deben encontrar libres de condiciones

que no sean características de las superficies de la estructura. No se deben emplear núcleos que presenten defectos importantes o que se hayan dañado considerablemente durante el barrenado.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Antes de medir la longitud del núcleo, se debe calibrar el aparato, de manera que se conozcan los errores debidos a sus imperfecciones mecánicas. Cuando los errores excedan de 0,25 mm, se deben aplicar correcciones adecuadas a las medidas de longitud.
- 6.2 La probeta se colocará en el aparato de medida con el extremo liso del núcleo, es decir, el extremo que representa la superficie superior de una losa de pavimento o la superficie conformada en el caso de otras estructuras, colocado hacia abajo para que quede apoyado contra los tres soportes de acero endurecido. La probeta debe quedar colocada sobre los soportes de manera que la posición central de medida del aparato quede directamente sobre el punto medio de la base superior de la probeta.
- 6.3 Se deben efectuar nueve (9) medidas de longitud en cada probeta, una en la posición central y una en cada una de las ocho (8) posiciones adicionales espaciadas a iguales intervalos a lo largo de la circunferencia del círculo de medida descrito en la Sección 4.1.4. Cada una de estas nueve (9) medidas se deben leer directamente, con aproximación de 2,5 mm (0,1 pulg) y 1,27 mm (0,05 pulg).

Nota 1. Si en el transcurso de la operación de medida se descubre que uno o más de los puntos de medida de la superficie de la probeta no es representativo del plano general de la base del núcleo a causa de una pequeña saliente o depresión, la probeta se debe rotar levemente alrededor de su eje, efectuando las nueve (9) medidas en la nueva posición.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME

Las medidas individuales se deben registrar con aproximación a los 1,3 mm (0,05 pulg) y el promedio de las nueve (9) medidas, aproximado a los 2,5 mm (0,1 pulg) más cercanos, se informará como longitud del núcleo de concreto.



Figura 1. Medidor

MTC E 713**EXUDACION DEL CONCRETO****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar la cantidad relativa de agua que exuda una muestra fresca de concreto.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Se consideran dos métodos de ensayo, los cuales difieren primordialmente en el grado de vibración al cual se somete la muestra de concreto.
- 2.2 Los valores dados en unidades SI deben ser considerados como la norma.
- 2.3 Esta norma no involucra las debidas precauciones de seguridad que se deben tomar para la manipulación de materiales y equipos aquí descritos, ni establece pautas al respecto para el desarrollo de cada proceso en términos de riesgo y seguridad industrial. Es responsabilidad de él usuario, establecer las normas apropiadas con el fin de minimizar los riesgos en la salud e integridad física, que se puedan generar debidos a la ejecución de la presente norma y determinar las limitaciones que regulen su uso.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.077 HORMIGON (CONCRETO), Método de ensayo gravimétrico para determinar la exudación de hormigón (concreto).
- 3.2 ASTM C 232 Standard Test Methods Bleeding of Concrete.
- 3.3 AASHTO T 158 Standard Test Methods Bleeding of concrete.

4.0 EQUIPO Y MATERIALES**4.1 EQUIPO****MÉTODO A. MUESTRA COMPACTADA POR APISONADO**

- 4.1.1 Recipiente cilíndrico – De aproximadamente 14 litros ($1/2$ pie³) de capacidad, con diámetro interior de 255 ± 5 mm ($10 \pm 1/4$ pulg) y altura interior de 280 ± 5 mm ($11 \pm 1/4$ pulg).
El recipiente debe ser metálico de calibre comprendido entre 2,67 a 3,40 mm (0,105 a 0,134 pulg), y debe estar reforzado externamente alrededor de la parte superior con los mismos calibres y una banda metálica de 40 mm ($1\frac{1}{2}$ pulg) de ancho. El interior debe ser liso y libre de corrosión, recubrimiento o lubricantes.
- 4.1.2 Báscula – De suficiente capacidad para determinar la masa requerida con precisión de 0,5%.
- 4.1.3 Pipeta – o instrumento similar, para extraer el agua libre de la superficie de la muestra de ensayo.
- 4.1.4 Probeta graduada – Con capacidad para medir 100 mL, con el fin de medir la cantidad de agua retirada.
- 4.1.5 Varilla compactadora – De acero estructural, cilíndrico de 16 mm ($5/8$ ") de diámetro y de longitud aproximada de 610 mm (24"); el extremo compactador debe ser hemisférico con radio de 16 mm ($5/8$ ").
- 4.1.6 Recipiente metálico (opcional) – De 1000 mL, para recolectar el agua exudada y los sedimentos.
- 4.1.7 Balanza (opcional) – Con sensibilidad de 1 gramo, para determinar la masa de agua exudada y los sedimentos.
- 4.1.8 Estufa (opcional) – Pequeña, o cualquiera otra fuente de calor para evaporar el agua exudada.

Nota 1. Los aparatos citados en las Secciones 3,6 a 3,8 son necesarios si el proceso de medida del agua exudada requiere determinar la masa, evaporar y volver a determinar la masa.

METODO B. MEZCLA CONSOLIDADA POR VIBRACIÓN

- 4.1.9 Plataforma vibratoria – Se debe tener una plataforma sobre la cual se monta el recipiente lleno. La plataforma se debe equipar con un dispositivo adecuado para obtener períodos intermitentes de vibración, los cuales deben tener duración, frecuencia y amplitud, reproducibles de acuerdo a la Sección 4.1.13 (ver Figura 1)

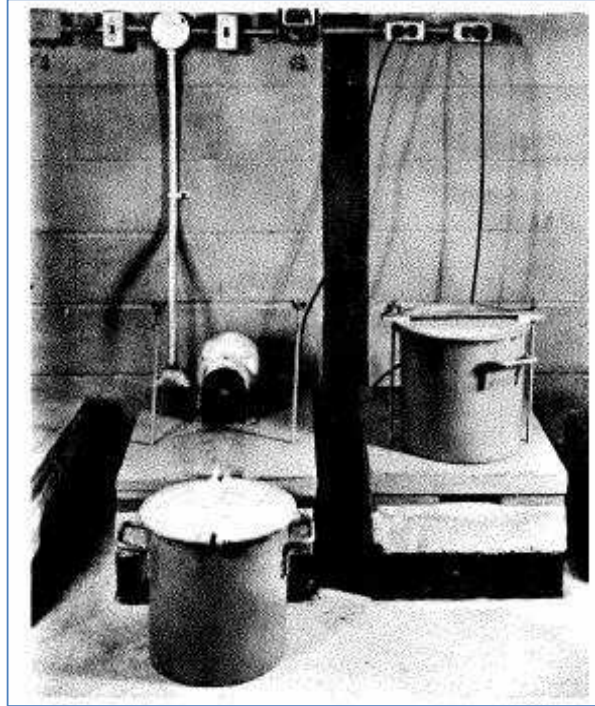


Figura 1. Plataforma vibratoria y registrador

Se puede obtener una vibración apropiada si se une a la plataforma un motor eléctrico de 93-W (1/8 HP) al cual se adiciona una excéntrica en su eje de 110 g aproximadamente. Ajustada mediante un tornillo. Esta excéntrica debe ser fabricada a partir de un bloque laminado en frío de acuerdo con los detalles y dimensiones mostrados en la Figura 2. La abertura que atraviesa la excéntrica es de 13,5 mm (17/32 pulg), una apropiada medida que se acomoda al eje del motor. La plataforma debe descansar sobre soportes de caucho que reposan sobre una losa de concreto. La losa debe separarse del piso a través de una capa de corcho, como se muestra en la Figura 2.

- 4.1.10 Reloj – Dispositivo registrador, mediante el cual pueden ser regulados los períodos de vibración dados a la plataforma.
- 4.1.11 Recipiente – El recipiente para efectuar el ensayo debe ser de acero, de 290 mm (11 ½ pulg) de diámetro en la parte superior, 279 mm (11 pulg) de diámetro en el fondo, 280 mm (11 1/8 pulg) de altura, y debe tener tapa metálica. El recipiente y la tapa deben cumplir con los detalles dados en la Figura 3.

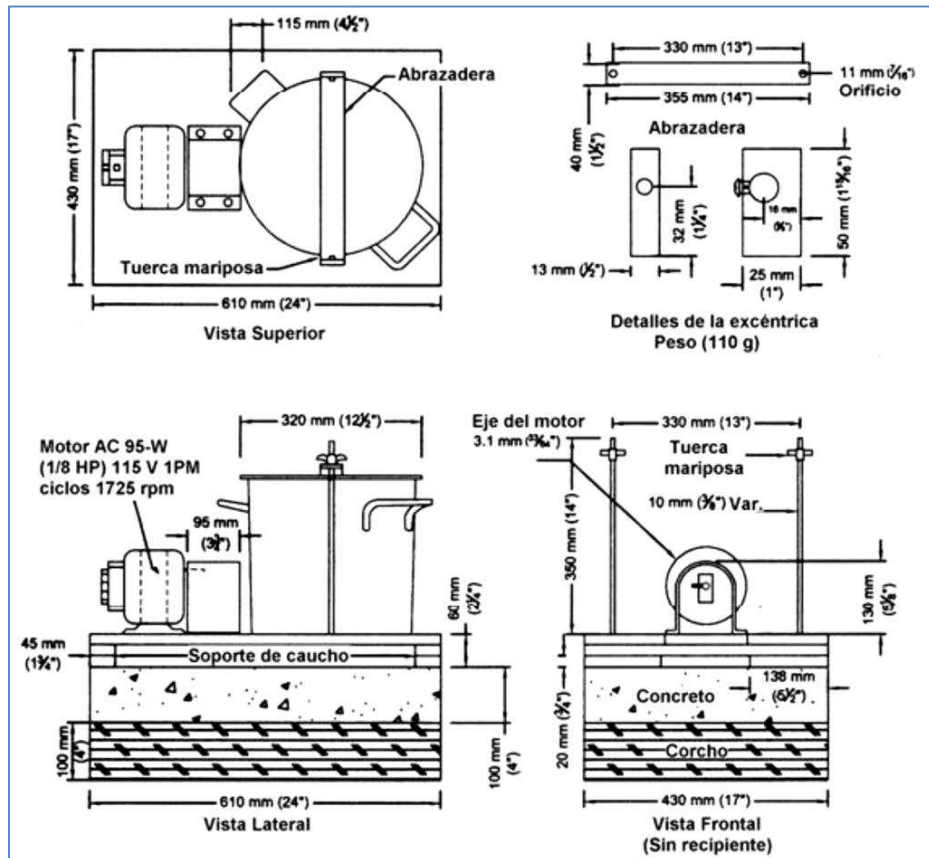


Figura 2. Detalles del equipo del ensayo de exudación del concreto

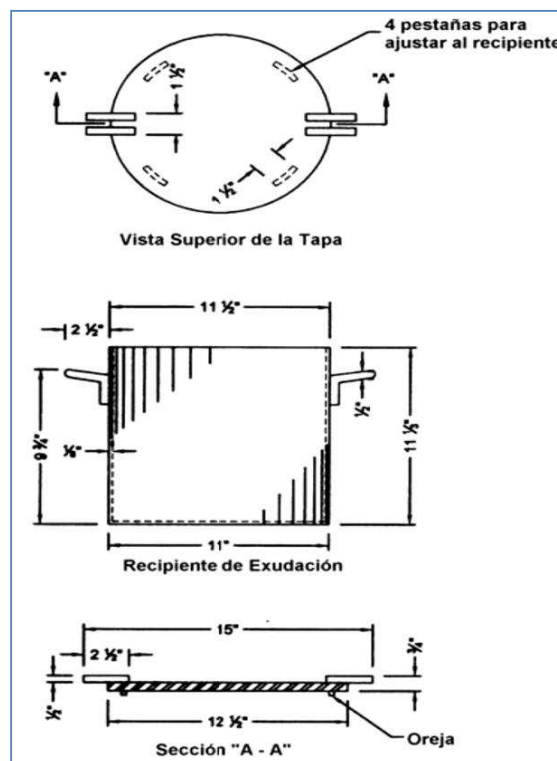


Figura 3. Recipiente y cubierta

4.1.12 Los dispositivos restantes serán los mismos enunciados en las Secciones 4.1.2 a 4.1.8.

4.1.13 ciclo vibratorio

Debe ser de la siguiente manera: Se acciona el motor durante 3 segundos y se desconecta durante 30 segundos. Sin embargo debido a la inercia del motor, después de accionarlo es apagado, el periodo de vibración es aproximadamente 7 segundos. (Figura 1)

5.0 MUESTRA

MÉTODO A. MUESTRA COMPACTADA POR APISONADO

5.1 La preparación y el curado de muestras de concreto en el laboratorio se debe hacer conforme con la norma MTC E 702.

5.2 Para el concreto elaborado en obra, las muestras se toman de acuerdo con la norma MTC E 701.

5.3 Los aparatos descritos se pueden usar para muestras de concreto que contengan cualquier tamaño de agregados de un tamaño nominal máximo de 50 mm (2 pulg).

El concreto que contenga agregados de tamaños nominales superiores al indicado, debe ser tamizado en húmedo por un tamiz 37,5 mm (1½ pulg) y el ensayo se realiza con una porción de la muestra que pasa ese tamiz.

5.4 Llenado el recipiente. Se llena el recipiente con el concreto de acuerdo con la norma MTC E 714, excepto que el recipiente debe ser llenado hasta una altura de 254 ± 3 mm ($10 \pm 1/8$ pulg). Se nivela la superficie superior de la muestra de concreto mediante acción de allanado, hasta lograr una superficie lisa.

METODO B. MEZCLA CONSOLIDADA POR VIBRACIÓN

5.5 La muestra se prepara de acuerdo a las [Secciones 5.1 a 5.3](#).

5.6 Se coloca la muestra en el recipiente hasta la mitad de la altura del mismo.

5.7 El tamaño de la muestra se regula mejor por masa. Una muestra adecuada para este ensayo debe tener una masa de $20 \pm 0,5$ kg. Usualmente se conocen los requerimientos para los aparatos descritos en la Figura 2.

6.0 PROCEDIMIENTO

MÉTODO A. MUESTRA COMPACTADA POR APISONADO

6.1 Durante el ensayo, la temperatura se mantiene entre 18° y 24° C.

6.2 Inmediatamente después de apisonar la superficie de la muestra se registra el tiempo y se determina la masa del recipiente con su contenido.

6.3 Se coloca la muestra anterior y el recipiente en una plataforma o en un piso libre de vibración, y se cubre el recipiente con un material no absorbente para prevenir la evaporación del agua exudada.

6.4 Se mantiene la cubierta sobre la muestra durante todo el ensayo, excepto para extraer el agua. Se extrae el agua acumulada en la superficie a intervalos de 10 minutos durante los primeros 40 minutos contados a partir del alisado de la muestra, pasados los cuales se extrae el agua cada 30 minutos, hasta que cese la exudación.

6.5 Para facilitar la recolección del agua exudada, se inclina con cuidado la muestra 2 minutos antes de cada extracción de agua poniendo un bloque de aproximadamente 50 mm (2 pulg) de grueso bajo un lado del recipiente. Luego de retirar el agua, se devuelve el recipiente a la posición original sin agitarlo.

6.6 Después de cada recolección, se transfiere el agua a una probeta graduada de 100 mL y se registra la cantidad acumulada de agua después de cada transferencia. Cuando únicamente se desea determinar el volumen total de exudación, se puede omitir el proceso de remoción periódica y se extrae la totalidad del agua exudada en una sola operación.

- 6.7 Para determinar la masa del agua exudada, se traslada el agua y los sólidos recolectados a un recipiente apropiado (Sección 4.1.6), se determina la masa y se lleva a un horno para evaporar el agua después de lo cual se determina la masa del recipiente nuevamente. La masa D del agua exudada se calcula por medio de la diferencia de pesos obtenidos.

METODO B. MEZCLA CONSOLIDADA POR VIBRACIÓN

- 6.8 Compactación de la muestra de ensayo – Se compacta la muestra en el recipiente, por medios vibratorios durante el tiempo suficiente para lograr el grado deseado de compactación. Se considera aplicada una vibración suficiente tan pronto se alise la superficie de la muestra de concreto. El proceso de compactación se detiene inmediatamente después de la aparición de agua libre, indicada por el desarrollo de un brillo en la superficie de la muestra. Para muestras muy fluidas, no se necesita compactación distinta de la producida al colocar la muestra en el recipiente y manejarla durante el proceso de determinación de la masa y colocación en la plataforma de ensayo.
- 6.9 Vibración intermitente – Se tapa el recipiente y se coloca en la plataforma vibratoria asegurándolo firmemente. Al conectar el motor se anota el tiempo y se continúa la vibración intermitente durante una hora.
- 6.10 Determinación del agua exudada – El período intermitente de vibración no permite determinar la cantidad de agua exudada durante intervalos diferentes de tiempo. Determinando el volumen total de agua exudada como se describe en el Método A.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 El volumen de agua exudada por unidad de superficie se calcula como sigue:

$$V = \frac{V_1}{A}$$

Donde:

V₁ = volumen del agua exudada en ml, medida durante el intervalo de tiempo seleccionado, y

A = área expuesta del concreto en centímetros cuadrados.

Se puede determinar un porcentaje comparativo de exudación, a medida que el ensayo progresa, comparando el volumen de agua exudada para cada intervalo de tiempo igual.

- 7.1.2 El agua exudada expresada como un porcentaje de la cantidad neta de agua utilizada en la mezcla, se calcula como sigue:

$$\text{Exudación (\%)} = \frac{D}{C} \times 100$$

La cantidad de agua total en la muestra ensayada se calcula como sigue:

$$C = \frac{W}{M} \times S$$

Donde:

C = masa del agua en la muestra de ensayo (g),

M = masa total de la mezcla (kg),

w = mezcla de agua total (cantidad de agua total menos la cantidad de agua absorbida por agregados) kg,

S = masa de la muestra (g), y

D = masa del agua exudada en gramos, o volumen total del agua extraída de la muestra ensayada, en cm^3 multiplicado por 1 g/mL.

7.2 INFORME

7.2.1 Interpretación de los resultados

Hasta el presente no hay datos disponibles para evaluar directamente la precisión del método A. Sin embargo hay razón para pensar que la precisión del método A es tan buena como la del método B.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 Método A – No se tienen datos disponibles para evaluar la precisión del Método A directamente. Sin embargo, existe una razón para pensar que la precisión para este método es al menos tan buena como la del Método B. Los valores dados para el Método B deberán ser usados como límites de precisión máximos para el Método A.

8.1.2 Método B – La desviación normal se ha calculado en 0,71% para un rango de exudación comprendida entre 200 a 10%; 1,06% para un rango de exudación comprendida entre 10 a 20% y 1,77% para más del 20%. Por lo tanto, los resultados de los ensayos correctamente efectuados por un mismo operario en un mismo día, obtenidos de diferentes concretos de igual dosificación, no deben diferir en más del 2% para un intervalo de exudación de 200 a 10%; 3% para un intervalo de exudación de 10 a 20% y 5% para más del 20%. (Ver nota 2)

Nota 2. Estos números representan, respectivamente los primeros y segundos límites como se describen en ASTM C 670, para preparar la interpretación de los resultados para el método de materiales de construcción

8.2 DISPERSIÓN

8.2.1 Tolerancias. Este método de ensayo no tiene tolerancias debido a que los valores determinados pueden estar definidos, únicamente, en términos de este método

MTC E 714**PESO UNITARIO DE PRODUCCION (RENDIMIENTO) Y CONTENIDO DE AIRE (GRAVIMETRICO)****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar la densidad (ver Nota 1.) del concreto recién mezclado que proporcionará fórmulas para calcular el rendimiento, el contenido de cemento y el contenido de aire del concreto.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El rendimiento se define como el volumen del concreto logrado con una mezcla de cantidades conocidas de sus materiales componentes.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 NTP 339.046 HORMIGON (CONCRETO), Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire del hormigón.
- 3.2 ASTM C 138 Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete.
- 3.3 AASHTO T 121 Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete.

SIMBOLOS

A = Contenido de aire (porcentaje de vacíos) en el concreto.

N = Contenido real de cemento, kg/m³ ó lb/yd³.

Nt = Masa del cemento en la tanda, kg o lb.

Ry = Rendimiento relativo.

T = Masa teórica del concreto, suponiendo la no presencia de aire, kg/m³ o lb/pie V = Volumen total absoluto de los ingredientes que componen la tanda, m³ o pies³.

W = Densidad o Masa unitaria del concreto, Kg/m³ o lb/pie³

W₁ = Masa total de todos los materiales de la tanda, Kg o lb (Nota 3).

Y = Volumen de concreto producido por tanda, m³ o yd³

Yd = Volumen de concreto que, por diseño, debería producir la tanda, m³ o yd³.

Yf = Volumen de concreto producido por tanda, pie³.

Nota 1. Peso unitario fue la terminología previa empleada para describir la propiedad determinada por este método de ensayo, la cual es masa por unidad de volumen

Nota 2. La densidad teórica se determina usualmente en el laboratorio. Se asume que su valor permanece constante durante todas las tandas cuando se utilizan los mismos componentes y las mismas proporciones. Se calcula mediante la ecuación:

$$T = \frac{W_1}{Y}$$

El volumen absoluto de cada componente es igual al cociente entre la masa de tal componente y el producto de su densidad por 62,4. El volumen absoluto de cada ingrediente en m³ es igual a la masa del ingrediente en kilogramos dividida entre 1000 veces su gravedad específica. Para los agregados, la densidad aparente y la masa se debe determinar en su condición S.S.S. (saturada y superficialmente seca). Para el cemento, la densidad real se debe determinar mediante la norma INV E-307. Se puede utilizar el valor de 3,15 para cementos que cumplan con los requisitos de la norma AASHTO M -85.

Nota 3. La masa total de todos los materiales de la tanda es la suma de las masas del cemento, del agregado fino en la condición de uso, del agregado grueso en la condición de uso, del agua de mezcla añadida a la tanda y de cualquier otro material sólido o líquido utilizado

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza – Tendrá precisión de aproximadamente el 0,3% (45g, 0,1lb) de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del intervalo de uso. El intervalo de uso debe abarcar desde la masa del medidor vacío, hasta dicha masa vacía más su contenido, considerándose que tenga este último un peso unitario de 2600 kg/m³ (160 lb/pie³).
- 4.1.2 Varilla compactadora – Debe ser de hierro, liso, cilíndrica, de 16 mm (5/8 pulg) de diámetro y de longitud aproximada de 600 mm (24 pulg); el extremo compactador debe ser semiesférico con radio de 8 mm (5/16 pulg).
- 4.1.3 Vibrador interno – Los vibradores internos pueden tener ejes flexibles o rígidos, movidos preferiblemente mediante motores eléctricos. Deben proporcionar 7000 vibraciones por minuto (117 Hz) o más, al encontrarse en funcionamiento. El diámetro externo o la dimensión lateral del elemento vibrador debe ser de por lo menos 19 mm (0,75 pulg), y no mayor de 38 mm (1,5 pulg). La longitud del eje debe ser de por lo menos 600 mm (24 pulg).
- 4.1.4 Medidor – Corresponde a un recipiente cilíndrico de acero o de otro metal apropiado. (Nota 4). Debe ser impermeable y suficientemente rígido para mantener su forma y volumen calibrado aún bajo uso rudo. Se prefieren aquellos medidores que son maquinados a las dimensiones precisas en su interior y que poseen manijas. La capacidad mínima del medidor se debe ajustar a lo especificado en la Tabla 1. Todos los medidores, exceptuando los recipientes de medida utilizados para determinación del contenido de aire, deben cumplir con los requisitos de la norma MTC E 203. Tales recipientes de medida para determinación del contenido de aire deben cumplir con lo especificado en la norma MTC E 706. El borde superior de estos recipientes debe ser liso y plano en 0,25 mm (0,01pulg).

Tabla 1. Capacidad mínima de los medidores

Tamaño nominal máximo del agregado grueso ^a		Capacidad del medidor, mínimo ^b	
mm	pulg	dm ³	ft ³
25,0	1	6	0,2
37,5	1½	11	0,4
50	2	14	0,5
75	3	28	1,0
114	4½	71	2,5
152	6	99	3,5

- a El agregado de un tamaño nominal máximo puede contener hasta 10% de partículas retenidas en el tamiz correspondiente a este tamaño.
- b Para tener en cuenta el desgaste, las medidas pueden ser hasta un 5% más Pequeña que las indicadas en esta tabla.

Nota 4. El metal no debe ser fácilmente atacable por la pasta de cemento. Se pueden usar, sin embargo, algunos metales que son reactivos, por ejemplo ciertas aleaciones de aluminio, cuando éstos son capaces de formar una capa protectora de la corrosión subsiguiente

- 4.1.5 Placa enrasadora – Debe ser metálica, rectangular, de por lo menos 6 mm (1/4 pulg) de espesor o una placa de vidrio o acrílica de por lo menos 13 mm (½pulg) de espesor, con un ancho y un largo superiores en 50 mm (2 pulg) al diámetro del medidor con el cual va a ser usada. Los bordes de la placa deben ser rectos y lisos dentro de una tolerancia de 1,6 mm (1/16 pulg).

- 4.1.6 Equipo de calibración – Se refiere a una placa de vidrio, de por lo menos 6 mm (1/4 pulg) de espesor y al menos 25 mm (1 pulg) superior al diámetro del medidor que va a ser calibrado. Se debe proveer una bomba de agua o una grasa que se pueda colocar sobre el borde del recipiente para evitar derrames o pérdidas.
- 4.1.7 Martillos – Pueden ser de cabeza de caucho o de cuero, con una masa de aproximadamente 600 ± 200 g (1,25 ± 0,50 lb) para medidores de 14 dm³ (0,5 pies³) o menos, y otro con una masa de aproximadamente 1000 ± 200g para medidores de volumen superior a 14 dm³ (0,5 pies³).

5.0 MUESTRA

- 5.1 Se obtiene la muestra a partir de la mezcla de concreto fresco de acuerdo con la norma MTC E 701.

6.0 PROCEDIMIENTO

Calibración del medidor

Se calibra el medidor y se determina el factor que se debe usar para convertir la masa en kg (lb) del material contenido en su interior a masa unitaria kg/m³ (lb/pie³). Se sigue el procedimiento descrito en la norma MTC E 203. Los medidores se deben calibrar por lo menos una vez cada año o siempre que se dude de la precisión de la calibración.

- 6.1 Generalidades – Los métodos de consolidación son los de apisonado y vibración interna. Se deben apisonar aquellos concretos que den un asentamiento superior a los 75 mm (3 pulg). Se deben apisonar o vibrar los concretos que den un asentamiento de 25 a 75 mm (1 a 3 pulg). Los concretos que den un asentamiento inferior a 25 mm (1 pulg), deben ser compactados por vibración.

Nota 5. El concreto no-plástico, el cual es utilizado comúnmente en la fabricación de tubos y mampostería, no es considerado dentro de esta norma.

- 6.2 Apisonado – Se coloca el concreto en el medidor, en tres capas de aproximadamente igual volumen. Se golpea cada capa con la varilla compactadora, 25 veces cuando se usen medidores de volumen igual o menor a 0,014m³ (0,5 pies³) o 50 veces cuando se use el medidor de 0,28m³ (1 pie³).

Los golpes aplicados a la capa inferior deben cruzar todo su espesor, pero no deben estrellar fuertemente el fondo del medidor. Se distribuyen los golpes uniformemente sobre la sección transversal del medidor. Para las capas media y superior, los golpes deben penetrar aproximadamente 25 mm (1 pulg) dentro de la capa anterior a la que está siendo compactada. Después que cada capa ha sido compactada, se golpean los costados del medidor con el martillo apropiado, entre 10 y 15 veces, con el fin de cerrar los orificios dejados por la varilla y de liberar las burbujas de aire que hayan quedado atrapadas en la mezcla. Se añade la capa final de tal forma que se evite el sobrellenado.

- 6.3 Vibración interna – Se llena y vibra el medidor en dos capas aproximadamente iguales, colocando todo el concreto de una capa antes de vibrarlo. Se inserta el vibrador en tres puntos diferentes para cada capa. Al vibrar la capa inferior se evita el contacto del vibrador con el fondo o las paredes del medidor. Al penetrar la última capa el vibrador debe penetrar aproximadamente 25 mm (1 pulg) dentro de la capa anterior. Se debe tener cuidado de no dejar bolsas de aire al extraer el vibrador. El tiempo de vibración requerido dependerá de la manejabilidad del concreto y de la efectividad del vibrador (Nota 6). Se continúa la vibración sólo lo suficiente para obtener una compactación satisfactoria del concreto (Nota 7). Se conserva un mismo tiempo de vibrado para una clase particular de concreto, de vibrador y de medidor utilizados.

Nota 6. Usualmente se considera que se ha aplicado suficiente vibración cuando la superficie del concreto se hace lisa.

Nota 7. Una vibración excesiva puede causar segregación y pérdidas en la cantidad de aire que intencionalmente se pretende dejar incluido en la mezcla

- 6.4 Al terminar la compactación, el medidor no debe mostrar un exceso o una deficiencia considerable de concreto. Se considera como óptimo, un exceso de concreto que sobresalga 3 mm (1/8 pulg) por encima del nivel del borde del molde.

Se puede añadir una pequeña cantidad de concreto para corregir una deficiencia. Si el medidor contiene gran exceso de concreto al terminar la compactación, se remueve una porción representativa del exceso con un palustre o una cuchara, inmediatamente después de completar la compactación y antes de enrasar el medidor.

- 6.5 Enrasado – Se enrasa la superficie del concreto al terminar la compactación y se termina la superficie del concreto, en forma lisa con la placa enrasadora, teniendo mucho cuidado de dejar el medidor lleno justo a nivel. El enrasado queda mejor presionando la placa enrasadora sobre la superficie del medidor, para cubrir aproximadamente 2/3 de la superficie y retirando la placa con un movimiento de sierra para terminar solamente el área originalmente cubierta. Luego se coloca la placa sobre la superficie del medidor para cubrir los 2/3 originales de superficie y se avanza la placa con una presión vertical y un movimiento de sierra para cubrir el total de la superficie del medidor. Si se dan varios pequeños golpes con el extremo inclinado de la placa, se producirá una superficie lisa.

- 6.6 Limpieza y pesaje – Después de enrasar, se limpia cualquier exceso de concreto existente en el exterior del medidor y se determina la masa neta del concreto en el medidor con una precisión acorde con la expresada en la Sección 4.1.1

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Densidad (Masa Unitaria) – Se calcula la masa neta del concreto, restando la masa del medidor vacío M_m , a la masa del medidor lleno con concreto, M_c . Se calcula la densidad, W , dividiendo la masa neta del concreto entre el volumen del medidor, V_m como se muestra a continuación:

$$W = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

- 7.1.1.1 Rendimientos – Se calcula el rendimiento como sigue:

$$Y(m^3) = \frac{W_1}{W}$$

$$Y_f(\text{pie}^3) = \frac{W_1}{W}$$

$$Y_f(\text{yd}^3) = \frac{W_1}{27W}$$

- 7.1.1.2 Rendimiento relativo – Es la relación entre el volumen real del concreto obtenido y el volumen tal como fue diseñado para la tanda, calculado como sigue:

$$Ry = \frac{Y}{Y_d}$$

Nota 8. Un valor de Ry superior a 1.00 indica un exceso del concreto que está siendo producido mientras que el valor menor indica que la tanda es “pequeña” para su volumen de diseño

7.1.1.3 Contenido de cemento – Se calcula el contenido de cemento real de la siguiente forma:

$$N = \frac{Nt}{Y}$$

7.1.1.4 Contenido de aire – Se calcula su valor de la manera siguiente:

100 (unidades SI)

$$A = \frac{Y - V}{Y} \times 100 \text{ (unidades SI)}$$

ó

$$A = \frac{T - W}{T} \times 100$$

ó

$$A = \frac{Y_f - V}{Y_f} \times 100 \text{ (unidades lb - pul)}$$

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 Las siguientes estimaciones de precisión para esta norma están basadas en una colección de datos de varias partes por el "National Ready Mixed Concrete Association". Los datos representan mezclas de concreto con asentamientos entre 75 y 150 mm (3 y 6 pulg) y densidades entre 1842 y 2483 kg/m³ (115 y 155 lb/pie³) y concreto con contenido de aire incluido y sin contenido de aire. El estudio se realizó empleando medidores de 7dm³ (0,25 pie³) y 14 dm³ (0,5 pie³).
- 8.1.2 Precisión de operador simple – Se ha encontrado que la desviación estándar de la densidad de mezclas de concreto para un operador simple es 10,4 kg/m³ (0,65 lb/pie³) (1s). Es por esto que dos resultados de ensayos realizados por el mismo operador apropiadamente en la misma muestra de concreto, no deberán diferir en más de 29,6 kg/m³ (1,85 lb/pie³) (d2s).
- 8.1.3 Precisión de operador múltiple – Se ha encontrado que la desviación estándar de la densidad de mezclas de concreto para un operador múltiple es 13,1 kg/m³ (0,82 lb/pie³) (1s). Es por esto que dos resultados de ensayos realizados por los dos operadores apropiadamente en la misma muestra de concreto no deberán diferir en más de 37,0 kg/m³ (2,31 lb/pie³) (d2s).
- 8.1.4 Tolerancia – Esta norma no tiene ninguna tolerancia puesto que la densidad es definida únicamente en términos de esta norma.

MTC E 715**FLUJO PLASTICO DEL CONCRETO A LA COMPRESION****1.0 OBJETO**

- 8.2 Determinar el flujo plástico (creep) de cilindros moldeados de concreto, que se someten a la acción de una carga longitudinal compresiva.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El método se limita a concretos con tamaño máximo de agregado no mayor de 50 mm (2 pulg).
- 2.2 Este método mide la deformación por compresión inducida por la carga dependiente del tiempo, para edades escogidas del concreto, bajo una serie arbitraria de condiciones ambientales controladas.
- 2.3 Este método se puede usar para comparar los potenciales de flujo plástico de distintos concretos. Un procedimiento posible, consiste en utilizar la ecuación desarrollada (o método gráfico) para calcular esfuerzos, a partir de datos de deformación en estructuras masivas de concreto no reforzado. Para aplicaciones de diseño más específicas, las condiciones del ensayo fijadas más adelante en esta norma se deberán modificar para simular lo más cercanamente posible, las condiciones anticipadas de curado, térmicas, de exposición y duración de carga, para la estructura prototipo. Actualmente las teorías y efectos del material y los parámetros del medio ambiente son presentados en ACI SP-9 Simposio sobre el flujo plástico del concreto.
- 2.4 Ante la ausencia de hipótesis satisfactorias que gobiernen el fenómeno del flujo plástico, se han considerado algunas suposiciones, que generalmente están siendo confirmadas mediante ensayos y por la práctica. El flujo plástico es proporcional al esfuerzo de compresión para valores entre el 0 y 40% de la resistencia a la compresión del concreto. Se ha demostrado concluyentemente que el flujo plástico es directamente proporcional al contenido de pasta, para el rango de contenidos de pasta utilizados normalmente en el concreto. Así es como las características de flujo plástico de mezclas de concreto que tienen agregados con tamaño máximo mayor de 50 mm (2"), se pueden determinar a partir del flujo plástico de la porción que pasa por el tamiz de menos 50 mm (menos 2"), multiplicando este valor, por la relación de contenidos de pasta de cemento (en volumen) entre la mezcla completa y la porción tamizada.
- 2.5 El uso de una expresión logarítmica (Sección 7), no implica que la relación entre el flujo plástico y el tiempo de deformación sea necesariamente una función logarítmica exacta; sin embargo, para un período de un año, la expresión se aproxima al comportamiento normal con suficiente exactitud, para hacer posible el cálculo de parámetros que son útiles para el propósito de comparar concretos.
- 2.6 No hay datos que puedan fundamentar la extrapolación de los resultados de este ensayo a esfuerzos de torsión y tensión.
- 2.7 Los valores dados en unidades SI deben ser considerados como la norma.
- 2.8 Esta norma no involucra las debidas precauciones de seguridad que se deben tomar para la manipulación de materiales y equipos aquí descritos, ni establece pautas al respecto para el desarrollo de cada proceso en términos de riesgo y seguridad industrial. Es responsabilidad del usuario, establecer las normas apropiadas con el fin a la ejecución de la presente norma y determinar las limitaciones que regulen su uso.

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 ASTM C 512 Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

4.1.1 Moldes – Serán cilíndricos y cumpliendo los requerimientos de la norma MTC E 702 "Fabricación y curado en el laboratorio de muestras de concreto".

4.1.1.1 Molde horizontal que cumpla con los requerimientos de la sección sobre molde horizontal para el ensayo de flujo plástico en cilindros de la norma MTC E 702 Un molde horizontal que cumple con una prueba satisfactoria, se muestra en la Figura 1.

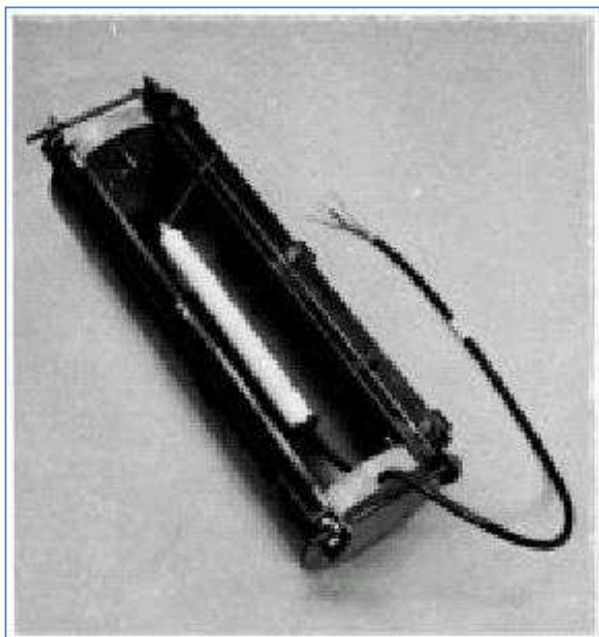


Figura 1. Molde horizontal para especímenes de creep

4.1.1.2 Dispositivo de carga – Capaz de aplicar y mantener la carga requerida sobre el espécimen sin importar cualquier cambio en las dimensiones del mismo. En su forma más simple, el dispositivo de carga consistirá en cabezales planos. apoyo sobre los extremos del espécimen, un elemento para mantener la carga, que puede ser: un resorte, una cápsula hidráulica o ambos y varillas con roscas, para tomar las reacciones del sistema cargado. Las superficies de carga se desviarán del plano no más de 0,025 mm (0,001"). En un dispositivo de carga, se pueden apilar varios especímenes para ensayarlos simultáneamente La longitud entre cabezales planos no debe exceder en 1780 mm (70 pulg). Cuando se utiliza un elemento hidráulico para mantener la carga, se pueden atender simultáneamente varios dispositivos de carga, por medio de una unidad central hidráulica de regulación de presión, que la integran: un acumulador, un regulador, manómetros y una fuente de alta presión tal como un cilindro de nitrógeno o una bomba de alta presión. Se pueden utilizar resortes como los del sistema amortiguador de ferrocarriles, para mantener la carga sobre dispositivos, similares a los que se describieron antes. La compresión inicial se aplicará por medio de un gato portátil o una máquina de ensayo. Cuando se usen resortes, se deberá cuidar que se disponga de una cabeza apoyada sobre una rótula y que la placa de apoyo esté suficientemente bien agarrada para asegurar una carga uniformemente aplicada a los cilindros. La Figura 2 muestra una aceptable carga en los dispositivos de los resortes. Se dispondrá de medios adecuados para medir la carga con una aproximación del 2% de la carga total aplicada. Puede ser un manómetro hidráulico con instalación fija o un gato hidráulico con celdas de carga que se colocan en el dispositivo, a medida que la carga se aplica o ajusta.

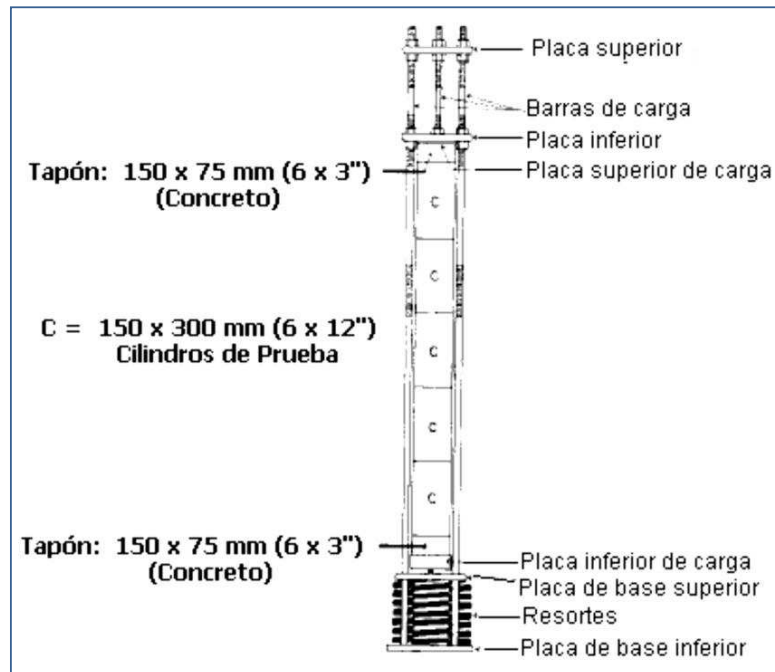


Figura 2. Estructura de creep resorte –carga

4.1.1.3 Dispositivos medidores de deformación – Los aparatos utilizados deberán tener dispositivos para medir la deformación longitudinal en el espécimen, con aproximación a las diezmillonésimas. El dispositivo puede estar integrado al aparato, puede ser instalado o ser portátil. Si se utilizan los portátiles, los puntos de contacto deberán marcarse sobre el espécimen en forma notoria. No se permitirá el uso de deformímetros que dependen de contacto por fricción. Si se utiliza un medidor integrado, deberá estar situado en forma que su movimiento de deformación ocurra a lo largo del eje longitudinal del cilindro.

Si se utilizan aparatos externos, las deformaciones serán medidas por lo menos sobre dos líneas medidoras espaciadas uniformemente alrededor de la periferia del espécimen. Los medidores pueden ser instrumentados para que la deformación media sobre todas las líneas del medidor se puedan leer directamente. La línea de medida efectiva será al menos tres veces el tamaño máximo del agregado del concreto. Los aparatos de medir deformaciones, deberán ser capaces de medir por lo menos durante un año, sin cambios en la calibración.

Nota 1. Los sistemas en los cuales las variaciones de las deformación es son comparadas con una barra normalizada de longitud constante se consideran más confiables, aunque los medidores eléctricos de deformación son considerados satisfactorios.

5.0 MUESTRA

5.1 Procedimiento de ensayo

5.1.1 Moldes – Serán cilíndricos y cumpliendo los requerimientos de la norma MTC E 702 "Fabricación y curado en el laboratorio de muestras de concreto" Tamaño del espécimen – El diámetro de cada espécimen será de $150 \pm 1,6$ mm ($6 \pm 1/16$ ") y la longitud será de 292 mm ($11 \frac{1}{2}$ "), por lo menos. Cuando los extremos del espécimen están en contacto con los platos de carga de acero, la longitud del espécimen será igual a la longitud del aparato medidor de deformaciones más el diámetro del espécimen. Si los extremos del espécimen están en contacto con otros especímenes de concreto similares al que se está ensayando, la longitud del espécimen será, por lo menos, igual a la del medidor de longitudes del dispositivo de medición de deformaciones, más 38 mm ($1 \frac{1}{2}$ "). Entre el espécimen de ensayo y el plato de carga de acero, en cada extremo de una pila, se deberá instalar un cilindro adicional no

instrumentado cuyo diámetro sea igual al del cilindro que se ensaya, y cuya longitud sea, al menos, igual a la mitad de su diámetro.

- 5.1.2 Fabricación de especímenes – El tamaño máximo del agregado que se vaya a utilizar no deberá exceder de 50 mm (2") (Sección 2). Los cilindros fundidos verticalmente se fabricarán conforme a lo indicado en la norma MTC E 702; los extremos de cada cilindro cumplirán los requisitos de la norma MTC E 703.

Los cilindros fundidos horizontalmente se consolidarán por métodos apropiados para la consistencia del concreto. Se deberá poner mucha atención para que la varilla o el vibrador no golpeen el medidor de deformación. Cuando se utilice vibración, el concreto se colocará en una capa y el elemento vibrador no tendrá más de 32 mm (1 ¼ pulg) de diámetro. Si la compactación se hace por apisonado, el concreto se colocará en dos capas aproximadamente iguales y cada capa recibirá 25 golpes de varilla uniformemente distribuidos a cada lado del medidor de deformación.

Después de la consolidación, el concreto será nivelado con un palustre o llana, manipulándolo lo menos posible para conformar el concreto en la apertura. Una plantilla curvada con el radio del espécimen puede utilizarse como un emparejador para darle forma y acabado más precisos al concreto en la abertura.

Nota 2. Las exigencias de aplanamiento de los extremos de los especímenes cilíndricos se pueden lograr por refrenado, recubrimiento, o al momento de fundir, fijando los extremos con platos de apoyo normales al eje del cilindro.

- 5.1.3 Número de especímenes – Para cada condición de ensayo se harán no menos de seis (6) especímenes (Nota 3) de una tanda de concreto dada. Se ensayarán dos por resistencia a la compresión, dos se cargarán y se observarán para la deformación total, y dos permanecerán sin carga para usarlos como controles para indicar deformaciones debidas a causas distintas a las cargas. Cada uno de los especímenes para deformación y control estará sometido a los mismos tratamientos de almacenamiento y curado, que el espécimen cargado.

Nota 3. Se recomienda que los especímenes sean ensayados por triplicado, aunque dos especímenes pueden ser aceptables.

- 5.2 Curado y almacenamiento de especímenes

- 5.2.1 Curado normal – Antes de desmoldarlos, los especímenes serán almacenados a $23^{\circ} \pm 1,7^{\circ}$ C y cubiertos para evitar la evaporación. Los especímenes se extraerán de los moldes no antes de 20 horas ni después de 48 horas de su fabricación, y se almacenarán bajo condiciones húmedas a una temperatura de $23^{\circ} \pm 1,7^{\circ}$ C hasta los 7 días. La condición húmeda, es cuando se mantiene agua libre sobre toda la superficie de los especímenes, permanentemente. No se someterán a chorros de agua corriente, ni serán almacenados dentro de depósitos llenos de agua. Después de terminado el curado húmedo, los especímenes se almacenarán a temperatura de $23,0^{\circ} \pm 1,1^{\circ}$ C y con una humedad relativa del $50 \pm 4\%$, hasta la terminación del ensayo.

- 5.2.2 Curado básico para flujo plástico – Si se desea evitar la pérdida o ganancia de agua durante el almacenamiento y el período de ensayo, los especímenes en el momento de su fabricación o desmolde serán encerrados y sellados dentro de cubiertas impermeables para evitar pérdidas de humedad por evaporación y permanecerán sellados durante el período de almacenamiento y curado.

- 5.2.3 Régimen de variación de la temperatura de curado – Cuando se desea tener en cuenta los efectos de la temperatura en las propiedades elásticas e inelásticas del concreto (como por ejemplo, la temperatura en condición adiabática que se presenta en el concreto masivo o en condiciones de temperatura a las cuales el concreto está sometido durante el curado acelerado), se debe controlar la temperatura dentro del lugar de almacenamiento de la muestra para que corresponda con el historial de temperatura deseada. El usuario se debe

hacer responsable de establecer un registro de tiempo y temperatura y de ahí en adelante determinar el rango permitido de desviación.

- 5.2.4 Otras condiciones de curado – Otras condiciones sobre ambientes de curado y edad para el ensayo pueden ser utilizadas, sustituyendo las fijadas, cuando se requiera esta información para aplicaciones específicas. En este caso, se incluirán en el reporte del ensayo dichas condiciones, cuidadosamente detalladas.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Edad para el ensayo – Cuando el propósito del ensayo, es comparar el potencial de flujo plástico de diferentes concretos, inicialmente se cargan los especímenes a una edad de 28 días. Cuando se quiere conocer el comportamiento completo del flujo plástico de un concreto dado, se deberán preparar especímenes para carga inicial a los 2, 7, 28 y 90 días, y un año. Si se necesita la información para otras edades de carga, se señalan esas edades en el informe.
- 6.2 Detalles de carga – Inmediatamente antes de cargar los especímenes de flujo plástico, se determina la resistencia a la compresión de los cilindros de resistencia, de acuerdo con la norma MTC E 704. En el momento que los especímenes de flujo no sellados son colocados en el dispositivo de carga, se cubren los extremos de los cilindros de control para evitar la pérdida de humedad (Nota 4).

Se carga el espécimen con una intensidad de carga no mayor que el 40% de la resistencia a la compresión a la edad de carga. Se toman lecturas de deformación en forma inmediata, antes y después de la carga, 2 y 6 horas más tarde, después diariamente, durante 1 semana, semanalmente durante 1 mes y mensualmente durante 1 año. Antes de tomar cada lectura de deformación, se mide la carga. Si la carga varía más del 2% del valor correcto, se deberá ajustar (Nota 5). Se toman lecturas de deformación sobre los especímenes de control para el mismo calendario de los especímenes cargados.

Nota 4. En los extremos de los especímenes con flujo plástico, se debe tener cuidado en alinear estos para evitar la carga excéntrica. Cuando los cilindros son apilados y se midan externamente, se puede aplicar una precarga que no exceda los 1380 KP a (200 psi) y se anota la variación del esfuerzo alrededor de cada espécimen, después de esta carga puede ser removido y realineado el espécimen por una carga más uniforme.

Nota 5. Cuando el resorte es usado para mantener la carga, los ajustes pueden ser acoplados para aplicar una carga correcta y apretar las tuercas en la rosca para que ajusten la vara.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Se calcula la deformación total inducida por la carga unitaria KPa (lb/pulg²), en cualquier momento, como la diferencia entre el valor de deformación promedio del espécimen cargado y el espécimen de control, dividido por el esfuerzo promedio.
- 7.1.2 Para determinar la deformación por flujo plástico, por KPa (lb/pulg²) para cualquier edad, se resta de la deformación inducida por la carga unitaria para esa edad, KPa (lb/pulg²), la deformación Kpa (lb/pulg²), inmediatamente después de cargado.
- 7.1.3 Si se desea, se puede graficar la deformación total en KPa (lb/pulg²) sobre un sistema de coordenadas semilogarítmico, en el cual el eje logarítmico representa el tiempo, para determinar las constantes 1/E y F (k), para la siguiente ecuación:

$$\epsilon = \frac{1}{E} + F(K) \ln(t + 1)$$

Dónde:

ϵ = deformación total por kPa (psi),

E = módulo elástico instantáneo kPa (psi),

$F(k)$ = rata de flujo plástico, calculada como la pendiente de la recta que representa la curva de flujo plástico en un gráfico semilogarítmico, y

T = tiempo después de la carga, días

El valor $1/E$ es la deformación inicial elástica, KPa (lb/pulg²), y se determina de las lecturas de deformaciones tomadas inmediatamente antes y después de la carga del espécimen. Si la carga no se desarrolló expeditamente, puede ocurrir algo de flujo antes de que la deformación después de la carga haya sido observada, en cuyo caso, la extrapolación al tiempo cero se puede hacer por el método de los mínimos cuadrados, para determinar este valor.

7.2 INFORME

El informe deberá incluir lo siguiente:

- 7.2.1 Contenido de cemento, relación agua cemento, tamaño máximo del agregado, asentamiento, y contenido de aire.
- 7.2.2 Posición del cilindro cuando fue fundido.
- 7.2.3 Tipo y origen del cemento, mezcla de agregados y agua de mezclado. Instituto Nacional de Vías E 416 – 8.
- 7.2.4 Condiciones de almacenamiento antes y después de la carga.
- 7.2.5 Edad y duración de la carga.
- 7.2.6 Resistencia a la compresión a la edad de carga.
- 7.2.7 Tipo de aparato para medir esfuerzos.
- 7.2.8 Magnitud de cualquier precarga.
- 7.2.9 Intensidad de la carga aplicada.
- 7.2.10 Esfuerzo elástico inicial
- 7.2.11 Esfuerzo de flujo plástico en kPa (lb/pulg²) a las edades indicadas y a un año.
- 7.2.12 Rata de flujo plástico, $F(k)$, si se determina.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 Para un solo operador y una la sola tanda, el coeficiente de variación se encuentra alrededor del 4%, y para un solo operador y una multitanda el coeficiente de variación se encuentran alrededor del 9%, sobre el rango de flujo de plástico los esfuerzos van desde de 250 a 2000 millonadas. Los dos resultados se evalúan adecuadamente por el mismo apearador en el mismo material por lo tanto no debe diferir en más del 6% de su promedio. Los dos resultados obtenidos por el mismo operador del material fundido de diferentes tandas no deben diferir en más del 13 % de su promedio.
- 8.1.2 Tolerancias – Este método no tiene tolerancias porque los valores determinados solo pueden ser definidos en términos del método evaluado.

MTC E 716**RESIDUO SOLIDO Y MATERIA ORGANICA (SOLIDOS VOLATILES)****8.0 OBJETO**

- 8.1 Establecer los procedimientos para determinar el residuo sólido y el contenido de materia orgánica (sólidos volátiles) de las aguas usadas para la preparación de morteros y concretos de cemento Portland.

9.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 9.1 Consiste en la evaporación de la muestra de agua, para luego ser deshidratada, enfriada y obtenida su masa residual.

Se aplica para evaluar la utilización del agua en morteros y concretos de cemento Portland.

10.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 10.1 NTP 339.071:2009 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para determinar el residuo sólido y el contenido de materia orgánica (sólidos volátiles) de las aguas usadas para elaborar morteros y concretos de cemento Portland.
- 10.2 NTP 339.070:2009 HORMIGÓN (CONCRETO). Toma de muestras de agua usadas para la preparación y curado de morteros y concretos de Cemento Portland y aguas agresivas.

11.0 EQUIPOS Y MATERIALES**11.1 EQUIPOS**

- 11.1.1 Balanza que permita efectuar pesadas con la precisión de 1 mg.
- 11.1.2 Baño maría o disco de calefacción.
- 11.1.3 Estufa, que permita operar entre 120 °C y 130 °C de temperatura.
- 11.1.4 Horno mufla, que permita temperaturas entre 600 °C y 650 °C

11.2 MATERIALES

- 11.2.1 Mechero
- 11.2.2 Cápsula de platino o porcelana
- 11.2.3 Matraz aforado de 500 cm³ de capacidad
- 11.2.4 Desecador

12.0 MUESTRA

- 12.1 Agua; se tomará de acuerdo a lo establecido en la NTP 339.070

13.0 PROCEDIMIENTO**13.1 Determinación de residuo insoluble**

- 13.1.1 Se mide en el matraz aforado 500 cm³ de la muestra representativa que debe incluir cualquier materia en suspensión y se transfiere progresivamente, mientras se agita, a la cápsula de platino o de porcelana, mantenida sobre el baño maría o disco de calefacción. Completada la evaporación, se coloca la cápsula en la estufa y se deshidrata el residuo entre 120 °C y 130 °C de temperatura durante 1 hora. Se enfría la cápsula en el desecador y se determina su masa con la precisión del miligramo. Se reserva el residuo en la cápsula para efectuar la determinación de materia orgánica.

13.2 Determinación de materia orgánica



13.2.1 El total de residuo sólido obtenido según 6.1 puede consistir en materia orgánica o mineral o en combinaciones de materia orgánica e inorgánica. Para determinar aproximadamente el porcentaje de materia orgánica (sólidos volátiles) presente, se lleva la cápsula de platino sobre la llama de un mechero y se calina al rojo incipiente (entre 600 °C y 650 °C de temperatura).

Se deja enfriar en desecador y se pesa con precisión del miligramo.

14.0 CALCULOS E INFORME

14.1 CALCULOS

14.1.1 Residuo sólido: el contenido de residuo sólido se calcula con la ecuación siguiente:

$$A = \frac{M}{V} \times 1000$$

Dónde:

A El contenido de residuo sólido, en g/L

M La masa de residuo sólido obtenido, en gramos

V El volumen de muestra empleado en mililitros

14.1.2 Materia orgánica (sólidos volátiles): el contenido de materia orgánica resulta de la pérdida de peso obtenida según el procedimiento indicado en 6.2

14.2 INFORME

14.2.1 Se informa en cada caso el contenido de residuo sólido y de materia orgánica.

MTC E 717**MATERIA ORGANICA****1.0 OBJETO**

- 1.2 Determinar la materia orgánica en las aguas usadas en la elaboración de hormigones y morteros.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Las materias orgánicas son oxidadas por una mezcla de dicromato de potasio y ácido sulfúrico. El dicromato remanente después del ataque es valorado mediante una solución de sulfato de amonio y hierro (II) (Sal de Mohr).
- 2.2 Los valores de consumo químico de oxígeno, aportado por sustancias oxidantes, son un parámetro rápido en el estudio de aguas poluídas de materias orgánicas.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ITINTEC 339.072 (1982) Método de ensayo para determinar el contenido de materia orgánica en las aguas usadas para elaborar morteros y hormigones.
- 3.2 ASTM D1252 (2000) Standard Test Methods for Chemical Oxygen Demand (Dichromate Oxygen Demand) of Water.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Balanza analítica, con sensibilidad de 0,1 mg
- 4.1.2 Plancha de calentamiento
- 4.1.3 Estufa eléctrica

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Tubo refrigerante vertical (condensador Allihn)
- 4.2.2 Fiola, aforada de 1000 mL
- 4.2.3 Vasos de precipitado
- 4.2.4 Varillas de vidrio
- 4.2.5 Pipetas de 10 mL, 25 mL y 50 mL
- 4.2.6 Probeta de 50 mL
- 4.2.7 Matraz Erlenmeyer de 250 mL con boca esmerilada
- 4.2.8 Desecador

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Agua destilada
- 4.3.2 Solución patrón 0,25 N de Dicromato de Potasio: Se disuelven en agua destilada 12,259 g de $K_2Cr_2O_7$ p.a., previamente secado a 103 °C por 2 horas y se diluye a 1 litro.
- 4.3.3 Solución estándar 0,025 N de Dicromato de Potasio: Diluir 100 ml de la solución 0,25 N de dicromato de potasio hasta 1 litro.
- 4.3.4 Ácido sulfúrico concentrado ($d = 1,84$).
- 4.3.5 Solución 0,25 N de Sulfato de Amonio y Hierro (II) (Sal de Mohr): Se disuelven en agua destilada, 98 g de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 5H_2O$, se añaden 20 ml de ácido sulfúrico, se enfrían y

diluyen a 1 litro. Esta solución debe ser valorada contra la solución de dicromato cuando sea necesario usarla.

- 4.3.6 Solución 0,025 N de Sulfato de Amonio y Hierro (II): Diluir 100 mL de la solución 0,25 N de Sulfato de Amonio y Hierro (II).
- 4.3.7 Indicador Ferroína: Se disuelven 0,1485 g de 1,10 Fenantrolina monohidrato 1:10 juntamente con 0,098 de la sal de Mohr en 100 mL de agua. Este indicador también puede ser adquirido en solución ya preparada. Como alternativa de este indicador se puede usar Difenilamina Sulfonato de Bario al 0,5 %.
- 4.3.8 Sulfato de Mercurio (II).
- 4.3.9 Valorización: Se diluyen 10 mL de la solución de dicromato hasta unos 150 mL con agua destilada. Se añaden 10 mL de ácido sulfúrico y se deja enfriar. Se valora con la solución de sulfato de amonio y hierro II usando unas gotas de indicador de ferroína.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Agua

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Tomar 25 mL de la muestra de agua en un matraz Erlenmeyer de 250 mL de capacidad, añadir 10 mL de solución 0,025 N de dicromato de potasio, 0,4 g de sulfato de Mercurio (II), 30 mL de ácido sulfúrico concentrado que se añade con cuidado y algunas perlas de vidrio.
- 6.2 Homogenizar la solución para luego colocar en el tapón del matraz el tubo refrigerante, iniciar el flujo de agua fría y calentar a una graduación reducida de la plancha eléctrica hasta observar ebullición suave.
- 6.3 Después de 10 minutos de ebullición, se deja enfriar, se introduce en el matraz unos 80 mL de agua destilada, lavando a la vez el refrigerante y seguidamente se enfría completamente.
- 6.4 Después de añadir unas gotas de indicador Ferroína, se valora con solución 0,025 N de Sulfato de Amonio y Hierro II. La solución vira de verde azulado a pardo rojizo.
- 6.5 Se efectúa un ensayo en blanco bajo exactamente las mismas condiciones, con 25 mL de agua destilada, en vez de la muestra.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 El consumo de oxígeno se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{mg de O}_2 = \frac{(a - b) \times c \times 8000}{\text{ml de muestra}}$$

Donde:

- a = mL de sulfato de amonio y hierro (II), utilizados para la muestra en blanco
- b = mL de sulfato de amonio y hierro (II), utilizados para la muestra
- c = Normalidad de la solución de sulfato de amonio y hierro (II), según valorización

7.2 INFORME

- 7.2.1 Se reportará el resultado en mg/L

MTC E 718**DETERMINACIÓN DEL VALOR pH****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar el pH en las aguas usadas para elaborar morteros y hormigones.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este modo operativo está indicado para aquellos casos en que el pH de dichas aguas tenga un valor muy próximo al de cualquiera de los límites fijados para el mismo en la Norma de Requisitos, ya que entonces no es de suficiente garantía el resultado de la determinación hecha mediante el papel indicador de pH y su correspondiente escala de colores.
- 2.2 El pH es una medida de la acidez presente en una muestra de agua y se expresa por el logaritmo del recíproco de la concentración de los iones hidrógeno.

$$pH = \log \frac{1}{(H)} = - \log(H)$$

- 2.3 Consiste en un procedimiento potenciométrico en el que se utiliza un aparato medidor de potenciales electrolíticos, con un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia (calomelanos).

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ITINTEC 339.088 Hormigón (Concreto). Agua para morteros y hormigones de Cementos Portland. Requisitos.
- 3.2 ITINTEC 339.070 Hormigón (Concreto). Toma de muestras de agua para la preparación y curado de morteros y hormigones de Cemento Portland.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Balanza analítica, con sensibilidad de 0,01 g
- 4.1.2 Estufa eléctrica
- 4.1.3 Potenciómetro; un potenciómetro medidor de pH. Este aparato deberá tener un compensador de temperatura, con un margen mínimo de 10 °C a 40 °C y estará provisto, a su vez, de escala de lecturas, siendo el intervalo de lectura de 0,1 pH.
- 4.1.4 Electrodo de referencia; el electrodo de referencia será el de calomelanos, saturado. Deberá haber siempre cloruro potásico sólido en el interior de la cámara que rodea al electrodo propiamente dicho. El diseño del electrodo debe ser tal que permita una fácil unión líquida entre la disolución de cloruro de potasio y la disolución reguladora o de ensayo, como la fácil eliminación, por lavado, de todo vestigio de las disoluciones del último ensayo realizado.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Fiola, aforada de 1000 mL
- 4.2.2 Vasos de precipitado 100 mL
- 4.2.3 Varillas de vidrio
- 4.2.4 Desecador
- 4.2.5 Material usualmente empleado en laboratorio.

4.3 INSUMOS

4.3.1 Se emplearán como reactivos disoluciones reguladoras. Todas las sales utilizadas en la preparación de las disoluciones reguladoras que se indican la Tabla 1 excepto el bórax y el tetraoxalato potásico, se desecarán en una estufa durante 1 hora, a temperatura comprendida entre 110 °C y 130 °C y se enfriarán hasta la temperatura ambiente en un desecador.

El bórax no se calentará a temperatura superior a la del ambiente, ni el tetraoxalato potásico por encima de 60 °C.

En la actualidad se cuenta en el mercado con soluciones reguladoras (Buffer) comerciales, que se pueden emplear para los mismos efectos.

Tabla 1

Valores de pH según la temperatura de las disoluciones

Temperatura °C	Tetraoxalato potásico 0,05 M	Tartrato Tipo	Ftalato 0,05 M	Fosfato diácido 0,025 M	Bórax 0,01 M	Fosfato Trisódico 0,01 M
0	1,67	-	4,01	6,93	9,46	-
10	1,67	-	4,00	6,92	9,33	-
20	1,68	-	4,00	6,88	9,22	-
25	1,68	3,56	4,01	6,86	9,18	11,72
30	1,69	3,55	4,01	6,85	9,14	-
35	1,69	3,54	4,02	6,84	9,10	11,38
40	1,70	3,54	4,03	6,84	9,07	-
50	1,71	3,55	4,05	6,83	9,01	-
60	1,73	3,57	4,10	6,84	8,96	-

4.3.2 Agua destilada o desionizada: Se utiliza agua destilada o desionizada y hervida.

4.3.3 Disolución de tetraoxalato potásico 0,05 M: Disolver 12,70 g de $C_4O_8H_3K \cdot 2H_2O$ en agua destilada y hasta completar 1L.

4.3.4 Disolución saturada de tartrato ácido de potasio: Preparar agitando enérgicamente en un frasco de vidrio, un exceso de $C_4H_4O_4HK$ con 100 a 300 mL de agua destilada o desionizada. Si es necesario, se filtra la disolución y para preservarla, se le añade 0,1 g de timol.

4.3.5 Disolución de ftalato ácido de potasio 0,05 M: Preparar disolviendo 10,21 g de $C_8H_4O_4HK$ en agua destilada o desionizada y diluyendo hasta 1 L.

4.3.6 Disolución de fosfato diácido, 0,025 M: Se prepara disolviendo 3,40 g de PO_4H_2K y 3,55 g de PO_4HN_2 en agua destilada o desionizada y diluyendo hasta 1 L.

4.3.7 Disolución de bórax, 0,01 M: Se prepara disolviendo 3,81 g de $B_4O_7Na_2 \cdot 10H_2O$ en agua destilada o desionizada y diluyendo hasta 1 L.

4.3.8 Disolución de fosfato trisódico 0,01 M: Se prepara disolviendo 1,42 g de fosfato disódico anhidro PO_4HN_2 en 100 ml de una disolución 0,1 M de hidróxido sódico, libre de carbonatos (4,0 g de NaOH por litro de disolución) y diluyendo hasta 1 L con agua destilada o desionizada.

5.0 MUESTRA

5.1 Agua; las muestras se tomarán de acuerdo con la Norma Técnica ITINTEC 339.070

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Preparación de los electrodos: El electrodo de vidrio y el de referencia, se deben humedecer y preparar antes de su uso, según 4.1.4.

6.1.1 Calibrado del aparato: El aparato se calibra en condiciones de temperatura y concentración tan próximas como sea posible a las de la muestra, utilizando para ello una disolución

- reguladora de pH muy aproximada a la misma. Debe confirmarse la correspondencia lineal de la respuesta del electrodo de vidrio, por lo menos con otra disolución reguladora de pH diferente.
- 6.2 Lavado de los electrodos: Antes de introducir los electrodos en la muestra de agua, se debe lavar primero con agua destilada o desionizada y después con la propia muestra. Después se introducen en ella durante varios minutos hasta alcanzar la condición de equilibrio y con ello una lectura estable. Puede hacerse una comprobación final sumergiendo los electrodos en una nueva porción de muestra. Esta no debe airearse ni agitarse durante la ejecución del proceso operatorio.
- 6.3 Influencia de la temperatura: En las medidas de pH, la temperatura influye modificando el potencial creado en el electrodo de vidrio y haciendo variar el grado de ionización de la muestra. El primer efecto se compensa mediante un ajuste del aparato. El segundo depende exclusivamente de la muestra y no se puede corregir, por lo cual se tiene en cuenta indicando, para cada medida, además del valor hallado para el pH, el de la temperatura a que se ha hecho la determinación.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 No existen cálculos para este método de ensayo, puesto que los resultados se toman directamente de los valores mostrados en el equipo.

7.2 INFORME

- 7.2.1 Los resultados más fidedignos se obtienen determinando el pH a la temperatura natural de la muestra y directamente al pie del suministro. Si no es posible efectuar la determinación de dichas condiciones, se hará lo antes posible, e inmediatamente después de abrir el recipiente que contiene la muestra. Son necesarias estas precauciones porque el pH hallado en el laboratorio puede diferir del verdadero pH en virtud de reacciones que pueden tener lugar después de la toma de muestra. Entre las reacciones que pueden influir en el resultado figuran oxidaciones, hidrólisis, interacciones con el eventual sedimento, pérdida de gases disueltos, absorción de humos y gases del laboratorio y precipitación de carbonato cálcico u otras sales.

Los diversos modelos de medidores de pH existentes hacen imposible la redacción de instrucciones detalladas aplicables a cualquier tipo de instrumento. Por tal motivo, deben seguirse estrictamente, tanto para el cuidado y uso de los electrodos, como para el manejo del medidor de pH, las indicaciones relativas a cada aparato.

MTC E 719

CONCENTRACION DEL ION SULFATO

1.0 OBJETO

- 1.3 Determinar el contenido de iones sulfato en las aguas utilizadas como aguas de mezcla en la producción y curado de morteros y concretos de cemento Portland.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El procedimiento descrito es aplicable para concentraciones de ión sulfato en el rango comprendido entre 10 mg/L y 5 000 mg/L (10 ppm a 5 000 ppm).
- 2.2 Los iones sulfato presentes en la muestra se precipitan a pH comprendido entre 1,0 y 1,5 con una disolución de cloruro de bario. La reacción de precipitación se realiza a ebullición. La determinación se efectúa gravimétricamente.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 No hay normas específicas que sean citadas como referencias normativas en el presente texto que constituyan requisitos de esta Norma Técnica Peruana.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza analítica, con una exactitud de 0,0005 g.
- 4.1.2 Plancha de calentamiento.
- 4.1.3 Estufa: que se pueda regular por encima de 105 °C.
- 4.1.4 Horno eléctrico: con ventilación natural, que se pueda regular a 950 °C ± 25 °C.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Crisoles de porcelana: de 15 mL a 25 mL de capacidad.
- 4.2.2 Papel filtro, retentivo o papel de porosidad media (Whatman N°42, Schleicher & Schuell N° 5893 o similar).
- 4.2.3 Desecador con perclorato de magnesio $Mg(ClO_4)_2$ anhidro, o con alúmina activada, o con pentóxido de fósforo, o con gel de sílice, etc.
- 4.2.4 Material usual de Laboratorio analítico

4.3 INSUMOS

4.3.1 Requisitos generales

Para realizar las determinaciones analíticas, se utilizarán, únicamente, reactivos de calidad analítica reconocida, así como agua destilada o de pureza equivalente.

Salvo indicación expresa, “%” significa “% en masa”.

4.3.2 Ácido clorhídrico diluido 1+1

Disolver 1 volumen de ácido clorhídrico concentrado en un volumen de agua. Se conserva en un frasco de vidrio o polietileno.

4.3.3 Disolución de cloruro de bario al 10 %

Disolver 100 g ± 1 g de cloruro de bario dihidratado ($BaCl_2 \cdot 2H_2O$), en unos 800 mL de agua caliente. Se enfría y completa el volumen con agua hasta 1 000 mL. Guardar en frasco de vidrio o polietileno.

4.3.4 Disolución de hidróxido de sodio al 20 %

Disolver en un recipiente de polietileno 20 g de hidróxido de sodio (NaOH) en agua con agitación y se completa el volumen hasta 100 mL. Guardar en un frasco de polietileno.

4.3.5 Disolución indicadora de anaranjado de metilo al 0,1 %

Disolver 0,1 g de anaranjado de metilo en unos 50 mL de agua, calentando la mezcla para facilitar la disolución. Enfriar y completar hasta 100 mL. Guardar en frasco de vidrio o polietileno.

4.3.6 Disolución aproximadamente 0,1 M de nitrato de plata

Disolver $17 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ de nitrato de plata (AgNO_3) en 800 mL de agua y se completa el volumen hasta 1 000 mL.

Guardar la disolución en un frasco de vidrio opaco. La disolución es estable si se protege de la luz.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Agua; decantar previamente la materia en suspensión existente en el envase recibido en el laboratorio. Filtrar la muestra a través de un papel de filtro de textura fina (Véase el apartado 4.2.2) para obtener la muestra de ensayo. Dicha muestra debe tener un volumen de 100 mL, exactamente medidos con una pipeta graduada o matraz aforado.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Verter la muestra de ensayo en un vaso de 500 mL y añadir unas gotas de indicador de anaranjado de metilo. Neutralizar con la disolución de ácido clorhídrico diluido o de hidróxido de sodio, según el pH inicial. Se añaden 2 mL de la disolución de ácido clorhídrico diluido y, en caso necesario, se añade agua para completar el volumen total aproximado de 200 mL. Lleva a ebullición, manteniéndola al menos durante 15 min.

Si la disolución aparece clara después de hervida, se continúa según lo indicado en el apartado 6.2. Si aparecen materias insolubles, se filtra la suspensión en caliente por un papel de filtro de textura fina (Véase apartado 4.2.2) y se lava el filtro con poca agua, añadiendo los lavados al filtrado principal. Se pasa el filtrado y lavados a un vaso de 500 mL. Se continúa como se indica en el apartado 6.2.

- 6.2 Llevar a ebullición la disolución obtenida tras el tratamiento previo (Véase el apartado 6.1) y se mantiene ésta durante 5 min. Se confirma que la disolución está clara; si no fuera así, se comienza de nuevo el ensayo con otra muestra. Se mantiene la disolución a la temperatura de ebullición y, mientras se agita vigorosamente, se añaden, gota a gota, por medio de una pipeta, 10 mL de la disolución de cloruro de bario (Véase el apartado 4.3.3) a una temperatura próxima a la de ebullición. Se mantiene la ebullición durante 15 min para obtener un precipitado bien formado. Se deja reposar la disolución, de 12 h a 24 h, a temperatura próxima a la de ebullición, debiendo ser en cualquier caso, superior a 60 °C, y teniendo cuidado de evitar que se concentre por evaporación.
- 6.3 Filtrar cuidadosamente todo el precipitado sobre un vaso de 500 mL a través de un papel de filtro de textura fina (Véase el apartado 4.2.2) colocado en un embudo de vidrio. Se lava intensamente con agua hirviendo hasta que el filtrado esté exento de iones cloruro al ensayarlo con la disolución de nitrato de plata (Véase el apartado 4.3.6). Se pasa el filtro, con el residuo que contiene, a un crisol de porcelana (Véase el apartado 4.2.1) previamente calcinado y tarado (m_3).

Colocar el crisol en plancha y se caliente para incinerar lentamente el papel de filtro, en atmósfera oxidante y sin inflamarlo, hasta que la combustión sea completa.

Calcinar a $950 \text{ °C} \pm 25 \text{ °C}$, dejar enfriar el crisol y su contenido en un desecador, hasta alcanzar la temperatura del laboratorio y se pesa (m_4) hasta masa constante. En general, un período de calcinación de 15 min es suficiente para obtener la masa constante.

La constancia de masa se determina realizando calcinaciones sucesivas de 15 min. A continuación se deja enfriar el crisol y su contenido hasta temperatura ambiente cada vez, y se pesa. La constancia de masa se alcanza cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas es inferior a 0,0005 g.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 La masa de sulfato de bario, m , expresada en gramos, se calcula mediante la siguiente expresión:

Donde:

$$m = m_4 - m_3$$

m_3 = Es la masa, en gramos, del crisol tras la calcinación, según el apartado 6.3;

m_4 = Es la masa, en gramos, del crisol con el precipitado de sulfato de bario, según el apartado 6.3

El contenido en sulfato, expresado como SO_4^{2-} , se calcula por medio de la expresión:

$$\text{SO}_4^{2-} = m \times 4116 \text{ (en mg/L)}$$

Donde:

m = Es la masa, en gramos, del precipitado de sulfato de bario.

7.2 INFORME

7.2.1 Los resultados del ensayo, dados por el promedio de dos determinaciones, en miligramos/litro (ppm), se expresan en números enteros.

MTC E 720**CONCENTRACION DEL ION CLORURO****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar el ión cloruro en el agua, aguas residuales (método de ensayo C únicamente), y salmueras.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Se hace mención de los siguientes tres métodos, los cuales tienen carácter alternativo, siendo el método B el que inicialmente se desarrolla en este manual como el que cubre más ampliamente las interferencias del método A y por su practicidad. Los métodos A y C se desarrollan en el **Anexo 1**:

Método de ensayo A (titulación mercurimétrica) (**Anexo 1**)

Método de ensayo B (titulación con nitrato de plata, método dirimente)

Método de prueba C (método del electrodo selectivo de ión cloruro) (**Anexo 1**)

- 2.2 Este modo operativo principalmente se aplica para el agua con contenido de cloruro de 5 mg/L o más, y en la que interferencias como color o altas concentraciones de iones metálicos pesados vuelven impracticable la aplicación del Método de Ensayo A.
- 2.3 Aunque no se especificó en el informe de la investigación, se presume que la declaración sobre la precisión y el sesgo se haya obtenido usando agua reactiva Tipo II. La responsabilidad del analista es asegurar la validez de este método de ensayo para matrices no ensayadas.
- 2.4 Este método de ensayo fue validado para el rango de concentración 8,0 a 250 mg/L Cl^- .
- 2.5 El agua ajustada a aproximadamente un pH 8,3 es titulada con una solución de nitrato de plata en presencia del indicador de cromato de potasio. El punto final se indica mediante la persistencia del color rojo ladrillo del cromato de plata.

Interferencias: El bromuro, ioduro y sulfuro son titulados junto con el cloruro. El ortofosfato y polifosfato interfieren si están presentes en concentraciones mayores de 250 mg/L y 25 mg/L, respectivamente. Se deben eliminar el sulfito y el color o turbidez que sea objetable. Los compuestos que precipitan en un pH 8,3 (ciertos hidróxidos) pueden causar error por oclusión.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.076 2009: HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para determinar el contenido de cloruros en las aguas usadas en la elaboración de hormigones y morteros de cemento Portland.
- 3.2 ASTM D 512-2004: Standard Test Methods for Chloride Ion in Water
- 3.3 ASTM D 1066-2006: Standard Practice for Sampling Steam
- 3.4 ASTM D 1193-2006: Standard Specification for Reagent Water
- 3.5 ASTM D 2777-2008: Standard Practice for determination of precision and bias of applicable Test Methods of Committee D19 on water
- 3.6 ASTM D 3370-2008: Standard Practices for Sampling Water from Closed Conduits
- 3.7 ASTM D 5810-96(2006): Standard Guide for Spiking into Aqueous Samples
- 3.8 ASTM D 5847-2002(2007): Standard Practice for Writing Quality Control Specifications for Standard test Methods for Water Analysis

- 3.9 ASTM E 200 2008: Standard Practice for Preparation, Standardization, and Storage of Standard and Reagent Solutions for Chemical Analysis.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza analítica, con sensibilidad de 0,1 mg
4.1.2 Estufa, capaz de mantener temperatura de 40 ± 2 °C
4.1.3 Horno mufla, capaz de mantener temperatura de 600 ± 5 °C
4.1.4 Medidor de pH

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Fiola, aforada de 1000 mL
4.2.2 Vasos de precipitado con tapa de 100 mL, 250 mL
4.2.3 Varillas de vidrio (bagueta)
4.2.4 Papel filtro, de textura media
4.2.5 Embudos de vidrio
4.2.6 Probeta, de 100 mL y 1000 mL
4.2.7 Pipeta volumétrica, de 50 mL
4.2.8 Pipeta volumétrica, de 25 mL
4.2.9 Bureta, de 25 mL con división de 0,1 mL
4.2.10 Matraz Erlenmeyer, de 250 mL

4.2.11 Desecador

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Pureza del agua: Agua grado reactiva Tipo I y II según ASTM D1193.
4.3.2 Peróxido de Hidrógeno 30% (H₂O₂).
4.3.3 Solución del indicador de Fenoltaleína (10 mg/L): Preparar tal como se da en las instrucciones en la norma ASTM E200.
4.3.4 Solución del indicador de Cromato de Potasio: Disolver 50 g de cromato de potasio (K₂CrO₄) en 100 mL de agua, y agregar nitrato de plata (AgNO₃) hasta que se produzca un precipitado rojo ligero. Permitir que la solución permanezca, protegida de la luz, durante por lo menos 24 h después de agregar AgNO₃. Luego filtrar la solución para remover el precipitado, y diluir a 1 L con agua.
4.3.5 Solución estándar, Nitrato de Plata (0,025N): Triturar aproximadamente 5 g de cristales nitrato de plata (AgNO₃) y secar a un peso constante a 40 °C. Disolver 4,2473 g de los cristales triturados y secados en agua y diluir a 1 L. Estandarizar contra la solución estándar de NaCl, usando el procedimiento que se da en el apartado 6.2.
4.3.6 Solución estándar, Cloruro de Sodio (0,025N): Secar varios gramos de cloruro de sodio (NaCl) durante 1 h a 600 °C. Disolver 1,4613 de sal seca en agua, y diluir a 1 L a 25 °C en un matraz volumétrico.
4.3.7 Solución de Hidróxido de Sodio (10 g/L): Disolver 10 g de hidróxido de sodio (NaOH) en agua y diluir a 1 L.
4.3.8 Ácido Sulfúrico (1+19): Agregar con cuidado 1 volumen de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄, gravedad específica 1,84) para 19 volúmenes de agua, mientras se mezcla.

5.0 MUESTRA

- 5.1 El ensayo se realizará por duplicado

- 5.2 Agua; filtrar la muestra
- 5.3 Medir el pH de la muestra.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Verter 50 mL, o menos, de la muestra, que contenga no más de 20 mg ni menos de 0,25 mg del ión cloruro, en un contenedor de porcelana blanco (Ver nota 1). Si los iones de sulfito están presentes, agregar 0,5 mL de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) a la muestra, mezclar y permitir que permanezca durante 1 min. Diluir a aproximadamente 50 ml con agua, si fuera necesario. Ajustar el pH al punto final de fenolftaleína (pH 8,3), usando H₂SO₄ (1+19) o solución de NaOH (10 g/L).

Nota 1. Para este propósito se ha encontrado útil el uso de un plato de porcelana blanco de 80 ml, una barra agitadora de 1 pulg. Y un agitador magnético.

- 6.2 Agregar aproximadamente 1,0 mL de solución del indicador de K₂CrO₄ y mezclar. Agregar una solución estándar de AgNO₃ en forma de gota a partir de una bureta de 25 mL hasta que persista el color rojo ladrillo (o rosado) a lo largo de la muestra cuando es iluminada con una luz amarilla o es vista con gafas protectoras amarillas.
- 6.3 Repetir el procedimiento descrito en los apartados 6.1 y 6.2 usando exactamente la mitad de la muestra original, diluida a 50 ml con agua.
- 6.4 Si el volumen del titulante usado en el apartado 6.3 es la mitad del que se usa para titular la alícuota indicada en el apartado 6.1, proseguir con el capítulo de cálculo. De no ser así, interferencias significativas están presentes y debe hacerse una compensación; alternativamente se debe usar otro método.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcular la concentración del ión cloruro en la muestra original, en miligramos por litro como sigue:

$$\text{Cloruro, mg/L} = \frac{[(V_1 - V_2) \times N \times 70\,906]}{S}$$

Dónde:

- V₁ es la solución estándar AgNO₃ adicionada en la titulación de la muestra preparada como se indica en el apartado 6.1; en mL,
- V₂ es la solución estándar AgNO₃ adicionada en la titulación de la muestra preparada como se indica en el apartado 6.3; en mL,
- N es la normalidad de la solución estándar de AgNO₃, y
- S es la muestra original en el espécimen de ensayo de 50 mL preparado como se indica en el apartado 6.1; en mL.

7.2 INFORME

- 7.2.1 Se reportará el promedio de los resultados obtenidos por duplicado, con aproximación al entero y expresados en mg/L o ppm.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 PRECISION: La precisión de este método de ensayo puede expresarse como sigue:

$$S_T = 0,013X + 0,70$$

$$S_o = 0,007X + 0,53$$

Donde:

- S_T es la precisión total, mg/L
- S_o es la precisión de un operador único, mg/L, y



X es la concentración del ión cloruro determinado.

8.2 Sesgo: Recuperaciones de cantidades conocidas de cloruro fueron como sigue:

Cantidad Adicionada mg/L	Cantidad Encontrada mg/L	± % Sesgo	Estadísticamente Significativo (Nivel de Confianza al 95%)
250	248	-0,80	Sí
80,0	79,1	-1,13	Sí
8,00	7,77	-2,88	Sí

ANEXO 1

Método de ensayo A (titulación mercurimétrica)

A.1 OBJETO

- A.1.1 Determinar el ión cloruro en agua, siempre y cuando estén ausentes las interferencias (ver capítulo 2.1).

A.2 FINALIDAD Y ALCANCE

- A.2.1 Se agrega la solución diluida de nitrato mercúrico a una muestra acidificada en presencia del indicador azul difenilcarbazona-bromofenol. El punto final de la titulación es la formación del complejo del difenilcarbazona de mercurio azul-violeta.

Interferencias: Los aniones y los cationes que generalmente se encuentran en el agua no causan interferencia. El zinc, plomo, níquel e iones ferrosos y cromosos afectan la solución y los colores del punto final, pero no reducen la precisión de la titulación cuando está presente en concentraciones hasta 100 mg/L. El cobre es tolerable hasta 50 mg/L. La titulación en presencia del ión cromato requiere el indicador con color de fondo extra (alfazurina) y la reducción previa para concentraciones por encima de 100 mg/L. El ión férrico por encima de 10 mg/L debe reducirse antes de la titulación, y el ión sulfito debe oxidarse. El bromuro y el fluoruro se titularán parcialmente con el cloruro. Las sales cuaternarias de amonio también interfieren si están presentes en cantidades significativas (1 mg/L a 2 mg/L). Un color profundo también puede interferir.

- A.2.2 Aunque no se especificó en el informe de la investigación, se presume que la declaración sobre la precisión y el sesgo se haya obtenido usando agua reactiva Tipo II. La responsabilidad del analista es asegurar la validez de este método de ensayo para matrices no ensayadas.

- A.2.3 Este método de ensayo fue validado para el rango de concentración 8,0 a 250 mg/L Cl^- .

A.3 REFERENCIAS NORMATIVAS

- A.3.1 Ver ítem 3.0

A.4 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

A.4.1 EQUIPOS

- Microbureta, de 1 mL ó 5 mL, con intervalos de graduación de 0,01 mL.

A.4.2 MATERIALES

Papel indicador de pH: tipo de rango largo, que abarca un rango de pH de 1 a 11.

A.4.3 INSUMOS

- Peróxido de hidrógeno (30 % H_2O_2).
- Solución de hidroquinona (10 g/L): Disolver 1 g de hidroquinona purificada en agua y diluir a 100 mL.
- Solución de Nitrato Mercúrico, estándar (0,025 N): Disolver 4,2830 g de nitrato mercúrico ($\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) en 50 mL de agua acidificada con 0,5 mL de ácido nítrico concentrado (HNO_3 , gravedad específica 1,42). Diluir la solución acidificada $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ con agua a 1 L. Filtrar, si fuera necesario y estandarizar contra la solución estándar de cloruro de sodio (NaCl) usando el procedimiento descrito en el ítem A.5 (ver nota 2).

Nota 2. Agudeza del punto final: El punto final, puede mejorarse para ciertos tipos de agua al añadir varias gotas de una solución de 0,05 g/L de FF de cianole de xileno o tintura alfazurina verde-azul (índice de color 714) a la muestra de la titulación.

- Solución del indicador de mezclado: Disolver 0,5 g de difenilcarbazone cristalino y 0,005 g de polvo azul de bromofenol en 75 mL de alcohol etílico (95 %), y diluir a 100 mL con el alcohol (ver nota 3). Almacenar en una botella marrón y desechar después de 6 meses (ver nota 4).

Nota 3. Puede usarse metanol, isopropanol, o etanol desnaturalizado con metanol o isopropanol (Fórmula 3ª) si el alcohol etílico puro no está disponible. No son convenientes otras fórmulas de etanol desnaturalizadas.

Nota 4. El indicador líquido generalmente se deteriora al punto que no produce color del punto final después de 12 a 18 meses de almacenamiento. La temperatura alta (por encima de 37,8 °C) y la exposición a la luz brillante puede acortar la vida de almacenamiento. Una mezcla de polvo seco de los dos ingredientes indicadores es estable por períodos mucho más largos. Tanto la mezcla en polvo (forma de cápsula) y el indicador líquido están disponibles a nivel comercial.

- Ácido Nítrico (3+997): Mezclar 3 volúmenes de ácido nítrico concentrado (HNO_3 , gravedad específica 1,42) con 997 volúmenes de agua.
- Solución de Cloruro de Sodio, estándar (0,025 N): Secar varios gramos de cloruro de sodio (NaCl) durante 1 hora a 600 °C. Disolver 1,4613 de sal seca en agua, y diluir a 1 L a 25 °C en un matraz volumétrico.
- Solución de Hidróxido de Sodio (10 g/L): Disolver 10 g de hidróxido de sodio (NaOH) en agua y diluir a 1L.

A.5 MUESTRA

A.5.1 Agua, aguas residuales y salmueras.

A.6 PROCEDIMIENTO

A.6.1 Usar un volumen de muestra tal que no contenga más de 20 mg del ión cloruro, diluyendo la muestra con agua a un volumen de aproximadamente 50 mL si fuera necesario. Establecer un blanco como indicador en 50 mL de agua libre de cloruro, aplicando el mismo procedimiento que se sigue para la muestra.

A.6.2 Adicionar de 5 a 10 gotas de la solución del indicador mezclado y sacudir o agitar el matraz. Si se desarrolla un color azul violeta o rojo, agregar HNO_3 (3+997) en forma de gota hasta que el color cambie a amarillo, luego agregar 1 mL de ácido en exceso. Si el color amarillo o anaranjado se forma inmediatamente al agregar el indicador mezclado, agregar una solución de NaOH (10 g/L) en forma de gota hasta que el color cambie a azul violeta; luego agregar HNO_3 (3+997) en forma de gota hasta que el color cambie a amarillo y adicionalmente agregar 1 mL de ácido en exceso (ver nota 5).

Nota 5. La acidificación prescrita proporciona un rango satisfactorio de pH de 3,0 a 3,5. Las muestras acidificadas sobre cuáles son las medidas electrométricas de pH que se han hecho no deberán usarse para las determinaciones de cloruro, porque el uso del electrodo de calomel de referencia puede introducir error debido a la contaminación del cloruro. Para el ajuste preciso de pH de las muestras que tienen una baja concentración de cloruro, pueden hacerse medidas instrumentales sobre una alícuota de la muestra para determinar el tratamiento que se necesita para que otra sea usada para el ensayo de cloruro.

A.6.3 Titular la solución y un blanco con 0,025 N $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ hasta que un color azul violeta, que es visto mediante la luz transmitida, persista a lo largo de la solución (véase nota 6). Registrar los milímetros de la solución de $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ adicionada en cada caso.

Nota 6. El uso de las modificaciones del indicador y la presencia de iones metálicos pesados pueden cambiar los colores de la solución sin afectar la precisión de la determinación. Por ejemplo, las soluciones que contienen alfarurina pueden ser azul brillante cuando son neutrales, púrpura gris cuando son básicas, azul verde cuando son ácidas y azul violeta en el punto final del cloruro. Las soluciones que contienen aproximadamente 100 mg/L del ión

níquel y el indicador mezclado normal son púrpuras cuando son neutrales, verde cuando son ácidas, y gris están en el punto final del cloruro. Cuando se aplica este método de ensayo a muestras que contienen iones de color o que requieren un indicador modificado, se recomienda que el operador esté familiarizado con los cambios específicos de color involucrados al experimentar con soluciones preparadas como estándares para comparar los efectos de color.

- A.6.4 Si el ión cromato está presente en ausencia de hierro y en concentración menor de 100 mg/L, usar el indicador mezclado modificado de alfazurina (ver nota 2) y acidificar la muestra tal como se describe en el apartado A.6.2 pero a un pH 3 tal como lo indica el papel indicador de pH. Titular la solución tal como se describe en el apartado A.6.3, pero al punto final aceituna púrpura.
- A.6.5 Si el ión cromato está presente en ausencia de fierro y en concentración mayor que 100 mg/L, agregar 2 mL de solución de hidroquinona y proceder tal como se describe en los apartados A.6.2 y A.6.3.
- A.6.6 Si el ión férrico está presente en ausencia o presencia de los iones cromato, usar una muestra de ese volumen como para contener no más de 2,5 mg de ión férrico o de ión férrico más ión cromato. Agregar 2 mL de solución fresca de hidroquinona, y proseguir tal como se describe en los apartados A.6.2 y A.6.3.
- A.6.7 Si el ión sulfito está presente, agregar 0,5 mL de H₂O a 50 mL de la muestra en el matraz Erlenmeyer y mezclar durante 1 min. Luego proseguir tal como se describe en los apartados A.6.2 y A.6.3.

A.7 CALCULOS E INFORME

A.7.1 CALCULOS

Calcular la concentración del ión cloruro, en miligramos por litro, en la muestra original como sigue:

$$\text{Cloruro, mg/L} = \frac{[(V_1 - V_2) \times N \times 35\,453]}{S}$$

Dónde:

- V_1 es la solución estándar Hg (NO₃)₂ requerida para la titulación de la muestra, mL
 V_2 es la solución estándar Hg (NO₃)₂ requerida para la titulación del blanco, mL,
N es la normalidad de la solución estándar de Hg (NO₃)₂, y
S es la muestra usada en 6.1, en mL.

A.7.2 INFORME

Se reportará el promedio de los resultados obtenidos por duplicado, con aproximación al entero y expresados en mg/L o ppm.

A.8 PRECISION Y DISPERSION

- A.8.1 Declaración sobre la precisión: La precisión de este método de ensayo puede expresarse como sigue:

$$S_T = 0,023X + 0,43$$

$$S_O = 0,002X + 0,46$$

Dónde:

- S_T es la precisión total, mg/L
 S_O es la precisión de un operador único, mg/L, y
X es la concentración del ión cloruro determinado.

- A.8.2 Declaración sobre el sesgo: Recuperaciones de cantidades conocidas de cloruro fueron como sigue:



Cantidad Adicionada mg/L	Cantidad Encontrada mg/L	± % Sesgo	Estadísticamente Significativo (Nivel de Confianza al 95%)
250	248	-0,80	No
80,0	79,3	-0,88	No
8,00	7,51	-6,13	Sí

Método de ensayo C – Electrodo del Ión Selectivo

C.1 OBJETO

- C.1.1 Determinar el ión cloruro en agua, mediante electrodo ión selectivo

C.2 FINALIDAD Y ALCANCE

- C.2.1 Este método de ensayo es aplicable para la medición del ión cloruro en aguas naturales, agua potable y aguas residuales.
- C.2.2 Las muestras que contienen 2 mg/L a 1 000 mg/L de cloruro pueden analizarse mediante este método. El rango de concentración puede extenderse por dilución de una alícuota apropiada antes de agregar el ajustador de fuerza iónica.
- C.2.3 Se obtuvieron declaraciones sobre la precisión y el sesgo mediante el uso de agua reactiva y una matriz de elección de agua entre las que están aguas naturales y aguas residuales. La responsabilidad del analista es determinar la aceptabilidad de este método de ensayo para la matriz que está siendo analizada.
- C.2.4 El ión cloruro se mide potenciométricamente mediante el uso de un electrodo selectivo de ión cloruro en conjunción con un electrodo de referencia de unión doble tipo manguito. Los potenciales se leen usando un pHmetro que tiene una escala milivoltio expandida, o un ión metro selectivo que tiene una escala directa de concentración para el cloruro.
- C.2.5 Los electrodos se calibran en soluciones de cloruro conocidas, y las concentraciones de soluciones desconocidas se determinan en soluciones con los mismos antecedentes. Las muestras y los estándares deben estar a la misma temperatura.
- C.2.6 Los estándares y las muestras se diluyen con un ajustador de fuerza iónica como amoníaco, bromuro, ioduro, cianuro, o sulfuro el que también minimiza las posibles interferencias.

Interferencias: No hay interferencia alguna de sulfuro hasta 500 mg/L, 1 000 mg/L de bromuro o ioduro, un exceso céntuplo de cianuro que esté por encima del cloruro, o de 1 000 mg/L de amoníaco.

C.3 REFERENCIAS NORMATIVAS

- C.3.1 Ver ítem 3.0

C.4 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

C.4.1 EQUIPOS

- C.4.1.1 pHmetro: Con escala de milivoltios expandida. Este método de ensayo puede adaptarse para ser usado con un ionómetro selectivo.
- C.4.1.2 Electrodo Selectivo del Ión Cloruro: Que tiene una membrana de Cloruro de Plata (AgCl) desensibilizada y ligera. No todos los electrodos selectivos del ión son convenientes para este método de ensayo, puesto que el ajustador de fuerza iónica es incompatible con algunas membranas. En particular, las membranas de cloruro de plata/sulfuro de plata son inapropiadas, puesto que el sulfuro puede oxidarse mediante el ajustador de fuerza iónica.
- C.4.1.3 Electrodo de Referencia de unión doble tipo manguito: Usando la solución preparada según el apartado C.4.2.4

Nota 7. Otros tipos de electrodos de referencia de unión doble pueden ser convenientes, pero datos sustentatorios incluidos en el método de ensayo reflejan sólo el tipo recomendado.

- C.4.1.3 Mezclador: Magnético con una barra agitadora recubierta de fluorocarbono de TFE.

C.4.2 INSUMOS

- C.4.2.1 Ajustador de Fuerza Iónica del Cloruro (AFIC): Disolver 15,1 g de bromato de sodio en 800 mL de agua. Agregar 75 mL de ácido nítrico concentrado (HNO₃, gravedad específica 1,42)

(ver Nota 8). Agitar bien. Diluir con agua a 1 L. Almacenar el AFIC en un contenedor de polietileno o de vidrio.

Nota 8. Para una medida de nivel bajo de cloruro (menos de 5 mg/L) el ácido nítrico usado no debe contener más de 0,005% de cloruro, y el bromato de sodio no debe contener más de 0,003% de cloruro. Se incluye un ensayo de la pureza del reactivo en este método de ensayo.

Advertencia: El bromato de sodio es un fuerte oxidante y debe manejarse de una manera apropiada. También se debe notar que la preparación y las diluciones del AFIC deben realizarse en un área bien ventilada, de preferencia al interior de una campana.

C.4.2.1 Solución de Cloruro, Stock (1 000 mg/L): Disolver 1,648 g de cloruro de sodio (secado durante 1 h a 600 °C), en agua en un matraz volumétrico y diluir a 1 L.

C.4.2.1 Soluciones de Cloruro, estándar (100, 10 y 1 mg/L): Mediante el uso de pipetas volumétricas, transferir 100, 10 y 1 mL de la solución de cloruro stock a matraces volumétricos de 1 L separados y diluir cada uno a 1 L con agua.

C.4.2.1 Solución externa que llena el electrodo de Referencia de doble unión: Diluir 1 volumen del AFIC (ver apartado C.4.2.1) con un volumen de agua.

Nota 9. Se agregan a la muestra soluciones de sulfato de amonio férrico y tiocianato mercúrico. El ión cloruro reacciona con el tiocianato mercúrico para producir el ión tiocianato que a su vez se combina con el férrico para formar tiocianato férrico rojo. La intensidad del color, que es proporcional a la concentración de los iones cloruro, se mide fotométricamente en una longitud de onda de 463 nm, o mediante comparación visual con soluciones estándares.

C.5 MUESTRA

C.5.1 Aguas naturales, agua potable y aguas residuales

C.5.2 CALIBRACION

C.5.2.1 Mezclar volúmenes iguales de 1 000 mg/L de la solución estándar de cloruro, y el reactivo AFIC. Hacer lo mismo para cada uno de los otros tres estándares.

C.5.2.2 Mezclar volúmenes iguales de agua y el reactivo AFIC.

C.5.2.3 Colocar los electrodos en la solución indicada en el apartado C.5.2.2, agitar bien, esperar de 3 min a 5 min, y registrar la lectura de milivoltios. Esta solución no contiene cloruro agregado alguno, y la lectura del potencial no será muy estable.

C.5.2.4 Enjuagar los electrodos concienzudamente, colocarlos en la mezcla de 1 mg de Cl⁻L-AFIC y agitar bien. Esperar de 1 min a 2 min y registrar el resultado.

C.5.2.5 Si la diferencia entre las lecturas indicadas en los apartados C.5.2.3 y C.5.2.4 es menor de 15 mV, hay contaminación del cloruro del reactivo que afectará las lecturas de nivel bajo, y deben obtenerse reactivos más puros.

C.5.2.6 Enjuagar los electrodos, colocarlos en la mezcla de 10 mg de Cl⁻L-AFIC y agitar bien. Esperar 1 min y registrar los resultados.

C.5.2.7 Repetir el apartado C.5.2.6 con las mezclas de 100 y 1000 mg de Cl⁻L-AFIC.

C.5.2.8 Preparar una curva de calibración ploteando en un papel gráfico (semilogarítmico) el potencial observado (en la escala lineal) versus la concentración de cada uno de los estándares usados (en la escala logarítmica). Notar que las correcciones de volumen se incorporan en la calibración para que las muestras analizadas según el capítulo 6 puedan leerse directamente.

C.6 PROCEDIMIENTO

- C.6.1 Mezclar la muestra con un volumen igual del reactivo AFIC y agitar concienzudamente durante 1 min a 2 min.
- C.6.2 Insertar los electrodos, esperar de 1 min a 2 min, y registrar la lectura.
- C.6.3 Leer la concentración de cloruro de la muestra en miligramos por litro directamente de la curva de calibración.

C.7 PRECISION Y DISPERSION

PRECISION: La precisión total y de único operador de este método de ensayo, dentro de su rango designado, varía con la cantidad ensayada, como se muestra en la Figura 1, para el agua reactiva, y en la Figura 2, para las matrices seleccionadas de agua. Entre estas matrices están las aguas naturales y las residuales.

- C.7.1 Sesgo: Recuperaciones de cantidades conocidas de cloruro a partir del agua reactiva y matrices seleccionadas de agua como se muestra en la tabla 1.

	Cantidad Adicionada mg/L	Cantidad Encontrada mg/L	± % Sesgo	Estadísticamente Significativo (Nivel de Confianza al 95%)
Agua reactiva	1,1	1,03	-6,4	No
	10,0	9,94	-0,6	No
	150	148,8	-0,8	No
	1 000	992	-0,8	No
Matrices de agua	1,1	1,04	-5,5	No
	10,0	10,24	+2,4	No
	150	146,0	-2,7	No
	1 000	991	-0,9	No

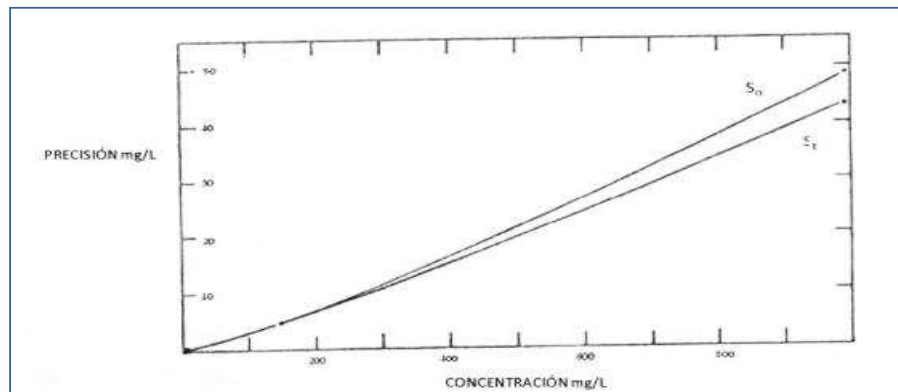


Figura 1. Precisión interlaboratorio para cloruro encontrado en el agua reactiva (electrodo del ión selectivo)

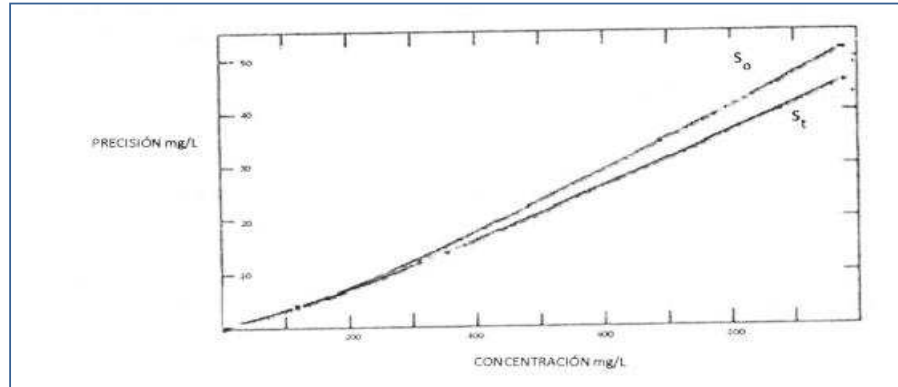


Figura 2. Precisión interlaboratorio para cloruro encontrado en las matrices seleccionadas de agua (electrodo del ión selectivo)

Como también cualquier otro dispositivo termométrico de igual exactitud.



MTC E 721

DETERMINACION DE ALCALIS COMO (Na₂O + 0,658 K₂O)

Remítase al modo operativo descrito en MTC E 602

MTC E 722

CONTENIDO DE CEMENTO PORTLAND EN EL CONCRETO ENDURECIDO

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el contenido de Cemento Portland en una muestra de cemento hidráulico endurecido.
- 1.2 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados en el presente método.
- 1.3 Este método no considera los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien lo emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad correspondientes y determinar las obligaciones de su uso e interpretación.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método de ensayo consiste en la determinación de óxidos, mediante dos procedimientos independientes, cada uno de ellos requiere considerable habilidad química y de equipo adecuado cuando se utilizan técnicas instrumentales. Excepto por la influencia de interferencias conocidas, los contenidos de cemento determinados son normalmente equivalentes o ligeramente mayores que, los valores usuales excepto para el procedimiento del ácido maleico donde los resultados pueden ser significativamente menores cuando la pasta presenta carbonatos.
- 2.2 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados en el presente método.
- 2.3 Este método no considera los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien lo emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad correspondientes y determinar las obligaciones de su uso e interpretación.

Nota 1. El método es aplicable para determinar sólo el cemento Portland del concreto elaborado con cemento adicionado (puzolana o escoria).

3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 NTP 334.137- CEMENTOS. Contenido de Cemento Portland del Concreto Endurecido.
- 3.2 ASTM C 1084- Standard Test Method for Portland-Cement Content of Hardened Hydraulic-Cement Concrete.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

- 4.1 EQUIPOS
 - 4.1.1 Balanza y pesas de capacidad 1000 g \pm 0,1 g.
 - 4.1.2 Balanza analítica, capacidad 210 g \pm 0,1 mg.
 - 4.1.3 Triturador de mandíbula.
 - 4.1.4 Pulverizador de disco.
 - 4.1.5 Estufa de aire circulante, regulador de temperatura 10 – 150 °C \pm 1 °C.
 - 4.1.6 Horno 550 °C \pm 5°C.
 - 4.1.7 Plato calentador.
 - 4.1.8 Bomba de vacío.
 - 4.1.9 Campana extractora.
 - 4.1.10 Agitador magnético de velocidad variable
- 4.2 MATERIALES
 - 4.2.1 Mallas ASTM N° 50 y N° 4.1

- 4.2.2 Vasos graduados Pirex de 250 mL, 400 mL y 600 mL.
- 4.2.3 Embudo Büchner
- 4.2.4 Kitasato de 500 mL.
- 4.2.5 Termómetro de -10 a 60 °C \pm 1 °C.
- 4.2.6 Luna de reloj de 125 mm.
- 4.2.7 Papel filtro, retentivo.
- 4.2.8 Papel tornasol.
- 4.3 INSUMOS
 - 4.3.1 Sub -procedimiento de sílice soluble:
 - 4.3.1.1 Ácido clorhídrico (1:3), Mezclar 300 mL de ácido clorhídrico en 900 mL de agua desionizada o destilada.
 - 4.3.1.2 Ácido clorhídrico (1:9), Mezclar 100 mL de ácido clorhídrico en 900 mL de agua desionizada o destilada.
 - 4.3.1.3 Hidróxido de sodio (10 / L), Disolver 5 g de hidróxido de sodio grado analítico en 200 mL de agua desionizada o destilada y diluir hasta 500 mL.
 - 4.3.1.4 Ácido fluorhídrico al 48 %, grado analítico.
 - 4.3.1.5 Ácido sulfúrico, densidad 1,84 g/ cm³, grado analítico.
 - 4.3.2 Sub -procedimiento del óxido de calcio:
 - 4.3.2.1 Utilizar los reactivos tal como se requieren en la NTP 334.086
 - 4.3.3 Procedimiento del ácido maleico:
 - 4.3.3.1 Ácido maleico, grado técnico
 - 4.3.3.2 Metanol, grado técnico.
 - 4.3.3.3 Solución de ácido maleico 15% en metanol: Disolver 181 g de ácido maleico con metanol hasta un volumen final de solución de 1200 mL. Esta solución debe ser fresca, prepararla diariamente dentro de la campana extractora, evitando respirar los vapores y el contacto con la piel.
 - 4.3.3.4 Tierra de Fuller: Material arcilloso (silicato de aluminio coloidal poroso), utilizado para decolorar y purificar los materiales.
 - 4.3.3.5 Agua del tipo I al IV de la norma ASTM D1193

5.0 MUESTRA

- 5.1 El bloque de concreto de aproximadamente 4,5 kg, es triturado y pasado por la malla N° 4. Después del cuarteo, pulverizar aproximadamente 100 g de la muestra y pasar por la malla N° 50.

Secar la muestra en la estufa a 110 °C \pm 5°C durante 3 horas y enfriar en el desecador, conservar la muestra en un recipiente sellado.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Procedimiento de análisis del óxido: Este ensayo se realizará por triplicado.
 - 6.1.1 Pesar tres muestras de 2,000 g \pm 0,1 mg y colocar en los vasos de 250 mL.
 - 6.1.2 Colocar a cada vaso 100 mL de ácido clorhídrico diluido (1:3), manteniendo a temperatura de 3 a 5 °C durante 5 min en baño de hielo, agitando las muestras continuamente.
 - 6.1.3 Adicionar lentamente en un periodo de 1 minuto los 2 gramos de muestra.

- Nota 2.** Observar la presencia de efervescencia. Una considerable efervescencia indica una cantidad substancial de calcita o una pasta carbonatada. Una efervescencia retrasada indica un agregado dolomítico. La ausencia de efervescencia indica aplicar el procedimiento del óxido de calcio.
- 6.1.4 Decantar y filtrar al vacío cada una de las muestras utilizando 2 discos de filtro retentivo y manteniendo una velocidad rápida de goteo. Lavar la muestra dos veces con agua caliente y filtrar, colocar el filtrado en una cápsula (**Filtrado A**).
 - 6.1.5 Transferir el papel del Büchner al vaso que contiene el residuo de la muestra, adicionar 75 mL de solución de hidróxido de sodio (10 g/L) caliente, mantener en baño de vapor durante 15 min para macerar y digerir el papel de filtro, agitando ocasionalmente.
 - 6.1.6 Colocar 2 discos de papel retentivo en el embudo Büchner y filtrar lavando el residuo con agua caliente hasta que el filtrado sea neutro al papel de tornasol (**Filtrado B**).
 - 6.1.7 Combinar los Filtrados A y B en la cápsula. La mezcla contiene el ácido silícico en solución, si presenta turbidez dejar sedimentar toda la noche y refiltrar.
 - 6.1.8 Si la muestra contiene óxido de calcio (presencia de efervescencia), adicionar a la cápsula 10 mL de ácido clorhídrico (densidad 1,19 g/cm³).
 - 6.1.9 Evaporar a sequedad, colocando en la plancha de calentamiento.
 - 6.1.10 Humedecer la cápsula con ácido clorhídrico (densidad 1,19 g/cm³).
 - 6.1.11 Nuevamente evaporar a sequedad.
 - 6.1.12 Adicionar a la cápsula 75 mL de ácido clorhídrico (1:3), agitar y calentar hasta ebullición.
 - 6.1.13 Filtrar la solución por gravedad utilizando embudo con pape, decepcionando el filtrado en un vaso de 400 mL.
 - 6.1.14 Lavar el residuo con ácido clorhídrico (1:9) caliente y continuar lavando con agua caliente hasta que el filtrado esté libre de cloruros.
 - 6.1.15 Calcinar el residuo contenido en el papel de filtro, colocándolo en un crisol tarado y continuar con la marcha analítica de acuerdo al método de ensayo MTC 602.
 - 6.1.16 Cálculos: Calcular el porcentaje de cemento, Cs, dividiendo el porcentaje de sílice (SiO₂) en el Concreto por el porcentaje de sílice (SiO₂) en el cemento y multiplicar por 100.
Si el valor de la sílice del cemento es desconocido, asumir 21,0%.
 - 6.2 Sub procedimiento del óxido de calcio
 - 6.2.1 Del filtrado que se obtiene después de separar la sílice según la marcha analítica indicada en el método de ensayo MTC 602, separar el hidróxido de amonio y luego determinar el óxido de calcio según el método de ensayo MTC 602.
 - 6.2.2 También puede determinarse el óxido de calcio, utilizando un método instrumental, en conformidad con los requerimientos de performance para los métodos de la NTP334.086
 - 6.2.3 Cálculos: Calcular el porcentaje de cemento, Cc, dividiendo el porcentaje de óxido de calcio en el concreto por el porcentaje de calcio en el cemento, y multiplicar por 100. Si el valor del óxido de calcio del cemento es desconocido, asumir 63,5%.
 - 6.3 Procedimiento de extracción de ácido maleico:
 - 6.3.1 Triturar o moler y secar la muestra tal como se describe en 5.0, con excepción que el material debe pasar la malla N° 16 (1,18 mm) que cumpla con la norma ASTM E 11.
 - 6.3.2 Contenido de agua combinada: pesar 10 g ± 0,001 g de muestra seca en un crisol precalentado y tarado, secar a 520 ± 5 °C durante 3 horas hasta masa constante (Nota 3). Enfriar en un desecador y determinar la masa.

Nota 3. No debe excederse la temperatura de 540 °C, para evitar la descomposición de los carbonatos cálcicos o dolomíticos en determinados agregados.

Calcular el porcentaje de agua combinada como sigue:

$$Lc\% = \frac{(C - D)}{C} \times 100$$

Donde:

Lc: Porcentaje de agua combinada en base seca.

C: Masa de la muestra seca, en gramos (g)

D: Masa después de calentar a 520 °C, g.

6.3.3 Extracción: Pesar 20 g ± 0,001 g de concreto seco y molido y 2,5 g ± 0,001 g de tierra de Fuller secada a 110 °C ± 5 °C, y transferir ambas a un vaso de 1000 mL. Adicionar 800 mL de una solución de ácido maleico, y agitar con agitador magnético o agitador con hélice e impulsor, durante 60 minutos. Dejar que la muestra sedimente durante 60 minutos. Utilizando un kitasato de 2000 mL, filtrar al vacío con cuidado la solución decantada a través de un papel filtro retentivo o Whatman 41, de masa conocida fijado a un embudo Büchner. Dejar que el residuo permanezca en el vaso.

6.3.3.1 Adicionar 400 mL de solución de ácido maleico al residuo en el vaso, y agitar durante 10 minutos. Dejar que la mezcla sedimente durante 30 minutos y filtra todo el contenido del vaso a través del papel de filtro original. Enjuagar el vaso a fondo con metanol para asegurar la transferencia completa. Lavar el residuo contenido en el papel de filtro 4 a 5 veces utilizando aproximadamente 50 mL de metanol para remover algo de ácido maleico residual. Lavar también el empaste de hierro adherido a la barra magnética en el embudo Büchner. El filtrado debe ser claro.

6.3.3.2 Transferir el papel de filtro y el residuo a una luna de reloj de 125 mm y colocar en la estufa a 105°C, secar a masa constante, y determinar la masa del residuo y el papel de filtro con aproximación de 0,001 g.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Calcular el porcentaje de residuo insoluble como sigue:

$$R\% = \frac{(F - G)}{M} \times 100$$

Donde:

R%: Porcentaje de residuo insoluble

M: Masa de la muestra, g.

F: Masa combinada de residuo, papel de filtro y tierra Fuller, g.

G: Masa combinada de papel de filtro y tierra Fuller, g.

7.1.2 Calcular el porcentaje de contenido de cemento, Cm restando R y Lc de 100.

7.1.3 Determinación de la densidad del concreto

7.1.3.1 Tomar una muestra del concreto, que tiene una dimensión mínima de tres veces el tamaño máximo del agregado.

7.1.3.2 Secar la muestra a 110 °C ± 5 °C por 24 horas, enfriar y pesar (M₁).

7.1.3.3 Introducir la muestra en agua por un lapso de 1 minuto, obtener la masa de la muestra dentro del agua (M₂). Todas las pesadas son registradas con aproximación de 0,1 g.

7.1.3.4 Calcular la densidad D_1 en gramos /cm³ aplicando:

$$D_1 = \frac{M_1}{(M_1 - M_2)} \times \rho$$

Donde:

D_1 : Densidad en kg/m³

ρ : Densidad del agua (1000 kg/m³)

M_1 : Masa de muestra seca, g (estufa después de enfriar)

M_2 : Masa, muestra sumergida en agua, g.

7.1.4 CALCULOS ADICIONALES

7.1.4.1 Contenido de cemento: Calcular el contenido de cemento en el concreto, utilizando los datos según el procedimiento empleado, como sigue:

$$\text{Contenido de Cemento, kg/m}^3 = \frac{C \times D}{100}$$

Donde:

C: Porcentaje de cemento determinado en % por peso como C_s ó C_c

D: Densidad del concreto, como D_1

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 La precisión del contenido de cemento del procedimiento empleado, depende de la composición del concreto.

Detalles relacionados con la precisión, se muestran en el punto 12.0 de la ASTM C 1084 – 2002, señalado en las referencias normativas.

8.2 DISPERSION

8.2.1 Este método no tiene tolerancias porque los valores determinados solo pueden ser definidos en términos del método evaluado.

MTC E 723

METODO DE ENSAYO PARA LA ELABORACION Y CURADO DE PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO EN OBRA

1.0 OBJETO

- 1.0 Establecer un procedimiento para la elaboración y curado de probetas cilíndricas de hormigón (concreto) en obra.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.0 El hormigón utilizado para el moldeo de las probetas deberá tener el mismo asentamiento, contenido de aire y porcentaje de agregado grueso del concreto colocado en obra.
- 2.1 Esta práctica provee requisitos normalizados para la elaboración, curado, protección y transporte de las muestras de hormigón para ensayo, bajo condiciones de la obra.
- 2.2 Si la preparación de la muestra se controla como se indica, estas pueden ser utilizadas para los siguientes propósitos:
- 2.2.1 Para comprobar la calidad y uniformidad del hormigón durante la construcción.
- 2.2.2 Para apreciar las condiciones de protección y curado del hormigón o decidir sobre el momento en que la estructura puede ser puesta en servicio.
- 2.2.3 Para evaluar el cumplimiento con las especificaciones de resistencia del hormigón.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.0 NTP 339.033: 1997 HORMIGON. Método de ensayo para la elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto en obra.
- 3.1 ASTM C 31: 1999 Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.0 EQUIPOS

- 4.0.1 **Moldes:** Serán hechos de acero, fierro fundido u otro material no absorbente que no reaccione con el hormigón de cemento Portland u otros cementos hidráulicos. Los moldes mantendrán sus dimensiones y forma bajo condiciones severas de uso. Los moldes serán estancos; un sello conveniente tal como grasa gruesa, puede ser necesario para prevenir fuga de lechada a través de las juntas. Deberán tener un dispositivo adecuado para mantener al molde firmemente unido a su base.

Las dimensiones interiores serán de 152,5 mm \pm 2,5 mm de diámetro y 305,0 mm \pm 6,0 mm de altura, con base metálica maquinada, de un espesor no menor de 7 mm.

- 4.0.2 Barra compactadora, recta de acero liso de 16 mm (5/8 pulg) de diámetro y aproximadamente 60 cm de longitud y terminada en punta semiesférica
- 4.0.3 Martillo de goma con un peso aproximado de 600 g.
- 4.0.4 Cuchara de muestreo y plancha de albañilería

5.0 MUESTRA

5.0 Preparación de la muestra

- 5.0.1 El material que se usa en la elaboración de probetas de ensayo, se selecciona de acuerdo a la norma MTC E 701. Las probetas se deben identificar con la parte de la estructura a que corresponde el material a partir de la cual fueron elaboradas.

- 5.0.2 Cuando el volumen de material fresco es transportado en recipientes de más de un cuarto de metro cúbico, la muestra se prepara mezclando porciones de diferentes partes del contenido del recipiente elaborado las probetas de ensayo con esa mezcla.
- 5.0.3 La muestra no se considera representativa del material, cuando ha transcurrido más de una hora entre su selección y el momento en que el agua fue añadida al cemento.
- 5.0.4 Para la toma de muestras referentes a hormigones premezclados véase el Método de Toma de Muestras de Concreto Fresco MTC E 701.

5.1 Preparación del Molde

- 5.1.1 El molde con su base deben presentar un aspecto limpio y su superficie interior debe estar cuidadosamente aceitada. Solo se permite el uso de aceites minerales y otros productos adecuados para este efecto.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.0 La elaboración de la probeta debe comenzar no más tarde de diez minutos después del muestreo y en una zona libre de vibraciones.
- 6.0.1 El llenado de la probeta se efectuara evitando la segregación y vertiendo el concreto con la cuchara, la que se moverá alrededor del borde superior del cilindro.

Previo al llenado del molde se realiza la homogenización de la muestra contenida en el recipiente mediante un batido del concreto, se llena de inmediato el molde hasta un tercio de su altura, compactando a continuación de manera enérgica con la barra mediante 25 golpes verticales, uniformemente repartidos en forma de espiral, comenzando por el borde y terminando en el centro. El proceso se repite en las dos capas siguientes, de manera que la barra penetre hasta la capa precedente nomas de 1 pulg. En la última, se coloca material en exceso, para enrasar a tope con el borde superior del molde, sin agregar material.

Después de consolidar cada capa, se procederá a golpear ligeramente las paredes del molde, utilizando la barra compactadora y el martillo de goma, para eliminar los vacíos que pudieran haber quedado.

Si en el llenado de la última capa, el material estuviera en exceso se retirara lo conveniente con la plancha y luego se procederá a enrasar la superficie.

En las mezclas fluidas, para evitar la exudación al término de la consolidación, el material en exceso se puede retirar luego de 15 minutos de terminar la operación. La superficie del cilindro será terminada con la barra o regla de madera, para lograr una superficie plana, suave y perpendicular a la generatriz del cilindro. Caras inclinadas, con proyecciones o depresiones mayores de 3 mm, exigen una capa de refrendado de mayor espesor, disminuyendo la resistencia de la probeta.

- 6.0.2 En el caso de elaborarse varias probetas con la misma muestra, estas se deben moldear simultáneamente.
- 6.1 En aquellas mezclas donde hayan sido usados agregados con un tamaño máximo mayor que la tercera parte de la menor dimensión del molde, estos serán retirados manualmente inmediatamente antes de realizar el ensayo (nota 1).

Nota 1. Si esto no es posible las dimensiones del molde se modifican de acuerdo a la necesidad haciendo las conversiones correspondientes al molde normalizado, (manteniendo la relación altura: diámetro de 2:1).

6.2 Curado de la probeta

- 6.2.1 Cubrimiento de la probeta después de moldeada: Para prevenir la evaporación del agua de la superficie del hormigón no endurecido de las probetas, se cubren estos inmediatamente después de moldeados, preferiblemente con una placa no absorbente y no reactiva o una lámina de plástico durable. También se puede usar para el cubrimiento, trapos o lienzos humedecidos, pero debe cuidarse de mantenerlos húmedos hasta que las probetas se desmolden.

6.2.2 Curado inicial

6.2.2.1 Antes del llenado, se colocan los moldes sobre una superficie horizontal rígida libre de vibraciones. Luego serán protegidos del viento y del sol o de toda otra causa que pueda perturbar al hormigón.

6.2.2.2 Durante las primeras 24 h después del moldeo, se almacenarán todas las probetas bajo condiciones que mantengan la temperatura ambiente entre 16 °C y 27 °C y que prevengan toda pérdida de humedad. Las temperaturas de almacenamiento pueden ser reguladas por medio de ventilación o por evaporación de agua, arena húmeda o trapos humedecidos, o por el uso de dispositivos eléctricos de calentamiento.

6.2.2.3 El estacionamiento de las probetas se realizan en construcciones provisionarias realizadas en el lugar de la obra, en cajones de madera machihembrada bien contruidos y zunchados, en depósitos de arena húmeda o siempre que el clima sea favorable cubriendo las probetas con trapos húmedos.

6.2.3 Probetas para comprobar la calidad y uniformidad del hormigón durante la construcción.

6.2.3.1 Las probetas hechas con el fin de juzgar la calidad y uniformidad del hormigón colocado en obra o para que sirvan como base para decidir sobre la aceptación del mismo, se desmoldan al cabo de $20 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$ después moldeados.

6.2.3.2 Inmediatamente después las probetas se estacionarán en una solución saturada de agua de cal a una temperatura de $23 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$, la saturación se puede obtener incorporando tentativa mente 2 g de la cal hidratada por litro de agua, no debiendo estar en ningún momento expuestas al goteo y a la acción del agua en movimiento (Nota 2).

Nota 2. La condición para el curado, de mantener agua libre durante todo momento en el total de la superficie de las probetas, se puede conseguir también por medio del almacenamiento conveniente en cuartos o gabinetes húmedos.

6.2.4 Probetas moldeadas para apreciar las condiciones de protección y curado del hormigón o decidir el momento en que la estructura puede ser puesta en servicio.

6.2.4.1 Las probetas hechas con el fin de determinar la resistencia de un concreto determinado, la misma que sirve para apreciar las condiciones de protección y curado del hormigón, o de cuando una estructura puede ser puesta en servicio, se almacenen tan cerca como sea posible del lugar o punto de donde se extrajo la muestra y deben recibir la misma protección contra las acciones climáticas y el mismo curado en toda su superficie que los recibidos por la estructura que representan.

6.2.4.2 Para conseguir las condiciones de 6.3.4.1 las probetas hechas para determinar cuándo una estructura puede ser puesta en servicio, se determinan al tiempo de la remoción de los encofrados, siguiéndose lo indicado en la NTP 339.044.

6.3 Envío de las probetas al laboratorio

Cuando sea necesario enviar las probetas a un laboratorio fuera de la obra, deberán remitirse entre las 48 y 72 horas previas a la rotura, embaladas en cajas de madera o material rígido, con separaciones para cada probeta y protegidas con arena húmeda. En lo posible, el interior de la caja estará revestido con plancha de zinc. El transporte no excederá de 4 horas.

En la guía de remisión se identificarán, además de las anotaciones efectuadas en la cara lateral de cada probeta, las referencias adicionales que faciliten su identificación.

MTC E 724

METODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA DE MEZCLAS DE CONCRETO

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto) fresco y puede ser usado para verificar la conformidad con un requerimiento especificado para la temperatura del hormigón (concreto) fresco en obra.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El hormigón (concreto) que contenga agregado de tamaño máximo nominal superior a 75 mm (3 pulg) puede requerir hasta 20 minutos para la transferencia de calor del agregado al mortero (Véase el reporte del Comité ACI 207.1).

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.0 ASTM C 1064: 1999 Standard test method for temperature of freshly mixed Portland cement concrete.
- 3.1 NTP 339.184: 2002: HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto).

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.0 EQUIPOS

- 4.0.1 Recipiente.- Debe estar elaborado de un material no absorbente y debe tener dimensiones tales que permitan un recubrimiento de al menos 3 pulgadas (75 mm) de hormigón en todas las direcciones alrededor del sensor medidor de temperatura. La cantidad de hormigón que debe cubrir, tiene que ser mínimo tres veces el tamaño máximo del agregado grueso.
- 4.0.2 Medidor de temperatura.- Debe de ser calibrado para medir la temperatura del hormigón recién mezclado con una variación de $\pm 0,5$ °C, dentro de un rango entre 0°C a 50°C. El dispositivo que mide la temperatura (sensor) requerirá la inmersión de 3 pulgadas (75 mm) o más en el hormigón, durante la operación.
- 4.0.3 Calibración del medidor de temperatura.- El aparato medidor de temperatura debe calibrarse anualmente o cuando se tenga duda de su grado de exactitud.

La calibración de los medidores de temperatura puede ser realizada en aceite u otras inmersiones que tenga densidad uniforme, si este está provisto para:

- 4.0.3.1 Mantener la temperatura de la inmersión constante en (0,2 °C) durante el período de la prueba.
- 4.0.3.2 Mantener la temperatura y el medidor de temperatura inmersos por un mínimo de cinco minutos antes de tomar lectura.
- 4.0.3.3 Mover continuamente la cantidad de agua para mantener la temperatura uniforme.

Abrir poco a poco la tapa del termómetro para evitar la adherencia de líquido en las paredes del vidrio si la temperatura disminuye.

5.0 MUESTRA

- 5.0 La temperatura de la mezcla de concreto puede medirse en el equipo de transporte, si es que el aparato medidor está cubierto por al menos 3 pulgadas de concreto (75 mm) en todas las direcciones.
- 5.1 La temperatura de la mezcla de concreto puede obtenerse después de vaciar el concreto.
- 5.2 Si no se mide la temperatura en el equipo de transporte, debe prepararse una muestra como se indica a continuación:

- 5.2.1 Humedezca (con agua) el recipiente en el que obtendrá la muestra del concreto.
- 5.2.2 Obtenga una muestra de concreto recién mezclado según la norma ASTM C172.
- 5.2.3 Coloque el concreto recién mezclado en el recipiente no absorbente.
- 5.3 Cuando el concreto contenga agregados de tamaño máximo nominal mayor a 3 pulgadas (75 mm), puede requerir 20 minutos antes de que la temperatura se estabilice.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.0 Obtener una muestra de hormigón dentro de un contenedor no absorbente, de tamaño suficiente para proveer un mínimo de 3 pulg (75 mm) de hormigón alrededor del sensor de temperatura en todas las direcciones.
- 6.1 Utilizar un termómetro con una exactitud de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, e intervalo de temperatura de 0° a 50°C .
- 6.2 Colocar el termómetro dentro de la muestra cubriendo el sensor con un mínimo de 3 pulg (75 mm) en todas las direcciones. Cierre desde la izquierda presionando con delicadeza el concreto alrededor del medidor de temperatura en la superficie del concreto para así prevenir que la temperatura ambiente afecte la lectura en el instrumento.
- 6.3 Tomar la lectura de temperatura después de un tiempo mínimo de 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice, luego lea y registre.
- 6.4 Completar la medición de la temperatura dentro de 5 minutos siguientes a la obtención de la muestra compuesta. Excepto para concretos que contiene un tamaño máximo nominal de agregado mayor a 3 pulgadas (75 mm).

7.0 CALCULOS E INFORME

- 7.0 Registrar la temperatura con una precisión de $0,5^{\circ}\text{C}$.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.0 Tiempo: 5 minutos para realizar el ensayo y mínimo 2 minutos para que la lectura se estabilice. En el caso de hormigones con agregados mayores a 3 pulgadas se podrá requerir hasta 20 minutos.

MTC E 725**METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL NUMERO DE REBOTE DEL CONCRETO
ENDURECIDO (ESCLEROMETRIA)****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer la determinación de un número de rebote en el concreto endurecido usando un martillo de acero accionado por resorte.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Esta norma se aplica para evaluar la uniformidad del concreto in situ, para delinear regiones de una estructura de calidad pobre u concreto deteriorado y para estimar el desarrollo de la resistencia in-situ.
- 2.2 El uso de este método de ensayo para estimar la resistencia requiere del establecimiento de una correlación entre el esfuerzo y el número de rebote. La correlación se establecerá para una mezcla de concreto dada y un aparato dado. La correlación se establecerá sobre el rango de resistencias del concreto que sea de interés. Para estimar la resistencia durante la construcción, establecer la correlación realizando ensayos de número de rebote en probetas de concreto versus la resistencia última de las mismas probetas o de probetas compañeras. Para estimar la resistencia en una estructura existente, establecer la correlación de los números de rebote medidos en la estructura versus los esfuerzos de testigos diamantinos tomados de los emplazamientos correspondientes. Véase ACI 228.1 R1 para información adicional de cómo desarrollar la correlación y sobre el uso de las relaciones para estimar las resistencias en la estructura.
- 2.3 Para una mezcla de concreto dada, el número de rebote es afectado por factores como el contenido de humedad de la superficie de ensayo, el método utilizado para obtener la superficie de ensayo (tipo y condición del material o tipo de acabado); y la profundidad de carbonatación. Estos factores necesitarán ser considerados en la determinación de la correlación de esfuerzos y la interpretación de los resultados del ensayo.
- 2.4 Debido a la incertidumbre inherente en la estimación de la resistencia, este método de ensayo no se utiliza como base para la aceptación o rechazo del concreto.
- 2.5 Resumen del método
- 2.5.1 Un martillo de acero impacta, con una cantidad predeterminada de energía, sobre un émbolo de acero en contacto con la superficie de hormigón (concreto) y se mide la distancia que el martillo rebota.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM C 805:1997: Standard Test Method for rebound number of hardened concrete.
- 3.2 NTP 339.181:2001: HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para determinar el número de rebote del concreto endurecido esclerómetro.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Martillo de rebote: Consistente en un martillo de acero, con resorte de carga, que al ser liberado impacta sobre un émbolo de acero en contacto con la superficie del hormigón (concreto). La distancia de rebote del martillo de acero, luego del impacto, es medida sobre una escala lineal adherida al marco del instrumento.
- 4.1.2 Piedra abrasiva: Consistente en carburo de silicio con textura de grano medio o un material equivalente.
- 4.1.3 Yunque de ensayo: Aproximadamente de 150 mm (6 pulgadas) de diámetro por 150 mm (6 pulgadas) de altura del cilindro, fabricado en acero, con área de impacto de una dureza Brinell de

500 kg/mm² o Rockwell de 52 C. Provisto de una guía para centrar el martillo de rebote sobre el área de impacto y mantenerlo perpendicular a la superficie.

5.0 MUESTRA

5.1 Selección de la superficie de ensayo: Las estructuras de concreto a ser ensayadas serán de por lo menos 100 mm (4 pulgadas) de espesor. Especímenes más pequeños deberán ser mantenidos rígidamente. Deberán evitarse las superficies de concreto que presenten descascamiento o alta porosidad. EL encofrado contra el que el concreto fue colocado deberá ser similar (Nota 1). Las superficies planas generalmente exhiben números de rebote más altos que otras formas de acabado. Si es posible, las losas estructurales deberán ser ensayadas en la parte inferior para evitar superficies terminadas.

5.2 Preparación de la superficie de ensayo: El área de ensayo será de por lo menos 150 mm (6 pulgadas) de diámetro. Las superficies de textura excesivamente suave o con mortero suelto, deberán ser pulidas con la piedra abrasiva descrita en el apartado 4.1.2. Las superficies lisas no tendrán que ser pulidas (Nota 1).

Nota 1. En las superficies rugosas, los aumentos en el número de rebote es de 2,1 y para superficies contraplacadas de alta densidad (triplay), 0,4. Las superficies de concreto secas dan números de rebotes más altos que las superficies húmedas. La presencia de carbonatación de la superficie también puede producir un número de rebote más alto. Los efectos de secado y carbonatación de la superficie pueden ser reducidos mojando la superficie completamente 24 horas antes del ensayo. En casos de una capa espesa de concreto carbonatado puede ser necesario quitar la capa carbonatada en el área de ensayo y utilizando un pulidor poderoso (esmeril) para obtener números de rebote que sean representativos del concreto interior. No existen datos disponibles de la relación entre el número de rebote y el espesor del concreto carbonatado. El usuario deberá utilizar su experiencia profesional al ensayar concreto carbonatado.

5.2.1 No deberán compararse superficies a nivel del suelo con otros elementos de diferente nivel.

5.3 Otros factores que pueden afectar los resultados del ensayo son los siguientes:

5.3.1 Concreto a 0°C o menos pueden exhibir valores de rebote muy altos. El concreto sólo debe ensayarse después de que se ha descongelado.

5.3.2 Las temperaturas del propio martillo de rebote pueden afectar el número del rebote.

Nota 2. Los martillos de rebote a -18 °C pueden exhibir números de rebote reducidos en 2 ó 3.

5.3.3 Para que las lecturas sean comparadas, la dirección de impacto, horizontal ascendente, descendente, etc., deberán ser las mismas o se aplicarán los factores de corrección a las lecturas.

5.3.4 Martillos del mismo diseño nominal pueden dar números de rebote que difieren de 1 a 3 unidades y por consiguiente, deberán hacerse ensayos con el mismo martillo para comparar resultados. Si se utiliza más de un martillo, un número suficiente de ensayos deberá realizarse sobre una superficie de hormigón (concreto) típico, para determinar la magnitud de las diferencias esperadas.

5.3.5 Se dará mantenimiento y se verificarán los martillos cada 6 meses y siempre que haya razón para cuestionar su funcionamiento apropiado. Se recomiendan los yunques de ensayo descritos en el apartado 4.1.3 para la comprobación.

Nota 3. La comprobación en un yunque no garantizará que el martillo rendirá datos repetibles de otros puntos en la escala. Algunos usuarios comparan varios martillos en hormigón (concreto) o superficies de piedra que abarcan el rango usual de números de rebote encontrados en el campo.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Sostener el instrumento firmemente para que el émbolo esté perpendicular a la superficie de ensayo. Gradualmente empujar el instrumento hacia la superficie de ensayo hasta que el martillo impacte. Después del impacto, mantener presionado el instrumento y, si es necesario, oprimir el botón situado al costado del instrumento para trabar el émbolo en su posición retraída. Leer el número del rebote en la escala y registrarlos, aproximándolo al entero. Tomar diez lecturas de cada

área de ensayo. Los ensayos de impacto estarán separados por más de 25 mm (1 pulgada). Examinar la impresión hecha sobre la superficie después del impacto, y si el impacto aplasta o destroza la superficie (hueca con aire), anular la lectura y tomar otra lectura.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Descartar las lecturas que difieran del promedio de las 10 lecturas por más de 6 unidades y determinar el promedio de las lecturas restantes. Si más de dos lecturas difieren de este promedio por 6 unidades, desechar todas las lecturas y determinar los números del rebote en 10 nuevas ubicaciones dentro del área de ensayo.

7.2 INFORME

Reportar la siguiente información para cada área del ensayo:

7.2.1 Fecha y hora de ensayo.

7.2.2 Identificación de la ubicación de la estructura ensayada en la construcción de concreto, el tipo, el tamaño del miembro ensayado.

7.2.2.1 Descripción de las proporciones de la mezcla de concreto incluyendo el tipo de agregado grueso si se conoce.

7.2.2.2 Resistencia de diseño del hormigón (concreto) ensayado.

7.2.3 Descripción del área de ensayo incluyendo:

7.2.3.1 Características de la superficie del área (frotachada, maestra, superficie seca, esmerilada, con textura del encofrado de madera).

7.2.3.2 Altura de la superficie sobre el nivel del terreno.

7.2.3.3 Tipo de material de encofrado usado para el área de ensayo.

7.2.3.4 Condición de curado del área de ensayo, o condiciones inusuales relativas al área de ensayo.

7.2.3.5 Tipo de exposición al ambiente.

7.2.4 Identificación del martillo y número de serie.

7.2.4.1 Temperatura del aire en el momento del ensayo.

7.2.4.2 Orientación del martillo durante el ensayo.

7.2.5 Número de rebote promedio para el área de ensayo.

7.2.5.1 Comentarios considerados por lecturas desechadas de los datos del ensayo o cualquier condición inusual.

7.2.6 Edad del concreto.

7.2.7 Promedio de rebote de cada área de ensayo.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 Para un simple espécimen, operador y equipo, la desviación estándar es 2,5 unidades (ls) como está definido en la ASTM E 177. Por consiguiente, el rango de 10 lecturas no deberá exceder de 12.

8.2 DISPERSION

8.2.1 La desviación de este método de ensayo no puede evaluarse, desde que el número de rebote sólo puede determinarse en términos de este método de ensayo.

MTC E 726

METODO PARA LA UTILIZACION DE CABEZALES CON ALMOHADILLAS DE NEOPRENO EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO ENDURECIDO

1.0 OBJETO

- 1.0 Establecer los requisitos para un sistema de refrentado usando almohadillas para ensayar cilindros de concreto moldeados de conformidad con la Norma MTC E 723.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.0 Este Modo Operativo provee el uso de un sistema de almohadillas para refrentado de cilindros de concreto endurecido para los ensayos elaborados de conformidad con las Norma MTC E 723 en reemplazo del sistema de refrentado convencional descrito en la Norma MTC E 703.
- 2.1 Los cojines elásticos se deforman con la carga inicial para adecuarse al contorno de los terminales del cilindro y son sujetados de separación lateral en forma excesiva por las placas y los anillos de metal para proporcionar una distribución uniforme de cargas en los cabezales de la máquina de ensayo a los terminales o extremos de los cilindros de morteros o concretos.
- 2.2 Las capas de embonado no van a ser usadas para la aceptación de ensayos de concreto con resistencia a la compresión inferiores a 10 MPa o superiores a 85 MPa.
- 2.3 Este modo operativo se aplica a cilindros de concreto endurecido
- 2.4 Definición de términos específicos
- 2.4.1 cojín: Cojín elástico de embonado
- 2.4.2 capa de embonado: Tapa metálica de retención y cojín elástico.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.0 ASTM C 1231/C 1231 M-2000: Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders.
- 3.1 NTP 339.216. 2007: HORMIGON (CONCRETO). Método para la utilización de cabezales con almohadillas de neopreno en el ensayo de Resistencia a la compresión de cilindros de concreto endurecido.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.0 EQUIPOS

- 4.0.1 Se precisa la adquisición de materiales y equipos necesarios para producir en los términos de referencia de los cilindros que tengan conformidad con los requisitos de planitud de la Norma MTC E 704 y los requisitos de la Norma MTC E 703. Esto puede incluir equipo de molienda o materiales de refrentado y equipo para producir una pasta neta de cemento, yeso plástico de alta resistencia, o capas de mortero de azufre.
- 4.0.2 Cojines elásticos
- 4.0.2.1 Los cojines tendrán $13 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ de espesor y el diámetro no será más pequeño en 2 mm que el diámetro interior del anillo de retención.
- 4.0.2.2 Los cojines serán fabricados de polycloropreno (Neopreno) que cumplan los requisitos de la clasificación ASTM D 2000 como sigue:

Durómetro	Clasificación ASTM D 2000
Shore A	Línea de reclamo
50	M2BC514
60	M2BC614
70	M2BC714

- La tolerancia de la dureza del durómetro Shore A es ± 5 . La Tabla 1 provee los requisitos para el uso de capas hechas de un material que cumpla los requisitos de la clasificación ASTM D 2000, indicada.
- 4.0.2.3 Otros materiales elásticos que cumplan los requisitos de desempeño de los ensayos de clasificación del apartado 6.5 serán permitidos.
- 4.0.2.4 Los cojines elásticos serán adquiridos con la siguiente información:
- Nombre del fabricante o proveedor.
 - La dureza Shore A, y
 - El rango aplicable de resistencia a la compresión de la Tabla 1.
- 4.0.2.5 El usuario mantendrá un registro indicando la data de los cojines en servicio, la dureza del cojín y el número de usos a los que fueron sometidos.
- 4.0.3 Accesorios de retención, serán fabricados de metal que provean durable y repetido uso (Nota 1). La cavidad del accesorio de metal tendrá una profundidad de al menos dos veces el espesor del cojín. El diámetro del lado interno de los anillos de detención no serán menores que 102 % o mayores que 107 % el diámetro del cilindro. Las superficies del accesorio de metal en contacto con los bloques de carga de la máquina de ensayo serán planas dentro 0,05 mm. Las superficies de sustentación de los accesorios no tendrán surcos, rugosidades mayores que 0,25 mm de profundidad o mayores que 32 mm² en área superficial.
- Nota 1.** Los accesorios hechos de acero y algo de aleación de aluminio han sido indicados como aceptables. Los anillos de retención que han sido usados con éxito con cojines de neopreno de 13 mm se muestran en la Figura 1 El diseño del retenedor y los metales usados están sujetos al desempeño y requisitos de aceptación del apartado 6.5

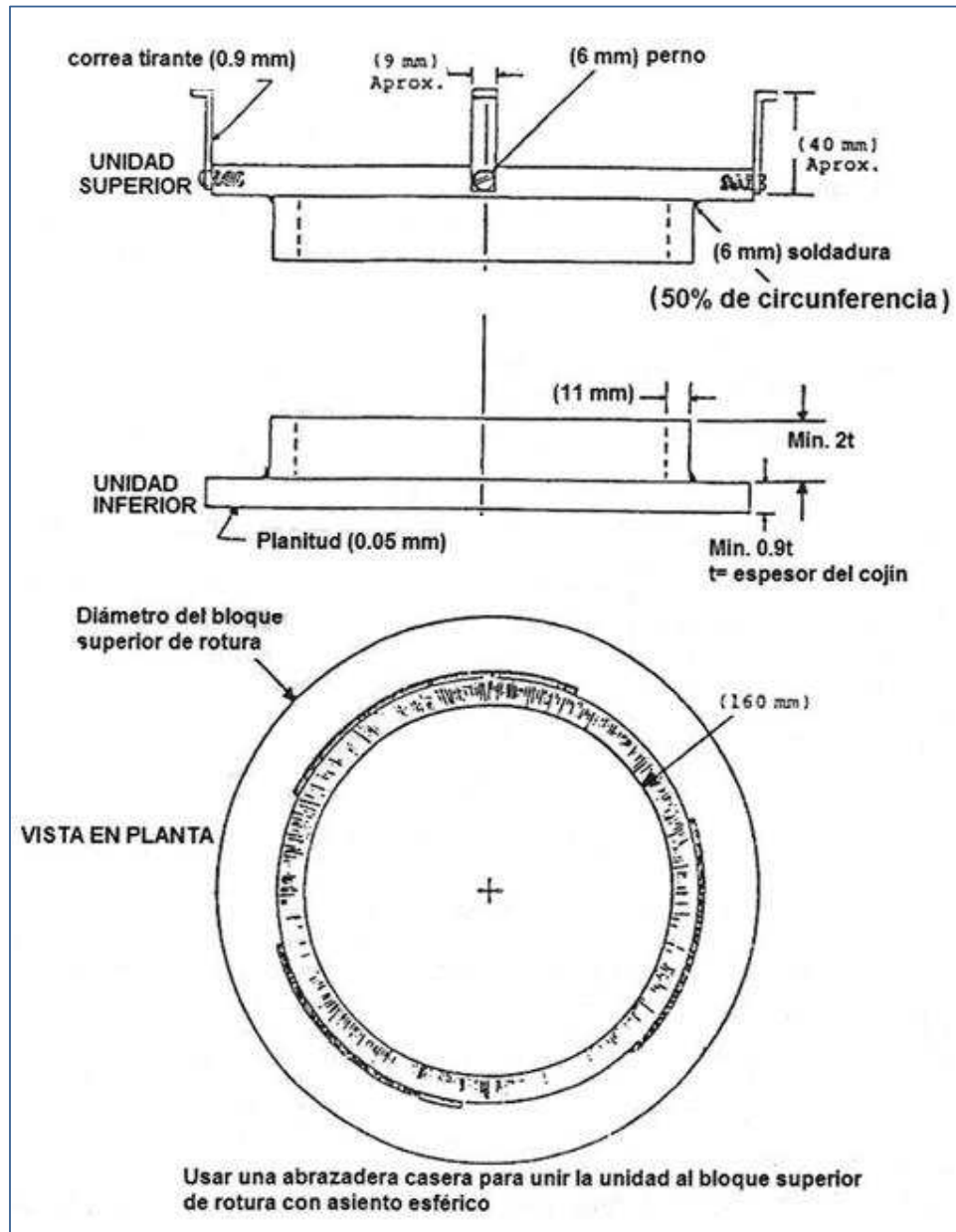


FIGURA 1. Ejemplo del anillo de sello de retención para cilindros de 150 mm a 300 mm (Nº obligatorio)

5.0 MUESTRA

5.0 Los especímenes de ensayo serán de 150 mm por 300 mm o de 100 mm por 200 mm elaborados de conformidad con la Norma MTC E 723. Ningún terminal de un cilindro se apartara de la perpendicularidad al eje por más que $0,5^\circ$ (3 mm en 300 mm). El diámetro individual de un cilindro no debe diferir de otro por más del 2 %.

Nota 2. Un método de medida de la perpendicularidad de los terminales de los cilindros es colocar un cuadrado de sección recta a cualquier diámetro y medir la salida de la lámina más larga de un elemento de la superficie cilíndrica. Un método alternativo es colocar el terminal del cilindro sobre una superficie plana y soportar el cuadrado sobre esta superficie.

TABLA 1

Requisitos para el uso de los cojines de Polycloropreno (neopreno)

RC Cil MPa	Dureza Shore A	Calificación de ensayo requerido	Máximo re-usos
10 a 40	50	Ninguno	100
17 a 50	60	Ninguno	100
28 a 50	70	Ninguno	100
50 a 80	70	Requerido	50
Mayor que 80	--	No requerido	--

El máximo número de re-usos será menor si el cojín se desgasta, agrieta o fractura. Véase Nota 6

- 5.1 Las depresiones bajo una espátula de borde recto medido con un dispositivo idóneo en cualquier diámetro no excederá en 5 mm. Si los extremos del cilindro no cumplen esta tolerancia, el cilindro no será ensayado a menos que las irregularidades sean corregidas por corte o aserrado.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.0 Las almohadillas de neopreno de embonado serán permitidas a ser usadas sobre uno o ambos extremos del cilindro en lugar de una capa o capas que cumplan la Norma MTC E 703, debiéndose probar que ellos cumplen los requisitos del apartado 4.0.

- 6.1 Examinar los cojines por el excesivo desgaste o deterioro (Nota 6). Reemplazar los cojines fracturados o agrietados que excedan los 10 mm de longitud sin importar la profundidad. Insertar los cojines en los anillos de retención antes que ellos sean colocados sobre el cilindro (Nota 3).

Nota 3. Algunos fabricantes recomiendan el sacar el polvo de los cojines y de los extremos del cilindro con polvo de almidón o tacto de maíz antes de la prueba.

Nota 4. Precauciones: En los cilindros de concreto ensayados con almohadillas de neopreno la ruptura será más violenta que aquellos que no tienen dichas almohadillas. Como medida de precaución la máquina de ensayo de los cilindros deberá ser equipada con una rejilla de protección. En adición, algunos usuarios han reportado daños a las máquinas de prueba debido al lanzamiento de la energía almacenada en los cojines elásticos.

- 6.2 Centrar la almohadilla o almohadillas sobre los cilindros y colocar el cilindro sobre el bloque de carga inferior de la máquina de ensayo. Simultáneamente alinear los ejes del cilindro con el centro de gravedad de la máquina de ensayo y centrarlo con el bloque superior que se asienta en una esfera de metal a fin de tener una rotación libre para alcanzar un asentamiento uniforme manualmente. Luego de la aplicación de carga, pero antes de alcanzar el 10 % de la resistencia anticipada, controlar que el eje del cilindro este vertical con una tolerancia de 3,2 mm en 300 mm y que los extremos del cilindro estén centrados con los círculos de retención. Si el alineamiento indicado no cumple con este requisito, detener la carga y chequear el cumplimiento indicado en 7.1, y proceder al re-centrado del espécimen. Aplicar nuevamente la carga y controlar el centrado y alineamiento de la probeta. Es permisible hacer una pausa para controlar el alineamiento del cilindro.
- 6.3 Completar la aplicación de carga, rotura, cálculos y reporte de resultados de conformidad con la Norma MTC E 704.

Nota 5. Debido a la violenta reacción de la energía almacenada en los cojines, la forma de la fractura de especímenes raramente exhibirá un tipo cónico que es el de los cilindros refrentados y

los esquemas de tipos de fractura de la Norma MTC E 704 no están descritos para este sistema. Ocasionalmente, los cilindros refrentados con almohadillas de neopreno pueden desarrollar roturas iniciales, pero continuar resistiendo al incremento de cargas. Por esta razón los cilindros deben ser ensayados hasta la rotura total.

- 6.4 Calificación de los sistemas de refrentado por sistema de almohadillas o cojines y verificación del re-uso de cojines.
- 6.4.1 En la Tabla 1 se especifica la condición en la cual almohadillas de polycloropreno (Neopreno) deben ser calificadas bajo esta sección dependiendo de la resistencia del concreto y de la dureza Shore A del cojín. Las almohadillas hechas de otro material no elástico deben ser calificadas usando el procedimiento de esta sección.
- 6.4.2 Cuando el ensayo de calificación es requerido deberá ser realizado por el cliente y el usuario de las almohadillas de neopreno. El usuario deberá portar una copia del reporte del ensayo de calificación actualizado para demostrar el cumplimiento con este modo operativo véase A1.1.
- 6.4.3 La Resistencia a la compresión de los cilindros ensayados con almohadillas de neopreno serán comparadas con aquellos cilindros ensayados con terminales lisos o refrentados para cumplir los requisitos de las Normas MTC E 704 y MTC E 703.
- 6.4.4 Para ser aceptables los ensayos deberán demostrar que con un 95 % de nivel de confianza ($\alpha = 0,05$), la resistencia promedio obtenida usando el sistema de almohadillas de neopreno no es menor que el 98 % del promedio de resistencia de los cilindros similares refrentados o alisados de conformidad con 6.5.3.
- 6.4.4.1 Cuando sea requerido, el ensayo de calificación será realizado antes de usar el sistema de almohadillas de neopreno en ambos niveles de Resistencia anticipada (superior e inferior) a fin de establecer un rango aceptable de resistencias del cilindro para uso inicial de una almohadilla o cojín a ambos niveles de Resistencia anticipada (superior e inferior) a fin de establecer un rango aceptable de Resistencia del cilindro para su uso. En la práctica los cilindros individuales no tendrán resistencias mayores que un 10 % que el nivel superior, ni menores que el 10 % de las resistencias más bajas calificadas o especificadas en la Tabla 1 Los ensayos de calificación serán repetidos siempre que haya un cambio en el diseño o dimensiones de los círculos de retención o cuando haya un cambio en la composición del cojín o su espesor, o cuando cambia la dureza shore A por más de 5 unidades. Los ensayos de calificación iniciales incluirán la verificación después que se especifique el número de re-usos y que el cojín cumple los requisitos indicados en 6.4.
- 6.4.4.2 Cuando los ensayos son realizados para establecer un número permisible de re-usos que excedan la Tabla 1, solo aquellos ensayos o re-usos que están dentro los 14 MPa del nivel de resistencia superior a ser calificado será incluido en el conteo de re-usos. Los laboratorios deberán mantener registrados el número de re-usos del cojín.
- Nota 6.** La vida del cojín dependerá de la dureza y tipo de material de fabricación, la resistencia del concreto, la diferencia entre el diámetro exterior del cilindro y el diámetro inferior del círculo de retención, la aspereza y rugosidad de los extremos del cilindro y otros factores. Basados en informaciones valederas, el escofinado o abrasión del perímetro del cojín es normal, con tal de no reducir el espesor del mismo alrededor del perímetro. Las grietas o fracturas en el cojín son reportadas como material que reduce las resistencias de los cilindros. Reemplazar los cojines con fracturas mayores de 3/8 de pulg en longitud sin importar la profundidad (Véase 6.2).
- 6.4.5 Preparación de especímenes para calificación y ensayos de re-usos del cojín
- 6.4.5.1 Se harán pares de cilindros individuales de una muestra de concreto y curados igual o cercanamente como sea posible: Un cilindro del par será ensayado luego del pulido refrentado de conformidad con lo indicado en 6.5.3 y el otro será ensayado usando el sistema de almohadillas o cojines de neopreno.
- 6.4.5.2 Un mínimo de 10 pares de cilindros serán de ambos niveles de resistencia superior e inferior deseado o anticipado (Nota 7). El nivel de resistencia es el promedio de 20 o más cilindros cuyas

resistencias están en el rango de 7 MPa (Nota 8). Más de un par de cilindros pueden ser hechos de una muestra simple de concreto, pero los cilindros deberán contar con un mínimo de 2 muestras hechas en días diferentes para cada nivel de resistencia del concreto (Nota 9).

Nota 7. Si el refrentado convencional de la Norma MTC E 703 y el refrentado de especímenes por el sistema de almohadillas producen iguales resistencias, el número de pares de cilindros que serán necesarios para demostrar el cumplimiento será de 9 a más de 60 dependiendo de la variabilidad de los resultados de los ensayos. Si los 2 sistemas de refrentado producen iguales resistencias, cerca del 10 % de laboratorios requerirán más de 60 ensayos y 10 % de laboratorios requerirán 9 ensayos para demostrar el cumplimiento estadístico.

Nota 8. Notar que el rango de resistencias permitido en los ensayos de calificación para definir el nivel de resistencia es 7 MPa, pero que en el conteo del número de re-usos solo cilindros con un rango de 14 MPa están incluidos en el conteo de re-uso.

Nota 9. Los cilindros para el ensayo de calificación pueden ser de pares de cilindros ensayados en laboratorio como operaciones de rutina y en muchas instancias, no se requerirán de tandas especiales para los ensayos de calificación.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.0 CALCULOS

7.0.1 Para cada nivel de resistencia, calcular la diferencia en resistencias en cada par de cilindros, y evaluar el promedio de resistencias de los cilindros con capas de referencia y el promedio de resistencias de los cilindros con almohadillas de neopreno, como sigue:

$$d_i = x_{pi} - x_{si}$$

$$x_s = (x_{s1} + x_{s2} + x_{s3} + \dots + x_{sn}) / n$$

$$x_p = (x_{p1} + x_{p2} + x_{p3} + \dots + x_{pn}) / n$$

Donde:

D_i Diferencias de un par de cilindros calculado como la Resistencia de cilindros con almohadillas de neopreno menos la Resistencia de cilindros preparados de conformidad con la norma MTC E 703 (puede ser positivo o negativo),

X_p Resistencia del cilindro usando refrentado con almohadillas,

x_{si} Resistencia de cilindros usando la NTP 339.037,

x_s Resistencia promedio de los cilindros capeados con la NTP 339.037 para un nivel de resistencia,

x_p Resistencia promedio de cilindros capeados con embonado para un nivel de resistencia.

7.0.2 Computarizar la diferencia promedio, d , y la desviación estándar de la diferencia, sd , para cada nivel de resistencia, como sigue:

$$d = (d_1 + d_2 + \dots + d_n) / n$$

$$sd = \left[\sum (d_i - d)^2 / (n - 1) \right]^{0,5}$$

7.0.3 Para cumplir con esta práctica la siguiente relación deberá ser satisfactoria:

$$x_p \Rightarrow 0,98x_s + (tsd) / (n)^{0,5}$$

Dónde:

T Es el valor de "t de Student" para $(n-1)$ pares y $\alpha=0,05$ de la tabla siguiente:



(n-1)	t($\alpha=0,05$) ^A
9	1,833
14	1,761
19	1,729
100	1,662

^A Usar interpolación lineal para otros valores de (n-1) o referirse a tablas estadísticas

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 No existe información al respecto para este método.

**ANEXO A
(INFORMATIVO)****A1 REPORTE DE MUESTRAS Y CALCULOS****A1.1 Reporte de muestra**

A1.1.1 Material del cojín – Lote 3742, Shore A=52, espesor 0,51 pulg.

A1.1.2 Circulo de retención – Juego A fabricación 1-87

A1.1.3 Cilindros de Concreto: Trabajo 1207, Nos. 1-10, Enero 02-05, 1987.

A1.1.4 Mortero de azufre – Lote 3420. Resistencia a la compresión 48,2 MPa.

A1.1.5 Todos los ensayos a la edad de 28 d.

A1.2 Resumen

$$x_s = 25,35 \text{ MPa}$$

$$x_p = 25,26 \text{ MPa}$$

$$s_d = 0,328 \text{ MPa}$$

$$n = 10$$

$$t = 1,833$$

A1.3 Cálculos – Usando la ecuación en 7.1.3.

$$3663 > / = (98)(3679) + (1,833)(46,06) / (10)^{0,5}$$

$$3663 > 3632$$

Métrico:

$$25,26 > / = (0,98)(25,35) + (1,833)(0,328) / (10)^{0,5}$$

$$25,26 > 25,03 \text{ (Sistema calificado)}$$

Pares de cilindros	Cojín de neopreno	Capa de azufre	Diferencia, d
	Mpa	Mpa	Mpa
1	24,9	24,7	0,20
2	24,9	25,4	-0,50
3	24,7	24,7	0,00
4	24,6	25,0	0,40
5	25,0	25,1	-0,10
6	25,2	25,8	-0,60
7	25,9	25,6	0,30
8	25,7	25,6	0,10
9	25,5	25,7	-0,20
10	26,2	25,9	0,30
Promedio x_p	25,26 x_s	25,35 d	-0,90
Desv. Std.		S_d	0,328

MTC E 727

METODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA ELABORACION, CURADO ACELERADO Y ENSAYO EN COMPRESION DE ESPECÍMENES DE CONCRETO

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer 4 procedimientos para elaborar, curar y ensayar especímenes de concreto almacenados bajo condiciones que intentan acelerar el desarrollo de sus resistencias. Los procedimientos son: A - Método del agua caliente, B - Método del agua hervida, C - Método de curado autógeno, D - Método de alta presión y temperatura.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 1.2 El proceso de curado acelerado provee a edades tempranas, una indicación del potencial de resistencia de una mezcla de concreto específica. Este procedimiento también provee información de la variabilidad del proceso de producción para usos de control de calidad.
- 1.3 Las resistencias tempranas aceleradas obtenidas de cualquiera de los procedimientos de este método de ensayo pueden ser usadas para evaluar las resistencias del concreto en el mismo tiempo convencional de resistencia a los 28 días como eran usados en el pasado, con cambios sustanciales en los valores de resistencia esperados. Debido a que la práctica del uso de valores de resistencia obtenidos de cilindros con curado estándar a los 28 días es de prolongada espera, los resultados de ensayo de resistencia acelerados son a menudo usados para estimar resistencias a edades mayores bajo curado estándar. Tales estimaciones serán limitadas a concretos que usan los mismos materiales y proporciones de mezcla como aquellos usados para establecer las correlaciones. El anexo A2 provee un proceso para estimar con un intervalo de confianza del 90 % el promedio de resistencias a edades mayores basadas en resultados de ensayos de resistencia acelerados.
- 1.4 La correlación entre la resistencia acelerada y la resistencia alcanzada a la misma edad prolongada por el uso de un método de curado convencional dependen de los materiales que componen el concreto, las proporciones de mezcla y del procedimiento de ensayo acelerado especificado.
- 1.5 El usuario podrá cambiar el procedimiento a usar sobre las bases de su experiencia y condición local. Estos procesos, en general, serán prácticos cuando un laboratorio en obra esté disponible para contener los recipientes de curado y el equipo de prueba para medir las resistencias a la compresión dentro los límites de tiempo especificados.
- 1.6 Este modo operativo no tiene el propósito de guiar acerca de aspectos relacionado a seguridad, si algo es asociado con este uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer su propia seguridad y practica de sanidad a fin de determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso. Véase los apartados 4.2, 4.3 y 6.3 para advertencias y precauciones específicas.

2.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 2.1 ASTM C 684:1999: Standard test method for making, accelerated curing, and testing concrete compression test specimens.
- 2.2 NTP 339.213:2007: HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para elaboración, curado acelerado y ensayo en compresión de especímenes de concreto.

3.0 EQUIPOS Y MATERIALES

3.1 EQUIPOS

- 3.1.1 El equipamiento y pequeños accesorios para la elaboración de especímenes, medición de asentamiento, y determinación del contenido de aire serán de conformidad con la Norma MTC E 723
- 3.1.2 Moldes
- 3.1.2.1 Los moldes cilíndricos para los especímenes de ensayo usados en los procedimientos A, B y C de conformidad con la NTP 339.209. Los moldes de papel serán excluidos. Cuando los especímenes

van a ser ensayados sin el refrentado, use solo los moldes re-usables con maquinado de los extremos de las bases que puedan asegurar la conexión de ambas bases superior e inferior del molde. Las placas extremas producirán especímenes con superficies de rotura que son planas menores que 0,05 mm y cuyos extremos no se separaran de la perpendicularidad al eje del cilindro por más de 0,5° (aproximadamente equivalente a 10 mm/m). Cuando este ensamblado, el molde será suficientemente rígido para permitir que el molde lleno puede ser cambiado de una posición vertical de llenado a una posición de curado horizontal sin pérdida de mortero o deformación del espécimen de ensayo.

3.1.2.2 Los moldes cilíndricos para el procedimiento D serán de conformidad a lo siguiente:

- a) Fabricación de acero inoxidable.
- b) Equipado con un perno de metal removible tanto en la base superior como en la inferior y un sellador de círculo.
- c) Equipado con elemento de calor con capacidad de calentar el concreto y el molde hasta 150 °C \pm 3 °C dentro los 30 min \pm 5 min, y ser capaz de mantener esta temperatura en todo el tiempo que se requiere para el proceso de ensayo.
- d) Equipado con accesorios para medir la temperatura dentro de cada molde para asegurar que la temperatura del concreto satisface la temperatura requerida indicada en la presente Norma.
- e) Equipado con la compañía de un componente de carga capaz de mantener una presión de 10,3 MPa sobre el concreto durante el periodo de curado.

3.1.3 Aparatos de curado

3.1.3.1 Tanque de curado acelerado para los procedimientos A y B.

- a) El tanque es de cualquier configuración accesible al número de cilindros a ser ensayados. Colocar los cilindros en alguna configuración que provea un espaciamiento de al menos 50 mm entre los lados de cada cilindro y el lado del tanque, y al menos 100 mm entre cilindros adyacentes. Mantener el nivel del agua al menos 100 mm encima del extremo superior de los cilindros.

Nota 1. La provisión de un rebose flujo es conveniente para el control de la máxima altura de agua. Un número de diferentes tanques han sido usados satisfactoriamente. La línea de guía está indicada en el Anexo A1.

TABLA 1
Características de los procesos de curado acelerado

Proceso	Moldes	Fuentes de aceleración	Temp. De curado acelerado ° C	Edad de inicio de curado	Duración curado	Edad Ensayo
A	Reusable o uso simple	Calor de hidratación	35	Inmediatamente después de vaciado	23,5 h ± 30 min	24 h ± 15 min
B	Reusable o uso simple	Agua hirviendo	Hirviendo	23 h ± 30 min después vaciado	3,5 h ± 5 min	28,5 h ± 15 min
C	Simple uso	Calor de hidratación	T inicial + Calor de hidratación	Inmediatamente después vaciado	48 h ± 15 min	49 h ± 15 min
D	Reusable	Calor externo y presión	150	Inmediatamente después vaciado	5 h ± 5 min	5,25 h ± 5 min*

* Agregar 30 min si se utiliza capa compuesta de azufre

- b) Equipar el tanque con elementos de control eficaces para: (1) Probar la temperatura del agua especificada, (2) Mantener la temperatura del agua dentro los ± 3 °C del valor especificado en cualquier punto en el agua, y (3) limitando la temperatura de rociado, después de la inmersión de especímenes a menos de 3 °C y retorno de la temperatura del agua a lo especificado dentro los 15 min. Los termostatos u otros accesorios de control de temperatura serán los requeridos, independientemente al termostato, chequear la temperatura del agua.

Nota 2. Dependiendo de los factores de diseño del tanque, el aislamiento o agitación mecánica, o ambos, deberá ser necesario cumplir los requisitos de temperatura especificados. El calor eléctrico por inmersión es controlado por un termostato es una forma conveniente para el calentamiento de elementos. Para un proceso particular, el tamaño del elemento de calor requerido dependerá del tamaño del tanque y numero de especímenes a ser curados al mismo tiempo.

- c) La placa de soporte de los especímenes es perforada para permitir la circulación del agua.
 d) Una tapa de cierre hermética es requerida para reducir la evaporación para el procedimiento B pero es opcional para el procedimiento A.

3.1.3.2 Contenedor de curado para el procedimiento C.

- a) El contenedor consistirá de aislamiento térmico que cumplan los requisitos de retención de calor indicados en el apartado 6.2.2.1 y rodeando cercanamente al espécimen de concreto.
 b) El contenedor es capaz de ser abierto para permitir la inserción y retiro del espécimen, tiene una cubierta externa y una línea de trazo interna para proteger el aislamiento contra daño mecánico.

- c) El contenedor tiene un termómetro que registra el máximo y mínimo y que no es aislado del espécimen de concreto (Véase Nota 10).
- d) El contenedor tiene una tapa u otro medio para probar la seguridad de cierre durante el periodo de curado especificado. La tapa incluye un sello de calor que satisface los requisitos de 6.2.2.2.
- e) El contenedor es capaz de calentar uno o dos especímenes.

Nota 3. Ejemplos de contenedores idóneos están incluidos en el Anexo A1. Cualquier configuración es aceptable mientras esta cumpla los requisitos de desempeño de 6.2.2.

3.1.3.3 Aparatos de curado para el procedimiento D.

- a) El aparato de curado consistirá de un sistema de cargas a ser aplicadas a una presión especificada a los especímenes de concreto y moldes especiales para mantener los especímenes de concreto a la temperatura especificada durante el periodo de curado. El aparato de curado puede ser de cualquier configuración idónea para el número de especímenes cilíndricos a ser ensayados. El Anexo A1 describe un aparato diseñado acertadamente para el curado de tres especímenes.

3.1.4 Aparatos de refrentado

- 3.1.4.1 Si se requiere el refrentado de especímenes de ensayo, use los aparatos especificados en las NTP 339.037 o NTP 339.216.

3.2 MATERIALES

- 3.2.1 Componentes del refrentado o capas de embonado para ser usados cuando los extremos o terminales de los especímenes no son apropiados para su ensayo.

3.3 PELIGROS

- 3.3.1 Observar los requerimientos de seguridad y salud en el trabajo de la DEE, así como los estándares de laboratorio para tomar las precauciones cuando se hace el muestreo, moldeo, curado y ensayo de concreto.
- 3.3.2 Observar las medidas de seguridad adicionales indicadas cuando se usa el procedimiento B, por el uso de agua hirviendo como medio de curado
- 3.3.3 Observar las medidas de seguridad adicionales indicadas cuando se usa el procedimiento D, para evitar lesiones por el uso de alta presión y temperatura en el curado.

4.0 MUESTRA

- 4.1 Determinar el número de ensayos del (los) proceso(s) o lote(s) requerido(s). Usar un plan sistemático o al azar para proveer el número de ensayos necesarios para caracterizar la resistencia del concreto usado en la construcción.
- 4.2 Si el (los) o proceso(s) es (son) dividido(s) en sub-lotes, localizar las muestras usando un proceso de selección al azar. Si las circunstancias determinan una elección en muestra no sub-dividida, usar un procedimiento al azar.

Nota 4. Un procedimiento de muestreo al azar de una subdivisión puede ser implementado por la división de cada lote de concreto en un número de igual tamaño de sub-lotes, y el seleccionado al azar de una muestra de cada sub-lote. El número de sub-lotes es igual al número de muestras que fueron seleccionadas a ser ensayadas del lote. Por ejemplo, si los requerimientos de trabajo definen que por cada 500 m³ de concreto sea tratado como un lote y que cinco muestras sean obtenidas de cada lote para determinar resistencias a la compresión, dividir el lote en 5 sub-lotes de igual tamaño de 100 m³ cada uno. Obtener una muestra al azar de cada sub-lote. Los resultados de las cinco muestras obtenidas de esta manera proveen una base de estimación de la resistencia a la compresión del lote de 500 m³. Esto es lo más próximo para asegurar que las muestras obtenidas incluyen el rango entero del proceso de producción del concreto. Si ocurre un desigual tamaño de sub-lotes debido al proceso de construcción, el pesaje de los resultados de ensayo puede ser apropiado para mantener la imparcialidad y defensa del proceso de muestreo.

Nota 5. La ASTM D 3665 contiene una tabla de números al azar, incluyendo instrucciones para su uso. Las ASTM E 105, ASTM E 122 y ASTM E 141 contienen información adicional concerniente a las prácticas de muestreo.

- 4.3 Muestrear la mezcla de concreto fresco de conformidad con la Norma MTC E 701. Registrar en el cuadro de registros la ubicación a la que la tanda muestreada es usada en la estructura.

5.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Preparación de Aparatos

6.1.1 Métodos A y B

- 6.1.1.1 Activar los elementos de control del ambiente al menos 1 h antes del ensayo programado para permitir que la temperatura del agua y del equipo se estabilice.

6.1.2 Método C

- 6.1.2.1 Conducir el ensayo de prueba especificado en el apartado 6.2 antes que los ensayos programados.

6.1.3 Método D

- 6.1.3.1 Limpiar y chequear los moldes y los extremos de las agujas antes de iniciar un ensayo. Estandarizar el sistema de cargas de conformidad con el apartado 6.2 antes que los ensayos programados.

6.2 Estandarización

- 6.2.1 Para todos los métodos, verificar la calibración de las mediciones de temperatura, control y registrar los componentes sobre una base periódica de frecuencia. Calibrar cada componente de conformidad con las recomendaciones del fabricante o práctica estándar del laboratorio.

6.2.2 Requisitos del método C

- 6.2.2.1 Retención del calor: Colocar un contenedor cilíndrico a prueba de agua con dimensiones internas de 300 mm de altura por 150 mm de diámetro dentro del contenedor de curado autógeno. Llenar el contenedor a 6 mm del borde con agua a una temperatura de 82 °C. Insertar una termocupla al interior del agua y medir la temperatura inicial del agua con un dispositivo de lectura exterior. Entonces sellar el contenedor de agua con una capa o banda plástica y cerrar el contenedor autógeno. Cuando el contenedor de curado autógeno es almacenado aun aire a 21 °C ± 1 °C, los requisitos de la temperatura del agua serán como sigue:

Tiempo transcurrido, h	°C
12	67 ± 3
24	58 ± 3
48	45 ± 4
72	38 ± 4

- 6.2.2.2 Prueba de tirantez para el sellado caliente de la junta: Cuando el contenedor de curado autógeno es sumergido en el agua a una altura de 150 mm sobre la junta entre las partes separadas, no habrá fuga de aire en el sellado de calor dentro de un periodo de 5 min.

- 6.2.2.3 Estabilidad del contenedor: El contenedor, o cualquiera de sus partes, no presentara fragilidad, fractura o distorsión cuando sea mantenido en un ambiente a temperatura de -30 °C por 72 h, no se ablandara ni distorsionara cuando sea mantenido en un ambiente a temperatura de 60 °C por 72 h. El tipo de sellado caliente de la junta recuperara de inmediato su espesor original completamente después de la compresión del 50 % bajo las condiciones de temperatura antes mencionadas.

6.2.3 Método D

6.2.3.1 Verificar la calibración los componentes de carga sobre una base periódica. Si el componente de carga es también usado para el ensayo de compresión de especímenes, seguir los requisitos de la Norma MTC E 704.

6.3 Acondicionamiento

6.3.1 El relativo periodo corto de curado usado para los especímenes de concreto en este método de ensayo requieren que la atención particular está dirigida al acondicionamiento del equipo y los especímenes de ensayo. Adherir cuidadosamente a lo especificado los requisitos de tiempo y temperatura en cada método.

6.4 Procedimiento Operativo

6.4.1 Procedimiento A - Método del agua caliente

6.4.1.1 Preparación de especímenes

a) Moldear los especímenes de ensayo de conformidad con los requisitos de las Norma MTC E 702, siempre que sea aplicable.

6.4.1.2 Curado

a) Si es necesario, cubrir los extremos superiores de los especímenes con una placa rígida para prevenir pérdida de mortero en el baño de agua.

b) Inmediatamente después del moldeo, colocar los especímenes en el tanque de curado (Nota 6). Mantener el agua al tiempo de inmersión y a través del periodo de curado a $35\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$.

Nota 6. Si los especímenes son llenados en moldes que cumplen los requisitos de 4.1.2.2.a) pueden ser almacenados horizontalmente, si no ellos serán almacenados en el tanque de curado con el eje longitudinal vertical.

c) Registrar la temperatura del agua de curado continua o periódicamente a través del periodo de curado.

d) Después del curado de $23,5\text{ h} \pm 30\text{ min}$, retirar los especímenes del tanque y retirar los moldes.

6.4.1.3 Refrentado y ensayo

a) Refrentar los extremos de los especímenes que no son planos dentro de 0,05 mm o aquellos que se apartan de la perpendicularidad del eje central por más de $0,5^\circ$ (aproximadamente equivalente a 100 mm/m) como lo especificado en la NTP 339.037 o NTP 339.216 (Véase Nota 7).

Nota 7. El pulido de cilindros para alcanzar la plenitud requerida es permitido previendo que los especímenes serán ensayados dentro los límites de tiempo especificados.

b) Para capas de embonado, usar un material de refrentado que desarrolle, a una edad de 30 mm cuando se ensayen de conformidad con las provisiones de la NTP 339.037, una resistencia igual o mayor que la resistencia de los especímenes a ser ensayados.

c) Si las capas de embonado son usadas, no ensayar especímenes antes de los 30 min después del refrentado.

6.4.1.4 Ensayar los especímenes para resistencia de conformidad con la Norma MTC E 704 a la edad de $24\text{ h} \pm 15\text{ min}$.

6.4.2 Procedimiento B - Método del agua hirviendo

6.4.2.1 Preparación de especímenes

a) Preparar los especímenes de conformidad con 6.4.1.1.

6.4.2.2 Curado inicial

- a) Cubrir los especímenes para prevenir pérdidas de humedad y almacenarlos de forma tal que no sean disturbados. Mantener el área de almacenaje a la temperatura de $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cumplir los requisitos de la Norma MTC E 723 en la protección y almacenaje de especímenes de ensayo.

Nota 8. Es necesario durante el periodo inicial poner una estricta atención en la protección y almacenaje de especímenes por los resultados significativos debido al corto periodo total de curado.

6.4.2.3 Curado acelerado

- a) A las $23\text{ h} \pm 15\text{ min}$ después del moldeo, colocar los moldes cubiertos en el tanque de agua (Nota 9). Mantener la temperatura del agua hirviendo al tiempo de inmersión y a través del periodo de curado (Nota 10).

Nota 9. Precauciones: Adicionalmente a otras precauciones, contar con una apropiada protección de ojos, cara, manos y brazos para prevenir accidentes que pueden producirse por abrir el contenedor o por inmersión del cilindro en el agua hirviendo. Se sugiere las pinzas de elevación para el colocado de moldes lentamente debajo del agua hirviendo sin salpicaduras.

Nota 10. En espacios confinados, la temperatura del agua puede ser guardada apenas debajo del punto en que hierve para evitar la evaporación excesiva. La temperatura a la que el agua hierve varía por las diferencias en elevación sobre el nivel del mar. Las diferencias en resistencia causadas por las diferencias en temperaturas no son consideradas significativas, pero para comparación de resultados entre aéreas afectadas se deberá apoyar por correlación apropiadas e interpretación con el conocimiento de las variaciones de temperatura.

- b) Registrar la temperatura del agua de curado continua o periódicamente a través del periodo de curado.
- c) Después del curado por $3,5\text{ h} \pm 5\text{ min}$, retirar los especímenes del agua hervida, retirar los moldes y dejar enfriar los especímenes a la temperatura del cuarto por al menos 1 h antes del capeo.

6.4.2.4 Refrentado y ensayo

- a) Refrentar y ensayar los especímenes de conformidad con 6.4.1.3, excepto que la edad al tiempo de ensayo es de $28,5 \pm 15\text{ min}$.

6.4.3 Procedimiento C – Método autógeno

6.4.3.1 Preparación de especímenes

- a) Prepara los especímenes de conformidad con 6.4.1.1.

Nota 11. Los moldes de metal re-usables con placas terminales y anclajes pueden no ser prácticos para este procedimiento (Procedimiento C).

6.4.3.2 Curado

- a) Inmediatamente después del moldeo, cubrir el molde con una placa de metal o una capa impermeable de ajuste y colocarlo en un lugar en el que firmemente encaje un bolso de plástico resistente del que la mayor cantidad de aire encerrado sea expelido antes de atarlo al uso del cuello (Alternativamente un plástico de humedad apretado puede ser utilizado). Usar un bolso de plástico con fuerza suficiente para resistir pinchazos y de servir como accesorio para la colocación o retiro de especímenes del envase autógeno.
- b) Activar el termómetro de máximas-mínimas, y después que el espécimen es insertado en el contenedor, asegurar la tapa del mismo.
- c) Registrar claramente el tiempo de moldeo con aproximación de 15 min y la temperatura del concreto fresco moldeado sobre el lado exterior del contenedor de curado.

- d) Almacenar el contenedor del curado por al menos 12 h en un lugar no sujeto a disturbios o luz solar directa, y preferiblemente a una temperatura de $21\text{ °C} \pm 6\text{ °C}$.
- e) A la edad de $48\text{ h} \pm 15\text{ min}$ después que el espécimen fue moldeado, retirar el espécimen del contenedor y retirar el molde. Permitir estar vertical a temperatura ambiente por 30 min.
- f) Registrar las temperaturas máximas indicadas por el contenedor sobre el termómetro.

Nota 12. La comparación de las temperaturas máximas y mínimas con la temperatura registrada del concreto fresco proveerá un indicador de un anormal o curado interrumpido que pueden causar resultados de resistencias altas o bajas.

6.4.3.3 Refrentado y ensayo

- a) Refrentar y ensayar los especímenes de conformidad con 6.4.1.3, excepto que la edad al tiempo de ensayo será de $49\text{ h} \pm 15\text{ min}$.

Nota 13. EL Refrentado y ensayo pueden ser ejecutados a una edad diferente de la especificada en 6.4.3.3. Las agencias que usan el procedimiento tienen por conveniencia, establecer las relaciones entre resultados de ensayos a 24 h, 72 h y 96 h con aquellos obtenidos por curado húmedo estándar. Sin embargo, a las 24 h la relación es menos satisfactoria que la obtenida por curado acelerado autógeno curado por 48 h, 72 h y 96 h, Cuando el periodo de curado es diferente a lo especificado en 6.4.3.3, la edad de ensayo será el periodo de curado más 1 h. La tolerancia de $\pm 15\text{ min}$ no será aplicada.

6.4.4 Procedimiento D – Método de alta precisión y temperatura

6.4.4.1 Preparación de especímenes de ensayo.

- a) Para los aparatos de curado descritos en el Anexo A1, los moldes cilíndricos son de 75 mm x 150 mm. Sellar los moldes con sus bases empernadas antes del llenado con concreto.
- b) El procedimiento D es limitado al concreto conteniendo un agregado de tamaño máximo 25 mm. En concreto tamizado en húmedo conteniendo un agregado mayor que 25 mm el ensayo se efectuara en conformidad con la Norma MTC E 701.
- c) Colocar el concreto en los moldes en 2 capas iguales y compactar cada capa 10 veces. Alisar la parte superior del concreto con un accesorio especial (véase Figura 3) a fin de determinar el nivel del concreto requerido para alcanzar el tope de la aguja de metal que transmitirá la presión diseñada de $10,3 \pm 0,2\text{ MPa}$ al concreto en el molde.

6.4.4.2 Curado

- a) Inmediatamente después del moldeo, cubrir cada molde con una tapa de metal para sellar el lado interno del concreto en el molde el proceso de curado.
- b) Asentar los moldes verticalmente y colocarlos en el aparato de carga descrito en 4.1.3.3.a). Aplicar y mantener una presión de $10,3\text{ MPa} \pm 0,2\text{ MPa}$ sobre el concreto en los moldes.
- c) Activar el elemento de calentamiento especificado en 4.1.2.2 para elevar la temperatura del espécimen a $150\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ en $30\text{ min} \pm 5\text{ min}$. El periodo de curado empieza cuando el elemento de calor es activado.
- d) El periodo final de curado de $5\text{ h} \pm 15\text{ min}$. Durante las 3 h iniciales, mantener el espécimen a la temperatura de $150\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$. Luego de 3 h, apagar el elemento de calor y mantener la presión a $10,3\text{ MPa} \pm 0,2\text{ MPa}$ por el remanente del periodo de curado.
- e) Al final del periodo de curado, liberar la presión, retirar los moldes del aparato de carga y retirar los especímenes de los moldes.

Nota 14. Precaución: El uso de alta presión y temperatura impone la necesidad de usar medidas para prevenir el ampollado o quemado de ojos como resultado de la fuga de vapor al retirar la tapa de los moldes. Adicionalmente a otras precauciones, deberán hacerse uso de protectores de manos,

ojos, cara, mientras se retiran los especímenes de los moldes. Se sugiere que las tapas sean removidas en una dirección lejana al operador.

Nota 15. Una línea de plástico de polipropileno puede ser usada al interior de los moldes para facilitar la extracción del concreto curado de los mismos.

6.4.4.3 Refrentado y ensayo

- a) Normalmente los especímenes no necesitan ser refrentados para el ensayo desde que las tapas de metal producen una superficie plana en los extremos. Si estos terminales no cumplen los requisitos de 6.4.1.3.a), refrentar los especímenes de conformidad con 6.4.1.3.
- b) Ensayar los especímenes por resistencia de conformidad con la Norma MTC E 704 dentro los 15 min luego de retirado los moldes. Cuando el capeo es requerido, ensayar los especímenes 30 min después del refrentado.

NOTA 16. Los aparatos de carga usados para el periodo de curado pueden también ser diseñados en función a una máquina de ensayo en compresión sustituta (véase Anexo A1).

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Interpretación de resultados

7.1.1.1 Los requerimientos de resistencia en los códigos y especificaciones existentes no están basados sobre curado acelerado; por lo que, la aplicación de resultados de este método de ensayo en la predicción del cumplimiento de especificaciones de resistencia a edades mayores será hecha con mucha cautela. Como se indica en el apartado 8.0, la variabilidad del método de ensayo es la misma o menor que la del método tradicional. Entonces, los resultados pueden ser usados en la rápida evaluación de la variabilidad para el proceso de control y señalar la necesidad de hacer los ajustes indicados. Por otra parte, la magnitud de los valores de resistencia obtenidos son influenciados por la combinación específica de los materiales, por lo que el uso de los resultados por ensayos convencionales a cualquier edad arbitraria o los de este método de ensayo deberán ser sustentadas por correlaciones o por experiencias desarrolladas por instituciones dedicadas a desarrollar especificaciones para materiales.

7.1.1.2 Cuando este método de ensayo sea usado como un medio para estimar la resistencia con curado estándar a una edad especificada, los métodos estadísticos serán usados para explicar las incertidumbres variadas que se asocian para hacer tales estimaciones. El Anexo A2 provee un procedimiento estadístico a ser usado y como los resultados van a ser interpretados. Si este método de ensayo es usado para aceptación de ensayos, el criterio de aceptación estará indicado en el documento del proyecto.

Nota 17. Un criterio recomendado para aceptación del concreto sobre las bases de ensayos de resistencias aceleradas es que el límite menor del 90 % del intervalo de confianza del promedio de resistencia estimado en la muestra ensayada conformara el criterio de aceptación para cilindros curados a humedad estándar.

7.2 INFORME

Reportar lo siguiente para cada espécimen de ensayo

- 7.2.1 Número de identificación,
- 7.2.2 Diámetro (y longitud, si no es estándar) en milímetros,
- 7.2.3 Área de la sección recta, en milímetros cuadrados,
- 7.2.4 Carga máxima, en Newton,
- 7.2.5 Resistencia a la compresión calculada con aproximación a 0,1 MPa,
- 7.2.6 Tipo de fractura, si este es diferente al cono usual,

- 7.2.7 Defectos en el espécimen o en el capeo (si es usado),
- 7.2.8 Edad de los especímenes,
- 7.2.9 Procedimiento de curado acelerado utilizado
- 7.2.10 Temperatura máxima y mínima con aproximación a 1 °C si el procedimiento C fue usado.
- 7.2.11 Si es aplicable, los métodos de transporte usados para el traslado de especímenes al laboratorio, y
- 7.2.12 Temperatura ambiente del espécimen durante el curado inicial en el procedimiento B o del contenedor durante el almacenaje para el procedimiento C.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

- 8.1.1 La data usada para preparar el siguiente estudio estadístico de precisión fue obtenida usando mediciones en el sistema de lb-pulg.
- 8.1.2 En el mismo laboratorio el coeficiente de variación para especímenes elaborados de la misma tanda ha sido definido como 3,6 % para cilindros de 150 mm x 300 mm, usados en los procedimientos A, B y C; y como 6,7 % para cilindros de 75 mm x 150 mm, usados en el procedimiento D (Nota 18). De ahí que, para cilindros de 150 mm x 300 mm ensayados de conformidad con los procedimientos A, B y C, los resultados individuales de dos ensayos de resistencia apropiadamente conducidos por el mismo laboratorio, hechos de una misma tanda, no diferirán por más de 10,1 % de su promedio. Para cilindros de 75 mm x 150 mm ensayados de conformidad con el procedimiento D, la máxima diferencia aceptable entre tres resultados de ensayos individuales es 22,1 %.
- 8.1.3 En un mismo laboratorio, el coeficiente de variación para los resultados de ensayos elaborados en días diferentes ha sido determinado como 8,7 % para cilindros de 150 mm x 300 mm que son usados en los procedimientos A, B y C; y como 20 % para cilindros de 75 mm x 150 mm usados en el procedimiento D (Nota 19). Un resultado de ensayo es el promedio de tres especímenes para el procedimiento D. De ahí que, resultados de dos ensayos de resistencia apropiadamente conducidos de diferentes tandas de los mismos materiales elaborados en días diferentes no diferirán por más que 24,4 % de su promedio para cilindros de 150 mm x 300 mm y de 56,9 % para cilindros de 75 mm x 150 mm (Nota 19).

Nota 18. Estos números representan el límite 1s% como describe en la NTP-ISO 5725-1.

Nota 19. Estos números representan, respectivamente, los límites el 1s% y d2s% como se describe en la NTP-ISO 5725-1.

ANEXO A1 (INFORMATIVO)

A1. APARATOS DE CURADO

A1.1.1 Tanque de curado similar al mostrado en la figura 1 que ha sido usado satisfactoriamente.

A1.1.2 Tanques de diseño apropiado que aseguran una distribución uniforme de temperatura al interior del tanque sin la necesidad de un agitador mecánico. Localiza el calor de inmersión centralmente en el plano y cerca de la base del tanque cómo es posible. El agua sobre el calor entonces entra en circulación por convección activa.

A1.1.3 Para un tanque que contenga dos o tres especímenes, dos elementos de acople (de 1500 W y 5000 W) han sido hallados idóneos para el uso con el procedimiento B. Mientras el pequeño elemento mantiene la temperatura de curado especificada, el mayor es requerido como un impulsor para restablecer el hervor dentro del tiempo especificado después que los especímenes han sido sumergidos. Cuando el tanque va a ser usado solo con el procedimiento A, el elemento de calentamiento es remplazado por un simple elemento de 300 W que ha sido indicado como accesorio. Con el elemento de 3000 W, el tanque puede ser de mayores dimensiones para almacenar más de dos o tres especímenes cuando se use el procedimiento A.

A1.1.4 El rebose, tapa de cierre hermético y el aislamiento exterior no son esenciales para los tanques usados solo para el procedimiento A.

A1.2 Contenedor de curado autógeno (Procedimiento C)

A1.2.1 Los contenedores satisfactorios son mostrados en la Figura 2.

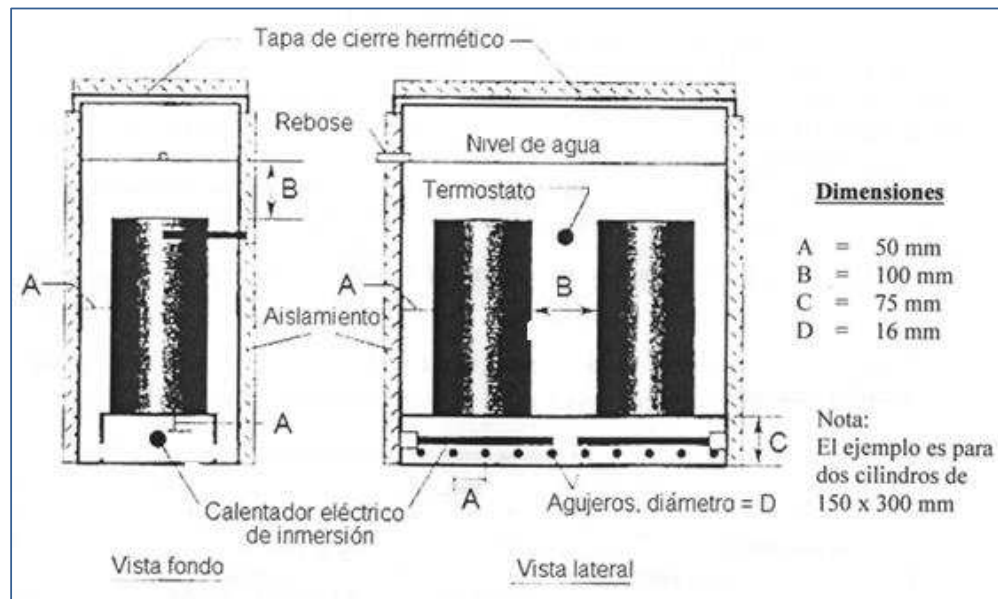


FIGURA 1. Diseño sugerido para tanque de curado acelerado (Procedimiento A o B)

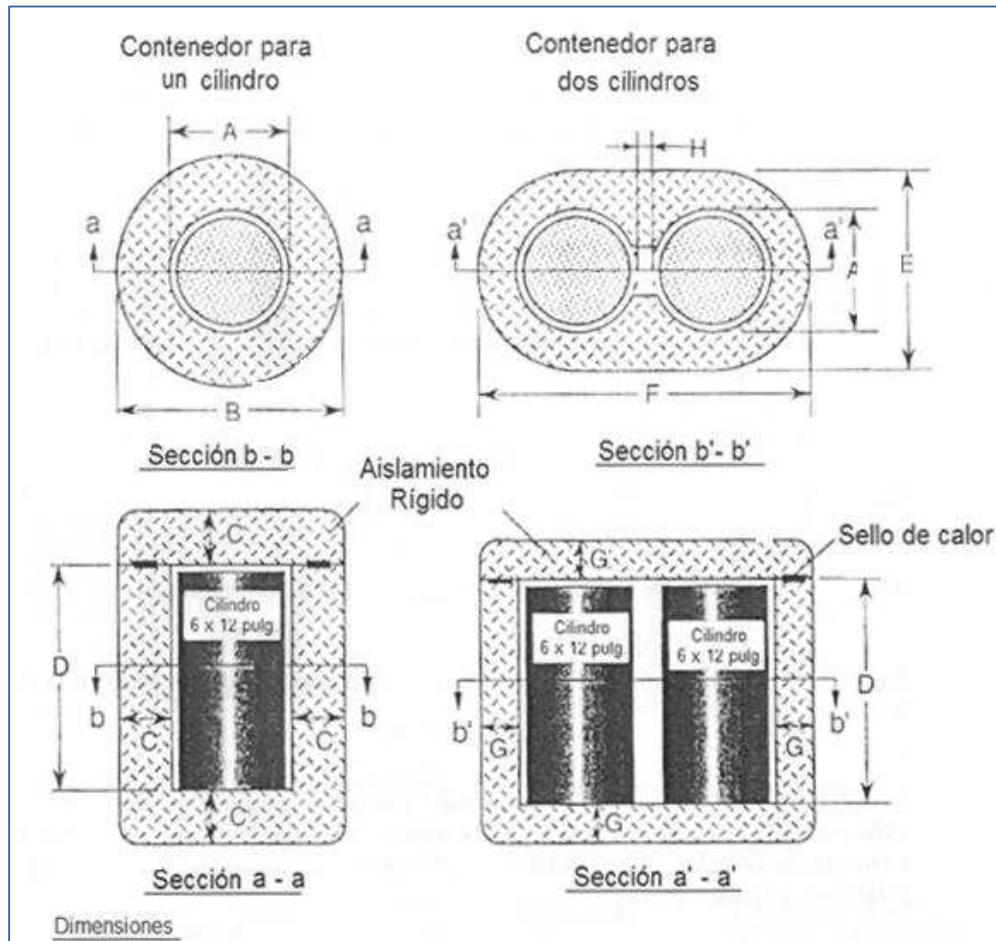


FIGURA 2. Contenedor de curado autógeno para 1 o 2 cilindros (Procedimiento C)

- A1.2.2 El espacio para el termómetro de máximo y mínimo, los medios para abrir el contenedor, para asegurar cuando está cerrado y la elevación no se muestra.
- A1.2.3 Un sello de calor es requerido en la cara de la junta entre las partes separables del contenedor. Esto puede ser un laberinto o un tipo de sello sustituto de espuma de poliuretano flexible (32 kg/m³) manteniendo una compresión al 50 % cuando está cerrado.
- A1.2.4 Una célula de espuma cerrada en lugar de poliuretano teniendo una densidad de entre 32 kg/m³ y 48 kg/m³ y una conductividad térmica igual o menor que 0,02 W/M.k de conformidad con la ASTM C 177 ha sido indicada a ser un material aislante idóneo al espesor especificado para cumplir los requisitos de retención de calor de 6.2.2.
- A1.2.5 El termómetro de máximo y mínimo cubrirá un rango de -10 °C a 65 °C en incrementos de 1 °.
- A1.3 Equipo de alta precisión y temperatura (Procedimiento D)
- A1.3.1 Un aparato satisfactorio para el procedimiento D es mostrado en la Figura 3.
- A1.3.2 Los moldes apropiadamente diseñados aseguran una distribución uniforme de temperatura a través del concreto. Los alambres del calentador están normalmente cerrados y espaciados juntos cerca de los bordes de los moldes y más próximos a su región central.
- A1.3.3 Para un molde cilíndrico de 75 mm x 150 mm, un elemento de calentamiento de 100 W aumentará y mantendrá la temperatura especificada durante el periodo de curado. El aislamiento regular de la fibra de vidrio con grado R20 es suficiente para el elemento de calentamiento sugerido y requerido en el ciclo de curado. Cada molde tiene su propio circuito eléctrico de manera que si uno falla la función, los otros dos remanentes curaran los especímenes de manera satisfactoria. El

sistema eléctrico tendrá indicadores actualizados, un cronometro y zumbador a fin de hacer el proceso de curado automático y de simple monitoreo.

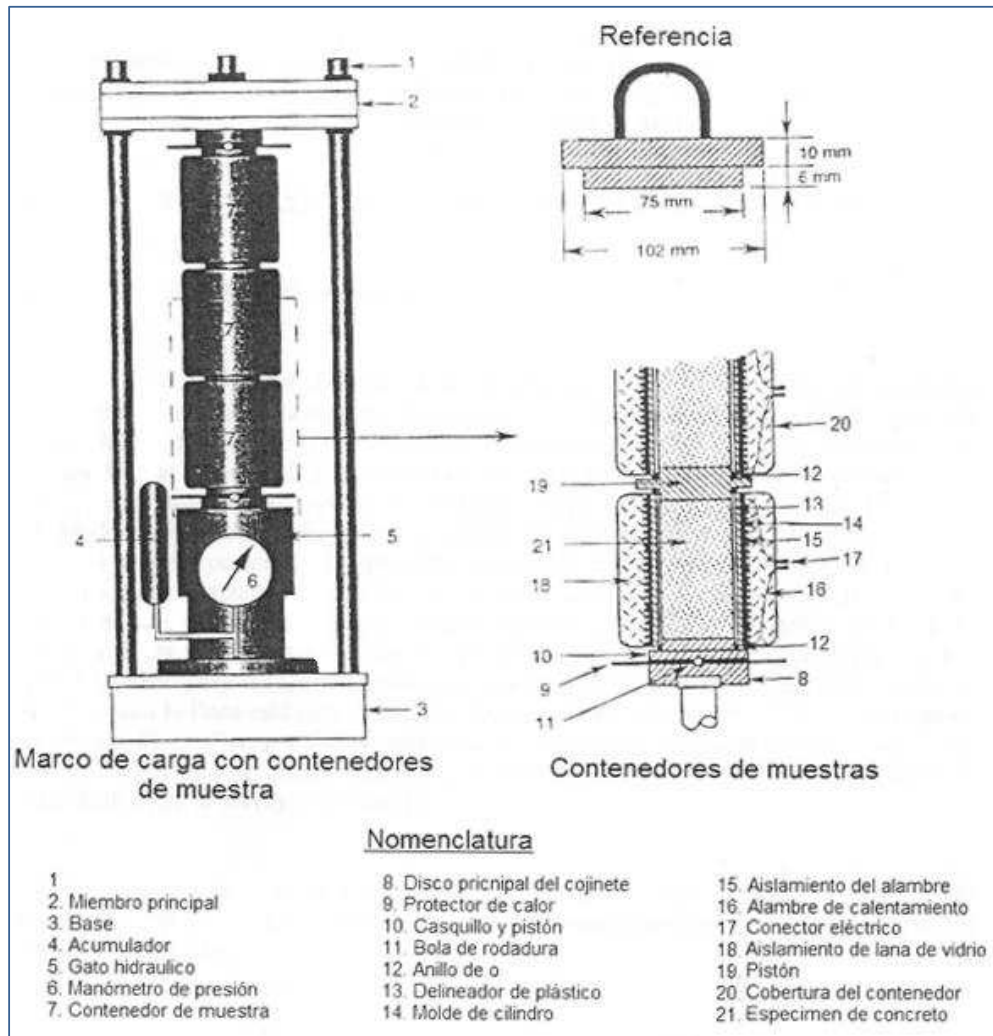


FIGURA 3. Esquema del aparato de curado de alta presión y temperatura (Procedimiento D)

A1.3.4 La prensa hidráulica y el acumulador serán equipados con un manómetro de presión para indicar la presión que se aplica al concreto en los moldes. El acumulador será calibrado tal que mantendrá la presión requerida de $10,3 \text{ MPa} \pm 0,2 \text{ MPa}$.

A1.3.5 Si se requiere usar el aparato para ensayar los especímenes, entonces el aparato será designado para funcionar como una máquina de ensayo de compresión que deba satisfacer los requisitos de la Norma MTC E 704.

ANEXO A2

(Informativo)

A2. ESTIMACION DE RESISTENCIAS A EDADES MAYORES

A2.1 Ecuación de regresión

A2.1.1 Para estimar el potencial de resistencias a edades mayores de una medición de resistencia acelerada a edades tempranas, el laboratorio deberá primero conducir adecuadamente los ensayos para establecer la relación entre los dos tipos de resistencia. Esto usualmente requerirá la preparación de una serie de seis a diez mezclas con relaciones agua-cemento que varían sobre un máximo rango con credibilidad que pueda ser encontrado en la construcción. Estas mezclas deberán incluir materiales similares a los usados en la construcción. Ordinariamente será usado el análisis de regresión por mínimos cuadrados para obtener la ecuación de la línea que representa la relación entre las resistencias por curado estándar y curado acelerado. Esta relación es aplicada solamente a los materiales específicos y al procedimiento de ensayo acelerado que fue usado. El conteo para la incertidumbre en el resultado de la línea de regresión, la banda de confianza para la línea está establecida. Entonces, para una nueva resistencia acelerada, el intervalo de confianza para el promedio de resistencias a edades mayores puede ser estimado. El siguiente procedimiento y ejemplo ilustrativo está basado en trabajos desarrollados por Wills¹² y Carino¹³.

A2.1.2 En esta discusión, se asumirá que la relación entre la Resistencia con curado estándar (Y) y la resistencia acelerada (X) pueden ser representadas por una línea recta con la siguiente ecuación:

$$Y = a + bx \quad (1)$$

Sin embargo, para algunas mezclas de concreto, la relación entre estos dos tipos de resistencia puede no ser lineal. Para estas situaciones, el valor de resistencias medidas será transformado para tomar su logaritmo natural. El logaritmo natural de las resistencias será usado para obtener los valores promedio de X e Y usados en cálculos subsiguientes. El paso anterior será para desarrollar un exponencial para convertir el intervalo de confianza computarizado a valores de resistencias.

A2.1.3 Asumir que n pares de valores (Xi, Yi) son obtenidos de los ensayos en laboratorio, donde Xi e Yi son el promedio de resistencias de especímenes de curado estándar y acelerado. El intercepto, a, y la pendiente, b, de la línea recta son determinados usando el proceso ordinario de mínimos cuadrados.

$$b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad (2)$$

$$a = \hat{Y} - b \cdot X \quad (3)$$

Donde:

$$S_{xy} = \sum (X_i - X)(Y_i - \hat{Y}) \quad (4)$$

$$S_{xx} = \sum (X_i - X)^2 \quad (5)$$

$$X = \sum X_i / n \quad (6)$$

$$\hat{Y} = \sum Y_i / n \quad (7)$$

La desviación residual estándar, Se, de la mejor línea está dada por la siguiente:

¹² Wills, M.H., "Early Assessment of Concrete Quality by Accelerating Compressive Strength Development with Heat (Results of ASTM Cooperative Test Program)", Journal of Testing and Evaluation, Vol 3, N°4, July 1975, pp. 251-262

¹³ Carino, N.J., "Prediction of Potential Strength at Later Ages", Chapter 15, ASTM STP 169C, Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials, Paul Klieger and Joseph F. Lamond, eds., 1994, pp. 140-152.

$$Se = \sqrt{\frac{1}{n-2} \left(Syy - \frac{Sxx^2}{Sxx} \right)} \quad (8)$$

Donde:

$$Syy = \sum (Yi - \hat{Y})^2 \quad (9)$$

A2.1.4 Para ilustrar el proceso, considerar los 12 pares de resistencia a los 28 d de curado estándar y acelerado indicados en las dos primeras columnas de la tabla 2. Cada número es el promedio de resistencias de dos cilindros. Usando las ecuaciones precedentes, se obtendrán los siguientes valores:

$$X = 16,30 \text{ MPa}$$

$$\hat{Y} = 38,90 \text{ MPa}$$

$$Sxx = 105,32 \text{ (MPa)}^2$$

$$Syy = 164,14 \text{ (MPa)}^2$$

$$Sxy = 125,22 \text{ (MPa)}^2$$

La pendiente de la línea es $b = 125,22/105,32 = 1,19$, y el intercepto es $a = 38,90 - 1,19 \times 16,30 = 19,50 \text{ MPa}$.

TABLA 2

Valores usados en la muestra problema para ilustrar la estimación del intervalo de confianza para resistencias a los 28 días

Resis Acel	Resist 28 d	Resist	Wi, Mpa	Lim Inf	Lim Sup
Xi Mpa	Yi, Mpa	Estim Y, Mpa		Conf. Mpa	Conf, Mpa
12,06	33,71	33,85	1,5	32,35	35,35
12,15	34,33	33,96	1,48	32,48	35,44
12,96	35,23	34,92	1,30	33,62	36,22
13,85	35,05	35,98	1,12	34,86	37,10
15,19	37,74	37,58	0,92	36,66	38,50
16,09	37,21	38,65	0,86	37,79	39,51
17,08	40,71	39,82	0,89	38,93	40,71
18,15	40,97	41,10	1,02	40,08	42,12
18,24	41,96	41,20	1,03	40,17	42,23
18,42	41,60	41,42	1,06	40,36	42,48
20,12	45,73	43,44	1,41	42,03	44,85
21,28	42,50	44,82	1,69	43,13	46,51
Intervalo de confianza para resistencia a una resistencia acelerada de 17,00 MPa					
17,00		39,73	0,89	38,84	40,62
16,40		39,01	0,86	38,15	38,15
17,60		40,44	0,94		41,38

Por lo que, la ecuación de la relación entre la Resistencia acelerada (X) y la resistencia ha curado estándar (Y) es como sigue:

$$Y = 19,50 + 1,19 X \text{ (MPa)} \quad (10)$$

La figura 4 muestra la data de los 12 pares y el cálculo de la mejor línea. La desviación estándar residual de la línea, Se, es como sigue:

$$Se = \sqrt{\frac{1}{10} \left(164,14 - \frac{125,22^2}{105,32} \right)} = 1,23 \text{ MPa} \quad (11)$$

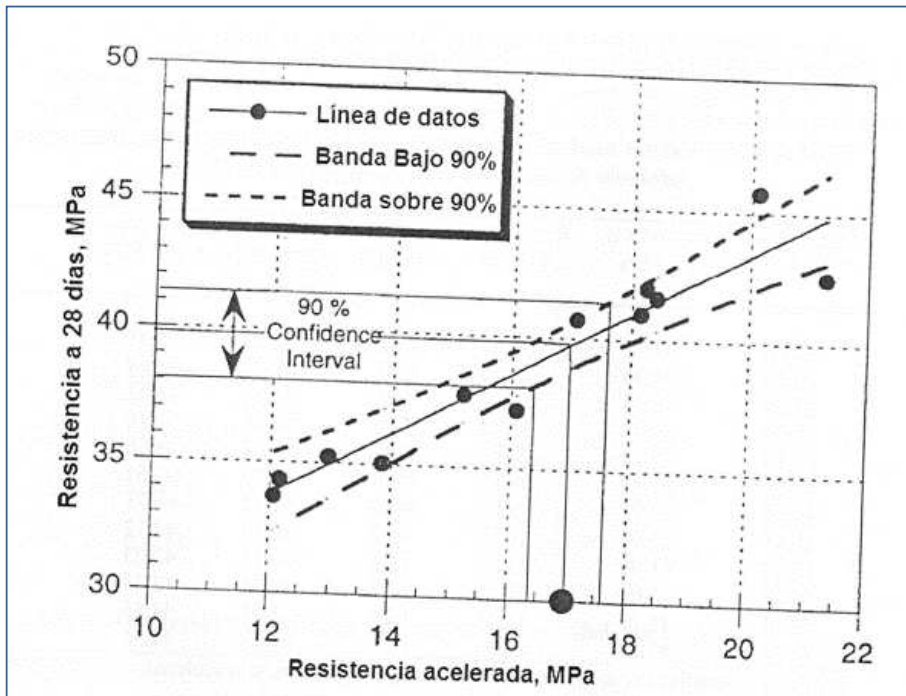


FIGURA 4. Bandas de confianza para las resistencias estimadas a 28 días basadas en mediciones de resistencia; con intervalo de 90 % de confianza para una resistencia acelerada de 17,0 MPa son mostradas.

A2.2 Banda de confianza por regresión lineal

A2.2.1 Debido a las incertidumbres en las estimaciones de la pendiente y el intercepto de la línea, es que será incierta cuando la línea es usada para estimar el promedio de resistencia con curado estándar de una medida de resistencia acelerada. Estas incertidumbres pueden ser expresadas por construcción con 90 % de confianza de la banda para la línea (1,5). Esta banda es obtenida por cálculo de Y_i para valores seleccionados de X_i usando la ecuación de la línea y plateando $Y_i \pm W_i$, versus X_i . El término W_i es el ancho medio de la banda de confianza a X_i y está dado por la siguiente ecuación:

$$W_i = Se(2F)^{0,5} \left(\left(\frac{1}{n} \right) + \left(\frac{(X_i - X)^2}{S_{xx}^2 / S_{xx}} \right) \right)^{0,5} \quad (A2.12)$$

Donde:

Se Desviación residual estándar para la mejor línea (Ecuación 8),

F Valor de la distribución de F para 2 y n-2 grados de libertad y nivel de significancia de 0,10.

n Número de puntos data usados para establecer la regresión de la línea,

X_i Valor seleccionado de la resistencia acelerada, Y

X Gran valor promedio de resistencia acelerada para todos los datos usados para establecer la línea de regresión

La tercera columna en la Tabla 2 lista el promedio estimado de resistencia a los 28 días de la resistencia acelerada de la columna 1. El valor de W_i para cada valor de X_i esta listado en la cuarta columna de la Tabla 2. Finalmente, las columnas de 5 y 6 listan los valores de los límites superior e inferior con 90% de confianza, los que son mostrados en la Figura 4. Notar que el ancho de la banda de confianza es más estrecho cuando X_i es igual a X, porque el segundo término bajo la raíz cuadrada señalada en la ecuación 12 es igual a cero.

A2.3 Estimación de resistencia a edades ultimas

A2.3.1 Supongamos que la resistencia acelerada promedio de dos cilindros hechos en el campo de un concreto similar es 17,0 MPa. De la ecuación de regresión, el promedio estimado de resistencia a los 28 días de curado estándar es 39,7 MPa. Si la resistencia acelerada fue conocida sin error el 90 % del intervalo de confianza para el promedio de resistencia a los 28 días será de 38,8 MPa a 40,6 MPa (véase la base de la Tabla 2). Sin embargo, la resistencia acelerada tiene una incertidumbre que esta descrita por la desviación estándar de la tanda, que puede ser estimada de las diferencias de los pares de cilindros de resistencia aceleradas. Se asume que la resistencia a la compresión medida sobre cilindros preparados en el campo por el método especificado de ensayo acelerado tiene en la tanda un coeficiente de variación de 3,0 %. Por lo que, la desviación estándar, s , para una resistencia promedio de 17,0 MPa es 0,51 MPa. El intervalo de confianza del 90 % para el promedio de resistencia acelerada de dos cilindros es como sigue:

$$17,0 \pm Z_{0,05}(s/2^{0,5}) = 17,0 \pm 1,645 \times 0,51 \times 0,707$$
$$= 17,0 \pm 0,6 \text{ MPa} \quad (13)$$

Donde $Z_{0,05}$ es el valor de la distribución normal correspondiente al 5 % del área bajo la curva. Entonces el 90 % del intervalo de confianza para la resistencia acelerada promedio es de 16,4 a 17,6 MPa. Proyectando los límites de este intervalo a la inferior y superior banda de confianza de la línea de regresión resulta en 38,2 MPa a 41,4 MPa para el aproximado 90 % de intervalo de confianza del promedio de resistencia con curado estándar a los 28 días. Cada medición diferente de resistencia acelerada produce un nuevo intervalo de confianza para la resistencia promedio a los 28 días. El uso de un computador personal es recomendado para implementar el proceso de cálculo para uso rutinario.

A2.3.2 Cuando la ecuación de regresión empieza a ser usada el proyecto, los pares de cilindros serán preparados a lo largo de los cilindros para ensayo acelerado. Los cilindros compañeros estarán sujetos al curado estándar y ensayados por resistencia a la compresión a la edad designada. La medida de resistencia con curado estándar será comparada con el intervalo de confianza para la estimación de resistencia basadas en las resistencias aceleradas de compañía. Si las mediciones de resistencias consistentemente fallan o caen fuera de los intervalos de confianza, la confiabilidad de la línea de regresión y su estadística asociada es cuestionable.

El nuevo conjunto de resultados será añadido a la data de los ensayos de correlación del laboratorio para calcular una nueva línea de regresión y sus correspondientes valores estadísticos. Esta nueva línea será usada para subsiguientes estimaciones de resistencias potenciales a edades mayores. La toma de pares de muestras de cilindros de curado estándar y acelerado será continuada mientras las mediciones de resistencia sean consistentes o caigan en el correspondiente intervalo de confianza calculado. Una vez que la confiabilidad del procedimiento ha sido demostrada, los pares de cilindros serán hechos a intervalos al azar para reafirmar que el procedimiento continuo siendo confiable.

A2.4 Síntesis

A2.4.1 Un procedimiento ha sido presentado para estimar el promedio de resistencias con curado a los 28 días de los resultados de ensayos de resistencia acelerados. El procedimiento evalúa la incertidumbre en la línea de regresión y las mediciones de resistencia acelerada. Es suficiente para simplificar el uso de la ecuación de regresión para convertir la resistencia acelerada a una resistencia equivalente a los 28 días.

Información adicional sobre el procedimiento presentado en el ejemplo puede ser hallada en las referencias por Moore y Taylor¹⁴ y en Miller¹⁵. Finalmente, se enfatiza que una ecuación particular de regresión es válida solamente para un procedimiento de ensayo específico acelerado o combinación de materiales. De ahí que, cada laboratorio debe desarrollar ensayos con un determinado conjunto de materiales y cierto proceso para establecer la línea de regresión y su banda de confianza antes que las estimaciones de resistencias con curado estándar sean posibles.

¹⁴ Moore, J.K., and Taylor, M.A., "Statistical Properties of Techniques for Predicting Concrete Strength and Examples of Their Use", ACI SP-56, Accelerated Strength Testing, V.M. Malhotra, ed., American Concrete Institute, 1978, pp. 259-238

¹⁵ Miller, R.G., Simultaneous Statistical Inference, 2nd, ed., Springer Verlag, New York, 1981.

MTC E 728**AGUA DE MEZCLA UTILIZADA EN LA PRODUCCION DE CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND.
REQUISITOS****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer los requisitos de composición y performance para el agua utilizada como agua de mezcla en la producción del concreto de cemento Portland.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Esta Norma define las fuentes de agua y estipula los requisitos y las frecuencias de ensayo para la calificación de las fuentes de agua individuales o combinadas. En los casos donde los requisitos del comprador difieran de los señalados en esta especificación, regirá la especificación del comprador bajo su responsabilidad.
- 2.2 Este Modo Operativo no tiene como propósito abarcar los métodos de almacenamiento, transporte, o mezcla del agua; ni dirigir el desarrollo y mantenimiento de los programas de control de calidad propuestos o dirigidos por el productor.
- 2.3 El texto de esta especificación, referencias, notas y notas al pie de página proporcionan material explicatorio. Estas notas y notas al pie de página (excluyendo las de las tablas y figuras) no deberán ser consideradas como requisitos de este modo operativo.
- 2.4 Este Modo Operativo no tiene propósito lo que concierne a la seguridad, asociada con uso. Es responsabilidad del usuario establecer las medidas de seguridad y salud apropiadas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias previas a su uso.
- 2.5 Esta Norma Técnica Peruana se aplica al agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland.
- 2.6 Para los propósitos de este Modo operativo se aplican las siguientes definiciones:
- 2.6.1 Agua combinada: Mezcla de dos o más fuentes de agua combinadas a la vez, antes o durante su introducción en la mezcla, para utilizarla como agua de mezcla en la producción de concreto.
- 2.6.2 Aditivos estabilizantes de la hidratación: Aditivos retardadores de fraguado prolongado que controlan la hidratación del cemento en aplicaciones de concreto.
- 2.6.3 Agua no potable: Fuentes de agua que no son aptas para el consumo humano, o si esta contiene cantidades de sustancias que la decoloran o hacen que huelga o tenga un sabor objetable pero no contiene agua de las operaciones de producción de concreto.
- 2.6.4 Agua potable: Agua que es apta para el consumo humano.
- 2.6.5 Agua de las operaciones de producción de concreto: Agua recuperada de los procesos de producción de concreto de cemento Portland que incluye el agua de lavado del camión mezclador (mixer) o en la que fue parte de una mezcla de concreto; agua de lluvia colectada en un recipiente de una planta de producción de concreto; o agua que contiene cantidades de los ingredientes del concreto.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM C 1602/C 1602M-2004: Standard specification for mixing water used in the production of hydraulic cement concrete.
- 3.2 NTP 339.088:2006: HORMIGON (CONCRETO). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 REQUISITOS PARA EL USO DE AGUA**

- 4.1.1 El agua de mezcla consistirá de:

- 4.1.1.1 Agua de la tanda (agua pesada o medida en la planta de dosificación),
- 4.1.1.2 Hielo
- 4.1.1.3 Agua adicionada por el operador del camión mezclador,
- 4.1.1.4 Humedad de los agregados, y
- 4.1.1.5 Agua introducida con los aditivos cuando esta agua incrementa la relación agua/materiales cementosos por más de 0,01.
- 4.1.2 Se permitirá el uso de agua potable como agua de mezcla en el concreto sin ensayarla para evaluar su conformidad con los requisitos de este modo operativo.
- 4.1.3 Se permitirá que el agua de mezcla que está compuesta total o parcialmente de fuentes de agua que no son potables o son provenientes de las operaciones de producción de concreto, sea utilizada en algunas proporciones para alcanzar los límites calificados y cumplir los requisitos de la Tabla 1. A opción del comprador y cuando sea apropiado para la construcción, serán especificados algunos de los límites opcionales encontrados en la Tabla 2, al momento de solicitar el concreto en conformidad con la NTP 339.114.
 - 4.1.3.1 Las fuentes de agua no potable serán calificadas para su uso en conformidad con el apartado 4.2.1. Cuando la fuente de agua no potable es mezclada con una fuente potable, la calificación del agua de mezcla deberá ser al más alto porcentaje de la fuente no potable en el agua de mezcla combinada prevista durante la producción.
 - 4.1.3.2 El agua combinada mezclada de dos o más fuentes, donde una de las fuentes incluye la que proviene de la producción de concreto, será calificada para su uso en conformidad con el apartado 4.2.2. El agua combinada será calificada al más alto contenido de sólidos en el agua de mezcla total prevista durante la producción. Se permitirá que el agua de mezcla contenga igual o menos sólidos totales que el nivel calificado por el ensayo.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Agua

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 ENSAYO DE AGUA Y REQUISITOS

- 6.1.1 Para fuentes de agua de mezcla no potable (como está definido en el apartado (2.2.3) propuestas para su uso como agua de mezcla total o en el agua de mezcla combinada (como está definido en el apartado 2.2.1), se aplicara lo siguiente al agua de mezcla combinada total:
 - 6.1.1.1 El agua será ensayada en conformidad con la Tabla 1 antes del primer uso y a partir de entonces cada tres meses o con mayor frecuencia cuando haya razón para creer que haya ocurrido un cambio en las características de la fuente. Cuando los resultados de cuatro ensayos consecutivos indican conformidad con la Tabla 1, se permitirá ensayar con una frecuencia menor, pero no menor que anualmente.
 - 6.1.1.2 El productor mantendrá evidencia documentada de que las características del agua de mezcla combinada están en conformidad con la Tabla 2. Estos ensayos deberán ser llevados a cabo antes del primer uso y a partir de entonces cada seis meses o con mayor frecuencia cuando haya razón para creer que ha ocurrido un cambio en las características de la fuente. Estos registros serán proporcionados a solicitud del comprador.
- 6.1.2 Para fuentes de agua de las operaciones de producción de concreto (como está definido en el apartado 2.2.3) propuestas para su uso como agua de mezcla total o en el agua de mezcla combinada (como está definido en el apartado 2.2.1), se aplicara lo siguiente al agua de mezcla combinada total:
 - 6.1.2.1 La densidad de la fuente de agua del concreto premezclado será ensayada por lo menos diariamente en conformidad con la norma ASTM C 1603 o monitoreada con un hidrómetro que ha sido verificado en conformidad con la norma ASTM C 1603. Los productores que utilicen

dispositivos automatizados deberán mantener en la planta de producción la documentación de los procedimientos y la calibración de los sistemas, según sea necesario (véase Nota 1).

Nota 1. Para alcanzar un contenido de sólidos específico, las proporciones de mezcla de las fuentes de agua pueden ser determinadas en conformidad con el Anexo de la norma ASTM C 1603.

6.1.3 El agua combinada será ensayada en conformidad con los requisitos de la Tabla 1 al más alto contenido de sólidos previstos para ser utilizada durante la producción en conformidad con las siguientes frecuencias de ensayo:

6.1.3.1 Cuando la densidad del agua combinada es menor que 1,01 g/mL, el agua deberá ser ensayada antes del primer uso y a partir de entonces cada seis meses. Se permitirá reducir la frecuencia de ensayo una vez cada doce meses cuando los resultados de dos ensayos consecutivos indican conformidad con los requisitos de la Tabla 1 (Véase Nota 2).

Nota 2. Esta condición tiene la intención de abarcar el uso de agua de lavado clarificada que ha sido pasada a través de un sistema de pozas de decantación.

6.1.3.2 Cuando la densidad del agua combinada está entre 1,01 y 1,03, el agua será ensayada antes del primer uso y a partir de entonces mensualmente. Se permitirá que la frecuencia de ensayo sea reducida una vez cada tres meses cuando los resultados de cuatro ensayos consecutivos indican conformidad con los requisitos de la Tabla 1 (Véase Nota 3).

Nota 3. La densidad del agua de aproximación 1,03 representa un contenido de sólidos totales de 50 000 ppm.

6.1.3.3 Cuando la densidad del agua combinada excede a 1,03, el agua será ensayada semanalmente o con mayor frecuencia cuando haya razón para creer que ha ocurrido un cambio en las características del agua para su conformidad con los requisitos de la Tabla 1. Se permitirá que la frecuencia de ensayo sea reducida una vez cada mes cuando los resultados de dos meses de ensayos consecutivos indican conformidad con los requisitos de la Tabla 1.

6.1.3.4 Los ensayos para el agua con densidad mayor a 1,05 deberán ser los mismos a los indicados en el apartado 6.1.3.3, sea que el agua incluya o no aditivos estabilizadores de hidratación (Véase Nota 4).

Nota 4. La densidad del agua que excede aproximadamente a 1,05, donde los sólidos están esencialmente compuestos de materiales cementosos, podría requerir el uso de aditivos estabilizadores de hidratación para mantener su conformidad con los requisitos de la Tabla 1. El productor debería tener un proceso documentado en el lugar para verificar la efectividad de los aditivos y las dosis empleadas.

6.1.4 El productor mantendrá documentación de las características del agua en conformidad con los requisitos de la Tabla 2, además del requisito de sólidos totales. Estos requisitos se aplicaran al agua combinada al más alto contenido de sólidos previstos para su uso. Estos ensayos deberán ser realizados antes del primer uso y desde entonces cada seis meses. Estos registros serán proporcionados a solicitud del comprador (Véase Nota 5).

6.2 Los ensayos del concreto para verificar su conformidad con los requisitos de la Tabla 1 serán realizados en muestras de concreto obtenidas de las tandas de producción o en tandas de laboratorio en conformidad con la Norma MTC E 702 (Véase Nota 5).

Nota 5. El muestreo del agua combinada total en su forma final, tanto de la planta de dosificación o de la unidad de transporte, es poco viable. Por lo tanto, para el propósito de ensayo para su conformidad con los requisitos de la Tabla 1 y Tabla 2, es aceptable muestrear, proporcionar y combinar las fuentes individuales de agua para obtener una muestra de ensayo que sea representativa del agua de mezcla combinada real utilizada en la producción.

**ANEXO A
(NORMATIVO)****TABLA 1****Requisitos de performance del concreto para el agua de mezcla**

Ensayo	Limites	Método de Ensayo
Resistencia a compresión, mínimo, % del control a 7 días ^A	90	MTC E 723 MTC E 704
Tiempo de fraguado, desviación respecto al control, horas: minutos ^A	De 1:00 más temprano a 1:30 más tarde	NTP 339.082

^A Las comparaciones estarán basadas en proporciones fijas para un diseño de mezcla de concreto representativo con abastecimiento de agua cuestionable y una mezcla de control utilizando agua 100% potable o agua destilada (Véase Anexo C).

**ANEXO B
(NORMATIVO)****TABLA 2
Límites químicos opcionales para el agua de mezcla combinada**

	Limite	Método de Ensayo
Concentración máxima en el agua de mezcla Combinada, ppm ^A		
A	Cloruro como Cl ⁻ , ppm	
	1. En concreto pretensado, tableros de puentes, o designados de otra manera.	500 ^B NTP 339.076
	2. Otros concretos reforzados en ambientes húmedos o que contengan aluminio embebido o metales diversos o con formas metálicas galvanizadas permanentes.	1 000 ^B NTP 339.076
B	Sulfatos como SO ₄ , ppm	3000 NTP 339.074
C	Álcalis como (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O), ppm	600 ASTM C 114
D	Sólidos totales por masa, ppm	50 000 ASTM C 1603

^A ppm es la abreviación de partes por millón.

^B Cuando el productor pueda demostrare que estos límites para el agua de mezcla pueden ser excedidos, los requerimientos para el concreto del Código ACI 318 regirán. Para condiciones que permiten utilizar cloruro de calcio (CaCl₂) como aditivo acelerador, se permitirá que el comprador pueda prescindir de la limitación del cloruro.

ANEXO C (NORMATIVO)

C.1 Guía para la comparación entre dos mezclas de concreto necesaria para la conformidad con la Tabla 1

Introducción

Para cumplir con los requisitos de performance de la Tabla 1, se requiere de la comparación entre dos mezclas de concreto: una como tanda de control utilizando una fuente de agua potable, y una segunda como tanda de ensayo utilizando la(s) fuente(s) de agua propuesta(s) para su uso. Deberá aplicarse lo siguiente:

- C1.1 Agua para la tanda de ensayo como está definido en el capítulo 4 con una densidad mayor que 1,01 g/mL, o similar en aproximación a la densidad como es utilizada durante la producción real.
- C1.2 El agua para la tanda de ensayo como está definido en el capítulo 4 será tan próxima como sea posible a la edad actual del agua utilizada durante la producción real.
- C1.3 Los aditivos incorporados de aire y reductores de agua son permitidos en las tablas de ensayo y de control. El aditivo incorporador de aire será ajustado para producir el contenido de aire específico con una tolerancia de $\pm 1,5$ %. La dosis del aditivo reductor de agua será la misma en ambas tandas.
- C1.4 Aditivos estabilizadores de hidratación están permitidos para usarlos en el agua de mezcla para la tanda de ensayo. No están permitidos otros aditivos controladores de fraguado.
- C1.5 El contenido de agua de mezcla en la tanda de ensayo no será menor que el contenido de agua de mezcla en la tanda de control.
- C1.6 Las proporciones de mezcla estarán disponibles bajo pedido.
- C1.7 Para propósito de comparación del concreto y determinar su conformidad con la Tabla 1, cada tanda estará dentro de $\pm 1^\circ$ C al momento de la mezcla y estará acondicionada para la duración del ensayo.

ANEXO D
(INFORMATIVO)**D1. Guía para la frecuencia de ensayo con relación a la fuente de agua utilizada en el agua de mezcla**

Fuente de agua	Densidad del Agua combinada (g/mL)	Frecuencia de ensayo		
		Densidad, ASTM C 1603	TABLA 1	TABLA 2
Potable	N/A	N/A	N/A	N/A
No Potable ^A	N/A	N/	Cada 6 meses; después de 4 Ensayos anualmente (6.2.2.1)	6 meses (6.1.2)
	<1,01	Diariamente (6.2.1)	Cada 6 meses; después de 2 Ensayos anualmente (6.2.2.1)	6 meses (6.2.3)
De la Producción de Concreto A	1,01 - 1,03	Diariamente (6.2.1)	Mensualmente; después de 4 ensayos cada 3 meses (6.2.2.2)	6 meses (6.2.3)
	>1,03	Diariamente (6.2.1)	Semanalmente; después de 8 ensayos manualmente (6.2.2.3)	6 meses (6.2.3)

^A La frecuencia de ensayo se aplica al agua de mezcla combinada cuando esta total o parcialmente compuesta de las fuentes listadas como está definido en el Capítulo 4.

N/A: No aplicable.



SECCION N° 8 METALICOS

MTC E 801

ENSAYOS DE TENSION DE MATERIAL METALICO (BARRAS Y ALAMBRES)

1.0 OBJETO

- 1.1 Describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la resistencia a la tensión de las barras y alambres de acero.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El ensayo de tensión consiste en someter el espécimen a una carga determinada, suficiente para causar su rompimiento.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM A 370 – Método de ensayo y definiciones para ensayos mecánicos de productos metálicos.

4.0 EQUIPOS

- 4.1.1 Existen dos tipos generales de sistemas de carga, el mecánico (con tornillo) y el hidráulico. Estos difieren principalmente en la variabilidad de la relación de aplicación de carga - cabeza transversal. Las máquinas modernas de tornillo y las hidráulicas permiten una variación ilimitada a lo largo del rango de velocidades.

- 4.1.2 La prueba de tensión será mantenido operativo usados solo para probar en los rangos de carga calibrarlo periódicamente en conformidad con la última revisión de la práctica E4.

Nota 1. Algunas máquinas son equipadas con grabadores de tensión-deformación para imprimir las curvas graficadas. Cabe señalar que alguna grabadora tenga una medición de carga completamente separados del indicador de carga de la máquina de ensayo, esta operación se calibran por separado.

- 4.1.3 Sistema de carga. Existen dos tipos generales de sistemas de carga, el mecánico (con tornillo) y el hidráulico. Estos difieren principalmente en la variabilidad de la relación de aplicación de carga-cabeza transversal. Las máquinas modernas de tornillo y las hidráulicas permiten una variación ilimitada a lo largo del rango de velocidades.

- 4.1.4 La máquina para el ensayo de tensión debe mantenerse en excelentes condiciones de operación y utilizarse solamente en el rango de carga apropiado. Debe, además, calibrarse periódicamente para asegurar en todo momento la exactitud especificada con un error máximo permisible del 1% de carga indicada en la máquina.

- 4.1.5 Sistema de sujeción del espécimen. La función del elemento de soporte o de sujeción de la máquina de ensayo es transmitir la carga de las cabezas de la máquina, al espécimen que se está ensayando. El requerimiento esencial, es que la carga se transmita axialmente. Esto implica que los centros de acción de las abrazaderas estén alineados con el eje del espécimen al comienzo, en ensayo y que el doblamiento o giro se minimice. El agarre del espécimen se restringirá a la longitud entre mordazas. En caso de que se deban ensayar ciertas secciones el tamaño completo y cuando la carga axial sea imposible de aplicar, se permitirá el uso de cargas no axiales.

- 4.1.6 La velocidad del ensayo no debe ser mayor que aquella a la cual las lecturas de carga y deformación puedan realizarse con exactitud. En los ensayos de producción, la velocidad de ensayo comúnmente se expresa (1) en términos de velocidad libre de recorrido de la cabeza transversal (rata movimiento de la cabeza de la máquina de ensayo, cuando no está bajo carga); (2) en términos de la rata de separación de las dos cabezas de la máquina de ensayo bajo carga; o (3) en términos de la rata de esfuerzo del espécimen. La velocidad del ensayo puede también expresarse en términos de la rata de deformación del espécimen. Sin embargo, no es práctico controlar la rata de deformación en las máquinas que actualmente se utilizan.

- 4.1.7 Cualquier velocidad de ensayo conveniente puede usarse hasta la mitad del límite elástico o de resistencia a la deformación. Cuando se alcance este punto, la rata de separación de las cabezas

bajo carga debe ajustarse, para que no exceda de 1,6 mm por minuto para 25.4 mm de longitud entre marcas, o la distancia entre las abrazaderas de los especímenes de ensayo que no tengan sección reducida. Esta velocidad debe mantenerse hasta el límite elástico o de resistencia a la deformación. En la determinación de la resistencia a la tensión, la rata de separación en las cabezas bajo carga, no debe exceder de 12,7 mm por minuto para 25,4 mm de longitud entre marcas. En ningún caso la velocidad del ensayo será menor de 1/10 de la rata máxima especificada para determinar el límite elástico o la resistencia a la deformación y la resistencia a la tracción.

- 4.1.8 Como alternativa si la máquina está equipada con un elemento que indica la velocidad de carga, la velocidad de la máquina entre el valor medio y el valor máximo del límite elástico o resistencia a la deformación, puede ajustarse para que la rata de esfuerzo no exceda de 690 MPa/min (100,000 Psi/min). Sin embargo, la velocidad mínima de esfuerzo no debe ser menor de 70 MPa/min (10,000 Psi/min).

5.0 MUESTRA

5.1 Zona calibrada

- La sección de la probeta debe ser circular o en casos especiales, de otra forma.
- El diámetro de la probeta es el diámetro de la sección circular.
- Las probetas extraídas de cuerpos cilíndricos no deben enderezarse a golpes o por calentamiento.
- Las probetas de alambre se deben enderezar a mano y si esto no es posible, se hará mediante un martillo de madera o de material similar, siempre y cuando se coloque el alambre sobre una superficie plana de madera o material similar.
- La longitud de la parte calibrada (L_c), será igual a $L_o \times 2d$. Si no es posible obtener esta longitud, se pueden usar otras, siempre que ellas no sean inferiores a $L_o + d/2$.
- Las probetas de alambre se marcarán a través de la longitud entre mordazas, dejando sin marcar a partir de cada mordaza una distancia por lo menos igual a $2d$ (d = diámetro del alambre), con marcas a intervalos iguales a la mitad de la longitud de calibración con una aproximación de 1%.
- Las marcas que se hagan en la muestra para la determinación del alargamiento deben ser superficiales.

- 5.2 La parte calibrada debe unirse con una superficie curva suave y continua a las cabezas de la muestra, para permitir una distribución uniforme de tensiones. Las cabezas tendrán forma adaptable a los dispositivos de fijación de la máquina de ensayo.

5.3 Longitud inicial entre marcas

- Probeta proporcional normal: es una probeta para la cual la relación $L_o/(S_o)^{1/2}$ es igual a 5,65.
- Probetas normales: en muchos casos se emplean probetas proporcionales para las cuales la relación $L_o/(S_o)^{1/2}$ es diferente de 5,65 (tales como 4, 8, 16 y 11,3) o probetas con longitud inicial entre marcas independientes de la sección.

- 5.4 Tolerancias de maquinado y forma: las tolerancias admisibles en la preparación de las probetas estarán indicadas en las figuras y tablas que aparecen a continuación.

Varillas (véase la Figura 1).

Alambres (véase la Figura 2).

- La muestra será un trozo de alambre de sección original, con una longitud tal, que la distancia entre las mordazas de la máquina no sea menor de 150 mm.
- Cuando se usan muestras diferentes a las proporcionales $L_o = 11,3(S_o)^{1/2}$, la longitud de calibración será igual a 100 mm, sin embargo, para aceros que tengan pequeños alargamientos (menor de 5%) se puede emplear una longitud de calibración de 200 mm.

- 5.5 Ensayo sin elaboración de muestra. El ensayo de tracción podrá realizarse sin elaboración de muestras en los siguientes casos:
- a) Por especificación.
 - b) Para productos de sección circular o poligonal, cuando el diámetro (del círculo circunscrito en el segundo caso) es inferior a 10 mm.
- 5.6 Selección. La selección de las muestras se hará de acuerdo con las especificaciones correspondientes de cada material.
- 5.7 Tamaños y tolerancias. Los especímenes de ensayo deben tener un espesor completo o pueden ser maquinados para obtener la forma y dimensiones que se muestran en las figuras 1 y 2. La selección del tamaño y tipo del espécimen la señalan las especificaciones aplicables del producto ensayado. Los especímenes de sección completa deben ensayarse en una máquina de 200 mm (8") de longitud, a menos que se especifique algo diferente.
- 5.8 Obtención de los especímenes de ensayo. Los especímenes deben cortarse con segueta, trepanarse o cortarse con oxígeno directamente de la porción del material. Generalmente se maquinan para tener una sección transversal reducida en la mitad de la longitud, obtener una distribución de los esfuerzos sobre la sección transversal y localizar la zona de fractura. Cuando se hayan obtenido las muestras para el ensayo se debe tener cuidado de remover por medio de maquinado toda distorsión, áreas afectadas por el trabajo en frío o por el calor de los bordes de la sección usada en el ensayo de evaluación.
- 5.9 Envejecimiento de los especímenes de ensayo. A menos que se especifique lo contrario, se permite el envejecimiento de los especímenes para el ensayo de tensión. El ciclo tiempo-temperatura empleado debe ser tal que los efectos de los procesos previos no se cambien materialmente. Esto puede lograrse por un añejamiento a temperatura ambiente durante 24 a 48 horas o durante un tiempo más corto a una temperatura moderadamente elevada mediante ebullición en agua, calentamiento en aceite o dentro de un horno.
- 5.10 Medida de las dimensiones de los especímenes de ensayo.
- a) Especímenes circulares normalizados para el ensayo a tensión. La forma de estos especímenes se muestra en la Figura 1. Para determinar el área de la sección transversal, el diámetro debe medirse en el centro de la longitud de la muestra con una precisión de 0,0254 mm (0,001").
- 5.11 General. El ensayo de los especímenes se debe realizar en la forma señalada en las especificaciones del producto que está siendo ensayado.
- Especímenes preparados en forma inapropiada, frecuentemente causan resultados no satisfactorios. Es importante, por lo tanto, tener extremo cuidado en la preparación de los especímenes, particularmente en el maquinado.
- Es deseable que el área de la sección transversal del espécimen sea más pequeña en el centro de este para asegurar la fractura dentro de la longitud del aparato. Esto se logra mediante un angostamiento en la longitud de la muestra para cada uno de los especímenes que se describen a continuación:
- Para materiales frágiles, es conveniente tener bandas de gran radio en los extremos de la máquina de ensayo.
- 5.12 Especímenes redondos. El ensayo de los especímenes redondos normalizados, con diámetro de 12,5 mm (Figura 1) es usado generalmente para el ensayo de los materiales metálicos, tanto fundidos como forjados.
- La forma de los extremos del espécimen fuera de la longitud del medidor debe ser apropiada para el material y de una forma tal que se adapte a las abrazaderas de la máquina de ensayo permitiendo una aplicación axial de la carga.

5.13 Marcas del espécimen. Los especímenes que se muestran en las figuras 1 y 2 deben marcarse con un sello, marcado o dibujarse con tinta. El propósito de esta marca es determinar el porcentaje de elongación. Las marcas deben ser ligeras angostas y exactamente espaciadas.

La localización de esfuerzos en las marcas hace que un espécimen duro, sea susceptible de iniciar una fractura en el lugar de la marca. La marca de la muestra para la medición de la elongación después de la fractura debe hacerse en la parte plana o en el borde del espécimen plano y dentro de la sección paralela para los especímenes con una longitud de 200 mm; puede usarse uno o más juegos de marcas; marcas intermedias dentro de la longitud de la muestra son opcionales.

Los especímenes de 50 mm de longitud y los especímenes redondos se marcan con una doble perforación centrada a una marca contorneada. En ambos casos, los puntos deberán estar aproximadamente equidistantes del centro de la longitud de la sección reducida. Se deben observar las mismas precauciones cuando los especímenes de ensayo tengan sección completa.

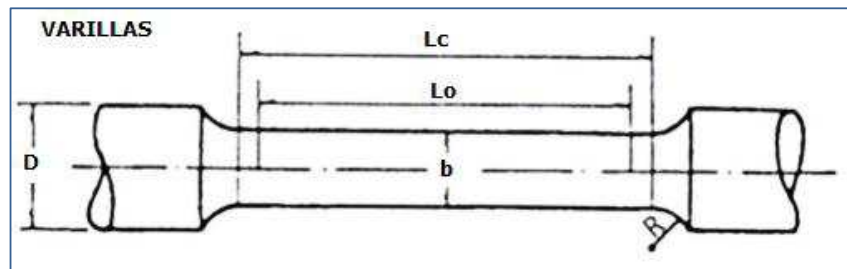


Figura 1. Dimensiones de las muestras para el ensayo de varillas

	Probeta normal	Probetas pequeñas proporcionales a la normal	
Lo	50 ± 0,2	35 ± 0,2	25 ± 0,2
b	12 ± 0,4	9 ± 0,3	6 ± 0,2
Lc.	57 mm	45 mm	32 mm
D	20;2,5 (3/4".10)*	12;1,75 (1/2";13)*	10; 1,5 (3/8"; 16) *
R	10 mm	10 mm	7 mm

* Las cantidades fuera de paréntesis indican el diámetro y el paso de la rosca en unidades métricas (mm).

Las cantidades dentro del paréntesis indican el diámetro y el número de hilos de rosca en magnitudes inglesas.

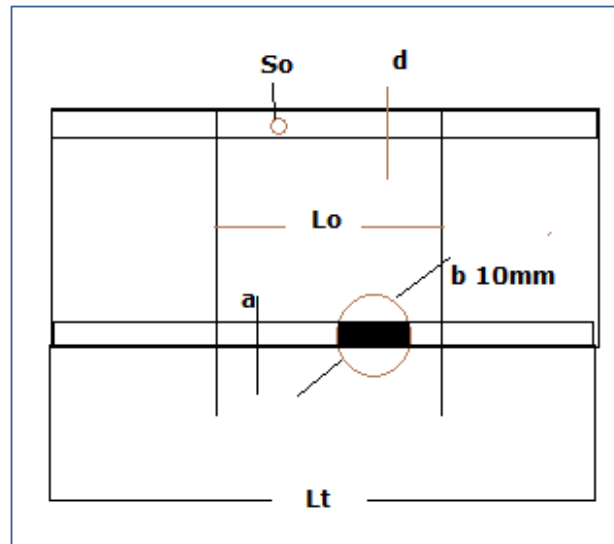


Figura 2. Muestras de alambre y torones para el ensayo de tensión

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Antes de colocar la muestra en la máquina determínese su longitud con una precisión mínima de 0,1 mm y las dimensiones de la sección con una precisión mínima de 0,025 mm.
- 6.2 El deformímetro se fija en la muestra dentro de la zona calibrada. Previamente a su colocación, se debe efectuar una precarga inferior al 1% previsible del límite elástico, suficiente para el correcto ajuste del deformímetro.
- 6.3 Velocidad de la máquina.
 - a) Para alambres, la velocidad de aplicación de carga en ningún caso será mayor de 10 kgf/mm² por segundo.
 - b) Cuando se determina el límite elástico o límite convencional de elasticidad, la velocidad de aplicación de la carga no deberá producir un incremento de b) esfuerzo mayor de 1 kg/mm² por segundo, desde el comienzo del ensayo hasta que alcance el límite de elasticidad en el caso de muestras de alambre; y para los demás tipos de muestras, la velocidad de aplicación de la carga no deberá producir un incremento de esfuerzo mayor de 1 kgf/ mm² por segundo a partir de 5 kgf/ mm² por segundo hasta que alcance el límite de elasticidad.
 - c) Período plástico: En este período, la velocidad de la máquina no debe ser superior al 40% de la longitud entre marcas, por minuto. Cuando se ensayan aceros de resistencia nominal inferior a 110 kgf/mm y cuando no se trata de determinar su límite elástico, la velocidad puede alcanzar, en el período elástico, el límite que se ha fijado para el período plástico.
 - d) En ambos períodos, la velocidad debe ser tan uniforme como sea posible y la variación de velocidad debe hacerse progresivamente y sin choques.
- 6.4 Determinación del límite de fluencia. La tracción en el límite de fluencia se determina en la siguiente forma: para materiales que presentan este límite en forma notoria, el valor escogido es aquel en que la aguja indicadora de las cargas retroceda o permanezca quieta por primera vez después de comenzado el ensayo a pesar de seguir alargándose la muestra; en el caso de máquinas de contrapeso deslizante, este valor vendrá dado por la carga correspondiente a la primera caída del brazo de palanca, a pesar de continuar la deformación. Este método corresponde con el de la detención del puntero indicador del dial.

Existen, además, los métodos del diagrama autográfico, cuando se dispone de un dispositivo de este tipo; y el de extensión total bajo carga cuando el material no puede exhibir una deformación bien definida.

- 6.5 Determinación del límite convencional de elasticidad. Es necesario obtener datos (gráficos o numéricos con los cuales se pueda dibujar un diagrama esfuerzo-deformación).

Luego, sobre el diagrama esfuerzo-deformación (Figura 3) dibuje una línea "Om" igual al valor especificado del desplazamiento, dibuje un paralela a OA, y localice r, la intersección de "mn" con la curva esfuerzo-deformación, correspondiente a la carga R, la cual es la carga de resistencia a la fluencia.

En el reporte de los valores de la resistencia a la fluencia obtenidos por este método, especifíquese el valor de "desplazamiento" usado en paréntesis después del término resistencia a la fluencia.

Ejemplo. Resistencia a la fluencia (0,2% desplazamiento) = 360 MPa (52,000 Psi).

- 6.6 Resistencia a la tensión. Calcúlese la resistencia a la tensión dividiendo la carga máxima que el espécimen resiste durante el ensayo de tensión, entre el área original de la sección transversal del espécimen.
- 6.7 Determinación del alargamiento en muestras proporcionales. Después de la rotura, los dos fragmentos de la muestra deben ajustarse procurando que sus ejes de simetría estén uno en prolongación del otro. El aumento de longitud debe medirse con una aproximación de 0,25 mm.

Este tipo de determinación no es válido en principio, si la distancia de la sección de rotura a la marca más cercana es inferior a $1/3$ de la longitud entre marcas después de la rotura para las probetas en que $L_0 = 5,65(S_0)^{1/2}$; $1/4$ de la longitud entre marcas después de la rotura de las probetas en que $L_0 = 8,15(S_0)^{1/2}$; $1/5$ de la longitud entre marcas después de la rotura para las probetas en que $L_0 = 11,3(S_0)^{1/2}$.

La determinación de alargamiento para probetas de alambre es válida solamente si la distancia entre la fractura y la mordaza más cercana es mayor de 5 d. Para las demás probetas, es válida para cualquier posición de la sección de rotura, si el alargamiento alcanza el valor mínimo indicado en la especificación del material.

- 6.8 Determinación del alargamiento en el caso general. Después de la rotura, los dos fragmentos de la probeta deben ajustarse procurando que sus ejes de simetría se ajusten uno en prolongación del otro. El aumento de longitud debe medirse con una aproximación de 0,25 mm. Este tipo de determinación no es válido en principio, si la distancia de la sección de rotura a la marca más cercana es inferior a $1/3$ de la longitud entre marcas después de la rotura, para las probetas en que la distancia entre marcas es de 50 mm; $1/4$ de la longitud entre marcas después de la rotura, para las probetas en que la distancia entre marcas es mayor de 50 mm. Sin embargo, el ensayo es válido, cualquiera que sea la posición de la sección de rotura, si el alargamiento alcanza el valor mínimo indicado en la especificación del material.

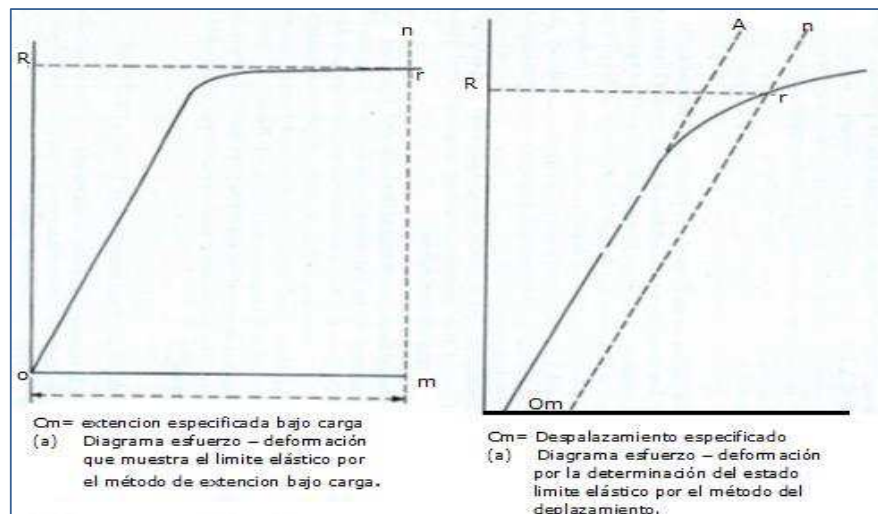
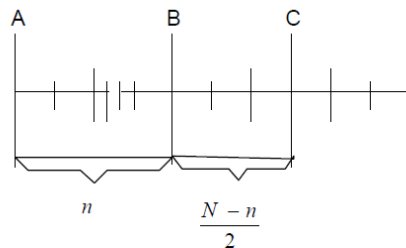


Figura 3. Límite de Elasticidad Convencional

6.9 Para evitar el rechazo de las determinaciones a que hace referencia el numeral 6.7, se divide la longitud entre marcas en N partes iguales y después del ensayo se designa con A la marca extrema del fragmento más corto y con B en el fragmento más largo, la división cuya distancia a la zona de rotura y la marca A . Si n es el número de intervalo entre A y B , el alargamiento de rotura se determina como sigue:

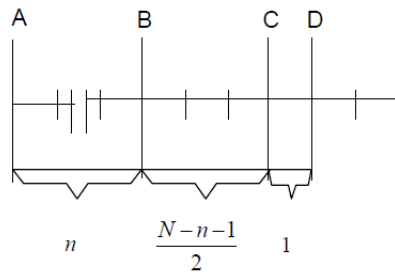
- a) Si $N-n$ es un número Par, se miden las distancias entre A y B y la distancia de B a la división C , situada a $(N-n)/2$ intervalos de B . El alargamiento de rotura resulta aplicando la fórmula:

$$A = \frac{AB + 2BC - L_0}{L_0} \times 100$$



- b) Si $N-n$ es un número impar, se mide la distancia entre A y B y la distancia de B a las divisiones C y D , situadas a $(N-n-1)/2$ y $(N-n+1)/2$ intervalos de B , respectivamente. El alargamiento de rotura resulta aplicando la fórmula:

$$A = \frac{AB + BC - L_0}{L_0} \times 100$$



Medida de la carga. La carga debe medirse con una precisión compatible con la especificación del material que se ensaye.

6.10 Reducción del área. Únanse los extremos del espécimen fracturado y mézase el diámetro promedio con la misma precisión de las medidas originales. La diferencia entre el área así encontrada y el de la sección transversal original, expresado como porcentaje de esta última, es la reducción de área.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME

7.1.1 De acuerdo con las especificaciones del producto se indicarán uno o varios de los siguientes valores:

- Esfuerzo de tracción.
- Límite de fluencia. Tracción en el límite de alargamiento permanente o tracción en el límite convencional de elasticidad.
- Alargamiento en porcentaje después de la rotura.



- Reducción en porcentaje, del área por construcción.
- Tipo de fractura y localización de la sección de rotura.
- Grado de exactitud de la probeta.
- Temperatura de ensayo.
- Datos referentes al origen, forma de obtención y preparación de la probeta.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 No existe información al respecto para este método.

8.2 DISPERSION

8.2.1 No existe información al respecto para este método.

MTC E 802**ENSAYO DE TENSION EN TORONES PARA CABLES DE ACERO****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer los procedimientos que deben seguirse para el ensayo de los torones que forman los cables utilizados en el preesfuerzo de concreto.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El ensayo de torones es un procedimiento muy importante para obtener la calidad de material que se está empleando en la concreto de pretensado.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM A 370 – Método de ensayo y definiciones para ensayos mecánicos de productos metálicos. Sección 16.

4.0 EQUIPOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.3.3 Máquina de tracción. Se utilizará una máquina de tracción similar a la que se utiliza en la norma "Ensayo de Doblamiento" con las modificaciones en los elementos de agarre que se señalan a continuación.
- 4.3.4 Elementos de sujeción. Las verdaderas propiedades mecánicas de los torones, se determinan por un ensayo en el cual la fractura de la muestra ocurre en la luz libre entre las mordazas de la máquina de ensayo. Debido a esto, es importante establecer un procedimiento de ensayo con un aparato apropiado, el cual produzca resultados aceptables.
- 4.3.5 Mordazas normalizadas tipo V con dientes aserrados. Tendrán un número aproximado de dientes de 600 a 1200/m (15 a 30 por pulg) y la longitud efectiva de agarre debe ser de 100 mm (4 pulg).
- 4.3.6 Mordazas normalizadas con dientes aserrados, usando material acolchado en este método se coloca un material acolchado entre mordazas para minimizar el efecto ranurador de los dientes. Entre los materiales que se han utilizado encontramos láminas de plomo, láminas de aluminio, tela de carborundo, láminas de bronce, etc.
- 4.3.7 Mordazas normalizadas con dientes aserrados, aplicando un tratamiento especial a la parte agarrada de la muestra. Uno de los métodos utilizados es el recubrimiento en el cual la porción agarrada se limpia y se recubre por múltiples capas de una mezcla de estaño fundido, mantenidas justamente por debajo del punto de fusión. Otro método de preparación es la colocación de los tramos agarrados, dentro de un tubo de metal o un conducto flexible, usando una resina epóxica como agente de unión. La porción colocada dentro del conducto debe tener aproximadamente el doble de la longitud de la onda de trenzado del cable.
- 4.3.8 Mordazas especiales suaves con muescas semicilíndricas. Las mordazas y la porción de la muestra que se colocará entre ellas se cubrirán con una lechada abrasiva que sostendrá el espécimen dentro de las muescas suaves, previniendo el deslizamiento. Esta lechada tendrá un abrasivo igual o similar al Oxido de aluminio grado 3-F y un suspensor tal como el agua o la glicerina.
- 4.3.9 Boquilla normalizada del tipo utilizado para los alambres de acero. La porción agarrada de la muestra se ancla en la boquilla con zinc. Usualmente se empleará el proceso normal utilizado en la industria de los cables de acero.
- 4.3.10 Uniones cerradas. Este tipo de elementos se encuentra disponible en tamaños diseñados para satisfacer cada tamaño de torón que se va a ensayar.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Para evitar los problemas que se presentan al cargar de manera no uniforme los torones, se deben fusionar juntos los extremos cortados del espécimen. Esta fusión puede realizarse por medio de corte con soplete del espécimen.
- 5.2 Si las temperaturas de fusión de metales empleadas durante el recubrimiento con láminas calientes o la colocación en boquilla con material metálico son muy altas, por encima de 370 °C, el espécimen puede ser afectado por el calor, con una subsecuente pérdida de resistencia y ductilidad. Cuando se usen estos métodos de preparación de las muestras, se deben mantener estrictos controles de temperatura.
- 5.3 Se puede presentar una falla prematura de las muestras si existe un apreciable agrietamiento, corte o doblamiento de las mismas por parte de los elementos de sujeción de la máquina de ensayo.
- 5.4 Cuando los torones no se carguen uniformemente, los resultados del ensayo pueden no ser representativos.
- 5.5 Las propiedades mecánicas de los torones pueden afectarse seriamente por un excesivo calentamiento durante la preparación de las muestras

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Resistencia a la fluencia. Para determinar la resistencia a la fluencia se usa un extensómetro Clase B-1. En la determinación de la resistencia a la fluencia y la determinación de la elongación puede usarse el mismo instrumento o dos instrumentos separados. Se recomienda utilizar dos instrumentos separados, ya que el extensómetro para determinar la resistencia a la fluencia es más sensitivo y puede dañarse cuando el torón se fracture.
- 6.2 Aplíquese una carga inicial del 10% de la resistencia a la rotura mínima esperada, luego colóquese el extensómetro y ajústese a una lectura de 1 mm/m (0,001 pulg/pulg) de longitud de medición del extensómetro. Luego incremente la carga hasta que el extensómetro indique un alargamiento del 1%. Registre la carga para esta extensión como la resistencia a la fluencia. El extensómetro se retirará de la muestra después que se ha determinado la resistencia a la fluencia.
- 6.3 Elongación. Para determinar la elongación, se recomienda usar un extensómetro Clase D, que tenga una longitud de medida no inferior a 610 mm (24"). Aplíquese una carga inicial del 10% de la resistencia al rompimiento mínima requerida. Luego colóquese el extensómetro y ajústese la lectura a cero. El extensómetro se puede remover del espécimen antes de la rotura y después de que la elongación mínima especificada haya sido excedida. No es necesario determinar el valor final de la elongación.
- 6.4 Los especímenes que se rompan fuera del extensómetro o en las mandíbulas y aun cumplan los valores mínimos especificados, se considera que satisfacen las propiedades mecánicas. Los especímenes que se rompen fuera del extensómetro, pero no satisfacen los valores mínimos especificados deben ser sometidos nuevamente a ensayo.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME

De acuerdo con la especificación para cables de alta resistencia se señalarán los siguientes valores

- Resistencia a la fluencia.
- Elongación.
- Tipo de fractura.
- Localización de la sección de rotura.
- Temperatura de ensayo.

Datos referentes al origen, forma de obtención y preparación de la muestra.

MTC E 803**ENSAYO DE DOBLAMIENTO****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer el método del ensayo de doblamiento para productos metálicos, para comprobar su ductilidad y tenacidad a temperatura ambiente en el estado de entrega o en el estado señalado.
- 1.2 El grado de severidad de la prueba de plegado es principalmente una función del ángulo de la curva del diámetro interior a la que el modelo previsto en el doblado, y variado según el lugar y la orientación de la muestra de ensayo con la composición química, propiedades de tracción, durezas, tipo, y la calidad del acero especificado. Método de prueba y método de ensayo E190 E 290 podrán ser consultados sobre las formas de realizar la prueba

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

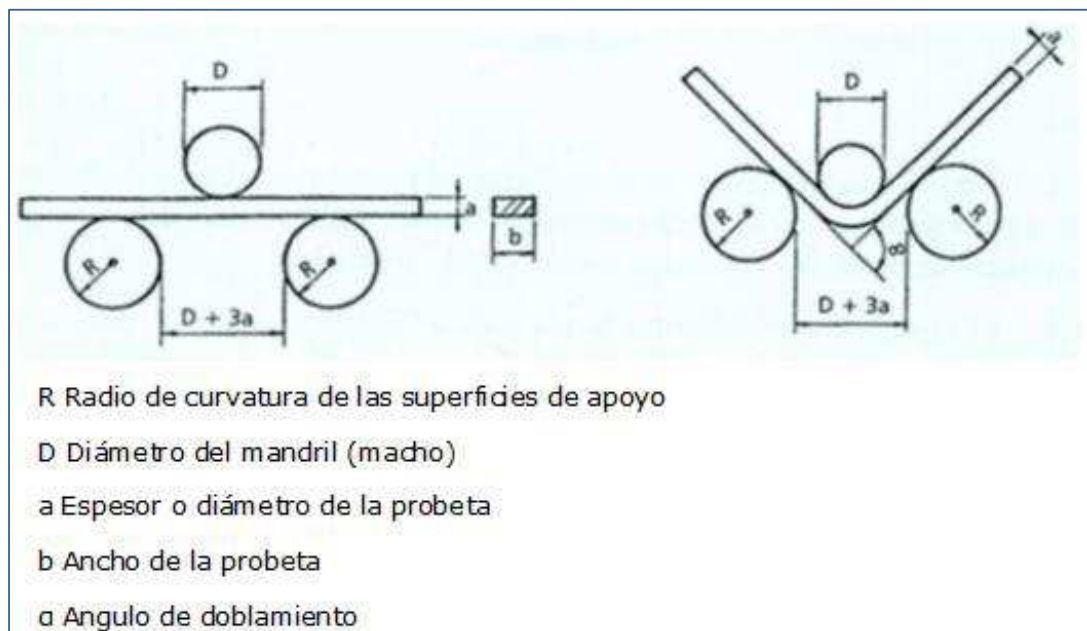
- 2.1 El ciclo de tiempo temperatura aplicada debe ser tal que los efectos de la transformación anterior no serán cambiados considerablemente. A menos que se especifique otra cosas que se permita la edad de las muestras.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM A 370 – Método de ensayo y definiciones para ensayos mecánicos de productos metálicos. Sección 16.

4.0 EQUIPOS

- 4.1.1 Dispositivo para la aplicación de la carga. Debe permitir la aplicación de la carga, en forma lenta y uniforme, sin choques ni vibraciones. En la especificación del producto debe indicarse la velocidad de carga.
- 4.1.2 Apoyos y mandril. Deben ser paralelos entre sí y tener una longitud superior al ancho de la muestra. Los medios de curvatura del mandril (macho) y de los rodillos de apoyo deben ser establecidos por la especificación del producto. La misma observación vale para la distancia entre rodillos de apoyo; cuando esta no se indique, se toma igual a $(D + 3a)$ (véase Figura1).

**Figura 1. Apoyos y mandril**

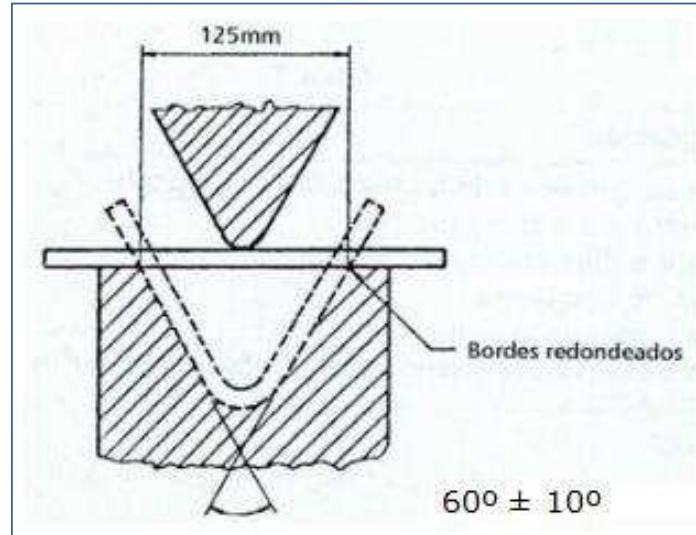


Figura 2. Matriz de doblamiento

Cuando no se especifique el radio de los rodillos, este será de 25 mm para $a \leq 12$ mm y 50 mm para $a > 12$ mm.

- 4.1.3 Matriz de doblamiento (Figura 2). Consiste en un bloque con perfil en forma de V. Las caras oblicuas de la matriz deben formar entre sí un ángulo de $60^\circ \pm 10^\circ$ y su abertura puede ser por lo menos igual a 125 mm. Los bordes internos de apoyo deben ser redondeados, con un radio máximo de 10 mm y pueden ser tratados térmicamente para aumentar su dureza.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Sección. En general, las muestras deben ser de sección rectangular con aristas levemente redondeadas. El radio de curvatura no debe ser menor de 1/10 del espesor de la probeta. Sin embargo, se considera válido un ensayo realizado sobre probetas con aristas no redondeadas, siempre que los resultados obtenidos sean satisfactorios.
- 5.2 Ancho. Se fija en general, en un valor comprendido entre 25 y 50 mm.
- 5.3 Espesor
- Productos planos y perfiles. El espesor de la muestra será el del material a ensayar, cuando no se especifique otra cosa. Si el espesor es mayor de 25 mm puede reducirse por maquinado de una de las caras, pero sin que resulte menor de 25 mm. La cara no maquinada debe ser siempre la parte exterior del doblamiento.
 - Barras. Para barras de acero de sección circular o poligonal, el ensayo puede efectuarse sobre un tramo de barra, si el diámetro (sección circular) o el diámetro del círculo inscrito (sección poligonal) no excede de 50 mm. Cuando dicho diámetro sobrepasa este valor, se debe reducir, pero sin que quede inferior a 20 mm.
- 5.4 Longitud. En el ensayo de doblamiento con matriz, la longitud de la muestra debe ser de 250 mm como mínimo.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Principio del método. Consiste en someter a deformación plástica una muestra de las características establecidas en el numeral 5 por medio de un doblamiento hecho sin invertir el sentido de flexión al ejecutarlo. La muestra se dobla hasta que una de sus ramas forme bajo carga un ángulo especificado, con la prolongación de la obra. El eje de la muestra debe permanecer en un plano perpendicular al eje de doblamiento.

En el caso de doblamiento a 180° , las dos ramas pueden, según lo especificado, aplicarse la una sobre la otra o quedar paralelas a una distancia determinada. Se puede hacer uso de una calza para fijar esta distancia a un valor deseado.

6.2 Procedimiento. Debe procederse aplicando la carga lenta y uniformemente, para no obstaculizar el deslizamiento del material, cuidando también que el eje de la muestra se mantenga perpendicular al doblamiento. El ensayo puede efectuarse de dos maneras:

- a) La muestra se coloca sobre los rodillos de apoyo y se dobla hasta el ángulo especificado. Si el doblamiento es mayor que el que puede alcanzarse por doblamiento sobre apoyos, debe completarse el ensayo como se indica en el numeral 6.3.

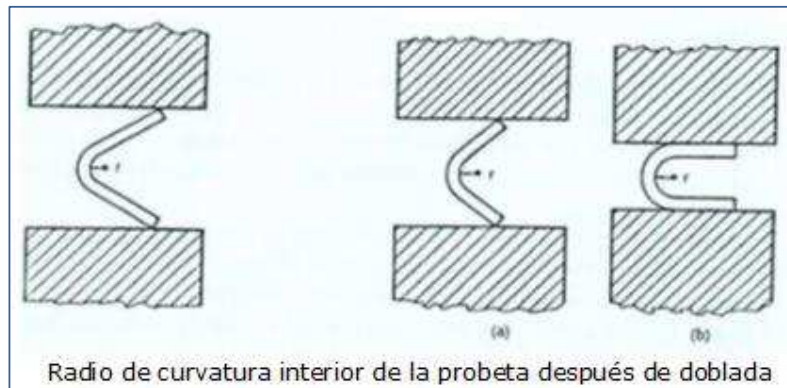


Figura 3. Prensa para alcanzar el ángulo especificado

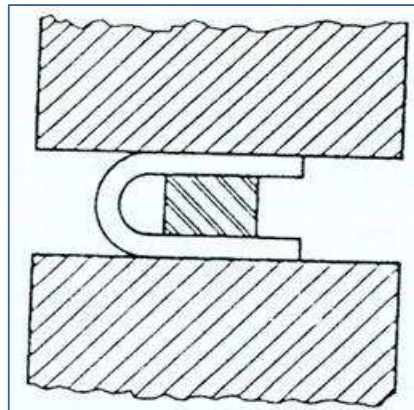


Figura 4. Calza para mantener el paralelismo

- b) El doblamiento de la muestra se efectúa sobre una matriz con perfil en forma de V (Figura 2). Si el ángulo especificado es mayor que el que puede alcanzarse por doblamiento sobre matriz, debe completarse el ensayo como se indica en el numeral 6.3
- c) Si con los métodos anteriores no es posible alcanzar el ángulo especificado, se debe completar el ensayo actuando directamente sobre las extremidades de la probeta mediante una prensa (Figura 3); si es necesario mantener el paralelismo a una distancia determinada, puede usarse una calza (Figura 4).

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME

7.1.1 Interpretación de resultados. La cara externa de la parte doblada debe examinarse después del doblamiento. La interpretación que se dé al aspecto de esta parte, se fija en la especificación del producto.

7.1.2 Presentación de resultados



- a) Indicaciones relativas a la forma y dimensiones, en mm, de la sección de la muestra.
- b) Naturaleza del maquinado, eventualmente ejecutado.
- c) Número de etapas en que se realizó el ensayo.
- d) El diámetro del mandril (macho) o el espesor de la calza utilizada en cada etapa.
- e) El ángulo de doblamiento y el radio de curvatura (si está especificado), alcanzadas por la muestra.
- f) Indicaciones relativas al hecho de haberse producido o no, rotura o fisuración.
- g) Datos de identificación del material del cual fue extraída la muestra.
- h) Temperatura del ensayo.
- i) Velocidad del ensayo.

MTC E 804

ENSAYO DE DUREZA BRINELL

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la resistencia a la penetración usando una máquina que incrusta una esfera dura bajo condiciones específicas dentro de la superficie ensayada, midiendo luego el diámetro de la impresión resultante cuando se ha removido la carga.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Una carga especificada es aplicada en la superficie plana de la muestra que se mide a través de una esfera de carburo de tungsteno de diámetro especificado. El diámetro promedio de la indentación usado como fundamento para el cálculo del número de dureza Brinell. El cociente de la carga aplicado es dividido por el área de la superficie de la indentación que se asume que es esférica.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM A 370 – Método de ensayo y definiciones para ensayos mecánicos de productos metálicos. Sección 16.

4.0 EQUIPOS

- 4.1.1 Máquina de ensayo. Una máquina que para ensayo de brinell es aceptable cuando el medidor de carga tenga una aproximación de ± 1 .
- 4.1.2 Microscopio de medida. Las divisiones de la escala del micrómetro del microscopio u otro dispositivo de medida utilizado en la medición del diámetro de la impresión deben ser tales que permitan la medida directa del diámetro hasta 0,1 mm y con estimación de este diámetro hasta 0,05 mm.
- 4.1.3 Una esfera Brinell normalizada: Las esferas Brinell normalizadas deberán tener 10 mm en diámetro con una tolerancia de este valor no mayor a 0,005 mm en cualquier diámetro. Una bola de carburo de tungsteno adecuado para su uso no debe mostrar un cambio permanente de diámetro superior a 0,001 mm cuando se presiona con una fuerza de 3000 kgf en contra de la probeta. Si la esfera muestra cambios permanentes en el diámetro superior que el que se especificó, los resultados serán no representativos, por lo que la esfera no se podrá utilizar en posteriores ensayos.

5.0 MUESTRA

- 5.1 El ensayo de dureza brinell prueba de dureza Brinell se realizan en zonas preparadas y suficiente metal se debe quitar de la superficie para eliminar descarburizados, metal y otras irregularidades de la superficie. El espesor de la pieza de prueba deberá ser tal que ningún bulto u otra marca que muestre el efecto de la carga aparecen en el lado de la pieza frente a la hendidura.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Es esencial que las especificaciones del producto aplicable de forma precisa la posición en la que la dureza Brinell hendiduras se deben hacer y el número de muescas elementos necesarios. la distancia del centro de las muescas del borde de la muestra o el borde de otro muescas deben tener al menos dos veces y media el diámetro de los huecos.
- 6.2 Medir dos diámetros de la indentación en un ángulo recto a una precisión de 0,1 mm, estimar a una precisión de 0,05mm, y promedio a una precisión de 0,05 mm. Si dos diámetros difieren por más de 0,1 mm descartar las lecturas y realizar una nueva indentación.
- 6.3 El ensayo de dureza brinell no es recomendada para materiales por encima de 650 HBW.
- 6.4 Si la esfera es usado en un ensayo de especificación que demuestra que el número de dureza Brinell es más grande que el límite para la esfera detallada en esta norma, la esfera deberá ser descartada también y reemplazada con una nueva esfera o deberá ser remedida para garantizar su conformidad con los requerimientos del método de Ensayo usar otra E10.

- 6.5 Magnitud de la carga de ensayo. La carga en el ensayo normalizado de dureza Brinell debe ser de 3000, 1500 ó 500 kgf. Es deseable que la carga de ensayo sea de tal magnitud que el diámetro de la impresión este en el intervalo de 2,50 a 6,00 mm (25,0 a 60,0 por ciento del diámetro de esfera).
- 6.6 El límite inferior en el diámetro de impresión es necesario, debido a la reducción en la sensibilidad del ensayo con la reducción en el tamaño de la impresión. El límite superior está influenciado por las limitaciones de desplazamiento del indentador en ciertos tipos de máquinas de ensayo.
- 6.7 No es absolutamente necesario que el ensayo Brinell esté de acuerdo con este intervalo HBW, pero debe tenerse en cuenta que se pueden obtener diferentes números de dureza Brinell para un material dado usando diferentes cargas sobre una esfera de 10 mm.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 El cociente de la carga aplicada dividida por el área de la superficie de la indentación que se supone ser esférica, llamada la Dureza del Numero Brinell (HBW) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$HBW = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

INFORME

- 7.1.2 Informar como resultado de ensayo el coeficiente de uniformidad obtenido del valor medio de dos o más series de ensayos, determinada con aproximación a la décima.



SECCION N° 9 DRENAJE

MTC E 901

RESISTENCIA A LA ROTURA DE TUBOS DE CONCRETO Y GRES POR EL METODO DE LOS TRES APOYOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer los requisitos para el ensayo de resistencia a la rotura para tubos de concreto y de gres por el método de los tres apoyos. Adicionalmente, se dan las pautas para la determinación de la carga D en tubos de concreto reforzada.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Control de calidad que se realiza para verificar que los tubos tengan suficiente resistencia para soportar las cargas del relleno que debe soportar según proyecto o como una prueba para proveer un diseño adecuado.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 AASHTO T 280: American Association of State Highway and Transportation Officials

4.0 EQUIPOS

- 5.1.1 Dispositivo para la aplicación de la carga debe cumplir las siguientes propiedades:

5.1.1.1 Ser lo suficientemente rígido para evitar deformaciones en alguna de sus partes.

5.1.1.2 Producir una distribución uniforme de carga, a través de la longitud ensayada (L).

5.1.1.3 Permitir que la aplicación de la carga se pueda incrementar a una velocidad no inferior a 21900 N/min (2230 kg/min) ni mayor a 36600 N/min (3730 kg/min) por cada metro de longitud ensayada.

5.1.1.4 El indicador de la máquina debe señalar la carga efectiva, que actúa sobre el tubo, con una precisión de $\pm 2\%$.

5.1.2 Apoyos inferiores (figura 1 y 2) deben cumplir las siguientes condiciones para obtener una distribución uniforme de la carga:

5.1.2.1 Ser de madera dura o de caucho endurecido y completamente recto. En caso de ser de caucho endurecido, deben tener una dureza al durómetro entre 45 y 60.

5.1.2.2 Ser de sección rectangular con un ancho superior a 50 mm y una altura no menor que 25 mm ni mayor que 40 mm.

5.1.2.3 Tener las aristas interiores, las cuales estarán en contacto con el tubo, debidamente redondeadas con un radio de 13 mm.

5.1.2.4 Estar firmemente asegurados a una viga de madera o de acero o directamente a una base de concreto. En todo caso, debe proveerse suficiente rigidez para permitir la aplicación de la máxima carga, sin que se produzca una flecha mayor que la señalada en la nota de la Tabla 1.

5.1.2.5 Tener los lados interiores paralelos y separados una distancia no mayor de 80mm por cada metro de diámetro del tubo, pero en ningún caso deberá ser inferior a 25 mm.

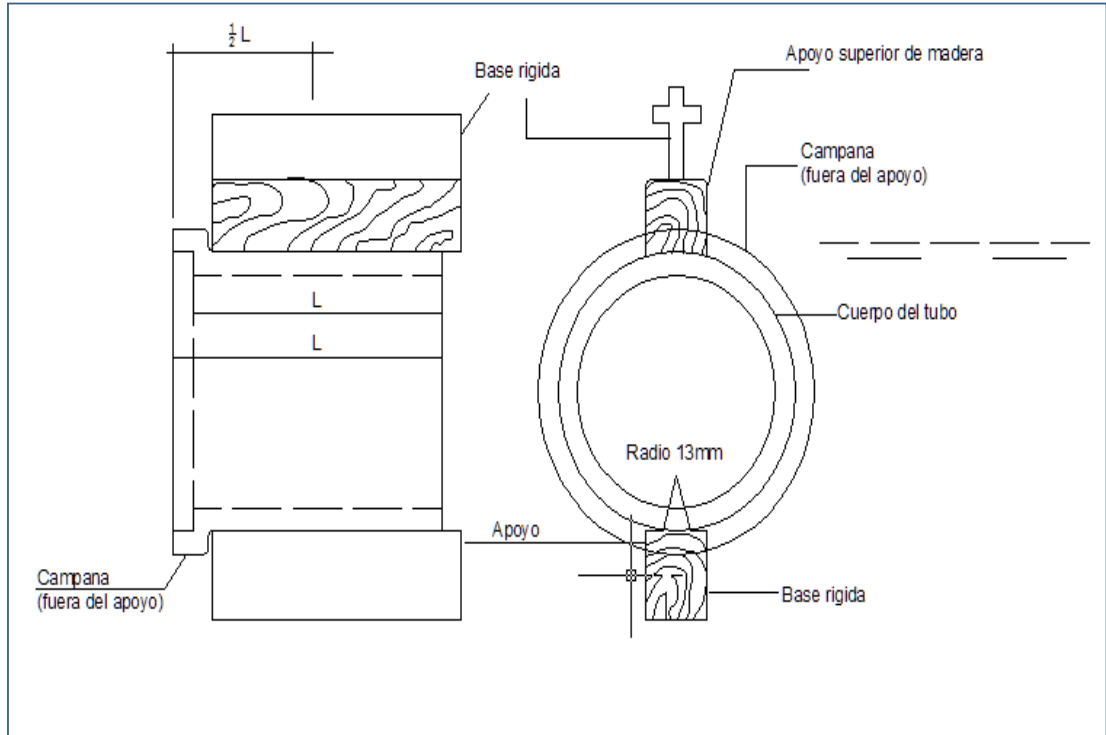


Fig. 1 Método de aplicación de la carga

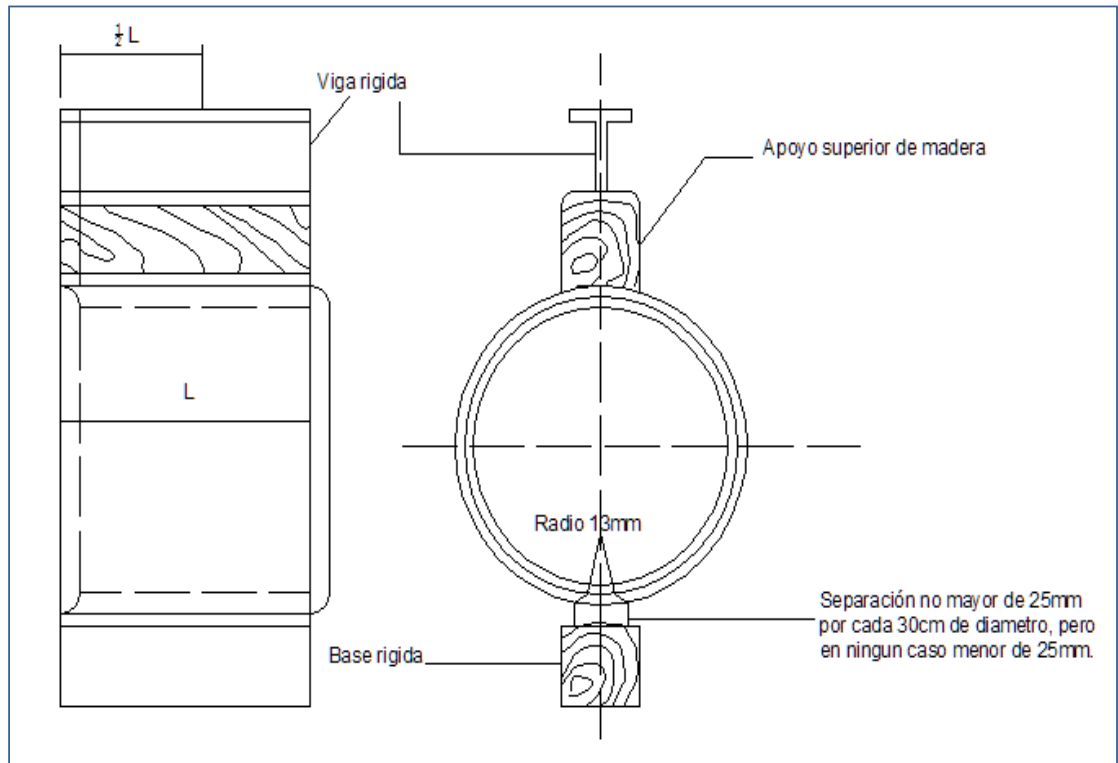


Fig. 2 Método de aplicación de la carga

Tabla 1
Alturas recomendadas de vigas de acero Tipo 1, en milímetros y pesos en kilogramos por metro para ser utilizadas en el ensayo de resistencia por el método de los tres apoyos

Capacidad de la máquina (kg)	Altura y pesos de las vigas	Longitud del tubo (m)									
		Con un gato			Con dos gatos			Con tres gatos			
		0,60	0,90	1,20	2,40	0,90	1,20	2,40	0,90	1,20	2,40
9,100	Altura mm Peso kg/m	75 9,7	125 18,2	150 22,0	----	----- -----	----- -----	----- -----	----- -----	----- -----	----- -----
22,700	Altura mm Peso kg/m	----	175 22,8	200 30,6	300 52,1	150 22,0	175 26,1	300 42,0	----- -----	----- -----	----- -----
45,400	Altura mm peso Kg/m	----	----	250 37,9	375 74,5	----	225 32,5	375 64,0	----	225 32,0	375 64,0
68,000	Altura mm Peso Kg/m	----	----	300 47,4	450 81,5	----	250 37,9	375 74,5	----	250 37,8	375 74,5
91,000	Altura mm Peso Kg/m	----	----	300 60,7	500 97,4	----	300 47,4	450 81,5	----	250 37,8	375 74,5

Nota. Estas vigas Tipo 1 están diseñadas para una flecha menor de 1/720 de la longitud del tubo, con la máxima capacidad de la máquina. Un solo gato estaría colocado en el centro del tubo, con dos gatos se colocaría cada uno en los puntos cuartos, con tres gatos se colocaría uno en el centro y los otros dos en los puntos octavos.

- 5.1.3 Apoyo superior (figura 1 y 2) debe cumplir las siguientes condiciones para obtener una distribución uniforme de las cargas.
 - 5.1.3.1 Ser una viga rígida de madera fura, sana, resistente, recta en toda su longitud, libre de nudos y en forma de paralelepípedo rectangular con una tolerancia máxima de 3 mm, por cada metro de longitud.
 - 5.1.3.2 Estar firmemente asegurado por una viga de acero de tales dimensiones que no permita deformaciones apreciable. (los tamaños mínimos se indican en la Tabla (1)).
 - 5.1.3.3 Puede tener una banda de caucho con una dureza entre 45 y 60, con un ancho no menor de 50 mm y un espesor no menor de 25 mm ni mayor de 37 mm.
 - 5.1.3.4 En lugar de la banda de caucho descrita, se puede utilizar arena, confinada en el momento de aplicar la carga.
- 5.1.4 Con el propósito de obtener una distribución uniforme de la carga, se pueden fundir sobre el tubo bandas longitudinales de mortero de yeso u otros materiales, que una vez curadas no excedan de 25 mm de altura en la superficie superior e inferior de los apoyos. El ancho de las bandas de mortero no puede ser mayor de 25 mm por cada 30 cm de diámetro del tubo y en ningún caso menor de 25 mm. La cara de la banda que puede en contacto con los apoyos debe ser plana.
- 5.1.5 Calibrador que se utilice se hará de una hoja metálica y de acuerdo con las dimensiones indicadas en la Figura 3.

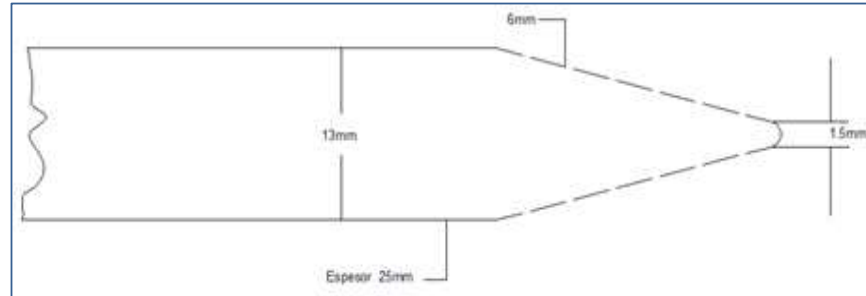


Figura 3. Calibrador

6.0 MUESTRA

6.1 Tubos de concreto y de gres.

7.0 PROCEDIMIENTO

7.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

7.1.1 El tubo que va a ser ensayado se colocará sobre los apoyos inferiores teniendo cuidado de que descansa en la forma más uniforme posible sobre ellos y a lo largo de toda su longitud.

7.1.2 Se marca en el tubo el punto medio entre los dos apoyos inferiores y se establece el punto diametralmente opuesto. Esto se hace para cada extremo del tubo.

7.1.3 Se coloca la viga superior (la que va a transmitir la carga) en tal forma que coincida con las marcas citadas en el numeral 6.1.2 y se alinea simétricamente en la máquina de prueba.

7.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

7.2.1 Se procede a aplicar la carga a la velocidad especificada en el numeral 4.1.1 hasta que aparezca una grieta con un ancho de 0,25 mm o hasta que se haya alcanzado la carga de rotura especificada.

7.2.2 Si se exigen ambos requisitos, es decir, la grieta de 0,25 mm y la carga de rotura, no habrá necesidad de mantener la velocidad de aplicación de la carga a partir del momento en que se presente la grieta mencionada.

7.2.3 La carga que produce una grieta de 0,25 mm de ancho en el tubo en una longitud mínima de 30 cm es la carga D que determina la resistencia del tubo al agrietamiento.

7.2.4 Se considera que la grieta tiene un ancho de 0,25 mm cuando el calibrador penetre sin forzarlo 1,5 mm en intervalos cortos y a lo largo de 30 cm.

8.0 CALCULOS E INFORME

8.1 CALCULOS

8.1.1 Para tubos de gres y de concreto simple, la resistencia R en kilogramos por metro (o newton por metro) se encuentra dividiendo la carga total sobre el tubo, entre la longitud ensayada.

$$R = \frac{\text{Carga total (kg ó N)}}{\text{Longitud ensayada (L) m} \times \text{diámetro interno (mm)}}$$

8.2 INFORME

8.2.1 En el informe del ensayo debe incluir:

- Identificación de la muestra
- Carga total (kg ó N) para producir agrietamiento o rotura
- Longitud ensayada (L) en metros
- Resistencia al agrietamiento o a la rotura
- Carga D en kg/m²

MTC E 902

ENSAYO DE ABSORCIÓN PARA TUBOS DE CONCRETO Y DE GRES

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el porcentaje de aumento en el peso de una muestra de la pared del tubo o un núcleo tomado de ella por inmersión en agua, para determinar la absorción de agua del espécimen cuando se ensaya de acuerdo con los procedimientos aquí descritos.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método es un ensayo de control de calidad para fijar los factores que gobiernan la absorción de los tubos terminados y transportados a su lugar de instalación

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 AASHTO T 280: American Association of State Highway and Transportation Officials

4.0 EQUIPO, MATERIALES E INSUMO

- 6.1 Horno ventilado
- 6.2 Tubos de concreto simple
- 6.3 Agua destilada o agua de lluvia
- 6.4 Papel o paño absorbente

5.0 MUESTRA

- 5.1 Los especímenes para el ensayo de absorción deben cumplir con los requerimientos aplicables indicados en la especificación de tubería correspondiente.
- 5.2 Las muestras no deben estar a una temperatura inferior a los 5°C durante las 24 horas anteriores.
- 5.3 Deben estar libres de humedad visible y no deben tener bordes astillosos ni agrietamientos notorios.
- 5.4 Las muestras se podrán tomar de los tubos utilizados en el ensayo de resistencia por el método de los tres apoyos.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 8.2.2 Séquense los especímenes en un horno ventilado de convección mecánica, a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta que en 2 pesadas sucesivas en un intervalo no menor de 6 horas, muestren una pérdida de peso no mayor de 0,1% con respecto al último peso determinado.
- 8.2.3 Los especímenes que tengan un espesor de 38 mm o menos se secarán por un mínimo de 24 horas. Los especímenes con un espesor de pared entre 38 y 75 mm se secarán por un mínimo de 48 horas. Los especímenes con un espesor de pared entre 38 y 75 mm se secarán por un mínimo de 48 horas. Los especímenes que tengan un espesor de pared mayor de 75 mm se secarán por un mínimo de 72 horas, úsese las últimas 6 horas para determinar si la muestra ha obtenido el peso apropiado o no.
- 8.2.4 Pénsense los especímenes tan pronto como sean sacados del horno.

8.3 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 8.3.1 Dentro de las siguientes 24 horas, colóquense los especímenes secos y pesados en un recipiente apropiado que contenga agua limpia con una temperatura de 10 a 24°C, úsese agua destilada o agua de lluvia, las cuales se sabe que no tienen efecto sobre los resultados.

Caliéntese el agua del recipiente que contiene la muestra hasta que ebulle, en no menos de 1 hora, ni en más de 2 horas. No se le aplique vapor al agua directamente, para acortar el período previo a la ebullición, hasta que se haya completado 1 hora de calentamiento con gas o electricidad. Déjese ebullición durante 5 horas al final de las cuales suspéndase el calentamiento y permítase el enfriamiento del espécimen dentro del agua, a temperatura ambiente, con pérdida natural de calor durante no menos de 14 horas, ni más de 24 horas.

- 8.3.2 Retírense los especímenes del agua y, colóquense sobre una superficie que permite su escurrimiento, por espacio de 1 minuto. Remuévase el agua superficial remanente con una pasada rápida de un papel o paño absorbente. Pése cada espécimen inmediatamente y regístrese el valor obtenido con precisión del 0,1%.

9.0 CALCULOS E INFORME

9.1 CALCULOS

- 9.1.1 La absorción de la muestra se determina dividiendo su aumento en peso después de someterla al procedimiento descrito, entre el peso de la muestra seca y expresándolo como un porcentaje de este último.

$$A = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100$$

Donde:

A = Porcentaje de absorción de la muestra.

W_h = Peso de la muestra húmeda.

W_s = Peso de la muestra seca.

9.2 INFORME

- 9.2.1 El informe del ensayo debe indicar lo siguiente:
- Resultado de cada una de las muestras ensayadas.
 - Identificación de cada una de las muestras.

10.0 PRECISION Y DISPERSION.

- 10.1 PRECISION. Dos de los resultados obtenidos del ensayo, tomados al azar, no variarán más de 0,89%.

MTC E 903**ENSAYO DE INFILTRACION EN TUBERIAS****1.0 OBJETO**

1.1 Determinar la velocidad de infiltración de las tuberías de concreto poroso, o concreto simple.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

2.1 Este ensayo es hecho como control de calidad, para establecer si los tubos terminados y listos para ser instalados, cumplen con los requerimientos indicados en la especificación correspondiente.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

3.1 AASHTO M 176M: American Association of State Highway and Transportation Officials

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 Tuberías de concreto poroso y simple

4.2 Agua destilada

5.0 MUESTRA

5.1 Se seleccionará un 0,5% de los tubos de cada tamaño que conformen cada lote, ensayando como mínimo dos tubos por lote.

6.0 PROCEDIMIENTO.**6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO**

6.1.1 Colóquese una sección de tubo con el extremo del espigo hacia abajo sobre una superficie de caucho suave e impermeable, o similar, y presiónese hacia abajo para prevenir escapes de agua a través del extremo del espigo del tubo.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

6.2.1 Introdúzcase un chorro de agua dentro del tubo, y determínese la distancia sobre el fondo de la sección porosa a la cual el nivel de agua se mantiene constante. El caudal introducido debe ser al menos igual a la infiltración mínima requerida para 0,3 m de tubo, la cual se da en las tablas de la especificación.

7.0 CALCULOS E INFORME**7.1 CALCULOS**

7.1.1 El caudal de infiltración por metro de tubería debe determinarse de la siguiente manera.

$$GPM = g / h$$

Donde:

GPM = Caudal infiltrado en litros por segundo por metro de tubo.

G = Litros por segundo de flujo introducido en el tubo del ensayo.

H = Altura en metros medida desde el fondo de la sección porosa del tubo, para la cual el nivel de agua permanece constante.

7.2 INFORME

7.2.1 En el informe del ensayo debe incluir:

- Identificación de la muestra
- Resultado de cada una de las muestras ensayadas.

MTC E 904

ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN TUBERIA

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la permeabilidad de las paredes de una sección de tubería.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Control de calidad que se realiza para establecer si los tubos terminados y listos para ser instalados, cumplen con los requisitos indicados en la especificación correspondiente.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 AASHTO T 280: American Association of State Highway and Transportation Officials.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

- 4.1 Tuberías de concreto
4.2 Agua destilada

5.0 MUESTRA

- 5.1 La muestra para el ensayo de permeabilidad estará constituida por el 2% del número de tubos de cada tamaño incluido en el lote de pedido, pero en ningún caso será menor de dos tubos.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Colóquese una sección de tubo con el extremo del espigo hacia abajo sobre una superficie de caucho suave impermeable o su equivalente, presionándolo hacia abajo para evitar escapes por la superficie de contacto.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.2.1 Manténgase lleno con agua hasta la base de la campana durante el período de ensayo. Hágase una inspección inicial 15 minutos después de que el ensayo haya comenzado. Si el tubo presenta cualquier indicio de humedad en la superficie exterior, continúese el ensayo por un período que no exceda las 24 horas. Examínese el tubo durante todo el tiempo del ensayo, para detectar cualquier presencia de Humedad o machones húmedos.

6.3 CRITERIOS DE ACEPTACION

- 6.3.1 Los tubos no deberán presentar escape ni exudaciones en la inspección inicial; si fuera necesario continuar con el ensayo, las manchas de humedad deberán desaparecer en las 24 horas siguientes como tiempo máximo.
- 6.3.2 Se aceptará el lote cuando por lo menos el 80% de los tubos ensayados cumpla con los requisitos establecidos en el numeral anterior.

TABLE 1 Physical and Dimensional Requirements of Porous Concrete Pipe					
Internal Designated Diameter.	Minimum Wall Thickness, T	Minimum Laying Length ⁴	Minimum Socket Depth L	Minimum	
				Strength Three Edge-Bearing	Minimum Infiltration
in	in	in	in	lb/ft	gal/min ft
4	1	24	1	1000	4
6	1	24	1	1100	6
8	1 ¼	24	1 ¼	1300	8
10	1 1/8	24	1 1/8	1400	10
12	1 ½	24	1 ½	1500	12
15	1 ¾	24	1 ¾	1750	15
18	2	24	2	2000	18
21	2 ¼	24	2 ¼	2200	21
24	2 ½	24	2 ½	2400	24

Normally the minimum laying length is 24 in. in length, but if the purchaser has no objections. The 18-in length pipe up to 12 in. in diameter may be supplied.

TABLE 2 Physical and Dimensional Requirements of Extra-Strength Porous concrete Pipe					
Internal Designated Diameter.	Minimum Wall Thickness, T	Minimum Laying Length ⁴	Minimum Socket Depth L	Minimum	
				Strength Three Edge-Bearing	Minimum Infiltration
in	in	in	in	lb/ft	gal/min ft
6	1 ¼	24	1 ¼	2200	6
8	1 ½	24	1 ½	2600	8
10	1 1/8	24	1 5/8	2800	10
12	2	24	2	3000	12
15	2 ¼	24	2 ¼	3200	15
18	2 ½	24	2 ½	3200	18

Normally the minimum taying length is 24 in, in length, but if the purchaser has no objections. Then 18-in length pipe up to 12 in, in diameter may be supplied

Table 3 Permissible Variations in Dimensions of Porous Concrete Pipe					
Limits of Permissible Variation					
Internal Designated Diameter	Internal Diameter ⁴	Wall Thickness ⁴	Length Two Opposite Sides	Length	Depth of Socket ⁴
in	in	in	in	in/ft	in
4	± ¼	-1/16	1/8	-1/4	-1/8
6	± 1/8	-1/16	¼	-1/4	-1/8
8	± ¼	-1/16	5/16	-1/4	-1/4
10	± ¼	-1/16	3/8	-1/4	-1/4
12	± ¼	-1/16	3/8	-1/4	-1/4
15	± ¼	-3/32	7/16	-1/4	-1/4
18	± ¼	-3/32	½	-1/4	-1/4
21	± ¼	-1/8	9/16	-1/4	-1/4
24	± ¼	-1/8	9/16	-3/8	-1/4

The minus sign (-) indicates that the plus variation is not limited: the plus and minus sign (±) indicates variation in both excess and deficiency in dimension.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 No existe información al respecto para este método

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 No existe información al respecto para este método

MTC E 905**DETERMINACION DE LA RIGIDEZ EN TUBERIAS DE PVC****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la rigidez en tuberías de PVC.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Control de calidad que se realiza para establecer si los tubos de PVC terminados y listos para ser instalados, cumplen con los requisitos indicados en la especificación correspondiente a su rigidez.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ITINTEC 399.080
3.2 ISO 9969

4.0 EQUIPOS

- 4.1.1 Se utilizará cualquier máquina de compresión debidamente calibrada, capaz de controlar el movimiento a una velocidad de $12,5 \text{ mm/min} \pm 0,5 \text{ mm/min}$. La máquina deberá contener placas de carga de longitud apropiada e indicador de deformación o deflexión.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Tubos de PVC

6.0 PROCEDIMIENTO**6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO**

- 6.1.1 Se cortarán tres especímenes por cada muestra de tubo, cada uno con una longitud de $150 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$.
- 6.1.2 Se determina la longitud de cada espécimen con aproximación de 1 mm, promediando al menos 4 mediciones igualmente espaciadas alrededor del perímetro del tubo.
- 6.1.3 Se mide el espesor de pared de cada espécimen con un micrómetro de tope esférico con aproximación de $\pm 0,02 \text{ mm}$. Se realizarán no menos de ocho (8) mediciones igualmente espaciadas alrededor de cada extremo y se calcula el espesor de pared promedio de los valores máximo y mínimo.
- 6.1.4 Se determina la línea de espesor mínimo de pared, si lo hay.
- 6.1.5 Se determina el diámetro exterior promedio con aproximación de 0,2 mm promediando el diámetro exterior máximo y mínimo, medidos con micrómetro o calibrador.
- 6.1.6 Se mide el diámetro interno promedio ya sea por la diferencia entre el diámetro exterior promedio y el espesor de pared promedio o midiendo directamente los diámetros interiores máximos y mínimos.

Este diámetro promedio se tomará como base para el cálculo del porcentaje de deflexión de todos los especímenes.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.2.1 Se cortarán tres especímenes por cada muestra de tubo, cada uno con una longitud de $150 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$.
- 6.2.2 Se sitúa la sección del tubo con su eje longitudinal paralelo a las placas de sosteniendo y centrado lateralmente en la máquina de ensayo.

- 6.2.3 Si fue encontrada la línea de mínimo espesor de pared, se coloca el primer espécimen en forma tal, que la pared más delgada éste en el tope de los especímenes y los siguientes se colocan girado 35° y 70°, respectivamente. Si no se identifica la línea de espesor de pared mínimo se utiliza cualquier línea base.
- 6.2.4 Con el indicador de deflexión en su posición inicial, se lleva la placa superior al contacto con el espécimen.
- 6.2.5 Se comprime el espécimen con una velocidad constante de 12.5 mm/min \pm 0.5 mm/min hasta una deflexión del 5% del diámetro inicial, para tubos de pared lisa y del 10% para tubos de pared corrugada

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 La rigidez del tubo en 5% o 10% de deflexión vertical, se determina de la siguiente manera:

$$\text{Rigidez del ducto, (kN/m) /m} = F/Dy$$

Donde:

F = Carga en kN por metro de longitud registrada en 5% o 10% de deflexión vertical.

Dy = Deflexión vertical del diámetro interior, en m.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 No existe información al respecto para este método.

MTC E 906

PERMEABILIDAD DE SUELOS GRANULARES (CARGA CONSTANTE)

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el coeficiente de permeabilidad mediante un método de cabeza constante para el flujo laminar de agua a través de suelos granulares.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Ensayo que se lleva a cabo para determinar la permeabilidad de los suelos granulares mediante una carga constante y establecer un valor representativo de su coeficiente de permeabilidad.
- 2.2 El procedimiento está destinado a establecer valores representativos del coeficiente de permeabilidad de suelos granulares presentes en depósitos naturales o colocados en terraplenes, o cuando se empleen como bases bajo pavimentos. Para limitar las influencias de consolidación durante el ensayo, este procedimiento está limitado a suelos granulares alterados que no contengan más de 10% de partículas que pasen tamiz de 75 μm (Nº 200).

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 AASHTO T 215: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- 3.2 ASTM D 2434

4.0 EQUIPOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Permeámetros, como se indican en la Figura 1, deberán tener cilindros para muestras con diámetro mínimo de aproximadamente 8 a 12 veces el tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la Tabla Nº 1. El permeámetro deberá ajustarse con: (1) un disco poroso o una malla reforzada adecuada para el fondo, con una permeabilidad mayor que la de la muestra de suelo, pero con aberturas suficientemente pequeñas para impedir el movimiento de partículas; (2) tomas de manómetros para medir la pérdida de carga, h , sobre una longitud, L , equivalente al menos al diámetro del cilindro; (3) un disco poroso o una malla adecuada reforzada con un resorte adherido a la parte superior, o cualquier otro dispositivo, para aplicar una ligera presión de resorte, de 22 a 44 N (5 a 10 lbf) de carga total, cuando la placa superior se halla colocada en su sitio. Esto mantendrá el peso unitario y el volumen del suelo sin cambio durante la saturación y durante el ensayo de permeabilidad, para satisfacer los requerimientos prescritos en el numeral 6.1.1.
- 4.1.2 Tanque de cabeza constante con filtro, como se muestra en la Figura 1, para suministrar agua y para remover aire de la conexión de agua, provisto de válvulas de control adecuadas para mantener las condiciones descritas en el numeral 6.1.1. Si se prefiere, puede emplearse agua desaireada.
- 4.1.3 Embudos amplios, equipados con canalones cilíndricos especiales de 25 mm (1") de diámetro para partículas de tamaño máximo de 9,5mm (3/8"), y de 12,7mm (1/2") de diámetro para partículas de tamaño de 2,00 mm (Nº 10).

La longitud del canalón deberá ser mayor que la longitud total de la cámara de permeabilidad por lo menos en 152 mm (6").

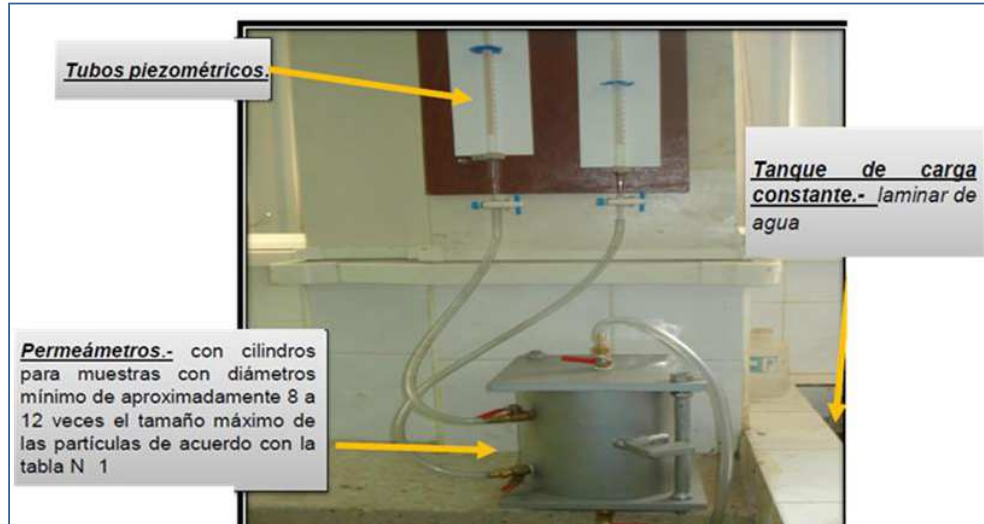


Figura 1. Equipo para determinar el Coeficiente de Permeabilidad de suelos granulares (carga constante).

**TABLA N. 1
DIAMETRO DEL CILINDRO**

Tamaño Máximo de partícula entre Abertura de tamices	Diámetro Mínimo del cilindro			
	% retenido (*) > 35%		% retenido (*) < 35%	
	2,00 mm (Nº 10)	9,5 mm (3/8")	2,00 mm (Nº 10)	9,5 mm (3/8")
2,0 mm (Nº 10)	75 mm (3")	150 mm (6")	115 mm (4,5")	230 mm (9")

(*) % retenido = suelo total retenido en el tamiz del tamaño indicado inmediatamente debajo.

- 4.1.4 Embudos amplios, equipados con canalones cilíndricos especiales de 25 mm (1") de diámetro para partículas de tamaño máximo de 9,5mm (3/8"), y de 12,7mm (1/2") de diámetro para partículas de tamaño de 2,00 mm (No.10).

La longitud del canalón deberá ser mayor que la longitud total de la cámara de permeabilidad por lo menos en 152 mm (6").

- 4.1.5 Equipo para la compactación del espécimen.- Puede emplearse el equipo de compactación que se considere deseable, Se sugieren los siguientes: un pisón vibratorio provisto de un pie de compactación de 50 mm (2") de diámetro; un pisón de impacto con un peso deslizante consistente de un pie apisonador de 50 mm (2") de diámetro, y una varilla para pesar deslizantes de 100 g (0,22 lb) (para arenas) a 1 kg (2,25 lb) suelos con un contenido apreciable de grava), que tenga una caída ajustable a 100 mm (4") para arenas y 200 mm (8") para suelos con alto contenido de grava.
- 4.1.6 Bomba de vacío o aspirador de chorro de agua, con grifo para evacuar y saturar muestras de suelo con vacío completo (Figura 2)



Figura 2. Bomba de vacío

- 4.1.7 Tubos manométricos con escalas métricas para medir cabeza de agua.
- 4.1.8 Balanza de capacidad de 2 kg y sensibilidad de 1 g.
- 4.1.9 Cucharón, con una capacidad de alrededor de 100 g (0,22 lb de suelo).
- 4.1.10 Equipos misceláneos.- Termómetros, reloj con apreciación de segundos, vaso graduado de 250 mL, jarra de 1 litro, cubeta para mezclar, cucharas, etc.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Deberá escogerse por cuarteo una muestra representativa de suelo granular secado al aire, que contenga menos del 10% de suelo que pase tamiz de 75 μm (Nº 200) y en cantidad suficiente para satisfacer las exigencias de los numerales 5.2 y 5.3.
- 5.2 Deberá ejecutarse el análisis granulométrico, sobre una muestra representativa de la totalidad del suelo antes del ensayo de permeabilidad. Las partículas mayores de 19,0 mm (3/4") deberán separarse por tamizado. Los sobretamaños no deberán emplearse para el ensayo de permeabilidad, pero deberá anotarse el porcentaje de los mismos.

Para establecer valores representativos de coeficientes de permeabilidad para el intervalo que pueda existir en la situación que se esté investigando, deberán obtenerse para ensayo muestras de los suelos más finos, intermedios, y más gruesos.

- 5.3 Del material del cual han sido removidos los sobretamaños (Véase el numeral 5.2.), escójase mediante cuarteo una cantidad aproximadamente igual a dos veces la requerida para llenar la cámara del permeámetro.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 CONDICIONES FUNDAMENTALES DE ENSAYO

- 6.1.1 Las siguientes condiciones ideales de ensayo son prerequisites, para el flujo laminar de agua a través de suelos granulares bajo condiciones de cabeza constante:

Continuidad de flujo sin cambios en el volumen del suelo durante el ensayo.

Flujo con los vacíos del suelo saturados con agua y sin burbujas de aire dentro de los mismos.

Flujo uniforme sin cambios en el gradiente hidráulico, y

Proporcionalidad directa de la velocidad de flujo con gradientes hidráulicos por debajo de ciertos valores críticos, en los cuales se inicia el flujo turbulento.

- 6.1.2 Todos los demás tipos de flujo que involucran saturación parcial de los vacíos del suelo, flujo turbulento, y flujo no uniforme son de carácter transitorio y producen variables y coeficientes de permeabilidad que dependen del tiempo, por esto, requieren condiciones y procedimientos especiales de ensayo.

6.2 PREPARACION DEL ENSAYO

- 6.2.1 El tamaño del permeámetro que va a emplearse deberá cumplir lo estipulado en la Tabla 1.

- 6.2.2 Efectúense las siguientes medidas iniciales en milímetros o en milímetros cuadrados: el diámetro interior "D" del permeámetro, la longitud "L" entre las salidas de manómetro; la profundidad "H1" medida en cuatro puntos simétricamente espaciados desde la superficie superior de la placa tope del cilindro de permeabilidad, hasta la parte superior de la piedra porosa superior, o de la malla, colocada temporalmente sobre la placa porosa o malla inferior. Esto deduce automáticamente el espesor de la placa porosa superior o malla de las medidas de altura tomadas para determinar el volumen del suelo colocado en el cilindro de permeabilidad. Puede también emplearse una placa duplicada para la parte superior, que tenga cuatro aberturas simétricamente colocadas, a través de las cuales se efectúan las medidas requeridas para determinar el valor promedio de "H1". Calcúlese el área de la sección transversal "A" de la muestra.
- 6.2.3 Tómese una pequeña parte de la muestra escogida como se prescribe en el numeral 5.3 para las determinaciones de humedad. Anótese el peso del remanente de la muestra secada al aire (numeral 5.3), W_1 , para las determinaciones de peso unitario.
- 6.2.4 Colóquese el suelo preparado mediante uno de los procedimientos siguientes, en capas delgadas uniformes aproximadamente iguales en espesor al tamaño máximo de las partículas después de compactadas, pero no menor de 15 mm (0,60"), aproximadamente.
- Para suelos con un tamaño máximo de 9,5 mm (3/8") o menos; colóquese en el aparato el tamaño apropiado de embudo, como se prescribió en el numeral 4.1.3, con el conducto en contacto con la placa porosa o malla inferior, o con la capa previamente formada, y llénese el embudo con suelo suficiente para formar una capa, tomando suelo de diferentes áreas de la muestra en la bandeja. Levántese el embudo a una altura de 15 mm (0,60"), o aproximadamente igual al espesor de la capa no consolidada que se va a conformar y distribúyase el suelo con movimiento lento en espiral, trabajando desde el perímetro del aparato hacia el centro, de manera que se forme una capa uniforme. Vuélvase a mezclar en la bandeja el suelo para cada capa sucesiva, con el fin de reducir la segregación que hubiera podido producirse.
 - Para suelos con un tamaño máximo mayor de 9,5 mm (3/8") distribúyase el suelo con un cucharón. Puede lograrse un extendido uniforme deslizando el cucharón con suelo en posición casi horizontal hacia abajo y a lo largo de la superficie interior hasta llegar al fondo o hasta la capa formada, inclinando luego el cucharón y levantándolo hacia el centro con un sencillo movimiento lento; esto permite al suelo correr suavemente sobre el cucharón sin segregación. Gírese suficientemente el cilindro para la cucharada siguiente progresando así en torno al perímetro interior para formar una "capa uniforme compactada de espesor igual al tamaño máximo de las partículas"
- 6.2.5 Compáctense capas sucesivas de suelo al peso unitario relativo deseado, mediante un procedimiento apropiado, como sigue, hasta una altura de alrededor de 20 mm (0,8") por encima de la salida del manómetro superior.

Peso unitario mínimo (Peso unitario relativo del 0%). Continúese colocando capas de suelo en forma sucesiva mediante uno de los procedimientos descritos en el numeral 6.2.4 hasta cuando el aparato esté lleno al nivel apropiado.

Peso unitario máximo (Peso unitario relativo del 100%).

- Compactación mediante el pisón vibratorio.- Compáctese perfectamente cada capa de suelo con el pisón vibratorio mediante golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie de la capa siguiendo una trayectoria regular. La presión de contacto y la duración de la acción vibratoria en cada punto no deberá hacer que el suelo escape por debajo de los bordes de la pata de compactación, tendiendo así a que se afloje la capa. Efectúese un número de coberturas suficientes para producir un peso unitario máximo, como quedaría evidenciado prácticamente cuando no haya movimiento visible de las partículas superficiales adyacentes a los bordes del pisón de compactación.

- Compactación mediante el pisón de peso deslizante.- Compáctese completamente cada capa de suelo mediante golpes de compactación uniformemente distribuidos sobre la superficie de la capa. Ajustese la altura de caída y proporcionense suficientes coberturas para producir el peso unitario máximo, de acuerdo con el tamaño de las partículas y con el contenido de grava del suelo.
- Compactación mediante otros métodos.- La compactación puede cumplirse mediante otros métodos aprobados, como los proporcionados mediante equipos de empaque vibratorios, en los cuales se tiene cuidado de obtener un espécimen uniforme sin segregaciones de partículas por sus tamaños.

Peso unitario relativo intermedio entre 0 y 100 %. Mediante tanteos, en un recipiente separado del mismo diámetro que el cilindro de permeabilidad, ajústese la compactación para obtener valores que puedan repetirse para el peso unitario relativo. Compáctese el suelo en el cilindro de permeabilidad mediante estos procedimientos en capas delgadas hasta una altura de alrededor de 20 mm (0,80") por encima de la salida del manómetro superior.

Con el fin de relacionar sistemáticamente y de manera representativa, las condiciones de peso unitario relativo que pueden regir en depósitos naturales o en terraplenes compactados, deberá efectuarse una serie de ensayos de permeabilidad que cubran el rango de los pesos unitarios. Relativos en el campo.

6.2.6 Preparación del espécimen para ensayo de permeabilidad.

Nivélase la superficie superior del suelo colocando la placa porosa o la malla superior en posición y rotándola suavemente a derecha e izquierda.

Mídanse y anótense: la altura final de la muestra, H1-H2, midiendo la profundidad, H2, desde la superficie superior de la placa tope perforado empleada para medir H1, hasta el tope de la placa porosa superior o malla, en cuatro puntos simétricamente dispuestos después de comprimir ligeramente el resorte para asentar la placa porosa o la malla durante las medidas, el peso final secado al aire del suelo empleado en el ensayo (W1-W2), pesando el remanente de suelo dejado en la bandeja. Calcúlense y anótense los pesos unitarios, la relación de vacíos, y el peso unitario relativo de la muestra de ensayo.

Con el empaque en su sitio, presiónese hacia abajo la placa superior contra el resorte y fíjese seguramente en la parte superior del cilindro del permeámetro, produciendo un sello a prueba de aire. Esto satisface la condición descrita en el numeral 6.1.1 de mantener el peso unitario inicial, sin cambio significativo de volumen durante el ensayo.

Empleando una bomba de vacío o una aspiradora adecuada, aspírese la muestra, bajo 500 mm (20") de mercurio como mínimo, durante 15 minutos, para remover el aire de los vacíos y el adherido a las partículas. Continúese la operación mediante una saturación lenta de la muestra de abajo hacia arriba (Figura 2), bajo vacío total, con el fin de liberar cualquier aire remanente en la muestra. La saturación continuada de la muestra puede mantenerse más adecuadamente mediante el uso de: (1) agua desaireada, (2) de agua mantenida a una temperatura de flujo suficientemente alta para causar una disminución, del gradiente de temperatura en el espécimen durante el ensayo. Podrá emplearse agua natural o agua con bajo contenido de minerales, pero deberá anotarse en el formato de ensayo, en cualquier caso, el fluido utilizado. Esto satisfará la condición descrita en el numeral 6.1.1 para la saturación de los vacíos del suelo.

- Agua natural es la que se presenta in situ en el suelo o en la roca. Debería emplearse esta agua, pero (al igual que el agua desaireada), puede ser un refinamiento poco práctico para la ejecución de ensayos en gran escala.
- Después de saturado el espécimen y que el permeámetro se encuentre lleno de agua, ciérrase la válvula del fondo sobre el tubo de desagüe y desconéctese el vacío. Debe tenerse cuidado de constatar que el sistema de flujo de permeabilidad y que el sistema de manómetros se hallen libres de aire y estén trabajando satisfactoriamente. Líñese

el tubo de admisión con agua proveniente del tanque de carga constante, abriendo ligeramente la válvula del filtro del tanque. Conéctese el tubo de admisión al tope del permeámetro, ábranse ligeramente la válvula de admisión y los grifos del manómetro de salida, para permitir que fluya el agua, eliminándose así el aire. Conéctense los tubos manométricos de agua con las salidas de manómetro, y llénense con agua para remover el aire. Círrrese la válvula de admisión y ábrase la de desagüe, para que el agua alcance, en los tubos manométricos, un nivel estable con cabeza cero.

6.3 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

6.3.1 Abrase ligeramente la válvula de admisión del tanque filtrante para la primera prueba hasta lograr las condiciones descritas en el numeral 6.1.1, absteniéndose de tomar las medidas de gasto y de cabeza hasta que se alcance una condición de cabeza estable sin que exista variación apreciable de los niveles de los manómetros. Mídase y anótese el tiempo, "t", la cabeza, "h", (diferencia de nivel en los manómetros), el gasto, "Q", y la temperatura del agua, "T".

6.3.2 Repítanse las pruebas con incrementos de cabeza de 5 mm para establecer exactamente la zona de flujo laminar con velocidad, v (siendo $v=Q/At$) directamente proporcional al gradiente hidráulica, "i" (siendo $i = h/L$). Cuando se hagan potentes las desviaciones de la relación lineal, indicando con ello la iniciación de condiciones de flujo turbulento, pueden emplearse intervalos de cabeza de 10 mm para llevar el ensayo suficientemente dentro de la zona del flujo turbulento como para definir esta zona si esto fuere significativo para las condiciones del campo.

Se requieren valores mucho más bajos del gradiente hidráulico h/L , de los que generalmente se reconocen para asegurar condiciones de flujo laminar. Se sugieren los siguientes valores: compactación suelta, relaciones de h/L de 0,2 a 0,3; y compactación densa, relaciones de h/L de 0,3 a 0,5. Los valores menores de h/L se aplican a suelos gruesos y los mayores a suelos finos.

6.3.3 Al concluir el ensayo de permeabilidad, drénese y examínese la muestra para establecer si era esencialmente homogénea y de carácter isotrópico. Cualquier clase de rayas o capas horizontales alternadas claras y oscuras son evidencia de la segregación de finos.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Calcúlese el coeficiente de permeabilidad, k , así:

$$k = \frac{Q \times L}{A \times t \times h}$$

Donde:

K = Coeficiente de permeabilidad.

Q = Gasto, es decir cantidad de agua descargada.

L = Distancia entre manómetros

A = Área de la sección transversal del espécimen

t = Tiempo total de desagüe.

h = Diferencia de cabeza (altura) sobre los manómetros

7.1.2 Corriójase la permeabilidad (para la que corresponde a 20°C), multiplicando k por la relación de la viscosidad de agua a la temperatura del ensayo con respecto a la viscosidad del agua a 20°C.

7.2 INFORME

7.2.1 El informe del ensayo de permeabilidad deberá incluir la siguiente información:

Proyecto, fechas, número de la muestra, sitio, y cualquier otra información pertinente.

Análisis granulométrico, clasificación, tamaño máximo de partícula, y porcentaje de cualquier sobretamaño de material no utilizado.



Peso unitario seco, relación de vacíos, peso unitario relativo al cual se colocó el material, pesos unitarios máximo y mínimo.

Relación de cualquier desviación de estas condiciones de ensayo, de manera que los resultados puedan evaluarse y emplearse.

Datos completos de ensayo, como se indican en el formato para los datos de ensayo y curvas de ensayo que representan velocidad, Q/At , contra el gradiente hidráulico, h/L , que cubran la extensión de las identificaciones de suelo y de pesos unitarios relativos.



SECCION N° 10 MISCELANEOS

MTC E 1001**MEDIDA DE LA IRREGULARIDAD SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO MEDIANTE LA REGLA DE TRES METROS, ESTÁTICA O RODANTE****1.0 OBJETO**

- 1.1 Describir el procedimiento que debe seguirse para la medida de las irregularidades superficiales de los pavimentos de carreteras.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Describe dos procedimientos y dos aparatos para medir la irregularidad de la superficie de un pavimento. El primero, A, es la regla estática de 3 metros; el segundo, B, es la regla rodante de 3 metros. Ambos procedimientos son semejantes y su diferencia principal estriba en la posibilidad de realizar las medidas de forma discreta y lenta (regla estática) o continua y rápida (regla rodante).
- 2.2 Los valores y resultados obtenidos por cualquiera de los aparatos referidos, representan una característica determinada con estos procedimientos y no tienen por qué ser proporcionales o similares a los determinados con otros equipos o métodos.
- 2.3 Las irregularidades superficiales son por naturaleza aleatorias; consecuentemente no se especifica un método rutinario para el muestreo.
- 2.4 La conformidad dentro de los límites especificados para la irregularidad es fundamental en la valoración de la calidad de un pavimento nuevo. Las irregularidades en una superficie pueden causar variaciones importantes en la carga dinámica de la rueda, impedir el drenaje del agua de la superficie, en detrimento de la durabilidad de la carretera, e influir adversamente en la conducción del vehículo, seguridad, gastos, circulación y confortabilidad.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NLT-334/98: "Medida de la irregularidad superficial de un pavimento mediante la regla de tres metros estática o rodante."

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES**4.1 REGLA ESTÁTICA**

- 4.1.1 Regla estática, La regla tendrá (3000 ± 1) mm de longitud y estará construida rígidamente de forma que, suspendida de sus extremos, su borde de medida no se desviará de su verdadero plano en más de $\pm 0,5$ mm en cualquier punto. La regla será recta también en toda su longitud y no se desviará de esta condición en más de 1,5 mm, el ancho horizontal del borde de medida será de (25 ± 1) mm.
- 4.1.2 Cuña calibrada, para medir las irregularidades. Estará construida rígidamente y tendrá (3000 ± 1) mm de largo y (25 ± 1) mm de ancho. Dispondrá de marcas permanentes grabadas en su plano inclinado, cada 1 mm, de forma que su altura verdadera venga definida por una tolerancia máxima de $\pm 0,1$ mm en cada una de las marcas.
- 4.1.3 Tanto la regla como la cuña calibrada se marcarán de forma indeleble con una misma y única referencia, para que su uso sea siempre conjunto.

4.2 REGLA RODANTE

- 4.2.1 Regla rodante de 3 metros. El aparato (figura 1) consiste en una viga rígida (flecha inferior a 200 μ m) apoyada en dos ruedas, una en cada extremo, cuya distancia entre ejes es de (3000 ± 1) mm. En el punto medio se dispone una rueda medida que se puede desplazar vertical y libremente, a la que se acopla un dispositivo para medir aquellos desplazamientos en un recorrido de ± 30 mm con una precisión de, como mínimo, ± 1 mm. El sistema de lectura podrá ser gráfico o digital. También podrá adaptarse un mecanismo provisto de dos indicadores luminosos que se enciendan cuando la medida supere unos límites que se establezcan previamente según la especificación aplicable. En el extremo posterior el aparato dispone de un manillar con dos brazos para conducirlo. Una de las

- ruedas extremas, preferiblemente la delantera, tendrá un eje de giro vertical que permita guiar el aparato mediante un cable con mando accionado desde el manillar.
- 4.2.2 Material auxiliar, calibrador, cinta métrica de 25 m, pintura y pincel, señales de tráfico adecuadas según la normativa vigente.

5.0 MUESTRA

- 5.1 No existe información al respecto para este método

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 REGLA ESTÁTICA

- 6.1.1 La zona en la que se va a realizar la medida se limpia de detritos, o de cualquier elemento suelto ajeno a la carretera.
- 6.1.2 Se coloca la regla sobre la superficie y perpendicular a ésta. Esto se puede hacer en cualquier dirección, paralela o transversalmente al sentido de la circulación. La regla se desplaza sobre la superficie del pavimento para determinar la irregularidad máxima en la zona que se ensaya. (Nota 1)

Nota 1. Este procedimiento se puede utilizar para medir la profundidad de los ahuellamientos formados en las carreteras que estén en servicio.

- 6.1.3 Situada la regla en el punto de medida se coloca la cuña calibrada sobre la superficie con un contacto firme. La cuña estará perpendicular al borde de medida de la regla. La medida se hará por ambos lados de la regla entre los dos puntos de contacto entre ésta y la superficie del pavimento.
- 6.1.4 Se determina la distancia, entre el borde de medida de la regla y la superficie, insertando la cuña en el huelgo formado por aquellas y leyendo el valor de esta distancia en la escala grabada en el plano oblicuo de la cuña. Se realizan las medidas necesarias para determinar, en cada posición de la regla, la distancia mayor entre ésta y la superficie del pavimento. Esta distancia definirá la irregularidad en esa zona o punto de ensayo.
- 6.1.5 Las medidas se realizarán con aproximación de ± 1 mm.
- 6.1.6 En superficies de pavimentos recién construidos los requisitos para la especificación sobre irregularidad se entenderán para los ensayos realizados antes de la apertura al tráfico y tan pronto como sea posible después de colocada la capa. Si estas circunstancias no son la de ensayo, se deben recoger en el informe junto con los resultados.

6.2 REGLA RODANTE

- 6.2.1 Comprobación en el laboratorio. En el laboratorio se situará el aparato sobre una superficie perfectamente plana, que puede ser una regla de más de 3 m de longitud. Se medirá con un calibrador la distancia mínima entre la parte superior de la rueda de medida y la parte inferior de la regla, anotándose este valor. Se medirán igualmente cuatro o más radios de cada rueda, regularmente distribuidos en su circunferencia. Estas medidas diferirán entre sí menos de 1 mm para cada rueda. Si las longitudes de dos cualesquiera de los radios antes medidos difieren en 1 mm o más, deberá corregirse la circunferencia de la rueda, mecanizándola o sustituyéndola por otra que cumpla las condiciones anteriores. Se anotará la longitud del radio medio de la rueda de medida.
- 6.2.2 Se comprobará finalmente que el valor señalado por el dispositivo de lectura (digital, gráfico, etc.) de la medida se corresponde justamente con los desplazamientos verticales de la rueda de medida. Para esta comprobación se utiliza el calibrador.
- 6.2.3 Preparación en el campo. En la zona o área para ensayo, con el aparato apoyado sobre la superficie del pavimento, se medirá la mínima distancia entre la parte superior de la rueda de medida y la parte inferior de la regla, comprobándose que la diferencia entre esta medida y la anotada en el laboratorio es igual a la indicación del cuadrante. Si estas lecturas fuesen distintas, se corregirá tal lectura mediante el ajuste que para tal fin tiene la varilla de transmisión rueda-dispositivo de

lectura; si se trata de registro gráfico, se coloca la plumilla de modo que sobre el papel marque la lectura correctamente. Si la regla dispone de indicadores luminosos, se fijan sus contactos de forma que se enciendan cuando las irregularidades medidas en la superficie del pavimento sobrepasan los límites que establezca en cada caso, las especificaciones técnicas.

- 6.2.4 Situación de las medidas. Se debe efectuar una inspección previa del tramo o tramos del pavimento que se va a ensayar. Si es posible, se obtendrán los planos del trazado definitivo de los tramos, sobre los que se anotan, en su lugar, los siguientes datos o circunstancias:
- Origen y fin del tramo para ensayo; se marcan en la calzada, en la berma o en una referencia fija muy visible.
 - Los puntos kilométricos y las distancias de éstos a las referencias fijas.
 - Las referencias fijas existentes fuera de la calzada y visibles desde un vehículo en marcha lenta circulando por la calzada.
 - Las zonas de tráfico conflictivo o de falta de visibilidad, en los que se aumentará la señalización pertinente para los conductores o se desviará el tráfico.
- 6.2.5 Se tomará como mínimo una línea o perfil en el carril derecho por cada sentido de circulación. Los perfiles se pueden situar a 1,00 m y a 2,50 m del borde derecho del carril, en el sentido de circulación, para anchos de carril de 3,50 m o más, y a 0,80 m y 2,30 m en los restantes casos.
- 6.2.6 Se sitúa la regla en sentido de marcha en la línea y punto señalado para el comienzo de las medidas. Se anota las distancias de éste respecto a las referencias fijas. En caso de disponer de registro gráfico se marca sobre él esta distancia.
- 6.2.7 El examen de las irregularidades de la superficie de un pavimento se puede realizar con dos criterios distintos:
- a) Registro de defectos. Se anotan los puntos y zonas en los que la medida dada por la regla supera a la establecida según la especificación aplicable. Si el aparato dispone de registro gráfico no es necesario efectuar estas anotaciones, pero sí marcar en éste los pasos por las referencias fijas. Sobre el pavimento se marcan con pintura los puntos y zonas con estas irregularidades a efectos del control de construcción.
 - b) Método estadístico. Se anotan las medidas de irregularidad máximas (positivas o negativas) obtenidas con la regla en tramos de longitud prefijada, por ejemplo, 10m, consecutivamente. Si el aparato dispone de registro gráfico no es necesario efectuar estas anotaciones, pero sí marcar en éste los pasos por las referencias fijas. Este criterio es el que se utiliza para el estudio o control del estado general de tramos de carretera y de la evolución de la seguridad superficial en los pavimentos en servicio. No es necesario, por tanto, marcar estos puntos con pintura.

7.0 CALCULOS E INFORME

- 7.1 El informe de los resultados referirá al menos las siguientes circunstancias:
- a) laboratorio o persona(s) que efectuaron el ensayo.
 - b) nombre del cliente.
 - c) descripción e identificación del ensayo incluyendo localización, carretera, calzada, puntos kilométricos, carril y berma, y si el pavimento ha sido puesto en servicio o no.
 - d) fecha(s) de la realización del ensayo(s).
 - e) procedimiento de ensayo y especificaciones.
 - f) puntos kilométricos, de proyecto o de explotación, o desde el origen de la línea de ensayo, en los que se observa el defecto, irregularidad, o comienza la zona defectuosa (método estadístico, regla rodante).
 - g) longitud de la zona defectuosa.

- h) distancias a referencias fijas
- i) observaciones visuales sobre el pavimento, causas posibles del defecto como juntas de losa, tablero o de fábrica, etc.

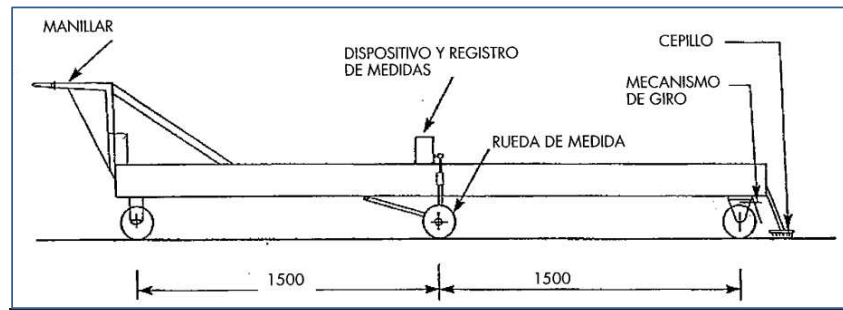


Figura 1. Regla rodante de tres metros



Formato

MTC						
Trabajo N° Denominación Hoja N°						
Medidas de regularidad superficial con regla rodante de 3 m.						
Vía						
Calzada			Carril			
Tramo del PK			Fecha			
Distancia al borde calzada						
P.K. de comienzo Zona defectuosa	Longitud de Perfil con flecha				Flecha máxima en la Zona mm	Observaciones
	> 3 a 5 mm	> 5 a 8 mm	> 8 a 10 mm	> 10 mm		

- 8.0 PRECISION Y DISPERSION**
- 8.1 No existe información al respecto para este método

MTC E 1002

MEDIDA DE LA DEFLEXION DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN

1.0 OBJETO

- 1.1 Detallar el procedimiento para determinar con una viga Benkelman la deflexión o deformación recuperable, el radio de curvatura y el cuenco de deflexiones de un pavimento flexible, producidos por una carga estática. Para tal fin se utiliza un camión donde la carga, tamaño de llantas, espaciamiento entre ruedas duales y presión de inflado están normalizadas.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 La deflexión, es la deformación elástica que sufre un pavimento bajo la acción de una carga rodante normalizada. Mediante ella es posible evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura debido a las sollicitaciones del tránsito que lo utiliza.
- 2.2 El campo de aplicación de estas mediciones es muy amplio, empleándose principalmente para determinar la vida útil remanente de un pavimento, evaluar estructuralmente los pavimentos con fines de mantenimiento, mejoramiento o rehabilitación, evaluar los métodos de diseño de pavimentos y control de ejecución de obras, evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura debido a las sollicitaciones del tránsito que lo utiliza, y establecer si éste presenta suficiencia sin presentar fatiga estructural creciente.
- 2.3 El método consiste en medir la deformación producida en la superficie del pavimento por la aplicación de una carga normalizada.
- 2.4 El dispositivo mecánico utilizado es la Viga Benkelman de brazo simple o doble, equipo que mide los desplazamiento verticales de un punto de contacto situado entre las ruedas duales del eje de carga, para una presión de inflado en los neumáticos de 80 psi y una carga de 8.2 t en el eje posterior del camión.
- 2.5 La superficie de pavimento a medir mediante este método debe estar seca y libre de suciedad o material suelto que, bajo tránsito normal, será removido.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 4695: "Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements".

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPO

- 4.1.1 Viga simple de un solo brazo con su correspondiente dial (al 0,01 mm y recorrido de 12 mm) y las siguientes características:

De acuerdo al esquema de la Figura 01, la viga consta esencialmente de dos partes:

1. Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos: dos delanteros fijos A y uno trasero regulable B.
2. Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote C, uno de cuyos extremos se apoya sobre el terreno - punto D; y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago del dial de movimiento vertical - punto E (DC = 2,44m, CE = 0,61 m). Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas.

El extremo D o punta de la viga es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero del camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo C, con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo E produzca un

movimiento vertical en el vástago, generando así una lectura en el dial. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto D se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial.

La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto D de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto D al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el dial - EE' no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes (Figura 01).

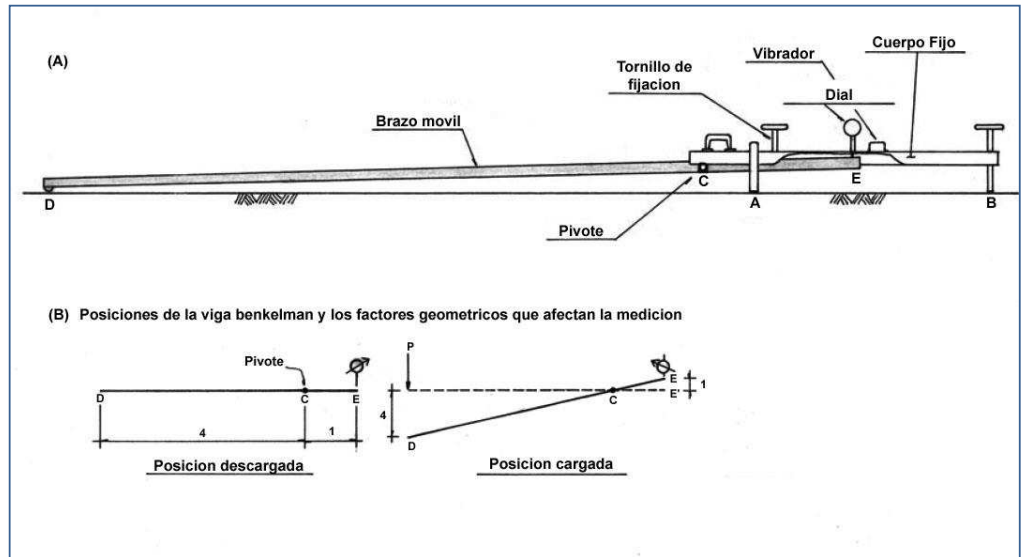


Figura 1

4.1.2 Viga Benkelman de doble brazo con sus correspondientes diales (al 0,01 mm y recorrido de 12 mm) y las siguientes dimensiones:

- Longitud del primer brazo (brazo largo), desde el pivote al punto de prueba es 2,44 m.
- Longitud del primer brazo (brazo largo), desde el pivote al punto de apoyo del vástago del dial es 0,61m.
- Longitud del segundo brazo (brazo corto), desde el pivote al punto de prueba es 2,19 m.
- Longitud del segundo brazo de ensayo, desde el pivote al punto de apoyo del vástago de su dial registrador = 0,5475 m

La única diferencia entre la viga Benkelman simple y de doble brazo, radica en el segundo brazo adicional (brazo corto), cuyo punto de apoyo sobre el terreno se encuentra a 25 cm de distancia del primer brazo (brazo largo).

4.1.3 Un camión para ensayo con las siguientes características, el eje trasero pesará en la balanza 8,2 toneladas, igualmente distribuidos en sus ruedas duales y estará equipado con llantas de caucho y cámaras neumáticas. Las llantas deberán ser 10" x 20"; 12 lonas e infladas a 5,6 kg/cm² (80 libras por pulgada cuadrada). La distancia entre los puntos medios de la banda de rodadura de ambas llantas de cada rueda dual deber ser de 32 cm.

4.1.4 Reloj convencional con indicador de segundos.

4.1.5 Termómetro convencional o sistema de termopares con escala de -10 °C a 50 °C y precisión de 1 °C.

- 4.1.6 Manómetro, que disponga de una boquilla adecuada para medir la presión de inflado.
- 4.1.7 Cinta métrica, de 25 m de longitud. Puede sustituirse con ventaja por un cuentametros y una cinta métrica de bolsillo de 2 ó 3 m de longitud.
- 4.1.8 Martillo y clavos de acero, o taladro, adecuados para practicar orificios en el pavimento hasta 5 cm de profundidad.
- 4.1.9 Cuña o calzo de parada, de chapa metálica o de madera.
- 4.1.10 Tizas y pintura para marcar el pavimento. Silbato y otro avisador acústico.
- 4.1.11 Aceite o material de similar inercia térmica y viscosidad.

5.0 PROCEDIMIENTO

- 5.1 El punto del pavimento a ser ensayado deberá ser marcado convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea será localizado el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde. Se recomienda utilizar las distancias indicadas en la Tabla 01.

Tabla 1

Ancho del carril	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento
2,70 m	0,45 m
3,00 m	0,60 m
3,30 m	0,75 m
3,60 m o más	0.90 m

- 5.2 La rueda dual externa del camión deberá ser colocada sobre el punto seleccionado; para la correcta ubicación de la misma, deberá colocarse en la parte trasera extrema del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga. Desplazando suavemente el camión, se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal indicada en 5.1 de modo que simultáneamente el punto quede entre ambas llantas de la rueda dual.
- 5.3 VIGA SIMPLE
 - 5.3.1 Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo, se coloca la llanta a usarse sobre el punto de manera tal que éste coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del neumático (punto D).
 - 5.3.2 Para esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de 3 pulgadas alrededor del punto. Estacionados los neumáticos se inserta entre ellos el extremo del brazo móvil de la viga colocándolo nuevamente sobre el punto de ensayo seleccionado. Dado que esto último se dificulta por la inaccesibilidad tanto visual como manual, se realizará previamente la siguiente operación: Se coloca la Viga en la posición como si estuviera entre las llantas pero en la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir, empleando una plomada, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad. Tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión, se efectúa una marca en la viga de manera tal que, en adelante, basta con hacerlas coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones.
 - 5.3.3 De igual forma con la finalidad de obtener el cuenco de deflexiones, se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (puede ser a 30, 40 y 70 cm). Para la metodología de análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, pero se pueden obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se desea tener una idea gráfica del tipo de curvas de deflexiones que se producen.

- 5.3.4 Como norma se realiza la primera marca adicional a una distancia tal que la deflexión que se obtenga en ese punto sea la mitad de la deflexión máxima (obtenida en la marca inicial). La segunda marca adicional se realiza al doble de la distancia de la primera marca adicional. Estas dos distancias se determinarán específicamente para cada proyecto de evaluación que se emprenda. Esto deberá hacerse por medio de tanteos previos, antes de comenzar la recolección masiva de datos. Es común que se observen variaciones durante la realización de los ensayos, pero no deberá hacerse modificaciones mientras que las deflexiones tomadas en la primera marca adicional estén en el rango entre 35% y 65% de la deflexión máxima.
- 5.3.5 Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la varilla vertical y la marca inicial, se verificará que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión. Se pondrá el dial en cero, se activará el vibrador y mientras el camión se desplaza muy lentamente se procederá a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y las marcas adicionales y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento, registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero.
- 5.4 VIGA DOBLE
- 5.4.1 Se coloca la viga sobre el pavimento, detrás del camión, perpendicularmente al eje de carga, de modo que la punta de prueba del primer brazo coincida con el punto de ensayo y la viga no roce contra las llantas de la rueda dual.
- 5.4.2 Se liberan los seguros de los brazos y se ajusta la base de la viga por medio del tornillo trasero, de manera que los dos brazos de medición queden en contacto con los diales.
- 5.4.3 Se ajustan a los diales de modo que sus vástagos tengan un recorrido libre comprendido entre 4 y 6 mm. Se giran las circunferencias de los diales hasta que las agujas queden en cero y se verifica la lectura golpeándolos suavemente con un lápiz. Girar la circunferencia si es necesario y repetir la operación hasta obtener la posición 0 (cero).
- 5.4.4 Se pone en marcha el cronómetro y vibrador, se hace avanzar suave y lentamente el camión; se leen los diales cada 60 segundos. Cuando dos lecturas sucesivas de cada uno de ellos no difieran en más de 0,01 mm, se da por finalizada la recuperación, registrándose las últimas lecturas observadas (L_0 y L_{25}).
- 5.5 Con el fin de medir la temperatura del pavimento se practica un orificio (antes de comenzar el ensayo y simultáneamente con el trazado de la línea), cuyas dimensiones serán: 4 cm de profundidad y 10 mm de diámetro, aproximadamente, emplazado sobre la línea paralela al eje del camino, que pasa por el punto de determinación de la deflexión y a 50 cm del mismo, en el sentido de avance del camión. Se llena con aceite no menos de 10 minutos antes de iniciar el ensayo, se inserta el termómetro y se lee la temperatura, retirando el mismo antes del desplazamiento del camión.

El rango de temperatura de trabajo deberá quedar dentro de los siguientes límites:

Límite inferior : 5 °C

Límite superior : 35 °C

- 5.6 No obstante el límite superior indicado en el párrafo 5.5, el ensayo no se deberá efectuar a temperaturas inferiores si ellas producen deformación plástica entre ambas llantas de la rueda dual. Para detectar si dicha deformación se produce, se deberá proceder de la siguiente forma:
- 5.6.1 Una vez registradas las lecturas L_0 y L_{25} , se hace retroceder suave y lentamente el camión hasta que la rueda dual externa quede colocada sobre el punto de ensayo, observando la marcha en la aguja del dial. Si alcanzada cierta posición la aguja se detiene y luego se observa un desplazamiento en sentido contrario, como si se produjera la recuperación del pavimento, ello indica que existe deformación plástica medible entre ambas llantas de la rueda dual. Esa aparente recuperación puede ser. Debida, también, al hecho de que el radio de acción de la carga del camión afecte las patas de la viga (ver numeral 5.6.2).

- 5.6.2 Tampoco deberá efectuarse el ensayo si, aun cuando no se detectara deformación plástica mediante el procedimiento recién indicado, se constatará que el radio de acción de la carga del camión afecta las patas de la regla, para lo cual se procederá de la siguiente forma:

Una vez registradas las lecturas de los diales, se hace retroceder lentamente el camión observando el dial del primer brazo. Cuando se observe que el dial comienza a desplazarse acusando la deformación producida por la carga, se marca sobre el pavimento la posición de la guía vertical mencionada en el párrafo 5.2 y se detiene el retroceso del camión.

Se mide la distancia entre la punta de prueba del primer brazo y la marca practicada sobre el pavimento, de acuerdo con lo indicado antes. Sea d esa distancia, si d es mayor de 2,40 m, la acción de la carga del camión afecta las patas de la viga.

6.0 CALCULOS E INFORME

6.1 CALCULOS

6.1.1 VIGA SIMPLE

Se debe calcular la diferencia entre la lectura inicial y la lectura final. Para el caso de la deflexión a 25 cm, se debe encontrar la diferencia entre la lectura a 25 cm y la lectura final, lo mismo se realiza para las deflexiones tomadas a cualquier distancia.

$$D = (LF - LR) \times RB$$

D : Deflexión a la distancia R, expresada en 0.01 mm.

LR : Lectura a la distancia R

LF : Lectura máxima

RB : Relación de brazos de la viga Benkelman (normalmente es 1:2 ó 1:4)

6.1.2 VIGA DOBLE

Cuando las medidas se toman con viga doble el cálculo es directo, es decir se multiplican las lecturas por la relación de brazos de la viga Benkelman doble. Asimismo, la diferencia entre la viga simple y la doble, radica en que con la viga doble solamente se toman las lecturas en el eje de carga y a 25 cm del mismo.

$$D = LD \times RB$$

D : Deflexión, expresada en 0.01 mm.

LD : Lectura del dial.

RB : Relación de brazos de la viga Benkelman (normalmente es 1:2 ó 1:4)

Nota 1: El valor 4 usado para el cálculo de las deflexiones obedece a que la relación de longitudes de brazo indicadas es 4. En caso de que la viga utilizada tenga una relación diferente, se aplicará la relación de brazos que corresponda.

- 6.1.3 El radio de curvatura en el punto de ensayo se calcula con la expresión independientemente de la viga utilizada:

$$RC = \frac{3125}{(D_0 - D_{25})} \text{ (Expresado en m)}$$

6.2 INFORME

- 6.2.1 Para cada ensayo, el informe deberá incluir la progresiva de la prueba, el estado superficial, el espesor y la temperatura del pavimento, las deflexiones y el radio de curvatura.

Para la aplicación de corrección de las deflexiones por efecto de la temperatura y estacionalidad utilizar los procedimientos establecidos en el CONREVIAl o Instituto del Asfalto.

MTC E 1003**FRICCIÓN DE FUERZA LATERAL EN SUPERFICIES PAVIMENTADAS USANDO EL MU-METER****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar la fuerza de fricción lateral sobre superficies pavimentadas en pistas de aterrizaje, calles de rodaje y carreteras.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 La medida se obtiene arrastrando a una velocidad constante el Mu-Meter, que consta de dos ruedas de ensayo que rotan libremente y que forman un ángulo respecto a la dirección del movimiento, el pavimento debe estar humedecido, debiendo estar las ruedas de ensayo bajo la aplicación de una carga estática constante.
- 2.2 Este método un registro gráfico de la fuerza de fricción lateral a lo largo de la superficie del pavimento evaluada, y permite obtener los promedios para cualquier longitud que se especifique.
- 2.3 El Mu-Meter es un sistema que mide la fricción continua y de información diseñado para pruebas en pistas de aterrizaje, calles de rodaje y de superficies de carreteras.
- 2.4 La determinación mencionada se obtiene arrastrando a una velocidad constante Mu-Meter el cual consta de dos ruedas de ensayo que rotan libremente y que forman un ángulo con la dirección del movimiento, el pavimento debe estar humedecido, debiendo estar las ruedas de ensayo bajo la aplicación de una carga estática constante. Se hace un registro gráfico continuo de la fuerza de fricción lateral, a lo largo de toda la longitud de la superficie de ensayo y permite obtener promedios para cualquier longitud especificada.
- 2.5 Los valores medidos con el equipo y procedimientos establecidos en esta norma no necesariamente concuerdan o se correlacionan con aquellos obtenidos por otros métodos para medición de la fricción en la superficie de los pavimentos.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM E 670-2000: "Standard Test Method for Side Force Friction on Paved Surfaces Using the Mu-Meter".

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

- 3.2 Vehículo remolcador. El vehículo remolcador debe ser capaz de remolcar el Mu-Meter a una velocidad mínima de 65 km/h (40 mph) y de mantener esta velocidad dentro de una variación de $\pm 0,8$ km/h ($\pm 0,5$ mph). Si los ensayos se conducen a velocidades superiores a los 65 km/h (40 mph), el vehículo debe ser capaz de mantener estas velocidades dentro de una variación de $\pm 1,5$ km/h ($\pm 0,93$ mph). El vehículo debe tener un dispositivo apropiado para tirar (gancho), centrado a una altura de 457 ± 13 mm ($18 \pm 0,5$ ") del piso, para Mu-Meter con -gancho no ajustable. Para Mu-Meter con ganchos ajustables, el conjunto debe disponerse de tal manera que la línea de referencia normalizada sobre el Mu-Meter se encuentre a 305 ± 13 mm ($12 \pm 0,5$ ") del piso. En ambos casos, la altura del gancho no variará más de 50 mm (2") entre la condición con el vehículo remolcador cargado y la condición con aquel sin cargar.

- 4.2 Sistema de medición. El sistema de instrumentación deberá estar de acuerdo con los siguientes requisitos generales, determinados a una temperatura ambiente entre 4 y 38 °C:

Precisión general del sistema $\pm 3\%$ de la escala total.

Calibración de la estabilización del tiempo 10 horas mínimo.

Aquellas partes del sistema de medición que se encuentran expuestas al ambiente deben tolerar 100% de humedad relativa (lluvia o llovizna) y todas aquellas condiciones adversas como polvo, golpes y vibraciones que pueden encontrarse durante las operaciones de ensayo del pavimento.

Remolque. La configuración del remolque para ensayo deberá ser esencialmente la mostrada en la Figura 1 con dos ruedas especificadas, cada una desviada $7,5 \pm 0,75^\circ$ hacia afuera del eje del Mu-Meter. Las dos ruedas de ensayo deberán tener una deformación angular limitada de manera que la fuerza de fricción pueda ser transmitida a la celda de fuerza con un mínimo de distorsión angular. El plano principal de las ruedas de ensayo deberá variar aproximadamente 20 hacia fuera de la vertical cuando se encuentre en la posición abierta. La tercera rueda o rueda estabilizadora hace avanzar el registro de la gráfica continua.

Celda de fuerza. La celda de fuerza deberá montarse en una posición tal que 2225 N (500 lbf) de fuerza de tensión, sean equivalentes a la fuerza lateral ejercida por las ruedas sobre un pavimento que tenga un número (MuN) de 100 deformación de la celda de fuerza durante la carga debe ser suficientemente pequeña para que el ángulo total conformado entre las llantas, no varíe más de $0,50$ durante el ensayo. La celda de fuerza deberá montarse de tal manera que sufra una rotación angular menor a 1° , medida a partir del plano horizontal cuando se cargue con la máxima carga esperada.

Carga en las ruedas. El equipo deberá tener las siguientes cargas estáticas verticales cuando la unidad se encuentre en la posición abierta, lista para el ensayo y cuando las llantas se encuentren infladas a sus presiones adecuadas:

Cada rueda de ensayo : 761 ± 9 N (171 ± 2 lbf)

Rueda trasera : 525 a 614 N (118 a 138 lbf)

Gancho del remolque : 360 N (80 lbf)

Llantas. La presión de inflado en las dos ruedas de ensayo deberá ser de 69 ± 3 kPa ($10 \pm 0,5$ lb/pug²) medidas a la temperatura ambiente (frío).

La llanta estabilizadora trasera, por el contrario de las de ensayo, deberá ser labrada (no-lisa) y deberá tener el mismo tamaño que aquellas. La presión en la llanta trasera deberá ser de 207 ± 14 kPa (30 ± 2 lb/pug²) medidos a la temperatura ambiente (frío).

Los requisitos generales para las llantas del Mu-Meter para medir la fuerza de fricción lateral se dan en el Apéndice A.

Registrador. El registrador deberá medir y registrar la fuerza de tensión de la celda de fuerza sobre el diagrama continuo. Los valores de la tensión en la celda de fuerza, que van de 0 a 2225 N (0 a 500 lbf), deberán ser convertidos linealmente por el registrador, a la escala de 0 a 100 MuN y el avance del diagrama deberá ser lineal con la distancia. El registrador deberá tener por lo menos un marcador de eventos, con control remoto, para indicar el inicio y terminación de las corridas de ensayo u otros eventos que se presenten durante este. Se permiten otros dispositivos de lectura digitales en el equipo.

Transductores medidores de la velocidad del vehículo. Deberán proveerse transductores, como el llamado "quinta rueda" o tacómetros acoplados a la transmisión, que midan la velocidad con una precisión de $\pm 1,5\%$ de la velocidad indicada para el ensayo, o de $\pm 0,8$ km/h ($\pm 0,5$ mph), la que sea mayor. Los datos de salida deberán poder ser vistos directamente por el operador. La velocidad deberá poder ser registrada.

4.3 Sistema de humedecimiento del pavimento.

El agua que se aplica al pavimento por delante de las llantas de ensayo deberá ser suministrada a través de una boquilla adecuada diseñada para asegurar que la capa de agua, sobre la cual van a rodar las llantas, tenga una sección transversal uniforme a cualquier velocidad, con un mínimo de salpicaduras y de rociado excesivo. La cantidad de agua aplicada a 65 km/h (40mph) deberá ser $0,541 \pm 10\%$ por milímetro de ancho mojado (3,6 galones $\pm 10\%$ por pulgada de ancho mojado). La capa de agua deberá ser por lo menos 25 mm (1") más ancha que el ancho de contacto entre la llanta de ensayo y el pavimento y deberá aplicarse de manera tal que la llanta se encuentre centrada entre los extremos mojados. El volumen de agua por milímetro (pulgada) de ancho mojado deberá ser directamente proporcional a la velocidad.

La configuración de la boquilla y su posición deberán asegurar que la línea central de la boquilla apunte hacia la superficie del pavimento, con un ángulo de $25 \pm 2^\circ$ a menos que se utilice una brocha. El agua deberá golpear la superficie del pavimento en un punto situado entre 150 y 200 mm (6 y 8") por delante del eje vertical de la rueda ensayo del Mu-Meter. La boquilla deberá ser de una altura tal, que limpie todos los obstáculos que el Mu-Meter pueda encontrar en su camino y deberá proveer un ancho mojado como el especificado anteriormente, pero en ningún caso la boquilla deberá encontrarse a más de 100 mm (4") por encima de la superficie pavimentada. El agua usada deberá ser razonablemente limpia, sin componentes químicos añadidos, como agentes humedecedores o detergentes.

5.0 MUESTRA

5.1 Tramo de superficie uniforme

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 SECCIONES DE ENSAYO

No deberán mezclarse en los tramos de ensayo de la vía, curvas cerradas y pendientes pronunciadas, con tramos rectos y a nivel; tampoco deberán mezclarse carriles de adelantamiento con carriles de circulación. Se deberán escoger los tramos de ensayo tan uniformes como sea posible, de manera que el promedio resultante del ensayo registrado, sea un promedio de una superficie uniforme. Normalmente, el ensayo de las autopistas deberá efectuarse con la rueda de ensayo izquierda, en la posición central del patrón que siguen comúnmente las ruedas izquierdas de los automóviles que transitan sobre el carril ensayado. Deben anotarse en el informe, todas aquellas áreas donde el Mu-Meter se desvíe de su posición transversal a la vía.

6.2 Calibración del registrador. Calíbrese el registrador y la celda de carga a la tensión. La fuerza de tensión, tanto en aumento como en disminución, entre 0 y 2,225 N (0 y 500 lbf) deberá ser proporcional a la escala del diagrama de 0 a 100 MuN, con tolerancia entre los siguientes límites:

Fuerza, N (lb.)	Lecturas del diagrama
0 (0)	0 a 3
100 (445)	18 a 22
200 (890)	38 a 43
300 (1335)	58 a 63
400 (1780)	78 a 84
500 (2225)	98 a 104

6.2.1 Procedimiento de calibración de la fuerza. Una vez que las cubiertas (cocadas) de las llantas de ensayo se hayan desgastado por el uso, debe calibrarse el aparato. El aparato puede requerir calibraciones adicionales a intervalos estimados o cuando sean necesarias durante la vida de la llanta. Efectúese la calibración, tirando el Mu-Meter sobre una mesa de ensayo estándar. Antes de la calibración, límpiense y séquense cuidadosamente tanto las llantas, como la mesa estándar de ensayo.

Cepíllense las llantas, la superficie de aproximación y la mesa estándar de ensayo con la ayuda de un cepillo de cerdas, para remover las partículas livianas y el polvo.

La presión de las llantas deberá estar de acuerdo con el numeral 4.2 y la temperatura ambiente deberá ser superior a 7 °C. Remólquese el Mu-Meter sobre la mesa estándar de ensayo, con las ruedas de ensayo en la posición requerida para este, a. una velocidad baja y constante, inferior a los 5 km/h (3 mph). Efectúense 3 ensayos limpiando cuidadosamente las llantas, la superficie de aproximación y la superficie de la mesa de ensayo en cada, ensayo. Los resultados de los 3 ensayos

consecutivos deberán concordar con una tolerancia de ± 1 MuN del promedio obtenido entre ellos y deberán concordar con el MuN de la superficie de ensayo con una tolerancia de $\pm 0,2$.

6.3 GENERALIDADES

- 6.3.1 Preparación de las llantas. Acondiciónense las llantas que sean nuevas rodándolas con el Mu-Meter a su presión de inflado normal, hasta aquel momento que estas en que se hayan desgastado las pestañas que tienen las llantas nuevas en su contorno y se encuentren completamente lisas. Si anticipadamente se conoce que el ensayo será efectuado a una velocidad superior a los 97 km/h (60 mph), hágase el balance dinámico de las ruedas, las llantas y su conjunto después de haberlas acondicionado. Inspecciónense las llantas para encontrar daños u otras irregularidades que puedan afectar los resultados del ensayo y descártense aquellas que hayan sido dañadas o que tengan un desgaste excesivo.
- 6.3.2 Preparación del ensayo. Verifíquese que las llantas no tengan desgastes excesivos, irregularidades y otros daños antes de comenzar el ensayo. Verifíquese también que las presiones de inflado estén de acuerdo con el numeral 4.2. Verifíquese que la suspensión se encuentre libre. Antes de cada una de las series de ensayo, caliéntense las llantas mediante un recorrido de por lo menos 8 km (5 millas), a las velocidades de tránsito normales. Colóquense las llantas de ensayo en la posición abierta y la tercera rueda en su posición baja. Las ruedas de ensayo deberán estar libres para rotar, pero ajustadas en su posición abierta. La rueda trasera deberá quedar con libertad de moverse hacia arriba y hacia abajo, restringida solamente por la carga de su resorte.
- 6.3.3 Velocidades de ensayo. Efectúese el ensayo normalizado a $65 \pm 0,8$ km/h ($40 \pm 0,5$ mph). Manténgase la velocidad de 65 km/h dentro de $\pm 0,8$ km/h y las velocidades de ensayo que estén por encima de los 65 km/h dentro de $\pm 1,5$ km/h. Para todas las velocidades diferentes de las de 65 km/h, anótese su valor cuando se cite el número Mu. Esto puede hacerse añadiendo al número Mu un subíndice con la velocidad de ensayo.
- 6.3.4 Determinación del gradiente de la velocidad del Mu-Number. La variación del número Mu con respecto a la velocidad será informada como MuN por km/h (MuN por mph) y debe obtenerse como la pendiente de la curva de MuN versus velocidad, que se dibuja con 3 velocidades como mínimo, con incremento entre ellas de aproximadamente 15 km/h (10 mph). El gradiente normalizado de la velocidad se define como la pendiente de la curva de MuN-velocidad a los 65 km/h (40 mph) y deberá indicarse de esa forma.

6.4 PROCEDIMIENTO

- 6.4.1 Prepárese el Mu-Meter como en el numeral 5.3.2. Remólquese el equipo llevándolo a la velocidad de ensayo. Libérese el agua de ensayo aproximadamente un segundo antes de que el ensayo se inicie y continúese hasta que el ensayo se complete. Indíquese el comienzo y el final del ensayo por medio del marcador de eventos. Deténgase el flujo de agua aproximadamente un segundo después de haber completado el ensayo.
- 6.4.2 Evalúese el registro entre las dos marcas de estos eventos. La línea promedio del diagrama entre estos dos puntos es el Mu-Meter.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME DE CAMPO

El informe de campo debe reportar por cada tramo de ensayo los datos de los siguientes temas:

- Localización e identificación del tramo de ensayo.
- Fecha y hora.
- Condiciones ambientales (temperatura, nubosidad y viento).
- Tipo de carril y de tramo ensayados.
- Velocidad del vehículo de ensayo y espesor del agua superficial (para cada ensayo).
- El número Mu (para cada ensayo).

7.2 INFORME

El informe deberá incluir, para cada ensayo, datos de los siguientes temas cuando sean aplicables a las variables o combinaciones de variables bajo investigación:

- Localización e identificación del tramo de ensayo.
- Número de carriles y presencia de separadores de carriles.
- Pendientes y alineamientos.
- Tipo de pavimento (diseño de la mezcla de la capa superficial, condición y tipo de agregado, si se dispone de esta información).
- Edad del pavimento.
- Transito promedio diario.
- Velocidad promedio diaria (o mezcla de velocidades como en el caso de una carretera con pendiente inclinada y tránsito pesado de camiones).
- Fecha y hora del día. Condiciones ambientales. Carril y tramo de ensayo.
- Número μ promedio para cada tramo; velocidades del vehículo y espesores del agua superficial a los cuales el promedio reportado fue obtenido.
- Valores máximos y mínimos que entran en el cálculo del promedio. (Si los valores son reportados pero no fueron usados en el cálculo del promedio, este hecho debe informarse).
- Dibujo de los datos de gradiente de velocidad (si fue obtenido)

APARATO PARA MEDIR LA FUERZA DE FRICCIÓN LATERAL SOBRE SUPERFICIES PAVIMENTADAS EN PISTAS DE ATERRIZAJE, CALLES DE RODAJE Y CARRETERAS

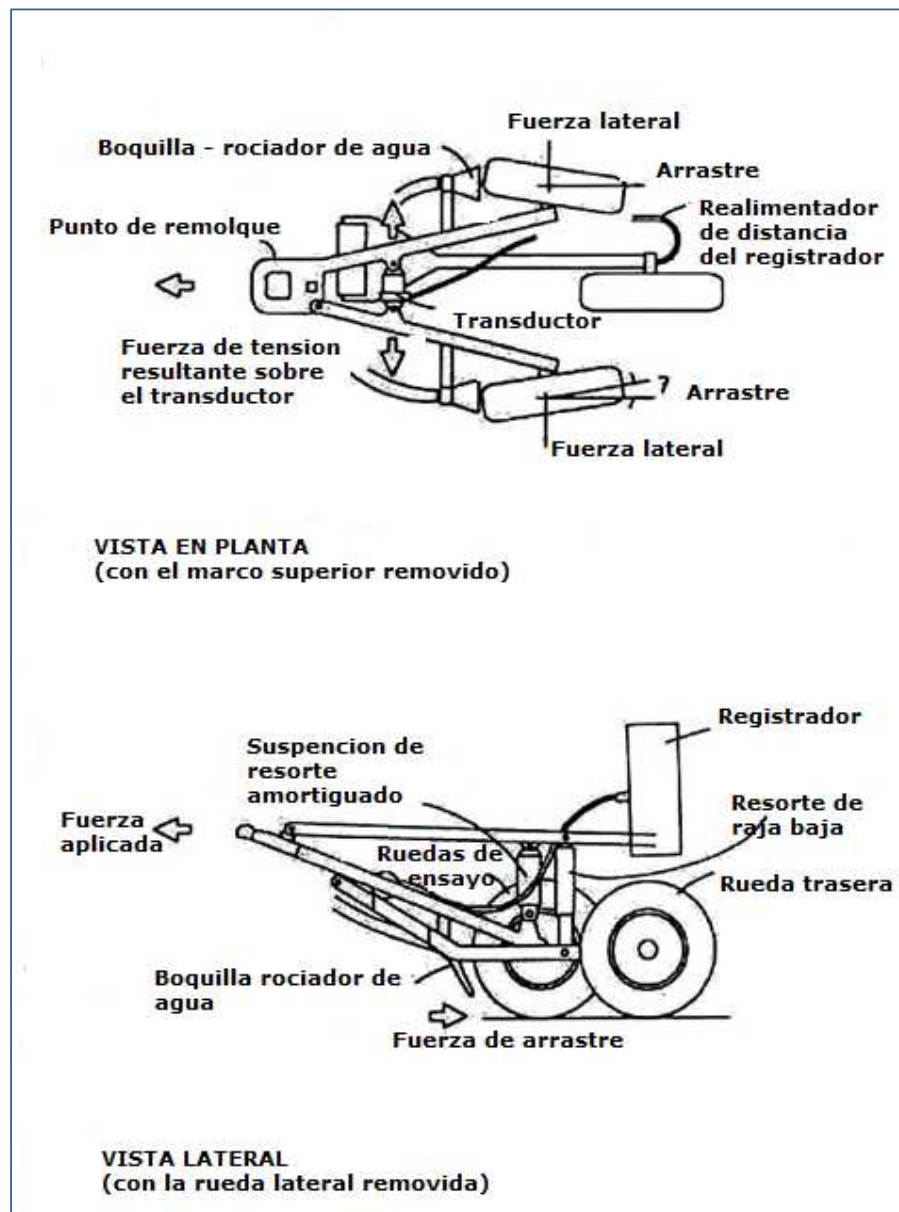


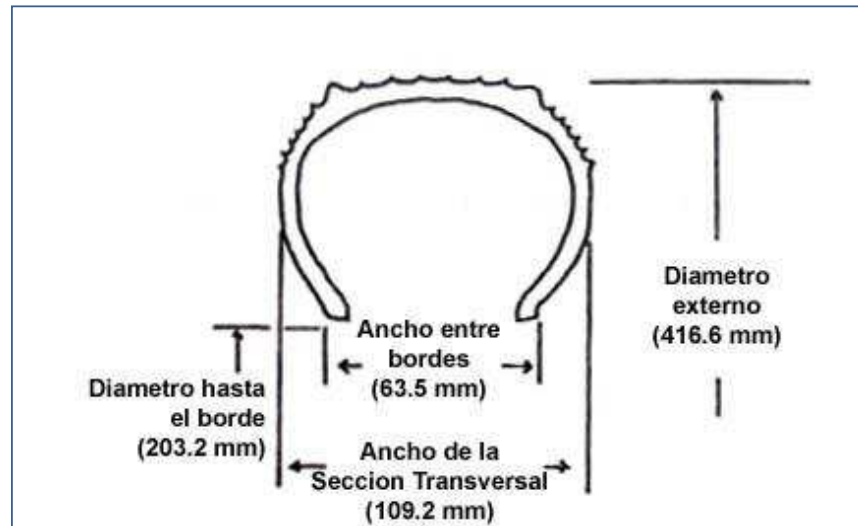
Figura 1

APENDICE A**ESPECIFICACIONES DE LLANTAS PARA MU-METER****A.1 OBJETO**

Este apéndice establece los requisitos generales que deben cumplir las llantas estándar para el Mu-Meter, correspondientes a las dos ruedas laterales del aparato, denominadas ruedas de ensayo.

A.2 REQUISITOS DE FABRICACIÓN

Los requisitos químicos y físicos de las llantas deberán ajustarse a los valores contenidos en el anexo de la norma ASTM E-670.

**DIMENSIONES DE LA RUEDA DE ENSAYO MU-METER**

La llanta deberá tener un tamaño 4,00-8 (16 x 4) x 6. El diámetro exterior deberá ser de 417 mm (16.40"), el ancho de la sección transversal de 109 mm (4,30") y la distancia entre bordes de la sección transversal de 64 mm (2,50").

La llanta RL2 usada corrientemente, tiene un patrón de labrado de siete canales de 1 mm (0,04") de profundidad. Para propósitos de aplicación en el Mu-Meter, se puede considerar, que esta llanta tiene un patrón plano.

A.3 REQUISITOS DE USO Y DESGASTE

Cuando se monte un conjunto de llantas nuevas en el Mu-Meter, no deberá hacerse medición alguna hasta que las llantas hayan sido rodadas, en la posición cerrada del Mu-Meter, para desgastar las pestañas.

No existen indicadores del desgaste de la llanta como para determinar un estado de máximo desgaste de ella. Sin embargo, teniendo en cuenta que cada lado de la llanta consta de seis pestañas, tan pronto como se haya desgastado la primera pestaña, deberán efectuarse observaciones frecuentes: la llanta deberá ser desmontada y desechada poco después de haberse desgastado la primera pestaña, y antes de que comience a verse el neumático.

A.3.1 Cuando se haga necesario colocar una llanta nueva en una de las dos ruedas, debe colocarse también una llanta nueva en la otra rueda.

A.4 CERTIFICACION

El fabricante deberá proporcionar al comprador, cuando este lo solicite, los certificados de que las llantas cumplen con estas especificaciones. Todas las llantas certificadas deberán estar sujetas a las tolerancias normales del fabricante.

**A.5 PRESENTACION**

Las llantas deberán guardarse en una condición seca bajo condiciones atmosféricas normales y a la sombra.

A.6 RECOMENDACIONES

La llanta RL2 se considera inservible cuando su patrón de labrado de 1 mm (0,04") se ha desgastado.

La presión de las llantas deberá ser de 69 ± 3 kPa ($10 \pm 0,5$ lb/puIg²), medida a la temperatura ambiente.

MTC E 1004

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO EN EL PAVIMENTO CON PENDULO BRITANICO (TRRL)

1.0 OBJETO

- 1.2 Obtener el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.R.D.) que valora las características antideslizantes de la superficie de un pavimento.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método describe el procedimiento que se debe seguir para la realización de medidas de resistencia al deslizamiento con el péndulo Británico. El Péndulo Británico es un péndulo dinámico que se utiliza para medir la energía perdida cuando el borde de un patín de goma se desliza sobre una superficie.
- 2.2 El ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas provisto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar, y en una longitud fija. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.
- 3.0 1.4 El método de ensayo puede emplearse también para medidas en pavimentos de edificaciones industriales, ensayos de laboratorio sobre probetas, baldosas o cualquier tipo de muestra de superficies planas terminadas. No es el propósito de este método la medida sobre probetas para determinar el pulimento acelerado de los áridos.
- 3.1 Resistencia al Deslizamiento: es la fuerza que se desarrolla a lo largo de la superficie de un pavimento, cuando una rueda está frenada o impedida de girar. Comúnmente la resistencia al deslizamiento es entendida como la propiedad de una superficie que impide el deslizamiento de un cuerpo sobre ella.
- 2.2 Coeficiente de Fricción Dinámico: corresponde a la razón entre la resistencia al deslizamiento y la fuerza normal a la superficie donde el cuerpo desliza.
- 2.3 Los resultados son usados principalmente para los siguientes propósitos:
- Muestreo de la red vial para la gestión de pavimentos.
 - Especificaciones para la restauración de la superficie de rodado.
 - Especificaciones para nuevas construcciones.
 - Investigación de accidentes.
 - Medición para mantenciones de invierno en carreteras.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM E 303: "Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester".
- 3.2 AASHTO T 278: "Standard Test Method for Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester".

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

- 4.1 PÉNDULO DEL TRRL. Se emplea el aparato representado en la Figura 01, desarrollado y diseñado por el Transport and Road Research Laboratory, cuyas características son: El péndulo propiamente dicho, Figura 02, con zapata y su placa soporte debe tener una masa de 1500 ± 30 g. Su centro de gravedad estará situado en el eje del brazo, a una distancia de 411 ± 4 mm del centro de oscilación. El arco de circunferencia descrito por el borde de la zapata, con centro en el eje de suspensión, tendrá un radio de 508 mm. La zapata del péndulo ejercerá una fuerza de $24,52 \pm$

0,98 N sobre la superficie de ensayo y en su posición media de recorrido. La variación de la tensión del resorte sobre la zapata no será mayor de 216 N/m.

La zapata de goma va pegada sobre una placa de aluminio, Figura 03, que comprende un casquillo para su fijación al pivote (F) del brazo del péndulo, formando un ángulo de 70 ° con el eje de este brazo y de manera tal que solamente la arista posterior de la goma quede en contacto con la superficie a medir, pudiendo girarla alrededor del pivote (F), recorriendo las desigualdades de la superficie de ensayo y manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo.

- 4.2 **CARACTERISTICAS DE LA ZAPATA DE GOMA.** Las dimensiones de la zapata de goma a emplear en las medidas de resistencia al deslizamiento serán, Figura 04, de 76,2 mm de longitud, 25,4 mm de ancho y 6,5 mm de espesor. La masa de conjunto zapata y placa soporte de aluminio será de 36 ± 7 g. Las zapatas estarán cortadas de una plancha de goma de 6,5 mm de espesor y con una edad mínima de fabricación de seis meses.

**TABLA Nº 1
ESPECIFICACIONES DE RESILIENCIA Y DUREZA
A CUMPLIR POR EL CAUCHO PARA ZAPATAS**

Características	Temperatura (°C)				
	0	10	20	30	40
% de resiliencia (*)	42 - 47	55 - 62	61 - 68	64 - 71	66 - 73
Grados de dureza I.R.H. (**)			55 ± 5		

(*) El ensayo de resiliencia con el resilómetro Lupke está en concordancia con la norma B.S 903, parte A-8.

(**) El grado de dureza, International Rubber Hardness, está en concordancia con la norma B.S. 903, parte A-26.

Las zapatas de caucho nuevas deben ser acondicionadas antes de su empleo, realizando diez (10) oscilaciones sobre la superficie testigo en condiciones secas. Esta superficie es la "Safety-Waik" tipo B. Las oscilaciones deben ejecutarse preparando el ensayo tal como se indica en el numeral 5.1.

**TABLA Nº 2
ESPECIFICACIONES DE COMPOSICION PARA
FABRICACION DE CAUCHO DE ZAPATAS**

Producto	Partes en Peso
Hoja ahumada	100
Philblack A	30
Oxido de zinc (ZnO)	3
Ácido esteárico	2
PNB (fenil-naftilamina)	1
CBS (ciclohexil-benzotiacil-sulfona mida)	0,6
Azufre	2,5
Dutrex R	4,0
Vulcanización:	Plancha de 6,5 mm de gruesa, 30 minutos a 141 °C.

- Las zapatas de caucho sufren un cierto desgaste al rozar con la superficie de ensayo, que depende de la rugosidad macro o microscópica de la superficie que se mide, de la temperatura alcanzada por el caucho y del grado de mojado. Este desgaste da lugar a un área de contacto mayor entre zapata y superficie a medir, así como una mayor adherencia, que termina por originar, en la arista de la zapata, una rebaja que también contribuye a aumentar la adherencia aunque disminuya la presión, obteniéndose así una lectura de la aguja indicadora sobre el papel de las escalas mayor de lo normal.
- 4.3 DISPOSITIVO DE NIVELACION. El dispositivo de nivelación será del tipo tornillo (L), acoplado en cada uno de los tres puntos de apoyo del aparato, con un nivel de burbuja (M) para situar la columna del instrumento en posición vertical, Figura 01.
- 4.4 DISPOSITIVO DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL. Un dispositivo que permita mover verticalmente el eje de suspensión del péndulo, Figura 05, de manera que la zapata mantenga contacto con la superficie a ensayar en una longitud entre 124 y 127 mm. El movimiento vertical de la cabeza del aparato, solidariamente con el brazo oscilante (D), escalas graduadas (K), aguja indicadora (I) y mecanismo de disparo (N), se efectuará por medio de una cremallera (C), fijada en la parte posterior de la columna vertical y de un piñón accionado por uno cualquiera de los mandos (B y B'), Figura 05. La cabeza quedará fijada por medio del tornillo de presión (A).
- 4.5 DISPOSITIVO DE DISPARO DEL BRAZO DEL PENDULO. Un dispositivo para sujetar y soltar el brazo del péndulo (N), Figura 01, de forma que éste caiga libremente desde su posición horizontal.
- 4.6 DISPOSITIVO DE MEDIDA. Un dispositivo consistente en una aguja, Figura 01, de masa 85 g y longitud 300 mm, equilibrada respecto a su centro de suspensión, para indicar, al final de su recorrido, la posición del brazo del péndulo sobre una escala circular (K) grabada sobre un panel. Un sistema de fricción del mecanismo de suspensión de la aguja que será regulable mediante los anillos de fricción roscados (E y E'), Figura 06, de manera tal que, con el brazo del péndulo moviéndose libremente desde su horizontal, la aguja sea arrastrada por la oscilación del brazo hasta un punto situado a 10 mm por debajo de la horizontal que pasa por el centro de oscilación, punto cero de la escala de medida.
- 4.7 MATERIAL AUXILIAR.
- 4.7.1 REGLA GRADUADA. Una regla graduada, Figura 07, cuyas marcas estén separadas 127 mm, siendo la separación entre una marca exterior y la interior más próxima de 2,5 mm.
- 4.7.2 TERMOMETRO. Un termómetro con graduación en grados Celsius y escala de - 10 a + 60°C.
- 4.7.3 RECIPIENTES PARA AGUA. Dos recipientes de material plástico y tapón de rosca, conteniendo agua potable o destilada. Uno con capacidad de 10 litros y el otro con capacidad de 0,5 litros. El más pequeño llevará en el tapón un tubo de salida con orificio de unos 3 mm de diámetro.
- 4.7.4 CEPILLO. Un cepillo de cerdas de goma dura con longitud mayor de 2 cm, que pueda abarcar una superficie de barrido de 16 cm², para la limpieza de la superficie a medir.
- 4.7.5 CINTA METRICA. Una cinta métrica de longitud igual o superior a 15 m para situar los puntos de medida.
- 4.7.6 CAJA DE HERRAMIENTAS. Caja para transportar las herramientas, zapatas, termómetro, regla, tiza, lapiceros, etc., elementos todos necesarios para efectuar las mediciones en terreno.
- 4.7.7 CAJA DE TRANSPORTE. Es recomendable contar con una caja para transportar el equipo de medida.
- 4.7.8 BANQUETA. Es recomendable contar con un asiento para el operador al realizar medidas en el campo.
- 5.0 PROCEDIMIENTO**
- 5.1 MONTAJE DEL APARATO.
- 5.1.1 Se extrae el cuerpo principal del aparato de la caja de transporte y se coloca en posición de trabajo el pie posterior de la base, haciendo girar sobre el tornillo (J), Figura 01, y sujetándolo con el

tornillo (H). Seguidamente se fija el brazo oscilante (D) en la cabeza del aparato mediante la tuerca de fijación (G).

- 5.1.2 En el brazo del péndulo y sobre el eje (F), se ajusta la zapata de goma, sujetándola con un pasador. Las zapatas de goma nuevas deben ser acondicionadas antes de su empleo, realizando 10 disparos sobre la superficie testigo en condiciones secas. Los disparos deben efectuarse preparando el ensayo tal como se indica en el numeral 5.2. Deberá cambiarse la zapata de goma con la que se efectúen las medidas cuando presente una superficie rozada superior a los 3,2 mm de ancho o un desgaste en la arista superior de 1,6 mm de alto, Figura 04.
- 5.1.3 Se nivela el aparato por medio de los tornillos (L), que van situados en cada uno de los pies de su base, y del nivel de burbuja (M) situado sobre la misma base, Figura 01.
- 5.1.4 A continuación se eleva la cabeza del aparato, de forma tal que el brazo del péndulo oscile sin rozar la superficie a medir y se procede a comprobar el cero de la escala de medida. Para ello se lleva el brazo del péndulo a su posición horizontal hacia la derecha del aparato, quedando enganchado automáticamente en el mecanismo de disparo (N), Figura 01. Después se desplaza la aguja indicadora (I) hasta el tope (O) situado en la cabeza del aparato, de forma que quede paralela al eje del brazo del péndulo. Este tope, constituido por un tornillo, permite corregir el paralelismo entre la aguja y el brazo. Seguidamente, presionando el pulsador (N) se dispara el brazo del péndulo, que arrastrará la aguja indicadora solamente en su oscilación hacia delante (Nota 1). Se anota la lectura señalada por la guía de la escala (K o K') del panel y se vuelve el brazo a su posición inicial de disparo (Nota 2). La corrección de la lectura cero se realiza mediante el ajuste de los anillos de fricción (E y E'), Figura 01 y Figura 06. Si la aguja sobrepasa el cero de la escala, la corrección exigirá aflojar los anillos de fricción (Nota 3).

Nota 1. Es conveniente sujetar el aparato con una ligera presión de la mano izquierda sobre la parte superior de la columna vertical, cada vez que se efectúe un disparo del péndulo, con el propósito de evitar movimientos o vibraciones en su base.

Nota 2. Deberá recogerse el brazo oscilante en su recorrido de regreso antes de que pase por la posición vertical, con el propósito de evitar el arrastre de la aguja indicadora en la oscilación de vuelta y el choque contra el pavimento y, cuando se realizan medidas, evitar el roce de la zapata sobre la superficie de contacto y su consecuente deterioro, por lo que se debe pasar la zapata sin tocar la superficie de ensayo, ayudándose de la palanca de elevación (P).

Nota 3. En la comprobación del cero del aparato se harán los necesarios disparos y correcciones con los anillos, hasta que la aguja marque tres veces consecutivas la lectura cero.

5.2 PROCEDIMIENTO A DESARROLLAR EN TERRENO Y LUGARES DE MUESTREO

- 5.2.1 Se debe seleccionar el lugar a auscultar. Luego se procede a posicionar el equipo en forma longitudinal al camino, nivelándolo gracias a los tornillos que posee en sus tres apoyos guiándose por la burbuja que el equipo tiene.
- 5.2.2 Posteriormente se debe limpiar la superficie sobre la cual pasará la zapata, asegurándose de que no queden partículas sueltas. En este instante se debe colocar la galga bajo la palanca de elevación, para mover el brazo en forma vertical de modo que roce ligeramente la superficie a auscultar. De este modo se retira la galga con lo que el brazo quedará presionando la superficie con cierta fuerza. Ahora se debe colocar la regla a modo de corroborar que al mover ligeramente hacia un lado y otro de la posición vertical del brazo, de tal forma que la zapata tome contacto por un borde y el otro a cada lado de las marcas de la regla graduada.
- 5.2.3 Una vez realizados los procedimientos anteriores se debe llevar el brazo a la posición horizontal y listo para cerrarlo. Luego se moja la superficie que barrerá la zapata con abundante agua. Luego se obtura el botón de accionamiento y se suelta el brazo libremente.
- 5.2.4 Se debe registrar la temperatura del agua para cada punto de medición, cada vez que el recipiente se llene con agua nuevamente.
- 5.2.5 La aguja indicará el valor obtenido en el ensayo la que debe ser registrada.

- 5.2.6 En caso de que sea la primera medición del día se debe calentar previamente la zapata realizando el ensayo como mínimo 5 veces y sin mojar la superficie, antes de la realización de las mediciones.
- 5.2.7 Se realizarán 5 mediciones en cada punto, esto podrá extenderse si no se observa que los valores obtenidos fluctúan en un rango que no difiera en más de 5 puntos, de una determinación a otra, de lo contrario se debe proceder a recalibrar el equipo, chequeando la calibración del 0, hasta lograr que esto ocurra procediéndose a efectuar la medición nuevamente; de lo contrario deben detenerse las mediciones y llevar el equipo a un mantenimiento mayor.
- 5.2.8 Debe tenerse en cuenta que no se deben realizar mediciones con este equipo en presencia de lluvia debido a que es posible que los tornillos de calibración del 0 se mojen, imposibilitando al equipo poder calibrarlo y obteniéndose lecturas erróneas al realizar mediciones en estas condiciones.
- 5.2.9 Otro factor climático sobre el cual se deben tomar las medidas correspondientes es el viento ya que la aguja no tiene ningún sistema de fijación, más bien trabaja libremente y debido al viento esta altera su recorrido llevando a lecturas erróneas para la medición. En este caso se debiera considerar la posibilidad de usar algún elemento que impida que el viento llegue directamente sobre el equipo.
- 5.2.10 Para efectos de estudios el equipo puede ser posicionado en cualquier dirección ya sea transversal o en algún ángulo determinado según sea el sentido del tránsito.
- 5.2.11 Es así como, en los pavimentos con tratamientos de cepillado o ranurado, es conveniente posicionar el péndulo en 20° respecto del desplazamiento de los vehículos.
- 5.2.12 Del mismo modo, si las combinaciones de pendiente y peralte dificultan la nivelación del equipo, éste debe ser dispuesto en un ángulo tal que permita realizarse la medición.
- 5.2.13 Ahora bien, las condiciones de temperatura de la superficie del pavimento deben encontrarse en un rango de 5°C a 40°C, ya que este efecto altera las mediciones. Esto inhabilita la opción de la determinación de este indicador en pavimentos con escarcha o nieve en su superficie, excepto que se trate de algún estudio en particular.

5.3 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- 5.3.1 El péndulo una vez montado, como se indica en el numeral 5.1 se coloca en el punto de ensayo elegido de modo que la vertical del centro de la zapata coincida con el punto marcado, y que la dirección de barrido sea la elegida. Seguidamente se procede a su nivelación (Nota 4) tal como se especifica en el numeral 5.1.3.

Nota 4. Cuando el péndulo no haya sido utilizado en las ocho horas anteriores a un ensayo, antes de efectuar cualquier serie de medidas se realizarán cinco disparos sobre una zona de pavimento sometida al tránsito.

Comprobando el cero del aparato como se indica en el numeral 5.1.4, se ajusta la altura de la cabeza del péndulo de forma que la zapata de goma en su contacto sobre la superficie del pavimento, recorra una longitud entre 124 y 127 mm. Se deja el brazo del péndulo (D) libre y en su vertical accionando la palanca de elevación (P), con lo que se elevará la zapata de goma. Se baja entonces la cabeza del aparato, sin mover el brazo del péndulo de su posición vertical, hasta que la zapata justamente toque la superficie a medir. Se fija ahora la cabeza del aparato. Se hace oscilar en forma manual el brazo del péndulo hasta que la zapata toque justamente los bordes de la superficie de ensayo, primero a un lado y luego al otro de la vertical. La longitud de rozamiento será la distancia entre los dos bordes de contacto S y S', Figura 02, en el recorrido de la zapata sobre la superficie a medir. La longitud de rozamiento correcta se comprueba usando la regla graduada, Figura 07, descrita en el numeral 4.7.1. Todo roce de la zapata al moverse a través de la superficie de contacto deberá ser siempre evitado usando la palanca de elevación (P). Siempre que sea preciso, la corrección de la longitud de rozamiento se efectuará mediante una ligera elevación o descenso vertical de la cabeza del péndulo.

- 5.3.2 Una vez montado el aparato, comprobada la medida del cero y controlada la longitud de rozamiento de la zapata, se coloca el brazo del péndulo y la aguja indicadora en su posición correcta de disparo.

- 5.3.3 La superficie de pavimento a ensayar se limpia con el cepillo que se indica en el numeral 4.7.4 asegurándose que quede libre de partículas sueltas.
- 5.3.4 Antes de efectuar las medidas de ensayo, se humedece la zapata con abundante agua limpia y se moja la superficie del pavimento, extendiendo el agua sobre el área de contacto ayudándose con el cepillo.
- 5.3.5 Se procede entonces a la realización de las medidas correspondientes, dejando caer libremente desde su posición de disparo el brazo del péndulo que arrastra la aguja, anotándose la lectura marcada por ésta, en la escala (K) y redondeando al número entero más próximo. Después de cada disparo y medida, el brazo del péndulo y la aguja se vuelven a su posición de disparo. La medida se repite cuatro veces sobre cada punto de ensayo y operando siempre en las mismas condiciones, volviendo a mojar con agua a la temperatura ambiente la superficie de ensayo antes de cada disparo. Si las lecturas de las cuatro medidas no difieren en más de tres unidades, se anotan los valores medidos como valor efectivo de la lectura en el punto ensayado. Si la diferencia entre las 4 lecturas es mayor de 3 unidades BPN (British Pendulum Number), se continua realizando medidas hasta que tres consecutivas den la misma lectura, en cuyo caso se toma ésta última secuencia como valor efectivo de las lecturas en el punto ensayado.
- 5.3.6 Se mide la temperatura ambiente en el punto de ensayo, colocando el termómetro próximo sobre el pavimento y a la sombra. Asimismo se anota la temperatura del agua, cuyo recipiente debe estar a la intemperie durante la ejecución del ensayo.
- 5.3.7 Después de un determinado número de mediciones efectuadas con el péndulo, 5 a 6 puntos de ensayo, se debe realizar una nueva comprobación del cero.

Registro de Mediciones con Péndulo Británico							
Proyecto				Fecha:		Operador	
			Registros (BPN)				
Km	Pista	T (°C)	1	2	3	4	Observaciones

5.4 PROCEDIMIENTO DE EVALUACION

Deben distinguirse los controles de tipo receptivos y los de estudio, esto debido a que en ambos existen consideraciones especiales.

Con respecto a la cantidad de puntos a auscultar, ésta dependerá de la longitud del tramo, de los sectores homogéneos y del estudio que se quiera efectuar.

Este indicador deberá cumplir con los mínimos exigidos en todo el ancho de la pista aunque, para efectos de recepción, se determinará como espacio muestral prioritario el sector de las huellas, principalmente la huella externa o derecha según el desplazamiento de los vehículos.

Para el caso de la realización de estudios se aconseja la siguiente metodología para la obtención de la fricción del sector experimental. Se debe realizar una inspección visual del lugar con el fin de determinar los sectores uniformes. Si el tramo experimental es mayor a 5 km se recomienda realizar 4 mediciones por km/pista, si es menor que 5 km se recomienda un punto cada 100 m; cabe señalar que éstas son sólo recomendaciones y para efectos de estudio puede variar la densidad de puntos a auscultar.

Para los controles de tipos receptivo, en contratos tradicionales y concesionados en vías interurbanas, se deberán tomar 10 puntos por km/pista posicionando el péndulo en la huella derecha de la pista. Por su parte, en proyectos urbanos, deberá tomarse 20 puntos por km/pista. Así se determina el valor de la fricción en este punto. Se hace hincapié que este parámetro es adimensional, por lo que se adopta en este caso como unidad la característica del equipo con que se controla, en este caso es BPN, .British Pendulum Number., cuya traducción al castellano es



Número de Péndulo Británico y con que se identificará el valor de la fricción obtenido con este equipo.

6.0 CALCULOS E INFORME

- 6.1 BPN, son las siglas correspondientes a British Pendulum Number (Número de Péndulo Británico). Esta es la unidad en que se mide el coeficiente de roce del pavimento, cuyo rango va desde 0 a 100. El resultado del ensayo de resistencia al deslizamiento se expresa en tanto por uno, en forma de:
- Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) = Lectura efectiva de BPN/ 100
- 6.2 Las medidas efectuadas sobre pavimentos están siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada. La uniformidad de las medidas a realizar, bajo cualquier condición climática, exige una corrección del coeficiente obtenido mediante el gráfico de la Figura 08, para expresar los resultados a 20 °C. Los valores obtenidos se informan con dos decimales.

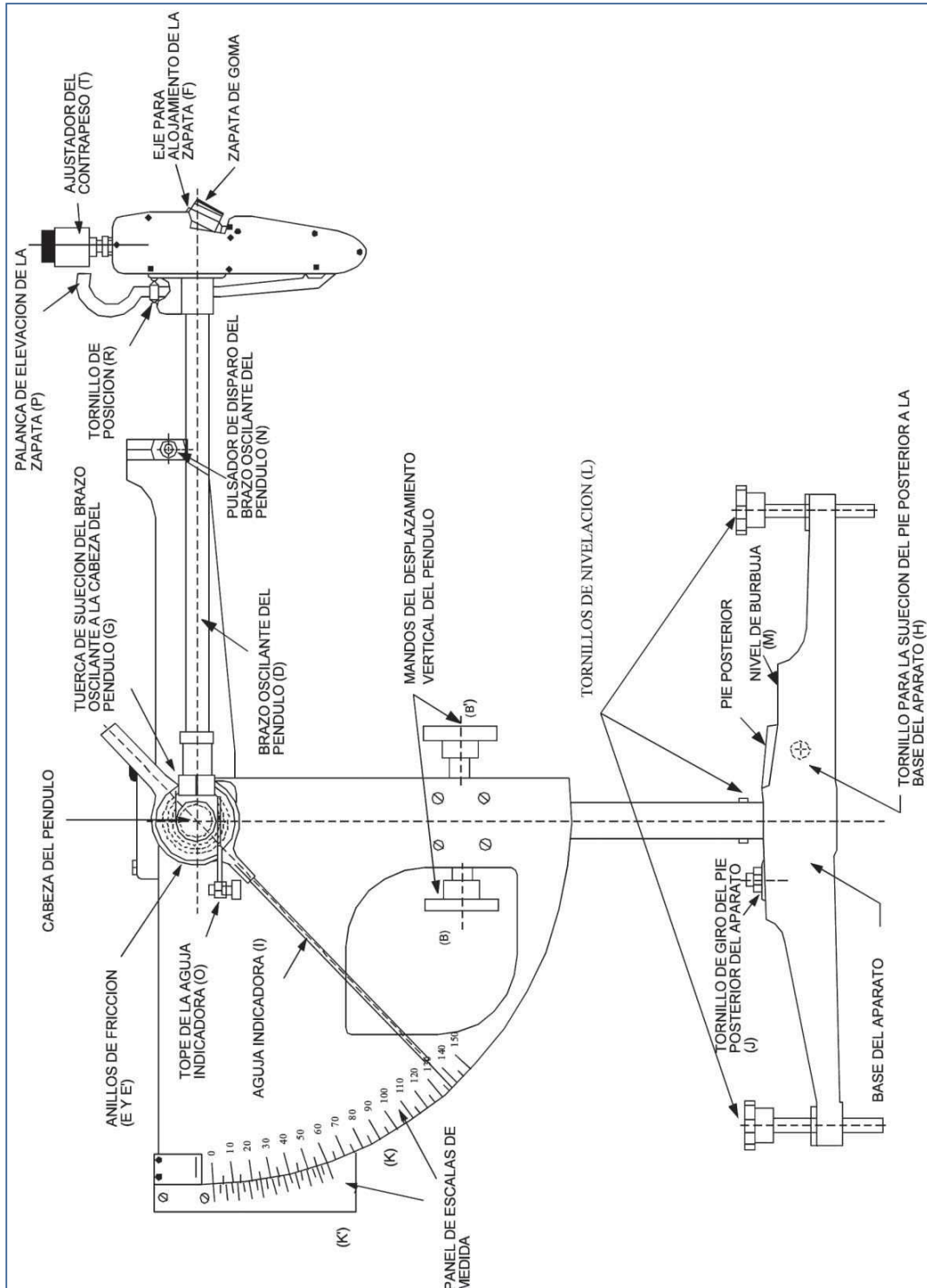


Figura 1: Péndulo del TRRL

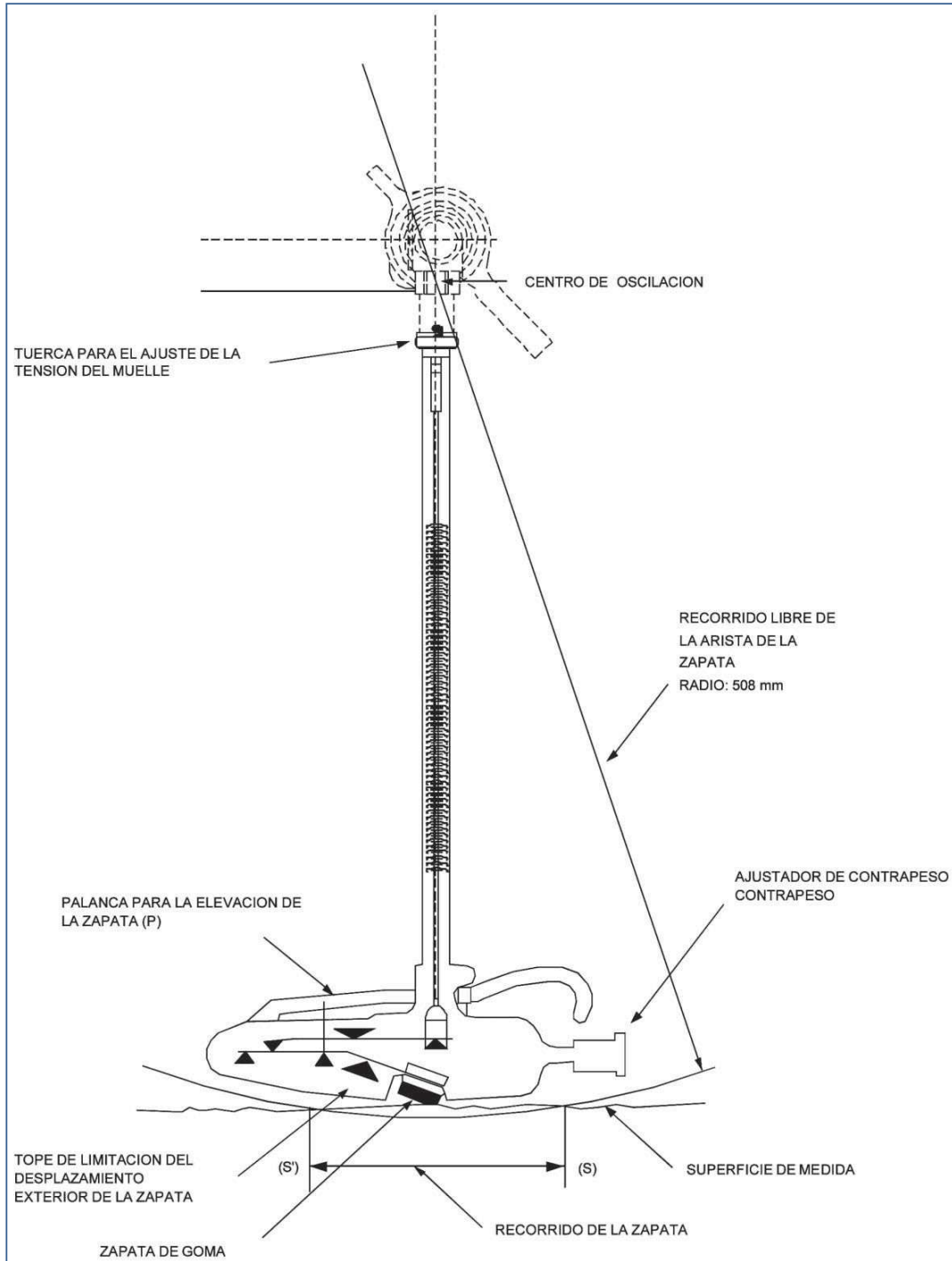


Figura 2: Detalle del brazo del péndulo

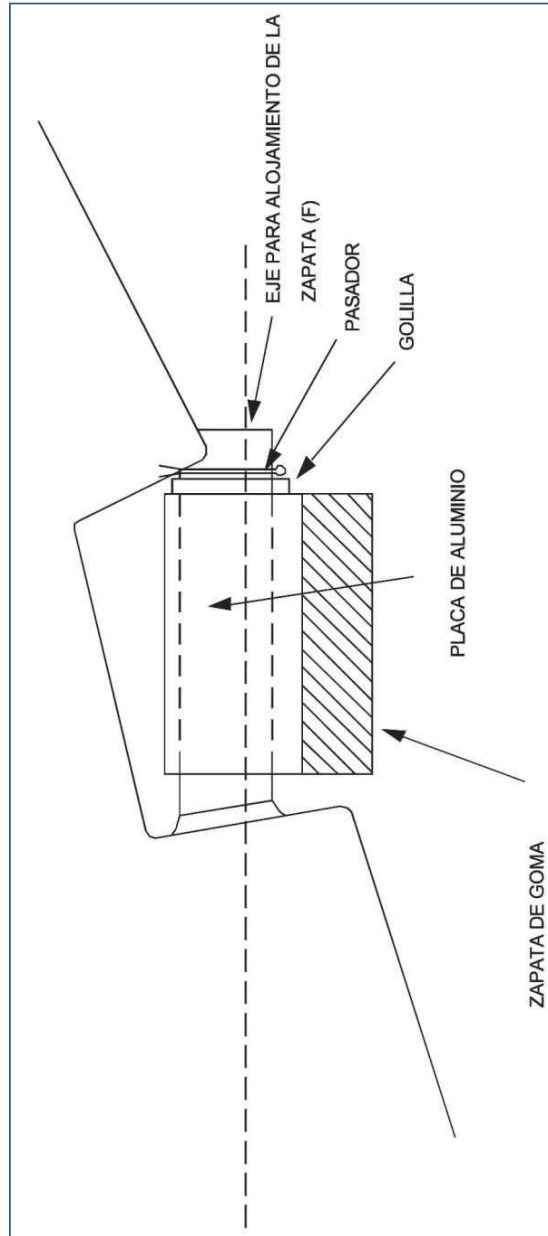


Figura 3: Detalle de la disposición de la zapata de goma

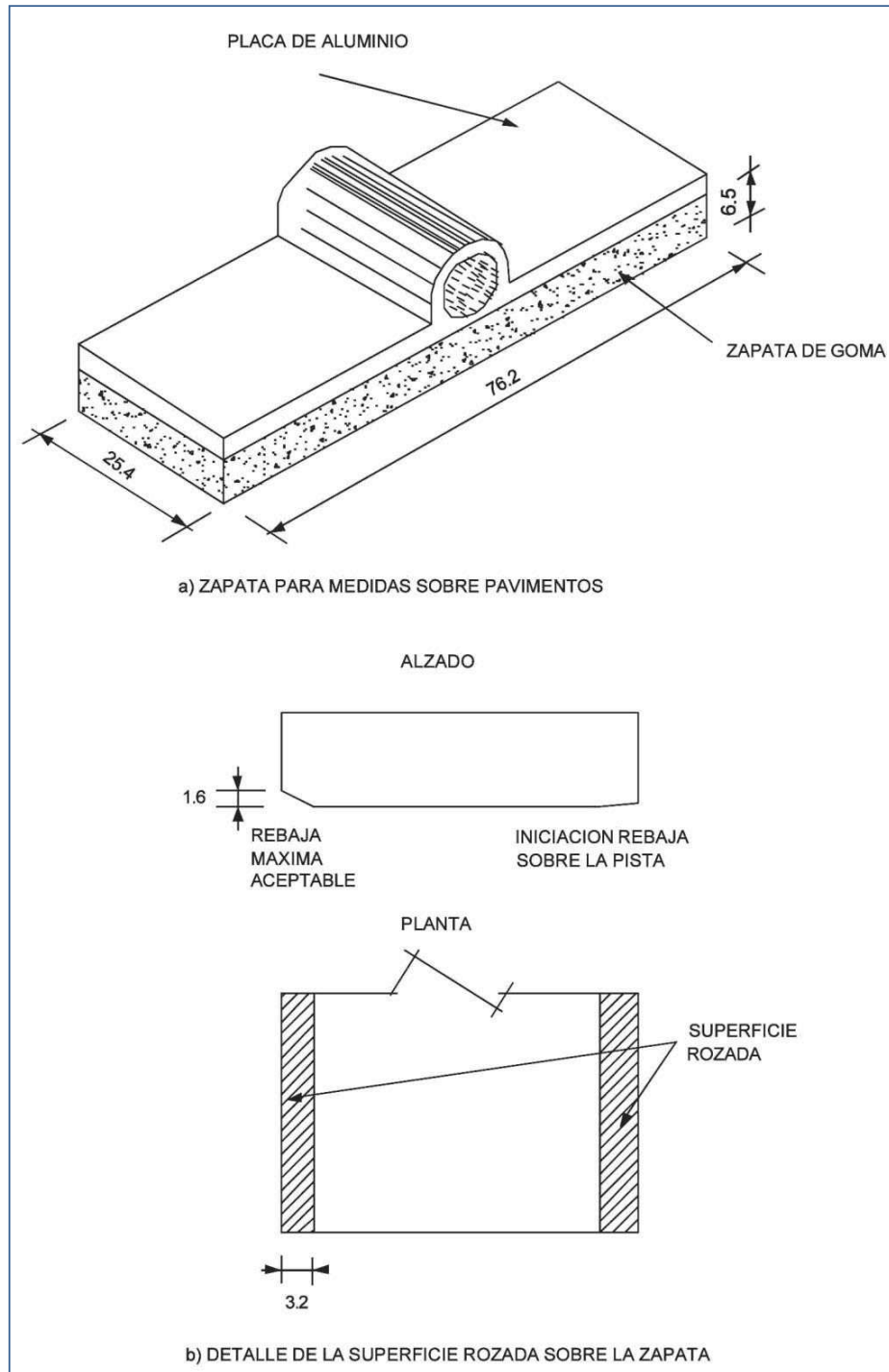


Figura 4: Zapata de goma

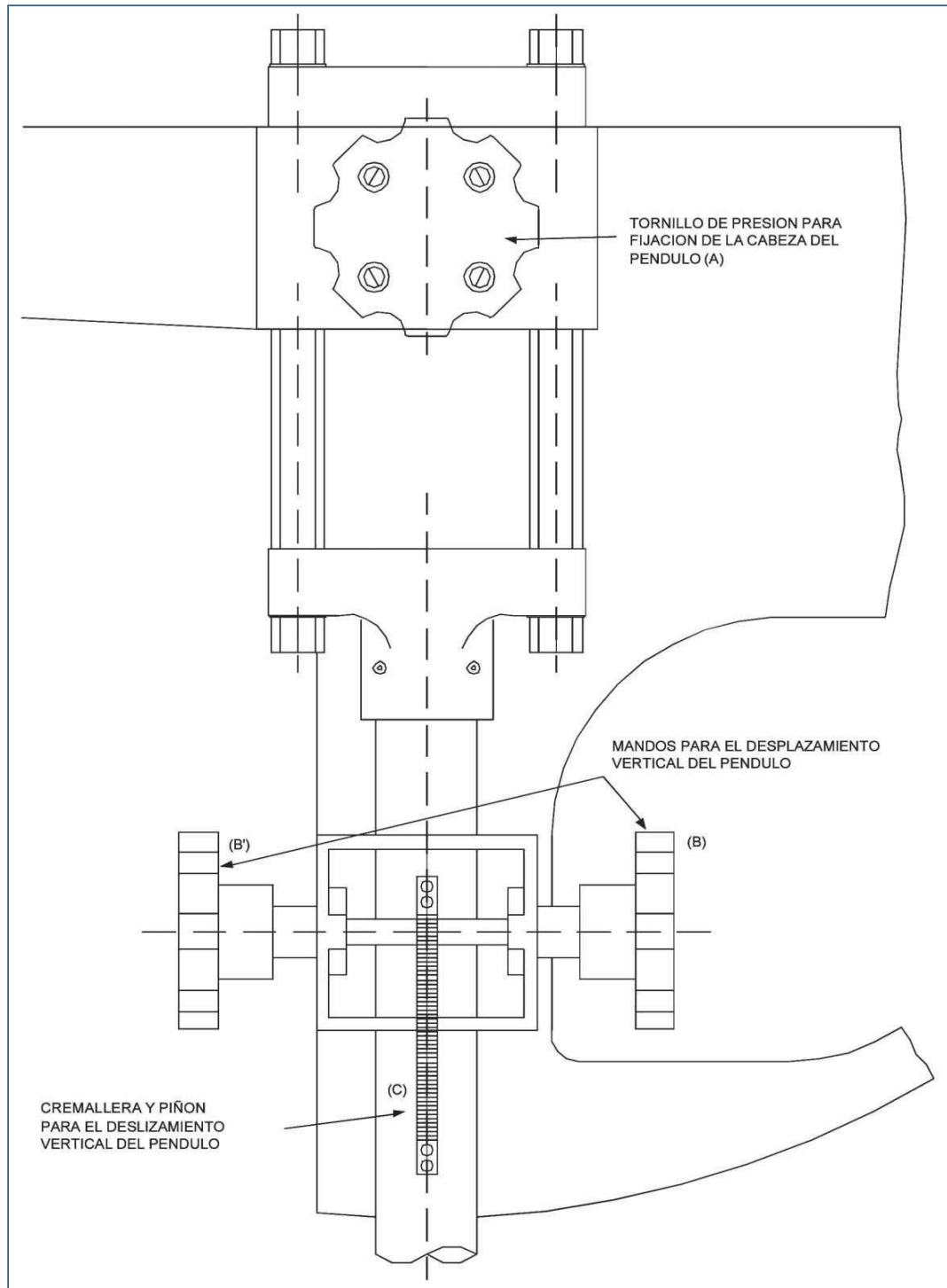


Figura 5: Detalle del dispositivo de desplazamiento vertical del péndulo

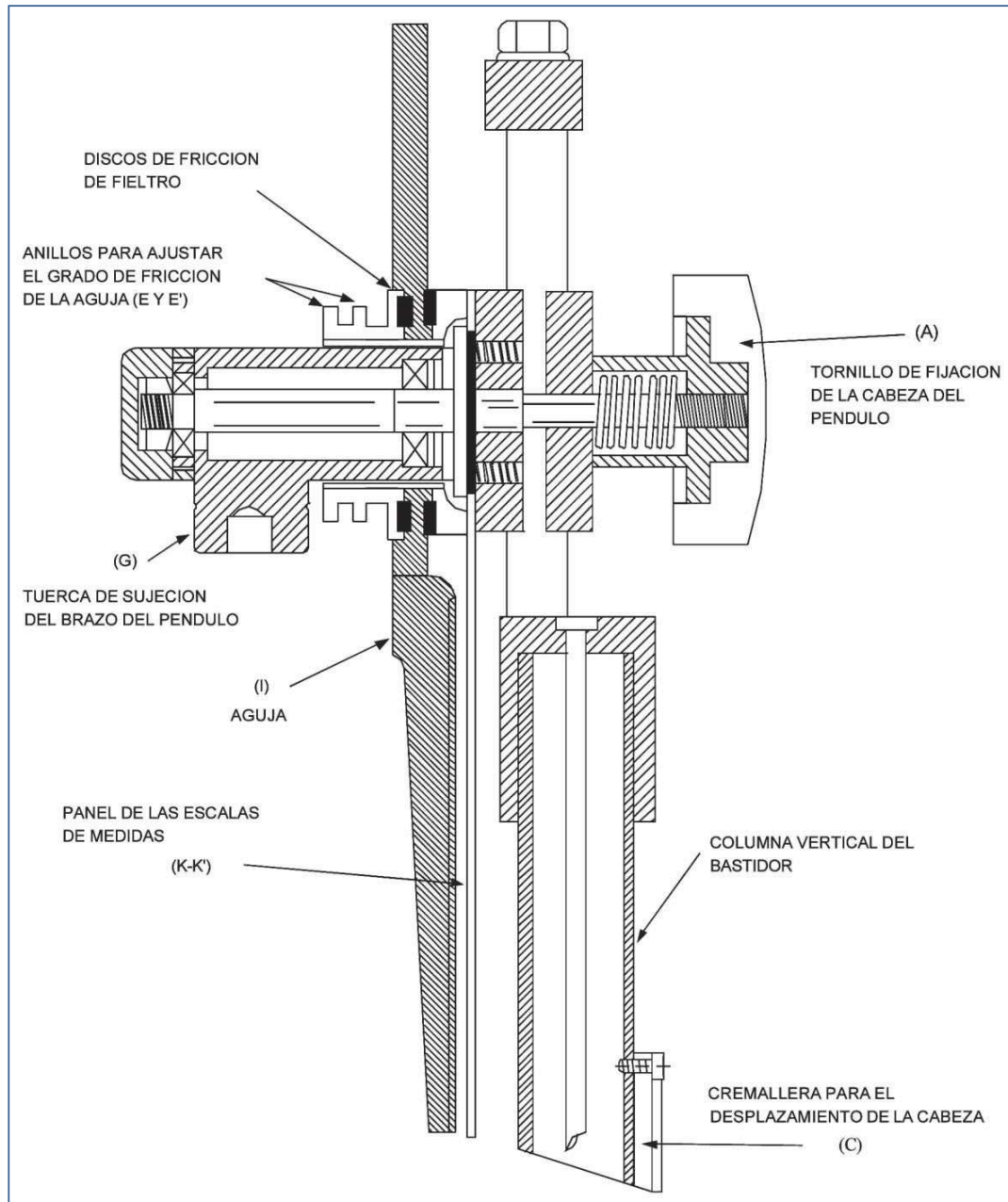


Figura 6: Detalle del mecanismo de suspensión del péndulo

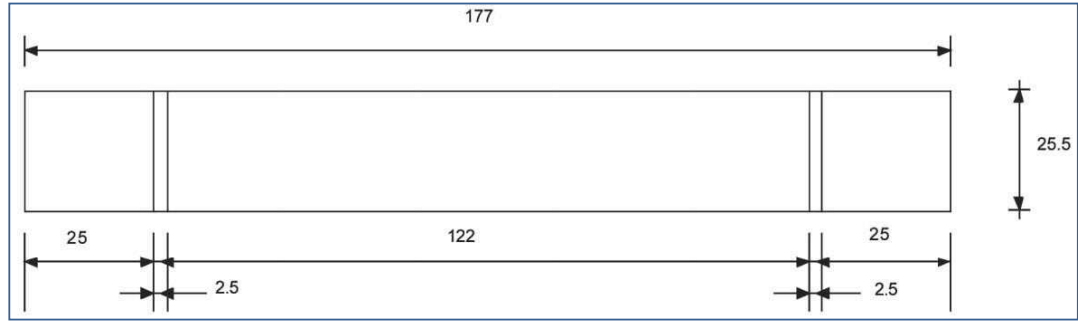


Figura 7: Regla graduada para ajustar la longitud de medida sobre la superficie de ensayo

CORRECCION A APLICAR AL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO A DISTINTAS TEMPERATURAS

PÀRA OBTENER EL VALOR CORRESPONDIENTE A 20 °C

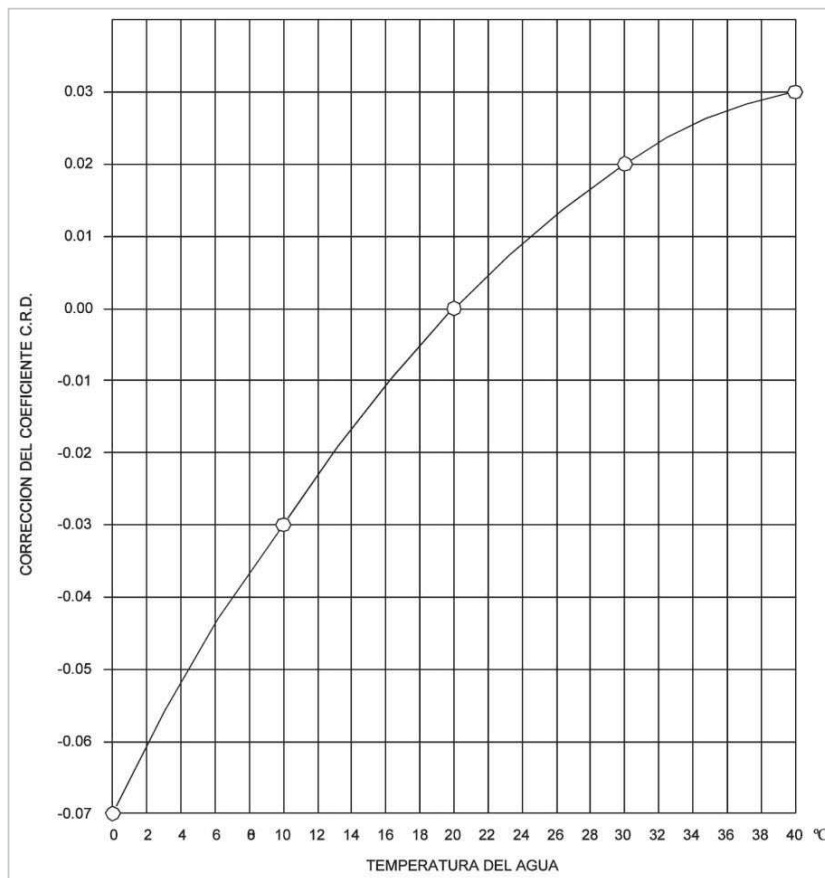


Figura 8

MTC E 1005

DETERMINACION DE LA TEXTURA SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO MEDIANTE ENSAYO DEL CIRCULO DE ARENA

1.0 OBJETO

- 1.1 Describe el procedimiento para determinar la profundidad de la macrotextura de la superficie del pavimento, mediante la aplicación de un volumen conocido de material y la subsecuente medición del área total cubierta por éste.
- 1.2 Los pavimentos con importante nivel de textura superficial permitirán un contacto más eficiente (en término de área de contacto) entre neumático y pavimento.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El procedimiento de ensayo involucra esparcir un volumen de material conocido sobre una superficie de pavimento limpia y seca, midiendo el área cubierta y, posteriormente, calcular el promedio de profundidad entre la parte inferior de los huecos en la superficie y las partes más altas de los áridos de superficie del pavimento. Esta medición de la profundidad de textura refleja las características de macrotextura del pavimento.
- 2.2 Al esparcir el material especificado en este método de ensayo, los huecos de superficie son rellenados completamente. Este método de ensayo no es considerado adecuado para ser usado en superficies de pavimentos que presenten huecos de superficie superiores a 25 mm en profundidad.
- 2.3 Este método es adecuado en ensayos in situ para determinar el promedio de profundidad de macrotextura de una superficie de pavimento. El conocimiento de la profundidad de macrotextura del pavimento sirve como herramienta para caracterizar la textura de la superficie. Cuando es utilizado en conjunto con otros ensayos, los valores de profundidad de macrotextura derivados de este método pueden ser utilizados para determinar las capacidades de resistencia al deslizamiento del pavimento y lo adecuado de los materiales o técnicas de acabado utilizadas. Cuando es utilizado con otros ensayos, se debe tener cuidado que todos los ensayos son aplicados en el mismo lugar. Producto del uso de la información obtenida mediante este método pueden resultar mejoramientos a las prácticas de acabado y programas de mantención.
- 2.4 Las mediciones de profundidad de textura obtenidas utilizando este método están influenciadas por las características de macrotextura del pavimento y no significativamente afectadas por la microtextura. La forma, tamaño y distribución de los áridos de la capa de rodadura son cualidades no abordadas por este método.
- 2.5 Los pavimentos con importante nivel de textura superficial permitirán un contacto más eficiente (en término de área de contacto) entre neumático y pavimento.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM E965: "Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique".

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

- 4.1 Se debe contar con arenas normalizadas obtenidas mediante la preparación de éstas en laboratorio, debido a que deben ser lavadas, limpiadas, secadas y tamizadas, obteniéndose principalmente dos tipos de arenas. Por un lado se obtiene la arena tipo 80/100 que significa que pasa por el tamiz 80 y es retenida por el tamiz 100, y la arena tipo 100/200 cuya arena pasa por el tamiz 100 y es retenida por el tamiz 200. Como se menciona anteriormente esta arena debe estar libre de impurezas y debe encontrarse seca al momento de desarrollar el ensayo.
- 4.2 Recipiente contenedor de material, con un volumen interno predeterminado de al menos 25 cm³, para ser utilizado para determinar el volumen de material esparcido.

- 4.3 Disco para esparcir, plano y rígido, de 25 mm de espesor y 60 a 75 mm de diámetro, utilizado para esparcir el material. La parte inferior del disco debe ser cubierta por goma lisa y su parte superior debe contar con una manilla que facilite su agarre.
- 4.4 Escobillas, una de cerdas duras y otra de cerdas blandas, que serán utilizadas para limpiar la superficie de ensayo.
- 4.5 Caja protectora de viento, pantalla adecuada que evite las turbulencias de viento ocasionadas por el tránsito durante el ensayo.
- 4.6 Regla, de al menos 30 cm de longitud con subdivisiones al milímetro.
- 4.7 Balanza, se recomienda con sensibilidad a 0,1 gramos para asegurarse que el material utilizado en el ensayo es igual en masa y volumen.
- 4.8 Calibración. En este equipo se requiere principal cuidado con la limpieza de la arena y con los elementos graduados antes descritos a fin de no alterar las mediciones obtenidas. Por lo tanto la calibración en este caso está referida al cumplimiento estricto de las graduaciones tanto de arena y de recipientes como de elementos de medición que intervienen en el desarrollo del ensayo.

5.0 PROCEDIMIENTO

- 5.1 Área de Muestra. Inspeccione la superficie del pavimento a ser evaluada y seleccione un área seca y homogénea que no tenga singularidades tales como grietas o juntas. Limpie completamente la superficie utilizando las escobillas para remover todos los residuos o material suelto en la superficie. Coloque la caja protectora para viento alrededor del área a ensayar.
- 5.2 Material de Muestra. Llene el cilindro de volumen conocido con arena seca y golpee suavemente la base de éste mientras lo llena. Agregue más material hasta llenar el cilindro hasta el tope, y posteriormente enráselo con una regla. Si dispone de una balanza de laboratorio, determine la masa de material dentro del cilindro y procure utilizar esta cantidad en cada uno de los ensayos.
- 5.3 Medida del ensayo. Vacíe el volumen o masa de material sobre la superficie limpia dentro del área protegida al viento. Cuidadosamente esparza el material en forma circular con el disco plano, utilizando su lado de goma para estos efectos, llenando las cavidades de la superficie a ras con las crestas de los áridos de la capa de rodadura. Mida y registre el diámetro del área cubierta por el material tomando cinco medidas igualmente espaciadas sobre el círculo. Calcule y registre el promedio de las cinco medidas.
- 5.4 Para superficies muy lisas donde el diámetro del área de material esparcido es mayor a 30,5 mm, es recomendable reducir a la mitad el volumen de material a utilizar.

6.0 CALCULOS E INFORME

6.1 CALCULOS

- 6.1.1 Volumen del cilindro, calcule el volumen interno del cilindro como:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{4}$$

Donde:

V: Volumen interno del cilindro, mm³

D: Diámetro interno del cilindro, mm

h : Altura del cilindro, mm

- 6.1.2 Promedio de profundidad de macrotextura del pavimento, calcule el promedio de profundidad de macrotextura usando la siguiente ecuación.

$$MDT = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2}$$



Donde:

MTD: Profundidad media de macrotextura, mm.

V: Volumen de arena utilizada, mm³

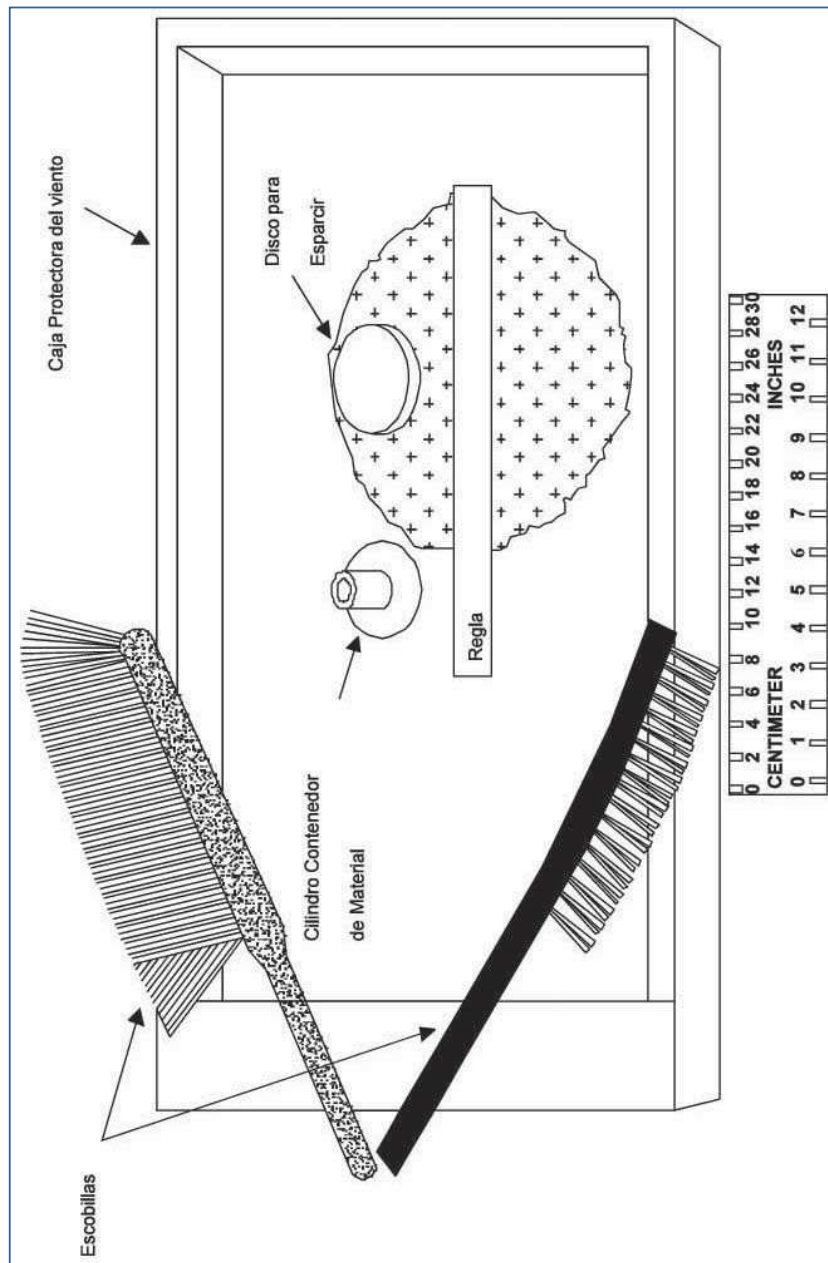
D: Diámetro promedio del área cubierta por la arena, mm.

6.2 INFORME

El informe de cada superficie de pavimento evaluada debe contener la siguiente información:

- 6.2.1 Ubicación e identificación de la superficie evaluada y los puntos ensayados.
- 6.2.2 Fecha.
- 6.2.3 Volumen de material utilizado en cada ensayo realizado, cm³.
- 6.2.4 Número de mediciones realizadas en el sector.
- 6.2.5 Diámetro promedio del área cubierta con material, mm, para cada ensayo.
- 6.2.6 Promedio de profundidad de textura, mm, para cada ensayo.
- 6.2.7 Promedio de profundidad de textura, mm, para el total de la superficie evaluada.

APARATO PARA MEDIR PROFUNDIDAD DE MACROTEXTURA DE LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO





SECCION N° 11 ESTABILIZACIONES

MTC E 1101

PREPARACION EN EL LABORATORIO DE PROBETAS DE SUELO – CEMENTO

1.0 OBJETO

- 1.2 Establecer el procedimiento para moldear y curar en el laboratorio probetas de suelo-cemento, utilizadas en pruebas de compresión, bajo condiciones precisas de ensayo y de materiales.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El ensayo de penetración es empleado como una medida de consistencia. Valores altos de penetración indican una consistencia más suave.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D- 1632-96

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

Los moldes serán de acuerdo a los procedimientos alternativos, método A ó Método B indicados en el MTC E-1103.

- 4.1.1 Molde. (Figura 1) El molde para preparación de la probeta de suelo-cemento debe tener diámetro interior de $71,13 \pm 0,01$ mm ($2,8 \pm 0,01$ pulg) y altura de 229 mm (9 pulg), para moldear especímenes de 71,1 mm (2,8 pulg) de diámetro y 142,2 mm (5,6 pulg) de altura. Los accesorios del molde deben ser los siguientes: dos pistones (superior e inferior), de acero maquinado, de diámetro menor en 0,13 mm (0,005 pulg) que el del molde; una extensión del molde de 152 mm (6 pulg) de largo; un anillo espaciador; al menos dos discos separadores de aluminio, de 1,54 mm (1/16 pulg) de espesor y 70,6 (2,78 pulg) de diámetro.

Nota 1. También podrá emplearse los moldes de acuerdo a los procedimientos alternativos, método A indicados en el MTC E-1103

Tamices. Se utilizarán los tamices de 50 mm (2 pulg), 19,0 mm (3/4 pulg), 4,75 mm (Nº 4) y 1,18 mm (Nº 16).

- 4.1.2 Balanzas. Una balanza de 12 kg (25 lb) de capacidad, con precisión de 5 g (0,01 lb) y una balanza de 1000 g de capacidad con precisión de 0,1 g.
- 4.1.3 Estufa de secado. Será de control termostático, capaz de mantener una temperatura de aproximadamente 110 ± 5 °C.
- 4.1.4 Aparato de compactación. Puede ser una máquina de compresión o un marco de compresión con capacidad suficiente para aplicar 270 kN (60,000 lbf) aproximadamente, o también una máquina de compactación por impacto, con un dispositivo controlador del peso de caída., el cual debe ser de unos 7 kg (15 lb).
- 4.1.5 Extractor de la probeta compactada. Está compuesto de pistón, prensa y armazón, necesarios para extraer la muestra compactada, sin dañarla, por extrusión.
- 4.1.6 Elementos varios. Espátula, recipiente de mezcla o mezcladora, recipiente graduado para medir el agua, latas para medición del contenido de humedad, etc.
- 4.1.7 Varilla compactadora. Varilla de acero, lisa, de diámetro 12,7 mm (½ pulg), longitud de 510 mm (20 pulg) y con extremos de corte recto.
- 4.1.8 Cámara húmeda. Debe ser capaz de mantener una temperatura de 23.0 ± 1 °C y una humedad relativa no menor del 96% para el curado húmedo de las probetas.

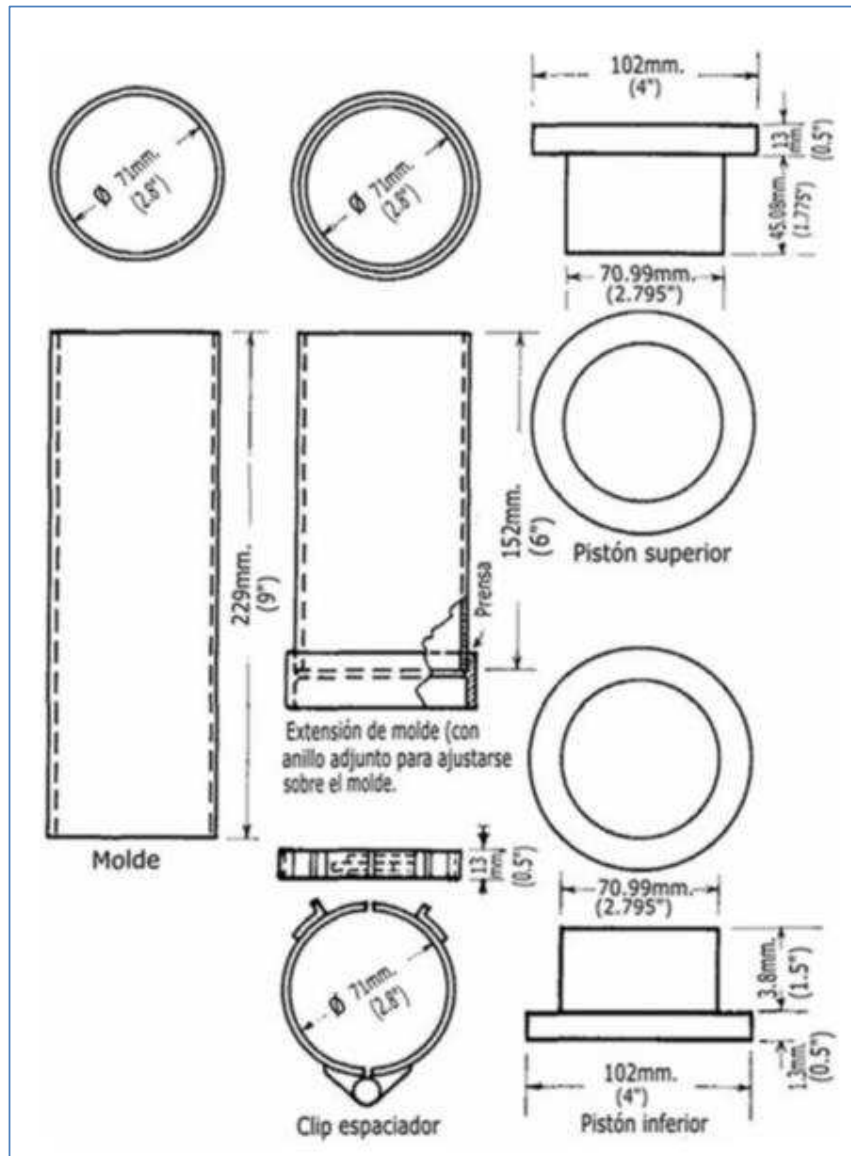


Figura 1. Molde para probetas cilíndricas de suelo cemento

5.0 MUESTRA

5.1 No existe información al respecto para este método.

6.0 PROCEDIMIENTO

Preparación de los materiales

- 6.1 Colóquese los materiales a la temperatura ambiente, preferiblemente entre 18 y 24 °C, antes de comenzar la preparación.
- 6.2 Guárdese el cemento en un lugar seco, en recipientes a prueba de humedad, preferiblemente de metal. Mézclase cuidadosamente el cemento con el fin de obtener una muestra homogénea. Pásese el cemento a través del tamiz N° 16 (1,18 mm) y descártese el material retenido (terrones, grumos).
- 6.3 El agua de mezcla deberá ser potable.
- 6.4 Séquese la muestra de suelo, hasta que se note friable al introducir en ella la espátula. El secado debe ser al aire o con un aparato de secado, siempre y cuando la temperatura no

exceda de los 60 °C. Desháganse cuidadosamente los grumos de suelo, respetando el tamaño natural de las partículas individuales.

- 6.5 Tamícese una cantidad adecuada de este suelo pulverizado, que sea representativa de él, empleado los tamices de 50 mm (2 pulg), 19,0 mm (3/4 pulg) y 4,75 mm (Nº 4). Descártese cualquier agregado retenido en el tamiz de 50 mm (2 pulg). Elimínese el agregado retenido en el tamiz de 19,0 mm (3/4 pulg), para reemplazarlo por una cantidad igual, en peso, de material que pasa el tamiz de 19,0 mm (3/4 pulg) y que es retenido en el tamiz de 4,75 mm (Nº 4). Este material de reemplazo debe ser obtenido a partir de la muestra original.

Nota 2. La probeta de suelo cemento que se preparará, estará hecha preferiblemente con suelo que tenga un porcentaje retenido en el tamiz de 4,75 mm (No. 4) no superior al 35% y un porcentaje retenido en el tamiz de 425 mm (Nº 40) no superior al 85%

- 6.6 Remójese el material que pasa el tamiz de 19,0 mm (3/4 pulg) y que se retuvo en el tamiz Nº 4, por espacio de 24 horas y luego séquese superficialmente. Determínense sus propiedades de absorción de acuerdo con el ensayo MTC E206 (Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso).
- 6.7 Tómese una muestra de 100 g del suelo que pasa el tamiz Nº 4 y séquese al horno hasta obtener peso constante; determínese el contenido de humedad de la muestra, dato que permitirá calcular la cantidad de agua que deberá ser agregada a la mezcla de suelo-cemento.
- 6.8 Con una porción representativa del material que pasa el tamiz Nº 4, y otra de la fracción que pasa el tamiz de 19,0 mm (3/4") y que es retenida en el No. 4, preparadas según los numerales 6.4, 6.5 y 6.6, prepárese una muestra de mezcla total cuyo tamaño sea suficiente para elaborar tres probetas de suelo-cemento.

Determinación de la masa del material

- 6.9 Pése con precisión de 5 g (0,01 lb), las cantidades diseñadas de suelo que pasa el tamiz Nº 4 y de suelo comprendido entre los tamices de 19,0 mm (3/4") y Nº 4. Pése con precisión de 1 g la cantidad diseñada de cemento y mídase la cantidad diseñada de agua, con precisión de 1 mL.

Nota 3. Las cantidades diseñadas de suelo, cemento y agua se basan usualmente en resultados obtenidos de otros ensayos: el contenido "Óptimo" de agua de la mezcla y la "máxima" densidad a la cual la probeta debe ser compactada se determinan mediante el ensayo; la cantidad de cemento es usualmente la necesaria para producir suelo cemento de calidad adecuada para construcción de vías y bases

Mezcla

- 6.10 General. La mezcla de suelo-cemento, hecha a mano o mediante una mezcladora, debe proporcionar bachadas, cada una con un 10% en exceso de la necesaria para el moldeo de las probetas. Protéjase este material contra pérdida de humedad; pése una porción representativa, séquese al horno y determínese la humedad real. Cuando la mezcla de suelo-cemento contenga agregado retenido en el tamiz No. 4, la porción para determinar la humedad debe pesar al menos 500 g, con precisión de 1 g; si no tiene agregado retenido en el tamiz Nº 4, debe pesar al menos 100 g, con precisión de 0,1 g.
- 6.11 Mezcla a mano. Mézclese la bachada en un recipiente metálico limpio y no absorbente, o sobre una plancha de acero, con ayuda de un palustre, de la siguiente manera:
- Mézclese el cemento y el suelo, menos el material retenido en el tamiz Nº 4, hasta lograr una distribución uniforme.
 - Agréguese el agua y mézclese, hasta lograr una pasta uniforme.
 - Añádase el material grueso secado superficialmente y mézclese hasta que se distribuya uniformemente dentro de la pasta.

- 6.12 Mezcla mecánica. Sígase la secuencia especificada para mezcla a mano. Para evitar segregación, deposítase la cantidad así mezclada en un recipiente metálico, limpio y no absorbente, y vuelvas a mezclar, pero manualmente con ayuda del palustre.

Nota 4. La operación de mezcla y compactación de las probetas debe ser continua y el tiempo transcurrido entre la adición del agua y la compactación final, no debe exceder los 30 minutos

Tamaño de la probeta para ensayo de compresión

- 6.13 La probeta debe tener forma cilíndrica, con una altura igual al doble del diámetro. En esta norma se preparan probetas de 71 mm (2,8") de diámetro por 142 mm (5,6") de altura, pero el mismo procedimiento puede ser usado para moldear probetas mayores o menores.

Moldeo

- 6.14 Aplíquese una capa delgada de aceite comercial en las paredes interiores del molde y de la extensión, así como en los dos discos separadores. Colóquese el molde en posición vertical, con el anillo espaciador sobre el pistón inferior en forma tal, que éste se introduzca en el molde 25 mm (1 pulg).

- 6.15 Colóquese un disco separador sobre el pistón inferior y ajústese la extensión del molde. Deposítase en el molde un peso predeterminado de mezcla, que de un espécimen con el peso unitario de diseño, cuando sea compactado hasta una altura de 142 mm (5,6 pulg) dentro del molde.

Cuando el suelo-cemento contenga agregado retenido en el tamiz N° 4 (4,75 mm), distribúyase uniformemente la mezcla dentro del molde con ayuda de la espátula. Luego compáctese la mezcla con la varilla compactadora, introduciendo su extremo recto dentro de la mezcla, en forma firme y con algo de impacto, hacia arriba y hacia abajo sobre una misma trayectoria y repitiendo el movimiento en varios puntos uniformemente distribuidos en la sección transversal del cilindro.

Esta operación se debe hacer cuidadosamente para no dejar vacíos en mezclas arcillosas de suelo-cemento. Repítase el proceso hasta que la mezcla se halle compactada hasta una altura de 150 mm (6 pulg) aproximadamente.

- 6.16 Quítase la extensión del molde y colóquese el otro disco separador sobre la mezcla. Remuévase también el anillo espaciador del extremo inferior. Colóquese el pistón superior en posición y aplíquese una carga, sea estacionaria mediante una máquina de compresión o sea dinámica mediante una máquina de impacto, hasta que la mezcla quede comprimida a una altura de 142 mm (5,6 pulg).

- 6.17 Remuévanse los pistones y discos separadores, pero déjese la mezcla de suelo -cemento en el molde.

Curado

- 6.18 Cúrense las probetas dentro de los moldes en la cámara húmeda por 12 horas o más si es necesario, para permitir la utilización del extractor de las probetas compactadas. Devuélvanse las probetas luego de extraídas, a la cámara húmeda y evítese que goteen durante el tiempo de curado. Generalmente las probetas son ensayadas a compresión en condición húmeda, inmediatamente después de ser removidas de la cámara.

Nota 5. Otros procedimientos de acondicionamiento en este punto de la preparación, como operaciones de remojo, secado al aire o al horno, humedecimiento y secado, alternados, etc., pueden ser especificados después del curado inicial de la mezcla. Estos procedimientos deben ser indicados con detalle en el informe

Refrentado

- 6.19 Antes del ensayo a compresión, deben refrentarse los extremos de las probetas que no se consideren planos con una tolerancia de 0,05 mm (0,002 pulg) de separación del plano.

- 6.20 El refrentado puede hacerse con los elementos comunes para ello (azufre). La capa del refrentado debe ser lo más delgada posible y aplicarse con suficiente anterioridad para que endurezca y no se fracture cuando la probeta se someta a compresión (tiempo sugerido: 3h a 23 °C). Durante este período de endurecimiento, debe mantenerse constante la humedad de las probetas...

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 No existe información al respecto para este método.

7.2 INFORME

- 7.2.1 El informe debe incluir los siguientes datos acerca de la mezcla de suelo cemento:

- a) Radación del suelo tal como fue recibido y usado en la elaboración de las probetas.
- b) Identificación de las probetas.
- c) Humedad de diseño.
- d) Peso específico seco (al horno) de diseño.
- e) Contenido de cemento de diseño.
- f) Humedad real.
- g) Peso específico seco (al horno) real.
- h) Contenido de cemento real.
- i) Detalles de los procedimientos de curado y de acondicionamiento de las probetas.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

Este método describen procedimientos para moldeo y curado del especímenes. No hay pruebas anteriores que valoran lo determinado, establecer precisión y dispersión del método no es aplicable.

MTC E 1102

RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO)

1.0 OBJETO

- 1.1 Se refieren a la determinación de la relación entre la humedad y el peso unitario de mezclas de suelo - cemento, cuando se compactan del modo que se prescribe y antes de que ocurra la hidratación del cemento.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Se emplean para la compactación, un molde de 944 cm³ (1/30 pie³) y un martillo de 2,50 kg (5,5 lbs) que cae desde una altura de 305 mm (12 pulg), pero se siguen dos métodos de acuerdo con la granulometría del material:

Método A, para muestras de suelo que pasan por el tamiz de 4,75 mm (Nº 4). Deberá emplearse este método cuando el 100% de la muestra del suelo pasa el mencionado tamiz (véanse los numerales 3 y 4).

Método B, para muestras de suelo que pasan un tamiz de 19,0 mm (3/4 pulg). Deberá emplearse este método cuando Parte del suelo queda retenido en el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) (véanse los numerales 5 y 6).

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D-558, AASHTO T-134

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Molde. Deberá ser cilíndrico de paredes sólidas, fabricado con metal y con las dimensiones y capacidades mostradas en la Figura 1. Deberá tener un collar ajustable de aproximadamente 60 mm (2 3/8 pulg) de altura, que permita la preparación de especímenes compactados de mezclas de suelo cemento de la altura y volumen deseado.

El conjunto del molde y del collar deberá estar construido de tal manera que pueda ajustarse firmemente a una placa hecha del mismo material. Su diámetro será de 101,6 mm (4 pulg) y debe ser semejante al del ensayo (Proctor estándar).

Nota 1. Pueden emplearse distintos tipos de molde, pero con la capacidad estipulada aquí, si al correlacionarse con los de los moldes de pared sólida, para diferentes clases de suelo, se obtienen los mismos resultados de relación humedad - peso unitario. Deberán mantenerse disponibles los registros de dicha correlación para el caso en que se desee efectuar una inspección.

- 4.1.2 Pisón. Puede ser operado manual o mecánicamente, y cumplirá con las condiciones exigidas para los del ensayo MTC E116 (Próctor estándar).

Nota 2. El martillo mecánico deberá calibrarse con diferentes mezclas de suelo - cemento y su peso se ajustará, si fuere necesario, para que dé los mismos resultados de humedad peso unitario que los obtenidos con martillos de operación manual. No es práctico calibrar el aparato mecánico en cada caída del martillo como el operado manualmente. Para efectuar el ajuste de la caída libre, la porción del material suelto que recibe los golpes iniciales deberá comprimirse para establecer el punto del impacto a partir del cual se determina la caída de 305 mm (12 pulg). Los golpes siguientes sobre esta capa pueden aplicarse dejando caer el martillo desde una altura de 305 mm (12 pulg) por encima de la altura inicial de asentamiento o cuando el aparato mecánico está diseñado con un ajuste de una altura para cada golpe, todos los golpes subsiguientes deberán tener una caída libre para el martillo de 305 mm (12 pulg), medidos a partir de la altura del suelo compactado por el golpe previo

- Cara del pisón. Deberá emplearse el pisón con cara circular pero podrá emplearse como alternativa, uno con cara de sector circular, el cual deberá tener un área igual a la de la cara circular. En el informe se indicará el tipo de cara usada cuando es diferente a la circular de 50,8 mm (2 pulg) de diámetro.
- 4.1.3 Extractor de muestras. Un gato, extractor, u otro dispositivo adecuado como para usarse como botador de las muestras compactas del molde. No se necesita cuando se utilizan moldes de tipo partido.
- 4.1.4 Balanzas. Una balanza de capacidad de por lo menos 11,3 kg (25 lb) con precisión de 5 g (0,01 lb); y una balanza de al menos 1000 g de capacidad, con precisión de 0,1 g.
- 4.1.5 Estufa Termostáticamente controlado, que pueda mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- 4.1.6 Regla metálica. Un escantillón regla de acero endurecido, al menos de 254 mm (10 pulg) de largo; deberá tener un borde biselado y una cara plana en sentido longitudinal.
- Nota 3.** Él borde biselado podrá usarse en el alisamiento final si se conserva dentro de una tolerancia del 0,1% de longitud sin embargo, con el uso continuado, el borde cortante podrá desgastarse excesivamente en cuyo caso no sería adecuado para alisar el suelo hasta el nivel del molde. La regla no deberá ser tan flexible que cuando se alise el suelo con el borde cortante, proporcione una superficie cóncava en la muestra
- 4.1.7 Tamices de 75; 19,0 y 4,75 mm (3 pulg, $\frac{3}{4}$ pulg, y N° 4).
- 4.1.8 Herramientas. Herramientas varias como cucharas, espátulas, cacerolas o un dispositivo mecánico para mezclar las muestras de suelo con diferentes cantidades de agua.
- 4.1.9 Recipientes. Una cacerola plana, redonda para absorción de humedad para mezcla de suelo - cemento de alrededor de 300 mm (12 pulg) de diámetro y 50 mm (2 pulg) de profundidad.
- 4.1.10 Latas para humedad. Recipientes metálicos o de otro material, con tapa para evitar la pérdida de humedad antes y durante el pesaje.
- 4.1.11 Cuchillo de aproximadamente 250 mm (10 pulg) de longitud, para recortar la parte superior del espécimen.

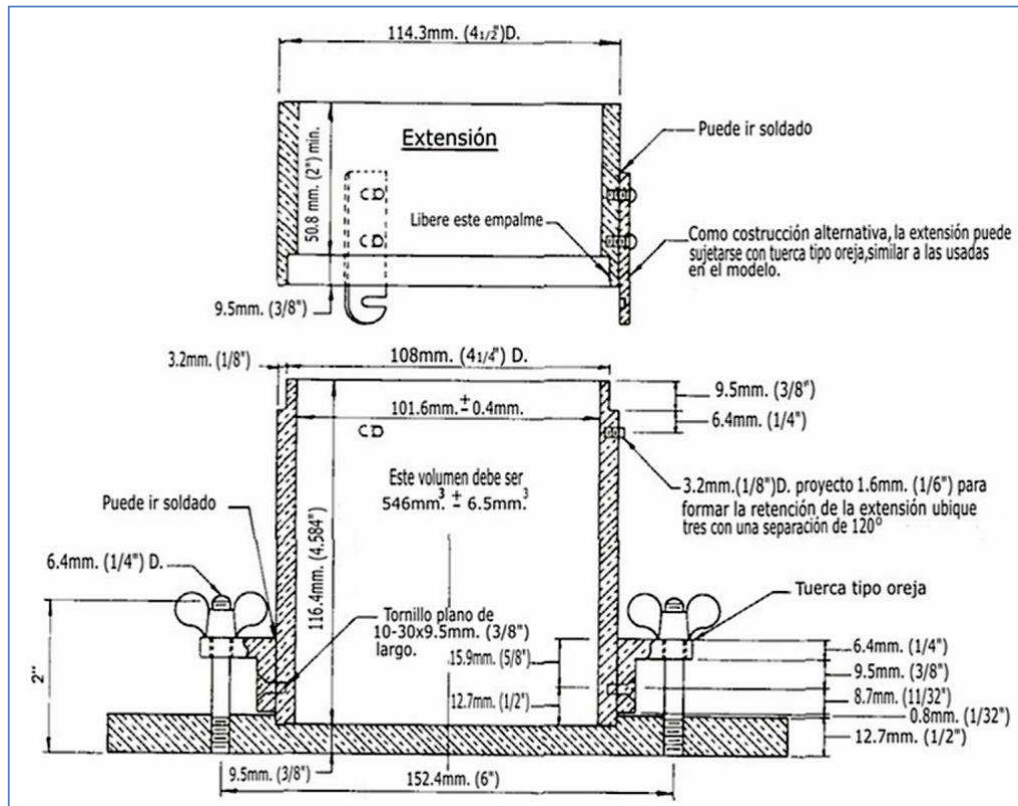


Figura 1: Molde cilíndrico de 101,6 mm (4,0 pulg) para ensayos de suelos

5.0 MUESTRA

METODO A, EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ DE 4,75mm (Nº 4)

- 5.1 Prepárese la muestra disgregando los terrones del suelo para que pase tamiz de 4,75 mm (Nº 4), de tal manera que se evite la reducción del tamaño natural de las partículas individuales. Cuando sea necesario, séquese primero la muestra hasta cuando sea friable (desmenuzable). El secamiento puede hacerse al aire o mediante el empleo de aparatos de calentamiento siempre y cuando la temperatura de la muestra no exceda de 60°C.

- 5.2 Escójase una muestra representativa, que pese aproximadamente 2,75 kg (6 lbs) o más del suelo preparado, como se describió en el numeral 5.1.

METODO B. EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ. DE 19,0 mm (3/4 pulg)

- 5.3 Prepárese la mezcla para ensayo, separando el agregado retenido en el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) y rompiendo los terrones del suelo restante, para que pasen por dicho tamiz, evitando reducir el tamaño natural de las partículas individuales. Cuando sea necesario, séquese la muestra hasta que sea friable. El secamiento puede hacerse al aire o mediante el empleo de un aparato secador siempre y cuando la temperatura aplicada no exceda de 60 °C.

- 5.4 Pásese el suelo preparado, por los tamices de 75 mm (3 pulg), 19,0 mm (3/4 pulg), y 4,75 mm (Nº 4) y descártese el material retenido en el tamiz de 75 mm (3 pulg). Determínese el porcentaje de material, por peso seco al horno, retenido en los tamices de 19,0 mm (3/4 pulg) y 4,75 mm (Nº 4). Satúrese el agregado que pasa por el tamiz de 19,0 mm (3/4 pulg) y que queda retenido en el de 4,75 mm (No. 4), empapándolo en agua; séquese la superficie como sea requerido para ensayos posteriores.

Nota 4. La mayoría de especificaciones de construcción de suelo - cemento que cubren la granulometría del suelo limitan el tamaño máximo del material a 75 mm (3 pulg) o menos.

- 5.5 Escójanse y manténganse separadamente muestras representativas del suelo que pasa el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y de agregado saturado con superficie seca, que pasan el tamiz de 19,0 mm (3/4 pulg) y que quedan retenidos en el de 4,75 mm (Nº 4), de manera que la mezcla total pese aproximadamente 5 kg (11 lbs) o más. El porcentaje, en peso secado al horno, del agregado que pasa tamiz de 19,0 mm (3/4 pulg) y que queda retenido en el de 4,75 mm (No. 4) deberá ser el mismo que el porcentaje que pasa tamiz de 75 mm (3 pulg) y que queda retenido en el de 4,75 mm (Nº 4) de la muestra original. Una vez hecho el reemplazo respectivo, únense las porciones separadas formando la mezcla total.

6.0 PROCEDIMIENTO

METODO A, EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ DE 4,75mm (Nº 4)

- 6.1 Agréguese al suelo, de acuerdo con el diseño, la cantidad requerida de cemento. Mézclase hasta lograr un color uniforme. Cuando sea necesario, agréguese suficiente agua para humedecer la mezcla aproximadamente con cuatro o seis puntos de porcentaje por debajo de la humedad óptima y mézclase completamente. Con esta humedad, una muestra de suelos plásticos, exprimidos en la palma de la mano, formará una pasta que se fracturará con una ligera presión aplicada por el pulgar y las puntas de los dedos; los suelos no plásticos se abultarán notablemente. Cuando el suelo sea arcilloso de textura pesada (grasa), la mezcla de suelo - cemento y agua se compactará dentro de la cacerola plana hasta tener un espesor más o menos de 50 mm (2 pulg), empleando el pisón manual descrito en el numeral 4.1.2 o un martillo similar. Cúbrase y déjese reposar la mezcla, por un período entre 5 y 10 minutos, para que haya dispersión de la humedad y permitir una absorción más completa. Después disgréguese completamente la mezcla, sin reducir el tamaño natural de las partículas, hasta que pase por el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) y vuélvase a mezclar.
- 6.2 Fórmese un espécimen compactando en el molde con el collar ajustado, usando la Mezcla preparada de suelo cemento, en tres capas iguales, logrando una profundidad total compacta de alrededor de 125 mm (5 pulg). Compáctese cada capa mediante 25 golpes del Martillo, usado en el ensayo Proctor estándar.

Los golpes deberán distribuirse uniformemente sobre la superficie de la capa que se está compactando y el molde deberá permanecer sobre una fundación uniforme y rígida (Nota 4). Después de la compactación, remuévase el collar de extensión, recórtese cuidadosamente la parte superior de la probeta por medio del cuchillo de borde recto y pésese con aproximación a 0,004 kg (0,01 lb), multiplíquese el peso del suelo compactado (menos el peso del molde) por 30; regístrese el resultado como el peso húmedo por unidad de volumen W_1 en kg/m^3 de la mezcla de suelo - cemento compactado.

Nota 5. Una base satisfactoria para apoyar el molde durante la compactación del suelo, puede ser uno que de concreto que pese más de 90,2 kg (200 lb) soportado por una fundación relativamente estable, un piso sólido de concreto, y para el campo, superficies como las halladas en alcantarillas, puentes y pavimentos.

- 6.3 Extráigase la probeta del molde y córtese verticalmente a lo largo de su eje. Tómese una muestra representativa que pese como mínimo 100 g, secándola en la estufa a 110 ± 5 °C, hasta peso constante. Calcúlese la humedad y anótese el resultado como la humedad a la mezcla de suelo cemento compactado.
- 6.4 Disgréguese completamente la parte remanente del espécimen moldeado hasta que a simple vista se considere que el material pasa por el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) e intégrese con la parte restante de la muestra que se está ensayando. Agréguese agua en suficiente cantidad para aumentar el contenido de humedad de la mezcla de suelo -cemento en uno o dos puntos de porcentaje, mézclase y repítase el procedimiento dado en los numerales 6.2 y 6.3 para cada incremento de agua. Continúese esta serie de determinaciones hasta cuando haya una disminución o no haya cambio en el peso húmedo por unidad de volumen, W_1 en kg/m^3 de la mezcla de suelo - cemento compactada.

Nota 6. En la mayoría de los casos este procedimiento ha sido hallado satisfactorio. Sin embargo, en casos en los cuales el material es de carácter frágil y se reduce significativamente el tamaño de las partículas, debido a la compactación, muestras diferentes y separadas deberán emplearse para cada determinación de humedad peso unitario

METODO B. EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ. DE 19,0mm (3/4 pulg)

- 6.5 Agréguese el cemento, a la porción de la muestra de suelo que pasa el tamiz de 4,75 mm (Nº 4), en la cantidad requerida, según diseño por la mezcla total especificada en el numeral 5.5. Mézclase hasta llegar a un color uniforme. Cuando sea necesario, agréguese agua a esta mezcla de suelo - cemento y facilítase la dispersión de la humedad como se describe en el numeral 6.1 del Método A. Después de esta preparación adiciónese el agregado saturado con superficie seca, a la mezcla de suelo cemento y mézclase completamente.
- 6.6 Fórmese un espécimen, compactando la mezcla del suelo - cemento preparada, en el molde con el collar colocado; recórtese y pésese el espécimen compactado como se describe en el numeral 6.2 para el Método A. Durante la operación de recorte remuévanse todas las partículas que sobresalgan por encima del nivel superior del molde. Corríjanse todas las irregularidades en la superficie apisonando a mano material fino dentro de dichas irregularidades y nivelando nuevamente el espécimen con el cuchillo de borde recto. Multiplíquese el peso del espécimen compactado (menos el peso del molde), por 30, regístrese el resultado como peso húmedo por unidad de volumen, W_1 en kg/m^3 de la mezcla de suelo - cemento compactado.
- 6.7 Remuévase el material del molde y tómesese una muestra para determinar la humedad, como se describe en el numeral 6.3 para el Método A, excepto que esta muestra no deberá pesar menos de 500 g. Regístrese el resultado como la humedad w , de la mezcla de suelo-cemento compactado.
- 6.8 Rómpace completamente el material como antes, hasta que a simple vista se considere que pasa un tamiz de 19,0 mm (3/4 pulg) y que un mínimo del 90% de las partículas menores de 4,75 mm (No. 4) pasan tamiz de 4,75 mm (Nº 4), y agréguese todo el material remanente después de obtener la humedad de la muestra. Adiciónese agua suficiente para aumentar la humedad de la mezcla de suelo - cemento en uno o dos puntos de porcentaje, mézclase y repítase el procedimiento descrito en los numerales 6.6 y 6.7, por cada incremento de agua. Continúese esta serie de determinaciones, hasta cuando haya una disminución o no haya cambio en el peso húmedo por unidad de volumen, w_1 , en kg/m^3 de la mezcla compactada de suelo -cemento (véase la Nota 6).

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcúlese la humedad y el peso secado al homo por unidad de volumen, en kg/m^3 de mezcla de suelo - cemento compactado para cada prueba en la siguiente manera:

$$W = \frac{A - B}{B - C} \times 100$$

$$W = \frac{W_1}{w \times 100} \times 100$$

Donde:

- w = Porcentaje de humedad en la muestra.
- A = Peso del recipiente para humedad y del suelo - cemento húmedo
- B = Peso del recipiente para humedad y del suelo - cemento seco
- C = Peso del recipiente para humedad.



$W =$ Peso seco en el horno en kg/m^3 del suelo - cemento compactado.

$W_1 =$ Peso húmedo en kg/m^3 del suelo compactado.

7.1.2 Relación de humedad - peso unitario

7.1.2.1 Los cálculos del numeral 7 deberán hacerse para determinar la humedad y el correspondiente peso secado al horno en kg/m^3 para cada una de las muestras de suelo - cemento compactado. Los pesos secados al horno, en kg/m^3 de mezcla de suelo - cemento se dibujarán como ordenadas y las humedades correspondientes, como abscisas.

7.1.2.2 Humedad óptima. Cuando se hayan determinado los pesos unitarios y las correspondientes humedades, como se indica en el numeral 7.1.2.1, se dibujará una curva que una los puntos correspondientes con una línea suave. La humedad que corresponda al pico de la curva se denomina "humedad óptima" de la mezcla de suelo - cemento bajo la compactación prescrita en estos métodos.

7.1.2.3 Peso unitario máximo. El peso secado al horno, en kg/m^3 (lb/pe^3) de la mezcla de suelo - cemento que corresponda al contenido de humedad óptimo se llamará peso unitario máximo bajo la compactación prescrita en este método.

7.2 INFORME

7.2.1 El informe debe incluir lo siguiente:

- El contenido de humedad óptimo
- El peso unitario máximo

MTC E 1103

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la Resistencia a la Compresión de probetas de suelo – cemento

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Se proporcionan dos procedimientos alternativos:

Método A. Este procedimiento emplea un cilindro de ensayo de 101,6 mm (4,0") de diámetro y de 116,4 mm (4,584") de altura. La relación de la altura al diámetro es de 1,15.

Método B. Este procedimiento emplea un cilindro de ensayo de 71,1 mm (2,8") de diámetro y de 142,2 mm (5,6") de altura. La relación de la altura al diámetro es de 2,0.

Las unidades normales serán kPa y mm.

- 2.2 El Método A hace uso del mismo equipo de compactación y moldes comúnmente disponibles en los laboratorios de suelos y empleados para otros ensayos de suelo-cemento. Se considera que este método suministra una medida aproximada de la resistencia en lugar de un valor exacto de la resistencia a la compresión. Debido a una menor relación de altura al diámetro (1,15) de los cilindros, la resistencia a la compresión determinada mediante el Método A será normalmente mayor que la del Método B.
- 2.3 A causa de la mayor relación de la altura al diámetro (2,00), el Método B da una mejor medida de la resistencia a la compresión desde un punto de vista técnico, ya que reduce condiciones complejas de esfuerzos que pueden presentarse durante el aplastamiento de especímenes del Método A.
- 2.4 En la práctica, el Método A ha sido empleado más comúnmente que el Método B. Como consecuencia de esto, ha sido costumbre evaluar o especificar valores de resistencia a la compresión según el Método A.

En el numeral 6 se da un factor para convertir valores de resistencia a la compresión con base en la relación entre la altura y el diámetro.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM ED 1633

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Máquina para ensayo de compresión. Puede ser de cualquier tipo que tenga capacidad suficiente y adecuado control para proporcionar la rata de carga prescrita en el numeral 6.2 y deberá cumplir con las exigencias del numeral 15 de la práctica E-4 (Procedimiento de verificación de maquina) de la ASTM.

Deberá estar provista de dos superficies de apoyo de acero templado (véase la Nota 1), una de las cuales es un bloque de levantamiento asentado esféricamente, el cual normalmente se apoya sobre la superficie superior del espécimen y el otro un bloque rígido plano sobre el cual descansará el espécimen.

Las superficies de apoyo deberán ser al menos tan grandes como la superficie del espécimen a la cual se aplica la carga. Las superficies de apoyo, cuando nuevas, no deberán apartarse de un plano en más de 0,013 mm (0,0005 pulg) en ningún punto y deberán mantenerse dentro de un límite de variación permisible de 0,02mm (0,001 pulg).

En el bloque asentado esféricamente, el diámetro de la esfera no deberá exceder al del espécimen y el centro de la esfera deberá coincidir con el centro de la superficie de soporte.

La parte móvil de este bloque deberá mantenerse estrechamente ajustada en el asentamiento esférico, pero el diseño deberá ser tal, que la superficie de soporte pueda rotarse libremente e inclinarse en ángulos pequeños en cualquier dirección.

Nota 1. Es deseable que las superficies de soporte de los bloques empleados para el ensayo de compresión del suelo cemento tengan una dureza no menor de 60 HRC (Unidades de Dureza Rockwell con punta de diamante) (AASHTO T 80, ASTM E 18)

- 4.1.2 Equipos y moldes de compactación, de acuerdo con los métodos (a) secado de mezclas de suelo - cemento compactadas para el Método A; o con el método (b) preparación en el laboratorio de pruebas de suelo - cemento para el Método B.

5.0 MUESTRA

5.1 Especímenes de ensayo

5.1.1 Moldéense los especímenes de ensayo así:

- Método A. Especímenes de 101,6 mm (4 pulg) de diámetro y de 116,4 mm (4,584 pulg) de altura y moldeados de acuerdo con el método (a).
- Método B. Especímenes de 71,1 mm (2,8 pulg) de diámetro y de 142,2 mm (5,6 pulg) de altura y moldeados de acuerdo con el método (b).

Nota 2. Pueden emplearse estos métodos para ensayar especímenes de otros tamaños. Si la Muestra del suelo incluye material retenido en el tamiz de 4,75 mm (No. 4), se recomienda emplear el Método A. Especímenes más grandes de 101,6 mm (4 pulg) de diámetro y 203,2 mm (8 pulg) de altura, se moldean de una manera similar al Método B

5.1.2 Cúrense en húmedo los especímenes de acuerdo con el método (b).

5.1.3 Al final del período húmedo de curado, sumérganse por 4 horas los especímenes en agua.

5.1.4 Remuévanse los especímenes del agua y efectúense los ensayos de compresión tan pronto como sea posible, manteniendo húmedos los especímenes, por medio de cáñamo húmedo o bayetilla de envoltura.

Nota 3. Otros procedimientos de acondicionamiento, como secado al aire o en el horno o humedecimiento y secamiento alternativamente, pueden especificarse después de un período inicial de curado. Los procedimientos de acondicionamiento y curado deberán indicarse detalladamente en el informe.

5.1.5 Compruébese la tersura de las caras con una hoja recta. Si fuere necesario, refréndense los extremos para que cumplan con las exigencias del aparte sobre refrentado de especímenes, (b) ("capping").

PROCEDIMIENTO

5.2 Colóquese el bloque inferior de apoyo sobre la mesa o sobre la plataforma de la máquina de ensayo directamente bajo el bloque de apoyo superior asentado esféricamente. Colóquese el espécimen sobre el bloque inferior de apoyo, asegurándose de que el eje vertical del espécimen, esté alineado con el centro de empuje del bloque asentado esféricamente. Como este bloque es llevado a apoyarse sobre el espécimen, rótese suavemente a mano su parte móvil de manera que obtenga asentamiento uniforme.

5.3 Aplíquese la carga continuamente y sin choques. Puede usarse una máquina de ensayo operada por tornillo aproximadamente a 1 mm (0,05 pulg) por minuto. Con máquinas hidráulicas, ajústese la carga a una rata constante dentro de los límites de 140 ± 70 kPa/s (20 ± 10 lb./pulg²/s) de acuerdo con la resistencia del espécimen. Regístrese la carga total a la falla del espécimen de ensayo con aproximación de 40 N (10 lb).

6.0 CALCULOS E INFORME

6.1 CALCULOS

- 6.1.1 Calcúlese la resistencia unitaria a la compresión del espécimen dividiendo la carga máxima entre el área de la sección transversal.

Nota 4. Si se desea, establézcanse tolerancias para la relación de altura/diámetro (h/d), multiplicando la resistencia a la compresión de especímenes del Método B por 1,10. Esto convierte la resistencia para una relación h/d de 2,00 a la de una relación de h/d de 1,15 comúnmente empleada en ensayos de resistencia de suelo cemento (véase el numeral 2). Esta conversión ha sido encontrada aplicable para el suelo cemento

6.2 INFORME

- 6.2.1 El informe deberá incluir:

- a) Número de identificación del espécimen.
- b) Diámetro y altura, mm (pulg).
- c) Área de la sección transversal, mm² (pulg²).
- d) Carga máxima, con aproximación a los 40 N (10 lb) más próximas.
- e) Factor de conversión, si se usó, para la relación de la altura al diámetro (véase la Nota 4).
- f) Resistencia a la compresión, calculada con aproximación a 35 kPa (5 lbs/pulg²).
- g) Edad del espécimen.
- h) Detalles de los periodos de curado y acondicionamiento y contenido de humedad en el momento del ensayo.

7.0 PRECISION Y DISPERSION

La precisión y dispersión de este método de ensayo no han sido establecidas mediante un programa de investigación de varios laboratorios. Sin embargo, con base en los datos de ensayo que están disponibles, lo siguiente puede servir como guía para la variabilidad de los resultados de ensayos de compresión.

7.1 Precisión

- 7.1.1 Se efectuaron ensayos en un laboratorio sencillo sobre 122 grupos de especímenes dobles, moldeados a partir de 21 materiales diferentes de suelo.
- 7.1.2 La diferencia promedio en la resistencia sobre especímenes, duplicados fue de 8,1% y la diferencia media de 6,2%. Estos valores se expresan como el porcentaje de la resistencia promedio de los dos especímenes, en la siguiente forma:

$$\% \text{ de diferencia} = \frac{(\text{Valor alto} - \text{Valor bajo})}{(\text{Valor alto} + \text{Valor bajo})/2} \times 100$$

En la Figura 1 se muestra la distribución de la variación. Los datos cubren un rango amplio de contenidos de cemento y de resistencia la compresión.

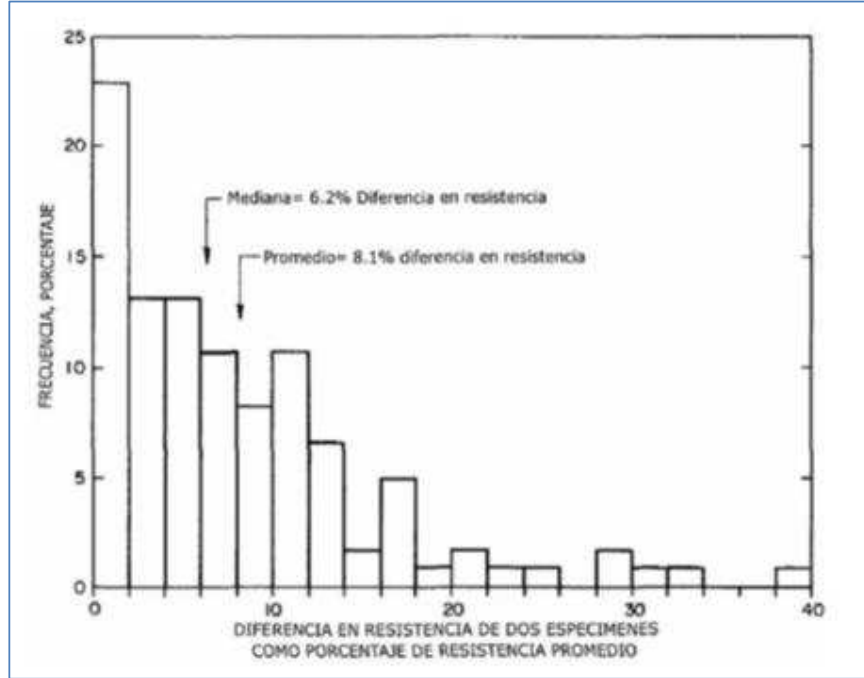


Figura 1. Distribución de la variación de los resultados de 122 grupos de especímenes dobles

MTC E 1104

HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO COMPACTADAS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar las pérdidas del suelo-cemento, los cambios de humedad y de volumen (expansión y contracción) producidos por el humedecimiento y secado repetido de especímenes endurecidos de suelo-cemento.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Estos especímenes son compactados en un molde, antes de la hidratación del cemento, hasta peso unitario máximo con el contenido óptimo de humedad, empleando los procedimientos de compactación descritos en el ensayo para la determinación de las relaciones humedad-peso unitaria de mezclas de suelo-cemento, norma sobre "Relación Humedad – P. Unitario de mezclas de suelo – cemento".
- 2.2 Se señalan dos métodos según la granulometría del suelo, para la preparación del material para moldear los especímenes, aplicando los mismos criterios de los métodos A y B del ensayo de la norma citada.
- 2.3 Este método de ensayo es usado para determinar la resistencia de una mezcla suelo-cemento compactado, sometido a humedecido y secado en repetidas veces. Este método desarrolla el uso en conjunto con el método de ensayo Congelamiento y Deshielo para mezclas de suelo cemento compactadas (ASTM D-560) y los criterios dados el manual de mezclas suelo-cemento, para determinar el porcentaje requerido de cemento en el suelo y lograr un grado de dureza adecuada para resistir un curado en el campo.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D-559, AASHTO T-135
Terminología
- 3.2 Para las definiciones y condiciones más comunes de esta norma se usa la terminología de la sección MTC E 001 2013

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Para el presente ensayo se utilizan los mismos equipos requeridos por la norma mencionada (véase Figura 1). Además, se necesitan los que se describen a continuación.
- 4.1.2 Una Estufa termostáticamente controlada que pueda mantener temperaturas de $71^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ para secado de los especímenes compactados.
- 4.1.3 Cámara húmeda. Una cámara húmeda o un recipiente cubierto que pueda mantener una temperatura de $21 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ con una humedad relativa del 100% para un almacenamiento de 7 días de los especímenes compactados.
- 4.1.4 Baño de agua. Cantidad adecuada para sumergir especímenes compactados en el agua a la temperatura ambiente.
- 4.1.5 Cepillo de cerdas de alambre. Un cepillo de cerdas de alambre (Nº 26(0,46mm)) (2 por 1/16 pulg) compuesto por 50 grupos de 10 cerdas cada una y montados para que formen 5 filas longitudinales y 10 filas transversales de cerdas sobre un bloque de madera dura de 190 x 63,5mm) ($7\frac{1}{2}$ por $2\frac{1}{2}$ ").
- 4.1.6 Escantillón. De acero para nivelar el plano liso de la primera y segunda capa del espécimen.
- 4.1.7 Dispositivo de medida. Un dispositivo adecuado para la medición precisa de las alturas y diámetros de los especímenes de ensayo con aproximación de 0,25mm (0,01 pulg).

- 4.1.8 Bandejas y soportes adecuados para el manejo de materiales.
- 4.1.9 Una probeta de vidrio con 250 mL de capacidad para medir agua.
- 4.1.10 Tamices 3 pulg (75mm), $\frac{3}{4}$ " (19mm) y N° 4 (4,75mm).
- 4.1.11 Herramientas de mezclado, como cucharas, paletas, para mezclar completamente el suelo con el cemento y con incremento de agua.
- 4.1.12 Escarificador, aparato liso para remover la primera y segunda capa del espécimen.
- 4.1.13 Cuchillo, aproximadamente de 10 pulg (250 mm) de longitud para removerla parte superior del espécimen.
- 4.1.14 Recipiente, para contenido de humedad de mezcla suelo-cemento, de 12 pulg (305mm) de diámetro y 2 pulg (50mm) de altura.

5.0 MUESTRA

METODO A, EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ DE 4,75mm (No. 4)

- 5.1 Preparación del material para el molde de especímenes
 - 5.1.1 Prepárense las muestras de suelo de acuerdo con los procedimientos descritos en el Método A del ensayo para las relaciones de humedad - peso unitario de mezclas de suelo-cemento.
 - 5.1.2 Escójase una cantidad suficiente de suelo preparado como se indicó en el numeral 5.1 para proporcionar dos muestras compactadas (Nota 1) y las muestras requeridas para determinación de la humedad.

Nota 1. Usualmente, solo un espécimen (identificado con el N° 2) se necesita para ensayos de rutina el otro espécimen (identificado con el N° 1) se emplea para investigaciones y ensayos de suelos poco usuales.
 - 5.1.3 Agréguese al suelo de acuerdo con el diseño, la cantidad requerida de cemento. Mézclase completamente, hasta lograr un color uniforme.
 - 5.1.4 Agréguese suficiente agua para llevar la mezcla a su contenido óptimo de humedad en el momento de la compactación y mézclase completamente. Cuando el suelo que se emplea sea de textura arcillosa pesada (grasa), compáctese la mezcla de suelo, cemento y agua en la cacerola plana hasta tener un espesor de alrededor de 50 mm (2 pulg) empleando el pisón del ensayo Próctor estándar o un martillo de mano similar; cúbrase y déjese en reposo entre 5 y 10 minutos para que haya dispersión de la humedad y permitir una absorción más completa.
 - 5.1.5 Después, disgréguese completamente la mezcla, sin reducir el tamaño natural de las partículas, hasta cuando a simple vista se note que pase por el tamiz 4,75mm (N° 4) y vuélvase a mezclar.
- 5.2 Moldeo de especímenes
 - 5.2.1 Fórmese un espécimen compactando la mezcla de suelo-cemento en el molde (con el collar ajustado) y recórtese la superficie del espécimen de acuerdo con el Método A de la norma mencionada; adicionalmente, escarifíquense las partes superiores de la primera y segunda capa para romper planos lisos de compactación, antes de colocar y compactar las capas subsiguientes. Esta escarificación deberá formar ranuras en ángulos rectos una de otra de aproximadamente 3,2 mm (1/8 pulg) de ancho, 3,2 mm (1/8 pulg) de profundidad y de 6,4mm (1/4 pulg) de separación. Durante la compactación tómesese de una porción de muestra representativa de la mezcla de suelo cemento, que no pese menos de 100g, pésese inmediatamente y séquese en el horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por lo menos durante 12 horas o hasta peso constante. Calcúlese el porcentaje de humedad como se prescribe en la norma mencionada para comprobar que está en el óptimo.

- 5.2.2 Pése el espécimen compactado y el molde, extráigase el espécimen del molde y calcúlese el peso secado al horno de cada espécimen en kg/m^3 , (lb/pe^3), para comprobar el peso unitario del diseño.
- 5.2.3 Identifíquese el espécimen con un membrete metálico (u otro dispositivo adecuado) como No. 1 (Nota 1), juntamente con otras marcas de identificación necesarias y empléense para obtener datos sobre cambios de humedad y de volumen durante el ensayo.
- 5.2.4 Hágase un segundo espécimen tan rápidamente como sea posible y determínese el porcentaje de humedad y el peso unitario secado al horno como se describió en los numerales 5.2.1 y 5.2.2 Identifíquese este espécimen como el N° 2 conjuntamente con otras marcas de identificación necesarias y empléese para obtener datos sobre las pérdidas del suelo cemento durante el ensayo.
- 5.2.5 Determínese el diámetro y la altura promedio del espécimen N° 1 y calcúlese su volumen.
- 5.2.6 Colóquense los especímenes en dispositivos adecuados en la cámara húmeda y protéjanse del agua libre durante un período de 7 días. Pése y mézase el espécimen No. 1 al final del almacenamiento de 7 días para obtener datos para el cálculo de su contenido de humedad y del volumen (Nota 2).

Nota 2. Es importante que todas las medidas de altura y diámetro se hagan con aproximación de 0,25mm (0,01 pulg) y que sean tomadas en los mismos puntos sobre el espécimen en todo momento.

METODO B. EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ. DE 19,0mm (3/4")

- 5.3 Prepárese la muestra de suelo de acuerdo con el Método B de la norma citada, del ensayo para las relaciones de humedad-peso unitario de mezclas de suelo-cemento.
- 5.4 Escójanse y manténganse separadamente muestras representativas de suelo que pasa tamiz de 4,75mm (No.4) y de agregado saturado con superficie seca que pasa tamiz de 19 mm (3/4 pulg) y queda retenido en el de 4,75mm (N° 4), de manera que la muestra total sea suficiente para proporcionar (véase Nota 1) dos (2) especímenes compactados más las muestras requeridas para determinación de la humedad. El porcentaje en peso secado al horno, del agregado que pasa el tamiz de 19,00mm (3/4 pulg) y que queda retenido en el de 4,75mm (N° 4) deberá ser el mismo que el porcentaje que pasa el tamiz de 75 mm (3 pulg) que queda retenido en el 4,75mm (N° 4) de la muestra original. Una vez efectuado el reemplazo requerido, únense las porciones, formando la mezcla total.
- 5.5 Agréguese a la porción de muestra que pasa tamiz de 4,75mm (N° 4), la cantidad de cemento, requerida según diseño, para la muestra total especificada en el numeral 5.4. Mézclese ambos hasta lograr un color uniforme.
- 5.6 Agréguese agua suficiente para llevar la mezcla total de suelo-cemento hasta su contenido óptimo de humedad en el momento de la compactación, facilitándose la dispersión de humedad como se prescribe para el Método A, en el numeral 5.1.4.
- 5.7 Después de preparada la mezcla como se describió en los numerales 5.3 a 5.5, agréguese a la mezcla el agregado grueso saturado, con superficie seca, y mézclese completamente.
- 5.8 Especímenes moldeados.
- 5.9 Fórmese un espécimen compactando la mezcla de suelo-cemento en el molde (con el collar ajustado) y recórtese la superficie del espécimen, de acuerdo con el Método B de la norma mencionada, pero clavando repetidamente un cuchillo doméstico en cada capa colocada, antes de ser compactada, a fin de obtener una distribución uniforme del material retenido en el tamiz de 4,75 mm (N° 4) y escarificando la parte superior de la primera y segunda capa como se describe en el numeral 5.2.1 del Método A. Durante la compactación, tómesese de una porción de muestra representativa de suelo-cemento que no pese menos de 500 g, pése inmediatamente y séquese en un horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ por un mínimo de 2 horas o hasta peso constante, para determinar la humedad de ensayo y comprobar la humedad de

diseño. Fórmese, tan rápidamente como sea posible un segundo espécimen, de la misma manera que el primero.

- 5.10 Pésele cada espécimen compactado para verificar la densidad de diseño identifíquese y mézase el espécimen N° 1 (Nota 1), colóquese en el cuarto húmedo, y mézase de nuevo el espécimen N° 1 al final del período de almacenamiento de 7 días, como se describe en los numerales 5.2.2 a 5.2.6 (Nota 2).

6.0 PROCEDIMIENTO

METODO A, EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ DE 4,75mm (N° 4)

- 6.1 Al final del período de almacenamiento en la cámara húmeda, sumérjase los especímenes en agua, a temperatura ambiente durante un período de 5 horas. Luego, pésele y mézase el espécimen No.1 (cambio de volumen y humedad del espécimen).

- 6.2 Colóquese ambos especímenes en la estufa a $71 \pm 3^{\circ}\text{C}$ durante 42 horas y remuévanse. Pésele y mézase el espécimen N° 1. Dense dos pasadas firmes al espécimen N° 2 (especimen para la pérdida de suelo-cemento) sobre toda su área, con el cepillo de alambre. El cepillo deberá mantenerse con su eje longitudinal paralelo al eje longitudinal del espécimen o paralelo a los bordes, como sea necesario, para cubrir toda su superficie. Aplíquese esas pasadas con un golpe firme que corresponda aproximadamente a 13,3 N (3 lbf) (Nota 5). Se requerirán de 18 a 20 pasadas verticales con el cepillo para cubrir los lados del espécimen y cuatro pasadas sobre cada extremo.

Nota 3. Esta presión se mide de la siguiente forma: colóquese el espécimen en la posición vertical sobre el borde de una balanza de plataforma y póngase la balanza en cero. Aplíquese los golpes de cepillado verticales al espécimen y nótese la fuerza para registrar aproximadamente 13,3 N (3 lb)

- 6.3 Los procedimientos descritos en los numerales 6.1 y 6.2 constituyen un ciclo (48 horas) de humedecimiento y secado. Sumérjase de nuevo el espécimen en agua y continúese el procedimiento durante 12 ciclos (Nota 4). El espécimen N° 1 podrá discontinuarse antes de los 12 ciclos si las medidas llegan a hacerse imprecisas debido a pérdidas de suelo-cemento del espécimen (Nota 5).

Nota 4. Cuando se efectúan investigaciones o estudios especiales, las determinaciones del peso del espécimen No.2 antes y después del cepillado se hace generalmente al final de cada ciclo.

Nota 5. Si no es posible correr ciclos continuamente a causa de domingos, fiestas o por cualquier otra razón, manténgase el espécimen en el horno, durante el tiempo de receso, si fuere posible

- 6.4 Después de los 12 ciclos de ensayo, séquese los especímenes a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ en horno, hasta obtener un peso constante.
- 6.5 Los datos recogidos permitirán cálculos de cambios de volumen y peso unitario del espécimen N° 1 así como las pérdidas de suelo-cemento del espécimen N° 2 después de los ciclos de ensayo.

MÉTODO B. EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ. DE 19,0mm (3/4")

- 6.6 Procédase como se indicó en el numeral 6, Método A.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcúlense los cambios de volumen y humedad y las pérdidas de los especímenes, en la siguiente forma:

- 7.1.1.1 Calcúlese la diferencia entre el volumen del espécimen N° 1 en el momento del moldeo y los volúmenes subsiguientes como un porcentaje del volumen original.

7.1.1.2 Calcúlese el contenido humedad del espécimen N° 1 en el momento del moldeo y los subsiguientes contenidos humedad como un porcentaje del peso del espécimen original secado en el horno.

7.1.1.3 Corriójase el peso seco al horno del espécimen N° 2 obtenido en 6.4, por el agua que ha reaccionado con el cemento y el suelo durante el ensayo, a 110°C, así:

$$\text{Peso seco al horno corregido} = (A/B) \times 100$$

Donde:

A = Peso secado al horno a 110°C.

B = Porcentaje de agua retenida en el espécimen + 100.

El porcentaje de agua retenida en el espécimen N° 2 después de secamiento a 110°C para emplear en la fórmula de arriba puede suponerse igual al agua retenida en el espécimen N° 1.

Cuando no se moldean los especímenes N° 1, no se dispone de los datos precedentes y se emplearán los valores promedios prescritos en la Tabla 1.

Tabla 1
Valores promedio de agua retenida

Clasificación del suelo según AASHTO	Promedio de agua retenida después de secamiento a 110°C %
A-1, A-3	1,5
A-2	2,5
A-4,A-5	3,0
A-6,A-7	3,5

Calcúlese la pérdida de suelo-cemento del espécimen N° 2 con un porcentaje del peso original del espécimen secado al horno, así:

$$\text{Pérdida de suelo-cemento, \%} = (X/Y) \times 100$$

Donde:

X = Peso original secado al horno calculado menos peso final corregido, secado al horno.

Y = Peso original calculado secado al horno.

7.2 INFORME

7.2.1 El informe deberá incluir:

- Humedad óptima de diseño y peso unitario máximo de los especímenes moldeados.
- Humedad y peso unitario logrados en los especímenes moldeados.
- Humedad $\pm 1\%$
- Peso unitario $\pm 48 \text{ kg} / \text{cm}^3$ (3 lb/pie³).
- El contenido de cemento de diseño, en porcentaje, en especímenes moldeados.
- El contenido de cemento, en porcentaje, obtenido en especímenes moldeados.
- El máximo cambio de volumen, en porcentaje, y el contenido máximo de humedad durante el ensayo del espécimen N° 1.
- La pérdida del suelo-cemento, en porcentaje, del espécimen N° 2.

Nota 6. Una buena práctica de laboratorio permite la tolerancia siguiente entre los factores de diseño y los obtenidos en especímenes moldeados.

MTC E 1105

DETERMINACION POR TITULACION DEL CONTENIDO DE CAL EN SUELOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el porcentaje de cal en suelos o agregados que han sido tratados con cal hidratada.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Se basa en la neutralización continua de una solución acuosa, a partir de un espécimen tratado con cal por un tiempo especificado. Esto se logra añadiendo la cantidad de ácido suficientes para neutralizar la cal, la cual está siendo continuamente disuelta durante el ensayo. La cantidad de ácido usada es directamente proporcional al contenido de cal del espécimen.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 AASHTO T 232-90, Determinación de Contenido de Cal en Suelos por Titulación

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Bureta de titulación de 100 mL, u otro dispositivo que permita la adición lenta y fácilmente controlada del ácido, con soporte y abrazadera.
- 4.1.2 Diez (10) recipientes de polietileno, de boca ancha, de 1,9 litros de capacidad (2 cuartos). (Blancos).
- 4.1.3 Dos garrafones plásticos, de 18,9 litros de capacidad (5 galones), equipados con sifones, tuberías de neopreno, abrazaderas para mangueras, etc., para suministrar la solución ácida de trabajo y el agua.
- 4.1.4 Botella gotero de vidrio (o plástica).
- 4.1.5 Tamices de 37,5 mm (1 ½ pulg) y 9,5 mm (3 /8 pulg).

Nota 1. A pesar de que los tamices colocados en los marcos de 203 mm (8 pulg) son satisfactorios, un tamiz de 9,5 mm (3/8 pulg) colocado en un marco de 305 mm (12 pulg) puede ser más adecuado para separar la muestra de campo (véanse numerales 5.1.4 y 6.1.3).

- 4.1.6 Balanzas, una con capacidad de 5 kg y sensibilidad de 1 g y otra con capacidad de 2 kg y sensibilidad de 0,1 g.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Cuatro varillas agitadoras, de acero inoxidable o de otro material adecuado.
- 4.2.2 Cuatro vasos de plástico que tengan una capacidad mínima de 500 mL.
- 4.2.3 Un vaso de vidrio de 200 mL.
- 4.2.4 Cuatro probetas graduadas de 50 mL.
- 4.2.5 Luz fluorescente, proporcionada con un tubo de 915 mm (36 pulg) de largo, o por dos de 457 mm (18 pulg) de largo.

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Ácido clorhídrico (HCl) (aproximadamente 3N). Viértanse lentamente los contenidos de 2 botellas estándar de 6 lb (2,7kg) de ácido clorhídrico (HCl) concentrado y certificado, en uno de los garrafones de 5 galones, y dilúyanse hasta 5 galones (18,9 litros) con agua potable, mezcla la solución vigorosamente por un minuto.

- 4.3.2 Solución indicadora de fenolftaleína (solución al 1%). Disuélvanse 5 g de fenolftaleína (U.S.P.) en 250 mL de alcohol etílico al 95%. Dilúyase con 250 mL de agua destilada.
- 4.3.3 Solución Stock (Poliacrilamida- agente floculante). Mézclense 0,5 g de polvo (poliacrilamida) con 100 mL de agua destilada en un vaso de vidrio. Agítese frecuentemente y permítase reposar hasta que no se vean precipitados. Prepárese una solución fresca cada semana.

5.0 MUESTRA

5.1 Calibración

- 5.1.1 Deberán ensayarse dos especímenes con un contenido de cal 1% menor que el proyectado, y dos especímenes con un contenido de cal 1% mayor que el proyectado; los datos se usarán en la preparación de una curva de calibración de titulación de la cal. En la preparación de los especímenes de calibración deberán utilizarse los mismos agregados, cal y agua que van a ser usados en el proyecto. La humedad de los especímenes deberá ser representativa de la que será usada para el material tratado con cal en el proyecto.
- 5.1.2 De la Tabla 1, selecciónese el peso de agregado que corresponde al contenido de cal y a la humedad apropiada. Este será el peso del agregado seco no tratado para preparar los especímenes de calibración de 300 gramos. Si la muestra de agregado no tratado contiene inicialmente agua, ajústese el peso del agregado húmedo para que proporcione el peso correcto del material seco. En consecuencia, se hace también una corrección al agua que se mide según el numeral 5.1.6, debido a la cantidad de agua que contiene el agregado húmedo.
- 5.1.3 De los registros del proyecto, determinénse los porcentajes promedio de agregado no tratado, que pasa el tamiz de 37,5 mm y que es retenido en el tamiz de 9,5 mm. Estos porcentajes serán usados para proporcionar los especímenes de calibración.
- 5.1.4 Remuévase y descártese cualquier agregado en la muestra del material no tratado, que sea retenido en el tamiz de 37,5 mm (1 ½ pulg) (y sepárese la fracción de muestra retenida en el tamiz de 9,5 mm. (3/8 pulg)Recombínese para lograr el peso de agregado, de los especímenes de calibración duplicados, encontrado en el numeral 5.1.2, teniendo en cuenta las proporciones halladas en el numeral 5.1.3 del material separado por el tamiz de 9,5 mm (3/8 pulg).
- 5.1.5 Selecciónese la cantidad requerida de cal a partir de la Tabla 1 y pésese con aproximación de 0,5 g.
- 5.1.6 Mídase en una probeta de vidrio la cantidad requerida de agua (corregida como se indica en el numeral 5.1.2) en mL, dada en la Tabla 1.



Tabla 1

Cantidad de materiales para las especificaciones de calibración según el porcentaje de cal

Humedad %	Agua (ml)	1% Cal		2% Cal		3% Cal		4% Cal		5% Cal		6% Cal		7% Cal	
		Agregó. Peso Seco (g)	Cal (g)	Agreg. Peso Seco (g)	Cal (g)	Agreg. Peso Seco (g)	Cal (g)	Agreg. Peso Seco (g)	Cal (g)	Agreg. Peso Seco (g)	Cal (g)	Agreg. Peso Seco (g)	Cal (g)	Agreg. Peso Seco (g)	Cal (g)
5	14	283	2,8	280	5,6	278	8,3	275	11	272	13,6	270	16,2	267	18,7
6	17	280	2,8	277	5,5	272	8,2	272	10,9	270	13,5	267	16,0	264	18,5
7	20	277	2,8	275	5,5	270	8,2	269	10,8	267	13,4	264	15,9	262	18,3
8	22	275	2,8	272	5,5	269	8,1	267	10,7	265	13,2	262	15,7	260	18,2
9	25	272	2,7	270	5,4	267	8,0	264	10,6	262	13,1	259	15,6	257	18,0
10	27	270	2,7	268	5,4	265	8,0	262	10,5	260	13,0	258	15,5	255	17,9
11	30	268	2,7	265	5,3	262	7,9	260	10,4	257	12,9	255	15,3	252	17,7
12	32	265	2,7	263	5,3	260	7,8	258	10,3	255	12,8	253	15,2	250	17,5
13	34	262	2,6	260	5,2	257	7,7	255	10,2	252	12,6	250	15,0	248	17,3
14	37	260	2,6	258	5,2	255	7,7	253	10,1	250	12,5	248	14,9	246	17,2
15	39	258	2,6	256	5,1	253	7,6	251	10,0	249	12,4	246	14,8	244	17,1
16	41	256	2,6	254	5,1	251	7,5	249	10,0	247	12,3	244	14,6	242	16,9
17	44	253	2,5	251	5,0	249	7,5	246	9,9	244	12,2	242	14,5	239	16,7
18	46	252	2,5	249	5,0	247	7,4	244	9,8	242	12,1	240	14,4	238	16,6
19	48	250	2,5	247	4,9	245	7,3	242	9,7	240	12,0	238	14,3	236	16,5
20	50	248	2,5	245	4,9	243	7,3	240	9,6	238	11,9	236	14,2	234	16,4
21	52	246	2,5	243	4,9	241	7,2	238	9,5	236	11,8	234	14	232	16,2
22	54	244	2,4	241	4,8	239	7,2	236	9,4	234	11,7	232	13,9	230	16,1
23	56	242	2,4	239	4,8	237	7,1	235	9,4	232	11,6	230	13,8	228	16,0
24	58	240	2,4	237	4,7	235	7,1	233	9,3	230	11,5	228	13,7	226	15,8
25	60	238	2,4	235	4,7	234	7,0	231	9,2	229	11,4	226	13,6	224	15,7
26	62	236	2,4	233	4,7	231	6,9	229	9,2	227	11,4	225	13,5	222	15,6
27	64	234	2,3	231	4,6	229	6,9	229	9,1	225	11,3	223	13,4	221	15,5
28	66	232	2,3	229	4,6	227	6,8	225	9,0	223	11,2	221	13,3	219	15,3
29	68	231	2,3	228	4,6	226	6,8	224	9,0	222	11,1	220	13,2	218	15,3
30	69	229	2,3	226	4,5	224	6,7	222	8,9	220	11,0	218	13,1	216	15,1
31	71	227	2,3	225	4,5	222	6,7	220	8,8	218	10,9	216	13,0	214	15,0
32	73	225	2,3	223	4,5	220	6,6	218	8,7	216	10,8	214	12,8	212	14,8
33	75	224	2,2	222	4,4	219	6,6	217	8,7	215	10,8	213	12,8	211	14,8
34	76	222	2,2	220	4,4	217	6,5	215	8,6	213	10,7	211	12,7	209	14,6
35	78	220	2,2	218	4,4	216	6,5	213	8,5	211	10,6	209	12,5	207	14,5

5.2 Curva de calibración

5.2.1 Cada operador de ensayo deberá establecer dos curvas de calibración, al menos una vez por día: una para un tiempo de curado de 4 ó 5 horas, para usarla en las muestras de campo que son mezcladas completamente y curadas durante el mismo día; y otra para un tiempo de curado de 24 horas, para usarla en las muestras de campo que son ensayadas al día siguiente de ser mezcladas. Si hay algún cambio en los contenidos de ácido, cal, agregado o agua, deberán establecerse nuevas curvas después de dicho cambio.

Nota 2. Se necesitará menos correcciones y los resultados serán más precisos, si se utilizan tiempos de curado similares para los ensayos en las muestras de campo.

Nota 3. Se establecerá una nueva curva de calibración cuando se prepare una nueva bachada de solución de ácido diluido y cuando la fuente de agregado o de agua sea cambiada. La curva de calibración para cada tiempo de curado deberá ser verificada cuando se sospeche un cambio en las características del espécimen de agregado o del agua de la misma fuente.

5.2.2 Para cada espécimen, viértase el agregado pesado y la cal hallada en los numerales 5.1.4 y 5.1.5 respectivamente, en un recipiente plástico de 1,9 litros (2 cuartos de galón) y mézclase cuidadosamente con la varilla agitadora.

5.2.3 Adiciónese la cantidad de agua medida en el numeral 5.1.6 y mézclase completamente y mézclase completamente. El momento en el cual el agua es añadida, se considera como el comienzo del período de curado.

5.2.4 Colóquense los recipientes de 1,9 litros (2 cuartos de galón) en fila sobre la mesa que es usada para el ensayo; déjense así las muestras sin tapar y permitiendo el curado durante los tiempos dados en el numeral 5.2.1.

5.2.5 Justo antes de que se termine el tiempo de curado establecido, prepárese la solución de Poliácridamida como sigue: detrás de cada espécimen de ensayo, colóquese un vaso plástico en el cual se han vertido 200 mL de agua potable y 50 mL de solución de Poliácridamida; también para cada espécimen de ensayo, pésese la probeta graduada, adiciónese a ella 50 mL de solución Poliácridamida pesada con aproximación de 0,1 g y anótese el peso total.

5.2.6 Al final del período del curado, el ensayo de neutralización constante se desarrolla como sigue:

- a) Póngase a funcionar el cronómetro y añádase la solución de agua con Poliácridamida mezclados, al primer espécimen. Añádase el líquido a los siguientes especímenes, en forma sucesiva, a intervalos de 2 minutos.
- b) Añádase a cada recipiente una cantidad correspondiente a aproximadamente 40 gotas de solución de fenolftaleína. El agua generalmente se torna roja debido a la presencia de la cal.
- c) Pésese cada recipiente plástico con su contenido con precisión de 0,1 g.
- d) Colóquese la luz fluorescente detrás de los recipientes plásticos.
- e) A los 8 minutos después de la adición de la solución de agua con poliácridamida al primer espécimen (ítem a), comiencese a añadir el HCl (3N) a ese espécimen, contenido que ha sido medido en una bureta, mientras que se agita en forma continua. Se deberá añadir apenas suficiente ácido para causar que el color rojo desaparezca. En forma similar, añádase ácido a los especímenes siguientes a intervalos de 2 minutos; esto es, a lecturas de cronómetro de 10, 12 y 14 min para el segundo, tercero y cuarto espécimen, respectivamente, o de igual manera para la serie de especímenes de ensayo utilizado.
- f) Cuando comience a reaparecer el color rojo, después de la introducción inicial del ácido, úsese la probeta para hacer una segunda adición del ácido, en la cantidad (mL) necesaria para causar de nuevo que el color apenas desaparezca. Se harán

subsecuentemente cuantas adiciones de ácido sean necesarias para causar que el color apenas desaparezca.

Nota 4. Precaución. Agítese en forma lenta. La agitación vigorosa en este momento puede causar que las partículas floculadas se dispersen, haciendo difícil ver el punto final de la adición del ácido.

- g) Adicionalmente a la agitación hecha durante cada introducción del ácido, deberá agitarse cerca de 3 segundos por cada minuto y aproximadamente 6 segundos por cada 5 minutos, así sea que aparezca color o no. El patrón de agitación deberá componerse de movimientos circulares y de zigzag a través del fondo del recipiente plástico. Procúrese evitar la posibilidad de dejar cualquier depósito de cal no neutralizado, en el centro del recipiente.
 - h) Una vez transcurridos 25 minutos después de la adición de la cantidad inicial de solución de agua con poliacrilamida a la primera muestra, agítese la muestra vigorosamente, añádanse los 50 mL restantes de la solución con poliacrilamida (véase el numeral 5.2.6) y continúese el ensayo. Repítase este procedimiento con cada uno de los especímenes, dejando un intervalo de tiempo de 2 minutos entre cada dos especímenes. Esto requerirá lecturas de cronómetro de 27, 29 y 31 minutos, respectivamente, para el segundo, tercero y cuarto espécimen de la serie.
 - i) Continúese el procedimiento de adición de ácido y de agitación hasta que hayan pasado 38 minutos desde la adición inicial de solución de agua con poliacrilamida al primer espécimen. Luego, vuélvase a pesar el recipiente plástico y sus contenidos con aproximación de 0,1 g; repítase este procedimiento con cada uno de los especímenes, permitiendo un intervalo de tiempo de 2 minutos entre cada dos especímenes. Esto requerirá lecturas de tiempo de 40, 42 y 44 minutos, respectivamente, para el segundo, tercero y cuarto espécimen de la serie.
 - j) Usando la diferencia entre peso inicial (sección 5.2.6. c) más el peso adicional de poliacrilamida (determinado en el numeral 5.1.5) y los pesos finales de ensayo (determinados en la sección 5.2.6. i), calcúlese y regístrese el peso total de ácido clorhídrico usado para neutralizar la solución; luego determínese el peso promedio de ácido clorhídrico usado para cada especímenes de ensayo.
- 5.2.7 Hágase un gráfico del peso promedio de ácido clorhídrico usado (sección 5.2.6. j) contra el porcentaje del mismo, usado en los especímenes pareados. Dibújese una línea recta entre los dos puntos. Esta es la curva de calibración para determinar el contenido de cal de un espécimen tratado con cal, mezclado en el campo. Véase Figura 1.

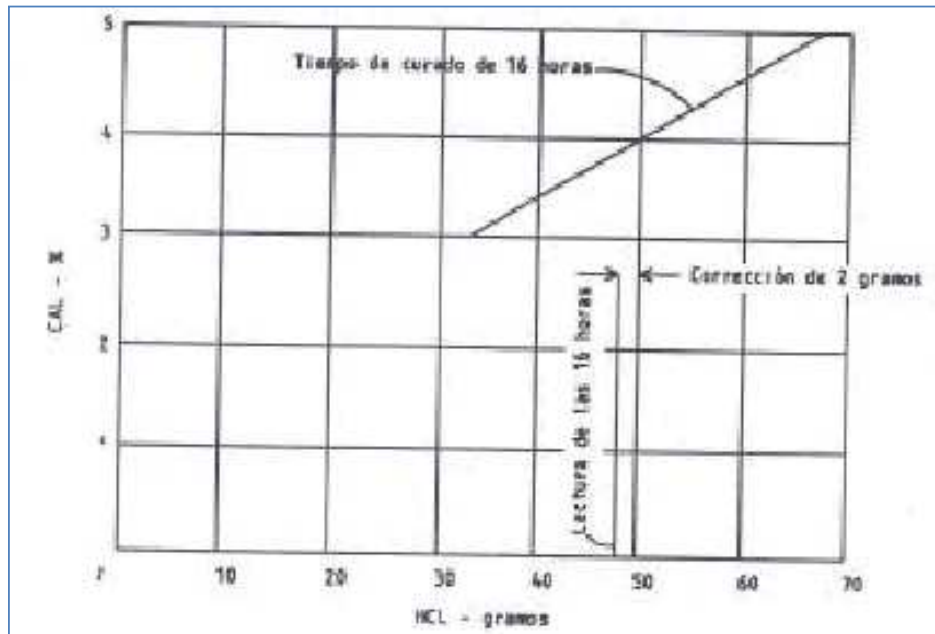


Figura 1 Curva de calibración de la titulación de la Cal

- 5.3 Curva de corrección del tiempo de curado
- 5.3.1 Puesto que será normalmente imposible seleccionar muestras tratadas con cal del proyecto de campo, que han sido curadas durante el mismo tiempo que los especímenes usados en la preparación de la curva de calibración, será necesario preparar una curva de corrección del curado.
- 5.3.2 Usando agregado, cal y agua reales del proyecto, prepárense 10 especímenes con el contenido de cal proyectado. La preparación de las cantidades requeridas de materiales deberá hacerse como el numeral 5.1; y la mezcla deberá hacerse en la misma forma como se describió en los numerales 5.2.2 y 5.2.3.
- 5.3.3 Ensáyense los especímenes pareados para tiempos de curado aproximados de 1, 3, 7, 24 y 48 horas, para establecer una curva de tiempo de curado como la mostrada en la Figura 2. Déjense las muestras sin cubrir durante el periodo de curado.
- Nota 5.** El ensayo es muy sensible al tiempo de curado durante la primera hora después de la operación del mezclado. Por esto, es aconsejable no efectuar el primer ensayo hasta que haya pasado por lo menos una hora después de la operación de mezclado
- 5.3.4 Al final de cada uno de los tiempos de curado dados en el numeral 5.3.3, efectúese el ensayo de neutralización constante sobre dos de los especímenes, usando el procedimiento descrito en el numeral 5.2.6.
- 5.3.5 Grafíquese el peso en g de HCl usado contra el tiempo de curado, para establecer la curva de corrección (Figura 2).

Nota 6. La curva de corrección de tiempo de curado necesita ser establecida solamente una vez para una proyecto, a menos que exista algún cambio de la fuente de los agregados o de la cal

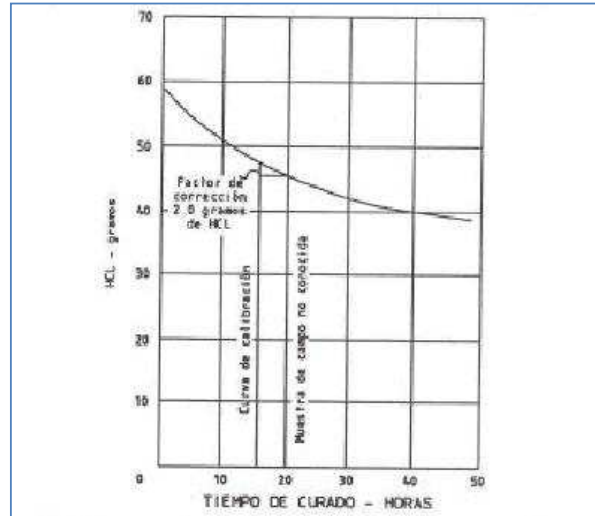


Figura N 2 Curva de corrección del tiempo de curado

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Procedimiento de ensayo para las muestras de campo.
 - 6.1.1 Extráiganse de una a cuatro muestras de campo del agregado tratado con cal, cada muestra de aproximadamente 3,000 g. Pésese la muestra con aproximación a 1,0 g.
 - 6.1.2 Remuévase y descártese cualquier agregado retenido en el tamiz de 37,5 mm (1 ½ pulg).
 - 6.1.3 Sepárese la muestra retenida en el tamiz de 9,5 mm (3/8 pulg) y determínese la proporción retenida y pasante del tamiz de 5 mm (3/8 pulg) con base en el peso de la muestra total, incluyendo el material retenido en el tamiz de 37.5 mm (1 ½ pulg).
 - 6.1.4 Prepárense especímenes de ensayo de 300 g en las mismas proporciones de material retenido y pasante del tamiz de 9,5 mm (3/8 pulg) contenidos en la muestra original de 3,000 g. El material retenido en el tamiz de 37,5 mm (1 ½ pulg) será representado por una cantidad similar de material que pasa con dicho tamiz y que queda retenido en el tamiz de 9,5 mm (3/8 pulg).
 - 6.1.5 Efectúese el ensayo de neutralización constante observado en el numeral 5.2.6.
 - 6.1.6 Determínese el factor de corrección en gramos de ácido entre el tiempo de curado para la calibración y el de las muestras de campo, a partir de la curva de corrección Del tiempo de curado (Figura 2). Aplíquese un factor de corrección de suma si el tiempo de curado de la muestra de campo es superior a la del tiempo de curado de la muestra de calibración. Aplíquese un factor de corrección de sustracción si el tiempo de curado de la muestra de campo es inferior al tiempo de curado de las muestras de calibración.
- Nota 7.** El tiempo de curado de una muestra de campo comienza por el tiempo de mezclado, incluye el tiempo requerido para tomar la muestra de la mezcla, para transportar la muestra al sitio de ensayo y para preparar los especímenes de 300 g
- 6.1.7 Aplíquese el factor de corrección a los gramos de HCl requeridos para la neutralización (véase numeral 5.2.6 j).
- 6.1.8 Determínese, a partir de la curva de calibración, el porcentaje de cal (Figura 1).

7.0 CALCULOS E INFORME

- 7.1 CALCULOS
 - 7.1.1 Supóngase los datos siguientes:

La curva de corrección del tiempo de curado fue establecida usando el contenido de cal proyectado (Figura 2).

La curva de calibración fue establecida con un tiempo de curado de 16 horas (Figura 1).

La muestra de campo tuvo un tiempo de curado de 20 horas.

La titulación de la muestra de campo requirió 48.0 g de ácido.

7.1.2 Dibújese el tiempo de curado para la calibración y la muestra de ensayo contra la curva de corrección del tiempo de curado, como se muestra en la Figura 2. Aplíquese esta corrección a los gramos de ácido requeridos para titular la muestra de campo ($48 + 2.0 = 50,0$ g de ácido). Entre con los 50,0 g de ácido a la curva de calibración (Figura 1). Entonces el contenido de cal calculado es de 4,0 % (Figura 1).

7.1.3 Precauciones

7.1.3.1 Este ensayo no deberá ser llevado a cabo por personas que tengan problemas con la diferenciación de los colores.

7.1.3.2 Es muy importante que el operador esté atento a mantener una solución neutral añadiendo repetidamente ácido tan pronto como el color rosado vuelva a aparecer.

7.1.3.3 Úsese solamente la cantidad de ácido clorhídrico (HCl) apenas necesaria para eliminar el color rojo. Un exceso de ácido puede atacar los agregados, particularmente en las últimas fases, cuando la cantidad de cal remanente en la mezcla es baja.

7.1.3.4 Este ensayo no deberá ser llevado a cabo bajo la acción del sol o en cualquier lugar donde se encuentre una corriente de aire sobre los recipientes. La cantidad de evaporación causada por la exposición a corrientes de aire o a la luz solar puede afectar los datos del ensayo.

7.1.3.5 Los garrafones plásticos descritos en el equipo del ensayo no deberán ser sustituidos por garrafones de vidrio y los recipientes que tienen las soluciones de los ácidos deberán ser etiquetados en forma clara.

7.1.3.6 Téngase extremo cuidado en el manejo de las soluciones concentradas de ácido y también en las soluciones diluidas, ya que pueden ser dañinas para los ojos, la piel o para la ropa. Si alguno de estos químicos se derrama sobre los ojos, sobre la piel o sobre la ropa, aplíquese agua en cantidad abundante sobre las áreas afectadas.

7.1.3.7 Cuando se manejen ácidos, el personal debe utilizar guantes protectores, delantales y anteojos.

7.1.3.8 Se conoce que la fenolftaleína puede causar síntomas de alergia y que tiene un efecto laxante poderoso. Puede ser tóxica. La persona expuesta que sea sensible a ella, deberá vestir ropa adecuada, si es necesario, para evitar el contacto corporal. Este producto no debe ser ingerido.

MTC E 1106

PREPARACION EN EL LABORATORIO DE MEZCLAS DE SUELO-CAL EMPLEANDO UNA MEZCLADORA MECANICA

1.0 OBJETO

- 1.1 Preparación en el laboratorio de mezclas de suelo-cal para emplearlas en la determinación de los efectos de la cal sobre las propiedades del suelo (plasticidad, resistencia, relaciones de humedad, peso unitario, etc.), y para el diseño de mezclas para construcción de capas estabilizadas.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método normaliza la preparación de mezclas del suelo-cal para los ensayos de laboratorio necesarios para la determinación de las propiedades del suelo cuando se estabiliza con cal.

Se hace mención en este método al período de maduración, pero no se dan recomendaciones específicas en cuanto al mismo. El período de maduración que se va a emplear en el ensayo, depende de cada uso específico y deberá ser definido en la correspondiente especificación de construcción.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D-3155 g

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Mezcladora mecánica, que pueda producir mezclas uniformes y homogéneas de suelo, cal y agua.
- 4.1.2 Mezcladora mecánica, que pueda producir mezclas uniformes y homogéneas de suelo, cal y agua.
- 4.1.3 Espátulas, palustres, cucharas, etc., apropiadas para transferir el suelo y la cal a la mezcladora, y para raspar y limpiar el tazón y otras partes de la mezcladora.
- 4.1.4 Balanza. Una balanza o báscula que pueda pesar al menos 1000 g con aproximación a 1g, para emplear en el pesaje del suelo, de la cal y del agua.

5.0 MUESTRA

- 5.1 El suelo para la elaboración de la mezcla podrá secarse al aire o al horno, a menos que haya razón para creer que por ello se afectan excesivamente los resultados. En este caso, deberá curarse el suelo con o cerca del contenido final de humedad durante un período predeterminado. Es típico un período de 24 horas para el secamiento al aire del suelo. El tamaño de la muestra y su preparación, estarán dictadas por los requerimientos del ensayo para el cual se prepara la muestra.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Determínese la humedad higroscópica del suelo secado al aire de acuerdo con la norma MTC E-108. Pésese una cantidad suficiente de suelo para proporcionar el suelo secado al horno requerido para preparar el número deseado de especímenes de ensayo. Colóquese en el tazón de la mezcladora mecánica. Pésese también la cantidad de cal, con base en el peso secado al horno del suelo requerido, para el porcentaje deseado en la mezcla final, y colóquese también en el tazón.
- 6.2 Póngase en marcha la mezcladora e incorpórese en seco el suelo y la cal durante 1 minuto, o hasta que la mezcla presente un color uniforme.

- 6.3 Pése o mídase con un recipiente, la cantidad de agua necesaria para proporcionar la humedad deseada (Nota 1) y adiciónese a la mezcla en forma de corriente tenue o fino rocío, mientras que esté en movimiento la mezcladora. Después de agregada el agua, continúese la mezcla durante 5 minutos adicionales. Al completar aproximadamente la mitad de este período, deténgase la mezcladora por unos pocos segundos y ráspense todas sus partes para devolver cualquier mezcla en terrones al tazón de la mezcladora. Continúese el mezclado durante el resto del período de 5 minutos.

Nota 1. Deberá suministrarse, adicionalmente el agua de mezcla, un exceso de alrededor del 1% del contenido final de humedad deseado, para cubrir la evaporación durante el mezclado. La cantidad de agua extra requerida dependerá de las condiciones del laboratorio y deberá determinarse experimentalmente

- 6.4 Cumplidos los cinco (5) minutos, deténgase la mezcladora y ráspense todas sus partes para retornar cualquier porción de terrones de la mezcla al tazón de la mezcladora. Remuévase el tazón, mézclase brevemente con un palustre o espátula y fórmese un montículo ligeramente compactado en el fondo del tazón. Cúbrase inmediatamente el tazón para minimizar la evaporación de humedad.

Si se permite la maduración de la mezcla, deberá colocarse ésta en un recipiente más pequeño y cerrado, para reducir la cantidad de evaporación. Las operaciones deberán programarse de manera que la mezcla sea utilizada inmediatamente después de la evaporación de mezclado o después del período de maduración. Es típico un período de maduración de 1 hora, aun cuando se han empleado períodos hasta de 24 horas.

MTC E 1107**CONTENIDO DE CAL DE MEZCLAS SUELO- CAL NO CURADAS****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar el contenido de cal en mezclas de suelo-cal muestreadas de una obra en construcción.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método de ensayo sirve para definir contenidos de cal en obra, chequear el cumplimiento de requisitos especificados y la eficiencia del control de calidad aplicado.
- 2.2 También sirve para que los productos de mezclas de suelo-cal lo usen, en la determinación del contenido de cal, con el propósito de controlar la producción.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D-3155- "Método Standard para Contenido de cal de mezclas suelo-cal no curadas "

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Balanza. Que tenga capacidad de 1000 g o más y una sensibilidad de 0,05 g o menos.
- 4.1.2 Elementos de vidrio. Un cilindro graduado de 25 mL, y un matraz Erlenmeyer de 250 mL y goteros medicinales.
- 4.1.3 Elementos plásticos. Un recipiente de 1,91 litros de polietileno con tapa a presión; un embudo plástico de 300 mm (12 pulg) de diámetro; botellones de 19 litros (5 galones) de polietileno para cloruro de amonio y agua destilada o desmineralizada.
- 4.1.4 Soporte para bureta. Para sostener buretas de 25 mL.
- 4.1.5 Tamiz. De 4,75 mm (Nº 4).

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Agitador. Puede ser magnético o cualquier otro aparato equivalente.
- 4.2.2 Barra agitadora. De acero inoxidable, con 300 mm (12 pulg) de longitud.
- 4.2.3 Indicador de pH. Suministro de papel indicador de pH o un pH-metro con un campo de aplicación entre valores 10 y 14.

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Solución de cloruro de amonio, 100 g/L. Se deposita en un botellón plástico 1893 g de cloruro de amonio granular (NH_4Cl) y se disuelve en cerca de 7,5 a 11,4 litros de agua desmineralizada, para hacer 18,9 litros Se procede a mezclarlos bien.
- 4.3.2 Solución EDTA (0,1 M) Disuélvase 74,45 g de polvo de un reactivo de grado disódico (dimitriletieno) tetracetato bihidratado ($\text{Na}_2\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) cerca de 1 litro de agua destilada o desmineralizada tibia en un vaso. Enfríese a la temperatura ambiente, transfírase cuantitativamente en volumen a un matraz de 2 litros, y llénese hasta la marca con agua desmineralizada o destilada. Almacénese en una botella de polietileno.
- 4.3.3 Solución de hidróxido de sodio, 500 g/L. Con agitación permanente, añádanse cuidadosamente 500 g de gránulos de hidróxido de sodio reactivo (NaOH), a 600 mL de agua destilada o desmineralizada, hasta su disolución y déjese enfriar a temperatura ambiente. Dilúyase hasta un litro con agua destilada o desmineralizada. Almacénese en una botella plástica. Dilúyase para su uso en proporción 1 + 1, en agua destilada o desmineralizada.

- 4.3.4 Solución de triaminoetanal, 200 g/L. Disuélvase 100 mL de triaminoetanol reactivo ($(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$) en 200 ó 300 mL de agua desmineralizada y destilada en un vaso, dilúyase hasta 500 mL en un cilindro graduado, mézclase bien y almacénese en una botella plástica.
- 4.3.5 Polvo indicador azul de hidróxido de naftol.
- 4.3.6 Agua destilada tipo II, que no exceda 1,00 $\mu\text{s/cm}$.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Preparación de la curva de calibración
- 5.1.1 Del suelo y la cal utilizados en la construcción, prepárense tres series de muestras duplicadas a la humedad de diseño y que contengan las siguientes cantidades de cal:
- Serie 1: con el 75% del contenido de cal de diseño
- Serie 2: con el 100% del contenido de cal de diseño
- Serie 3: con el 125% del contenido de cal de diseño.
- 5.1.2 Para cada una de ellas, calcúlense las cantidades de suelo, cal y agua como sigue:

$$W_s = \frac{5}{\left(1 + \frac{M}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{L}{100}\right)}$$

$$W_r = \frac{R}{100} \times W_s$$

$$W_f = W_s - W_r$$

$$W_l = \frac{L}{100} \times W_s$$

$$V_w = \frac{M}{100 \cdot (W_s - W_e)}$$

Donde:

W_s = Peso seco total de suelo, en g.

W_r = Peso del material retenido en el tamiz de 4,75 mm (N° 4), en g.

W_f = Peso del material pasante por el tamiz de 4,75 mm.

W_e = peso de cal, en g.

V_w = Volumen de agua en mL.

M = Humedad de diseño, % del peso seco del suelo.

L = Contenido de cal, % de peso seco del suelo.

R = % de suelo retenido en el tamiz de 4,75 mm.

S = Peso de la muestra; 300 g cuando el 100% del suelo pasa el tamiz de 4,75 mm; 700 g cuando parte del suelo es retenido en dicho tamiz

- 5.1.3 Mézclase el suelo y la cal fuertemente hasta obtener un color uniforme. Añádase el agua y mézclase hasta uniformar la humedad.
- 5.1.4 Para suelos con 100% pasante por el tamiz de 4,75 mm, titúlese cada muestra de 300 g, como se describe más adelante. Después de trituradas las seis muestras, dibújese un gráfico

que muestre ml de solución EDTA versus porcentaje en peso de cal, usando las cifras promedio de las series 1, 2 y 3.

- 5.1.5 Para suelos con material retenido en el tamiz de 4,75 mm, tamícese fuertemente cada muestra de 700 g sobre dicho tamiz, hasta que el material retenido esté limpio de partículas más pequeñas adheridas. Mézclase el material pasante y pésense porciones de 300 g, las cuales se titularán como se describirá. Después de titular las seis muestras, dibújese un gráfico que muestre ml de solución EDTA, usando las cifras promedio de las series 1, 2 y 3, versus gramos de cal, W_{1300} que se calcula así:

$$W_{1300} = \left[\frac{300}{(700 - W_r)} \right] \times W_e$$

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Ensayo de muestras

- 6.1.1 Durante la construcción, tómense muestras representativas de la mezcla de suelo-cal. Ensáyense inmediatamente o colóquense en recipientes plásticos con tapa y ensáyense dentro de las 8 horas después de terminada la mezcla.

- Para suelos que pasan completamente por el tamiz de 4,75 mm, pésense porciones de 300 g y titúlese como se describe en el numeral 6.2.
- Para suelos con material retenido en el tamiz de 4,75 mm, pésense muestras de 700 g. Tamícese sobre el tamiz de 4,75 mm, hasta que todo el material retenido esté libre de pequeñas partículas adheridas. Pésense y anótese como W_{few} todo el material que pase por el tamiz.

Mézclase todo el material que pasó el tamiz y pésense 300 g por porción y titúlese como se describe en el numeral 6.2.

6.2 Titulación

- 6.2.1 Colóquense cada muestra de 300 g en un recipiente de polietileno de 1,9 litros y añádase 600 mL de solución de NH_4Cl . Colóquese la tapa y agítase el recipiente durante 2 minutos (± 2 segundos). Déjese que la mezcla se sedimente por 4 minutos ± 2 segundos.

Con una pipeta, extráigase 10 mL alícuota de la solución de la parte superior y deposítense en un Erlenmeyer de 250 mL, añadiendo 100 mL de agua destilada o desmineralizada. Mientras se mezcla fuertemente con un agitador magnético, añádase gotas de solución de NaOH, hasta que se obtenga un pH entre 13,0 y 13,5 medido con el papel indicador o con el pH-metro aprobado. (Úsese una bagueta para transferir las gotas de solución al papel indicador). Añádase 4 gotas de solución de triaminoetanol y entonces añádase alrededor de 0,2 g de polvo indicador. Mientras la solución se agita, con un agitador magnético, titúlense con Solución EDTA a un punto final de azul puro, y anótese la cantidad de mililitros.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.3 Si el 100% del suelo pasa por el tamiz de 4,75 mm, léase el contenido de cal en peso seco, directamente de la curva de calibración correspondiente a los resultados de la titulación de ml de solución EDTA para la muestra de ensayo.
- 7.1.4 Si el suelo contiene material retenido sobre el tamiz de 4,75 mm, léanse gramos de cal de la curva de calibración correspondiente a los resultados de la titulación en mL de solución EDTA para la muestra del ensayo.

Calcúlense los valores A y B como sigue:

$$A = (W_{few}/300) \times W_{1300}$$

$$B = 700 [1 + (w/100)]$$

Donde:

A = Peso de cal en la muestra de 700 g, en g.

B = Peso de suelo y cal en la muestra de 700 g, en g.

W/few = Peso de suelo que pasa el tamiz de 4,75 mm, en g.

W₁₃₀₀ = Peso de cal leído de la curva de calibración, en g.

w = Humedad de diseño, en %. Entonces calcúlese L, el porcentaje de cal por peso seco de la muestra total, así:

$$L = \left[\frac{A}{(B - A)} \right] \times 100$$

Las variaciones de la humedad tendrán un ligero efecto sobre la exactitud del ensayo. Las correcciones por variaciones de la humedad, pueden calcularse de la siguiente forma:

$$L' = \frac{1 + \left[\frac{W'}{100} \right]}{1 + \left[\frac{V_w}{W_f + W_e} \right]}$$

Donde:

L' = Porcentaje de cal corregido por variación de la humedad

L = Porcentaje de cal determinado del ensayo de la muestra

= Humedad de la muestra de ensayo determinado de una porción separada de material que pasa el tamiz de 4,75 mm.

Vw' Wf y We = Son las cantidades calculadas de acuerdo con el numeral 5, para la serie 2.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 Al utilizar este método, se estima que el 95% de todos los resultados de ensayo caerán dentro de $\pm 0,34\%$ del verdadero contenido de cal para una mezcla particular. No se puede hacer enunciado alguno para el promedio de más de un ensayo en cualquier laboratorio.

8.1.2 La precisión del método de ensayo en mL de solución EDTA es de 0,34 aproximadamente, para cálculos de datos procedentes de mezclas de contenidos de cal conocidos.

Sobre la base de un pendiente promedio de calibración igual a 2,6, la precisión del porcentaje de cal podría ser 0,13.

MTC E 1108**RESISTENCIA DE MEZCLAS DE SUELO CAL****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar la resistencia a la compresión no confinada de mezclas de suelo estabilizado con cal.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

Nota 1. Generalmente una resistencia no confinada de 690 kPa (100 psi) es satisfactoria para la capa final en bases y es aceptable que los materiales para dichas capas contengan un mínimo, del 50% retenido en el tamiz de 425 μm (N° 40) antes del tratamiento. Diferentes clases de suelo pueden tratarse para súbbase y, en tales casos, la resistencia mínima sugerida para la compresión no confinada es de 345 kPa (50 psi).

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 AASHTO T 220-66 (2004) "Determinación de Resistencia de Mezcla de Suelo-Cal.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Pisón automático. Un dispositivo de compactación con placa de base para sostener moldes de 152 mm (6 pulg) de diámetro interior, equipado con un pisón de 4,5 kg (10 lb) y una altura de caída ajustable. La caída del pisón será de 457 mm (18 pulg), y la cara con la cual golpea será un segmento de 40°, de un círculo de 76 mm (3") de radio.

Deberá suministrarse el pisón automático con una placa base extra para sostener el molde durante el alistamiento de la parte superior del espécimen.

- 4.1.2 Molde de compactación con collar removible de 152 mm (6 pulg) de diámetro interior, y 215 mm (8 ½ pulg) de altura.
- 4.1.3 Dispositivo de medida para la altura del espécimen, consistente en un dispositivo dial micrométrico con un juego normal de bloques espaciadores.
- 4.1.4 Balanza de 18,1 kg (40 lb) de capacidad, sensible a 0,0005 kg (0,001 lb).
- 4.1.5 Prensa hidráulica, para sacar por extrusión los especímenes del molde.
- 4.1.6 Horno para el secamiento, controlado desde 60 ± 5 °C hasta 110 ± 5 °C.
- 4.1.7 Bandejas metálicas, anchas y poco profundas, para mezclar y secar materiales, y recipientes rectangulares de acero inoxidable de aproximadamente 230 x 400 x 60 mm de profundidad (9 x 16 x 2/4 pulg), equipados con placas porosas espaciadoras.
- 4.1.8 Piedras porosas circulares ligeramente menores de 152 mm (6 pulg) de diámetro y de 51 mm (2 pulg) de altura.
- 4.1.9 Celdas axiales, constituidas por cilindros livianos de acero inoxidable de 171 mm (6 ¾ pulg) de diámetro interior y de 305 mm (12 pulg) de altura, con válvula normal de aire continua, con membrana tubular de caucho de 152 mm (6 pulg) de diámetro.
- 4.1.10 Bomba para vacío, de 20 a 35 litros por minuto (L/min) o aspirador.
- 4.1.11 Compresor de aire, de 4,7 a 7,1 litros por segundo (L/s) (10 a 15 pies cúbicos por minuto) con tanques de almacenamiento de 230 litros (60 galones) y controles reguladores de presión (manómetros y válvulas).
- 4.1.12 Cámara húmeda equipada con estantes y un suministro de presión constante de aire.
- 4.1.13 Deformímetro micrométrico con dial hasta 0,02 mm (0.001") con soporte para medir la deflexión del espécimen.

- 4.1.14 Una provisión de pesas guías para sobrecarga, 2 ¼ y 4 ½ kg (5 y 10 lb).
 - 4.1.15 Anillos de carga calibrados u otros dispositivos para medir fuerza continua, de acuerdo con la AASHTO T 67. Verificación de máquinas de ensayo, excepto que se tolera un error de más o menos el 2%.
 - 4.1.16 Dispositivo de media para la circunferencia, tal como una cinta metálica.
 - 4.1.17 Prensa y dispositivo con gato de tornillo u otra prensa adecuada para ensayo, con su dial y con dos bloques de carga.
 - 4.1.18 Tamices con aberturas cuadradas, de 75; 53; 50; 45; 31,5; 22,4; 16; 12,5; 9,5; 4,75; 2,00; 0,850 y 0,425 mm.
 - 4.1.19 Pulverizador mecánico ajustable a la luz del plato de rotación.
 - 4.1.20 Agitador mecánico para tamices. Un agitador mecánico de laboratorio para tamices de 0,14 litros (½ pie³) es conveniente, pero no absolutamente necesario, para separar material para volver a combinar especímenes.
 - 4.1.21 Una provisión de pequeñas herramientas y accesorios tales como un mortero metálico con borde de madera, pisón metálico forrado con caucho, martillo de cuero, espátulas, cucharas, palustres, tubos de sifón, recipientes para muestras, cajas de cartón, papeles de filtro de 510 mm (20 x 20 pulg).
- 4.2 MATERIALES
- 4.3 Una provisión de cal; de preferencia debe satisfacer los requisitos establecidos en la especificación AASHTO M-216 ó ASTM C-977 8 (tipo I y tipo II).

4.4 REACTIVOS

- 4.4.1 Agua de buena calidad.

5.0 MUESTRA

5.1 PREPARACION DEL SUELO.

- 5.1.1 Escójase un mínimo de 91 kg (200 lb) de muestra representativa para ensayo.
- 5.1.2 Extiéndase la muestra sobre un piso seco y limpio para secarla al aire libre o mediante corrientes forzadas de aire caliente.
- 5.1.3 Los grumos o terrones duros de arcilla, en suelos que no contengan cantidades apreciables de partículas gruesas deberán triturarse de manera que pasen por el tamiz de 2,00 mm (Nº10) sin romper las partículas gruesas. El resto deberá pasarse sobre el tamiz de 850 µm (Nº20) y deberán determinarse los porcentajes retenidos y que pasan dicho tamiz.
- 5.1.4 Arcillas y otros suelos que contengan partículas gruesas deberán disgregarse para que pasen por el tamiz de 4,75 mm (Nº4) sin romper las partículas gruesas. Podrá efectuarse esto mediante un martillo plástico, o un martillo cubierto con caucho, o por medio de herramientas manuales similares. El material deberá separarse luego en la siguiente forma:

Materiales con partículas gruesas (piedra triturada, grava, arena y caliche), deberán tamizarse en seco sobre los siguientes tamices: 45 mm (1 ¾ pulg); 31,5 mm (1 ¼ pulg), 22,4 mm (7/8 pulg); 16 mm (5/8 pulg); 9,5 mm (3/8 pulg); 4,75 mm (Nº 4) y 2 mm (Nº 10); para separar los diferentes tamaños del material. Recójase todo el material que pase el tamiz de 2 mm (Nº 10). El material que pase el tamiz de 45 mm (Nº 10) hasta que quede uniformemente mezclado con respecto al color, apariencia y contenido de humedad.
- 5.1.5 Pésese el material de cada fracción y calcúlense los porcentajes acumulados retenidos sobre cada tamiz y el porcentaje que pasa el tamiz de 2,00 mm (Nº 10). Estos valores nos e emplean como datos del análisis granulométrico verdadero, sino que se usan para recombinar porciones que aseguren la gradación uniforme dentro de cada espécimen.

5.1.6 Sobre la base de porcentajes acumulados sobre tamices, obtenidos en el numeral 5.1.5, calcúlense y pénsese 4,5 kg (10 lb), de muestras representativas para un análisis granulométrico y determinación de los límites. No deberán emplearse rodillos, tornos ni dispositivos que puedan alterar las partículas gruesas. Después de la preparación de la muestra mediante el método húmedo, se efectuarán los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico: MTC E 107
- Límite líquido MTC E 110
- Límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP) MTC E 111

5.2 SELECCION DEL PORCENTAJE DE CAL

5.2.1 Ingrése con el índice de plasticidad y con el porcentaje que pasa por el tamiz de 425 μm (N° 40), determinado en el numeral 4, del suelo no tratado, en la Figura 1 y determínese el porcentaje que debe agregarse al suelo.

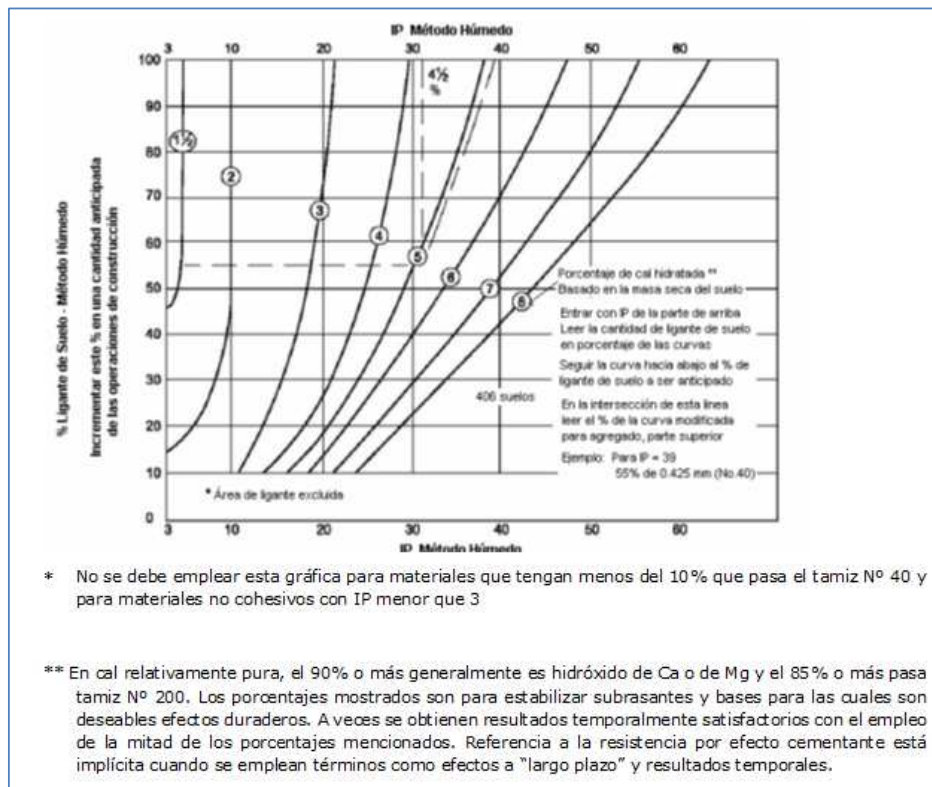


Figura 1. Cantidades recomendadas de cal para la estabilización de sub rasantes y bases (estos porcentajes deberán comprobarse mediante métodos de ensayos probados sobre cualquier suelo particular)

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 Procedimiento para la determinación del peso unitario máximo de la humedad óptima

6.1.1 Determínese el porcentaje de humedad higroscópica del suelo a partir de una muestra representativa usando el método MTC E108. Estímese el peso de material secado al aire que, cuando se humedezca y compacte, llene el molde de 152 mm (6 pulg) de diámetro interior hasta una altura de 200 mm (8 pulg). Empleando este peso estimado y la granulometría secada al aire, calcúlense los pesos acumulados de cada tamaño para combinarlos y formar el espécimen de 152 mm (6 pulg) de diámetro y 200 mm (8 pulg) de altura. La cantidad de cal que se empleará, será el porcentaje del numeral 5.2, y se basa en el peso unitario seco del suelo.

6.1.2 Pése el material que se calculó en el numeral 5.2. Manténganse la fracción de partículas gruesas separadas de (1) el material que pasa tamiz de 2 mm para bases flexibles, y (2) los terrones de arcilla y lo que para el tamiz de 0,85 mm para materiales finos.

6.1.3 Calcúlese el peso agua que debe agregarse con base en el peso seco del suelo y pése en un recipiente tarado.

6.1.4 Para preparar la mezcla de suelo cal para el ensayo de humedad peso unitario, pése la cal con la porción de material que para por el tamiz de 2,00 mm. Humedézcase la porción mayor de 2 mm con parte o con toda la cantidad de agua pesad dependiendo de la humedad que tenga la porción de material mayor de 2 mm; agítense y humedézcase las partículas gruesas completamente. Déjese asentar hasta el agua libre de la superficie haya sido absorbida.

Nota 2. En suelos arcillosos o de grano fino, sepárese el material sobre el tamiz de 850 μm (N° 20) Mézclense proporcionalmente las cantidades aproximadas de cal que se van a emplear para ambas fracciones. Riéguese el agua de mezcla sobre la fracción mayor de 850 μm (N° 20), empleando parte o toda la cantidad del agua requerida. Agréguese la fracción menor de 850 μm y el resto de agua si la hubiere. Mézclense completamente y moldéese como se indicará.

6.1.5 Vacíese el material que pasa por tamiz de 2 mm (N° 10) o el de 850 μm (N° 20), sobre la fracción húmeda de la muestra y distribúyase. Usando una espátula, mézclense hasta lograr uniformidad.

Cuidando de no perder material, manténganse la bandeja de mezcla cubierta, para evitar pérdida de agua por evaporación. Para conseguir una distribución uniforme e ideal en suelos arcillosos, pásese el material por un tamiz de 6,30 mm (1/4 pulg).

6.1.6 Calcúlese y pése el material requerido para una capa. Este deberá ser $\frac{1}{4}$ de peso de la mezcla húmeda. Colóquese esta capa en el molde usando espátulas, a mano, o con herramientas especiales, evitando la segregación de las partículas gruesas, colóquese algunos finos en exceso, en una primera capa de alrededor de 15 mm (0,5 pulg) de espesor, flojamente sobre el fondo de la superficie plana y empiécese luego con las partículas grandes, disminuyendo tamaños, hasta terminar con finos para asegurar una capa densa.

En las capas sucesivas, se requiere un espesor suelto de finos menores que en la primera capa. Este procedimiento asegura fondo cerrado para cada capa. Nivélese la capa a mano o con espátula y compáctese empleando un esfuerzo de compactación de 50 golpes ajustados exactamente a 457 mm (18 pulg) de caída con el martillo en 4,5 kg (10 lb). Manténganse la cara del martillo limpia de material pegajoso o adherido, repítase esto hasta que las cuatro capas estén compactadas.

6.1.7 Después que la última capa haya sido compactada, asegure el molde que contiene el espécimen sobre la placa de base extra y alísese la parte superior por medio de herramientas manuales tales como un cuchillo o una regla, un mazo plástico una placa circular de acero con superficie plana pulida. Úsese un nivel de mano para comprobar que la superficie del espécimen es plana y que está a nivel con la parte superior del molde que la forma. No debe recortarse el espécimen. Después de que la capa final haya sido compactada y de que se le haya dado el acabado manual del espécimen, deberán aplicarse los golpes (con martillos manuales), que a continuación se indican para completar el acabado.

N° de Golpes/capa	Clase de martillo	N° de golpes y Descripción
15 – 20	Martillo de 0,454 a 0,907 kg (1-2 lbs)	2 a 4 golpes de "picotazo"
25	Martillo plástico de 0,454 a 0,907 kg (1-2 lbs)	5 a 10 ligeros
	Martillo de cuero de 1,814 a 2,268 kg (4-5 lbs)	2 medianamente firmes
50 o más	Martillo plástico de 0,454 a 0,907 kg (1-2 lbs)	5 a 10 ligeros
	Martillo de cuero 1,814 a 2,266 (4-5 lbs)	5 firmes

- 6.1.8 Remuévase el molde de la placa de base, pése el espécimen en el molde con aproximación a 0,5 g (0,001 lb) y mézase la altura con aproximación a 0,0245 mm (0,001 pulg). Anótese los datos.
- 6.1.9 Céntrese cuidadosamente el espécimen sobre una piedra porosa y colóquese en la prensa para sacar por extrusión el espécimen moldeado. Empújese sobre la piedra del fondo y hacia arriba del molde.
- 6.1.10 Colóquese el espécimen en una cazuela grande tarada, rómpase a mano el material, o empleando herramientas manuales convenientes y séquese en el horno hasta peso constante a 110 ± 5 °C.
- 6.1.11 Si fuere necesario, ajústese el peso del material para obtener una altura de 200 mm en el espécimen, varíese la cantidad de agua del moldeo y repítanse las operaciones de arriba empleando bachadas individuales para cada espécimen con el fin de obtener varios puntos para una buena curva de humedad peso unitario.

Determinése la humedad óptima y el peso unitario máximo para la mezcla de suelo-cal.

- 6.2 Compactación del espécimen de ensayo
- 6.2.1 Compáctense 3 especímenes de 152 mm (6 pulg) de diámetro y de 200 mm (8 pulg) de altura con el contenido de humedad óptimo y con el peso unitario hallado en el numeral 6.1. Los especímenes de suelo tratado con cal para sub rasante o para bases flexibles deberán compactarse en una forma idéntica como sea posible. Los datos para estos especímenes así como los obtenidos en los siguientes procedimientos de ensayo deberán registrarse en el Formato.
- 6.3 Curado para los especímenes de ensayo
- 6.3.1 Inmediatamente después de sacar por extrusión del espécimen del molde con la piedra porosa del fono, colóquese dentro de una celda triaxial. Almacénese los especímenes a la temperatura ambiente durante 7 días.
- 6.3.2 Después del curado húmedo, retírense las celdas y colóquese los especímenes de un secador de aire a una temperatura que no exceda de 60 °C por aproximadamente 6 horas o hasta que 1/6 de la humedad de moldeo haya sido removida. Todos los suelos tratados con cal se secan de esta forma, aun cuando ocurra un considerable agrietamiento. Déjense enfriar las muestras por los menos durante 8 horas antes de continuar con el ensayo.
- 6.3.3 Pése y mézase los especímenes y sométanse a capilaridad durante 10 días mediante el método que se describe a continuación.



MTC Ministerio de Transportes y Comunicaciones	FORMATO PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA PARA MEZCLAS DE SUELO CAL	PROYECTO HOJA N° _____ DE _____
---	---	---

Muestra N°						
Fecha de Moldeo						
Fecha de Ensayo						
% Cal						
% Agua añadido						
% Humedad Higroscópica						
% Humedad Espécimen						
Suelo Seco (lbs)						
Cal (lbs)						
Suelo Seco + Cal (lbs)						
Suelo + (Humedad Higroscópica) lbs.						
Cal lbs						
Suelo + Humedad Higroscópica + Cal						
Peso de Agua Agregada						
Peso de Taro de la Jarra						
Peso de Agua + Espécimen						
Peso Molde						
Peso Húmedo Espécimen						
Peso Molde						
Peso Húmedo Espécimen						
Peso Húmedo Seco						
Altura Espécimen						
Volumen Espécimen						
Peso Unitario Seco específiqe						
Carga Total – Compresión						
Esfuerzo Compresión Kpa (lbs/pulg ²)						
Observaciones						

Formato 1. Hoja de cálculo para prueba de resistencia a la compresión para mezclas de suelo –cal

6.4 Capilaridad de los especímenes de ensayo

6.4.1 Los especímenes son sometidos a capilaridad durante 10 días en la siguiente forma:

- No deben removerse las piedras porosas de los especímenes hasta después de que éstos hayan sido ensayados. Córtese una pieza de papel de filtro, de 250 por 500 mm (10 x 20 pulg) de tamaño, dóblese hasta 125 por 500 mm (5 x 20 pulg) y efectúense algunos cortes con tijeras (a la manera de una calabaza cortada que remede una cabeza). Estos cortes evitarán cualquier restricción por medio del papel. Envuélvase el papel de filtro alrededor del espécimen y de las piedras y asegúrese con una pequeña pieza de cinta de celofán. Reinstálese la celda triaxial.

6.4.2 Colóquense los especímenes dentro de las bandejas rectangulares proporcionadas para absorción capilar y ajústese el nivel de agua sobre las piedras porosas hasta una altura de 13 mm (½ pulg) por debajo de fondo de los especímenes.

6.4.3 Conéctese cada celda a la fuente de aire y ábrase la válvula para aplicar una presión lateral constante de 6,9 kPa (1 psi). Manténgase constante esta presión durante el período de absorción.

6.4.4 Colóquese una sobrecarga de control adecuada (la cual dependerá del uso propuesto o de la ubicación del material en la carretera), sobre la piedra porosa superior. Para bases flexibles empléese 35,1 kg/cm² (½ lb/pulg²) y para sub rasantes empléese 70,2065 kg/cm² (1 lb/pulg²) del área del extremo del espécimen. Considérese el peso de la piedra porosa superior como parte del peso de sobrecarga.

6.5 Preparación de los especímenes para ensayo

6.5.1 Los especímenes que se someten a 10 días de capilaridad deberán prepararse en la siguiente forma:

- Desconéctese la manguera de aire de la celda, remuévase el peso de sobrecarga y devuélvanse los especímenes al laboratorio para ensayo. Úsese un vacío y desínflase la membrana de caucho para ayudar a la remoción de la celda de los especímenes y deséchese el papel de filtro. Si alguna cantidad de material apreciable se adhiere al papel, presiónese cuidadosamente éste dentro de los huecos disponibles a lo largo de los lados del espécimen.
- Pénsese los especímenes y anótense sus pesos totales después de la absorción por capilaridad. Nótese que el peso húmedo de las piedras se obtiene después de que los especímenes sean ensayadas.
- Mídase la circunferencia de cada espécimen por medio de una cinta metálica. Mídase la altura del espécimen incluyendo las piedras, y anótense en el formato, como altura sobre las piedras. Regístrese el peso de cada piedra.

6.5.2 Especímenes que se mantengan durante la noche en celdas, deberán prepararse de la preparación siguiente forma:

- Empléese un vacío y desínflase la membrana de caucho para ayudar a la remoción de la celda de los especímenes. Cualquier material que cuelgue de la membrana presiónese hacia atrás dentro de los huecos disponibles laterales y guárdese para colocarlo en el espécimen cuando esté seco.
- Mídase el espécimen como el numeral 6.5.1 y reemplácese la celda.

6.6 Ensayo de especímenes

6.6.1 En resumen, los especímenes son ensayados a compresión mientras están sometidos a la presión lateral constante asignada. La prensa motorizada se gradúa para que tenga un recorrido a una rata de 3,3 a 3,8 mm (0,13 a 0,15 pulg) por minuto. Deberán tomarse lecturas simultáneas de carga y deformación a intervalo de deformación de 0,25 mm (0,01 pulg), hasta que falle la muestra (véase Figura 3).

- 6.6.2 Se libera el mecanismo de transmisión de la prensa y se baja el émbolo suficientemente para permitir la colocación del espécimen, los bloques metálicos de carga y el dial del deformímetro. Céntrese el espécimen con los bloques metálicos de carga en la parte superior e inferior de la prensa. Ajústese el deformímetro de tal manera que se apoye contra el centro del bloque espaciador superior y comprimiéndolo casi toda la longitud del recorrido del vástago. El deformímetro debe colocarse en esta posición puesto que el espécimen se mueve hacia fuera durante la compresión. Colóquese el dial del deformímetro en cero.
- 6.6.3 Colóquese la carcasa acampanada sobre el medidor de deformación y ajústese de tal manera que no toque el medidor ni sus soportes. Debe notarse en este punto que el esfuerzo de compresión necesariamente será aplicado en dirección de una línea vertical a través del centro de la bola que monta en la parte superior de la carcasa acampanada. Ya que es deseable aplicar la fuerza de compresión a lo largo del eje vertical del espécimen de ensayo, desvíese lateralmente la carcasa acampanada, para llevar directamente la bola sobre el eje del espécimen. Levántese la prensa por medio del motor, alinéese y asiéntese la bola colocada sobre la carcasa acampanada dentro de la cuenca del anillo de carga. Luego, aplíquese suficiente presión para obtener una lectura perceptible sobre el manómetro del anillo de carga Léase el deformímetro y anótese esa lectura, como deformación bajo carga muerta.
- 6.6.4 Conéctese la línea de aire a la celda axial y aplíquese presión lateral al espécimen. Las presiones laterales empleadas para una serie de ensayos son 0, 21, 34, 69, 103 y 138 kPa (0, 3, 5, 10, 15 y 20 psi). En los casos en los cuales la carga o el esfuerzo sean tan altos como de 1207 a 1241 kPa (175 a 180 psi) para los especímenes ensayados a presiones laterales de 104 kPa (15 psi), empléense 48 kPa (7 psi) en lugar de 138 kPa (20 psi) para el último espécimen. La presión lateral aplicada mediante aire tenderá a cambiar la lectura inicial del deformímetro. A medida que se ajuste la presión del aire, iníciase momentáneamente el motor para comprimir el espécimen hasta que el deformímetro lea lo mismo que se anotó según el numeral 6.6.3. Léase el manómetro del anillo de carga y anótese este valor en la columna de carga, enfrentado a la lectura de formación inicial.
- 6.6.5 Acciónese el motor y léase la lectura del anillo de carga cada 0.25 mm (0.01") de formación del espécimen. Continúese hasta que se hayan tomado un mínimo de 60 lecturas, a menos que antes ocurra la falla. La falla se produce cuando la lectura del anillo de carga permanece constante o cuando disminuye con incrementos posteriores de deformación. Al ensayar especímenes con partículas gruesas, el deslizamiento y corte de las partículas gruesas ocasionará disminuciones temporales en las lecturas del anillo de carga. El ensayo deberá continuarse hasta que se haya alcanzado la falla verdadera. Después de 60 lecturas, la sección transversal del espécimen se ha aumentado de tal manera que un incremento pequeño subsiguiente de la lectura de carga, es poco mayor que el incremento en la tensión de la membrana que actúa como presión lateral.
- 6.6.6 Todos los procedimientos descritos arriba se aplican al espécimen no confinado, excepto que no se usa aire ni celda axial. Para materiales que contienen una gran cantidad de partículas gruesas, compáctese y ensáyense dos especímenes con una presión lateral de cero (0). Empléese el promedio de los resultados de los ensayos, a menos que aparezcan piedras grandes que hayan creado puntos de apoyo; en este caso úsese el valor más alto.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Obtención del peso seco de especímenes y piedras.

El espécimen y las piedras porosas se retiran de la celda sobre una bandeja tarada para secado. Empléese una espátula para limpiar el material del interior de la celda y de las piedras porosas. Rómpase el espécimen en la bandeja para secar teniendo cuidado de no perder nada del material y colóquesele una tarjeta de identificación.

Séquese el material hasta peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C y determínese el peso seco. · Cuando los especímenes hayan sido sometidos durante la noche a capilaridad, pénsese las piedras húmedas, séquese a 60 °C hasta peso constante y anótense dichos pesos.

- 7.1.2 Calcúlese el volumen en metros ³ (pies³) para una altura de 25,4 mm (1 pulg) de molde, en la siguiente forma:

$$V = \frac{\text{Área del molde en mm}^2 (\text{pulg}^2) \times 25,4 \text{ mm (1 pulg)}}{1000 (1728)}$$

- 7.1.3 Calcúlese el volumen de los especímenes como fueron moldeados, multiplicando el valor obtenido en el numeral 7.1.2 por la altura del espécimen.

- 7.1.4 Calcúlese el peso unitario seco en la siguiente forma:

$$\text{Peso unitario seco} = \frac{\text{Peso seco del espécimen}}{\text{Volumen del espécimen}}$$

- 7.1.5 Calcúlese el esfuerzo de compactación para una capa de 50,8 mm (2 pulg) expresada en N-m (lb-pie/pie³).

$$\text{Esfuerzo de compactación} = \frac{N^\circ \text{ golpes del martillo} \times \text{caída del martillo}}{\text{Volúmen de la capa de materia}}$$

Multiplíquese por 1728 para obtenerlo en lb-pie/pie³.

- 7.1.6 Calcúlese el porcentaje de humedad de moldeo en la siguiente forma:

Humedad de moldeo en porcentaje =

$$\frac{\text{Peso del espec. húmedo} - \text{Peso del espéc. seco}}{\text{Peso del espécimen seco}} \times 100$$

- 7.1.7 Calcúlese el porcentaje de humedad después de que los especímenes han sido sometidos a capilaridad empleando la fórmula.

$$RC = \frac{W_a - W_b - W_d}{W_d} \times 100$$

Donde:

W_a = Peso húmedo del espécimen y de las piedras después de la capilaridad

W_b = Peso húmedo de las piedras

W_d = Peso seco del espécimen

- 7.1.8 Calcúlense los valores del esfuerzo y deformaciones para cada espécimen individual a partir de las relaciones siguientes:

$$S = \frac{d}{H} \times 100$$

Donde:

S = Porcentaje de deformación

d = Deformación vertical total en el instante dado

h = Altura del espécimen medido después de que éste se ha removido de la capilaridad

$$p = \frac{P}{A} \times 1 - \frac{S}{100}$$

Donde:

P = Esfuerzo vertical unitario corregido. Se hace necesaria la corrección a causa de que el área de la sección transversal aumenta la medida de que el espécimen se reduce en altura. El supuesto hecho es que el espécimen se deforma a un volumen constante.

P = Carga vertical total sobre el espécimen para una deformación dada. Es igual a la suma de la carga aplicada medida por el anillo de carga, más el peso muerto de la piedra porosa superior, el bloque de carga y la carcasa del dial.

A = Área extrema del espécimen cilíndrico al comienzo del ensayo.

7.1.9 Dibújese una curva de humedad peso unitario como se aprecia en la Figura 2.

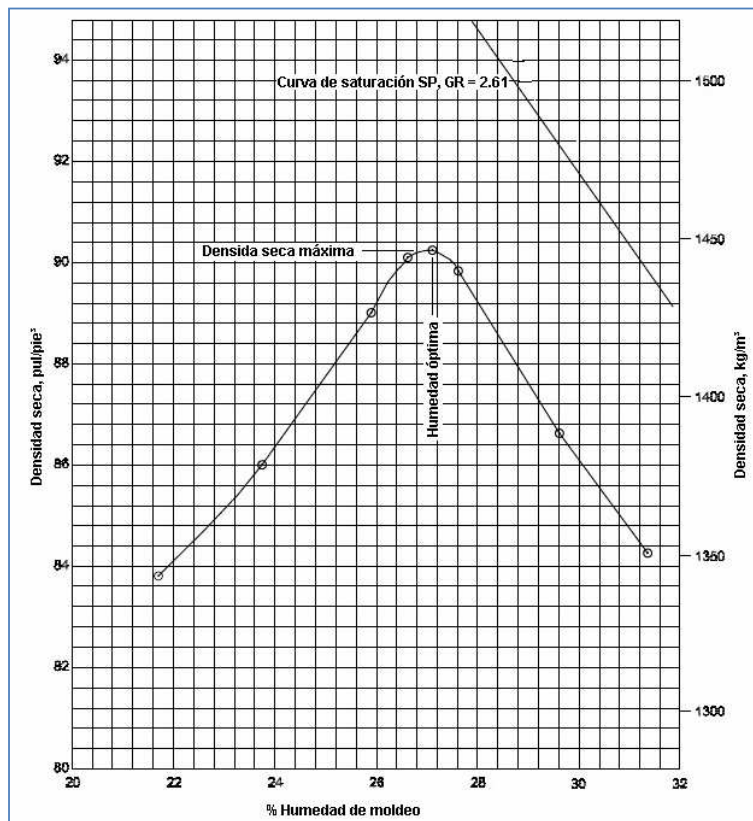


Figura 2. Curva de humedad –densidad

7.2 INFORME

7.2.1 Infórmese los valores de la resistencia a la compresión no confinada, el peso unitario, la humedad y contenido de cal como se indica en el siguiente formato. Empléese el promedio de los valores de los tres especímenes de ensayo, cuando se reportan los resultados del ensayo de compresión no confinada.

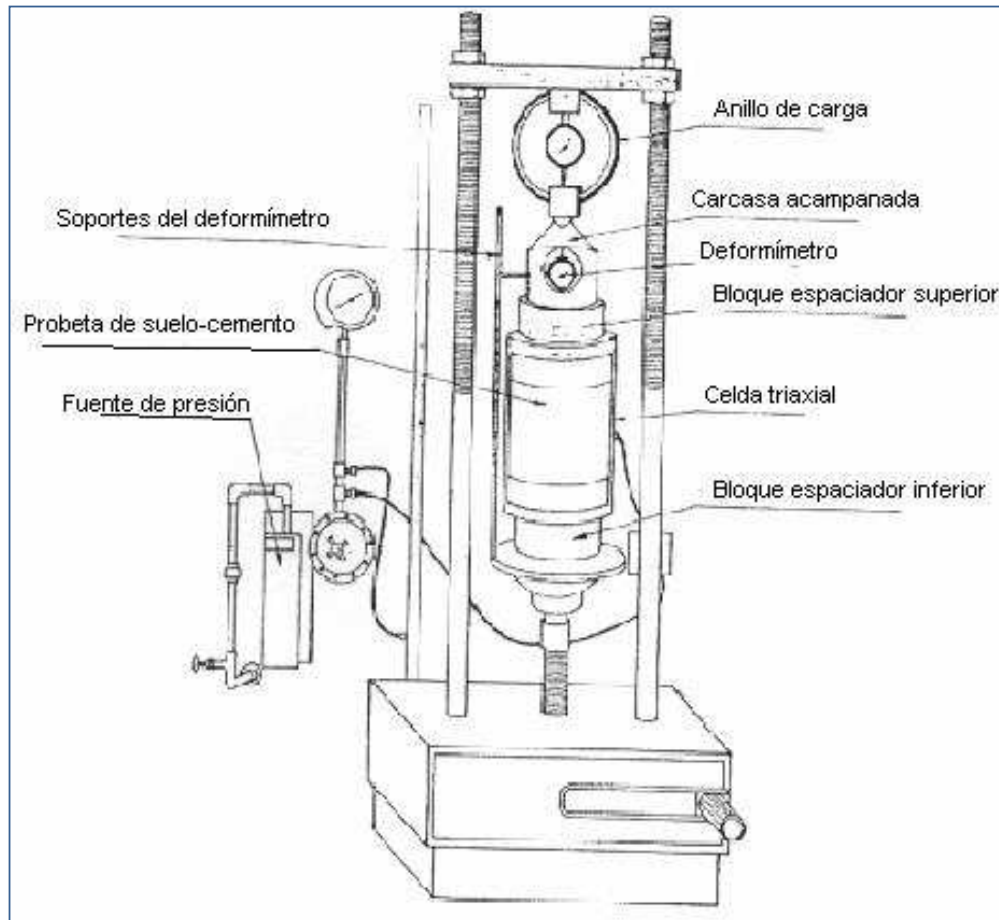


Figura 3. Prensa para ensayo de compresión con aditamentos

MTC E 1109**ESTABILIZACION QUIMICA DE SUELOS - CARACTERIZACIÓN DEL ESTABILIZADOR Y
EVALUACION DE PROPIEDADES DE COMPORTAMIENTO DEL SUELO MEJORADO****1.0 OBJETO**

- 1.1 La aplicación de un estabilizador químico tiene como objetivo principal transferir al suelo tratado, en un espesor definido, ciertas propiedades tendientes a mejorar sus propiedades de comportamiento ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio.
- 1.2 Esta norma establece un procedimiento para verificar que el estabilizador cumple con las características indicadas en la documentación técnica entregada por el fabricante o distribuidor.
- 1.3 Esta norma establece los métodos de ensayo que se deben utilizar en la evaluación de las propiedades de comportamiento del suelo mejorado.
- 1.4 Esta norma no considera la utilización de los productos cemento y asfalto, excepto cuando éstos se incorporan, como complemento del estabilizador químico, en porcentajes inferiores a los normalmente utilizados en estabilizaciones suelo-cemento y suelo-asfalto.
- 1.5 Esta norma no se aplica a los estabilizadores químicos cal y ceniza.
- 1.6 Esta norma no se aplica a riegos superficiales que no consideren una mezcla íntima y homogénea con el suelo a tratar.

1.7 Términos y definiciones

- 1.7.1 Capacidad de soporte: carga por unidad de superficie que no produce más que una deformación prevista para diferentes condiciones de carga.
- 1.7.2 Comportamiento ante cambios de humedad: capacidad del suelo de soportar variaciones importantes en una o más de sus propiedades de desempeño, a consecuencia de fenómenos naturales (cambios estacionales) o artificiales (anegamientos, drenaje u otros).
- 1.7.3 Comportamiento ante ciclos hielo-deshielo: capacidad del suelo de soportar variaciones de volumen y presión a consecuencia del cambio de fase del agua contenida en su interior.
- 1.7.4 Control de la emisión de polvo: capacidad del suelo de controlar el desprendimiento al medio ambiente, de las partículas finas que lo componen, a consecuencia de la acción de agentes externos mecánicos y climáticos.
- 1.7.5 Curado: tiempo requerido para que el suelo tratado químicamente complete la reacción físico-química de tal forma que alcance las propiedades de diseño.
- 1.7.6 Durabilidad a la abrasión: capacidad del suelo, frente a la acción de agentes mecánicos o climáticos, de controlar el desprendimiento de las partículas que lo componen.
- 1.7.7 Estabilidad bajo agua: capacidad del suelo de conservar sus propiedades volumétricas y/o de soporte bajo condición de inmersión en agua.
- 1.7.8 Estabilización mecánica: mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de un suelo.
- 1.7.9 Estabilización química: mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo, mediante la incorporación de un compuesto químico.
- 1.7.10 Estabilización de suelos: concepto general que considera el mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos y/o físico - químicos.

Nota 1. La norma extiende la presente definición a la estabilización de estructuras de suelo tipo base o subbase de pavimentos, suelos utilizados como carpetas de rodado y aquellos suelos que comprometen a subrasante de un camino.

- 1.7.11 Estabilizador de suelos: producto químico, natural o sintético, que por su acción y/o combinación con el suelo, mejora una o más de sus propiedades de comportamiento.
- 1.7.12 Pavimento: estructura compuesta por una o más capas colocadas sobre la subrasante con el objeto de soportar y distribuir al suelo las cargas producidas por el tránsito.
- 1.7.13 Subrasante: nivel superior del movimiento de tierras cuando éste ha sido terminado de acuerdo a proyecto y sobre el cual se construye la estructura de pavimento compuesta normalmente por subbase, base y carpeta de hormigón o asfalto.
- 1.7.14 Subbase: capa constituida por un material de uso estructural, de espesor determinado de acuerdo a diseño, la cual se coloca sobre la subrasante.
- 1.7.15 Base: capa constituida por un material de uso estructural, de espesor determinado de acuerdo a diseño, la cual se coloca sobre la subbase o sobre el nivel de subrasante, según sea que se considere o no la incorporación de material de subbase.
- 1.7.16 Carpeta de rodado: capa superior de un pavimento que recibe directamente la acción del tránsito. Debe ser resistente al deslizamiento, a la abrasión y a la desintegración producida por efectos del tránsito y los agentes ambientales.
- 1.7.17 Propiedades de desempeño: características de comportamiento del suelo desde el punto de vista de la ingeniería.
- 1.7.18 Trabajabilidad: facilidad para mezclar el suelo, colocarlo, enrasarlo y compactarlo.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 La estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto.
- 2.2 La aplicación de un estabilizador químico tiene como objetivo principal transferir al suelo tratado, en un espesor definido, ciertas propiedades tendientes a mejorar sus propiedades de comportamiento ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio.
- 2.3 En la sección 5.1 se indica la información requerida del estabilizador químico, la que se debe proporcionar mediante el Manual Informativo y las Hojas de Seguridad (HDS y HDST).
- 2.4 Las propiedades de comportamiento indicadas en el ítem 5.4.5 (letras f y g), dependen de un gran número de factores, entre éstos se incluyen la situación geográfica y las condiciones climáticas, tales como la temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento, etc. Además, dependen de otros factores externos como los producidos por el tránsito de los vehículos (velocidad, configuración de ejes, neumáticos, sistemas de suspensión, y otros). Se recomienda que estas propiedades sean medidas en el terreno, antes y después de aplicar el estabilizador químico, en las condiciones de uso reales utilizando los criterios o métodos provenientes de la experiencia de profesionales en el área. Con el objeto de evaluar la durabilidad de la estabilización química realizada al suelo, se debe considerar un período de análisis suficientemente extenso durante el cual se realicen las mediciones que permitan recolectar los datos necesarios para tal fin.
- 2.5 En la sección 6.1 se indican los ensayos, de laboratorio y terreno, que se deben realizar para evaluar las propiedades de comportamiento del suelo mejorado. Finalmente, en las secciones 7.2 y 7.3 se indica la forma y contenido de la rotulación y etiquetado del estabilizador químico, así como la forma en que se debe certificar el producto.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 Los documentos normativos siguientes contienen disposiciones que, a través de referencias en el texto de la norma, constituyen requisitos de la misma.
 - 3.1.1 MTC E 107 Mecánica de suelos – Análisis Granulométrico.



- 3.1.2 MTC E 108 Mecánica de suelos – Humedad Natural.
- 3.1.3 MTC E 110 Mecánica de suelos - Límites de consistencia - Parte 1: Determinación del límite líquido.
- 3.1.4 MTC E 111 Mecánica de suelos - Límites de consistencia - Parte 2: Determinación del límite plástico.
- 3.1.5 MTC E 112 Determinación de los Factores de Contracción de los Suelos.
- 3.1.6 MTC E 219 Mecánica de suelos - Sales Solubles Totales.
- 3.1.7 MTC E 115 Mecánica de suelos - Densidad - Humedad.
- 3.1.8 MTC E 132 Mecánica de suelos - California Bearing Ratio (CBR).
- 3.1.9 MTC E 1103 Mecánica de suelos - Compresión Simple.
- 3.1.10 MTC E 117 Mecánica de suelos - Densidad de Campo.
Mecánica de suelos - Deflectometría y Rugosidad.
Sustancias peligrosas - Marcas para información de riesgos.
Hoja de datos de seguridad de productos químicos - Contenido y disposición de los temas.
Sustancias peligrosas - Transporte por carretera - Hoja de Datos de Seguridad.
- 3.1.11 AASHTO T 294 Standard Method of Test for Resilient Modulus of Base / SubBase materials and Subgrade Soils - SHRP Protocol P46.
- 3.1.12 ASTM D 422 Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.
- 3.1.13 ASTM D 427 Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method.
- 3.1.14 ASTM D 560 Standard Test Methods for Freezing and Thawing Compacted Soil-Cement Mixtures.
- 3.1.15 ASTM D 1195 Standard Test Methods for Repetitive Static Plate Load Test of Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements.
- 3.1.16 ASTM D 1196 Standard Test Method for Non Repetitive Static Plate Load Test of Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements.
- 3.1.17 ASTM D 2166 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soils.
- 3.1.18 ASTM D 2435 Standard Test Method for One - Dimensional Consolidation Properties of Soils.
- 3.1.19 ASTM D 2487 Standard Test Method for Classification of Soils for Engineering Purposes (USCS).
- 3.1.20 ASTM D 2922 Standard Test Method for Density of Soil and Soil - Aggregate in place by nuclear Methods (Shallow Depth).
- 3.1.21 ASTM D 3017 Standard Test Method for Water Content of Soil and Rock in Place by Nuclear Methods (Shallow Depth).
- 3.1.22 ASTM D 3877 Standard Test Methods for One - Dimensional Expansion, Shrinkage, and Uplift Pressure of Soils - Lime Mixtures.
- 3.1.23 ASTM D 4546 Standard Test Methods for One - Dimensional Swell of Settlement Potential of Cohesive Soils.
- 3.1.24 ASTM D 4609 Standard Guide for Screening Chemicals for Soil Stabilization.
- 3.1.25 ASTM D 4694 Standard Test Method for Deflections with a Falling - Weight - Type Impulse Load Devices.

- 3.1.26 ASTM D 4767 Standard Test Method for Consolidated - Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils.
- 3.1.27 ASTM D 4943 Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soils by The Wax Method.
- 3.1.28 ASTM D 5102 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Compacted Soil - Lime Mixture.
- 3.1.29 ASTM D 5874 Standard Test Method for Determination of the Impact Value (IV) of a Soil.

4.0 INSUMOS

4.1 ESTABILIZADOR QUÍMICO

4.1.1 Generalidades

- 4.1.1.1 Los estabilizadores químicos consideran una amplia variedad de tipos, entre los cuales se encuentran sales, productos enzimáticos, polímeros y subproductos del petróleo.
- 4.1.1.2 Los estabilizadores químicos pueden tener efectos sobre una o varias de las propiedades de desempeño del suelo, de acuerdo al tipo específico y condiciones de aplicación del estabilizador químico, así como del tipo de suelo tratado.
- 4.1.1.3 Los estabilizadores químicos deben ir acompañados por la documentación técnica que se indica en la sección 5.1, y estar rotulados y etiquetados de acuerdo a lo indicado en la sección 7.2.

4.2 SALUD Y MEDIO AMBIENTE

- 4.2.1 Los estabilizadores químicos deben cumplir con la legislación vigente que pueda tener relación con todas y cada una de las etapas de su ciclo de vida.

5.0 MUESTRA

5.1 DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

- 5.1.1 Todo producto estabilizador químico debe ir acompañado por los documentos siguientes: Manual Informativo y Hoja de Datos de Seguridad. La información errónea o incompleta relativa a salud y medio ambiente, se considera como un no cumplimiento de esta norma y además, de exclusiva responsabilidad del productor y/o distribuidor del producto.

Nota 2. No obstante lo anterior, esta situación no exime de responsabilidad al supervisor de obras quien debe exigir la certificación del producto de tal forma de verificar las características de éste y las condiciones en que se debe utilizar.

5.2 MANUAL INFORMATIVO

- 5.2.1 Todo producto que se vaya a utilizar como estabilizador químico debe ir acompañado de un Manual Informativo, en que se haga especial referencia a los potenciales riesgos para la salud de las personas y el medio ambiente.
- 5.2.2 El Manual Informativo debe ser emitido por el fabricante y/o distribuidor, y debe contener a lo menos la información siguiente:
 - a) nombre del producto:
 - b) nombre del fabricante o distribuidor:
 - c) descripción del producto:
 - d) composición química genérica:
 - e) condiciones de manipulación:
 - f) condiciones de transporte:
 - g) condiciones de almacenamiento:

h) condiciones y forma de utilización (proporciones, mezcla, tiempo de curado, etc.).

5.3 HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

5.3.1 Todo producto que se vaya a utilizar como estabilizador químico debe ir acompañado de una Hoja de Datos de Seguridad de productos químicos (HDS). Análogamente y debido a los riesgos inherentes al transporte de estos productos, se debe acompañar una Hoja de Datos de Seguridad para transporte (HDST).

5.4 PROPIEDADES DE DESEMPEÑO

5.4.1 En relación a las condiciones específicas de cada proyecto, se asume que la estabilización química de suelos puede cumplir funciones diferentes si se aplica sobre la carpeta de rodado, la capa intermedia (base o subbase) o la subrasante.

5.4.2 Las propiedades de desempeño se evalúan en forma relativa, comparando los resultados de ensayos practicados, en terreno o en el laboratorio, sobre el suelo en su estado natural y después de tratado con el estabilizador químico.

5.4.3 Algunos de los ensayos que permiten medir las propiedades de comportamiento citadas más adelante, se pueden aplicar al conjunto de partículas que componen el suelo en su forma natural o tratado, mientras que otros ensayos se aplican considerando un determinado tamaño máximo de partículas.

5.4.4 Es importante señalar que los resultados obtenidos mediante los ensayos que se indican más adelante, de ninguna forma pueden reemplazar los resultados validados por experiencias en terreno.

5.4.5 Las propiedades de comportamiento a considerar son las siguientes:

- a) trabajabilidad;
- b) capacidad de soporte;
- c) estabilidad bajo agua;
- d) comportamiento ante ciclos hielo y deshielo;
- e) comportamiento ante cambios de humedad;
- f) durabilidad a la abrasión
- g) control de emisión de polvo

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 ENSAYOS

6.1.1 Características del suelo

6.1.1.1 Previo a la evaluación de las propiedades de comportamiento del suelo, se deben determinar las características del mismo según lo indicado en Tabla 1.

Tabla 1 - Características del suelo - Métodos de ensayo

Propiedad	Método de Ensayo
Tamaño de partículas	ASTM D 422
Límites de consistencia:	
Límite líquido	MTC E 110
Límite plástico	MTC E 111
Límite de contracción	MTC E 112
Clasificación de suelos	ASTM D2487

6.1.2 Propiedades de desempeño

La efectividad de un estabilizador químico, se determina mediante ensayos realizados sobre probetas estabilizadas químicamente y sobre probetas no tratadas químicamente. Si los resultados obtenidos sobre las primeras mejoran una propiedad de desempeño de las segundas, entonces se dice que el estabilizador es efectivo.

6.1.2.1 Trabajabilidad

Esta propiedad se debe evaluar mediante uno o más de los ensayos indicados en Tabla 2.

Tabla 2 - Trabajabilidad - Métodos de ensayo

Propiedad
Densidad máxima en laboratorio ¹⁾ Relación humedad/densidad (ensayo proctor normal) Relación humedad/densidad (ensayo proctor modificado) Densidad máxima y mínima suelos no cohesivos
Densidad máxima en terreno ¹⁾ Densidad terreno (método cono de arena) Humedad Densidad de métodos nucleares Humedad por métodos nucleares
1) Queda a criterio del proyectista determinar qué valor mínimo de incremento en el nivel de compactación se puede considerar satisfactorio. 2) Para suelos con partículas de tamaño superior a $\frac{3}{4}$ y hasta un 30% de partículas retenidas en el tamiz, se debe realizar una corrección de los pesos unitarios y humedades de acuerdo a ASTM 4718. 3) Si se tienen partículas con tamaño máximo superior a 2", se deben usar aparatos con mayores dimensiones y perforaciones de mayor volumen, tal como se indica en ASTM D 4914. 4) Se deben considerar las cantidades mínimas de muestra, que permitan obtener resultados representativos de acuerdo a lo indicado en ASTM D 2216

6.1.2.2 Capacidad de soporte

Esta propiedad se debe evaluar mediante uno o más de los ensayos indicados en Tabla 3.

Tabla 3

Capacidad de soporte - Métodos de ensayo

Propiedad	Método de ensayo
<u>En suelos finos</u>	
Resistencia a la compresión no confinada	ASTM D 2166
Compresión triaxial consolidado	ASTM D 4767
Módulo resiliente	AASHTO T-294
Deflectometría	ASTM D 4694

6.1.2.3 ESTABILIDAD BAJO AGUA

Esta propiedad se debe evaluar mediante uno o más de los ensayos indicados en Tabla 4.

Tabla 4**Estabilidad bajo agua - Métodos de ensayo**

Propiedad	Método de ensayo
Resistencia a la compresión no confinada	ASTM D 2166
Capacidad de soporte en suelos granulares	MTC E 132

6.1.2.4 COMPORTAMIENTO ANTE CICLOS HIELO-DESHIELO

Esta propiedad se debe evaluar mediante el ensayo indicado en ASTM D 560, diseñado para mezclas suelo-cemento, con las consideraciones o modificaciones que correspondan a las condiciones específicas del proyecto.

6.1.2.5 COMPORTAMIENTO ANTE CAMBIOS DE HUMEDAD

Esta propiedad se debe evaluar mediante los ensayos indicados en Tabla 5. Para evaluar esta propiedad de desempeño en laboratorio, se pueden analizar los efectos sobre una probeta, en ciertas condiciones de confinamiento, antes y después del tratamiento con el estabilizador químico, o bien, desecar una probeta inicialmente saturada. Interesa medir parámetros tales como: deformabilidad bajo condición saturada, contracción por secamiento, hinchamiento o colapso por saturación, y presión por saturación en condición de expansión nula.

Tabla 5**Evaluación del comportamiento ante cambios de humedad**

Propiedad	Método de ensayo
Factor de contracción (método del mercurio)	ASTM D 427
Consolidación unidimensional	ASTM D 2435
Expansión y contracción unidimensional, y presión de poros de suelos limosos.	ASTM D 3877
Potencial de contracción en suelos cohesivos.	ASTM D 4546
Factor de contracción (método de la cera o parafina sólida).	ASTM D 4943

7.0 CALCULOS E INFORME**7.1 INFORME DE ENSAYOS**

Una vez realizados los ensayos de mecánica de suelos solicitados por el mandante, el laboratorio de mecánica de suelos debe emitir un informe con toda la información indicada en la norma correspondiente al ensayo (en la forma, contenido y unidades allí expresados), y adicionalmente, en caso de no aparecer indicados en la norma, los antecedentes siguientes:

- identificación de la muestra de suelo;
- nombre del producto estabilizador;
- nombre del fabricante o distribuidor;
- lugar y fecha de la toma de muestra de suelo;
- dosificación del estabilizador químico utilizada en el ensayo;

f) otras informaciones de interés técnico.

7.2 ROTULACIÓN Y ETIQUETADO

Todos los medios de transporte utilizados para trasladar los envases, embalajes o cualquier medio de contención del estabilizador químico, se deben rotular. Análogamente, todos los envases, embalajes y/o cualquier otro medio de contención del producto estabilizador químico deben ser etiquetados de acuerdo a lo indicado en 5.2 de esta norma.

7.3 CERTIFICACIÓN

Por acuerdo entre las partes, los estabilizadores químicos podrán ir acompañados de un certificado emitido por un laboratorio reconocido, en el cual se deje expresa constancia que dicho producto cumple con las características indicadas por el fabricante y/o distribuidor en la documentación entregada, en la forma y contenido indicada en esta norma

Anexo A

(Informativo)

Relación entre tamaño de partículas de suelo y tamaño de probetas (ASTM D 2166)

Tamaño máximo partículas de suelo, Mn	Tamaño de la probeta (diámetro/altura), Mn
13	100/200
25	150/300
76	
1) Este ensayo indica el procedimiento de reemplazo de partículas de suelo entre tamaño 25 mm y 76 mm, por aquellas partículas de suelo entre 25 mm y tamiz N° 4. Posteriormente se debe utilizar el tamaño de probeta correspondiente al tamaño máximo de las partículas de suelo de la muestra seleccionada.	



SECCION N° 12 PINTURAS

MTC E 1201**DETERMINACION DE LA CONSISTENCIA DE PINTURAS CON EL VISCOSIMETRO STORMER****1.0 OBJETO**

- 1.1 Este modo operativo establece el método Krebs para determinar la viscosidad aparente o consistencia de las pinturas, utilizando un viscosímetro Stormer.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Determinar la carga requerida para producir una frecuencia rotacional de 200 r/min por una paleta de rotor inmersa en una pintura.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 562: Standard Test Method for Consistency of Paints Using the Stormer Viscometer.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Recipiente. Con un diámetro de 8,5 cm de diámetro y capacidad de 500 mL aproximadamente.
- 4.1.2 Termómetro. Con un rango de 2 °C hasta 70 °C.
- 4.1.3 Viscosímetro Stormer. Con rotor tipo paleta como el que ilustran las Figuras 01 y 02. El viscosímetro debe verificarse de acuerdo a los siguientes pasos:



Figura 1. Viscosímetro Stormer con rotor tipo paleta y temporizador estroboscópico

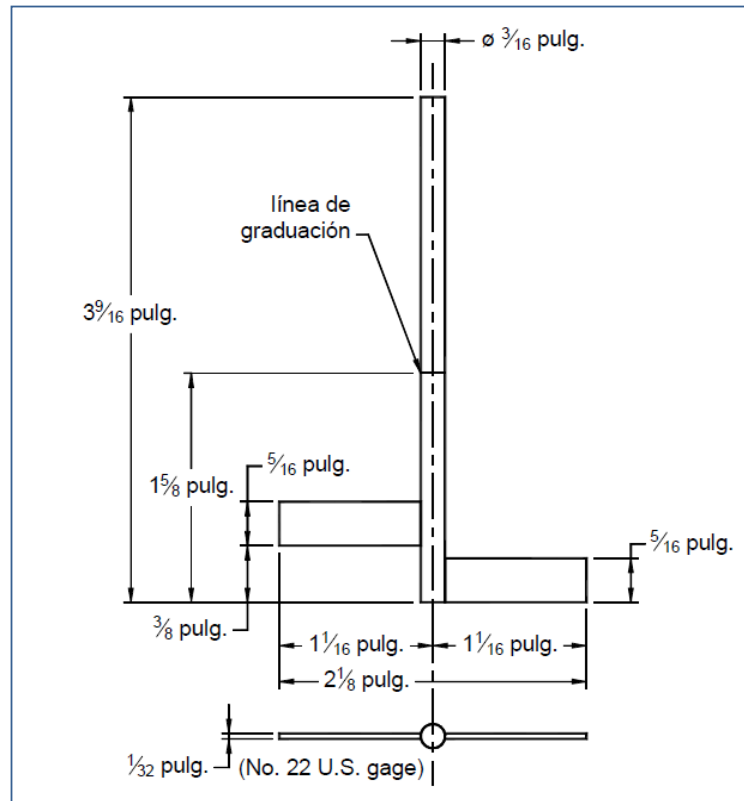


Figura 2. Rotor Tipo paleta para Uso con el Viscosímetro Stormer

- Retirar el rotor y el transportador de pesos del viscosímetro. Asegurarse que la cuerda esté enrollada en el carrete y no esté traslapado sobre sí mismo.
 - Colgar un peso de 5 g en la cuerda y luego soltar el freno. Si el viscosímetro arranca desde el punto muerto y continúa avanzando varias revoluciones del carrete de la cuerda, es satisfactorio para su uso. Si no arranca sin ayuda al aplicarle el peso de 5 g, el instrumento deberá ser reacondicionado.
 - Verificar las dimensiones del rotor tipo paleta. No deberán diferir en más de $\pm 0,1$ mm (0,004 pulgadas) respecto a las dimensiones mostradas en la Figura 02.
 - Seleccionar dos aceites patrón con valores asignados de carga para producir 200 r/min dentro del rango de los valores esperados para los recubrimientos a ser medidos (Ver 4.2.1).
 - Ajustar la temperatura de los aceites patrón a $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$. La temperatura del aparato Stormer deberá ser la misma. Si la temperatura especificada no puede ser obtenida, registrar la temperatura del aceite al comienzo y al final del ensayo hasta $0,2 \text{ }^\circ\text{C}$.
 - Determinar la carga en gramos necesaria para producir 200 r/min con cada uno de los dos aceites, de acuerdo al procedimiento descrito en 6.0.
 - Si la temperatura del aceite no estuvo entre $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ durante el ensayo, corregir el peso medido en gramos para la desviación de esta temperatura.
 - Si la carga medida (corregida para cualquier desviación en la temperatura respecto al patrón) está dentro de $\pm 15\%$ de los valores de carga asignados para los aceites, el aparato Stormer se puede considerar verificado satisfactoriamente.
- 4.1.4 Cronómetro. Con una de 0,2 s.
- 4.1.5 Juego de pesos. Que cubra el rango de 5 g a 1000 g.

4.2 INSUMOS

- 4.2.1 Dos aceites patrón. Calibrados en viscosidad absoluta (Poise), que estén dentro del rango de viscosidad de los recubrimientos por medir. Estos aceites deberían diferir en viscosidad en por lo menos 5 P. El rango normal del Stormer es cubierto por aceites que tienen viscosidades de 4 P (70 KU), 10 P (85 KU) y 14 P (95 KU)

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con espátula de madera o agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.
- 6.1.2 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de $25\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ y humedad relativa de $60\% \pm 10\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.
- 6.1.3 Tomar una muestra homogénea de producto, el cual se vierte en el recipiente descrito en 4.1.1, hasta una altura de 20 mm (3/4 de pulgada) antes del borde superior.

6.2 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 6.2.1 Llevar la temperatura del espécimen a la muestra a $25\text{ °C} \pm 0.2\text{ °C}$ y mantenerla a esta temperatura durante el ensayo. La temperatura del aparato Stormer deberá ser la misma.

Si la temperatura especificada no puede ser obtenida, registrar la temperatura del espécimen al comienzo y al final del ensayo hasta $0,2\text{ °C}$.

6.3 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.3.1 Cuando la temperatura del espécimen haya alcanzado el equilibrio, agitar vigorosamente, evitando que quede aire atrapado, y colocar el recipiente inmediatamente en la plataforma del viscosímetro, de manera que el rotor quede sumergido en el material hasta la marca situada en el eje del rotor.
- 6.3.2 Colocar las pesas necesarias sobre la barra de extensión del viscosímetro para que, una vez liberado el rotor con el tornillo de bloqueo, éste produzca 100 revoluciones en el rango de 25 s a 35 s.
- 6.3.3 Utilizando la información obtenida en 6.3.2, seleccionar dos cargas que den dos lecturas diferentes (tiempo para dar 100 revoluciones) dentro del rango de 27 s a 33 s.
- 6.3.4 Al efectuar cada determinación no debe activarse el cronómetro hasta que el rotor haya girado 10 vueltas. Al terminar cada determinación se hace subir de nuevo la plataforma del viscosímetro con las pesas girando el carrete, fijando el conjunto en esa posición mediante el tornillo de bloqueo
- 6.3.5 Durante el ensayo debe mantenerse la temperatura de la muestra a $25\text{ °C} \pm 0,2\text{ °C}$.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 La viscosidad aparente o consistencia de la muestra puede expresarse de las dos formas siguientes:
- Peso en gramos necesario para producir 100 revoluciones en 30s, obtenido mediante interpolación entre los pesos en gramos de las cargas registradas según 6.2, y el tiempo en segundos correspondientes.
 - Unidades Krebs (KU), haciendo uso de la Tabla N° 01 en función de la carga aplicada, y el tiempo en segundos obtenido.

7.2 INFORME

- 7.2.1 En el informe final se hará constar:



- a) Resultado, expresado en gramos o en unidades Krebs (K.U.), de acuerdo en el punto 7.1.
- b) Referencia a este modo operativo y cualquier desviación respecto a la misma acordada, o no.
- c) Descripción detallada del proceso seguido para la preparación de la muestra antes de la realización de la medida, indicando expresamente el procedimiento de agitación y el tiempo empleado en la misma.
- d) Tipo de aparato empleado: Provisto de sistema estroboscópico o de contador de revoluciones.
- e) Fecha de realización del ensayo

8.0 PRECISION Y DISPERSION.

- 8.1 Repetibilidad. Dos resultados obtenidos con el mismo material por el mismo operador en tiempos diferentes deberán ser considerados dudosos si ellos difieren en más del 9 % en los gramos de carga o 4,5 % en KU, de su valor medio, a un nivel de confianza del 95 %.
- 8.2 Reproducibilidad. Dos resultados, cada uno de la media de cuatro mediciones con el mismo material, obtenido por operadores en diferentes laboratorios deberán ser considerados dudosos si ellos difieren en más del 30 % en gramos de carga o 12 % en KU, de su valor medio, a un nivel de confianza del 95 %.



TABLA N° 1 Unidades Krebs (K.U.) en función del peso en gramos aplicado y el tiempo en segundos obtenidos

Carga, g																																					
Segundos por 100	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900	950	1000	
Unidades Krebs																																					
27	49	57	63	69	74	79	83	86	89	92	95	97	100	102	104	106	109	111	113	114	116	118	120	121	123	124	126	127	129	130	131	132	133	134	136	138	
28	51	59	65	70	75	80	84	87	90	93	96	98	100	102	105	107	110	112	114	115	117	118	120	121	123	124	126	127	129	130	131	132	133	134	135	137	139
29	53	60	66	71	76	81	85	88	91	94	97	99	101	103	105	107	110	112	114	115	117	119	121	122	124	125	127	128	130	131	132	133	134	135	136	137	139
30	54	61	67	72	77	82	86	89	92	95	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118	120	121	122	124	125	127	128	130	131	133	134	135	136	138	140	
31	55	62	68	73	78	82	86	90	93	95	98	100	102	104	106	108	111	113	115	116	118	120	122	123	125	126	128	129	131	132	133	134	135	136	138	140	
32	56	63	69	74	79	83	87	90	93	96	99	101	103	105	107	109	111	113	115	116	118	120	122	123	125	126	128	129	131	132	133	134	135	136	138	140	
33	57	64	70	75	80	84	88	91	94	96	99	101	103	105	107	109	112	114	116	117	119	121	122	123	125	126	128	129	131	132	134	135	136	137	139	141	

MTC E 1203**DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE PINTURAS METODO DEL PICNOMETRO****1.0 OBJETO**

1.1 Determinar la densidad en pinturas y productos afines en estado líquido.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

2.1 Determinar la masa de la pintura líquida contenida en un picnómetro a una temperatura de $25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ y calcular su densidad en gramos por centímetro cúbico.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

3.1 ASTM D 1475: Standard Test Method for Density of Liquids Coatings, Inks, and Related Products

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

4.1.1 Copa o picnómetro. Se puede emplear cualquier copa peso por galón de metal o picnómetro de vidrio pueden, siempre que pueda ser llenado fácilmente con un líquido viscoso, ajustarse a un volumen exacto, y cubierto para evitar la pérdida de material volátil, y limpiarse fácilmente. Determinar el volumen del recipiente a la temperatura especificada mediante el empleo de los siguientes pasos:

- a) Limpiar el recipiente y secar en una estufa hasta peso constante (M). Se debe evitar huellas dactilares en el recipiente puesto que alteraran el peso. Registrar el peso, M, en gramos.
- b) Llenar el recipiente con agua destilada o desionizada a la temperatura especificada. Tapar el recipiente, dejando el orificio de sobreflujo abierto. Inmediatamente retirar el exceso de agua sobrefluida o el agua retenida en las depresiones secando con material absorbente embebido en alcohol o acetona. Evitar obstruir las burbujas de aire en el recipiente.
- c) Inmediatamente pesar el envase lleno con aproximación a 0,001 % de su peso. Registrar este peso, N, en gramos.
- e) Calcular el volumen del recipiente como sigue:

$$V = (N - M) / \rho \quad (1)$$

Donde:

V = Volumen del recipiente, mL

N = Peso del recipiente y agua, g,

M = Peso del recipiente seco, g, y

ρ = Densidad absoluta del agua a la temperatura específica, g/mL (ver Tabla N° 01)

- f) Obtener la media de al menos tres determinaciones.

TABLA 1
Densidad Absoluta del Agua, g/mL

° C	Densidad
15	0,999127
16	0,998971
17	0,998772
18	0,998623
19	0,998433
20	0,998231
21	0,998020
22	0,997798
23	0,997566

4.1.2 Termómetros. Graduados en 0,1 °C.

4.1.3 Baño de temperatura constante. Es deseable mantenerlo a 25 °C ± 1 °C.

4.1.4 Balanza analítica de laboratorio.

4.1.5 Desecador. Son deseables un desecador o un cuarto de temperatura y humedad constante razonablemente.

4.2 INSUMOS

4.2.1 Agua destilada o desionizada:

5.0 MUESTRA

5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con espátula de madera o agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.

6.1.2 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de 25 °C ± 3 °C y humedad relativa de 60 % ± 10 %, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

6.2.1 Repetir los pasos de 4.1.1 (a, b y c), sustituyendo el agua por la muestra a ser ensayada y el alcohol o la acetona por un disolvente no residual adecuado. Registrar el peso del recipiente lleno, W, y el peso del recipiente vacío, w, en gramos.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Calcular la densidad en gramos por mililitros de la siguiente manera:

$$D_m = (W - w) / V \quad (2)$$

Donde

D_m = Densidad, g/mL

7.1.2 Calcular la densidad en libras por galón de la siguiente manera:

$$D_m = (W - w)K / V \quad (3)$$

Donde

D = Densidad, lb/gal

K = 8,3454, y

V = Volumen del envase, mL (ver 4.1.1.f)

7.2 INFORME

7.2.1 En el informe final se hará constar:

- i) Tipo y número de la muestra o cualquier otra indicación que la identifique.
- j) Referencia al presente modo operativo.
- k) Densidad de la muestra, en gramos por mililitro.
- l) Promedio, intervalo y número de determinaciones.
- m) Fecha de ensayo

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Repetibilidad. Dos resultados, cada uno de la media de las determinaciones por duplicado, obtenidos por el mismo operador en diferentes días deberá ser considerado dudoso si ellas difieren en más del 0,6 % relativo, a un nivel de confianza del 95 %.
- 8.2 Reproducibilidad. Dos resultados, cada uno de la media de las determinaciones por duplicado, obtenidas por operadores en diferentes laboratorios deberán ser considerados dudosos si ellas difieren en más del 1,8 % relativo, a un nivel de confianza del 95 %.

MTC E 1204

DETERMINACION DE LA FINURA DE DISPERSION

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la finura de dispersión de pinturas, tintas y productos relacionados, mediante la utilización de una regleta apropiada, graduada

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Determinar el punto donde las partículas formen un diseño definido, producto de la aparición de partículas y aglomeraciones en la superficie de la regleta luego de ser esparcida con un rascador.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D1210 Standard Test Method for Fineness of Dispersion of Pigment-Vehicle Systems by Hegman-Type Gage.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Calibrador. Bloque de acero templado, acero inoxidable o acero cromado, de aproximadamente 170 mm de longitud, 65 mm de ancho y 15 mm de espesor. La superficie superior del bloque debe ser lisa y plana y debe contar con dos pistas de 127 mm de longitud graduada. La pista debe tener una variación progresiva descendente uniforme, desde una profundidad adecuada en uno de sus extremos, hasta una profundidad cero en el otro extremo, con graduaciones intermedias de acuerdo con la profundidad en esos puntos. Las escalas preferidas son las unidades Hegman y los micrómetros.

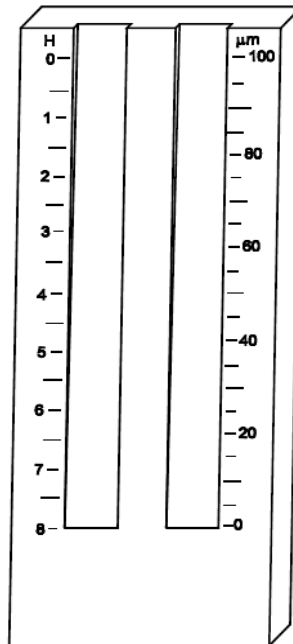


Figura 1. Calibrador de Finura de dos Pistas

- 4.1.2 Espátula. Cuchilla de doble filo, de acero templado, acero inoxidable o acero cromado, de aproximadamente 95 mm (3,75 pulgadas) de longitud, 40 mm (1,5 pulgadas) de ancho y 6,4 mm (0,25 pulgadas) de espesor. Los dos bordes, en los lados de 3,75 mm, deben estar redondeados a un radio aproximado de 0,38 mm (0,015 pulgadas).

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con espátula de madera o agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.
- 6.1.2 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de $25\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ y humedad relativa de $60\% \pm 10\%$, en un lugar libre de polvo la luz directa del sol.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.2.1 Colocar el calibrador sobre una superficie horizontal, plana, no resbalosa y limpiar inmediatamente antes del ensayo. Asegurarse de que la superficie del calibrador esté libre de pelusas.
- 6.2.2 Antes de efectuar el ensayo agitar manualmente la muestra vigorosamente durante 2 minutos teniendo cuidado de que no penetren burbujas de aire en la muestra. Para garantizar una lectura exacta del grado de finura, las muestras deben estar libres de burbujas de aire.
- 6.2.3 Colocar inmediatamente el material a ser ensayado en la parte más profunda de las pistas, de modo que se rebose de la pista ligeramente.
- 6.2.4 Sosteniendo la espátula con ambas manos, casi vertical pero inclinada ligeramente hacia el operador, estirar el material a lo largo de la pista hacia el extremo poco profundo del calibrador, con un movimiento rápido y uniforme, en un tiempo de 1 s a 3 s aproximadamente. Ejercer sobre la espátula sólo la presión suficiente para limpiar el exceso de material de la superficie del calibrador. Dentro de un período 10 s después de haber colocado la muestra en el calibrador, efectuar una lectura tal como sigue:

Observar el calibrador desde el lado, perpendicular a la longitud de la pista. Mantener el calibrador entre el operador y la fuente de luz, formando un ángulo entre la cara del calibrador y la línea de visión, de modo que se permita apreciar fácilmente el aspecto de la muestra contenida en las pistas.

Examinar el calibrador desde el lado menos profundo hacia el lado más profundo y observar el punto en que la muestra presenta un patrón definido de puntos, no sólo puntos aislados. Esta es la lectura de finura. Promediar los valores de ambas pistas con aproximación a $\frac{1}{4}$ de unidad Hegman. Este promedio se considera una lectura.

- 6.2.5 Limpiar cuidadosamente el calibrador y la espátula, inmediatamente después de la lectura, empleando un disolvente apropiado.
- 6.2.6 Después de la primera estirada y lectura, que son preliminares para establecer las condiciones de ensayo apropiadas y localizar la posición de la lectura de finura, repetir el procedimiento dos veces, empezando con lo indicado en 6.2.3, para obtener dos lecturas de ensayo que se harán con lapsos de tiempo limitado entre la finalización de la estirada y la lectura (No tomar en cuenta lecturas de finura cuando el lapso de tiempo es mayor que 10 s).

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcular la media de las dos determinaciones, y anotar el resultado con aproximación a $\frac{1}{4}$ de unidad Hegman.

7.2 INFORME

- 7.2.1 En el informe final se hará constar:
 - a) Todos los detalles necesarios para identificar completamente la muestra ensayada.
 - b) Una referencia a este modo operativo.



- c) Tipo de calibrador empleado.
- d) El resultado del ensayo, expresado en escala Hegman. Se informan las lecturas Hegman con aproximación al siguiente $\frac{1}{4}$ de unidad y las lecturas de micrómetro con aproximación al siguiente múltiplo de 5 μm .
- e) Cualquier desviación, acordada o no, respecto al modo operativo.
- f) Fecha de ensayo

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Repetibilidad. Es el valor por debajo del cual, la diferencia absoluta entre dos resultados de ensayo individuales, obtenidos sobre la misma muestra, por un mismo operario, en un laboratorio, utilizando el mismo equipo, en un corto intervalo de tiempo, empleando el modo operativo, puede esperarse que sea de un 10 % del intervalo del calibrador, con una probabilidad del 95 %.
- 8.2 Reproducibilidad. Es el valor por debajo del cual, la diferencia absoluta entre dos resultados de ensayo individuales, obtenidos sobre la misma muestra, por distintos operarios, en laboratorios diferentes, empleando el modo operativo, puede esperarse que sea de un 20 % del intervalo del calibrador, con una probabilidad del 95 %.

MTC E 1206**DETERMINACION DE LA FLEXIBILIDAD MANDRIL CONICO****1.0 OBJETO**

- 1.1 Evaluar la resistencia de los recubrimientos de pinturas, barnices y productos afines, al cuarteamiento o desprendimiento del sustrato en diferentes condiciones de deformación.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Los recubrimientos aplicados a los sustratos se estiran cuando estos últimos son doblados durante la fabricación de artículos o cuando se les da un uso indebido en servicio. Este modo operativo es útil al clasificar los recubrimientos aplicados, en cuanto a su capacidad para resistir agrietamiento al ser estirados, y también para evaluar la flexibilidad de los recubrimientos en sustratos flexibles.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 522: Test Methods for Mandrel Bend Test of Attached Organic Coatings.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Equipo de prueba mandril cónico. Consta de un cono truncado de metal, un brazo de doblado del panel giratorio, y abrazaderas del panel, todo esto montado sobre una base de metal. Las dimensiones del cono truncado de acero liso serán tal que el diámetro menor sea de 3,1 mm \pm 0,1 mm y el mayor de 38 mm \pm 0,1 mm, con una longitud (l) de 203 mm \pm 3 mm.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Sustrato. A no ser que se acuerde lo contrario, el sustrato puede ser cualquier tipo de lámina metálica o material tipo caucho (por ejemplo: acero, aluminio, hojalata o caucho sintético). El espesor de la lámina metálica puede ser menor de 0,8 mm (1/32 pulgada) y el de los materiales tipo caucho puede ser hasta de 13 mm (1/2 pulgada). El tamaño recomendado de los paneles es de 100 mm (4 pulgadas) de ancho y 150 mm (6 pulgadas) de largo. La preparación de la superficie del sustrato se debe acordar entre las partes interesadas. Antes de la aplicación del recubrimiento, redondear ligeramente los bordes de los paneles para quitar las rebabas y así eliminar efectos de borde anómalos.
- 4.2.2 Estufa. Capaz de mantener la temperatura de 105 °C \pm 2 °C.
- 4.2.3 Aplicador de película. Con apertura de 0,38 mm (5 mils).
- 4.2.4 Espátula de madera.
- 4.2.5 Papel de envoltura Kraft oscura N° 1, sustrato 30.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido

6.0 PROCEDIMIENTO**6.1 PREPARACION DEL ENSAYO**

- 6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con espátula de madera o agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.
- 6.1.2 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de 25 °C \pm 3 °C y humedad relativa de 60 % \pm 10 %, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol. Si se emplean condiciones distintas se deben indicar en el informe de ensayo. Se evita el calentamiento o manejo indebido de la probeta.

6.2 PREPARACION DEL SUBSTRATO

- 6.2.1 Aplicar la muestra, con el extensor de 0,38 mm de espesor, sobre el panel, después de haber sido previamente limpiados (tratamiento con papel de lija de agua fina y limpieza con alcohol etílico y posteriormente con tolueno, para completar el desengrasado). Preparar dos probetas para el ensayo.
 - 6.2.2 Dejar secar a temperatura ambiente, en posición horizontal durante 24 horas.
 - 6.2.3 Colocar en la estufa a temperatura de $50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 2 horas.
 - 6.2.4 Retirar y dejar enfriar a temperatura ambiente por lo menos 30 minutos.
- 6.3 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.3.1 Con la palanca de operación del aparato en posición horizontal, deslizar la probeta entre el mandril y la barra de tracción, con el lado de acabado hacia la barra de tracción. Sujetar rígidamente la probeta con las abrazaderas en posición vertical adyacente al mandril, colocando el borde longitudinal detrás de la barra de retención, de tal manera que el panel siempre esté montado en el extremo angosto del mandril. Deslizar dos hojas de papel de envoltura Kraft, untado muy bien de talco en ambos lados, entre la probeta y la barra de tracción y se mantienen en posición solamente por la presión de la barra de tracción contra el papel.
- 6.3.2 Mover la palanca completamente 180° a una velocidad uniforme en un tiempo de 1 s, a menos que se acuerde un tiempo alternativo entre las partes interesadas.
- 6.3.3 Examinar a simple vista la superficie doblada del espécimen, inmediatamente, para determinar si hay agrietamiento. Una vez se haya determinado y marcado adecuadamente el extremo de la grieta más alejado del extremo más pequeño del mandril, que se debe considerar como el punto final, llevar la barra de tracción a la posición inicial y retirar el panel del mandril. El diámetro del mandril en el cual se interrumpe la grieta se considera como la resistencia al valor de agrietamiento.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Examen de las probetas. Examinar a simple vista la superficie doblada del espécimen, inmediatamente, para determinar si hay agrietamiento. Una vez se haya determinado y marcado adecuadamente el extremo de la grieta más alejada del extremo más pequeño del mandril, que se debe considerar como el punto final, llevar la barra de tracción a la posición inicial y retirar el panel del mandril. El diámetro del mandril en el cual se interrumpe la grieta se considera como la resistencia al valor de agrietamiento.

7.2 INFORME

- 7.2.1 El informe del ensayo debe incluir, al menos, la siguiente información:
 - a) Todos los detalles necesarios para la identificación del producto ensayado (fabricante, marca comercial, número de lote, etc.).
 - b) Referencia a este modo operativo.
 - c) Tamaño de la probeta de ensayo, si no es 75 mm x 150 mm.
 - d) El resultado del ensayo expresado de acuerdo con el apartado 7.1.1, indicando si la observación se realizó a simple vista o con un dispositivo de aumento.
 - e) Cualquier desviación respecto al modo operativo especificado.
 - f) Cualquier anomalía observada durante el ensayo.

8.0 PRECISION Y DISPERSION.

- 8.1 Repetibilidad. Dos resultados individuales obtenidos, cada uno de ellos la media de dos determinaciones, con la misma muestra, por un operario en un laboratorio, durante un intervalo de tiempo breve, empleando el mismo equipo, deberán ser considerados dudosos si su elongación se diferencia en más del 6 %, con 95 % de probabilidad.
- 8.2 Reproducibilidad. Dos resultados obtenidos, cada uno de ellos la media de dos determinaciones, cuando se emplea este método en condiciones de reproducibilidad, es decir, con la misma muestra, por operarios en diferentes laboratorios, empleando distintos equipos, deberán ser considerados dudosos si su elongación se diferencia en más del 15 %, con 95 % de probabilidad.

MTC E 1207

DETERMINACION DEL CONTENIDO EN PIGMENTO METODO POR CENTRIFUGACION

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el contenido de pigmento de pinturas, en el que los sólidos son sedimentados por centrifugación.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Está dirigida principalmente a verificar la composición durante la producción de materiales de recubrimiento, así como para facilitar la comprobación en la recepción por parte del usuario del material de recubrimiento. Una vez diluido con disolvente una porción del producto sometido a ensayo, las partículas sólidas son separadas unas de otras por centrifugación y a continuación se secan y se pesan. El contenido en pigmentos se calcula a partir de la masa de los componentes sólidos y de la masa de la porción de ensayo.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 2698: Standard Test Method for Determination of the Pigment Content of Solvent-Reducible Paints by High-Speed Centrifuging.
- 3.2 NTP 319.004: PINTURAS Y PRODUCTOS AFINES. Determinación del Contenido de pigmento y Vehículo.
- 3.3 UNE-EN ISO 14680: Pinturas y barnices. Determinación del contenido en pigmento. Parte 1: Método por centrifugación.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Centrifuga de laboratorio. Con una velocidad de rotación suficiente para asegurar que el pigmento se separe de los ligantes, y una aceleración centrifuga relativa de 250000 (equivalente a 25000 g). Debe estar equipada de un portatubos equilibrado donde se puedan alojar tubos de una capacidad adecuada, por ejemplo de 50 mL.
- 4.1.2 Tubos de centrifuga. Con una capacidad de 50 mL, por ejemplo. Pueden ser de acero inoxidable, de vidrio de pared gruesa, PTFE u otro material inerte apropiado.
- 4.1.3 Agitador de bola pulido. Consistente en una varilla de 150 mm de longitud y 5 mm de diámetro aproximado, provisto en uno de sus extremos de una bola de aproximadamente 12 mm. El agitador debe ser de un material apropiado tal como acero inoxidable o vidrio.
- 4.1.4 Estufa. Con ventilación forzada, capaz de mantener la temperatura a $125\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. El flujo de aire debe ser horizontal.
- 4.1.5 Balanza analítica. Capaz de pesar con precisión de 0,001 g.

4.1.6 Desecador

4.2 INSUMOS

- 4.2.1 Disolvente o una mezcla de disolventes adecuado a la muestra ensayada, con un punto de ebullición tan bajo como sea posible

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con espátula de madera o agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.
- 6.1.2 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de $25\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ y humedad relativa de $60\% \pm 10\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.
- 6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO
- 6.2.1 Pesar un tubo (50 mL de volumen) de centrifuga (m_0) limpio y seco, con una precisión de 0,01 g. En el tubo se pesa, con una precisión de 0,01 g, la cantidad de $10\text{ g} \pm 0,2\text{ g}$ de muestra (m_1).
- 6.2.2 Añadir la cantidad de 20 mL aproximadamente de disolvente o mezcla de disolventes al tubo de centrifuga.
- 6.2.3 Agitar la mezcla con el agitador de bola hasta que el ligante se ha disuelto en el disolvente. Enjuagar todo residuo adherido al agitador en el tubo de centrifuga utilizando el mismo disolvente, comprobando que el tubo se ha llenado no mas de cuatro quintas partes.
- 6.2.4 A continuación centrifugar hasta que las partículas sólidas sedimenten y la solución del ligante sobrenadante sea prácticamente transparente (esta operación normalmente durara 20 minutos aproximadamente).
- 6.2.5 Después de decantar la solución sobrenadante, volver a poner en suspensión las partículas sólidas del fondo del tubo de centrifuga con el mismo disolvente que se ha utilizado en la primera operación de centrifugación. Llenar hasta la marca, centrifugar durante otros 20 minutos, y proceder como en la primera operación de centrifugado. Repetir esta operación una tercera vez, y si es necesario, una cuarta.
- 6.2.6 Tras concluir la operación final de centrifugación, secar el tubo que contiene los sedimentos sólidos hasta masa constante, a $125\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, en la estufa de secado. Dejar enfriar a temperatura ambiente en el desecador y pesar el tubo que contiene el residuo con una precisión de 0,01 g (m_2).
- 6.2.7 El ensayo se realiza por duplicado.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcular el contenido en pigmento, expresado como porcentaje en masa mediante la fórmula siguiente:

$$\text{Contenido de pigmento} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100 \quad (1)$$

Donde

m_0 Masa, en gramos, del tubo de centrifuga;

m_1 Masa, en gramos, de la porción de ensayo y del tubo de centrifuga;

m_2 Masa, en gramos, del residuo y del tubo de centrifuga.

- 7.1.2 Calcular la media de dos resultados válidos (réplicas) y registrar el resultado de ensayo, con una precisión de 0,1 % en masa.

7.2 INFORME

- 7.2.1 El informe del ensayo debe incluir, al menos, la siguiente información:
- Todos los detalles necesarios para la identificación del producto ensayado.
 - Referencia al presente modo operativo.
 - El disolvente o mezcla de disolventes utilizados.



- d) El resultado del ensayo, como se indica en 7.1, incluidos los valores individuales y el valor medio.
- e) Cualquier desviación respecto al modo operativo especificado.
- f) Fecha del ensayo.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Repetibilidad. La diferencia absoluta entre dos resultados individuales de ensayo, correspondiendo cada uno de ellos a la media de un ensayo por duplicado, sobre la misma muestra, efectuadas por el mismo operador, en el mismo laboratorio y en un corto intervalo de tiempo, no será superior a un 2 %, con una probabilidad del 95 %.
- 8.2 Reproducibilidad. La diferencia absoluta entre dos resultados individuales de ensayo, correspondiendo cada uno de ellos a la media de un ensayo por duplicado, sobre la misma muestra, efectuadas por distintos operadores, en diferentes laboratorios, no será superior a un 4 %, con una probabilidad del 95 %.

MTC E 1208

DETERMINACION DEL BRILLO ESPECULAR

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el brillo especular de muestras de pintura aplicadas sobre paneles a una geometría de 20°, 60° ó 85°.
- a) La geometría de 60° es aplicable a todas las películas de pintura pero, para las de brillo muy alto y para las próximas al mate, pueden ser más adecuadas las geometrías de 20° y 85°.
 - b) La geometría de 20°, está dirigida a proporcionar una mejor diferenciación entre películas de pintura de brillo alto (por ejemplo, películas con un brillo especular a 60° superior a 70 unidades.
 - c) La geometría de 85°, está dirigida a proporcionar una mejor diferenciación entre películas de pintura de brillo bajo (por ejemplo, películas con un brillo especular a 60° inferior a 10 unidades.

El modo operativo no es adecuado para la medición del brillo de pinturas metálicas.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El brillo está asociado con la capacidad de una superficie para reflejar más luz en direcciones cercanas a la especular que en otros. Las mediciones por este método de prueba se correlacionan con las observaciones visuales de brillo superficial hechas en aproximadamente los ángulos correspondientes

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM 523. Standard Test Method for Specular Gloss.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Aparato para medir el brillo (brillómetro). El brillómetro debe consistir en una fuente de luz y una lente que dirija un haz paralelo de luz sobre la superficie a ensayar y un receptor con una lente, un diafragma y una célula fotoeléctrica para recibir el cono requerido de luz reflejada.

El equipo debe verificarse de acuerdo a los siguientes pasos:

- a) Hacer funcionar el brillómetro de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
- b) Verificar el punto cero del equipo colocando el patrón respectivo en la posición especificada.
- c) Verificar el equipo al inicio y al final de cada periodo de funcionamiento del equipo y durante su funcionamiento, a intervalos suficientemente frecuentes para asegurar que la respuesta del equipo sea esencialmente constante.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido, o probetas pintadas

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 En el caso de muestras en estado líquido, mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con espátula de madera o agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.

6.1.2 Realizar los ensayos en ambiente con temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $60\% \pm 10\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PREPARACION DEL SUBSTRATO

6.2.1 Este modo operativo no trata sobre la preparación de las probetas. Las condiciones de preparación (espesor de película, acondicionamiento, etc.) serán dadas por la parte interesada.

6.3 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

6.3.1 Colocar cada probeta debajo (o encima) del brillómetro.

6.3.2 Tomar por lo menos tres lecturas en un área de 75 mm por 150 mm (3 pulgadas por 6 pulgadas), de la probeta de ensayo. Si el rango es superior a dos unidades de brillo, tomar lecturas adicionales y calcular la media después de descartar los resultados divergentes. Para probetas más grandes, tomar una cantidad mayor proporcional de lecturas.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Expresar los resultados como la media de los valores obtenidos en unidades de brillo.

7.2 INFORME

7.2.1 El informe del ensayo debe incluir, al menos, la siguiente información:

- Lecturas de brillo especular media y la geometría utilizada.
- Si la uniformidad de la superficie es de interés, la presencia de cualquier espécimen que presenta lecturas de brillo que varíen en más de un 5 % de su media.
- Nombre del fabricante y designación del modelo del brillómetro.
- Estándar o estándares de trabajo usados.
- Fecha del ensayo.
- Cuando la preparación de la muestra ha sido necesaria, una descripción o identificación del método de preparación.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 Repetibilidad. Dos resultados, cada uno de los cuales son determinaciones individuales obtenidas en la misma muestra por el mismo operador, deberán ser considerados dudosos si su diferencia es superior a las diferencias máximas aceptables que se indican en la Tabla N° 01, con una probabilidad del 95 %.

8.2 Reproducibilidad. Dos resultados, cada uno de la media de tres determinaciones, obtenida en la misma muestra por laboratorios diferentes deberán ser considerados dudosos si su diferencia es superior a las diferencias máximas aceptables que se indican en la Tabla N° 01, con una probabilidad del 95 %. Esto no incluye la variabilidad debida a la preparación de los paneles en los diferentes laboratorios.

TABLA 1

Diferencias máximas aceptables para los resultados en paneles pintados

Tipo de brillo	Repetibilidad	Reproducibilidad
20°	1,7	6,4
60°	0,9	3,5
85°	0,8	7,2

MTC E 1209**DETERMINACION DEL TIEMPO DE SECADO "NO PICK-UP"****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar el tiempo de secado (no pick-up) de la pintura empleada en señalización horizontal de carreteras

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

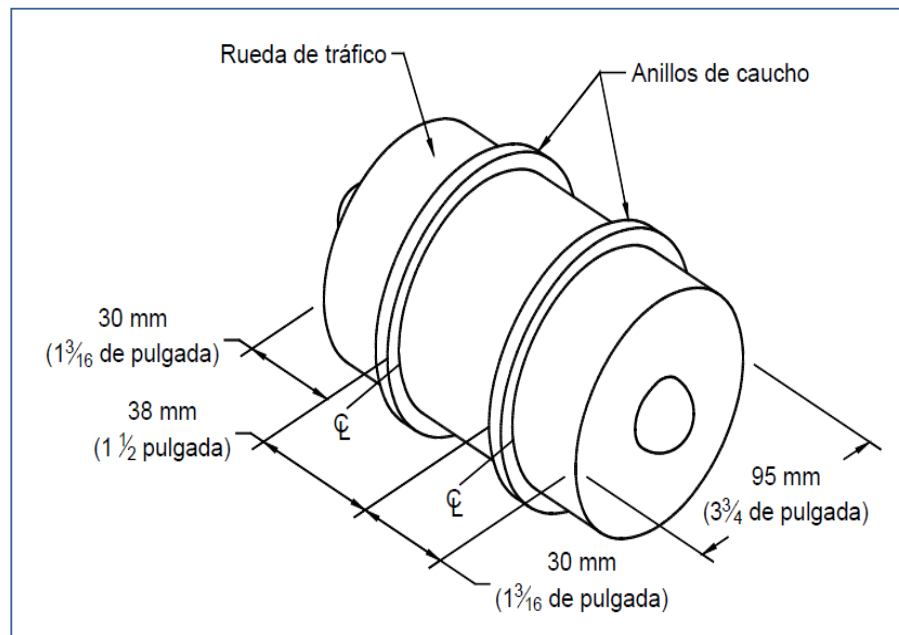
- 2.1 Determinar el tiempo que transcurre desde el momento de la aplicación de una película hasta el momento en el que la película formada no se adhiere a los anillos de caucho de la rueda de secado.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 711: Test Method for No-Pick-Up Time of Traffic Paint.
3.2 UNE 135202: Señalización Horizontal. Pinturas. Determinación del tiempo de secado "no pick-up"

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS****4.1.1 Rueda de secado "no pick-up".**

- a) El aparato, como se muestra en la Figura 01, se compone de un cilindro de acero, con la forma y dimensiones indicadas, al que se acoplan dos anillos en forma de O reemplazables, y una rampa con la forma y dimensiones indicadas.
- b) Los requerimientos detallados del cilindro de acero se muestran en la Figura 01. El peso total del ensamblaje completo, con los anillos debe ser de $5386 \text{ g} \pm 28 \text{ g}$.
- c) Los requerimientos dimensionales detallados de la rampa se muestran en la Figura 01.
- d) Los anillos en forma de O reemplazables, deben estar hechos con caucho sintético o materiales similares.



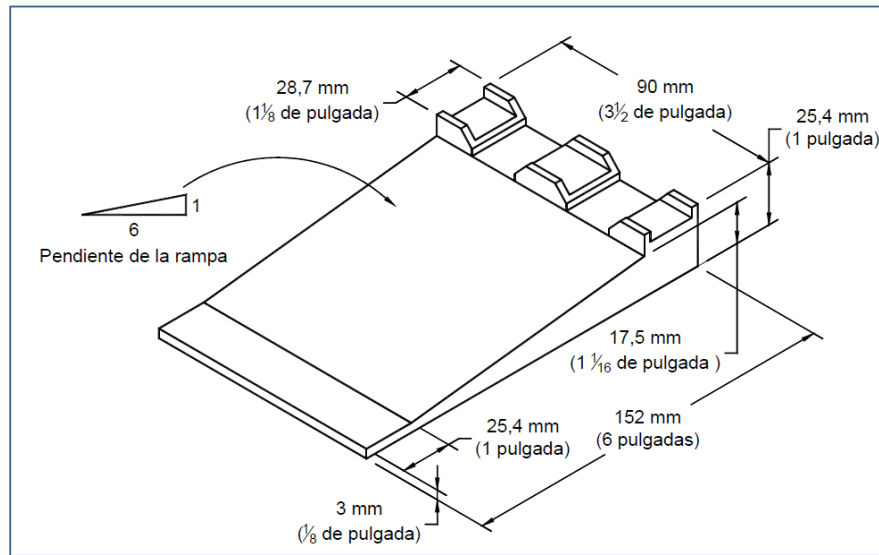


Figura 1 Modelo dual de rueda y rampa para el tiempo de secado

e) Los requisitos dimensionales de cada anillo son:

Diámetro externo: 104 mm (4 1/8 pulgada)

Diámetro interno: 85 mm (3 1/8 pulgada)

Sección transversal: 9,5 mm (3/8 pulgada)

4.1.2 Cronómetro.

4.1.3 Aplicador de película uniforme. Espesor de película húmeda de 15 mils \pm 0,5 mils.

4.1.4 Panel de vidrio. De aproximadamente 100 mm x 200 mm x 3 mm.

4.2 INSUMOS

4.2.1 Acetona o metiletilcetona.

5.0 MUESTRA

5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con una espátula de madera o de agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.

6.1.2 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de 23 °C \pm 2 °C y humedad relativa de 50 % \pm 5 %, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

6.2.1 Aplicar la pintura longitudinalmente sobre el panel de vidrio, mediante el aplicador de película uniforme. La franja de pintura tendrá un ancho mayor o igual a 75 mm. Inmediatamente después de efectuar la aplicación se pondrá en marcha el cronómetro.

6.2.2 Dejar secar el panel en una posición horizontal bajo las condiciones de laboratorio especificadas.

6.2.3 Empujar el extremo del panel de vidrio contra la rampa. Dejar caer libremente la rueda por la rampa de forma que pasen los dos anillos sobre la película de pintura, repitiéndose la operación a intervalos regulares de tiempo en función del tipo de material, de manera que cada pasada de la rueda sea sobre la banda de pintura libre de rodadas. Posicionar la rueda

apropiadamente para que una superficie limpia quede en contacto con la pintura. Podrán hacerse tres pasadas antes de que la rueda deba ser limpiada, lo cual puede hacerse con un trapo con acetona. Es mejor poner la rueda a un lado después de lavarla, hasta que todo el disolvente se evapore.

- 6.2.4 Observar el punto final del tiempo de secado cuando no se adhiera la pintura a los anillo al rodar sobre la película de pintura. Cuando el punto final esté próximo, liberar la rueda sobre la película de pintura cada 30 s. El punto final será aquel, en que la pintura no se adhiere a los anillos al pasar sobre la película de pintura, independientemente de que quede huella o no sobre la misma.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Reportar el tiempo transcurrido entre la aplicación de la pintura y el punto final como el tiempo de secado para No-pick-up de la pintura de tráfico. El tiempo de secado de una muestra de pintura será el valor medio de dos determinaciones.

7.2 INFORME

- 7.2.1 En el informe final se hará constar:
- a) Resultado, expresado en minutos.
 - b) Referencia a este modo operativo y cualquier desviación respecto al mismo acordada, o no.
 - c) Fecha de realización del ensayo

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Repetibilidad. Los resultados de dos ensayos, ejecutados sobre dos porciones de la misma muestra, por un solo operador con el mismo equipo, se consideran aceptables siempre que no difieran en más del 5 % de dicho valor medio, aun nivel de confianza del 95 %.

MTC E 1210

DETERMINACION DE LA DUREZA MEDIANTE LA PRUEBA DEL LAPIZ

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinación rápida y poco costosa de la dureza de la película de un recubrimiento orgánico en un sustrato, utilizando minas de dibujo o minas de lápices de dureza conocida.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Las medidas de dureza del lápiz han sido usadas por la industria de recubrimientos por muchos años para determinar la dureza de las películas de recubrimientos orgánicos transparentes y pigmentados. Este modo operativo también es usado para determinar el curado de estos recubrimientos, especialmente cuando son sometidos a secado forzado usando calor. Este modo operativo es especialmente útil en el trabajo de desarrollo y en ensayos de control de producción en un solo laboratorio. Es necesario mencionar que los resultados obtenidos pueden variar entre diferentes laboratorios cuando se usan diferentes lápices y paneles.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM 3363. Standard Test Method for Film Hardness by Pencil Test.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Un juego de minas de dibujo (preferidas) o lápices de madera con calibración equivalente. Que cumplan con la siguiente escala de dureza:

6B - 5B - 4B - 3B - 2B - B - HB - F - H - 2H - 3H - 4H - 5H - 6H

Más suave

Más duro

La diferencia entre dos minas adyacentes deberá ser considerada como una unidad de dureza.

- 4.1.2 Portaminas mecánico. Para minas de dibujo, si son usadas.
- 4.1.3 Sacapuntas mecánico. Tipo dibujante, para afilar los lápices de madera, si son usados.
- 4.1.4 Papel Abrasivo. Grano No. 400

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con una espátula de madera o de agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.
- 6.1.2 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ y humedad relativa de $50\% \pm 5\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PREPARACION DEL SUBSTRATO

- 6.2.1 Utilizando los medios apropiados, aplicar el recubrimiento superficial a un sustrato rígido y liso y curado apropiadamente, o usar paneles representativos tomados de un material recubierto. Los paneles usados, las condiciones de curado, y la edad del recubrimiento antes del ensayo deben estar dentro de los límites acordados entre las partes interesadas.
- 6.2.2 El espesor de película del recubrimiento deberá ser según lo especificado o según lo acordado entre las partes interesadas.

6.3 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

6.3.1 Para lápices de madera, retirar aproximadamente de 5 mm a 6 mm de madera de la punta de cada lápiz, usando el sacapuntas indicado, teniendo cuidado de dejar una mina cilíndrica lisa, sin marcar y sin perturbar. Sosteniendo el portaminas (cuando se use minas de dibujo) en un ángulo de 90° con relación al papel abrasivo, frotar la mina contra el papel manteniendo un ángulo exacto de 90° con relación al papel abrasivo, hasta obtener una sección transversal circular plana y lisa, libre de astillas o mellas en el borde de la sección transversal. El borde deseado puede ser obtenido, pegando el papel abrasivo a un disco plano accionado a motor. Al sostener el lápiz en un ángulo de 90° con relación al disco rotatorio, se puede obtener, en forma más reproducible, un extremo de la mina plano y uniforme.

6.3.2 Colocar el panel recubierto sobre una superficie horizontal nivelada y firme. Empezando con la mina más dura, sujetar el lápiz o portaminas firmemente, con la mina contra la película en un ángulo de 45° (apuntando en dirección opuesta del operador) y presionar lejos del operador. Ejercer suficiente presión uniforme hacia abajo y hacia adelante, ya sea para cortar o rayar la película o para desmoronar la punta de la mina. Se sugiere que la longitud del trazo sea de 6,5 mm.

6.3.3 Repetir el proceso descendiendo en la escala de dureza hasta encontrar un lápiz que no traspase la película hasta el sustrato (ya sea de metal o de un recubrimiento previo) en una distancia de al menos 3 mm.

Al realizar el ensayo, si el borde afilado de la mina está ligeramente astillado o desmoronado, se debe sacar la punta nuevamente.

6.3.4 Continuar el proceso hasta encontrar un lápiz que no corte ni rasgue la superficie de la película. Cualquier deterioro de la película que no sea un corte (ranurado) se considera un rayón. Registrar cada punto final (si es aplicable) para la dureza al rasgado y al ranurado.

6.3.5 Realizar un mínimo de dos determinaciones para dureza al ranurado (6.3.3) y dureza al rasgado (6.3.4) para cada lápiz o mina.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Expresar los resultados como los puntos finales, tal como sigue:

- Dureza al ranurado. El lápiz más duro que dejará la película sin cortar en una longitud de trazo de al menos 3 mm.
- Dureza al rasgado. El lápiz más duro que no romperá ni rayará la película.

7.2 INFORME

7.2.1 El informe del ensayo debe incluir, al menos, la siguiente información:

- Los puntos finales: dureza al ranurado y/o dureza al rasgado.
- La marca y grado de la mina o lápiz usado.
- Cualquier desviación de las condiciones estándar, incluyendo la rugosidad del acabado.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 Repetitividad. Dos resultados obtenidos por dos operadores dentro de un laboratorio usando los mismos lápices y paneles deberán ser considerados dudosos si ellos difieren en más de una unidad de lápiz en la escala descrita en 4.1.1, a un nivel de confianza del 95 %.

8.2 Reproducibilidad. Dos resultados, cada uno de la media de al menos dos determinaciones, obtenidos por operadores en diferentes laboratorios usando los mismos lápices y paneles o diferentes lápices con los mismos paneles deberán ser considerados dudosos si ellos difieren en más de una unidad de lápiz en la escala descrita en 4.1.1, a un nivel de confianza del 95 %.

MTC E 1211

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL AGUA

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la resistencia de un recubrimiento a los efectos del agua mediante inmersión.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este modo operativo cubre los principios básicos y procedimientos operativos para el ensayo de resistencia al agua de recubrimientos, mediante inmersión parcial o completa de paneles recubiertos en agua destilada o desmineralizada a temperaturas ambiente o elevada. Aunque el aparato y el procedimiento pueden ser empleados en los ensayos de inmersión usando soluciones de distintos materiales en agua, este procedimiento se limita a ensayos solo en agua.

- 2.2 Los paneles recubiertos son parcialmente o totalmente inmersos en agua en un contenedor que es resistente a la corrosión. Las condiciones de exposición son variadas por selección: (a) la temperatura del agua, y (b) la duración del ensayo. El agua penetra el recubrimiento a tasas que dependen de las características del recubrimiento y de la temperatura del agua. Cualquier efecto tal como el cambio en color, formación de ampollas, pérdida de adherencia, ablandamiento, o fragilización son observados y reportados.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 870. Standard Practice for Testing Water Resistance of Coatings Using Water Immersion.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Tanque. De un tamaño adecuado, provisto de tapa, calentador y un controlador termostático. La tapa no debe tocar ninguna de las probetas.
- 4.1.2 Sistema de circulación del agua. O un dispositivo de agitación. En el caso de utilizar una bomba, ésta debe tener capacidad suficiente para agitar el contenido de todo el tanque.
- 4.1.3 Soporte de las probetas de ensayo. Construido de material no conductor para sostener las probetas separadas 30 mm unas de otras, 30 mm del fondo y a 30 mm de las paredes del tanque.
- 4.1.4 Aplicador de película uniforme. Espesor de película húmeda de 0,38 mm.
- 4.1.5 Panel de vidrio. De dimensiones aproximadas de 120 mm x 200 mm.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con una espátula de madera o de agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.
- 6.1.2 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de $25\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ y humedad relativa de $60\% \pm 10\%$, en un lugar libre de polvo la luz directa del sol.

6.2 PREPARACIÓN DEL SUBSTRATO

- 6.2.1 Aplicar la muestra con el aplicador de película sobre el panel de vidrio previamente lavado.
- 6.2.2 Dejar secar en posición horizontal a temperatura ambiente durante 72 h.

6.3 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.3.1 Llenar el tanque con agua destilada o desionizada a una profundidad tal que las probetas de ensayo estén sumergidas aproximadamente tres cuartas partes de su longitud.
- 6.3.2 Acondicionar el agua a la temperatura de $25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ con el sistema de circulación en operación. Mantener la temperatura durante el ensayo.
- 6.3.3 Colocar las probetas de ensayo en el tanque, de modo que el plano de las probetas sea paralelo al flujo de agua en el tanque.

Para controlar la variabilidad dentro del aparato, reposicionar las probetas en forma periódica de modo que todos las probetas pasen cantidades equivalentes de tiempo en las diversas áreas del tanque (al frente, atrás, a la izquierda, a la derecha y al centro).
- 6.3.4 Cambiar el agua del tanque si se vuelve turbia o se colorea. El reemplazo continuo del agua está permitido. Si es necesario, añadir agua para mantener el nivel de agua original.
- 6.3.5 Concluir el ensayo después de un tiempo de inmersión de 18 horas.
- 6.3.6 Dejar secar los paneles durante 2 horas.
- 6.3.7 Limpiar las probetas secas. Evaluar las probetas para cambios en el color, formación de ampollas u otras marcas de deterioro.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Excepto acuerdo contrario, el ensayo se realiza por duplicado.
- 7.1.2 Registrar el resultado de la evaluación, con respecto a la presencia de signos o marcas de deterioro.

7.2 INFORME

- 7.2.1 El informe del ensayo debe incluir, al menos, la siguiente información:
 - a) Identificación de la muestra.
 - b) Resultado de la(s) evaluación(es).
 - c) Referencia a este modo operativo.
 - d) Horas de la duración del ensayo.
 - e) Temperatura del ensayo.
 - f) Breve descripción de la calidad del agua y el procedimiento de sustitución del agua.
 - g) Condiciones especiales de ensayo o cualquier desviación en el procedimiento de ensayo.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Si los resultados de la evaluación de las determinaciones realizadas por duplicado en busca de signos o marcas de deterioro varían de forma significativa, repetir nuevamente el ensayo por duplicado. Se registra el resultado de todas las determinaciones, incluyendo los ensayos que hayan sido repetidos.

MTC E 1213**DETERMINACION DE LA ADHERENCIA MEDIANTE EL ENSAYO DE LA CINTA CORTE EN CUADRICULA****1.0 OBJETO**

- 1.1 Evaluar la adherencia de las películas de recubrimientos a los sustratos metálicos, mediante la aplicación y el retiro de cinta adhesiva sensible a la presión sobre cortes hechos en la película.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este modo operativo se utiliza para establecer si la adherencia de un recubrimiento a un sustrato tiene un nivel adecuado. No distingue entre niveles más altos de adherencia, para los cuales se requieren métodos sofisticados de medición. Se debe reconocer que las diferencias en la capacidad de adherencia de la superficie del recubrimiento, puede afectar los resultados obtenidos con recubrimientos que tengan la misma adherencia inherente. En sistemas de recubrimientos multicapa, la adherencia puede fallar entre capas, de tal manera que no se determina la adherencia del sistema del recubrimiento al sustrato.
- 2.2 Determinar si la fijación de una película de un recubrimiento, es adecuada para que permanezca adherida a una superficie, impidiendo así el paso de agentes agresivos a la superficie del sustrato. Para que un recubrimiento cumpla con su función de proteger o decorar un sustrato, debe adherirse a éste durante todo el periodo de vida útil. Debido a que el sustrato y la preparación de la superficie (o falta de esta), tienen un efecto drástico sobre la adherencia del recubrimiento, es muy útil para la industria disponer de un método para evaluar la adherencia de un recubrimiento en diferentes sustratos o tratamientos de superficie, o de diferentes recubrimientos al mismo sustrato y tratamiento.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 3359. Standard Test Method for Measuring Adhesion by Tape Test.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Herramienta de corte. Cuchilla de afeitar afilada, escalpelo, cuchillo u otro instrumento de corte que tenga un ángulo de corte entre 15° y 30°, que haga un solo corte o varios cortes a la vez. Es de particular importancia que el borde o bordes de corte estén en buen estado.
- 4.1.2 Guía del corte. Si los cortes son hechos manualmente (por oposición al corte con un aparato mecánico) se debe emplear una regla de acero u otro metal duro para garantizar que los cortes sean rectos.
- 4.1.3 Regla. Regla de acero templado, graduada en 0,5 mm para medir cortes individuales.
- 4.1.4 Cinta. Se necesita una cinta adhesiva sensible a la presión, semitransparente, de 25 mm de ancho, cuya fuerza de adherencia haya sido acordada por las partes interesadas. A causa de la variabilidad en la fuerza de adherencia con el tiempo y de un lote a otro, es esencial que se use cinta de un mismo lote cuando se vayan a realizar ensayos en laboratorios diferentes. Si esto no es posible, el modo operativo sólo debe ser usado para calificar una serie de recubrimientos para ensayo.
- 4.1.5 Borrador de goma. En el extremo de un lápiz.
- 4.1.6 Iluminación. Una fuente de luz es útil para determinar si los cortes en la película han sido hechos hasta el sustrato.
- 4.1.7 Lupa. Un lente de aumento, iluminada es útil para determinar si los cortes se han hecho a través de la película hasta el sustrato.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido, probetas pintadas o estructuras.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 En el caso de muestras en estado líquido, mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con espátula de madera o agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.

- 6.1.2 Cuando este modo operativo sea empleado en laboratorio, realizar los ensayos en ambiente con temperatura de $25\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ y humedad relativa de $60\% \pm 10\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PREPARACIÓN DEL SUBSTRATO

- 6.2.1 Cuando este modo operativo sea usado en el campo, la probeta es la estructura o artículo recubierto, sobre el cual se va a evaluar la adherencia.

- 6.2.2 Para uso en laboratorio aplicar las muestras que se van a ensayar, a paneles con las mismas condiciones de composición y superficie en las cuales se desea determinar la adherencia. Los recubrimientos deben ser aplicados de acuerdo con lo estipulado en el presente manual o según acuerdo previo entre las partes interesadas.

- 6.2.3 Cabe señalar que los cortadores de punta múltiple sólo dan buenos resultados en áreas de ensayo suficientemente planas para que todos los bordes cortantes hagan contacto con el sustrato al mismo ángulo. Se debe verificar, con una regla de acero templado, que el borde sea plano.

6.3 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.3.1 Cuando se requiera o haya sido acordado, se someten las probetas a un ensayo preliminar antes de realizar el ensayo de la cinta adhesiva. Después de secar o ensayar el recubrimiento, llevar a cabo el ensayo de la cinta a temperatura ambiente, a menos que se requiera o se haya acordado una temperatura estándar.

Para probetas que han sido sumergidos: después de la inmersión, limpiar y frotar la superficie con un disolvente apropiado que no dañe la integridad del recubrimiento. Luego, secar o preparar la superficie, o ambas cosas, según acuerdo previo.

- 6.3.2 Seleccionar un área libre de defectos e imperfecciones superficiales menores, colocarlo sobre una base firme y, bajo el lente de aumento iluminado, hacer cortes paralelos de la siguiente manera:

Para recubrimientos que tienen un espesor de película seca de hasta $50\text{ }\mu\text{m}$ (2,0 mils) inclusive, espaciar los cortes con 1 mm de separación y hacer once cortes, a menos que se haya acordado algo diferente.

Para recubrimientos que tienen un espesor de película seca entre $50\text{ }\mu\text{m}$ (2,0 mils) y $125\text{ }\mu\text{m}$ (5 mils), espaciar los cortes con 2 milímetros de separación y hacer seis cortes. Para películas con un espesor mayor de $125\text{ }\mu\text{m}$ (5 mils) usar el modo operativo: Determinación de la Adherencia mediante el Ensayo de la Cinta - Corte en X.

Hacer todos los cortes con una longitud promedio de 20 mm (3/4 pulgada). Cortar la película hasta el sustrato con un movimiento constante y firme, aplicando a la herramienta sólo la presión suficiente para hacer que el borde cortante alcance el sustrato. Cuando se hagan cortes individuales sucesivos con ayuda de una guía, colocar la guía sobre el área sin cortar.

- 6.3.3 Después de hacer los cortes requeridos, cepillar suavemente la película con un cepillo o papel facial, para retirar escamas o trozos sueltos del recubrimiento.

- 6.3.4 Examinar el borde de la herramienta de corte y, si es necesario, eliminar cualquier deformación o pérdida de filo, puliendo el borde suavemente con una piedra de afilar fina. Hacer un número adicional de cortes a 90° y centrados sobre los cortes originales.
- 6.3.5 Cepillar el área como se hizo anteriormente e inspeccionar en las incisiones la reflexión de la luz del sustrato. Si no se ha alcanzado el metal, hacer otros cortes en un lugar diferente.
- 6.3.6 En cada día de ensayo, antes de iniciar el ensayo, retirar dos vueltas completas de cinta y desecharla. Retirar una longitud adicional a una velocidad constante (es decir, sin tirones bruscos) y cortar un pedazo de aproximadamente 75 mm de largo.
- 6.3.7 Colocar el centro de la cinta sobre los cortes y aplanar con el dedo sobre el área de los cortes. Para garantizar que haya buen contacto con la película, frotar la cinta firmemente con el borrador del extremo del lápiz. El color que queda bajo la cinta es un buen indicador de cuándo se ha logrado un buen contacto.
- 6.3.8 Dentro de un periodo de 90 s \pm 30 s después de la aplicación, retirar la cinta tomándola por el extremo libre y halándola hacia atrás rápidamente (sin tirones bruscos), a un ángulo lo más cercano posible a 180°.
- 6.3.9 Inspeccionar con la lupa y con iluminación en el área de corte, para verificar si el recubrimiento se ha desprendido del sustrato o de un recubrimiento previo. La adherencia se califica de acuerdo con la siguiente escala, ilustrada en la Figura 01:
- 5B Los bordes de los cortes son completamente parejos; ninguno de los cuadrados del enrejado formado por los cortes está suelto.
 - 4B Pequeñas escamas del recubrimiento están sueltas en las intersecciones; menos del 5 % del área está afectada.
 - 3B Pequeñas escamas del recubrimiento están sueltas a lo largo de los bordes y en las intersecciones de los cortes. El área afectada está entre el 5 % y 15 % del enrejado.
 - 2B El recubrimiento se ha descascarado a lo largo de los bordes y en partes de las esquinas. El área afectada está entre el 15 % y 35 % del enrejado.
 - 1B El recubrimiento se ha descascarado a lo largo de los bordes de los cortes en tiras grandes y se han desprendido cuadrados enteros. El área afectada está entre el 35 % y 65 % del enrejado.
 - 0B El descascarado y desprendimiento peor que el de Grado 1

Calificación	Porcentaje de área retirada	Superficie de área desde la cual ha ocurrido el desprendimiento, para 6 cortes paralelos y rango de adhesión por porcentaje
5B	0 % Ninguna	
4B	Menos 5 %	
3B	5 % a 15 %	
2B	15 % a 35 %	
1B	35 % a 65 %	
0B	Más de 65 %	

Figura 1 Calificación de los resultados del examen de adherencia

6.3.10 Repetir el ensayo en dos puntos diferentes en cada panel de ensayo.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Expresar los resultados como la media y rango de los valores obtenidos en el ensayo.

7.2 INFORME

7.2.1 El informe del ensayo debe incluir, al menos, la siguiente información:

- El número de ensayos, su media y rango, y para sistemas de recubrimiento, en dónde ha ocurrido la falla, es decir, entre el primer recubrimiento y el sustrato, entre el primer y segundo recubrimiento, etc.
- El sustrato empleado, el tipo de recubrimiento y el método de curado.
- La cinta específica usada y su fabricante.
- Si el ensayo es realizado después de la inmersión, reportar las condiciones de inmersión y el método de preparación de la muestra.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 Repetitividad. Si la adherencia es uniforme en una superficie grande, los resultados obtenidos por el mismo operador deberán ser considerados dudosos si ellos difieren en más de una unidad de acuerdo con la escala de calificación para dos mediciones, con un nivel de confianza de 95 %.

8.2 Reproducibilidad. Dos resultados, cada uno la media de ensayos por duplicado o triplicado, obtenidos por diferentes operadores deberán ser considerados dudosos si ellos difieren en más de dos unidades de acuerdo con la escala de calificación, con un nivel de confianza de 95 %.

MTC E 1214

DETERMINACION DE LA RELACION DE CONTRASTE (PODER CUBRIENTE)

1.0 OBJETO

- 1.1 Comparar la relación de contraste de películas de pintura, secas al aire a temperatura ambiente, y aplicadas con un espesor de película húmeda aproximadamente igual, sobre substratos negros o blancos.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este modo operativo cuantifica la cualidad de los recubrimientos de impedir el paso de la luz, en el caso específico de películas secas de pinturas, se entiende a la aptitud de la pintura en reducir el contraste entre una superficie negra y otra superficie blanca sobre las cuales se ha aplicado y dejado secar.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 UNE-EN ISO 2814. Pinturas y barnices. Comparación de la relación de contraste (poder cubriente) de pinturas del mismo tipo y color
- 3.2 Nch 2159.Of.91. "Pinturas de tránsito – Determinación del poder cubridor"

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Substrato. Cartulinas, con unas medidas de al menos 100 mm x 200 mm, con un espesor comprendido entre 0,2 mm y 0,35 mm, impresas y barnizadas en dos zonas adyacentes negra y blanca capaces de ser humectadas pero no alteradas con pinturas diluibles con agua o con disolvente. La reflectancia de la zona blanca de la cartulina no debe ser inferior al 75 % ni superior al 85 %, y la de la zona negra no debe ser superior al 5 %.
- 4.1.2 Aplicador de película. Con espesor de película húmeda de 500 μ m.
- 4.1.3 Equipo para medición del factor de luminancia. Con observador patrón 2°, una geometría 45/0 e iluminante patrón CIE D65.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con espátula de madera o agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.
- 6.1.2 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de 25 °C \pm 2 °C y humedad relativa de 50 % \pm 5 %, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PREPARACION DEL SUBSTRATO

- 6.2.1 Las cartulinas se deben almacenar, sin apilar, bajo las condiciones de ensayo durante al menos 24 horas antes de ser usadas, y se deben manipular siempre por los bordes para evitar las marcas digitales sobre la superficie a recubrir. La cartulina se debe preparar para su uso: fijando un extremo, con clips o cinta adhesiva, a una placa de vidrio, plana, de al menos 6 mm de espesor.
- 6.2.2 Justo antes de la aplicación, se mezcla la muestra, agitándola fuertemente para eliminar toda estructura tixotrópica, teniendo cuidado de no introducir burbujas de aire.
- 6.2.3 Aplicar una película uniforme de la muestra sobre la cartulina a un espesor de película húmeda de 500 μ m. Dejar secar durante 48 horas a 25 °C \pm 2 °C y 50 % \pm 5 % de humedad relativa.

6.2.4 Mantener la cartulina en posición horizontal mientras seca la muestra aplicada, pegando los bordes con cinta adhesiva sobre una superficie plana.

6.3 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

6.3.1 Después del acondicionamiento, las láminas cartulinas ya están listas para medir el factor de luminancia. Efectuar la medición del factor de luminancia, como mínimo, sobre cuatro zonas negras diferentes de la cartulina de ensayo. Promediar las lecturas obtenidas.

6.3.2 Repetir el procedimiento anterior, efectuando la medición del factor de luminancia, como mínimo, sobre cuatro zonas blancas diferentes de la cartulina de ensayo. Promediar las lecturas obtenidas.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 La relación de contraste se calcula, a partir de los valores promedio de las lecturas del factor de luminancia, obtenidas sobre las zonas o substrato negro y sobre las zonas o substrato blanco, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Relación de Contraste} = \frac{\text{Factor de luminancia promedio sobre zona o substrato negro}}{\text{Factor de luminancia promedio sobre zona o substrato blanco}} \quad (1)$$

7.2 INFORME

7.2.1 En el informe final se hará constar:

- a) Referencia a este modo operativo.
- b) Tipo e identificación de la cartulina empleada.
- c) Tipo e identificación de las muestras ensayadas.
- d) Los valores de factor de luminancia promedio obtenidos.
- e) Cualquier desviación, acordada o no, del modo operativo.
- f) Fecha del ensayo

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 Si los resultados de la evaluación de las determinaciones realizadas varían de forma significativa, repetir nuevamente el ensayo por duplicado. Se registra el resultado de todas las determinaciones, incluyendo los ensayos que hayan sido repetidos.

MTC E 1215

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL SANGRADO

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la resistencia al sangrado de las pinturas utilizadas en marcas viales para la señalización horizontal de carreteras, aplicadas sobre pavimentos asfálticos.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El ensayo consiste en aplicar la pintura sobre una probeta de tipo asfáltico, cuya superficie ha sido previamente cubierta en parte con una lámina de celofán para impedir en esta zona el contacto substrato asfáltico-pintura, valorando finalmente el contraste de color entre las zonas de pintura con y sin contacto directo con el substrato asfáltico.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 UNE 135201: Equipamiento para Señalización Vial. Señalización Horizontal. Pinturas. Determinación de la Resistencia al Sangrado.
- 3.2 ASTM 969: Test Method for Laboratory Determination of Degree of Bleeding of Traffic Paint.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Moldes. Para la fabricación de las probetas con substrato asfáltico, emplear moldes metálicos de sección recta con unas dimensiones mínimas de 70 mm por 150 mm de base y 15 mm de altura.
- 4.1.2 Aplicador de película. Con espesor de película húmeda de 380 μm (15 mils).
- 4.1.3 Soporte de película. Como soporte asfáltico para la aplicación de las películas de pintura, utilizar probetas con substrato asfáltico formado por arena silíceo o caliza y filler mineral calizo o cemento, con la siguiente granulometría:

Tamiz ASTM	% Retenido
Nº 10	-
Nº 40	10 - 40
Nº 100	20 - 48
Nº 200	12 - 36
Pasa Nº 200	11 - 14

Y un cemento asfáltico tipo B 60-80, en la proporción de 11 % \pm 0,5 % sobre mezcla.

Tanto las arenas como los filleres cumplirán las especificaciones vigentes que para los mismos se establezcan en la fabricación de mezclas asfálticas.

En el caso de utilizarse filler mineral calizo, éste tendrá un contenido en carbonato cálcico (CaCO_3) superior al noventa y dos por ciento (92 %).

Mezclar la arena, el betún y el polvo mineral, en ese orden, para su mejor homogeneización, previamente calentados cada uno de los componentes entre 140 $^{\circ}\text{C}$ y 150 $^{\circ}\text{C}$.

Seguidamente llenar los moldes distribuyendo, compactando y enrasando la mezcla con la ayuda de una espátula.

Transcurridos no menos de 15 días desde su fabricación, las probetas se someterán a una presión de 10 MPa durante 90 segundos.

5.0 MUESTRA

5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con espátula de madera o agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.

6.1.2 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ y humedad relativa de $50\% \pm 5\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PREPARACIÓN DEL SUBSTRATO

6.2.1 Sobre la superficie de las probetas ya preparadas adherir firmemente, antes de ensayarlas, una cinta de celofán que cubra completamente un tercio de esta superficie, para obtener, de esta forma, una zona sin sangrado que pueda servir de contraste.

6.3 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

6.3.1 La probeta preparada según 6.2.1, se coloca sobre una superficie horizontal y con la cara parcialmente tapada por la cinta de celofán, a la vista.

6.3.2 Aplicar la muestra de forma que cubra completamente la superficie de la probeta, incluida la zona cubierta por el celofán. Dejar secar en posición horizontal durante 168 horas, a una temperatura de $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ y una humedad relativa de $50\% \pm 5\%$.

6.3.3 Inmediatamente después de transcurridas estas horas de secado, proceder a la evaluación del contraste de color existente entre las partes de película en contacto directo con el material bituminoso (zona de sangrado), y con la película de celofán (zona sin sangrado).

7.0 CALCULOS E INFORME.

7.1 CALCULOS

7.1.1 El grado de sangrado se evalúa numéricamente mediante la relación de contraste r_c de la película seca de pintura, que se calcula por la fórmula:

$$r_c = \frac{\beta_1}{\beta_2} \quad (1)$$

Donde:

β_1 = Factor de luminancia (valor triestímulo $Y_{10}/100$) determinado con iluminante CIE D65, geometría 45/0 y observador patrón 2º, de la película seca de la muestra aplicada sobre la superficie bituminosa.

β_2 = Factor de luminancia (valor triestímulo $Y_{10}/100$) determinado con un iluminante CIE D65, geometría 45/0 y observador patrón 2º, de la superficie seca de la muestra aplicada sobre la cinta de celofán.

7.2 INFORME

7.2.1 En el informe final se hará constar:

- Identificación de la muestra
- Relación de contraste obtenido.
- Referencia a este modo operativo y cualquier desviación respecto a la misma acordada, o no, entre las partes interesadas.
- Fecha de realización del ensayo



8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Si los resultados de la evaluación de las determinaciones realizadas varían de forma significativa, repetir nuevamente el ensayo por duplicado. Se registra el resultado de todas las determinaciones, incluyendo los ensayos que hayan sido repetidos.

MTC E 1216

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN METODO TABER

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la resistencia de los recubrimientos orgánicos a la abrasión producida por el Abrasímetro Taber sobre recubrimientos aplicados a una superficie rígida y plana, como por ejemplo un panel de metal.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El recubrimiento sobre sustratos puede ser dañado por abrasión durante la fabricación y servicio. Este modo operativo es útil para evaluar la resistencia a la abrasión de los recubrimientos adheridos.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 4060. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Abrasímetro Taber. Debidamente equipado para acoplar ruedas abrasivas y diferentes masas conocidas, que llevará incorporado un contador de ciclos automático y sistema de aspiración.

- 4.1.2 Ruedas abrasivas. Suministradas por el propio fabricante del aparato (CS-10 o CS-17, según sea necesario). Debido al endurecimiento lento del material de adhesión del caucho en este tipo de rueda, las ruedas no deben ser usadas después de la fecha marcada en ellas, o un año después de su compra, si no tienen fecha. Para garantizar que la función abrasiva de las ruedas se mantiene a un nivel constante, preparar las ruedas abrasivas antes de cada ensayo, de la siguiente manera:

- a) Montar las ruedas abrasivas seleccionadas en sus respectivos soportes, teniendo cuidado de no asirlas por la superficie abrasiva.
- b) Utilizar una carga de 1000 g (por rueda), a no ser que se acuerde lo contrario por las partes interesadas.
- c) Montar el disco abrasivo para reacondicionamiento de superficie (disco abrasivo S-11) en la plataforma giratoria. Bajar las cabezas de abrasión cuidadosamente hasta que las ruedas descansen en ángulo recto sobre el disco abrasivo. Colocar la boquilla de vacío en posición y ajustarlo a una distancia de 6,5 mm (1/4 pulgada) por encima del disco abrasivo, o según lo acordado por las partes interesadas.
- d) Ajustar el contador a "cero" y ajustar el regulador de fuerza de succión a 100. La fuerza de succión puede ser disminuida, si así es acordada por las partes interesadas.
- e) Reacondicionar la superficie de las ruedas dejándolas correr 50 ciclos contra el medio de reacondicionamiento. Reacondicionar la superficie de las ruedas antes de ensayar cada probeta y después de cada 500 ciclos.

- 4.1.3 Disco abrasivo para reacondicionamiento de superficie de ruedas abrasivas. Disco abrasivo S-11.

- 4.1.4 Unidad de aspiración para acoplar al abrasímetro. Consta de una unidad de vacío, regulador de succión, mediante el cual se puedan eliminar de manera continua las partículas desprendidas de las ruedas abrasivas y de la película del material durante el ensayo.

- 4.1.5 Sustrato. Panel metálico plano y rígido circular de 100 mm de diámetro o cuadrado de 100 mm de lado con los vértices redondeados, provistas de un orificio central de 6,5 mm (1/4 pulgada) de diámetro.

- 4.1.6 Balanza analítica. Capaz de pesar con precisión de 1 mg.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con espátula de madera o agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.
- 6.1.2 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ y humedad relativa de $50\% \pm 5\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PREPARACIÓN DEL SUBSTRATO

- 6.2.1 Aplicar una capa uniforme de la muestra a ser ensayada, de acuerdo al procedimiento acordado por las partes interesadas. Preparar un mínimo de dos paneles recubiertos.
- 6.2.2 Curar el panel recubierto, a las condiciones de humedad y temperatura acordadas entre las partes interesadas.
- 6.2.3 A no ser que se acuerde lo contrario entre las partes interesadas, acondicionar el panel recubierto por lo menos 24 horas a $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ y $50\% \pm 5\%$ de humedad relativa.

6.3 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.3.1 Pesar la probeta de prueba con una precisión de 0,1 mg y registrar este peso, ya sea que se vaya a reportar el índice de desgaste o la pérdida de peso.
- 6.3.2 Montar la probeta en la plataforma giratoria del abrasímetro con el lado a ser abrasionado hacia arriba. Asegurar la probeta usando la placa de sujeción y la tuerca. Colocar las cabezas de abrasión en la película de ensayo y la boquilla de la unidad de aspiración en posición, como se establece en 4.1.2 c). Fijar las masas auxiliares tal como se indica en 4.1.2 b). Ajustar el contador y el regulador de succión tal como se indica en 4.1.2 d).
- 6.3.3 Someter la probeta a abrasión el número especificado de ciclos o hasta observar el desgaste a través del recubrimiento. Al determinar el punto de desgaste, detener el instrumento a intervalos para el examen de la probeta.
- 6.3.4 Retirar cualquier recubrimiento suelto sobre la probeta de ensayo mediante un cepillado ligero. Volver a pesar la probeta.
- 6.3.5 Repetir lo establecido en 6.3.1 a 6.3.4 por lo menos en una probeta adicional del material que se ensaya.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Índice de desgaste: 1000 veces la pérdida en peso, en miligramos por ciclo.

Calcular el índice de desgaste, I , de la probeta, mediante la siguiente fórmula:

$$I = \frac{(A - B)1000}{C} \quad (1)$$

Donde:

A = Peso de la probeta antes de la abrasión, mg,

B = Peso de la probeta después de la abrasión, mg,

C = Numero de ciclos de abrasión registrada.

- 7.1.2 Pérdida de Peso: Pérdida en peso en miligramos, determinada para un número de ciclos especificado

Calcular la pérdida de peso, L , de la probeta, mediante la siguiente fórmula:

$$L = A - B \quad (2)$$

Donde:

A = Peso de la probeta antes de la abrasión, mg, y

B = Peso de la probeta después de la abrasión, mg.

7.2 INFORME

7.2.1 El informe del ensayo debe incluir, al menos, la siguiente información:

- a) Referencia a este modo operativo.
- b) Tipo e identificación de la muestra.
- c) Temperatura y humedad relativa durante el acondicionamiento y durante el ensayo.
- d) Tipo de ruedas abrasivas usadas.
- e) Carga aplicada a las ruedas abrasivas (por brazo).
- f) Número de ciclos de desgaste registrados para cada probeta.
- g) Índice de desgaste, o la pérdida de peso para cada probeta.
- h) Media y rango de los valores obtenidos de índice de desgaste (o abrasión) o la pérdida de peso de las probetas por duplicado.
- i) Fecha de realización del ensayo.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 Si los resultados de la evaluación de las determinaciones realizadas por duplicado varían de forma significativa, repetir nuevamente el ensayo por duplicado. Se registra el resultado de todas las determinaciones, incluyendo los ensayos que hayan sido repetidos.

MTC E 1217**TOMA DE MUESTRAS PINTURAS, BARNICES Y MATERIAS PRIMAS PARA PINTURAS Y BARNICES****1.0 OBJETO**

1.1 Establecer los métodos manuales para la toma de muestras de pinturas, barnices y de sus materias primas. Estos productos, incluyen líquidos y materiales que, sin someterse a modificación química, son capaces de licuarse cuando son calentados, así como productos en polvo, granulados o productos en pasta. Las muestras pueden ser tomadas desde recipientes tales como: bidones, bombonas, tanques, contenedores, vagones cisterna, cisternas tanques de barco, y también desde barriles, sacos, grandes sacos, silos o vagones silo o desde cintas transportadoras.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

2.1 Una toma de muestras correcta es una operación complicada y necesita que los distintos procedimientos operatorios se realicen por medio de personal con los conocimientos y experiencia necesarios. Las instrucciones generales de este modo operativo están destinadas a complementar los conocimientos y la experiencia, y son aplicables en la mayoría de las situaciones. Sin embargo, es posible que determinados productos requieran precauciones en la toma de muestras, que este modo operativo no estipula, y por lo tanto será necesaria una precaución especial por parte de los operarios para anotar todas las características inusuales que presenten estos productos. También es importante que los operarios tomen precauciones especiales conforme a las especificaciones del producto y a los reglamentos nacionales de seguridad.

2.2 Para los fines de este modo operativo, se aplican los términos y definiciones siguientes:

- a) lote: Cantidad definida de un material fabricado bajo condiciones uniformes.
- b) remesa: Cantidad total de un material objeto de la toma de muestra, compuesta de uno o varios lotes o unidades de muestreo.
- c) muestra individual: Parte de un producto tomado de un material a granel, mediante una operación de toma de muestras.
- d) muestra representativa: Muestra que cumple – según la precisión de los métodos de ensayo empleados – con todas las características el producto sometido a muestreo.
- e) muestra media: Mezcla de porciones equivalentes de muestras individuales (2.2.c).
- f) muestra de superficie: Muestra individual tomada cerca o en la superficie de un material.
- g) muestra de fondo: Muestra individual tomada cerca o en la parte más baja de un material.
- h) muestra compuesta: Muestra individual tomada de distintas partes del material.
- i) muestra intermitente: Muestra individual tomada intermitentemente del flujo de un material.
- j) muestra continua: Muestra tomada de modo continuo del flujo de un material.
- k) muestra de referencia: Muestra individual, continua o media, tomada y almacenada durante un periodo de tiempo específico, con el fin de servir de referencia.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

3.1 UNE-EN ISO 15528: Pinturas, barnices y materias primas para pinturas y barnices Toma de muestras

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

4.1.1 DISPOSITIVOS DE TOMA DE MUESTRAS

- a) Generalidades: La elección de dispositivos de toma de muestras depende el tipo de material sometido a muestreo, de su estado de agregación, del tipo de recipiente, del nivel al cual se llene el mismo, del riesgo que presente para la salud y la seguridad y del tamaño de muestra requerido. Los requisitos generales para los dispositivos de toma de muestras incluyen: fácil manipulación, fácil limpieza (superficies lisas), disponibilidad comercial y químicamente resistentes al material a muestrear.

- b) Sondas

Sonda (de cazo) (véase también 4.1.1.g): Una sonda de este tipo, se utiliza fundamentalmente para toma de muestras en superficie de materiales sólidos.

Sonda para líquidos: Este instrumento consta de un tubo de metal, en forma de D, dividido en compartimentos longitudinales, y un postigo que se desplaza verticalmente en toda su longitud, para abrir y cerrar los compartimentos. Su diámetro esta normalmente comprendido entre 25 mm y 50 mm.

Sondas para sólidos: Estas sondas son instrumentos abiertos destinados a utilizarse para sólidos en forma de polvo. Son metálicos, de sección transversal semicircular o en forma de C, y se introducen en el interior del material para tomar la muestra.

- c) Tubos para muestreo de líquidos

Tubos concéntricos: Constan de dos tubos metálicos concéntricos, ajustados en toda su longitud, de tal forma que se puede hacer girar un tubo en el interior del otro. Aproximadamente, el tercio de la circunferencia de cada tubo presenta una abertura longitudinal o una serie de aberturas. Cuando las aberturas están superpuestas, el aparato se abre y se admite el líquido; haciendo girar una media vuelta el tubo interior, se transforma en un recipiente estanco.

El tubo interior es normalmente de 20 mm a 40mm de diámetro. Puede no estar dividido longitudinalmente y, en este caso, los dos tubos están provistos, en su extremo inferior, de entradas en forma de V, dispuestas de tal forma, que permitan vaciar el líquido contenido en el instrumento cuando se abre la abertura longitudinal.

Alternativamente, el tubo interior puede estar también dividido transversalmente en un numero de compartimentos que van de tres a diez, en cuyo caso las entradas en forma de V se suprimen. Esta disposición permite tomar muestras distintas de líquido a diversa profundidades del recipiente.

El tubo debería tener una longitud suficiente para alcanzar el fondo del recipiente. Se introduce cerrado, se abre para dejar penetrar el líquido y finalmente se cierra y se retira.

Tubo simple. El tubo simple de muestreo, puede utilizarse cuando se sabe que el líquido del que hay que tomar la muestra es homogéneo. Consiste en un tubo de metal o vidrio de paredes gruesa cuyo diámetro puede variar de 20 mm a 40 mm y su longitud de 400 mm a 800 mm. Los extremos superior e inferior, son cónicos y se estrechan para tener un diámetro de 5 mm a 10 mm. En el extremo superior se encuentran dos anillos que facilitan la manipulación.

Para tomar una muestra individual, se cierra primero el extremo superior del aparato con el pulgar o con un tapón y se hace descender hasta la profundidad deseada. Se abre durante un corto período de tiempo para que admita el líquido y finalmente se cierra y se retira.

Tubo para toma de muestras con válvula: El tubo para toma de muestras con válvula, consiste en un tubo metálico que tiene en su base una válvula unida por una varilla central a una empuñadura roscada colocada en el extremo superior. Cuando la empuñadura se atornilla a fondo, la válvula se cierra. Difiere de los tubos descritos anteriormente en que se introduce en el recipiente con la válvula abierta, permitiendo al líquido entrar a medida que el tubo se sumerge por debajo de la superficie, mientras que el aire desplazado sale por un agujero en el extremo superior del tubo. Cuando la base del tubo toca el fondo del recipiente, la válvula se cierra automáticamente. Posteriormente, se atornilla la empuñadura completamente de forma que se mantenga la válvula cerrada y se retira el tubo que contiene la muestra. Se limpia y seca el exterior del tubo, o se utiliza un dispositivo de limpieza. Se utilizan tubos de muestreo de diversas longitudes, el de aluminio de 2 m de largo, es adecuado para la toma de muestras de camiones-cisterna. Este instrumento, no es conveniente cuando hay acumulación de sedimentos.

- d) Botella o bidón para toma de muestras: La botella o bidón para toma de muestras se llama también botella o bidón de inmersión. Consiste en un recipiente de metal antichispas suficientemente lastrado, unido a una cadena de acero inoxidable, o de cualquier otro material apropiado, y sobre el cual va montada una botella de vidrio o de cualquier otro material apropiado. Puede ser, por ejemplo: una botella abierta, una botella con tapón ajustado, con dos tubos de vidrio de diferentes longitudes (ajustando los diámetros interiores de los tubos, puede obtenerse una muestra que se corresponde con el fondo del recipiente y con la viscosidad del producto) o una botella cuyo tapón pueda quitarse a la profundidad deseada, por medio de una segunda cadena.

El bidón de inmersión es adecuado para la toma de muestras en grandes recipientes (cisternas, tanques de barcos, etc.).

- e) Colector de muestras de fondo o locales: Un colector de muestras de fondo o locales consiste en un recipiente cilíndrico que tiene una válvula de aguja de metal antichispas. El colector, va sujeto por una cadena de acero inoxidable o de cualquier otro material apropiado. Una cadena adicional puede unirse al extremo superior de la válvula de aguja para permitir que la válvula se abra a una profundidad concreta. La válvula se abre automáticamente, cuando toca el fondo del depósito, así el colector de muestras locales es particularmente apropiado para la toma de muestras de fondo de grandes recipientes.
- f) Espátula: Una espátula de cualquier forma y tamaño conveniente. La hoja está hecha de un material apropiado tal como acero inoxidable o plástico. La espátula es particularmente útil para la toma de muestras individuales de materiales pastosos, por ejemplo, masillas.
- g) Pala (véase también 4.1.1.b): Una pala para toma de muestras de un material apropiado, tal como acero inoxidable o plástico, tendrá unos bordes elevados y un mango corto. Es utilizada, fundamentalmente, para toma de muestras de productos sólidos en forma granular o en polvo.
- h) Tubo de derivación: Es apropiado para toma de muestras individuales o continuas, a partir de, por ejemplo, tanques de almacenamiento, cisternas de vehículos o tuberías de distribución, y esta provista de una válvula de cierre.

4.1.2 RECIPIENTES PARA MUESTRAS

Jarras de boca ancha, botellas, botes o bolsas de plástico son apropiados para el almacenamiento de muestras individuales o de referencia. El material del recipiente y del tapón, deben seleccionarse de modo que la muestra esté protegida contra la acción de la luz, y ningún material pueda penetrar o salir del recipiente.

Los recipientes metálicos deben estar provistos de un cierre hermético, exentos de residuos de soldaduras y, en general, sin recubrir internamente con pintura o barniz. Los envases recubiertos internamente son adecuados para la mayoría de los productos base agua.

Los recipientes de vidrio, deben estar provistos de un cierre hermético, que no se vea afectado por la muestra. El vidrio oscuro proporciona una protección parcial contra la acción de la luz y el contenido puede ser adicionalmente protegido, si fuera necesario, envolviendo el envase con una cubierta o embalaje opaco.

No deben utilizarse envases galvanizados o de aluminio para la toma de muestras de materiales que contengan alcohol.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas, barnices y materias primas para pinturas y barnices.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 GENERALIDADES

El tamaño mínimo de una muestra debe ser de 2 kg, o de tres o cuatro veces la cantidad necesaria para llevar a cabo los ensayos requeridos. Para el número de muestras que se toman, véase la Tabla N° 01.

6.2 INSPECCION PREVIA A LA TOMA DE MUESTRAS

Antes de realizar la toma de muestras, el material, el recipiente y el lugar para la toma de muestras deben ser inspeccionados para detectar cualquier anomalía que, si son observadas, deben anotarse en el informe de la toma de muestras. El operario debe decidir después si puede tomarse una muestra y, si es así, que tipo de muestra.

6.3 CONSIDERACIONES SOBRE HOMOGENEIDAD

- a) Materiales homogéneos: Para materiales homogéneos, es suficiente una muestra individual.
- b) Materiales no homogéneos

Generalidades: Existen dos tipos de no homogeneidad: temporal y permanente.

No homogeneidad temporal: Este tipo puede ser el resultado de una insuficiente mezcla, formación de espuma, sedimentación, cristalización, etc., que pueden dar, por ejemplo, diferencias elevadas en la densidad o en la viscosidad. Tales productos pueden homogeneizarse por agitación o calentamiento, antes de llevar a cabo la toma de muestras.

No homogeneidad permanente: En el caso de materiales que ni son miscibles ni solubles entre ellos, debe decidirse si procede la toma de muestras y para qué fin.

En recipientes pequeños, las muestras deben tomarse por medio de un tubo para toma de muestras (4.1.1.c).

Si van a tomarse muestras en recipientes de grandes dimensiones, deben tomarse, al menos, dos muestras. En la fase superior, la muestra debe tomarse por medio de una sonda (4.1.1.b), y en la fase inferior, por medio de un colector de muestras local (4.1.1.e) o de una botella o bidón de inmersión adecuado (4.1.1.d) o desde la válvula de fondo, si existe. Cuando se prepare una muestra deben tenerse en cuenta los tamaños relativos de las dos fases. Es apropiado un bidón de inmersión, con un tapón que pueda ser retirado a la profundidad deseada.

6.4 TAMAÑO DEL RECIPIENTE

- a) Recipientes grandes

Generalidades: Se entiende por recipientes grandes: tanques, cisternas de camiones, silos, vagones-silo, vagones cisterna, cisternas de barcos o de aeronaves, con una altura media de, al menos, 1 m.

A excepción de los productos no homogéneos permanentemente, el producto debe ser homogéneo antes de tomarse las muestras. Dado que resulta imposible realizar un muestreo reproducible a partir de una muestra compuesta, por ejemplo, mediante un bidón de inmersión (4.1.1.d), en el caso de recipientes de grandes dimensiones, debe hacerse una toma de muestras de superficie con una sonda (4.1.1.b) o un tubo (4.1.1.c), así como otra toma a una profanidad media utilizando un bidón de inmersión (4.1.1.d), y otra muestra de fondo, a nueve décimas partes de la profundidad total, por medio de un bidón de inmersión (4.1.1.d) o de un colector de fondo (4.1.1.e). Cuando un recipiente de grandes dimensiones conste de varios compartimentos, debe tomarse, como mínimo, una muestra de cada uno de ellos. Si se trata del mismo producto, después pueden combinarse las distintas muestras individuales (2.2.c), en una muestra media.

En el caso de no homogeneidad permanente, se utilizan los procedimientos operatorios descritos en 6.3.b.

Líquidos: Una muestra de la superficie de un producto líquido o licuado puede tomarse por medio de una sonda (4.1.1.b). Para la toma de muestras a otros niveles, el medio más adecuado es el bidón de inmersión (4.1.1.d) y el colector de muestras locales (4.1.1.e) es particularmente adecuado para la toma de muestras del fondo.

Los otros procedimientos de toma de muestras posibles incluyen la toma de una muestra individual, a partir de un punto de salida, permitiendo primero la salida de líquido suficiente, o en el caso de un líquido bombeado, por medio de un tubo de derivación (4.1.1.h) durante la circulación, la carga o descarga. En el caso de operaciones de bombeo, puede tomarse una muestra continua a partir de un conducto de derivación mediante un tubo adaptado.

Productos en forma de pasta: Una toma de superficie de productos en pasta, puede tomarse empleando una espátula (4.1.1.f), una sonda (4.1.1.b) o, en ciertos casos, un tubo para toma de muestras (4.1.1.c).

Sólidos: En el caso de productos sólidos en forma de polvo, en gránulos o en granos gruesos, normalmente sólo es posible tomar una muestra de superficie por medio de una sonda (4.1.1.b), de una espátula (4.1.1.f) o de una pala (4.1.1.g).

Se pueden tomar muestras intermitentes cuando el recipiente se está llenando o vaciando, empleando, por ejemplo, una cinta transportadora o un tornillo sin fin.

Un tubo para toma de muestras (4.1.1.c) puede igualmente utilizarse en de terminados casos.

b) Recipientes pequeños

Generalidades. Los recipientes pequeños comprenden barriles, tambores, sacos, y otros recipientes parecidos. Generalmente es suficiente tomar una muestra de cada recipiente. Cuando una remesa se compone de varios recipientes, el número estadísticamente correcto de muestras que han de tomarse se indica en la Tabla N° 01; si se toman menos muestras, debe anotarse en el informe del muestreo.

TABLA 1

Número mínimo de recipientes en los que se efectúa la toma de muestras

Número total de recipiente N	Número mínimo de recipientes en los que se efectúa la toma de
1 a 2	Todos
3 a 8	2
9 a 25	3
26 a 100	5
101 a 500	8
501 a 1000	13
y así sucesivamente a razón de	$n = \sqrt{N/2}$

Si una remesa está constituida por diferentes lotes, deben tomarse muestras de los recipientes de cada lote.

Líquidos. Las muestras individuales pueden tomarse en superficie utilizando una sonda (4.1.1.b). También es posible tomar muestras de cada nivel, muestras compuestas o muestras de fondo por medio de tubos para toma de muestras (4.1.1.c).

Productos en forma de pasta. La toma de muestras e productos en forma de pasta debe realizarse como se describe en 6.4.a.

Sólidos. La toma de muestras de productos sólidos debe realizarse como se describe en 6.4.a.

6.5 REDUCCION DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

Se mezcla íntegramente el conjunto de muestras extraídas conforme a los proce

Para los líquidos, se efectúa la mezcla en un recipiente limpio y seco, de acero inoxidable preferentemente. Se extraen, lo más pronto posible, tres muestras uniformes (muestras finales) de, al menos, 400 mL cada una, o iguales a tres o cuatro veces la cantidad necesaria para efectuar los ensayos especificados, y se colocan en recipientes conforme a lo indicado en 4.1.2.

Para los sólidos, se divide la muestra global por medio de un divisor de muestra rotatorio (divisor de rifle). Se extraen tres muestras de 500 g, o tres o cuatro veces la cantidad necesaria para efectuar los ensayos especificados, y se envasan en recipientes conforme a lo indicado en 4.1.2.

6.6 ETIQUETADO

Después de haber sido tomada la muestra, debe etiquetarse de tal modo que pueda ser identificada conforme con los requisitos de gestión de la calidad.

La etiqueta debe incluir, al menos, la siguiente información:

- Designación de la muestra.
- Marca comercial y/o código.
- Fecha de la toma de muestras.
- Número de referencia y/o número de lote de la muestra.
- Lugar de la toma de muestras, por ejemplo, fabrica, destinatario o vendedor.
- Numero de serie o número de lote, según sea aplicable.
- Nombre de la persona que tomó la muestra.

h) Todos los símbolos de advertencia de peligro necesarios.

6.7 ALMACENAMIENTO

Las muestras de referencia deben almacenarse en condiciones de almacenamiento apropiadas, en un recipiente hermético, protegidas de la luz y la humedad, cuando sea necesario, durante el periodo de tiempo especificado, y de acuerdo con todas las reglas de seguridad aplicables.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 INFORME

7.1.1 El informe de la toma de muestras, que puede ser registrado en soporte informático, debe incluir, en complemento a la información del etiquetado, dada en 6.6, la siguiente información:

- a) Referencia a este modo operativo.
- b) Aparato de toma de muestras utilizado.
- c) Tipo de recipiente muestreado, por ejemplo, cisterna de camión, vagón-cisterna, cisterna de barco, tambor, grandes sacos, tanque, tubería.
- d) Cualquier observación relativa a las condiciones de envasado y/o envío.
- e) Cualquier otra observación, por ejemplo, primer tambor, recipiente devuelto, etc.
- f) Profundidad a la que ha sido tomada la muestra.

MTC E 1226**DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DE LOS RECUBRIMIENTOS ORGANICOS A LOS EFECTOS DE DEFORMACION RAPIDA (IMPACTO)****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer un procedimiento para deformar rápidamente por impacto una película de recubrimiento y su sustrato y para evaluar el efecto de tal deformación

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Los recubrimientos unidos a sustratos son sometidos a impactos perjudiciales durante la fabricación de artículos y su uso en el servicio. Este modo operativo para ensayar la resistencia al impacto es útil para predecir el funcionamiento de los recubrimientos orgánicos respecto a su capacidad para resistir el agrietamiento causado por los impactos.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 2794: Standard Test Method for Resistance of Organic Coatings to the Effects of Rapid Deformation (Impact)

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Probador. Consiste en un tubo vertical para guiar una pesa cilíndrica que se deja caer sobre un punzón que reposa sobre el panel de ensayo.

a) Tubo Guía. De 0,6 m a 1,2 m (24 pulgadas a 48 pulgadas) de longitud, montado verticalmente en una placa base. Corta una ranura a lo largo en un lado del tubo para que actúe como guía de una pesa cilíndrica que encaje dentro del tubo. Las graduaciones están marcadas en pulgadas-libras a lo largo de la ranura. La base está construida de modo que un panel plano y delgado pueda ser insertado a 50 mm (2 pulgadas) debajo del tubo.

b) Pesa. Cilindro de metal, hecho para encajar dentro del tubo guía. Ajustar un pasador en un lado de la pesa para actuar como guía por la ranura del tubo y servir como manija con la cual la pesa pueda ser levantada y liberada, y además servir de indicador de los kilogramos-metro (pulgadas-libra).

- 4.1.2 Penetrador. Punzón de acero con una cabeza hemisférica que tenga un diámetro de 12,7 mm (0,500 pulgadas) o de 15,9 mm (0,625 pulgadas). La cabeza se apoya sobre el panel de ensayo y el punzón se sostiene verticalmente mediante un anillo de guía

- 4.1.3 Soporte del panel. Accesorio de acero con un orificio cilíndrico de 16,3 mm (0,64 pulgadas) de diámetro, centrado bajo el penetrador para apoyar el panel de ensayo.

- 4.1.4 Lupa.

- 4.1.5 Detector de Agujeros Pequeños.

4.2 INSUMOS

- 4.2.1 Solución de sulfato de cobre acidificado (CuSO_4). Preparada mediante disolución de 10 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en 90 g de ácido clorhídrico (HCl) 1,0 N.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 PREPARACION DEL ENSAYO

- 6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con espátula de madera o agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.
- 6.1.2 Realizar los ensayos en ambiente con temperatura de $23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ y humedad relativa de $50\% \pm 5\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.
- 6.2 PREPARACION DEL SUBSTRATO
- 6.2.1 Aplicar capas uniformes de la muestra a ensayar a paneles de acero calibre 24 (0,63 mm ó 0,025 pulgadas) tratados con un recubrimiento de conversión adecuado, a menos que se especifique lo contrario.
- 6.2.2 Los recubrimientos se deben aplicar de acuerdo a los procedimientos establecidos por las partes interesadas.
- 6.2.3 Curar los paneles recubiertos bajo condiciones de humedad relativa y temperatura acordadas por las partes interesadas.
- 6.2.4 A menos que las partes interesadas lleguen a un acuerdo diferente, acondicionar los paneles de ensayo recubiertos por lo menos 24 horas a $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ y $50 \pm 5\%$ de humedad relativa.
- 6.3 PROCEDIMIENTO OPERATORIO
- 6.3.1 Instalar el punzón con el diámetro de cabeza especificado o acordado. Colocar el panel de ensayo en el aparato con el lado recubierto encima o debajo, según lo especificado o acordado. Asegurarse de que el panel quede plano contra la base de apoyo y que el penetrador haga contacto con la superficie superior del panel. Colocar la pesa con cuidado sobre el penetrador y ajustar el tubo guía de tal manera que el pasador quede en la marca de cero. Elevar la pesa arriba del tubo hasta una altura en que no se espere que ocurra una falla. Soltar la pesa para que caiga sobre el penetrador.
- 6.3.2 Retirar el panel de ensayo del aparato y observar si en el área de impacto hay grietas en el recubrimiento. Si no se evidencia grietas, repetir el procedimiento a una altura mayor, incrementando 25 mm (1 pulgada) cada vez. Una vez se observan grietas, repetir el ensayo cinco veces en cada una de tres alturas; ligeramente por encima, ligeramente por debajo y en aquella determinada en la primera prueba. Ensayar de forma aleatoria para que todos los impactos desde una altura no sean hechos en sucesión ni en un solo panel.
- 6.3.3 Examinar si hay agrietamiento en las áreas que recibieron el impacto por cualquiera de los siguientes métodos:
- Usar una lupa para examinar el área en busca de agrietamientos.
 - Mantener un paño blanco tipo franela saturado con la solución acidificada de sulfato de cobre (CuSO_4) (4.2.1) sobre las áreas impactadas por lo menos durante 15 minutos. Retirar el paño y examinar tanto las áreas de ensayo como el paño en busca de evidencia de deposición de cobre o de manchas de óxido de hierro, respectivamente.
 - Para detectar rupturas en la película con un detector de agujeros pequeños, conectar primero el cable de tierra del instrumento al sustrato desnudo y conectar el instrumento a una fuente de energía eléctrica. Humedecer la esponja de sonda con agua del grifo y pasar lentamente la sonda sobre las áreas de impacto. Una alarma audible indicará la presencia de grietas.
- 6.3.4 Por cada nivel de kilogramo-metro (pulgada-libra), tabular el número de veces que el recubrimiento pasó o falló. El valor en donde los resultados cambian desde la mayoría de "pasa" hasta la mayoría de "falla" es el punto final de falla por impacto.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Expresar los resultados como kilogramo-metro (pulgada-libra) en el punto final de falla por impacto.



7.2 INFORME

7.2.1 El informe del ensayo debe incluir, al menos, la siguiente información:

- a) Los kilogramos-metro (pulgada-libra) en el punto final de falla por impacto.
- b) Si se utilizó intrusión o extrusión.
- c) Diámetro del punzón utilizado.
- d) Espesor del recubrimiento.
- e) Espesor de sustrato y tipo de metal.
- f) Método de preparación del panel.
- g) Condiciones atmosféricas bajo las cuales los paneles recubiertos fueron acondicionados y ensayados.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 Si los resultados de la evaluación de las determinaciones realizadas varían de forma significativa, repetir nuevamente el ensayo por duplicado. Se registra el resultado de todas las determinaciones, incluyendo los ensayos que hayan sido repetidos

MTC E 1228**DETERMINACION DE LA ADHERENCIA (RESISTENCIA A LA TRACCION)****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer un procedimiento para evaluar la resistencia a la tracción (lo que comúnmente se denomina "adherencia") de un recubrimiento sobre substratos rígidos. Este modo operativo determina, la mayor fuerza perpendicular (en tracción) que un área superficial puede resistir antes de que se desprenda un fragmento de material, o si la superficie permanece intacta a una fuerza preestablecida (pasa/no pasa). Habrá falla a lo largo del plano más débil del sistema comprendido entre el dispositivo de ensayo, el adhesivo, sistema de recubrimiento, y el substrato, que quedará expuesto debido a la superficie fracturada. Este Modo Operativo maximiza el esfuerzo de tracción en comparación con el esfuerzo de corte aplicado mediante otros métodos tales como el de la adherencia al raspar o rasgar con cuchillo, y es posible que los resultados no puedan ser comparables.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El esfuerzo de tracción de un recubrimiento es una propiedad importante de desempeño que se ha usado en las especificaciones. Este modo operativo sirve como medio para preparar y ensayar uniformemente las superficies recubiertas, y para evaluar y presentar el informe de los resultados. Este modo operativo es aplicable para cualquier aparato portátil que cumpla los requisitos básicos al determinar la resistencia a la tracción de un recubrimiento.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM 4541: Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Probador de Adherencia. Disponible comercialmente, o un aparato comparable del cual se presentan ejemplos específicos en los Anexos A1 al A5.

- a) Dispositivos de carga. Debe tener una superficie plana en un extremo que se pueda adherir al recubrimiento, y un medio de unión al probador en el otro extremo.
- b) Ensamble separable. (Probador de adherencia) que tenga una abrazadera central para acoplar el dispositivo.
- c) Base. En el ensamble separable, o un anillo anular si se necesita para presionar uniformemente contra la superficie del recubrimiento alrededor del dispositivo, bien sea directamente, o por medio de un anillo intermedio. Se necesita un medio para alinear la base, de tal modo que la fuerza resultante sea normal a la superficie.
- d) Un medio para mover la abrazadera apartándola de la base en una forma tan suave y continua como sea posible, de tal modo que entre ellas resulte una fuerza libre de torsión, coaxial (contrarrestando la tracción de la agarradera y el empuje de la base a lo largo del mismo eje).
- e) Cronometro. O un medio para limitar la tasa de esfuerzo a menos de 1 MPa/s (150 psi/s) de tal modo que el máximo esfuerzo se obtenga en menos de unos 100 s. Un cronometro seria el equipo mínimo que utilice el operador junto con el indicador de fuerza que se menciona en 4.1.1 f.

Obtener el máximo esfuerzo en 100 s o menos manteniendo la tasa máxima de corte a menos de 1 MPa/s (150 psi/s) es válido para los niveles de resistencia a la tracción medidos con este tipo de aparato.

- f) Indicador de fuerza e información de calibración. Para determinar la fuerza real suministrada al dispositivo de carga.
- 4.1.2 Cortador de orificio circular (opcional). Para escoriación completa hasta el substrato alrededor del dispositivo de carga.
- 4.2 MATERIALES
- 4.2.1 Papel de lija fino. U otro medio para limpiar el recubrimiento que no altere su integridad por ataque químico o de solvente. Si se prevé algún lijado ligero, se debe elegir únicamente un abrasivo de grado muy fino (arena 400 o más fina) que no introduzca imperfecciones ni que deje residuos.
- 4.2.2 Abrazaderas magnéticas o mecánicas. Si se necesitan, para sostener el dispositivo en su lugar mientras el adhesivo se cura.
- 4.2.3 Motas de algodón. U otro medio para eliminar el exceso de adhesivo y definir el área adherida. Cualquier método para eliminar el exceso de adhesivo que dañe la superficie, tal como escoriación (ver 5.1.7), generalmente se debe evitar pues los defectos inducidos en la superficie pueden ocasionar falla prematura del recubrimiento.
- 4.3 INSUMOS
- 4.3.1 Solvente. U otro medio para la limpiar la superficie del dispositivo de carga. Las impresiones de los dedos, la humedad y los óxidos tienden a ser los principales contaminantes.
- 4.3.2 Adhesivo. Para asegurar el dispositivo al recubrimiento, y que no afecte las propiedades de dicho recubrimiento. Se ha encontrado que los componentes epóxicos y acrílicos son los más versátiles.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido, probetas pintadas o estructuras.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 El método para seleccionar los sitios del recubrimiento que se han de preparar para el ensayo, depende de los objetivos del ensayo y de los acuerdos entre las partes contratantes. Sin embargo, hay unas pocas restricciones físicas impuestas por el método general y el aparato. Los siguientes requisitos se aplican a todos los sitios:
- a) El área de ensayo seleccionada debe ser una superficie plana suficientemente grande para acomodar el número especificado de ensayos duplicados. La superficie puede tener cualquier orientación con referencia a la fuerza gravitacional. Cada sitio de ensayo debe estar separado por al menos la distancia necesaria para acomodar el aparato desarmable. El tamaño de un sitio de ensayo es esencialmente el del dispositivo de carga asegurado. Generalmente se requieren al menos tres repeticiones con el propósito de caracterizar estadísticamente el área de ensayo.
- b) Las áreas de ensayo seleccionadas también deben tener suficiente espacio perpendicular y radial para acomodar el aparato, ser suficientemente planas para permitir la alineación, y ser suficientemente rígidas para soportar la fuerza contrapuesta. Es importante anotar que las mediciones cercanas a un ángulo pueden no ser representativas del recubrimiento en su totalidad.
- 6.1.2 Puesto que la rigidez del substrato afecta los resultados de la resistencia a la tracción y no es una variable de ensayo controlable en las mediciones de campo, para análisis posterior o para comparaciones de laboratorio se debe reportar la información que se tenga sobre el espesor y la composición del substrato. Por ejemplo, substrato de acero con espesor menor de 3,2 mm (1/8 pulgadas), puede reducir los resultados de la resistencia a la tracción en comparación con los substratos metálicos cuyo espesor sea 6,4 mm (1/4 pulgadas).

- 6.1.3 Siguiendo los requisitos de 6.1.1, se seleccionan áreas de ensayo representativas, y se limpian las superficies en una forma que no afecte la integridad del recubrimiento ni que deje residuo. La abrasión de la superficie puede introducir defectos y generalmente se debe evitar. Sólo se debe usar un abrasivo fino (ver 4.2.1) si se necesita para eliminar contaminantes de la superficie, sueltos o adheridos débilmente.
- 6.1.4 Limpiar la superficie del dispositivo de carga según lo indicado por el fabricante del aparato. Las fallas en la interfaz dispositivo-adhesivo a menudo se puede evitar tratando las superficies del dispositivo de acuerdo con el procedimiento indicado en una norma apropiada para preparar superficies de metal para unión adhesiva.
- 6.1.5 Preparar el adhesivo de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del mismo. Aplicar el adhesivo al dispositivo o a la superficie que se va a ensayar, o a ambas usando un método recomendado por el fabricante del adhesivo que asegure la aplicación del adhesivo sobre la superficie total. Retirar cuidadosamente el exceso de adhesivo en el área que rodea al dispositivo. Precaución - El movimiento, especialmente el de torsión, puede hacer que las burbujas pequeñas coalescen formando cavidades grandes que constituyen discontinuidades del esfuerzo durante los ensayos.
- 6.1.6 Con base en las recomendaciones del fabricante del adhesivo y las condiciones ambientales previstas, se deja suficiente tiempo para que el adhesivo reaccione y alcance la curación recomendada. Durante la consolidación del adhesivo y la etapa inicial de curación, se debe mantener una presión constante de contacto en el dispositivo. Los sistemas magnéticos o mecánicos de abrazaderas funcionan bien, pero los sistemas que dependen de puntos de fijación, tal como cinta de enmascarar, se deben usar con cuidado para asegurarse de que no cedan con el tiempo y dejen penetrar aire entre el dispositivo y el área de ensayo.
- 6.1.7 La escoriación alrededor del dispositivo viola el criterio fundamental de ensayo en el sitio, en el sentido de que se ensaye un recubrimiento inalterado. Si se utiliza escoriación alrededor de la superficie de ensayo, se debe tener mucho cuidado para evitar la microfisura en el recubrimiento, puesto que esas fisuras pueden ocasionar fallas en las resistencias disminuidas. Las muestras escoriadas constituyen un ensayo diferente, y este procedimiento se debe informar claramente junto con los resultados.
- 6.1.8 Anotar la temperatura y la humedad relativa aproximadas durante el tiempo de ensayo.
- 6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO
- 6.2.1 En esta sección se describe el procedimiento general para realizar este ensayo. En los Anexos A1 al A5 se presentan procedimientos más específicos para los tipos de aparatos usados en la ronda de ensayos de descarte (round-robin).
- 6.2.2 Seleccionar un probador de adherencia con un ensamblaje desprendible que tenga una calibración de fuerza que recorra el intervalo de los valores esperados junto con su dispositivo de carga compatible. Las mediciones en la mitad del intervalo suelen ser las mejores, pero antes de proceder se deben leer las instrucciones de operación suministradas por el fabricante.
- 6.2.3 Si se va a utilizar un anillo o un dispositivo comparable (4.1.4 c), se coloca concéntricamente alrededor del dispositivo de carga en la superficie de recubrimiento. Si las cuñas son requeridas cuando se empleen anillos de rodamiento, colóquenlos entre la base del probador y el anillo de rodamiento en vez de sobre la superficie del recubrimiento.
- 6.2.4 Conectar cuidadosamente la abrazadera central del ensamblaje desprendible al dispositivo de carga sin golpear, doblar o de algún otro modo pretensionar la muestra, y conectar el ensamblaje desarmable a su mecanismo de control, si es necesario. Para superficies no horizontales, el ensamblaje desarmable se debe sostener manualmente de tal modo que su peso no contribuya a la fuerza ejercida en el ensayo.
- 6.2.5 Alinear el dispositivo de acuerdo con las instrucciones del fabricante y ajustar a cero el indicador de la fuerza.

- 6.2.6 Incrementar la carga para el dispositivo en forma tan suave y continua como sea posible, a una velocidad de menos de 1 MPa/s (150 psi/s) de tal modo que ocurra la falla o que se alcance la máxima tensión en aproximadamente 100 s o menos.
- 6.2.7 Registrar la fuerza alcanzada en la falla o la máxima fuerza aplicada.
- 6.2.8 Si se desprende un fragmento de material, se rotula y se almacena el dispositivo para calificación de la superficie fallada, de acuerdo con el procedimiento indicado en 6.1.3.
- 6.2.9 Registrar cualquier desviación respecto del procedimiento tal como una posible desalineación, vacilaciones en la aplicación de la fuerza, etc.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Si el fabricante lo indica, usar los factores de calibración del instrumento para convertir la fuerza indicada correspondiente a cada ensayo en la fuerza real aplicada.
- 7.1.2 En caso contrario usar la carta de calibración indicada por el fabricante o calcular el esfuerzo relativo aplicado a cada muestra de recubrimiento de la siguiente manera:

$$X = 4F / \pi d^2 \quad (1)$$

Donde:

X = Mayor esfuerzo de tracción aplicado durante un ensayo de pasa/no pasa, o el esfuerzo de tracción alcanzado en la falla. Ambos tienen unidades de Mpa (psi).

F = Mayor fuerza aplicada a la superficie de ensayo según se determina en el procedimiento 6.1.1, y

d = Diámetro equivalente del área de superficie original tensionada que tiene unidades de milímetros (o pulgadas). Este diámetro suele ser igual al diámetro del dispositivo de carga.

- 7.1.3 Para que todos los ensayos fallen, se estima el porcentaje de fallas de adherencia y de cohesión, de acuerdo con sus áreas y localización respectivas dentro del sistema de ensayo comprendido de recubrimiento y capas adhesivas. En los procedimientos indicados en 6.1.3 a) a 6.1.3 c) se presenta un modelo conveniente que describe el sistema total de ensayo.
 - a) Describir el espécimen como substrato A, sobre el cual se han aplicado sucesivas capas de recubrimiento B, C, D, etc., incluyendo el adhesivo Y, que asegura el dispositivo Z, a la capa superior.
 - b) Designar las fallas de cohesión mediante las capas dentro de las cuales se presentan como B, C, etc., y el porcentaje de cada una.
 - c) Designar las fallas de adherencia mediante las interfaces en las cuales ocurren como A/B, B/C, C/D, etc. y el porcentaje de cada una.
- 7.1.4 Un resultado muy diferente de la mayoría se puede deber a errores en el registro o en el cálculo. Si ninguno de estos es la causa, entonces examinar las condiciones circundantes de ese ensayo. Si se puede atribuir el resultado irregular a una causa experimental se descarta éste. Sin embargo, no descartar un valor a menos que las razones no estadísticas sean válidas o a menos que el resultado corresponda a un valor estadístico alejado. Las razones no estadísticas para descartar un valor incluyen un alineamiento del aparato que no es normal a la superficie, una definición pobre del área sometida a ensayo debido a una inapropiada aplicación del adhesivo, límites y líneas de aplicación mal definidas, discontinuidades en el adhesivo causadas por vacíos, preparación de la superficie inapropiada y por el deslizamiento o torsión del elemento de fijación durante el curado inicial. Las muestras raspadas o escoriadas pueden contener concentraciones de tensión que conduzcan a fracturas prematuras. El ensayo Dixon puede ser empleado para detectar puntos alejados.

7.1.5 No considerar el ensayo en el cual la falla del pegamento represente más del 50 % del área. Si un criterio de pasa/no pasa es utilizado y una falla del adhesivo se produce con una resistencia a la tracción mayor que la del criterio, reportar el resultado como "paso con una resistencia a la tracción > {valor obtenido}..."

7.2 INFORME

7.2.1 En el informe final se hará constar:

- a) Descripción breve de la naturaleza general del ensayo, tal como ensayos de campo o de laboratorio, tipo genérico del recubrimiento, etc.
- b) Temperatura y humedad relativa y cualquier otra condición ambiental pertinente durante el período de ensayo.
- c) Descripción del aparato utilizado, lo cual incluye: fabricante del aparato y números del modelo, tipo y dimensiones del dispositivo de carga, y tipo y dimensiones del anillo anular.
- d) Descripción del sistema de ensayo, si es posible, mediante el modelo de índices descrito en el numeral 6.1.3 que incluye: identidad del producto y tipo genérico para cada capa y cualquier otra información suministrada, la identidad de sustrato (espesor, tipo, orientación, etc.), y el adhesivo utilizado.
- e) Resultados del ensayo.
 - Fecha, localización del ensayo, agente de ensayo.
 - Para ensayos de pasa/no pasa, la tensión aplicada junto con el resultado, por ejemplo, aprobar o fallar y anotar el plano de cualquier falla (ver 6.1.3).
 - Para ensayos para falla, reportar todos los valores calculados en el numeral 6.1.2, junto con la naturaleza y la localización de las fallas según se especifica en 6.1.3, o, si sólo se requiere la resistencia promedio, reportar la resistencia promedio junto con los datos estadísticos.
 - Si se han hecho correlaciones de los resultados, o si se han omitido ciertos valores, tales como los valores mínimos o máximos u otros, razones para los ajustes y criterios utilizados.
 - Para cualquier ensayo en donde se haya usado escoriación, se debe indicar este hecho mediante un número de nota de pie de página al lado de cada punto de los datos que se haya afectado y una nota al final de cada página en donde aparezcan tales datos. Se debe anotar cualquier otra desviación respecto del procedimiento.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 Repetitividad. Resultados por triplicado obtenidos por el mismo operador empleando instrumentos de la misma categoría se pueden considerar dudosos, si la diferencia en porcentaje relativo es mayor que el valor dado en la Tabla N° 01, con un nivel de confianza del 95 %.

8.2 Reproducibilidad. Dos resultados, es decir el promedio de tres ensayos, obtenido por operadores diferentes en laboratorios diferentes, empleando instrumentos de la misma categoría, se pueden considerar dudosos si la diferencia en porcentaje relativo es mayor que lo indicado en la Tabla N° 01, con un nivel de confianza del 95 %.

La diferencia en porcentaje relativo de dos resultados, x_1 y x_2 es el valor absoluto de

$$\frac{(x_1 - x_2)}{(x_1 + x_2)/2} \times 100 \quad (2)$$

TABLA 1**Precisión de resultados de ensayo**

Instrumento	Coefficiente de Variación, v , %	Grados de Libertad	Diferencia Máxima Aceptable, %
Instrumento			
Intralaboratorio:			
Tipo IV	8,5	48	29,0
Tipo I	12,2	129	41,0
Tipo II			
Tipo III			
Total		177	
Instrumento			
Interlaboratorio:			
Tipo IV	8,7	20	25,5
Tipo I	20,6	58	58,7
Tipo II			
Tipo III			
Total		78	

ANEXO A1**PROBADOR DE ADHERENCIA DE ALINEAMIENTO FIJO, TIPO I****A1.1 EQUIPOS**

A1.1.1 Un probador portátil de alineamiento fijo como el mostrado en la Figura A1.1.

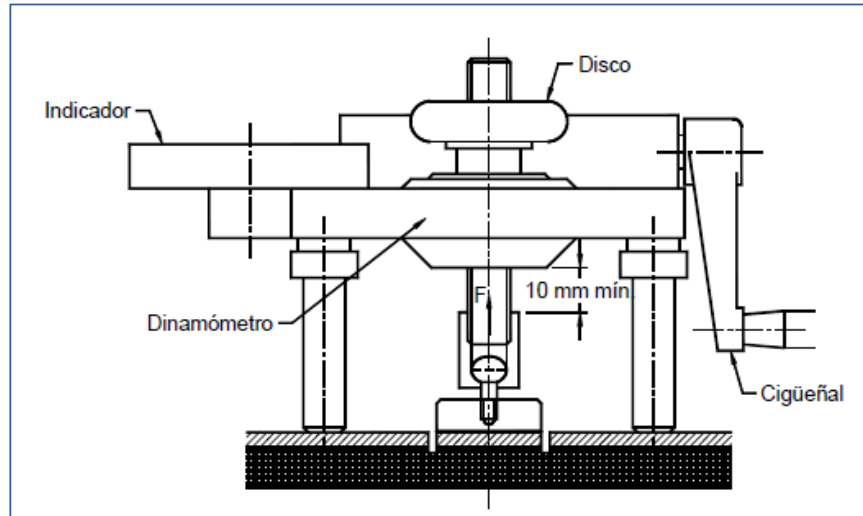


Figura A1.1 Probador de adherencia. Tipo I

A1.1.2 El probador está compuesto de un fijador de cargas de aluminio desarmable, de 50 mm (1,97 pulgadas) de diámetro, atornilladas con cabezas esféricas que se ajustan en el centro de un accesorio fijo. Una boquilla que mantiene la cabeza del tornillo, el manómetro, el dinamómetro, el disco y el cigüeñal durante el ensamblaje del ensayo.

A1.1.3 Se cuenta con probadores en cuatro modelos, con fuerzas de tensión máximas de 5 kN (1125 lb), 15 kN (3375 lb), 25 kN (5625 lb) y 50 kN (11250 lb), respectivamente. Para un accesorio que tenga un diámetro de 50 mm (1,97 pulgadas), un mecanismo de 5 kN corresponde al rango de 2,5 MPa (0 psi a 360 psi).

A1.2 PROCEDIMIENTO

A1.2.1 Seguir los procedimientos descritos en 5.1 y 5.2. En esta sección aparecen los procedimientos específicos para este instrumento.

A1.2.2 Primero presionar el botón "push" localizado a la izquierda del indicador, esto con el fin de ajustar en la marca el cero. Mientras se mantiene el botón oprimido, girar la perilla pequeña ubicada en la parte superior del indicador y ajustar en cero. Ajustar el cero después de ensayar presionando el botón "push".

A1.2.3 Después de ajustar un accesorio de carga al sustrato, insertar un tornillo con cabeza esférica en el centro del accesorio fijo. Colocar el equipo de ensayo sobre el elemento metálico. Luego empleando el disco, fijar la cabeza del tornillo esférico en la boquilla en la base del elemento metálico. Para una primera aproximación, dejar de atornillar el disco cuando el indicador del instrumento se desvíe del cero. Los ensayos se realizarán girando el cigüeñal. Después de cada ensayo, girar el cigüeñal en sentido contrario hasta que se detenga.

ANEXO A2

PROBADOR DE ADHERENCIA DE ALINEAMIENTO FIJO, TIPO II

A2.1 EQUIPOS

A2.1.1 Un probador portátil de alineamiento fijo como el mostrado en la Figura A2.1.

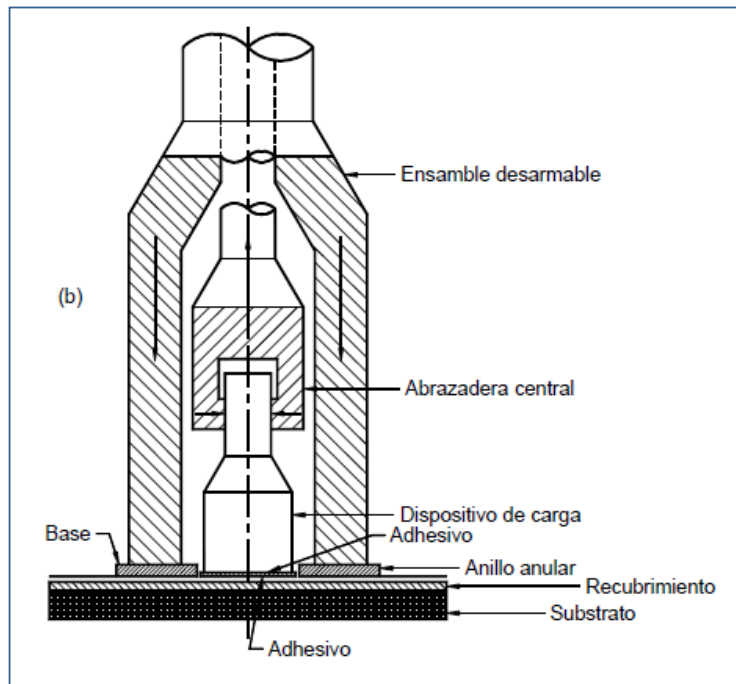


Figura A2.1 Probador de adherencia. Tipo II

A2.1.2 El probador está compuesto de un fijador de cargas de aluminio desarmable, con una base cónica que en un extremo tiene un diámetro 20 mm (0,8 pulgadas), para proteger el recubrimiento y en el otro extremo una cabeza circular en forma de tornillo T, un mango central para encajar el fijador de cargas, el cual es forzado a distancia por una base trípode, mediante la interacción de un disco manual (o tuerca) y un tornillo coaxial conectado a través de una serie de arandelas especiales (belleville), o resortes, en los últimos modelos, que actúan tanto para ayudar a la torsión y para que un resorte desplace el indicador de arrastre con respecto a la escala.

A2.1.3 La fuerza se indica midiendo el desplazamiento máximo del resorte cuando se somete a carga. Se recomienda tener cuidado para que el apoyo en el substrato no influya en la ubicación final o en la fuerza real aplicada por el arreglo del resorte.

A2.1.4 Se dispone de cuatro mecanismos: desde 3,5 MPa, 7,0 Mpa, 14 MPa y 28 MPa (0 psi a 500 psi, 0 psi a 1000 psi, 0 psi a 2000 psi, y de 0 psi a 4000 psi).

A2.2 PROCEDIMIENTO

A2.2.1 Centrar el anillo de apoyo sobre la superficie del recubrimiento concéntrico con el fijador de la carga. Girar, en el sentido de las manecillas del reloj, el disco manual o tuerca del probador, descendiendo el mango de manera que descansa sobre la cabeza del fijador de la carga.

A2.2.2 Alinear los tres cojines giratorios de la base trípode de modo que el instrumento hale perpendicularmente la superficie en el anillo apoyado. El anillo puede ser utilizado en substratos flexibles.

A2.2.3 Levantar la parte suelta entre varios miembros y ajustar el indicador a cero.



- A2.2.4 Mantener firmemente el instrumento con una mano sin dejar que la base se mueva o incline durante el ensayo. Con la otra mano girar, en el sentido de las manecillas del reloj, el disco manual con un movimiento lo más suave y constante posible. No tironear o exceder la tasa de tensión de 1 MPa/s (150 psi/s). Si se emplean los modelos de 14 Mpa o 28 Mpa (2000 psi o 4000 psi), el disco manual se reemplaza por una tuerca, la cual requiere de una llave para su ajuste. La llave se debe usar paralela al substrato de modo que el fijador de carga no se pueda remover por una fuerza de desgarre o por un alineamiento errado, dando resultados negativos. La tensión máxima se debe alcanzar en 100 s aproximadamente.
- A2.2.5 La fuerza de tracción aplicada al fijador de carga se incrementa hasta el máximo o hasta que el sistema falle. Bajo falla, la lectura se incrementa ligeramente, mientras el indicador mantiene la carga aparente. La escala del aparato indica directamente la tensión aproximada en libras por pulgada cuadrada, pero se puede comparar con una curva de calibración.
- A2.2.6 Registrar el valor mayor obtenido en las lecturas en la base del indicador.

ANEXO A3**PROBADOR DE ADHERENCIA DE AUTO-ALINEADO, TIPO III****A3.1 EQUIPOS**

A3.1.1 Un probador portátil de alineamiento fijo como el mostrado en la Figura A3.1.

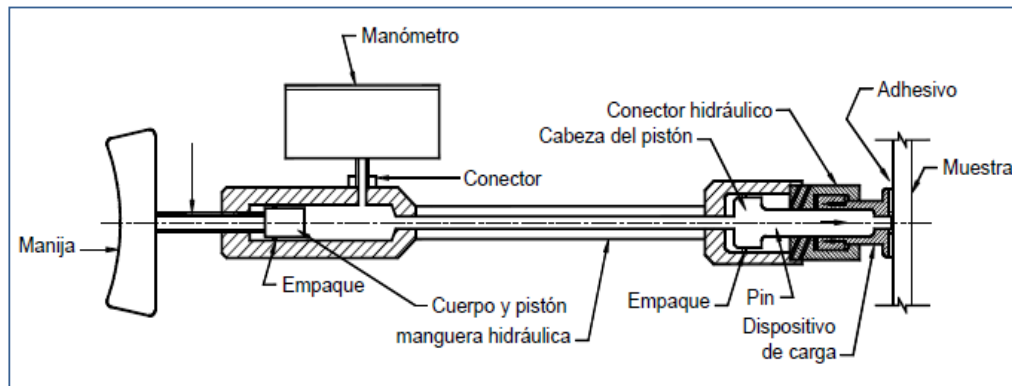


Figura A3.1 Probador de adherencia. Tipo III

A3.1.2 La carga se aplica a través del centro del dispositivo de carga por medio de un pistón hidráulico y un pin. El diámetro del agujero del pistón es de tamaño tal que el área del agujero sea igual al área neta del dispositivo de carga. Por lo tanto, la presión ejercida por el dispositivo es la misma que la presión en el agujero y esta se transmite directamente a un manómetro.

A3.1.3 La presión hidráulica máxima indicada en el manómetro corresponde a la fuerza puesto que las áreas efectivas del agujero y del dispositivo son las mismas.

A3.1.4 El aparato se compone de: un dispositivo de carga, de 19 mm (0.75 pulg.) de diámetro exterior, 3 mm (0.125 pulg.) de diámetro interior, pistón hidráulico y un pin mediante el cual la carga es aplicada al dispositivo de carga, manguera, manómetro, émbolo y mango roscados.

A3.1.5 Hay probadores disponibles en tres rangos patrones de trabajo: 0 MPa a 10 MPa (0 psi a 1500 psi), de 0 MPa a 15 MPa (0 psi a 2250 psi), de 0 MPa a 20 MPa (0 psi a 3000 psi). También se tienen disponibles formas especiales de dispositivos para secciones de ensayo tubulares.

A3.2 PROCEDIMIENTO

A3.2.1 Seguir los procedimientos descritos en 5.1 y 5.2. En esta sección se describen los procedimientos específicos para este instrumento.

A3.2.2 Insertar en el dispositivo un tapón de TFE-fluorocarbonado hasta que el extremo sobresalga de la superficie del dispositivo. Cuando se aplique el adhesivo sobre el dispositivo se debe evitar untar el tapón, luego de 10 s se retira el tapón.

A3.2.3 Asegurarse que el indicador marque cero. Ajustar el dispositivo de prueba a la cabeza y ajustar la presión girando el mango en el sentido de las manecillas del reloj hasta que el pin sobresalga del dispositivo. Disminuir la presión hasta cero y retirar el dispositivo de prueba.

A3.2.4 Ajustar a la cabeza del dispositivo para la prueba desplazando hacia atrás el anillo de presión apretando la cabeza y relajando el anillo. Asegurarse que el probador se mantenga en forma normal a la superficie a ser ensayada y que la manguera esté recta.

A3.2.5 Incrementar la presión lentamente girando el mango en el sentido de las manecillas del reloj hasta que la tensión sea la máxima o hasta que se presenta la falla.

ANEXO A4**PROBADOR DE ADHERENCIA DE AUTO-ALINEADO, TIPO IV****A4.1 APARATOS**

A4.1.1 Probador portátil de alineamiento fijo, que puede tener una fuente de presión autónoma y un sistema de medición que controle una variedad de ensambles desarmables con diferente rango de carga, como el mostrado en la Figura A4.1.

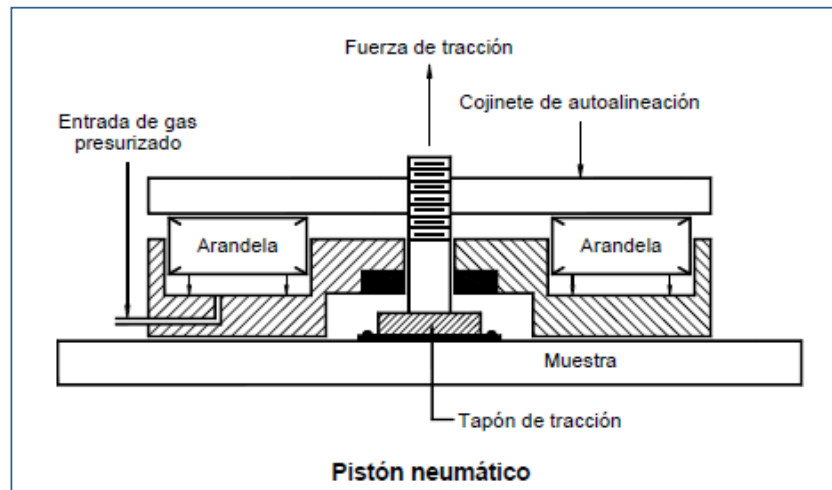


Figura A4.1 Probador de adherencia. Tipo IV

A4.1.2 Este aparato está compuesto de: (1) un fijador de carga que tiene una base cilíndrica plana con un diámetro de 12,5 mm (0,5 pulgada) en un extremo para ajustarse al recubrimiento de ensayo y un anillo empleado con el fijador de carga para fijar el área reproducible definida de adhesivo. El otro extremo del fijador de carga tiene tornillos de 3/8-16; (2) un mango central roscado para encajar el fijador de carga a través del centro del ensamblaje desarmable que es forzado a distancia por la interacción de un sello de autoalineado; y (3) un gas presurizado que entra al ensamblaje desarmable a través de una manguera flexible conectada a un controlador de tasa de presurización y un manómetro (o sensor electrónico).

A4.1.3 La fuerza se indica por la presión máxima del gas que regula el área activa del ensamblaje desarmable y que puede ser directamente calibrada.

A4.1.4 Hay probadores disponibles en seis rangos patrones en múltiplos de dos desde 3,5 MPa (0 psi a 500 psi) a 70 Mpa (10000 psi). También se encuentran disponibles fangos especiales.

A4.1.5 Hay tres modelos disponibles de módulos de control que controlan todos los rangos de ensamblajes desarmables.

A4.2 PROCEDIMIENTO

A4.2.1 Seguir los procedimientos descritos en 5.1 y 5.2. En esta sección aparecen los procedimientos específicos para este instrumento.

A4.2.2 Colocar el ensamblaje desarmable anular sobre el fijador ajustado al recubrimiento a ser ensayado, y encaje sin apretar el fijador por el mango central atornillado. Dejar al menos un espacio de 1,6 mm (1,16 pulgadas) entre el ensamblaje desarmable y la base del mango atornillado de modo que el sello pueda salir lo suficiente para autoalinearse cuando se presiona.

A4.2.3 Realizar las conexiones neumáticas adecuadas y abrir la válvula de flujo 1/4 de giro.

A4.2.4 Poner a cero el sistema de medición de la presión.



- A4.2.5 Presionar el botón de corrida para controlar el flujo del gas al ensamble desarmable y hacer el ajuste final de la válvula de flujo de modo que el flujo de carga no exceda de 1 Mpa/s (150 psi/s) aún alcance su máximo en 100 s.
- A4.2.6 Registrar tanto la presión máxima obtenida como el ensamble desarmable específico. La conversión a carga sobre el recubrimiento por 12 mm (1/2 pulgada) se encuentra en la tabla suministrada para cada ensamble.

ANEXO A5

PROBADOR DE ADHERENCIA DE AUTO-ALINEADO, TIPO V

A5.1 APARATOS

- A5.1.1 Un probador portátil de alineamiento fijo como el mostrado en la Figura A5.1.
- A5.1.2 Cabeza de dispositivo de carga de alineamiento fijo. La carga se distribuye uniformemente la fuerza de tracción sobre la superficie que es ensayada, para garantizar una tracción balaceada y perpendicular. El diámetro del dispositivo de carga estándar de 20 mm (0,78 pulgada) es igual al área del agujero de posición en el actuador. Por lo tanto, la presión ejercida por el dispositivo es la misma que la presión en el actuador y es transmitida directamente al manómetro. Las tablas de conversión y los cálculos son proporcionadas por los dispositivos de carga de 50 mm (1,97 pulgadas) y tamaños personalizados comunes de 10 mm y 14 mm (0,39 pulgada y 0,55 pulgadas respectivamente).
- A5.1.3 El aparato está compuesto de: un dispositivo de carga, de un diámetro de 20 mm a 50 mm (0,78 pulgadas y 1,97 respectivamente), mecanismo de encendido hidráulico mediante el cual la carga es aplicada al dispositivo, manómetro y bomba hidráulica.
- A5.1.4 El indicador en el manómetro indica la fuerza máxima.
- A5.1.5 Están disponibles probadores en dos rangos estándar de 0 Mpa a 7 MPa (0 psi a 1000 psi) con dispositivos de carga de 20 mm (0,78 pulgadas) y accesorios para acabados en materiales plásticos, metales y madera; de 0 Mpa a 21 MPa (0 psi a 3100 psi) con dispositivos de carga de 20 mm o 50 mm, o ambos, (0,78 pulgadas o 1,97 pulgadas, o ambos) y accesorios para recubrimientos en metales o concreto, o ambos. Están disponibles dispositivos de carga especiales, normalmente de 10 mm (0,39 pulgadas) y 14 mm (0,55 pulgadas), para su uso sobre superficies curvas y cuando se requieran presiones de tracción más altas.

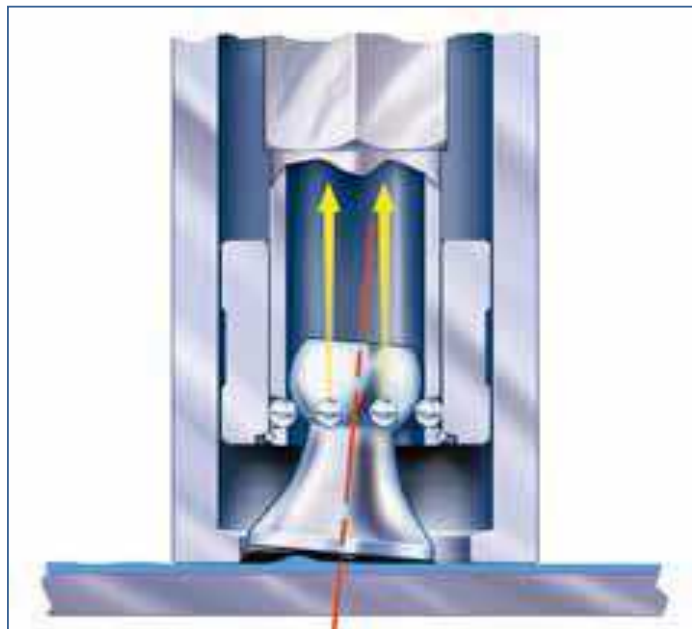


Figura A5.1 Probador de adherencia. Tipo V

A5.2 PROCEDIMIENTO

- A5.2.1 Seguir los procedimientos generales descritos en 5.1 y 5.2. En esta sección aparecen los procedimientos específicos para este instrumento.



- A5.2.2 Asegurarse de que la válvula de descarga de presión de la bomba esté completamente abierta. Girar el indicador de "arrastre" en el manómetro a cero. Empujar el mango del actuador completamente hacia abajo en el conjunto del actuador.
- A5.2.3 Colocar el conjunto del actuador sobre la cabeza del dispositivo de carga y pegar el acoplamiento rápidamente al dispositivo. Cerrar la válvula de descarga de presión de la bomba.
- A5.2.4 Asegurarse de que la bomba se encuentre bien apoyada en una superficie horizontal. Si es necesario colocar la bomba en una superficie vertical, posicionar la unidad de tal manera que la manguera de salida de la bomba este en la posición baja para evitar que el aire sea bombeado en el actuador. Continuar bombeando hasta que el indicador del manómetro se mueva. Continuar bombeando a una tasa uniforme de no más de 1 MPa/s (150 psi/s) hasta que el actuador arranque el dispositivo de carga del recubrimiento.
- A5.2.5 Inmediatamente después del arranque, abrir la válvula de descarga de presión en la bomba para liberar la presión. El indicador de "arrastre" en el manómetro mantendrá la lectura máxima de presión. Registrar la presión de tracción y marcar el dispositivo de carga para futuros análisis cualitativos.

MTC E 1230**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE RECUBRIMIENTOS
MEDIANTE LA CAÍDA DE UN ABRASIVO****1.0 OBJETO**

- 1.1 Este modo operativo establece un procedimiento para la determinación de la resistencia a la abrasión producida por la caída de un abrasivo sobre recubrimientos aplicados a una superficie plana rígida, tales como un panel de metal o de vidrio.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Determinar la resistencia a la abrasión de recubrimientos. El abrasivo se deja caer desde una altura especificada a través de un tubo guía sobre un panel recubierto, hasta que el sustrato se hace visible. La cantidad de abrasivo por película de espesor unitario se reporta como la resistencia a la abrasión del recubrimiento sobre el panel.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 968: Standard Test Methods for Abrasion Resistance of Organic Coatings by Falling Abrasive.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Probador de abrasión. Como el que se ilustra en la Figura 01 y la Figura 02. Cerca del extremo superior del tubo guía se encuentra una puerta por la que se inicia el flujo de abrasivo. Consiste en un disco metálico insertado en una abertura a un lado del tubo guía, con un collarín que cubre la abertura. El tubo guía debe estar firmemente apoyado en posición vertical sobre un receptáculo adecuado que debe contener un soporte para sostener el panel recubierto en un ángulo de 45° en relación con la vertical. La abertura del tubo está directamente por encima del área que se va a someter a abrasión y la distancia desde el tubo a la cara de la superficie recubierta en el punto más cercano sea de 25 mm (1 pulgada) al medirla en dirección vertical. La base del aparato se debe ajustar con tornillos para alinear apropiadamente el equipo. El probador de abrasión para su óptima funcionalidad debe estandarizarse, de la siguiente manera:

- a) Verter una cantidad de arena estándar en el embudo y examinar el flujo de arena que cae desde el extremo inferior del tubo guía. Alinear el aparato por medio de los tornillos de ajuste en la base, hasta que el núcleo interior concentrado de la corriente de arena caiga en el centro del flujo cuando se observa en dos posiciones a 90° una de otra. Introducir un volumen de arena medido (2000 mL ± 10 mL es una cantidad conveniente) y determinar el tiempo de salida. La tasa de flujo debe ser de 2 L de arena en 21 s a 23,5 s.
- b) Asegurar un panel de prueba en la posición de ensayo, como se describe en 4.1.1, e introducir la arena por incrementos hasta que se forme un punto de desgaste de 4 mm (5/32 pulgadas) hasta el material de base. El área desgastada total debe tener forma elíptica, de aproximadamente 25 mm (1 pulgada) de ancho y 30 mm (1 ¼ pulgadas) de longitud. El centro del área de abrasión máxima debe estar en la línea central a través del eje más largo del patrón desgastado y dentro de 14 mm a 17 mm (9/16 pulgadas a 11/16 pulgadas) del borde superior. Puede ser necesario ajustar ligeramente el aparato para centrar el punto de abrasión en el patrón. Se puede hacer una verificación final de la alineación determinando la cantidad de arena que pasa a través de un orificio de 4 mm (5/32 pulgadas) en un panel metálico colocada directamente debajo del tubo. Colocar un recipiente debajo del agujero en el panel y dejar que una cantidad de arena pesada pase a través del tubo sobre el panel. Pesarse la cantidad de arena que pasa a través del orificio al recipiente. Se puede considerar que el aparato está estandarizado

si la cantidad de arena que pasa a través del orificio es del 90 % a 93 % de la cantidad de arena que chocó sobre el panel.

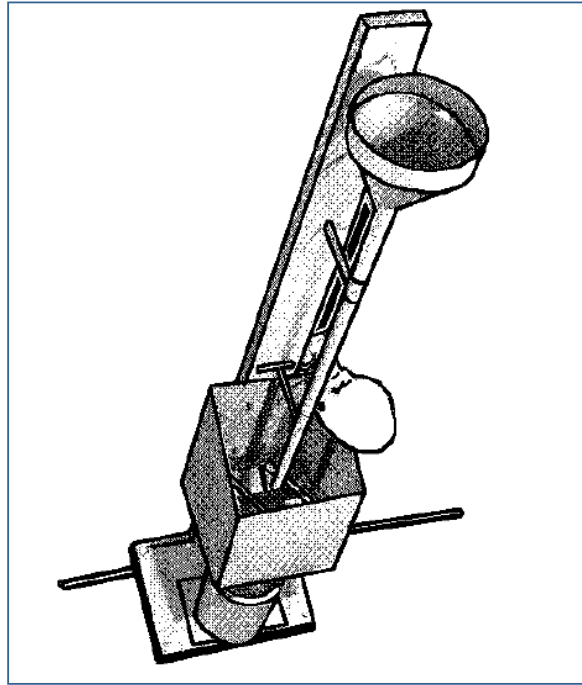


Figura 1 Aparato para el ensayo de abrasión por caída de arena

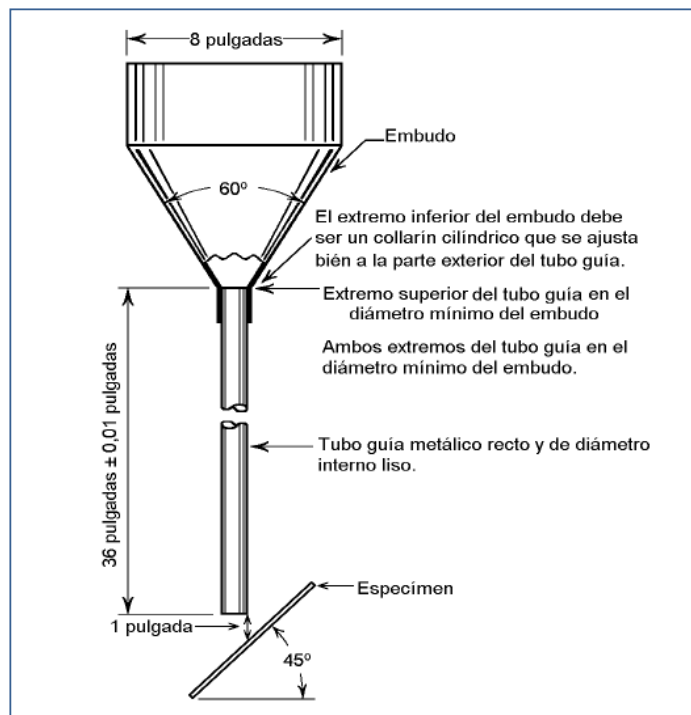


Figura 2 Detalles de diseño del aparato para ensayo de abrasión

4.2 MATERIALES

4.2.1 Abrasivo Estándar. La arena de sílice natural de los depósitos de arenisca de St. Peters o Jordan (localizados en el centro de los Estados Unidos) se debe considerar estándar cuando después de 5 minutos de tamizado continuo se obtiene la gradación siguiente:

- 0 % retenido en un tamiz No. 16 (1,18 mm)
- Un máximo de 15 % retenido en un tamiz No. 20 (850 μ m)
- Un mínimo de 80 % retenido en un tamiz No. 30 (600 μ m)
- Un máximo de 5 % pasando un tamiz No. 30 (600 μ m).

La arena se caracteriza por su redondez de granos y tiene un contenido de dióxido de silicio superior al 99 %.

5.0 MUESTRA

5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con espátula de madera o agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.
- 6.1.2 Realizar los ensayos en ambiente con temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $50\% \pm 5\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PREPARACIÓN DEL SUBSTRATO

- 6.2.1 Aplicar capas uniformes del material que se va a ensayar, a una superficie plana y rígida tal como un panel de metal o vidrio. Preparar un mínimo de dos paneles recubiertos para el material.
- 6.2.2 Curar los paneles recubiertos bajo las condiciones de humedad y temperatura acordadas entre las partes interesadas.
- 6.2.3 A menos que se acuerde algo diferente entre las partes interesadas, los paneles de ensayo recubiertos se acondicionan mínimo durante 24 h a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa del $50\% \pm 5\%$. El ensayo se realiza en el mismo ambiente o inmediatamente después de retirarlos de él.

6.3 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.3.1 Marcar en cada panel recubierto tres áreas circulares, cada una de aproximadamente 25 mm (1 pulgada) de diámetro, y dispuestas de manera que se puedan colocar adecuadamente en el soporte del panel del probador de abrasión. Medir el espesor del recubrimiento mediante los modos operativos descritos en este manual en al menos tres partes en cada área. Registrar la media de cada grupo de mediciones como el espesor del recubrimiento sobre el área respectiva.
- 6.3.2 Después del acondicionamiento, asegurar el panel recubierto en el probador tal como está descrito en 4.1.1. Ajustar el panel de manera que una de las áreas marcadas quede centrada debajo del tubo guía. Verter en el embudo la arena estándar medida volumétricamente. Retirar la puerta y dejar que la arena fluya a través del tubo guía y choque contra el panel recubierto. La arena se recoge en un recipiente localizado en la parte inferior del probador. Repetir esta operación hasta que se haya abrasionado un área de recubrimiento de 4 mm (5/32 pulgadas) de diámetro hasta el substrato. Un incremento conveniente de arena para este ensayo es de $2000\text{ mL} \pm 10\text{ mL}$. A medida que se acerca el punto final, se pueden introducir al embudo incrementos de $200\text{ mL} \pm 2\text{ mL}$.

- 6.3.3 Abrasionar cada una de las áreas marcadas restantes del panel recubierto, según se esboza en 6.2.2.

Comprobar la alienación del tubo guía a intervalos frecuentes para asegurar que el núcleo interior concentrado de la corriente de arena cae en el centro del flujo.

Después de 25 pasadas a través del aparato, pasar nuevamente la arena por un tamiz Nº 30 para retirar las partículas finas. La arena se reemplaza después de 50 pasadas.

- 6.3.4 Repetir lo establecido desde 6.2.1 a 6.2.3 mínimo en un panel adicional recubierto con el material que se ensaya.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Resistencia a la abrasión: Para cada área del panel recubierto ensayado calcular la resistencia a la abrasión, A , en litros por mil, a partir de la siguiente ecuación:

$$A = V/T \quad (1)$$

Donde:

V = Volumen de abrasivo usado, L (con una cifra decimal)

T = Espesor del recubrimiento, mils (con una cifra decimal)

Calcular la media de los valores de resistencia a la abrasión obtenidos por áreas diferentes del panel recubierto y el valor medio de los paneles por duplicado.

- 7.1.2 Volumen de abrasivo: Para cada área el panel ensayado determinar el volumen de abrasivo usado. Calcular la media de los valores de volumen de abrasivo empelado por áreas diferentes del panel recubierto y el valor medio de los paneles por duplicado.

7.2 INFORME

- 7.2.1 Para cada panel ensayado reportar la información siguiente:

- La temperatura y humedad durante el curado y en el momento del ensayo
- Tipo y fuente del abrasivo.
- Litros de abrasivo usado para cada área ensayada.
- Espesor del recubrimiento en mils por cada área ensayada.
- Valores de resistencia a la abrasión para cada área ensayada, en caso este especificado su cálculo.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Repetibilidad. Dos resultados, cada uno la media de tres ensayos, obtenidos por el mismo operador deberán ser considerados dudosos si ellas difieren en más del 25 % de su valor medio, en un nivel de confianza del 95 %.

- 8.2 Reproducibilidad. Dos resultados, cada uno la media de tres ensayos, obtenidos por operadores en diferentes laboratorios deberán ser considerados dudosos si ellos difieren en más del 118 % de su valor medio, en un nivel de confianza del 95 %.

MTC E 1231

DETERMINACION DEL TIEMPO SE SECADO, CURADO Y FORMACION DE PELICULA

1.0 OBJETO

- 1.1 Definir los métodos para la determinación de las diferentes etapas y de las velocidades de formación de película, en el secado o curado de recubrimientos orgánicos usados normalmente en condiciones de temperatura ambiente.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Después de aplicar una capa o película del producto que se ha de ensayar sobre un sustrato, se producen una serie de complejas transformaciones físico-químicas por las que dicha película pierde fluidez y pasa del estado líquido a constituirse en una película sólida, más o menos elástica y adherida al sustrato.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 UNE 48031: Pinturas y barnices. Tiempos de secado al tacto y total.
- 3.2 ASTM D 1640: Standard Test Methods for Drying, Curing, or Film Formation of Organic Coatings at Room Temperature.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

- 4.1 EQUIPOS
 - 4.1.1 Paneles de vidrio. Con unas dimensiones de 200 mm x 100 mm.
 - 4.1.2 Cronometro. Con una exactitud de ± 1 s.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO
 - 6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con espátula de madera o agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.
 - 6.1.2 Realizar todos los ensayos de secado en una cámara o cuarto bien ventilados pero sin corrientes directas de aire, polvo productos de la combustión, ni humos de laboratorio, y bajo una luz difusa (ver 5.4). Hacer todas las mediciones a una temperatura de $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ y $50 \text{ } \%\pm 5 \text{ } \%$ de humedad relativa con los paneles recubiertos en posición horizontal mientras se secan.
 - 6.1.3 Los ensayos deben realizarse a viscosidades prácticas a las cuales las películas se puedan aplicar al espesor de película apropiado con buenas propiedades resultantes de flujo y de nivelación. En ausencia de cualquier especificación del material específico, las instrucciones para la preparación de la película deben establecerse por mutuo acuerdo entre el cliente y el proveedor.
 - 6.1.4 Las películas que se van a evaluar deben tener un espesor practico medible, con características de desempeño esperadas bajo el uso real para el tipo de ensayo. Todos los ensayos deben efectuarse dentro de un área, en cualquier punto que no esté a menos de 15 mm del borde de la película.
 - 6.1.5 Condiciones de iluminación. Las condiciones de iluminación de las películas durante todo el periodo de ensayo de secado son las del laboratorio normal o provenientes de fuentes de iluminación natural, nunca debe ser luz directa del sol u otras fuentes de energía radiante alta en no-visibles.

6.2 PREPARACION DEL SUBSTRATO

6.2.1 Cada vez que se van a realizar ensayos sobre recubrimientos no incluidos en la Tabla 1, deberá haber un acuerdo previo entre el comprador y el proveedor en aspectos como el substrato, el espesor de película, y el método de aplicación para el ensayo de los recubrimientos específicos involucrados.

Tabla N° 1

Espesores de película recomendados de materiales para evaluar ^A

Material	Espesor de Película Seca en μm (mils)
Barnices	25 ± 2 ($1 \pm 0,1$)
Lacas	$12,5 \pm 2$ ($0,5 \pm 0,1$) (Ver 7.5.2)
Soluciones de resina	$12,5 \pm 2$ ($0,5 \pm 0,1$)
Esmaltes	$36,5 \pm 6$ ($1,5 \pm 0,25$)
Pinturas base aceite	$45 \pm 2,5$ ($1,8 \pm 0,2$) (Ver 6.1.2)
Pinturas base agua	25 ± 2 ($1 \pm 0,1$)

^A Esta tabla es una guía general para usar cuando no se haya acordado algo más específico entre las partes interesadas.

6.2.2 Todos los especímenes de ensayo se deben preparar y ensayar por un operador que posea la destreza apropiada en los métodos que se van a usar. Aplicar los especímenes por duplicado, en el tiempo acordado, de tal manera que los intervalos del análisis estén dentro de la jornada de trabajo normales del operador.

6.2.3 Aplicar los materiales que se van a ensayar sobre paneles de vidrio limpios u otro substrato específico de dimensiones adecuadas acordadas entre el cliente y el proveedor. Las láminas de vidrio ásperas son más adecuadas para cierto tipo de recubrimientos que tienden a arrugarse tales como aceites de baja viscosidad. Las láminas adecuadas pueden prepararse volviendo áspera la superficie del vidrio pulido mediante frotamiento de una pasta de carburo de silicio (arena 1-F) y agua entre dos láminas de vidrio.

6.2.4 Preferiblemente las películas de ensayo se deben extender con aplicador tipo Doctor Blade que tenga una apertura suficiente para dar el espesor de película seca recomendado en la Tabla 1. Cuando no hay disponible un aplicador tipo Doctor Blade adecuado, o se ha acordado aplicar la película de otra manera, se pueden emplear diversos métodos convencionales y automáticos de rociado, goteo, flujo y aplicación con brocha, procurando un espesor de película seca que cumpla con los requisitos de la Tabla 1.

6.2.5 El espesor de película seca de las películas de ensayo se debe medir con un medidor de espesor de película apropiado. Este debe ser un micrómetro, un comparador de caratula, o un indicador de caratula. Cuando se utilizan láminas de área pequeña, la medición del espesor de la película seca se puede hacer pesando las láminas antes y después del recubrimiento y se hace el cálculo del área de la lámina y de los sólidos de recubrimiento.

6.3 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

6.3.1 Tiempo de secado al tacto. Para determinar el tiempo para seco al tacto, tocar suavemente la película de ensayo con la punta limpia del dedo e inmediatamente colocar la punta del dedo contra un pedazo de vidrio limpio y transparente. Observar si hay cualquier transferencia del recubrimiento al vidrio. Para los propósitos de este ensayo, la presión de la punta del dedo contra la película no debe ser mayor que la requerida para dejar una huella de 3 mm a 5 mm

de sección transversal. La película se considera seca al tacto cuando muestra un aspecto pegajoso, pero nada de ella se adhiere al dedo.

- 6.3.2 Tiempo de ausencia de polvo (Método de ensayo de la fibra de algodón). Separar algunas fibras individuales de una porción de algodón absorbente con la ayuda de pinzas. A intervalos de secado regulares, dejar caer sobre la película varias de las fibras de algodón desde una altura de 25 mm (1 pulgada) sobre una sección marcada de la película. Considerar que la película ha secado libre de polvo cuando las fibras de algodón se puedan eliminar soplando suavemente sobre la superficie de la película.
- 6.3.3 Tiempo de secado duro. Con la punta del pulgar sobre la película y el dedo índice apoyada sobre la película, ejercer una presión máxima descendente sobre la película sin girar el pulgar. Lustrar suavemente el área de contacto con una tela suave. Considerar el secamiento de la película para seco-duro, cuando cualquier marca dejada por el pulgar se quita completamente lustrando el área.
- 6.3.4 Tiempo de secado total (seco al manejo). Colocar la lámina de ensayo en posición horizontal y a una altura tal que cuando el pulgar del operador se coloque sobre la película, su brazo quede en posición vertical desde la muñeca hasta el hombro. Empujar el dedo pulgar sobre la película ejerciendo la máxima presión del brazo, mientras gira en ángulo de 90° en el plano de la película. La película se considera seca total o seca al manejo cuando no hay pérdida, desprendimiento, arrugamiento, o ninguna otra distorsión en ella.
- 6.3.5 Seco para repintado. Una película se considera seca para repintado, cuando se puede aplicar una segunda capa de recubrimiento u otro recubrimiento especificado, sin que se desarrollen irregularidades en la película, tales como levantamiento o pérdida de adhesión de la primera capa, y el tiempo de secado para la segunda capa no excede el máximo especificado (si lo está) para la primera capa.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Los resultados se deben expresar en horas y minutos.
- 7.1.2 Se sugiere que los intervalos de ensayo (frecuencia de ensayo) se ajusten a periodos de aproximadamente el 10 % del total del tiempo del ensayo. Si varía considerablemente la frecuencia del intervalo del 10 % o los intervalos de tiempo son imprácticos, se deben reportar en el informe los intervalos usados.

7.2 INFORME

- 7.2.1 El informe del ensayo debe incluir la siguiente información:
 - a) Referencia a este modo operativo.
 - b) Identificación de la muestra ensayada.
 - c) Método de aplicación de la muestra.
 - d) Naturaleza del sustrato y preparación de superficie del mismo.
 - e) Espesor de la película seca ensayada y método de medición empleado.
 - f) Resultado del ensayo.
 - g) Cualquier desviación respecto a lo especificado en este modo operativo.
 - h) Fecha del ensayo.



8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Debido a la naturaleza subjetiva del ensayo del tiempo de secado, el acuerdo que se debe esperar entre laboratorios depende de su comprensión de las condiciones usadas, y no se puede establecer con certeza. Dentro de cualquier laboratorio, el acuerdo depende del material que se ensaya, ya que algunos recubrimientos son más engañosos en su punto final que otros, pero las determinaciones por duplicado deben estar dentro del 10% del tiempo de secado.

MTC E 1232**DETERMINACION DE LA ADHERENCIA MEDIANTE EL ENSAYO DE LA CINTA CORTE EN X****1.0 OBJETO**

- 1.1 Evaluación de la adherencia de las películas de recubrimientos a los sustratos metálicos, mediante la aplicación y el retiro de cinta adhesiva sensible a la presión sobre cortes hechos en la película.

Este modo operativo se utiliza para establecer si la adherencia de un recubrimiento a un sustrato tiene un nivel adecuado. No distingue entre niveles más altos de adherencia, para los cuales se requieren métodos sofisticados de medición. Se debe reconocer que las diferencias en la capacidad de adherencia de la superficie del recubrimiento, puede afectar los resultados obtenidos con recubrimientos que tengan la misma adherencia inherente. En sistemas de recubrimientos multicapa, la adherencia puede fallar entre capas, de tal manera que no se determina la adherencia del sistema del recubrimiento al sustrato.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Determinar si la fijación de una película de un recubrimiento, es adecuada para que permanezca adherida a una superficie, impidiendo así el paso de agentes agresivos a la superficie del sustrato. Para que un recubrimiento cumpla con su función de proteger o decorar un sustrato, debe adherirse a éste durante todo el periodo de vida útil. Debido a que el sustrato y la preparación de la superficie (o falta de esta), tienen un efecto drástico sobre la adherencia del recubrimiento, es muy útil para la industria disponer de un método para evaluar la adherencia de un recubrimiento en diferentes sustratos o tratamientos de superficie, o de diferentes recubrimientos al mismo sustrato y tratamiento.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 3359. Standard Test Method for Measuring Adhesion by Tape Test.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Herramienta de corte. Cuchilla afilada, escalpelo, cuchillo u otro instrumento de corte. Es particularmente importante que los bordes cortantes estén en buena condición.
- 4.1.2 Guía del corte. Regla de acero u otro metal duro, para garantizar cortes rectos.
- 4.1.3 Cinta adhesiva. Se necesita una cinta adhesiva sensible a la presión, semitransparente, de 25 mm de ancho, cuya fuerza de adherencia haya sido acordada por las partes interesadas. A causa de la variabilidad en la fuerza de adherencia con el tiempo y de un lote a otro, es esencial que se use cinta de un mismo lote cuando se vayan a realizar ensayos en laboratorios diferentes. Si esto no es posible, el modo operativo sólo debe ser usado para calificar una serie de recubrimientos para ensayo
- 4.1.4 Borrador de goma. En el extremo de un lápiz.
- 4.1.6 Iluminación. Una fuente de luz es útil para determinar si los cortes en la película han sido hechos hasta el sustrato.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido, probetas pintadas o estructuras.

6.0 PROCEDIMIENTO**6.1 PREPARACION DEL ENSAYO**

- 6.1.1 En el caso de muestras en estado líquido, mezclar cuidadosamente la muestra a ser ensayada, con espátula de madera o agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.

6.1.2 Cuando este modo operativo sea empleado en laboratorio, realizar los ensayos en ambiente con temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $60\% \pm 10\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PREPARACION DEL SUBSTRATO

6.2.1 Cuando este modo operativo sea usado en el campo, la probeta es la estructura o artículo recubierto, sobre el cual se va a evaluar la adherencia.

6.2.2 Para uso en laboratorio aplicar las muestras que se van a ensayar, a paneles con las mismas condiciones de composición y superficie en las cuales se desea determinar la adherencia. Los recubrimientos deben ser aplicados de acuerdo con lo estipulado en el presente manual o según acuerdo previo entre las partes interesadas.

6.3 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

6.3.1 Seleccionar un área libre de defectos e imperfecciones superficiales menores. Para ensayos en campo, se debe garantizar que la superficie esté limpia y seca. La temperatura o humedad relativa extrema pueden afectar la adherencia de la cinta al recubrimiento.

Para probetas que han sido sumergidos: después de la inmersión, limpiar y frotar la superficie con un solvente apropiado que no dañe la integridad del recubrimiento. Luego secar o preparar la superficie, o ambas cosas, según acuerdo previo.

6.3.2 Hacer dos cortes en la película, cada uno de aproximadamente 40 mm (1,5 pulg.) de largo, que se interceptan cerca de su punto medio, de forma que el ángulo más pequeño tenga entre 30° y 45° . Al hacer las incisiones, usar la regla y cortar el recubrimiento hasta el sustrato con un movimiento firme y estable.

6.3.3 Inspeccionar las incisiones para ver la reflexión de la luz proveniente del sustrato metálico, con el fin de establecer que la película de recubrimiento haya sido penetrada. Si el sustrato no ha sido alcanzado, hacer otra X en un lugar diferente. No se debe intentar profundizar un corte previo, ya que esto puede afectar la adherencia a lo largo de la incisión.

6.3.4 En cada día de ensayo, antes de iniciar el ensayo, retirar dos vueltas completas de cinta del rollo y desecharla. Retirar una longitud adicional a una velocidad constante (es decir, sin tirones bruscos) y cortar un pedazo de aproximadamente 75 mm de largo.

6.3.5 Colocar el centro de la cinta en la intersección de los cortes, con la cinta en la misma dirección de los ángulos más pequeños. Alisar la cinta con un dedo en área de las incisiones y luego frotar firmemente con el borrador del extremo de un lápiz. El color que queda bajo la cinta transparente es un buen indicador de cuándo se la logrado un buen contacto.

6.3.6 Dentro de un periodo de $90\text{ s} \pm 30\text{ s}$ después de la aplicación, retirar la cinta tomándola por el extremo libre y halándola hacia atrás rápidamente (sin tirones bruscos), a un ángulo lo más cercano posible a 180° .

6.3.7 Inspeccionar el área de corte en X para verificar si el recubrimiento se ha desprendido del sustrato o de un recubrimiento previo, y el grado de adherencia de acuerdo con la siguiente escala:

5A No hay peladuras o desprendimiento.

4A Rastros de peladura o desprendimiento a lo largo de las incisiones o en su intersección.

3A Desprendimiento irregular a lo largo de las incisiones hasta de 1,6 mm en alguno de los lados.

2A Desprendimiento irregular a lo largo de la mayoría de las incisiones hasta de 3,2 mm en alguno de los lados.

1A Desprendimiento de la mayor parte del área de la X bajo la cinta, y

0A Desprendimiento más allá del área de la X.

- 6.3.8 Repetir el ensayo en otros dos puntos de cada panel de ensayo. Para estructuras grandes, se deben efectuar los ensayos suficientes para garantizar que la evaluación de la adherencia es representativa de toda la superficie.
- 6.3.9 Después de efectuar varios cortes, examinar el borde de la herramienta de corte y, si es necesario, eliminar cualquier deformación o pérdida de filo, puliendo el borde suavemente en una piedra de afilar fina antes de volver a usarla. Descartar las herramientas de corte desgastadas o con otros defectos que puedan rasgar la película.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Expresar los resultados como la media de los valores obtenidos en el ensayo.

7.2 INFORME

- 7.2.1 El informe del ensayo debe incluir, al menos, la siguiente información:
- El número de ensayos, su media y rango y, para sistemas de recubrimiento, en dónde ha ocurrido la falla, es decir, entre la primera capa y el sustrato, entre la primera y segunda capa, etc.
 - Para ensayos de campo reportar la estructura o el artículo ensayado, la ubicación y las condiciones ambientales en el momento del ensayo.
 - Para paneles de ensayo reportar el sustrato empleado, el tipo de recubrimiento, el método de curado, y las condiciones ambientales en el momento del ensayo.
 - La cinta específica usada y su fabricante.
 - Si el ensayo es realizado después de la inmersión, reportar las condiciones de inmersión y el método de preparación de la muestra.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Repetitividad. Si la adherencia es uniforme en una superficie grande, los resultados obtenidos por el mismo operador deberán ser considerados dudosos si ellos difieren en más de una unidad de acuerdo con la escala de calificación, para dos mediciones, con un nivel de confianza de 95 %.
- 8.2 Reproducibilidad. Dos resultados, cada uno de la media de ensayos por triplicado, obtenidos por diferentes operadores, deberán ser considerados dudosos si ellos difieren en más de 1,5 unidades de acuerdo con la escala de calificación, con un nivel de confianza de 95 %.

MTC E 1234

DETERMINACION DE LA MATERIA NO VOLATIL EN VOLUMEN

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer un procedimiento práctico para el cálculo de la materia no volátil en volumen, de un material recubierto. Este modo operativo puede ser usado tanto por productores así como consumidores de recubrimientos como un control del proceso y para la aceptación del producto.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este modo operativo tiene como intención proporcionar una medida del volumen de recubrimiento seco que se puede obtener de un determinado volumen de recubrimiento líquido. Este valor es útil para comparar el cubrimiento (milímetros (pies) cuadrados de superficie cubierta a un espesor de película seca especificado por volumen unitario) que se puede obtener con diferentes productos de recubrimientos.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 2697: Standard Test Method for Volume Nonvolatile Matter in Clear or Pigmented Coatings.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza analítica.
- 4.1.2 Disco de acero. Preferiblemente de acero inoxidable, con un diámetro de 60 mm (2 3/8 pulgadas) y 0,65 mm (calibre 22) de espesor, con un pequeño orificio cerca de la circunferencia, a través del cual se fija un fino alambre, tal como Chromel A, 0,32 mm (calibre 28) de espesor y se le da una longitud apropiada para suspender el disco en un líquido. El alambre debe tener un pequeño bucle en el extremo superior de modo que el disco y alambre puedan colgarse mediante este bucle en la balanza.
- 4.1.3 Contrapeso. Para ser colocado sobre el estribo de la balanza, después de retirar el arco del soporte y el platillo.
- 4.1.4 Vaso de precipitados de 1 litro. Para facilitar la manipulación al pesar el disco en el líquido, es aconsejable recortar el vaso a una altura de 115 mm (4 1/2 pulgadas).
- 4.1.5 Soporte. Para sostener el vaso de precipitados debajo el estribo de la balanza sin que presione el amortiguador del platillo que se encuentra en el piso la balanza. Cuando se emplea una balanza de platillo simple, se puede utilizar un anillo de corcho o de neopreno.
- 4.1.6 Copa peso por galón. U otro medio adecuado, para determinar la densidad del material de recubrimiento y, de los líquidos de suspensión, si no se conoce.

4.2 INSUMOS

- 4.2.1 Líquido para realizar las pesadas en inmersión, de tipo y densidad convenientes. El líquido de inmersión puede ser agua o un producto orgánico tal como un hidrocarburo de bajo poder disolvente.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 PREPARACION DEL ENSAYO

- 6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con una espátula de madera o de agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.
- 6.1.2 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ y humedad relativa de $60\% \pm 10\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.2.1 Determinar el volumen de los discos desnudos, de la siguiente manera:
 - a) Secar el disco y el alambre en un horno a $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ durante 10 minutos. Enfriar y pesar el disco en el aire.
 - b) Pesar el disco en el líquido elegido para suspensión del disco recubierto. Si se emplea agua como líquido de suspensión, se debe adicionar unas gotas de agente humectante para ayudar a la humectación rápida y completa del disco. Se debe tener cuidado de evitar la formación de burbujas de aire sobre el disco o el alambre. Marcar en el vaso de precipitados de 1 litro, el nivel del líquido necesario para inmersión completa del disco, el cual deberá estar al menos a 20 mm (3/4 pulgadas) por encima del disco. Mantener este nivel en posteriores pesadas cuando el disco esté recubierto.
 - c) Registrar la temperatura del líquido. Obtener la densidad del líquido a la temperatura usada, por medio de una tabla, o se determina para 0,001 g/mL.
 - d) Calcular el volumen del disco, G, en mililitros mediante la siguiente ecuación:

$$G = (w_1 - w_2) / D \quad (1)$$

Donde:

w_1 = Peso del disco en el aire, g.

w_2 = Peso del disco en el líquido, g.

D = Densidad del líquido a la temperatura de ensayo, g/mL.

- 6.2.2 Tomar una muestra representativa del recubrimiento líquido. Mezclar por completo antes de tomar los especímenes para ensayos individuales.
- 6.2.3 Determinar el peso de materia no volátil del recubrimiento líquido, secándolo por 1 hora a una temperatura de $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ de acuerdo al modo operativo MTC E 1236, o su equivalente. Si no se aplica este modo operativo, entonces el método a utilizar debe ser acordado por las partes interesadas.
- 6.2.4 Determinar con aproximación a 0,001 g/mL, la densidad del recubrimiento líquido de acuerdo con el modo operativo MTC E 1203, o su equivalente.
- 6.2.5 Sumergir el disco en el recubrimiento líquido y dejar que el líquido llegue a una altura de 5 mm a 15 mm por encima del disco. Dejar aproximadamente 10 minutos hasta que drene completamente y limpiar el material de recubrimiento del borde inferior del disco de modo que las perlas o gotas no se sequen en el borde inferior del disco.
- 6.2.6 Cuando cesa la formación de perlas o gotas, suspender el disco en el horno durante 1 hora a una temperatura de 110 °C (Si no se aplica este modo operativo, entonces el método a utilizar debe ser acordado por las partes interesadas). Retirar y enfriar. Pesar el disco en el aire.
- 6.2.7 Pesar el disco recubierto el medio elegido de la misma forma que el disco sin recubrimiento, registrando la temperatura del líquido en el momento del ensayo.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcular el volumen del disco recubierto, H, en mililitros, mediante la siguiente ecuación:

$$H = (w_3 - w_4) / D \quad (2)$$

Donde:

w_3 = Peso del disco recubierto en el aire, g.

w_4 = Peso del disco recubierto en el líquido, g.

D = Densidad del líquido a la temperatura de ensayo, g/mL.

7.1.2 Calcular el volumen del recubrimiento seco, F , en mililitros mediante la siguiente ecuación:

$$F = H - G \quad (3)$$

7.1.3 Calcular el volumen del recubrimiento húmedo, V , en mililitros, a partir del cual se obtuvo el recubrimiento seco, mediante la siguiente ecuación:

$$V = (w_3 - w_1) / (w \times \rho) \quad (4)$$

Donde:

w = Peso de material no volátil en 1 g del recubrimiento húmedo, g.

ρ = Densidad del material de recubrimiento líquido.

7.1.4 Calcular el porcentaje de contenido en volumen de no volátiles en un recubrimiento líquido mediante la siguiente ecuación:

$$(F / V) \times 100 \quad (5)$$

7.2 INFORME

7.2.1 En el informe final se hará constar:

- a) Referencia a este modo operativo.
- b) Tipo e identificación de la muestra.
- c) Líquido de inmersión empleado.
- d) Temperatura de ensayo.
- e) Toda modificación en el método respecto a lo especificado en este modo operativo.
- f) Condiciones de secado, de no ser el especificado.
- g) Resultado según 7.1.4.
- h) Fecha de realización del ensayo.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 Repetitividad. Dos resultados, cada uno del promedio de los duplicados, obtenidos por el mismo operador en diferentes días deberán ser considerados dudosos si ellos difieren en más del 1,32 % absoluto en contenido volumétrico de no volátiles de 24 % a 35 %, a un nivel de confianza del 95 %.

8.2 Reproducibilidad. Dos resultados, cada uno del promedio de los duplicados, obtenidos por operadores en diferentes laboratorios deberán ser considerados dudosos si ellos difieren en más del 3,59 % absoluto en los mismos niveles, a un nivel de confianza del 95 %.

MTC E 1235

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL CONGELAMIENTO – DESCONGELAMIENTO

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer un procedimiento para la evaluación del efecto de los ciclos de congelamiento/descongelamiento en la viscosidad y las propiedades visuales de película de recubrimientos base agua.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Determinar los efectos de los ciclos de congelamiento/descongelamiento en un recubrimiento. Cuando los recubrimientos base agua son transportados durante clima frío, pueden experimentar ciclos de congelamiento y descongelamiento. Los ciclos de congelamiento y descongelamiento causan más daño a los recubrimientos base agua que cuando los recubrimientos están sometidos a congelación constante.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 2243. Standard Test Method for Freeze-Thaw Resistance of Water-Borne Coatings

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Cámara de prueba. Una cabina, ambiente o espacio cerrado, adecuado, lo suficientemente grande para contener las muestras a ensayar, que permita espaciar al menos 25 mm (1 pulgada) entre los lados de envases adyacentes, y capaz de mantenerse continuamente a una temperatura de -18 °C.
- 4.1.2 Viscosímetro. Un viscosímetro Stormer con rotor tipo paleta como el descrito en el modo operativo MTC E 1201, o un viscosímetro Brookfield.
- 4.1.3 Cartas de ensayo. Cartas de papel de superficie suave, que tenga áreas adyacentes en blanco y negro, y recubiertas con un barniz o laca adecuada para que la superficie sea impermeable a las pinturas líquidas.
- 4.1.4 Cepillo. De 25 mm (1 pulgada)
- 4.1.5 Barra de aplicación. Con una abertura de 0,18 mm (7 mils).

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con espátula de madera o agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.
- 6.1.2 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de 25 °C ± 3 °C y humedad relativa de 60 % ± 10 %, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.2.1 Preparar muestras para ensayo, llenando envases forrados con resina y con tapa de fricción de 500 mL, hasta dos tercios de su capacidad. Asegurarse de que la muestra global, con la cual se llenaron los envases, este bien agitado y uniforme, que los recipientes usados estén limpios y que las tapas sean colocadas rápidamente a los envases para evitar pérdidas por evaporación. Se requiere dos de estas muestras para cada ensayo.
- 6.2.2 Almacenar un envase a temperatura ambiente e identificar éste como la muestra control.

- 6.2.3 Colocar el segundo envase, la pintura bajo ensayo, en la cámara a una temperatura de -18 °C, de tal manera que no toque las paredes ni el fondo de la cámara y que se permita la circulación libre del aire alrededor. Se sugiere que los envases sean colocados sobre soportes que los levante del fondo de la cámara o sobre piezas de placas aislantes apoyadas en el fondo. En el caso de varias muestras de ensayo, mantenga un mínimo de 25 mm (1 pulgada) de espacio de aire entre los envases contiguos y, entre los envases y las paredes de la cámara. Mantener la muestra de ensayo en la cámara por 17 horas, y luego retire y deje reposar por 7 horas a temperatura ambiente, junto a la muestra control, para un ciclo completo de congelamiento-descongelamiento de 24 horas.
- 6.2.4 Repetir 6.2.3 para ciclos adicionales de congelamiento-descongelamiento, tantos como sea acordado por las partes interesadas (es usual de uno a cinco ciclos).

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Después de completar el número de ciclos acordado o especificado, examinar las muestras tanto la de ensayo y el control, para su condición en el envase, calificando cualquier evidencia de asentamiento, gelificación y/o coagulación, de la siguiente manera:

10 =	ninguna	4 =	moderada
8 =	muy leve	2 =	considerable
6 =	leve	0 =	falla completa

- 7.1.2 Agitar manualmente la pintura de ensayo y la pintura control, y medir sus viscosidades de acuerdo al modo operativo MTC E 1201 o su equivalente. Registrar la temperatura de medición. Agitar manualmente las muestras en sus envases usando una espátula. Agitar cuidadosamente para evitar arrastre de aire y espuma.

- 7.1.3 Inmediatamente después de las determinaciones de viscosidad, aplicar tanto el recubrimiento de control como el de ensayo, a un panel de ensayo (4.1.3) usando el aplicador tipo Blade con apertura de 0,18 mm (7 mils) (4.1.5). Dejar secar por lo menos 24 horas y luego comparar visualmente el recubrimiento de ensayo versus el de control, para cambios en el cubrimiento, brillo, moteado, aglomeración, coagulación, o cambio de color. Evaluar los cambios como en 7.1.1.

7.2 INFORME

- 7.2.1 En el informe final se hará constar:
- a) La condición de la pintura en el envase, de acuerdo a 7.1.1.
 - b) El cambio en la viscosidad entre las pinturas de ensayo y la control, de acuerdo a 7.1.2.
 - c) La evaluación de cualquier diferencia visual entre la pintura de ensayo y la control, de acuerdo a 7.1.3.

8.0 PRECISION Y DISPERSION.

- 8.1 Si los resultados de la evaluación de las determinaciones realizadas varían de forma significativa, repetir nuevamente el ensayo por duplicado. Se registra el resultado de todas las determinaciones, incluyendo los ensayos que hayan sido repetidos

MTC E 1236

DETERMINACION DE LA MATERIA NO VOLATIL Y VOLATIL

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el método para determinar el contenido de materia volátil y no volátil (llamado también de sólidos) en pinturas y productos afines.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Determinar el contenido de material no volátil presente en un recubrimiento (pintura y productos afines). Consiste en la evaporación de la materia volátil en una estufa a $105\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 319.150: PINTURAS Y PRODUCTOS AFINES. Determinación de la materia volátil y no volátil.
- 3.2 UNE-EN ISO 3251: Pinturas, barnices y plásticos. Determinación del contenido en materia no volátil

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza analítica. Con aproximación de 1 mg
- 4.1.2 Estufa de aire. Capaz de mantener la temperatura especificada

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Plato de fondo plano. De vidrio o metal, de aproximadamente 75 mm de diámetro.
- 4.2.2 Varilla delgada de vidrio. De aproximadamente 100 mm de largo.
- 4.2.3 Desecador.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con espátula de madera o agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.
- 6.1.2 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de $25\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ y humedad relativa de $60\% \pm 10\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.2.1 Secar el plato de vidrio o metal y la varilla de vidrio a $105\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, u otra temperatura acordada entre las partes interesadas, y dejar enfriar a temperatura ambiente en un desecador.
- 6.2.2 Pesar con aproximación de 1 mg, el plato conteniendo la varilla y luego pesar en el plato con la misma aproximación, $2\text{ g} \pm 0.2\text{ g}$ de la muestra a ensayar, asegurándose que esté igualmente distribuido sobre la superficie del plato. Si la muestra contiene un solvente altamente volátil, o en el caso de un ensayo de referencia, pesar por diferencia de una botella de peso determinado colocada en el plato, calentar luego suavemente el plato en baño María, hasta que la mayor parte del solvente haya sido evaporado.
- 6.2.3 Colocar el plato con la varilla, conjuntamente con la porción de ensayo en la estufa de aire previamente ajustada a $105\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, y dejar a esta temperatura por 3 horas.

- 6.2.4 Retirar el plato de la estufa luego de un corto periodo de calentamiento, mover el material con la varilla de vidrio para romper cualquier formación de costra y volver a colocar todo luego a la estufa.
- 6.2.5 Cumplido el periodo de calentamiento especificado, transferir el conjunto a un desecador, se deja enfriar a temperatura ambiente y se pesa con aproximación de 1 mg.
- 6.2.6 Efectuar por lo menos 2 determinaciones de la misma muestra preparada.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Se calcula el contenido de materia volátil o de la no volátil, como porcentaje de masa del producto ensayado, según la siguiente formula:

$$NV = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad V = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

NV = Contenido de materia no volátil

V = Contenido de materia volátil

m_1 = Masa en miligramos de la porción ensayada antes del calentamiento.

m_2 = Masa en miligramos de la porción ensayada después del calentamiento, bajo condiciones especificadas.

7.2 INFORME

- 7.2.1 En el informe final se hará constar:
 - a) Una referencia a este modo operativo.
 - b) Tipo e identificación de la muestra ensayada.
 - c) Temperatura y periodo de calentamiento.
 - d) Cualquier desviación, por acuerdo u otra razón, del método especificado en este modo operativo.
 - e) Los resultados del ensayo, esto es, el porcentaje de contenido de materia volátil y la materia no volátil.
 - f) Fecha de ensayo

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Repetitividad. La diferencia entre resultados sucesivos obtenidos por el mismo operador dentro de un corto intervalo de tiempo, con los mismos aparatos y bajo condiciones de operación constantes, sobre el mismo material ensayado, será, al 95% de nivel de confiabilidad, no mayor de 1%.
- 8.2 Reproducibilidad. La diferencia entre resultados aislados e independientes obtenidos por diferentes laboratorios, sobre un material de ensayo idéntico, será, al 95% de nivel de confiabilidad, no mayor del 2%.

MTC E 1237

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE PIGMENTO MEDIANTE CALCINACION A BAJA TEMPERATURA

1.0 OBJETO

- 1.1 Este modo operativo cubre un procedimiento para la determinación del contenido de pigmento de pinturas a base de agua. Es aplicable sólo a los pigmentos que no se descomponen o pierden peso a temperaturas por debajo de 500 °C. Este tipo de pigmentos incluyen a la mayor parte de silicatos y óxidos metálicos y la mayoría de sales inorgánicas anhidras.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este modo operativo es utilizado por los consumidores y productores de pinturas, para el control del proceso del producto y para la aceptación del producto.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 3723. Standard Test Method for Pigment Content of Water-Emulsion Paints by Low-Temperature Ashing.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1 Horno. Con corriente de aire forzada, mantenida a 105 °C ± 2 °C.
- 4.2 Horno mufla. Mantenida a 450 °C ± 25 °C.
- 4.3 Jeringas. De 5 mL.
- 4.4 Plato en lámina de aluminio. De 58 mm de diámetro por 18 mm de alto con una superficie plana en el fondo. La parte inferior del plato debe ser tan plana como sea posible, de manera que se produzca una película uniforme.

4.2 INSUMOS

- 4.2.1 Pureza de los reactivos. En todos los ensayos se debe usar reactivos grado químico. A menos que se indique lo contrario, se pretende que todos los reactivos cumplan con las especificaciones del Comité sobre Reactivos Analíticos de la American Chemical Society, en donde están disponibles estas especificaciones. Otros grados pueden ser utilizados, siempre que se asegure primero que el reactivo es de la pureza suficientemente alta, para permitir su uso sin disminuir la precisión de la determinación.
- 4.2.2 Pureza del agua. A menos que se indique lo contrario, se debe entender que las referencias al agua, son al Tipo II de la Especificación ASTM D 1193 (agua tipo reactivo).
- 4.2.3 Hidróxido de amonio. Adicionar 1 volumen de NH₄OH concentrado (gravedad específica 0,90) a 3 volúmenes de agua.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con espátula de madera o agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.
- 6.1.2 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de 25 °C ± 3 °C y humedad relativa de 60 % ± 10 %, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.2.1 Mezclar las muestras hasta homogeneidad, de preferencia en un agitador mecánico. Si quedan atrapadas burbujas de aire en una muestra, se revuelve manualmente.
- 6.2.2 Sacar aproximadamente 1,5 g de la pintura a ensayar con una jeringa de 5 mL, y pesar con precisión de 1 mg. Agregar la pintura por gotas (aproximadamente 30 gotas) a un plato en lámina de aluminio que contiene 2 mL de agua (4.2.2). Agitar (en remolino) el plato durante la adición y continuar agitando hasta dispersar la muestra completamente. Volver a pesar con precisión de 1 mg. Transferir entre 0,4 g y 0,6 g de la muestra al plato. Si no es así, ajustar el volumen transferido y preparar una nueva muestra. Si la muestra se aglomera o forma un grumo que no se puede dispersar, una gota o dos de amonio (4.2.3) puede facilitar la dispersión. Si la formación de grumos persiste, descartar la muestra y preparar una nueva. Preparar una muestra duplicada en forma similar.
- 6.2.3 Secar la muestra y los platos en el horno a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 1 hora como mínimo, después de asegurarse de que los platos estén nivelados. Si el recubrimiento no cubre uniformemente el fondo del plato, preparar una nueva muestra y repetir.
- 6.2.4 Transferir los platos a un horno mufla y calentar a $450\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 1 hora. Retirar del horno, enfriar en un desecador y pesar.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcular el porcentaje contenido de pigmento, P, de la siguiente manera:

$$P = \frac{C - B}{S} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

- C = Peso del plato y la muestra después de la ignición en el horno.
A = Peso de plato solo.
S = Peso de la muestra.

7.2 INFORME

- 7.2.1 El informe del ensayo debe incluir, al menos, la siguiente información:
- Todos los detalles necesarios para la identificación del producto ensayado.
 - Referencia a este modo operativo.
 - El resultado del ensayo.
 - Cualquier desviación respecto al modo operativo especificado.
 - Fecha del ensayo.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Repetitividad. Dos resultados, cada uno de la media de determinaciones por duplicado, obtenido por el mismo operador en diferentes días deberán ser considerados dudosos si ellos difieren en más de 0,25% relativo, a un nivel de confianza del 95 %.
- 8.2 Reproducibilidad. Dos resultados, cada uno de la media de determinaciones por duplicado, obtenido por operadores en diferentes laboratorios deberán ser considerados dudosos si ellos difieren en más de 0,72% relativo, a un nivel de confianza del 95 %.

MTC E 1238

DETERMINACION DEL COLOR Y EL FACTOR DE LUMINANCIA

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer los procedimientos para la determinación de las coordenadas de color de película de pintura. Este procedimiento es solo aplicable a películas de pinturas que presentan un aspecto uniforme de color, por ejemplo: monocromático, cuando se examina con visión normal. Las películas de pintura que no cubren completamente un sustrato no transparente representan un sistema opaco y puede ser medido usando el procedimiento descrito en este modo operativo.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Determinar las coordenadas cromáticas de una película de recubrimiento. Los sistemas colorimétricos CIE ofrecen especificaciones numéricas que tienen como propósito indicar si existe correspondencia de parejas de estímulos de color cuando las percibe un observador patrón CIE. Los sistemas de color CIE no tienen como propósito ofrecer escalas uniformes visualmente de diferencia de color ni describir apariencias de color percibidas visualmente.
- 2.2 Los valores triestímulo X_{10} , Y_{10} , Z_{10} actúan como valores intermedios. El valor triestímulo Y_{10} , se convierte en el factor de luminancia β o bien β puede medirse directamente. El factor de luminancia es una medida del brillo de la pintura tal como es percibido desde su proximidad. Los valores triestímulo se convierten, después, en las coordenadas cromáticas (x_{10} , y_{10}) que se emplean en las especificaciones de cromaticidad de la pintura.
- 2.3 El factor de luminancia β y las coordenadas cromáticas (x_{10} , y_{10}) deberán medirse utilizando un iluminante Patrón D65. La geometría de medida se establece en $45^\circ/0^\circ$, que significa un ángulo de iluminación de $45^\circ \pm 5^\circ$ y uno de medida de $0^\circ \pm 10^\circ$. Los ángulos se miden en relación a la perpendicular a zona de mitad de la marca.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 UNE 48073-2: Parte 2. Pinturas y barnices. Colorimetría. Parte 2: Medida del color.
- 3.2 UNE 48073-1: Parte 1. Pinturas y barnices. Colorimetría. Parte 1: Principios.
- 3.3 UNE 48073-3: Parte 3. Pinturas y barnices. Colorimetría. Parte 3: Calculo de diferencias de color.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Espectrofotómetro. Para colorimetría de alta precisión, debe emplearse un espectrofotómetro simple o preferiblemente de reflexión de doble haz equipado con un monocromador de prisma o red y una cabeza fotométrica que satisfaga las condiciones elegidas de iluminación y observación descritas en 2.2.

Empleando estos equipos, la repetitividad con la que pueden medirse las reflectancias espectrales o factores de reflectancia espectrales deben ser mejores que el mayor de los siguientes dos valores: 0,2% de la lectura ó 0,001 (absoluto).

La repetitividad para largos intervalos de tiempo no debe sobrepasar estos valores afectados por un factor de más de 3.

La precisión debe ser mejor que el mayor de los siguientes dos valores: 0,5% de la lectura o 0,002 (absoluta).

Si las medidas colorimétricas son para la supervisión objetiva de los patrones de referencia de color debe emplearse un espectrofotómetro del tipo descrito anteriormente con prioridad al tipo simplificado (4.1.2) o a un colorímetro triestímulo (4.1.4).

4.1.2 Espectrofotómetro simplificado. Para las siguientes aplicaciones:

- a) La descripción objetiva de las diferencias de color entre la muestra a ensayar (una placa pintada o una muestra de un material pintado) y una muestra de referencia.
- b) Determinar desviaciones de color en la producción de materiales pintados de forma que los resultados puedan utilizarse para el control o regulación del proceso.
- c) La descripción objetiva de los cambios de color originados por el envejecimiento y otras influencias físicas o químicas.

Para la repetitividad a corto y largo plazo, aplicar las mismas condiciones definidas para los espectrofotómetros en 4.1.1.

La precisión debe ser mejor que el mayor de los siguientes dos valores: 1% de la lectura o 0,004 (absoluta).

4.1.3 Integrador. Para ponderar las características fotométricas espectrales medidas con la distribución de energía espectral relativa del iluminante patrón y los coeficientes de distribución $x_{10}(\lambda)$; $y_{10}(\lambda)$; $z_{10}(\lambda)$ y la sumatoria descrita en la primera parte de este modo operativo, puede usarse una computadora con capacidad adecuada.

Los espectrofotómetros simplificados y algunos espectrofotómetros automáticos incorporan integradores electrónicos o mecánicos.

4.1.4 Colorímetro triestímulo. La integración puede realizarse también ópticamente con tres filtros triestímulo constituidos de tal manera que las medidas aparezcan en una relación lineal simple con los valores triestímulo. Los instrumentos de esta categoría, que se denominan colorímetros triestímulo, tienen que estar equipados con una cabeza fotométrica que satisfaga las condiciones de iluminación y observación elegidas según se describe en 2.2.

Los tres filtros tienen que ajustarse en lo que respecta a su transmitancia espectral $\tau_x(\lambda)$; $\tau_y(\lambda)$; $\tau_z(\lambda)$ a los coeficientes de distribución, a la distribución de energía espectral relativa del iluminante patrón y de la fuente de luz del instrumento, y a las sensibilidades de los detectores fotoeléctricos. Con pocas excepciones los fabricantes de colorímetros triestímulo no prevén el ajuste fino. El filtro τ_x absorbe completamente la luz en el rango de longitud de onda por debajo de 500 nm. Por lo tanto, el valor triestímulo x_{10} se obtiene sumando los factores de reflectancia medidos con los filtros τ_y y τ_z ponderados con varias constantes.

Como consecuencia de las dificultades en ajustar los filtros a los parámetros adecuados, los colorímetros triestímulo son generalmente desaconsejables para la medida del color per se y su uso debe restringirse a la medida de diferencias de color. Sin embargo, incluso para este uso, pueden encontrarse dificultades en establecer correspondencia con un color de referencia si la muestra y el patrón son metaméricos. En consecuencia, el uso de los colorímetros triestímulo es mejor restringirlo a las aplicaciones b) y c) descritas en 4.1.2.

La repetitividad con la que los valores triestímulo pueden medirse debe ser mejor que el mayor de los siguientes dos valores: 0,2% de la lectura o 0,001 (absoluto).

La precisión puede ser peor del 1% dependiendo de la luminosidad, y de la forma de la curva de reflectancia.

4.1.5 Patrones de reflectancia primario. El patrón primario para medir la reflectancia o factor de reflectancia de la muestra es el difusor reflectante perfecto tal como se recomienda por CIE y definido como un difusor uniforme ideal con una reflectancia espectral igual a la unidad para todas las longitudes de onda.

4.1.6 Patrón de reflectancia secundario. Puesto que el patrón primario no puede existir en la práctica, se necesita un patrón secundario con reflectancias espectrales conocidas que estén tan próximas como sea posible a las del patrón primario.

- a) Fuente. Normalmente se emplea como patrón secundario polvo comprimido en tabletas de sulfato de bario. El fabricante de polvo de sulfato de bario empleado para preparar las tabletas debe especificar los factores de reflectancia espectral $R_{45/0}(\lambda)$ del polvo para varias longitudes de onda. Estas longitudes de onda deben escogerse de forma que permitan la interpolación de factores de reflectancia con una precisión de $\pm 0,001$. Los valores especificados harán referencia a tabletas de sulfato de bario preparadas mediante el método descrito y medidas usando una técnica de medida absoluta.

El polvo debe estar libre de contaminantes e indicado para comprimir.

- b) Preparación y comprobación. Con una prensa mecánica para polvo, empleada únicamente con este fin, moldear cantidades constantes de polvo de sulfato de bario en tabletas que tengan un mínimo de 5 mm de espesor y una densidad de $1,6 \text{ g/cm}^3$ a $1,7 \text{ g/cm}^3$. Las tabletas presentarán una superficie lisa, plana y mate. Limpiar el polvo comprimido cuidadosamente tras cada operación de prensado puesto que trazas de polvo residual puede degradar la calidad superficial de las tabletas. No podrán rehacerse tabletas de la misma muestra de polvo.

La repetitividad de la reflectancia del patrón secundario preparado de acuerdo con esta parte de la norma será mejor que 0,2% con un lote determinado de polvo de sulfato de bario.

Los patrones de reflectancia preparados de esta manera, si se manejan cuidadosamente y se almacenan en un desecador, pueden usarse durante una semana. Debe ponerse especial cuidado en asegurarse que no están expuestas a la radiación ultravioleta ($\lambda < 270 \text{ nm}$) pues podría inducir a cambios en las reflectancias espectrales en el rango de longitudes de onda por debajo de 450 nm.

Para preparar patrones de sulfato de bario se recomienda el siguiente aparato y procedimiento. La Figura 01 muestra una representación esquemática de la prensa de polvo.

Se coloca un anillo metálico, que posteriormente servirá de bastidor para las tabletas, sobre la base y se tapa con una placa de vidrio limpia esmerilada (ver Figura 01 a). La superficie de la placa de vidrio en contacto con el polvo deberá estar mateada con abrasivo (tamaño de grano de alrededor de $0,3 \mu\text{m}$) y después tratada con ácido fluorhídrico diluido. El anillo y la placa de vidrio se sujetan juntas mediante una abrazadera (no está en la figura). Se añade un peso conocido de polvo ($1,65 \text{ g}$ por cada cm^3 de volumen de la tableta) dentro del cilindro insertado en el anillo y se unen las dos secciones de la prensa de forma que el embolo quede dentro del cilindro. Ambas secciones se aprietan conjuntamente. Para aumentar la densidad de las tabletas, la sección superior debe pulsarse suavemente varias veces con un martillo de caucho; después, la sección superior debe apretarse nuevamente. La presión y la pulsación deben repetirse dos o tres veces hasta que el polvo llene solamente la porción cónica del anillo. La parte superior con el embolo y el cilindro debe ser entonces sustituida por una tapa. A continuación se da la vuelta a la prensa (Figura 01 b) y se abre la abrazadera para permitir la eliminación de la parte inferior con la placa de vidrio. La superficie expuesta de la tableta debe estar enrasada con los bordes del anillo, el cual coincide con la ventana del fotómetro. El polvo habrá sido tan compactamente comprimido que la superficie de la tableta puede incluso usarse en posición vertical o suspendida sin pérdida de granos ni polvo.

La placa de vidrio debe lavarse cuidadosamente en mezcla crómica seguida por un aclarado persistente con agua destilada y posteriormente con etanol dejándola secar.

Para limpiezas intermedias es suficiente emplear un poco de algodón impregnado con etanol.

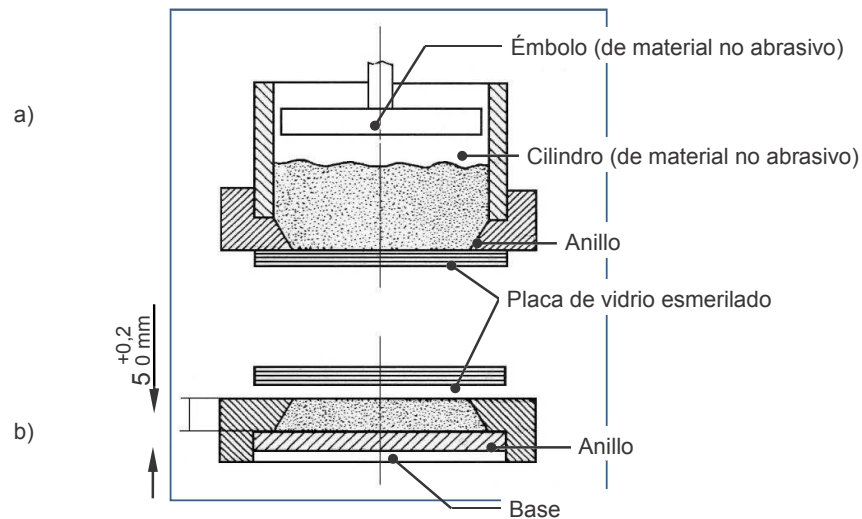


Figura 1. Prensa para preparar patrones de reflectancia con polvo de sulfato de bario ($BaSO_4$)

4.1.7 Patrones de trabajo. Para medidas de rutina con un instrumento individual es posible empujar patrones de trabajo con reflectancias espectrales que permanecen estables durante largo tiempo. Estos patrones de trabajo no necesitan ser difusores uniformes pero deben calibrarse con la ayuda de un patrón de sulfato de bario y el instrumento con el que se usan. Deben ser materiales estables y duraderos tales como vidrios opalescentes, vitrolita o cerámica. La superficie debe pulirse para facilitar la eliminación de contaminantes y la limpieza.

Deben emplearse patrones de trabajo grises para comprobar la linealidad de la escala fotométrica y para ampliar el rango fotométrico del instrumento, de forma que puedan medirse muestras oscuras con una fiabilidad que de otra manera no será posible.

La comprobación de la repetitividad y precisión del método de ensayo puede realizarse empleando distintos patrones de trabajo de espectros selectivos.

4.1.8 Paneles de aluminio. De un tamaño mínimo de 150 mm x 75 mm x 0,60 mm.

4.3.11 Aplicador de película: Tipo Doctor Blade, para un espesor de película húmeda de $400 \mu\text{m} \pm 50 \mu\text{m}$.

5.0 MUESTRA

5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con espátula de madera o agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.

6.1.2 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ y humedad relativa de $50 \% \pm 5 \%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PREPARACIÓN DEL SUBSTRATO

6.2.1 Los paneles de aluminio se prepararan para el ensayo, limpiándolas previamente con disolvente, y luego dejar secar durante 24 horas en posición horizontal a las condiciones establecidas.

6.2.2 Aplicar la pintura a un espesor de película húmeda de $400 \mu\text{m} \pm 50 \mu\text{m}$. Dejar secar el panel durante 7 días en posición horizontal a las condiciones establecidas.

6.3 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

6.3.1 Usando un espectrofotómetro

- a) El instrumento debe operarse siguiendo las instrucciones del fabricante.
- b) Ajustar la escala fotométrica o la unidad de medida de intensidad y el integrador, si existe. Ajustar el cero colocando una trampa de luz de alta eficiencia en la ventana del aparato, nunca ajustar el cero tapando el haz luminoso. Ajustar el punto superior de la escala por medio de un patrón de reflectancia apropiado sobre el rango de longitud de onda del espectro visible.
- c) Comprobar la linealidad de la escala empleando patrones de trabajo grises con reflectancias espectrales conocidas.
- d) Calibrar la escala de longitud de onda empleando lámparas de descarga de cadmio o mercurio con bandas de emisión estrechas, cuando el equipo lo requiera o permita.
- e) Comprobar si la repetitividad corresponde al valor dado por el fabricante del instrumento mediante el empleo de patrones de trabajo espectralmente selectivos.
- f) Periódicamente comprobar la linealidad de la escala fotométrica, la calibración de la escala de longitud de onda, y la repetitividad, dependiendo del tiempo e intensidad de uso del instrumento.
- g) Ajustar el ancho de ranura o el programa de ancho de ranura a un equilibrio deseable entre la resolución espectral y la sensibilidad con respecto a los intervalos de longitud de onda elegidos (ver siguiente párrafo) y la luminosidad de la película de pintura que va a ser medida. Seleccionar una velocidad de lectura adecuada.
- h) Medir con intervalos de longitud de onda $\Delta\lambda = 10 \text{ nm}$ en el rango espectral de 380 nm a 770 nm empleando luz monocromática con una anchura de banda de 10 nm. En casos especiales tales como películas de pintura altamente cromáticas con curvas de reflectancia espectral abruptas, medir a intervalos de longitud de onda de 5 nm empleando luz monocromática con una anchura de banda de menos de 5 nm.
- i) Dependiendo de las condiciones de medida elegidas, determinar los factores de reflectancia espectral, o cuando se emplea un integrador, los valores triestímulo y coordenadas cromáticas de la muestra en relación al patrón de reflectancia.
- j) Para detectar la introducción de un error en cualquier medida, repetir cada medida. En el caso de discrepancias mayores que las características de repetitividad dadas por el fabricante del instrumento, repetir la medida varias veces y, si es necesario, eliminar la causa de las discrepancias. Las discrepancias pueden ser originadas por el instrumento o la muestra.
- k) Si las características espectrales se determinan con espectrofotómetros no integrados, calcular los valores triestímulo y las coordenadas cromáticas.
- l) Determinar el factor de luminancia β (valor triestímulo Y_{10}) y las coordenadas cromáticas x_{10} , y_{10} en la forma apropiada. Repetir la medida.

6.3.2 Usando un espectrofotómetro simplificado o un colorímetro triestímulo.

- a) El instrumento se maneja siguiendo las instrucciones del fabricante.

- b) Ajustar la unidad de medida de intensidad y el integrador, cuando se use un espectrofotómetro simplificado. Ajustar el cero colocando una trampa de luz de alta eficiencia en la ventana del aparato. Nunca ajustar el cero tapando el haz luminoso. Ajustar el punto superior mediante un patrón de reflectancia apropiado, sucesivamente para cada filtro.
- c) Comprobar la linealidad de la unidad de medida de intensidad empleando patrones de trabajo grises neutros, con reflectancias espectrales conocidas.
- d) Comprobar el envejecimiento de cada filtro y la repetitividad empleando patrones de trabajo de espectros apropiados. Cuando se emplee un colorímetro triestímulo, comprobar la unidad de medida que consta de fuente de luz, filtros y detectores.
- e) Cuando se emplee un colorímetro triestímulo comprobar periódicamente la linealidad, la repetitividad y el envejecimiento de los filtros; comprobar nuevamente el estado de la unidad de medida en función del tiempo e intensidad de uso del instrumento.
- f) Determinar el factor de luminancia β (valor triestímulo Y_{10}) y las coordenadas cromáticas x_{10} , y_{10} en relación al patrón de reflectancia en la forma apropiada. Repetir la medida.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Calcular el valor medio del factor de luminancia β y las coordenadas cromáticas x_{10} , y_{10} .

7.2 INFORME

7.2.1 El informe del ensayo debe incluir, al menos, la siguiente información:

- a) Tipo e identificación de la película ensayada, incluyendo una descripción del método de preparación.
- b) Referencia a este modo operativo.
- c) Tipo de instrumento (espectrofotómetro, colorímetro triestímulo, etc.) y su identificación (fabricante y marca).
- d) Intervalo de longitud de onda empleado, si lo hubiera.
- e) Otras observaciones especiales (por ejemplo películas de pintura sin poder cubriente; espesor de película).
- f) La lectura de los resultados, en forma apropiada: el valor medio del factor de luminancia β y las coordenadas cromáticas x_{10} , y_{10} .
- g) Cualquier desviación acordada o no, del modo operativo especificado.
- h) Fecha del ensayo

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 Los valores de precisión y dispersión se dan en 4.1, en función al equipo empleado.

MTC E 1239

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE COMPUESTOS VOLATILES

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el contenido porcentual en masa de compuestos volátiles, en recubrimientos base solvente y base agua. La muestra de ensayo se calienta a $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ durante 60 minutos.

Este modo operativo es viable para recubrimientos en los cuales una o más partes pueden, en condiciones ambiente, contener co-reactivos líquidos que son volátiles hasta que ocurre una reacción química con otro componente del sistema multicomponentes.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este modo operativo es un procedimiento para la determinación de compuestos volátiles en recubrimientos, para el propósito de calcular el contenido de compuestos volátiles orgánicos en las condiciones de ensayo especificadas. El contenido porcentual en masa de sólidos (material no volátil) se puede determinar por la diferencia. Esta información es útil para el productor y usuario de pinturas y para los intereses ambientales, con el fin de determinar los compuestos volátiles, por pérdida de peso, emitidos por los recubrimientos.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 2369: Standard Test Method for Volatile Content of Coatings.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza analítica. Con capacidad de pesar $\pm 0,1\text{ mg}$.
- 4.1.2 Horno de corriente forzada.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Platos en lámina de aluminio. De 58 mm de diámetro por 18 mm de altura, con una superficie plana en el fondo. Se acondicionan los platos durante 30 minutos en un horno a $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ y se almacenan en un desecador antes de su uso. Para manipular los platos se deben usar pinzas o guantes de caucho, o ambos.
- 4.2.2 Jeringa. De 1 mL, sin aguja pero equipada con tapa, con capacidad para suministrar apropiadamente el recubrimiento que se ensaya, a una velocidad suficiente de manera que la muestra se pueda dispersar en el solvente. Se recomienda usar jeringas desechables con tapa.

- 4.2.3 Ganchos de papel.

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Pureza de los reactivos. En todos los ensayos se deben usar reactivos grado químico, A menos que se indique algo diferente, se pretende que todos los reactivos cumplan con las especificaciones del Comité sobre Reactivos Analíticos de la American Chemical Society, en donde están disponibles estas especificaciones. Se pueden usar otros grados, siempre y cuando se determine primero que el reactivo es de una pureza lo suficientemente alta para permitir sus uso sin reducir la exactitud de la determinación.
- 4.3.2 A menos que se indique algo diferente, se debe entender que las referencias al agua son al Tipo II de la norma ASTM D 1193.
- 4.3.3 Tolueno. Agua o solvente apropiado.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Pinturas y productos afines en estado líquido

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Mezclar cuidadosamente la muestra a ser evaluada, con espátula de madera o agitación mecánica, hasta consistencia homogénea.
- 6.1.2 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de $25\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ y humedad relativa de $60\% \pm 10\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.2.1 Tomar una muestra representativa del recubrimiento líquido (cada componente). Antes de tomar las muestras mezclar manualmente.
- 6.2.2 Para recubrimientos multicomponentes, pesar cada componente en la proporción adecuada, en un recipiente que se pueda tapar. Mezclar muy bien los componentes entre si manualmente, antes de extraer las muestras. Tapar bien el recipiente para evitar la pérdida de materiales volátiles
- 6.2.3 Pesar el plato en lámina de aluminio preacondicionado (ver 4.2.1) y registrar el peso con una precisión de $0,1\text{ mg}$ (W_1). Usar guantes desechables de caucho o polietileno (sin talco), tenazas pequeñas o pinzas, para sujetar el plato.
- 6.2.4 Para facilitar la dispersión o esparcimiento de la muestra, un gancho de papel puede ser colocado (parcialmente abierto) en el plato de aluminio, y pesarlo con el plato. Si se utiliza un gancho de papel, este debe permanecer en el plato durante el resto del procedimiento.
- 6.2.5 Adicionar al plato en lámina de aluminio el tipo y cantidad apropiada de solvente de acuerdo a la Tabla N° 01.
- 6.2.6 Extraer la muestra de recubrimiento con la jeringa. Retirar la jeringa de la muestra y luego halar la punta del émbolo 6 mm ($1/4$ de pulgada) para separar la muestra del cuello de la jeringa. Limpiar la superficie exterior de la jeringa para retirar el exceso de material y luego tapar la jeringa. Colocar la jeringa llena en la balanza y tarar la balanza. Utilizar guantes de caucho o polietileno (sin talco) para manipular la jeringa.
- 6.2.7 Retirar la tapa y verter de la jeringa al plato, el peso de muestra objetivo tal como se especifica en la Tabla N° 01. Si se utiliza solvente en el plato, adicionar la muestra por gotas al plato que contiene el solvente. El gancho de papel puede ser utilizado para ayudar a la dispersión de la muestra de recubrimiento en el solvente. Si el material forma grumos que no se pueden dispersar, descartar la muestra y preparar uno nuevo. Si no se utiliza solvente, dispersar la muestra en el plato con el gancho de papel hasta cubrir el fondo del plato completamente con un espesor uniforme como sea posible.
- 6.2.8 Después de verter la muestra, no se limpia la punta de la jeringa. Retirar la muestra del cuello de la jeringa halando el embolo. Tapar y colocar la jeringa en la balanza (que fue tarada con la jeringa antes de que la muestra fuera vertida) y registrar el peso con una precisión de $0,1\text{ mg}$, como peso de la muestra (S_A)
- 6.2.9 Repetir los pasos 6.2.3 a 6.2.8, para preparar un duplicado por cada muestra.
- 6.2.10 Para recubrimiento multicomponentes, después de prepararse las muestras, dejarlas reposar a temperatura ambiente durante un tiempo de inducción prescrito de acuerdo a la Tabla N° 01 antes de colocar los platos en el horno.
- 6.2.11 Calentar los platos en lámina de aluminio que contienen las muestras en el horno con corriente de aire forzado por 60 minutos a $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- 6.2.12 Retirar los platos del horno, colocarlos inmediatamente en un desecador, de jara enfriar a temperatura ambiente, pesar con aproximación a $0,1\text{ mg}$ y registrar este peso (W_2) para cada muestra.

TABLA 1
Resumen de Métodos

Tipo de Recubrimiento	Método A Base Agua Un Componente	Método B Base Solvente Un Componente	Método C Base Agua Multicomponente	Método D Base Solvente Multicomponente	Método E Multicomponente > 90 % Sólidos
Tipo y Cantidad de Solvente	3 mL ± 1 mL Agua	3 mL ± 1 mL Solvente	3 mL ± 1 mL Agua	3 mL ± 1 mL Solvente	ninguno
Peso de Muestra	0,3 g ± 0,1 g si el resultado esperado es =< 40 % volátil (>= 60 % no volátil) 0,5 g ± 0,1 g si el resultado esperado es > 40 % volátil (< 60 % no volátil)				Ver ^A
Tiempo de Inducción	N/A	N/A	1 hora ^B	1 hora ^B	24 horas
<p>^A Peso de la muestra que sea representativa de cómo cuando se utiliza el producto (el espesor mínimo que recomienda la literatura del fabricante) donde: $\text{Peso (g)} = \text{Espesor (mm)} \times 3,14 \times [\text{Diámetro del plato}^2 (\text{mm}^2)/4] \times \text{Densidad (g/mL)}/1000$. Por ejemplo: el peso de muestra apropiada para un recubrimiento con una densidad de 1 g/mL colocada en un plato con diámetro de 50 mm a un espesor de 0,5 mm, resulta 1,0 g.</p> <p>^B Se utilizan otros periodos de inducción. Ver Método de Referencia 24 de EPA.</p>					

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Calcular el porcentaje de materia volátil, V, en el recubrimiento líquido, como sigue:

$$V_A = 100 - \left[\left(\frac{W_2 - W_1}{S_A} \right) \times 100 \right] \quad (1)$$

Donde:

V_A = % de compuestos volátiles (primera determinación).

W_1 = Peso del plato.

W_2 = Peso del plato más peso de la muestra después de calentamiento.

S_A = Peso de la muestra.

V_B = % de compuestos volátiles (determinación por duplicado, se calcula de la misma manera que V_A)

$$V = \frac{(V_A + V_B)}{2} \quad (2)$$

7.1.2 Reportar V, la media de la determinación si la diferencia porcentual relativa es de 1,5 % o menos. Si la diferencia relativa entre V_A y V_B es superior a 1,5 %, repetir las determinaciones por duplicado.

7.1.3 El porcentaje de materia no volátil, N, en el recubrimiento, se puede calcular por la diferencia, como sigue:

$$N = \frac{(N_A + N_B)}{2} \quad (3)$$

Donde:

$$N_A = 100 - V_A.$$

$$N_B = 100 - V_B.$$

N_A representa la primera determinación y N_B representa la determinación por duplicado.

7.2 INFORME

7.2.1 El informe del ensayo debe incluir, al menos, la siguiente información:

- a) Todos los detalles necesarios para la identificación del producto ensayado.
- b) Referencia a este modo operativo.
- c) El resultado del ensayo.
- d) Cualquier desviación respecto al modo operativo especificado.
- e) Fecha del ensayo.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Repetitividad. Dos resultados, cada uno de ellos la media de las determinaciones por duplicado, obtenidos por el mismo operador en diferentes días, se deberán considerar dudosos si tienen una diferencia superior al 1,5 % relativo, a un nivel de confianza del 95 %.
- 8.2 Reproducibilidad. Dos resultados, cada uno de ellos la media de las determinaciones por duplicado, obtenidos por operadores en diferentes laboratorios, se deberán considerar dudosos si tienen una diferencia superior al 4,7 % relativo, a un nivel de confianza del 95 %.
- 8.3 Repetitividad para sistemas multicomponentes base solvente. Dos resultados, cada uno de ellos correspondiente a la media de dos determinaciones obtenidas por el mismo operador en diferentes días, se deberán considerar dudosos si varían más de 1,74 % relativo, a un nivel de confianza del 95 %.
- 8.4 Reproducibilidad para sistemas multicomponentes base solvente. Dos resultados, cada uno de ellos correspondiente a la media de dos determinaciones obtenidos por operadores en diferentes laboratorios, se deberán considerar dudosos si varían más de 5,31 %, a un nivel de confianza del 95 %.
- 8.5 Repetitividad para sistemas multicomponentes base agua. Dos resultados, cada uno de ellos correspondiente a la media de dos determinaciones obtenidas por el mismo operador en diferentes días, se deberán considerar dudosos si varían más de 1,84 % relativo, a un nivel de confianza del 95 %.
- 8.6 Reproducibilidad para sistemas multicomponentes base agua. Dos resultados, cada uno de ellos correspondiente a la media de dos determinaciones obtenidos por operadores en diferentes laboratorios, se deberán considerar dudosos si varían más de 3,43 %, a un nivel de confianza del 95 %.



SECCION N° 13 ESFERAS Y MICROESFERAS DE VIDRIO

MTC E 1301

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el análisis granulométrico mediante tamices para la clasificación de esferas y microesferas de vidrio usadas para señalización horizontal de pavimentos retrorreflectivos.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El tamaño y la gradación de esferas y microesferas de vidrio es un aspecto mensurable del desempeño como medio retrorreflectivo. La función de este modo operativo es medir el tamaño de las esferas y microesferas de vidrio, y determinar el cumplimiento con especificaciones aplicables.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 1214: Test Method for Sieve Analysis of Glass Spheres.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza. Sensible a 50 mg.
- 4.1.2 Tamices. De 200 mm (8 pulgadas) de diámetro, que incluya los tamices que sean requeridos por las especificaciones de esferas o microesferas de vidrio.
- 4.1.3 Horno. Capaz de mantener una temperatura de 105 °C a 110 °C.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Cepillos apropiados para la limpieza de tamices.
- 4.2.2 Espátula de metal
- 4.2.3 Luna de reloj de 7 cm a 10 cm de diámetro
- 4.2.4 Desecador

5.0 MUESTRA

- 5.1 Esferas y microesferas de vidrio.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de 25 °C ± 3 °C y humedad relativa de 60 % ± 10 %, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 6.2.1 Seleccionar una muestra representativa del material a ensayar, mediante cuarteo o muestreo con tamizador mecánico. Tomar al menos dos muestras representativas de aproximadamente 500 g, cada una de paquetes distintos por cada remesa, en la relación de dos muestras por cada 5000 kg (10000 lb) o fracción. Es necesario aproximadamente 50 g de esferas o microesferas de vidrio para cada ensayo. Esta muestra también es seleccionada mediante cuarteo o muestreo con tamizador mecánico.

6.3. PROCEDIMIENTO OPERATORIO

6.3.1 PROCEDIMIENTO MANUAL

- a) Secar la muestra en el horno hasta peso constante a una temperatura de 105 °C a 110 °C. Enfriar la muestra a temperatura ambiente en el desecador.

- b) Pesar 50 g de muestra seca con aproximación a 0,1 g, y colocarla en el tamiz con la abertura más grande de la serie especificada para el ensayo, el cual deberá estar completamente seca. Sostener el tamiz, con el fondo y la tapa acoplados, con una mano en una posición ligeramente inclinada para que la muestra sea bien distribuida en el tamiz, al mismo tiempo golpear suavemente el costado del acoplamiento aproximadamente 150 veces por minuto contra la palma de la otra mano en forma ascendente. Girar el acoplamiento, cada 25 golpes aproximadamente un sexto de revolución, en la misma dirección. Continuar la operación hasta que no más de 0,05 g de muestra pase a través del tamiz en 1 minuto de continuo tamizado. Siempre, antes de pesar el material pasante a través del tamiz, golpear ligeramente el costado del tamiz con el mango del cepillo con el fin de retirar cualquier material adherido a la malla de alambre.
- c) Cuando el tamizado ha finalizado, retirar la tapa del tamiz y retirar cuidadosamente el residuo remante en el tamiz a un recipiente tarado. Voltar el tamiz sobre un pedazo de papel glaseado y limpiar la malla de alambre cepillando la parte inferior. Añadir el material así retirado de la malla de alambre, al residuo retirado del tamiz.
- d) Pesar la porción de la muestra retenida en el tamiz con aproximación a 0,1 g. Colocar el material pasante a través del tamiz más grande, sobre el tamiz con la apertura próxima más pequeña de la serie seleccionada para el análisis granulométrico. Continuar tamizando en forma similar, usando sucesivamente cada uno de los tamices de la serie seleccionada en orden de tamaño de abertura decreciente, y registrar el peso de cada porción de la muestra retenida en cada tamiz.

6.3.2 PROCEDIMIENTO MECÁNICO

- a) Los dispositivos de tamizado mecánico pueden ser usados, sin embargo las esferas o microsferas de vidrio no serán rechazadas si ellas cumplen los requerimientos de la especificación cuando son ensayadas mediante el método de tamizado manual descrito en 6.3.1. Cuando los dispositivos de tamizado mecánico son usados, su minuciosidad de tamizado deberá ser probada usando el método manual para su comparación.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Calcular el peso de material y el porcentaje de muestra que pasa cada uno de los tamices.

7.2 INFORME

- 7.2.1 En el informe final se hará constar:

- a) Resultados del análisis granulométrico, reportado como el porcentaje total pasante para cada tamiz, expresado al 0,5% más cercano.
- b) Referencia a este modo operativo y cualquier desviación respecto a la misma acordada, o no, entre las partes interesadas.
- c) Método de tamizado usado.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Si los resultados de la evaluación de las determinaciones realizadas por duplicado varían de forma significativa, repetir nuevamente el ensayo por duplicado. Se registra el resultado de todas las determinaciones, incluyendo los ensayos que hayan sido repetidos.

MTC E 1302**DETERMINACION DEL INDICE DE REFRACCION****1.0 OBJETO**

- 1.1 Establecer el método para determinar el índice de refracción de las esferas y microesferas de vidrio utilizadas en señalización horizontal.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El índice de refracción de las esferas y microesferas de vidrio se determina por el método de inmersión, utilizando un líquido con un índice de refracción conocido.
- 2.2 Todos los objetos transparentes o translúcidos, cuando están inmersos en un líquido, producen una imagen en el microscopio que está delimitada por una sombra oscura o halo. El índice de refracción de estas partículas se aproxima al índice de refracción del líquido en el cual están inmersos, cuando la sombra y el halo se aproximan, y es igual a la del líquido, cuando la sombra y el halo coinciden y se superponen.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ABNT NBR 15199 Sinalização horizontal viária – Microesferas de vidro – Métodos de ensaio.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Microscopio. Con aumento de 50 veces a 100 veces, con lámpara de luz blanca.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Luna de reloj. Con diámetro de 5 cm, para examinar en el microscopio.

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Batería de líquidos con índice de refracción conocidos

5.0 MUESTRA

- 5.1 Esferas y microesferas de vidrio.

6.0 PROCEDIMIENTO**6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO**

- 6.1.1 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $60\% \pm 10\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.2.1 Colocar aproximadamente de 1 g a 2 g de muestra de esferas o microesferas de vidrio en la luna de reloj limpia, evitando la superposición de las mismas.
- 6.2.2 Cubrir las esferas o microesferas con un líquido de índice de refracción conocida, a una temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 6.2.3 Cuando las partículas sólidas tienen índice de refracción mayor que la del líquido, sus contornos suelen estar bien definidos, con halos o delimitaciones de luz, por bandas negras y oscuras. Moviendo el objetivo del microscopio (levantando el tubo), la luz parece moverse en el interior o centro de las partículas. Si las partículas sólidas tienen un índice de refracción menor que la del líquido, sus contornos son relativamente débiles y los halos de luz se encuentran fuera de las bandas negras u oscuras. Al mover el objetivo del microscopio, la luz blanca se mueve hacia el exterior o desde el exterior hacia el centro de las partículas.
- 6.2.4 Si las partículas sólidas tienen un índice de refracción igual a la del líquido en la que sobrenadan, el contorno oscurecido y el halo luminoso coinciden y se superponen.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 El resultado debe ser representado por el índice de refracción del líquido, con el índice de refracción conocido, que permita la superposición del contorno oscurecido con el halo luminoso. No habiendo tal superposición, el valor debe ser expresado numéricamente en términos de mayor o menor que el límite líquido.

7.2 INFORME

7.2.1 En el informe final se hará constar:

- a) Resultados obtenido de acuerdo al punto 7.1.1.
- b) Temperatura de ensayo.
- c) Referencias de las esferas o microesferas examinadas.
- d) Referencia a este modo operativo y cualquier desviación respecto a la misma acordada, o no, entre las partes interesadas.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 Si los resultados de la evaluación de las determinaciones realizadas por duplicado varían de forma significativa, repetir nuevamente el ensayo por duplicado. Se registra el resultado de todas las determinaciones, incluyendo los ensayos que hayan sido repetidos.

MTC E 1304

DETERMINACION DE LA PRESENCIA DE UN TRATAMIENTO DE HIDROFUGACION

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer dos métodos para evaluar la presencia de un tratamiento de hidrofugación en esferas o microesferas de vidrio usadas para señalización horizontal de pavimentos retrorreflectivos.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 La hidrofugación consiste en tratar superficialmente las esferas o microesferas de vidrio con una fina capa de un recubrimiento impermeabilizante, por ejemplo silicona, para evitar que se aglomeren durante el almacenamiento.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 UNE-EN 1423. Materiales para señalización vial horizontal. Materiales de postmezclado. Microesferas de vidrio, áridos antideslizantes y mezclas de ambos.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 MATERIALES

- 4.1.1 Embudo con una profundidad de 120 mm, con un diámetro superior de 150mm y un cuello de diámetro interior de 6.25 mm.
- 4.1.2 Saco de algodón lavado, de trama de hilo de 48 x 48 (de medidas aproximadas 450 mm x 250 mm).
- 4.1.3 Cubeta de una capacidad mínima de 4 l, lleno de agua limpia a temperatura ambiente.
- 4.1.4 Frasco de 500 mL.

4.2 INSUMOS

- 4.2.1 Agua.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Esferas o microesferas de vidrio.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $60\% \pm 10\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.2.1 Método A. Este método se empleará si se necesita una información rápida. La valoración del porcentaje de muestra hidrofugadas se efectúa siguiendo el procedimiento indicado a continuación:

- a) Se requiere 1 mL de muestra, medido con un tubo de diámetro interior comprendido entre 2 mm y 5 mm y graduado a intervalos de 1/20 mL.

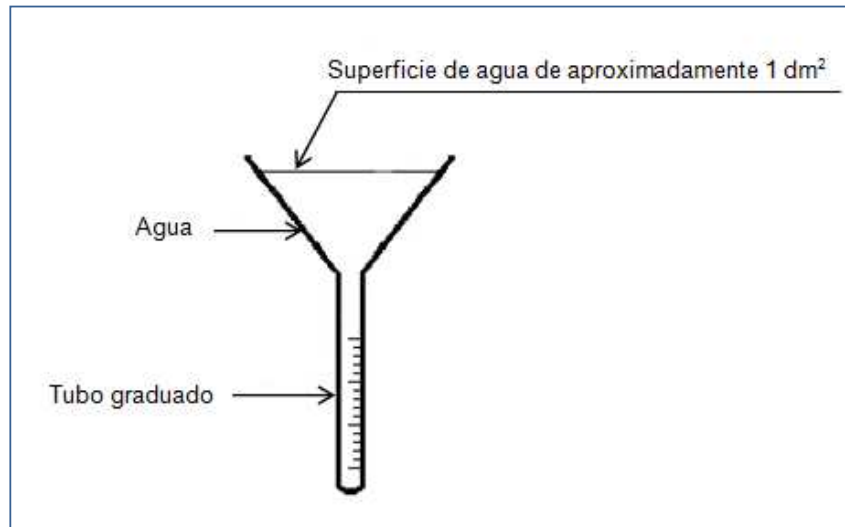


Figura 1. Embudo

- b) La muestra se deja caer desde una altura de 5 mm sobre una superficie en reposo de agua, de aproximadamente 1 dm² ($\pm 5\%$), situada en un embudo provisto, en su parte inferior, de un tubo de diámetro interior comprendido entre 2 mm y 5 mm y graduado a intervalos de 1/20 mL, a partir de su fondo cerrado (ver Figura 01).
- c) Cerciorarse de que: la parte interior de la pared del embudo situada encima del agua está seca; la superficie del agua está en reposo; y las esferas o microesferas de vidrio no caen unas sobre otras.
- 6.2.2 Método B. Este método se empleara si se necesita una información precisa.
- a) Se utilizara una masa aproximada de 400 g de esferas o microesferas de vidrio, obtenidas a partir de una muestra representativa.
- b) Dar la vuelta al saco de algodón como si se tratase de un guante y verter la muestra en él.
- c) Sumergir el saco conteniendo la muestra en la cubeta de agua durante 30 s o hasta su inmersión completa, según la duración más larga de las dos.
- d) Retirar el saco y la muestra de agua y quitar el exceso de agua del saco apretando la parte superior. Con la parte alta del saco bien cerrada, colgarlo para que escurra durante 2 horas, a temperatura ambiente.
- e) Al término del periodo de 2 horas, mezclar bien la muestra abriendo la parte alta del saco y sacudiéndolo para despegar las microesferas del fondo y de las paredes.
- f) Transferir la muestra a un embudo limpio y seco (ver Figura 01). La muestra entera debe fluir sin interrupción a través del embudo.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Método A. Siendo V el volumen, en mililitros, de las microesferas recogidas en el tubo, 5 minutos después de dejadas caer, el porcentaje de microesferas hidrofugadas es igual a:

$$(1 - V) \times 100 \quad (1)$$

ADVERTENCIA: Nunca poner microesferas de vidrio no hidrofugadas en un recipiente que haya contenido previamente microesferas de vidrio hidrofugadas o producto de hidrofugación.



7.1.2 Método B. Si el flujo se detiene, debe considerarse que no pasa el ensayo. Si las esferas o microesferas de vidrio fluyen sin parar, como se ha descrito anteriormente, el ensayo se considera satisfactorio. En el caso de que las esferas o microesferas de vidrio bloqueen el embudo nada más empezar el transvase, se permite golpear ligeramente el cuello con el fin de provocar la caída.

7.2 INFORME

7.2.1 En el informe final se hará constar:

- a) Resultados del ensayo, conforme a 7.1.1 y/o 7.1.2.
- b) Referencia a este modo operativo y cualquier desviación respecto al mismo acordada, o no, entre las partes interesadas.
- c) Referencias de las esferas o microesferas de vidrio examinadas

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 Si los resultados de la evaluación de las determinaciones realizadas por duplicado varían de forma significativa, repetir nuevamente el ensayo por duplicado. Se registra el resultado de todas las determinaciones, incluyendo los ensayos que hayan sido repetidos

MTC E 1305

DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE MASA

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la densidad de masa de las esferas y microesferas de vidrio utilizadas en señalización horizontal.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Determinar el volumen de una masa de esferas o microesferas de vidrio a una temperatura específica mediante el método de inmersión empleando una probeta al cual se añade un líquido a un nivel determinado, al cual se añade las esferas o microesferas de vidrio, volviendo a leer el nivel alcanzado, la diferencia de valores es el volumen del material sumergido. Conocido el volumen se determina la densidad en gramos por mililitro.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ABNT NBR 15199 Sinalização horizontal viária – Microesferas de vidro – Métodos de ensaio.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza. Con capacidad de 500 g y resolución de 0,05 g.
- 4.1.2 Estufa. Capaz de mantener una temperatura de $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Recipiente de vidrio.
- 4.2.2 Desecador.
- 4.2.3 Probeta de 100 mL.
- 4.2.4 Espátula de metal.

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Alcohol isopropílico.
- 4.3.2 Xileno.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Esferas y microesferas de vidrio.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de $25\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ y humedad relativa de $60\% \pm 10\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.2.1 Colocar 100 g de muestra en el recipiente de vidrio, previamente limpio y seco.
- 6.2.2 Secar en la estufa a $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ durante 2 horas.
- 6.2.3 Enfriar la muestra en el desecador durante 12 horas.
- 6.2.4 Pesar aproximadamente 60 g de muestra.
- 6.2.5 Colocar, cuidadosamente, la muestra en la probeta de 100 mL, la cual contiene 50 mL de alcohol isopropílico o xileno. Agitar la probeta, lentamente, para eliminar el aire atrapado en la muestra.

- 6.2.6 El volumen total leído en la probeta, menos 50 mL, representa el volumen de la muestra de esferas o microesferas de vidrio.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Determinar la densidad de masa, en gramos por mililitro, mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad de masa} = \frac{\text{Masa de la muestra (g)}}{\text{Volumen de la muestra (mL)}} \quad (1)$$

7.2 INFORME

- 7.2.2 En el informe final se hará constar:

- a) Resultados obtenidos de acuerdo al punto 7.1.1.
- b) Reactivo empleado.
- c) Referencias de las esferas o microesferas de vidrio examinadas.
- d) Referencia a este modo operativo y cualquier desviación respecto a la misma acordada, o no, entre las partes interesadas.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Si los resultados de la evaluación de las determinaciones realizadas por duplicado varían de forma significativa, repetir nuevamente el ensayo por duplicado. Se registra el resultado de todas las determinaciones, incluyendo los ensayos que hayan sido repetidos

MTC E 1306

DETERMINACION DE LA APARIENCIA Y DEFECTOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la apariencia y defectos que presentan las esferas y microesferas de vidrio utilizadas en señalización horizontal.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Para los efectos de este modo operativo, se aplican las siguientes definiciones.

- a) Apariencia. Aspecto presentado por la muestra, cuando es examinada en microscopio.
- b) Defectos de las esferas y microesferas de vidrio. Defectos que se caracterizan por el hallazgo en la muestra:

Partículas no esféricas. Algunas unidades son ovoides, deformadas o germinadas (conectadas entre sí por fusión)

Partículas angulares. Algunas unidades se presentan como vidrio no fundido y/o quebradas.

Elementos extraños. Algunas unidades no son esferas o microesferas de vidrio del tipo soda-cal.

Partículas que contienen burbujas de gas. Una esfera o microesfera de vidrio se considera defectuosa cuando el 25% o más de su sección transversal, vista bajo el microscopio, está ocupada por burbujas de gas.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ABNT NBR 15199 Sinalização horizontal viária – Microesferas de vidro – Métodos de ensaio.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Microscopio. Con un aumento de 50 veces y 100 veces

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Cuchara. Con capacidad de 5 mL.
- 4.2.2 Rollo de cinta adhesiva. Scotchal transparente, nº 639 B, o similar.
- 4.2.3 Lunas de reloj. Con diámetros de 5 cm a 10 cm.

4.3 REACTIVOS

- 4.3.1 Batería de líquidos con índice de refracción conocidos.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Esferas y microesferas de vidrio.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de $25\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ y humedad relativa de $60\% \pm 10\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.2.1 Esparcir la muestra de manera uniforme sobre un pedazo de cinta adhesiva con una longitud aproximada de 10 cm.

- 6.2.2 Coger el pedazo de la cinta en una de los extremos y agitarlo, de modo que el exceso de muestra se libere.
- 6.2.3 Colocar la cinta con la muestra en el campo óptico del microscopio.
- 6.2.4 Contar horizontalmente, la cantidad de partículas que aparecen en el campo óptico del objetivo, no considerando aquellas que aparezcan parcialmente, anotando su número (n).
- 6.2.5 Contar, con el mismo procedimiento de 6.2.4, sólo los elementos no esféricos (ovoides, deformados y germinados), anotando su número (n₁).
- 6.2.6 Volver a hacer el recuento, considerando sólo las partículas angulares y elementos extraños, anotando su número (n₂).
- 6.2.7 Colocar en una luna de reloj 3 g de muestra, obtenida por cuarteamiento, y cubrirlas con un líquido del mismo índice de refracción.
- 6.2.8 Examinar la muestra contenida en la luna de reloj, en el campo óptico del microscopio.
- 6.2.9 Proceder al recuento de las partículas en la luna de reloj, adoptando la sistemática descrita en 6.2.4, anotando el número (m).
- 6.2.10 Volver a hacer el recuento de las partículas de muestra que contienen burbujas de gas, anotando su número (m₁).

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Determinar el porcentaje de partículas defectuosas (ver las definiciones en 2.1 b) mediante las siguientes ecuaciones:

$$D_1 = \frac{n_1}{n} \times 100 \quad (1)$$

$$D_2 = \frac{n_2}{n} \times 100 \quad (2)$$

$$D_3 = \frac{m_1}{m} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

D₁ = Porcentaje de partículas no esféricas.

D₂ = Porcentaje de partículas angulares y elementos extraños.

D₃ = Porcentaje de esferas o microesferas de vidrio con burbujas de aire.

- 7.1.2 Registrar el promedio de tres determinaciones para cada clase de defectos.
- 7.1.3 El resultado es dado por:
 - a) Número de partículas angulares y elementos extraños, que es igual al promedio de D₂.
 - b) Número de partículas esféricas y con burbujas de gas, que es igual a la suma de los promedios de D₁ y D₃.

7.2 INFORME

- 7.2.3 En el informe final se hará constar:
 - a) Resultados obtenidos de acuerdo al punto 7.1.3.
 - b) Reactivo empleado.
 - c) Referencias de las esferas o microesferas de vidrio examinadas.
 - d) Referencia a este modo operativo y cualquier desviación respecto a la misma acordada, o no, entre las partes interesadas.



8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Si los resultados de la evaluación de las determinaciones realizadas por duplicado varían de forma significativa, repetir nuevamente el ensayo por duplicado. Se registra el resultado de todas las determinaciones, incluyendo los ensayos que hayan sido repetidos.

MTC E 1307**DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LOS ACIDOS****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar la resistencia al ácido clorhídrico de las esferas y microesferas de vidrio utilizadas en señalización horizontal.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Una característica importante de las esferas y microesferas de vidrio es la resistencia a diferentes agentes químicos. Este modo operativo proporciona el medio por el cual se puede evaluar el desempeño de las esferas o microesferas de vidrio frente a agentes químicos.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ABNT NBR 15199 Sinalização horizontal viária – Microesferas de vidro – Métodos de ensaio.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Balanza. Con una capacidad de 500 g y una resolución de 0,05 g.
4.1.2 Microscopio. Con aumento de 100 veces a 200 veces

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Espátula de metal.
4.2.2 Vaso de vidrio. Con una capacidad de 100 mL.
4.2.3 Papel de filtro. Whatman N° 4, cualitativo o similar, de 12 cm de diámetro.
4.2.4 Embudo analítico. Con un diámetro de 7 cm a 10 cm de tallo largo.
4.2.5 Soporte de embudo.

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Ácido clorhídrico con pH entre 5,0 y 5,3.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Esferas y microesferas de vidrio.

6.0 PROCEDIMIENTO**6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO**

- 6.1.1 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $60\% \pm 10\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.2.1 Pesar 10 g de muestra en un vaso de 100 mL.
6.2.2 Adicionar el ácido clorhídrico, de tal modo que la muestra esté completamente sumergida.
6.2.3 Dejar el conjunto en reposo durante 90 horas.
6.2.4 Filtrar el conjunto en papel de filtro.
6.2.5 Lavar la muestra tres veces en el papel de filtro, con agua destilada.
6.2.6 Secar la muestra al aire.



7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Comparar en el microscopio la muestra ensayada con otras no ensayadas del mismo lote.

7.2 INFORME

7.2.4 En el informe final se hará constar:

- a) Resultados obtenidos de acuerdo al punto 7.1.1.
- b) Referencias de las esferas o microesferas de vidrio examinadas.
- c) Referencia a este modo operativo y cualquier desviación respecto a la misma acordada, o no, entre las partes interesadas.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 Si los resultados de la evaluación de las determinaciones realizadas por duplicado varían de forma significativa, repetir nuevamente el ensayo por duplicado. Se registra el resultado de todas las determinaciones, incluyendo los ensayos que hayan sido repetidos.

MTC E 1308

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL CLORURO DE CALCIO

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la resistencia al cloruro de calcio de las esferas y microesferas de vidrio utilizadas en señalización horizontal.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Una característica importante de las esferas y microesferas de vidrio es la resistencia a diferentes agentes químicos. Este modo operativo proporciona el medio por el cual se puede evaluar el desempeño de las esferas o microesferas de vidrio frente a agentes químicos.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ABNT NBR 15199 Sinalização horizontal viária – Microesferas de vidro – Métodos de ensaio.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Balanza. Con una capacidad de 500 g y una resolución de 0,05 g.
4.1.2 Microscopio. Con aumento de 100 veces a 200 veces

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Espátula de metal.
4.2.2 Vaso de vidrio. Con una capacidad de 100 mL.
4.2.3 Papel de filtro. Whatman N° 4, cualitativo o similar, de 12 cm de diámetro.
4.2.4 Embudo analítico. Con un diámetro de 7 cm a 10 cm de tallo largo.
4.2.5 Soporte de embudo.

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Cloruro de Calcio 1 N.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Esferas y microesferas de vidrio.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $60\% \pm 10\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.2.1 Pesar 10 g de muestra en un vaso de 100 mL.
6.2.2 Adicionar el cloruro de calcio 1 N, de tal modo que la muestra esté completamente sumergida.
6.2.3 Dejar el conjunto en reposo durante 3 horas.
6.2.4 Filtrar el conjunto en papel de filtro.
6.2.5 Lavar la muestra tres veces en el papel de filtro, con agua destilada.
6.2.6 Secar la muestra al aire.

7.0 CALCULOS E INFORME

- 7.1 CALCULOS



7.1.1 Comparar en el microscopio la muestra ensayada con otras no ensayadas del mismo lote.

7.2 INFORME

7.2.5 En el informe final se hará constar:

- a) Resultados obtenidos de acuerdo al punto 7.1.1.
- b) Referencias de las esferas o microesferas de vidrio examinadas.
- c) Referencia a este modo operativo y cualquier desviación respecto a la misma acordada, o no, entre las partes interesadas.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 Si los resultados de la evaluación de las determinaciones realizadas por duplicado varían de forma significativa, repetir nuevamente el ensayo por duplicado. Se registra el resultado de todas las determinaciones, incluyendo los ensayos que hayan sido repetidos.

MTC E 1309**DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL SULFURO DE SODIO****1.0 OBJETO**

- 1.1 Determinar la resistencia al sulfuro de sodio de las esferas y microesferas de vidrio utilizadas en señalización horizontal.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Una característica importante de las esferas y microesferas de vidrio es la resistencia a diferentes agentes químicos. Este modo operativo proporciona el medio por el cual se puede evaluar el desempeño de las esferas o microesferas de vidrio frente a agentes químicos.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ABNT NBR 15199 Sinalização horizontal viária – Microesferas de vidro – Métodos de ensaio.
3.2 UNE-EN 1423. Materiales para señalización vial horizontal. Materiales de postmezclado. Microesferas de vidrio, áridos antideslizantes y mezclas de ambos.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**4.1 EQUIPOS**

- 4.1.1 Balanza. Con una capacidad de 500 g y una resolución de 0,05 g.
4.1.2 Microscopio. Con aumento de 100 veces a 200 veces
4.1.3 Estufa. Capaz de mantener una temperatura de $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Espátula de metal.
4.2.2 Matraz con tapa esmerilada. Con capacidad de 100 mL.
4.2.3 Papel de filtro. Whatman N° 4, cualitativo o similar, de 12 cm de diámetro.
4.2.4 Embudo analítico. Con un diámetro de 7 cm a 10 cm de tallo largo.
4.2.5 Soporte de embudo.
4.2.6 Desecador.
4.2.7 Luna de reloj. Con 5 cm a 10 cm de diámetro.

4.3 INSUMOS

- 4.3.1 Sulfuro de Sodio P.A.
4.3.2 Agua destilada.
4.3.3 Agente humectante aniónico. Agente cuya base es un sulfonato de n-alkilbenceno, un n-alkilsulfato o un epoxi n-alkilsulfato

5.0 MUESTRA

- 5.1 Esferas y microesferas de vidrio.

6.0 PROCEDIMIENTO**6.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO**

- 6.1.1 Realizar los ensayos en un ambiente con temperatura de $20\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ y humedad relativa de $60\% \pm 10\%$, en un lugar libre de polvo y luz directa del sol.

6.2 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 6.2.1 Colocar 10 g de muestra en el matraz de 100 mL con tapa esmerilada.

- 6.2.2 Cubrir totalmente la muestra con una solución saturada de sulfuro de sodio en agua destilada a 20 °C con la adición de un 2% de agente humectante aniónico.
- 6.2.3 Dejar la muestra en contacto con la solución durante 1 hora, agitando a intervalos de 5 minutos.
- 6.2.4 Filtrar el contenido en papel de filtro.
- 6.2.5 Lavar la muestra tres veces en el papel de filtro, con agua destilada.
- 6.2.6 Secar la muestra en la estufa, a una temperatura de 110 °C ± 5 °C durante 2 horas.
- 6.2.7 Enfriar la muestra en un desecador, durante 2 horas.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Comparar en el microscopio la muestra ensayada con otras no ensayadas del mismo lote.

7.2 INFORME

- 7.2.6 En el informe final se hará constar:
 - a) Resultados obtenidos de acuerdo al punto 7.1.1.
 - b) Referencias de las esferas o microesferas de vidrio examinadas.
 - c) Referencia a este modo operativo y cualquier desviación respecto a la misma acordada, o no, entre las partes interesadas.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Si los resultados de la evaluación de las determinaciones realizadas por duplicado varían de forma significativa, repetir nuevamente el ensayo por duplicado. Se registra el resultado de todas las determinaciones, incluyendo los ensayos que hayan sido repetidos.

ANEXO N° 1

SISTEMAS DE CLASIFICACION DE LOS SUELOS

DEFINICION

Un sistema de clasificación de los suelos, es una agrupación de esto con características semejantes. El propósito es estimar en forma fácil las propiedades de un suelo por comparación con otros del mismo tipo, cuyas características se conocen. Son tantas las propiedades y combinaciones en los suelos y múltiples los intereses ingenieriles, que las clasificaciones están orientadas al campo de ingeniería para la cual se desarrollaron, por consiguiente, sólo se explicarán las clasificaciones empleadas en obras viales.

1. SISTEMA AASHTO

El Departamento de Caminos Públicos de USA (Bureau of Public Roads) introdujo uno de los primeros sistemas de clasificación, para evaluar los suelos sobre los cuales se construían las carreteras. Posteriormente en 1945 fue modificado y desde entonces se le conoce como sistema AASHTO y recientemente AASHTO.

El sistema describe un procedimiento para clasificar suelos en grupos, basado en las determinaciones de laboratorio de granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. La evaluación en cada grupo se hace mediante un "índice de grupo".

Se informa en números enteros y si es negativo se informa igual a 0.

El grupo de clasificación, incluyendo el índice de grupo, se usa para determinar la calidad relativa de suelos de terraplenes, material de subrasante, subbases y bases.

El valor del índice de grupo debe ir siempre en paréntesis después del símbolo del grupo, como: A-2-6 (3); A-7-5 (17), etc.

Cuando el suelo es NP o cuando el límite no puede ser determinado, el índices de grupo debe considerarse (0).

Si un suelo es altamente orgánico (turba) puede ser clasificado como A-8 sólo con una verificación visual, sin considerar el porcentaje bajo 0,08 mm, límite líquido e índice de plasticidad. Generalmente es de color oscuro, fibroso y olor putrefacto y fuerte.

SISTEMA DE CLASIFICACION AASHTO

Clasificación General	Suelos Granulares ($\leq 35\%$ pasa 0,08 mm)						Suelos Finos ($> 35\%$ Bajo 0,08 mm)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5** A-7-6**
2 mm	≤ 50										
0,5 mm	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
0,08 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35				36			
W _L				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Descripción	Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y Arenas Limosas Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
	** A-7-5: $IP \leq (W_L - 30)$						** A-7-6: $IP > (W_L - 30)$				
	Si el suelo es NP $\rightarrow IG = 0$; Si $IG < 0 \rightarrow IG = 0$										

2. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION:

El sistema desarrollado por el Dr. Arturo Casagrande utiliza la textura para dar términos descriptivos tales como:

“GW”, grava bien graduada; “GC”, grava arcillosa; “GP”, Grava mal graduada, etc.

Este sistema de clasificación se ha extendido en cooperación con la Oficina de mejoramiento de terrenos (Bureau of Reclamation) de los Estados Unidos, y se denomina actualmente Sistema de clasificación unificado.

Está basado en la identificación de los suelos según sus cualidades estructurales y de plasticidad, y su agrupación con relación a su comportamiento como materiales de construcción en ingeniería. La base de la clasificación de suelos está en las siguientes propiedades:

1. Porcentaje de grava, arena y finos (fracción que pasa por el tamiz N° 200)
2. Forma de la curva de distribución granulométrica.
3. Características de plasticidad y compresibilidad.

Se establecen fracciones de suelos: Cantos rodados, gravas, arena y finos (limo o arcilla). Los límites de demarcación entre las diversas fracciones y aspectos descriptivos, simbología, descripciones y criterios de clasificación de laboratorio, se dan en la Tabla I: Sistema Unificado de Clasificación de suelos, que se incluye.

Los suelos se separan en tres divisiones:

1. Suelos de grano grueso.
2. Suelos de grano fino.
3. Suelos altamente orgánicos.

Los suelos de grano grueso son aquellos que contienen 50 por ciento o menos de material más pequeño que la malla del tamiz N° 200, y suelos de grano fino son aquellos que contienen más del 50 por ciento de material más pequeño que el tamiz N° 200.

Los suelos altamente orgánicos pueden identificarse generalmente por inspección visual.

Los suelos de grano grueso se dividen en gravas (G) y arenas (S). Las gravas son aquellos suelos de grano grueso que tienen un porcentaje mayor de la fracción gruesa (la que no pasa por el tamiz N° 200) retenida en el tamiz N° 4, y las arenas son aquellos que su porción mayor para por el tamiz N° 4. Tanto las gravas (G), como las arenas (S), se dividen en cuatro grupos secundarios, GW, GP, GM y GC y SW, SP, SM y SC, respectivamente, según la cantidad y tipo de los finos y la forma de la curva granulométrica.

En la indicada tabla se muestran los tipos representativos de suelos encontrados en cada uno de estos grupos secundarios, bajo el encabezamiento de “Nombres Típicos”. Los suelos de grano fino se subdividen en limos (M) y arcillas (C), según su límite líquido y su índice de plasticidad. Los limos son suelos de grano fino con un límite líquido y un índice de plasticidad, de los cuales grama de la tabla II-3 y arcillas aquellos que dan puntos por encima de la línea “A”. Esta definición no es válida para las arcillas orgánicas puesto que el límite líquido y el índice de plasticidad de estos suelos dan puntos por debajo de la línea “A”, El limo (M) y la arcilla (C) se dividen a su vez en dos grupos secundarios basados en el hecho de que el suelo tenga un límite líquido relativamente bajo (L – low), o alto (H – high). Los tipos de suelos representativos encontrados en cada uno de los grupos resultante se dan en la tabla II-3 bajo

“Nombres Típicos”.

Los suelos altamente orgánicos son usualmente muy comprensibles y tienen características inadecuadas para la construcción. Se clasifican dentro del grupo designado por el símbolo Pt. Turba (Peat). El humus y los suelos de pantano son ejemplos típicos de este grupo de suelos.



DIVISION MAYOR		GRUPO SIMBOLOS	DESCRIPCION	CRITERIO DE CLASIFICACION DEL LABORATORIO	
SUELOS DE GRANO GRUESO Mas de la mitad del material es mayor que el tamiz N° 200.	GRAVAS (Mas de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz N° 4)	GW	Grava bien graduado o mezcla de arena y grava. Poco o ningunos finos.	$C_u = \frac{D_{60} \text{ mayor que } 4}{D_{10}}$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ entre } 1 \text{ y } 3$ No reúne los requisitos de granulometría para GW	
		GP	Grava mal graduado o mezcla de grava y arena. Poco o ningunos finos.		
		GM u	Grava con finos, grava mal graduado muy limoso. Mezcla grava, arena y arcilla.		Límites de Atterberg bajo la línea "A" o I.P. menor de 4 Caso de estar sobre la línea "A" con I.P. entre 4 y 7, estamos en un caso "límite", y usarse los dos símbolos
			Grava con finos, grava mal graduado muy limoso. Mezcla grava, arena y arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea "A" o I.P. mayor 7
	ARENAS (Mas de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz N° 40)	ARENA LIMPIA (Poco o ningún finos)	SW	Arena bien graduada y arena gravilosa. Poco o ningunos finos.	$C_u = \frac{D_{60} \text{ mayor que } 6}{D_{10}}$ $C_c = \frac{(D_{10})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ entre } 1 \text{ y } 3$ No reúne los requisitos de granulometría para SW
			SP	Arena mal graduado. Arena gravilosa. Poco o ningunos finos.	
		ARENA CON FINOS (Apreciado cantidad de finos)	SM d u	Arena con finos. Arena muy limoso. Mal graduado mezcla arena y arcilla.	Límites de Atterberg la línea "A" o I.P. menor de 4 Las líneas trazadas en la zona rayada con I.P. entre 4 y 7 son casos límite y deben usarse los dos símbolos.
				Arena con finos. Arena muy limoso. Mal graduado mezcla arena y arcilla.	Límites de Atterberg sobre la línea "A" o I.P. mayor 7
		ARENA CON FINOS (Apreciado cantidad de finos)	SC	Mezcla bien graduado arena y arcilla. Excelente aglutinante.	
				Mezcla bien graduado arena y arcilla. Excelente aglutinante.	
SUELOS DE GRANO FINO Mas de la mitad del material es menor que el tamiz N° 200	LIMO Y ARCILLA (Límite líquido es menor de 50)	ML	Limos Inorgánico y arena muy fina. Polvo roca. Arena fino con ligera plasticidad.	Determinar el porcentaje de arena y grava de la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción menor que el tamiz N° 200), los suelos de grano grueso y de grano fino se clasifican así: Menos del 5%: GW, GP, SW, SP Más del 5%: GM, GC, SM, SC 5% a 12%: caso límite, usar los dos símbolos.	
		CL	Arcilla Inorgánica de baja o medias plasticidad. Arcilla arenosa. Arcilla gravilosa. Arcilla limosa. Arcilla floja		
		OL	Limos. Orgánico. Limos - arcilla orgánico de baja plasticidad.		
		MH	Limos inorgánicos, arena fina micáceo o diamatáceo o suelo limoso, suelo elástico		
		CH	Arcilla inorgánica de alta plasticidad. Arcillas grasas		
		OH	Arcilla orgánica de media o alta plasticidad		
		PL	Turba (pect) y otros materiales altamente orgánicos.		

GRAFICO DE PLASTICIDAD

Las divisiones de los grupos GM y SM en las subdivisiones "d" y "u" es solamente para caminos y aeródromos. Las subdivisiones están basadas en los límites de Atterberg. El sufijo "d" es usado cuando LL es 28 o menos y el PI es 6 o menos. Sufijo "u" es usado cuando LL es mayor de 28.

Clasificación en la línea divisoria, usada para suelos que poseen características de dos grupos es designado por la combinación de símbolos de grupos. Por ejemplo: GW – GC, mezcla de arena y grava bien graduada con arcilla como aglutinante.



ANEXO N° 2

CONTROL DE CALIDAD

INTRODUCCIÓN

Los Controles de Calidad de los Ensayos de Obra y de los materiales a ser utilizados han sido descritos en el Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG-2013, en el presente manual se está extrayendo la información que debe tomarse en cuenta para los Ensayos de Laboratorio.

La información se ha transcrito literalmente variando únicamente la forma de presentación.

Lima, Mayo de 2016.

CONTROL DE MATERIALES

Generalidades

Todos los materiales necesarios para la ejecución de las obras serán suministrados por el Contratista, por lo que es de su responsabilidad la selección de los mismos, de las fuentes de aprovisionamiento del Proyecto, teniendo en cuenta que los materiales deben cumplir con todos los requisitos de calidad exigidos en estas Especificaciones y requerimientos establecidos en los Estudios Técnicos y Ambientales del Proyecto.

Los precios consignados en los presupuestos de cada Proyecto deberán incluir los costos de transportes, carga, descarga, manipuleo, mermas y otros conceptos que pudieran existir.

El Contratista deberá conseguir oportunamente todos los materiales y suministros que se requieran para la construcción de las obras y mantendrá permanentemente una cantidad suficiente de ellos para no retrasar la progresión de los trabajos. En el caso de zonas caracterizadas por épocas de lluvias, huaycos, desbordes de ríos y fuertes variaciones climáticas suele darse la interrupción de las vías de comunicación lo cual impide el normal suministro de materiales, víveres y medicinas. Por previsión ante estas variaciones es responsabilidad del Contratista elaborar un Plan de Emergencia de previsión de almacenamiento de stock que cubra un lapso no menor de 30 días. La cuantificación del stock se elaborará basándose en una previa evaluación de los consumos mensuales y en función de las diferentes etapas del proceso de ejecución de la obra.

Los materiales suministrados y demás elementos que el Contratista emplee en la ejecución de las obras deberán ser de primera calidad y adecuados al objeto que se les destina. Los materiales y elementos que el Contratista emplee en la ejecución de las obras sin el consentimiento y aprobación del Supervisor deberán ser rechazados por éste cuando no cumplan los controles de calidad correspondientes.

Certificación de Calidad

Los materiales a emplear en obra y que sean fabricados comercialmente deben estar respaldados por certificados del productor en el que se indique el cumplimiento de los requisitos de calidad que se establecen en estas especificaciones. La certificación debe ser entregada para cada lote de materiales o partes entregadas en la obra. Así mismo, de ser el caso el Contratista también presentará certificados de calidad emitidos por organismos nacionales oficiales.

Del mismo modo los materiales que por su naturaleza química o su estado físico presenten características propias de riesgo deben contar con las especificaciones de producción respecto a su manipulación, transporte, almacenamiento y medidas de seguridad a ser tenidas en cuenta.

Esta disposición no impide que la Supervisión solicite al Contratista, como responsable de la calidad de la obra, la ejecución de pruebas confirmatorias en cualquier momento en cuyo caso si se encuentra que no están en conformidad con los requisitos establecidos serán rechazados estén instalados o no. Las copias de los certificados de calidad del fabricante o de los resultados de las pruebas confirmativas deben ser entregadas al Supervisor.

Si el Supervisor cree necesario tanto tomar muestras como repetir o adicionar pruebas para verificar la calidad de los materiales, debido a que las pruebas del Contratista sean declaradas inválidas, no se hará pago de dicho trabajo puesto que se considera una obligación subsidiaria del Contratista.

Almacenamiento de Materiales

Los materiales tienen que ser almacenados de manera que se asegure la conservación de su calidad para la obra y tienen que ser localizados de modo que se facilite su rápida inspección. Cualquier espacio adicional que se necesite para tales fines tiene que ser provisto por el Contratista sin costo alguno para la entidad contratante.

Los materiales aún cuando hayan sido aprobados antes de ser almacenados, pueden ser inspeccionados, cuantas veces sean necesarias, antes de que se utilicen en la obra.

En el almacenamiento de los materiales es responsabilidad del Contratista garantizar medidas mínimas de seguridad a fin de evitar accidentes que afecten físicamente a los trabajadores y personas que circulen en

la obra. Será responsabilidad del Supervisor la verificación del cumplimiento de las mismas, considerando que:

- Los materiales sean almacenados fuera del área de tránsito peatonal y de traslado de maquinarias y equipos.
- Los materiales no sean apilados contra tabiques y paredes sin comprobar la suficiente resistencia para soportar la presión. Se recomienda una distancia mínima de 0,50 m entre el tabique o pared y las pilas de material.
- Las barras, tubos, maderas, etc., se almacenen en casilleros para facilitar su manipuleo y así no causar lesiones físicas al personal.
- Cuando se trate de materiales pesados como tuberías, barras de gran diámetro, tambores, etc., se arrumen en capas debidamente esparcidas y acuñadas para evitar su deslizamiento y facilitar su manipuleo.
- En el almacenamiento de los materiales, que por su naturaleza química o su estado físico presenten características propias de riesgo, se planifique y adopten las medidas preventivas respectivas según las especificaciones técnicas dadas por el productor.
- Las medidas preventivas así como las indicaciones de manipulación, transporte y almacenamiento de los materiales de riesgo, sean informadas a los trabajadores mediante carteles estratégicamente ubicados en la zona de almacenamiento.
- El acceso a los depósitos de almacenamiento, está permitido solamente a personas autorizadas y en el caso de acceso a depósitos de materiales de riesgo, las personas autorizadas deberán estar debidamente capacitadas en las medidas de seguridad a seguir y así mismo, contar con la protección adecuada requerida según las especificaciones propias de los materiales en mención.

Todas las áreas de almacenamiento temporal e instalaciones de las plantas, tienen que ser restauradas a su estado original por el Contratista según las Normas contenidas en los Manuales y Reglamentos de Medio Ambiente que forman parte del Expediente Técnico y según lo estipulado en la Sección 906 del EG-2013.

Transporte de los Materiales

Todos los materiales, tanto los transportados a obra como los generados durante el proceso constructivo, tienen que ser manejados en tal forma que conserven su calidad para el trabajo. Los agregados tienen que ser transportados desde lugar de almacenaje o de producción hasta la obra en vehículos cubiertos y asegurados a la carrocería, de tal modo que eviten la pérdida o segregación de los materiales después de haber sido medidos y cargados.

El transporte de los materiales debe sujetarse a las medidas de seguridad, según las normas vigentes y deben estar bajo responsabilidad de personas competentes y autorizadas. Los medios empleados para el transporte de materiales deben ser adecuados a la naturaleza, tamaño, peso, frecuencia de manejo del material y distancia de traslado para evitar lesiones físicas en el personal encargado del traslado de los materiales y reducir el riesgo de accidentes durante el proceso de traslado.

Los equipos y vehículos de transporte de materiales deberán ser operados por personal autorizado y debidamente capacitado para ello.

Antes de ingresar a vías pavimentadas, se deberán limpiar los neumáticos de los vehículos. Cualquier daño producido por los vehículos de obra en las vías por donde transitan, deberán ser corregidos por el Contratista a su cuenta, costo y riesgo.

Material Provisto por la entidad contratante

Cualquier material proporcionado por la entidad contratante, será entregado o puesto a disposición del Contratista en los almacenes y lugares que se indiquen en el contrato. El costo del transporte a obra, manejo y la colocación de todos esos materiales después de entregados al Contratista se considerará incluido en el precio del contrato para la partida correspondiente a su uso. El Contratista será responsable de todo el material que le sea entregado. En caso de daños que puedan ocurrir después de dicha entrega

se efectuarán las deducciones correspondientes y el Contratista asumirá las reparaciones y reemplazos que fueran necesarios, así como por cualquier demora que pueda ocurrir.

Inspección en las fuentes de producción

El Supervisor puede llevar a cabo la inspección de materiales en las fuentes de producción y en los laboratorios de control de calidad. Se pueden obtener muestras de material para realizar ensayos de laboratorio y así comprobar que se cumplen los requisitos de calidad del material.

Esta puede ser la base de aceptación de lotes fabricados en cuanto a la calidad. En todos los casos que se realice una inspección, el Supervisor tendrá la cooperación y ayuda del Contratista y del productor de los materiales y contar con libre acceso a todas las instalaciones y laboratorios de control de calidad.

Las fuentes de producción serán inspeccionadas periódicamente para comprobar su cumplimiento con métodos especificados.

Uso de Materiales encontrados en Ejecución de la Obra

Excepto cuando se especifique de otra forma, todos los materiales adecuados que sean encontrados en la excavación, tales como piedra, grava o arena, deberán ser utilizados en la construcción de terraplenes o para otros propósitos según se haya establecido en el contrato o según ordene el Supervisor. El Contratista no deberá excavar o remover ningún material fuera del derecho de vía de la carretera, sin autorización escrita de la entidad competente y/o propietario.

En caso que el Contratista haya producido o procesado material en exceso a las cantidades requeridas para cumplir el contrato, la entidad contratante podrá tomar posesión de dicho material en exceso, incluyendo cualquier material de desperdicio, sin obligación de reembolsar al Contratista por el costo de producción, o podrá exigir a este, que retire dicho material y restaure el entorno natural a una condición satisfactoria a su costo.

Para el caso de materiales extraídos, según lo indica la Ley N° 26737, el D.S. N° 013-97-AG y el D.S. N° 016-98-AG, el volumen extraído de los materiales de acarreo, será de acuerdo al autorizado en el permiso otorgado, el cual debe corresponder al expediente técnico de la obra. Luego de finalizada la obra el material excedente quedará a la disponibilidad de la Administración Técnica del Distrito de Riego.

Los materiales excedentes de la obra, serán dispuestos y acondicionados en los lugares debidamente autorizados (DME), según lo establecido en la [Sección 209. EG-2013](#)

El material de cobertura vegetal u orgánica que se destine para su uso posterior en actividades de revegetación de taludes, canteras u otros fines, se almacenará en sitios adecuados para este propósito, hasta su utilización cuidando de no mezclarlo con otros materiales considerados como desperdicios.

Materiales Defectuosos

Todo material rechazado por no cumplir con las especificaciones exigidas, deberá ser restituido por el Contratista y queda obligado a retirar de la obra los elementos y materiales defectuosos a su costo, en los plazos que indique el Supervisor.



CONTROLES DE OBRA

Descripción

Generalidades

En esta sección se muestran en forma general, los distintos aspectos que deberá tener en cuenta el Supervisor para realizar el Control de Calidad de la obra, entendiendo el concepto como una manera directa de garantizar la calidad del producto construido. Asimismo el Contratista debe realizar su propio control de la calidad de la obra.

La Supervisión controlará y verificará los resultados obtenidos y tendrá la potestad, en el caso de dudas, de solicitar al Contratista la ejecución de ensayos especiales en un laboratorio independiente.

La responsabilidad por la calidad de la obra es única y exclusivamente del Contratista. Cualquier revisión, inspección o comprobación que efectúe la Supervisión no exime al Contratista de su obligación sobre la calidad de la obra.

REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN

Laboratorio

El Laboratorio de la Supervisión, así como el del Contratista deberá contar con los equipos que se requieren en el Expediente Técnico. Todos los equipos, antes de iniciar la obra, deberán poseer certificado de calibración, expedido por una firma especializada o entidad competente de acuerdo al Reglamento de Acreditación de Organismos de Certificación, Organismos de Inspección y Laboratorios de Ensayo y Calibración. Este certificado debe tener una fecha de expedición menor de 1 mes antes de la orden de inicio.

La certificación de calibración de los equipos deberá actualizarse cada 6 meses, contados estos a partir de la última calibración.

El sitio para el laboratorio debe estar dotado por lo menos de 4 áreas, las cuales deben estar delimitadas por ambientes separados, con las siguientes áreas mínimas:

- Área de Ejecución de Ensayos: 24 m²
- Área de Almacenamiento de materiales: 12 m²
- Área de Gabinete de Laboratorio: 12 m²
- Área de laboratorio de Supervisión: 16 m²

Organización

La Supervisión deberá establecer una organización para las labores de Control de Calidad de la obra, la cual estará compuesta como mínimo de la siguiente forma:

- Jefe de Supervisión: Profesional especializado y con la experiencia requerida de acuerdo al contrato suscrito con la entidad contratante.
- Jefe de Laboratorio: Profesional especializado en el manejo de laboratorios de suelos y pavimentos y con experiencia, acorde a lo requerido en el contrato suscrito con la entidad contratante.
- Laboratoristas Inspectores: Profesionales o técnicos de laboratorio con experiencia en control de calidad de obras viales, acorde a los requisitos y cantidades establecidos en el contrato suscrito con la entidad contratante.
- Ayudante de Laboratorio: Personal auxiliar para la ejecución de ensayos de laboratorio y de campo, en cantidades necesarias para la ejecución de un adecuado control de calidad en las labores de la supervisión.

El equipo de laboratorio, de acuerdo al tipo y magnitud de obra, será especificado en los contratos de obra y supervisión.

Los equipos de control de calidad deben contar con el equipamiento y apoyo logístico correspondiente para el adecuado cumplimiento de sus labores.

Rutina de Trabajo

El Supervisor definirá acorde a la normatividad vigente, los formatos de control para cada una de las actividades que se ejecutarán en el Proyecto.

Si el control se hace en el sitio, deberá realizarse la comparación con el parámetro respectivo. Realizada la comparación, debe indicarse si se acepta o rechaza la actividad evaluada. En el caso de rechazo debe especificarse las razones e indicarse la medida correctiva, luego de la cual se volverá a realizar un nuevo control con el mismo procedimiento.

Todos los formatos deberán ser firmados por las personas que participaron en las evaluaciones, tanto de parte del Contratista como del Supervisor. El grupo de calidad de la Supervisión elaborará semanalmente un programa de ejecución de pruebas de control de calidad coordinadamente con el Contratista, coherente con el programa de construcción y las exigencias de éstas especificaciones, en el cual, se defina localización, tipo y número de pruebas.



Mensualmente y acorde a lo establecido en el contrato, la Supervisión elaborará un Informe de Control de Calidad, en el cual se consignen los resultados de las pruebas, la evaluación estadística, las medidas correctivas utilizadas y las conclusiones respectivas.

La Supervisión presentará el Informe Mensual a la entidad contratante, así como los informes especiales que le solicite, en los términos y plazos establecidos en el contrato.

Al terminar la obra, la Supervisión remitirá el Informe Final de Calidad, a la entidad contratante. Los análisis irán acompañados de gráficos, tablas, resultados de análisis de laboratorio y pruebas de calidad, etc. Incluirá también la información estadística del conjunto y el archivo general de los controles y cálculos efectuados.

La Supervisión revisará la información técnica que pudiera presentar el Contratista y hará llegar a la entidad contratante con sus respectivos comentarios y recomendaciones.

EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS ENSAYOS, PRUEBAS Y MATERIALES PARA SU ACEPTACIÓN

En esta sección se describe el procedimiento de evaluación estadística para los ensayos, pruebas y materiales, que de acuerdo con esta especificación, requieran que se les tome muestras y/o se hagan pruebas con el fin de ser aceptados.

Para cada actividad y en su respectiva especificación se establecen los parámetros para los aspectos que se definen a continuación:

a. Sector de Control

Corresponde a la extensión, área o volumen que debe ser evaluada mediante una prueba de campo y/o laboratorio. Para cada lote o tramo de prueba se tomarán como mínimo 5 muestras, los cuales serán evaluados estadísticamente.

b. Nivel de Calidad

Calificación del grado de exigencia que debe aplicarse dependiendo de la importancia de la actividad evaluada. Para esta especificación se han determinado dos categorías:

- Categoría 1: Exigencia alta (no se admite tolerancia)
- Categoría 2: Exigencia normal (tolerancias establecidas en estas Especificaciones)

c. Tolerancia

Rango normalmente permitido por encima o por debajo del valor especificado o del determinado en un diseño de laboratorio.

El valor del límite superior aceptado (LSA) es igual al valor especificado más la tolerancia.

El valor del límite inferior aceptado (LIA) es igual al valor especificado menos la tolerancia.

d. Sitio de Muestreo

Lugar donde se deben tomar las muestras para ser ensayadas en laboratorio, o donde se debe verificar la calidad en campo. Estos sitios se determinarán mediante un proceso aleatorio, cuya metodología se expone en el Anexo N° 1 del EG-2013, u otro aprobado por la Supervisión en el sector de control.

Cálculo Estadístico

Para evaluar estadísticamente la calidad de la información recolectada para cada prueba, se seguirá la siguiente rutina:

- Determine el promedio aritmético (X) y la desviación estándar (S) de los resultados determinados para cada una de las muestras (n) que forma una prueba.
- Calcule el Índice de Calidad Superior (ICS) así:

$$ICS = \frac{LSA - X}{S}$$

- Calcule el Índice de Calidad Inferior (ICI) así:

$$ICI = \frac{X - LIA}{S}$$

En la Tabla A determine el porcentaje del trabajo por encima del límite superior aceptado (Ps), correspondiente al ICS.

- Asimismo, determine en la Tabla A, el porcentaje de trabajo por debajo del LIA (Pi), correspondiente al ICI.
- Calcule el porcentaje de defecto de la prueba así:

$$Pd = Ps + Pi$$

- Con el porcentaje de defecto calculado y el nivel de calidad de la actividad, se determina en la Tabla B la aceptabilidad o el rechazo de la prueba.



Tabla A
Porcentaje de trabajo Estimado por fuera de los límites de la Especificación

Porcentaje estimado por fuera de límites de la especificación (Ps y/o Pi)	Índice de Calidad Superior ICS o Índice de Calidad Inferior ICI												
	n=5	n=6	n=7	n=8	n=9	n=10 a n=11	n=12 a n=14	n=15 a n=17	n=18 a n=22	n=23 a n=29	n=30 a n=42	n=43 a n=66	n=67 a n=∞
0	1,72	1,88	1,99	2,07	2,13	2,20	2,28	2,34	2,39	2,44	2,48	2,51	2,56
1	1,64	1,75	1,82	1,88	1,91	1,96	2,01	2,04	2,07	2,09	2,12	2,14	2,16
2	1,58	1,66	1,72	1,75	1,78	1,81	1,84	1,87	1,89	1,91	1,93	1,94	1,95
3	1,52	1,59	1,63	1,66	1,68	1,71	1,73	1,75	1,76	1,78	1,79	1,80	1,81
4	1,47	1,52	1,56	1,58	1,60	1,62	1,64	1,65	1,66	1,67	1,68	1,69	1,70
5	1,42	1,47	1,49	1,51	1,52	1,54	1,55	1,56	1,57	1,58	1,59	1,59	1,60
6	1,38	1,41	1,43	1,45	1,46	1,47	1,48	1,49	1,50	1,50	1,51	1,51	1,52
7	1,33	1,36	1,38	1,39	1,40	1,41	1,41	1,42	1,43	1,43	1,44	1,44	1,44
8	1,29	1,31	1,33	1,33	1,34	1,35	1,35	1,36	1,36	1,37	1,37	1,37	1,38
9	1,25	1,27	1,28	1,28	1,29	1,29	1,30	1,30	1,30	1,31	1,31	1,31	1,31
10	1,21	1,23	1,23	1,24	1,24	1,24	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,26	1,26
11	1,18	1,18	1,19	1,19	1,19	1,19	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
12	1,14	1,14	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
13	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
14	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
15	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
16	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
17	0,97	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
18	0,93	0,92	0,92	0,92	0,91	0,91	0,91	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
19	0,90	0,89	0,88	0,88	0,88	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
20	0,87	0,86	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
21	0,84	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,79
22	0,81	0,79	0,79	0,78	0,78	0,77	0,77	0,77	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
23	0,77	0,76	0,75	0,75	0,74	0,74	0,74	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
24	0,74	0,73	0,72	0,72	0,71	0,71	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
25	0,71	0,70	0,69	0,69	0,68	0,68	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,66
26	0,68	0,67	0,67	0,65	0,65	0,65	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,63
27	0,65	0,64	0,63	0,62	0,62	0,62	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,60
28	0,62	0,61	0,60	0,59	0,59	0,59	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,57
29	0,59	0,58	0,57	0,57	0,56	0,56	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,54
30	0,56	0,55	0,57	0,54	0,53	0,53	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
31	0,53	0,52	0,51	0,51	0,50	0,50	0,50	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
32	0,50	0,49	0,48	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
33	0,47	0,46	0,45	0,45	0,45	0,44	0,44	0,44	0,44	0,43	0,43	0,43	0,43
34	0,45	0,43	0,43	0,42	0,42	0,42	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,40
35	0,42	0,40	0,40	0,39	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
36	0,39	0,38	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
37	0,36	0,35	0,34	0,34	0,34	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,32
38	0,33	0,32	0,32	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
39	0,30	0,30	0,29	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
40	0,28	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
41	0,25	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
42	0,23	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
43	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
44	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
45	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
46	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
47	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
48	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
49	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Nota. Si el valor de ICS o ICI no corresponde a un valor en la Tabla, use el próximo valor más bajo, Si ICS o ICI tiene valores negativos. Ps ó Pi será igual a 100 menos el valor de la Tabla para Ps ó Pi.



TABLA B Determinación de Aceptabilidad y Rechazo														
Aceptabilidad		Porcentaje de defecto calculado $P_d = P_s + P_i$												
Categoría		n=5	n=6	n=7	n=8	n=9	N=10 a n=11	n=12 a n=14	n=15 a n=17	n=18 a n=22	n=23 a n=29	n=30 a n=42	n=43 a n=66	n=67 a ∞
I	II													
1,05	1,10			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,04	1,09			0	1	3	5	4	4	4	3	3	3	3
1,03	1,08		0	2	4	6	8	7	6	5	5	4	4	4
1,02	1,07		1	3	6	9	11	10	9	8	7	7	6	6
1,01	1,06	0	2	5	8	11	13	12	11	10	9	8	8	7
1,00	1,05	22	20	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
0,99	1,04	24	22	20	19	18	17	16	15	14	13	11	10	9
0,98	1,03	26	24	22	21	20	19	18	16	15	14	13	12	10
0,97	1,02	28	26	24	23	22	21	19	18	17	16	14	13	12
0,96	1,01	30	28	26	25	24	22	21	19	18	17	16	14	13
0,95	1,00	32	29	28	26	25	24	22	21	20	18	17	16	14
0,94	0,99	33	31	29	28	27	25	24	22	21	20	18	17	15
0,93	0,98	35	33	31	29	28	27	25	24	22	21	20	18	16
0,92	0,97	37	34	32	31	30	28	27	25	24	22	21	19	18
0,91	0,96	38	36	34	32	31	30	28	26	25	24	22	21	19
0,90	0,95	39	37	35	34	33	31	29	28	26	25	23	22	20
0,89	0,94	41	38	37	35	34	32	31	29	28	26	25	23	21
0,88	0,93	42	40	38	36	35	34	32	30	29	27	26	24	22
0,87	0,92	43	41	39	38	37	35	33	32	30	29	27	25	23
0,86	0,91	45	42	41	39	38	36	34	33	31	30	28	26	24



TABLA B Determinación de Aceptabilidad y Rechazo Continuación														
Aceptabilidad		Porcentaje de defecto calculado $P_d = P_s + P_i$												
Categoría		n=5	n=6	n=7	n=8	n=9	N=10 a n=11	n=12 a n=14	n=15 a n=17	n=18 a n=22	n=23 a n=29	n=30 a n=42	n=43 a n=66	n=67 a ∞
I	II													
0,85	0,90	46	44	42	40	39	38	36	34	33	31	29	28	25
0,84	0,89	47	45	43	42	40	39	37	35	34	32	30	29	27
0,83	0,88	49	46	44	43	42	40	38	36	35	33	31	30	28
0,82	0,87	50	47	46	44	43	41	39	38	36	34	33	31	29
0,81	0,86	51	49	47	45	44	42	41	39	37	36	34	32	30
0,80	0,85	52	50	48	46	45	44	42	40	38	37	35	33	31
0,79	0,84	54	51	49	48	46	45	43	41	39	38	36	34	32
0,78	0,83	55	52	50	49	48	46	44	42	41	39	37	35	33
0,77	0,82	56	54	52	50	49	47	45	43	42	40	38	36	34
0,76	0,81	57	55	53	51	50	48	46	44	43	41	39	37	35
0,75	0,80	58	56	54	52	51	49	47	46	44	42	40	38	36
0,74	0,79	60	57	55	53	52	51	48	47	45	43	41	40	37
0,73	0,78	61	58	56	55	53	52	50	48	46	44	43	41	38
0,72	0,77	62	59	57	56	54	53	51	49	47	45	44	42	39
0,71	0,76	63	61	58	57	55	54	52	50	48	47	45	43	40
0,70	0,75	64	62	60	58	57	55	53	51	49	48	46	44	41
Valores mayores que los mostrados arriba														

	Aceptado
	Rechazado

Seguimiento de Calidad. Resultado de prueba

Para actividades como construcción de bases, subbases, concretos asfálticos y concretos portland entre otras, se recomienda, realizar un seguimiento de la calidad en el tiempo, para efectuar lo anterior se usará el método de la media móvil con sus gráficos de control respectivos, como se indica a continuación.

Este procedimiento indicará al contratista y supervisor la homogeneidad del material producido y permitirá realizar las correcciones respectivas.

Corresponde al promedio de los ensayos realizados sobre las muestra tomadas para evaluar un sector de control. Cada prueba debe estar definida, por lo menos, por 5 muestras.

Media Móvil

Para esta especificación, media móvil corresponderá al promedio aritmético de 5 resultados de prueba consecutivas, los 4 últimos resultados del parámetro evaluado y aceptado más el resultado cuya aceptación se haya considerado.

Zona de Alerta

Zona que se encuentra entre el valor especificado y los límites aceptados, bien sea superior o inferior (LSA o LIA), Deberán ser seleccionados por el Jefe de Laboratorio.

Gráfico de Control

Para una observación rápida de la variación, se deberá representar gráficamente el resultado en el tiempo y en la progresiva del parámetro evaluado. Al inicio de la obra y hasta el quinto sector de control, los resultados de la media móvil, se observarán con precaución.

Si por algún motivo se cambia de fórmula de trabajo, se iniciará una nueva media móvil.

Aceptación de los trabajos

Criterios

La aceptación de los trabajos estará sujeta a la conformidad de las mediciones y ensayos de control.

Los resultados de las mediciones y ensayos que se ejecuten para todos los trabajos, deberán cumplir y estar dentro de las tolerancias y límites establecidos en las especificaciones técnicas de cada partida. Cuando no se establezcan o no se puedan identificar tolerancias en las especificaciones o en el contrato, los trabajos podrán ser aceptados utilizando tolerancias aprobadas por el Supervisor.

Pago

El Control de Calidad para todas las actividades desarrolladas por el Supervisor, y el Contratista, bajo las condiciones estipuladas por este ítem, no será objeto de pago directo. La Supervisión está obligada a contar por lo menos con el personal detallado en la Subsección 04.03 del EG-2013, y el Contratista con todo lo necesario para su propio control de calidad de obra. Asimismo ambos deben contar con laboratorios, equipo, vehículos, aditivos y todo lo necesario para realizar los controles de campo y gabinete, así como los cálculos, gráficos y mantenimiento de archivos

CEMENTO ASFÁLTICO

Descripción

El cemento asfáltico es un material bituminoso aglomerante, de consistencia sólida, utilizado para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente.

Materiales

Material bituminoso

El material por suministrar será cemento asfáltico clasificado por viscosidad o por grado de penetración de acuerdo con las características del proyecto y que cumpla los requisitos de calidad establecidos en la Subsección 415.02 (b) de la Sección 415 del EG-2013

Los materiales por suministrar generan emisiones debido al proceso de calentamiento, por lo que se recomienda ubicar los tanques que contienen dichos elementos en zonas alejadas de centros urbanos o asentamientos humanos. En caso de que los materiales sean vertidos accidentalmente, deberán recogerse incluyendo el suelo contaminado y colocarlos en las áreas de disposición de desechos que hayan sido aprobados por el Supervisor.

Equipo

En adición a las consideraciones generales de la Sección 400 del EG-2013 que resulten aplicables, deberá tenerse en cuenta lo siguiente:

a. Vehículos de transporte

El transporte del cemento asfáltico desde la planta de producción a la planta mezcladora, deberá efectuarse en caliente y a granel, en carros termotanques con adecuados sistemas de calefacción y termómetros ubicados en sitios visibles.

Deberán estar dotados, además, de los medios mecánicos que permitan el rápido traslado de su contenido a los depósitos de almacenamiento.

Antes de cargar los termotanques se debe examinar el contenido y remover todo el remanente de transportes anteriores que puedan contaminar el material. Las válvulas de abastecimiento deben llevar un precinto de seguridad del proveedor.

b. Depósitos de almacenamiento

El almacenamiento que requiera el cemento asfáltico, antes de su uso, se realizará en tanques con dispositivos de calentamiento que permitan mantener la temperatura necesaria del asfalto para su mezcla con los agregados. Los tanques de almacenamiento deben ser destinados para un determinado tipo de producto asfáltico, que debe estar identificado con una inscripción en el tanque que así lo indique.

c. Protección al personal

Es necesario dotar con elementos de seguridad al personal de obra tales como máscaras de protección de gases, cascos, guantes, y otros que se crean pertinentes, a fin de evitar sean afectados por la emisión de gases tóxicos así como por las probables quemaduras que pueda ocurrir al realizar estas actividades.

d. Elementos de seguridad

Se debe disponer para el personal de obra un botiquín, y un extintor de manera tal que pueda ser accesible y utilizado de manera fácil. Por otro lado, el Contratista debe proteger los cruces de los tanques con los cuerpos de agua y colocar barreras que impidan la contaminación del drenaje natural.

Incorporación del producto

El Contratista suministrará el cemento asfáltico cumpliendo las disposiciones legales al respecto, en especial las referentes a las dimensiones y pesos de los vehículos de transporte y al control de la contaminación ambiental.

El empleo del cemento asfáltico en la elaboración de mezclas asfálticas se hará conforme lo establece la Sección correspondiente a la partida de trabajo de la cual formará parte.

Aceptación del producto

Criterios

a. Controles

El Supervisor efectuará los siguientes controles principales:

- Exigir un certificado de calidad del producto, así como la garantía del fabricante de que el producto cumple las condiciones especificadas en la Subsección 415.02 (b) del EG-2013
- Verificar el estado y funcionamiento de los equipos de transporte y almacenamiento.
- Verificar que durante el vaciado de los termotanques no se lleven a cabo manipulaciones que puedan afectar la calidad del producto y la seguridad de las personas.
- Tomar muestras para los ensayos que exige la Subsección 423.18 (b) del EG-2013 y efectuar las respectivas pruebas.
- Verificar que el calentamiento del asfalto, antes de su mezcla con los agregados pétreos, impida la oxidación prematura del producto y se ajuste a las exigencias de la partida en ejecución.
- No permitir que el nivel de asfalto descienda por debajo de la superficie calentadora de los serpentines o elementos térmicos para evitar su oxidación.

Medición

La unidad de medida del cemento asfáltico será el kilogramo (kg), aproximado al kilogramo completo, incorporado en la mezcla en caliente, aprobada por el Supervisor.

Pago

El pago del cemento asfáltico no se pagará en forma independiente, será incluido en el precio unitario de la partida correspondiente.

DISPOSICIONES GENERALIDADES

Descripción

Contiene las disposiciones generales correspondientes a los trabajos de pavimentación flexible tales como riegos, sellos, tratamientos superficiales, emulsiones y morteros asfálticos, así como de concretos asfálticos en caliente y en frío.

Materiales

Los materiales a utilizar deberán responder a los siguientes requerimientos:

a. Agregados pétreos y filler o relleno mineral

Los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una capa del material asfáltico, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. Sólo se admitirá el empleo de agregados con características hidrófilas, si se añade algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una adecuada adherencia.

Para efecto de las presentes especificaciones, se denominará agregado grueso a la porción de agregado retenido en el tamiz de 4,75 mm (N.º 4); agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75 mm y 75 µm (N.º 4 y N.º 200) y polvo mineral o llenante la que pase el tamiz de 75 µm (N.º 200).

El agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión con el asfalto. Sus requisitos básicos de calidad se presentan en cada especificación.

El agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última será establecida en el diseño aprobado correspondiente.

Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia, que impida la adhesión con el asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad indicados en cada especificación.

El polvo mineral o llenante provendrá de los procesos de trituración de los agregados pétreos o podrá ser de aporte de productos comerciales, generalmente cal hidratada o cemento portland. Podrá usarse una fracción del material proveniente de la clasificación, siempre que se verifique que no tenga actividad y que sea no plástico. Su peso unitario aparente, determinado por la norma de ensayo MTC E 205, deberá encontrarse entre 0,5 y 0,8 g/cm³ y su coeficiente de emulsibilidad (NLT 180) deberá ser inferior a 0,6.

La mezcla de los agregados grueso y fino y el polvo mineral deberá ajustarse a las exigencias de la respectiva especificación, en cuanto a su granulometría.

b. Cemento asfáltico

El cemento asfáltico a emplear en los riegos de liga y en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será clasificado por viscosidad absoluta y por penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y tal como lo indica la Tabla C, según lo establecido en Proyecto y aprobado por el Supervisor.

Tabla C
Selección del tipo de cemento asfáltico

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C – 15°C	15°C – 5°C	Menos de 15°C
40 - 50 ó 60 - 70 o modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto Modificado

Los requisitos de calidad del cemento asfáltico son los que establecen las Tablas D y E.

El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a la temperatura de 175°C.

El cemento asfáltico podrá modificarse mediante la inclusión de aditivos de diferente naturaleza tales como: rejuvenecedores, polímeros, o cualquier otro producto garantizado, con los ensayos correspondientes. En tales casos, las especificaciones particulares establecerán el tipo de aditivo y las especificaciones que deberán cumplir tanto el cemento asfáltico modificado como las mezclas asfálticas resultantes, que serán aprobadas por el Supervisor, al igual que la dosificación y dispersión homogénea del aditivo incorporado.

Las especificaciones particulares de los cementos asfálticos modificados con polímeros se describen en la Sección 431 del EG-2013 junto con sus requisitos de calidad, que se establecen las Tablas 431-01, 431-02 y 431-03 del EG-2013.



Tabla D
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración

Tipo		Grado Penetración									
Grado	Ensayo	PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
Pruebas sobre el Material Bituminoso											
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) ⁽¹⁾	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayo de la Mancha (Oliensies) ⁽²⁾											
Solvente Nafta – Estándar	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2 mm, 5 h											
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0,8		0,8		1,0		1,3		1,5
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm ⁽³⁾	MTC E 306			50		75		100		100	

(1), (2) Ensayos opcionales para su evaluación complementaria del comportamiento reológico en el material bituminoso indicado.

(3) Si la ductilidad es menor de 100 cm, el material se aceptará si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 cm a la velocidad de 5 cm/min

Tabla E
Especificaciones del Cemento Asfáltico Clasificado por Viscosidad

Características	Grado de Viscosidad				
	AC-2,5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad Absoluta 60°C,(Poises)	250 ± 50	500 ± 100	1000 ± 200	2000± 400	4000± 800
Viscosidad Cinemática, 135°C St, mínimo	80	110	150	210	300
Penetración 25°C, 100g 5 s mínimo	200	120	70	40	20
Punto de Inflamación COC, °C, mínimo	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno % masa, mínimo	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina					
➤ Viscosidad Absoluta, 60°C, Poises máximo.	1250	2500	5000	10000	20000
➤ Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm, mínimo	100	100	50	20	10
Ensayo de la mancha (Oliensies) ⁽¹⁾					
Solvente Nafta – Estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Nafta – Xileno, % Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano – Xileno, % Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

(1) Porcentajes de solvente a usar, se determinará si el resultado del ensayo indica positivo.

Fuente: ASTM D 3381, NTP

c. Emulsiones asfálticas

De acuerdo con la aplicación y según lo establezca la respectiva especificación, se utilizarán emulsiones catiónicas de rotura rápida, media y lenta, cuyas características básicas se presentan en la Tabla F.

Las emulsiones catiónicas podrán ser modificadas mediante polímeros cuyas características se presentan en la Tabla F-1 y Tabla 432-01 del EG-2013, en tal caso las especificaciones de calidad, dosificación y dispersión del producto deberán ser las establecidas en el Proyecto y contar con la aprobación del Supervisor.

d. Asfaltos líquidos

Se aplicarán en determinados casos, según lo establezca la respectiva especificación.

Estos asfaltos pueden ser de curado medio (MC) o curado rápido (RC).

Las características básicas de los MC se presentan en la Tabla G y de los RC en la Tabla H.

e. Aditivos mejoradores de adherencia

En caso de que los requisitos de adherencia indicados en cada especificación no sean satisfechos, no se permitirá el empleo del agregado, salvo que se incorpore un producto mejorador de adherencia de comprobada eficacia para proporcionar la adherencia requerida, en la proporción establecida en el proyecto y aprobada por el Supervisor Sección 430 del EG-2013

f. Temperatura de aplicación del material bituminoso

El material bituminoso a utilizar en los diferentes trabajos según la especificación respectiva será obligatoriamente aplicado dentro de los rangos de la carta viscosidad-temperatura (ASTM D341) establecidos en el proyecto y aprobado por el Supervisor. Se observará los rangos de temperatura de aplicación establecidos en la Tabla I.

g. Agente rejuvenecedor

El agente rejuvenecedor deberá ser un material orgánico cuyas características químicas y físicas permitan devolverle al asfalto envejecido las condiciones necesarias para el buen comportamiento de la nueva mezcla, según lo establezca el proyecto, y de acuerdo a las especificaciones técnicas correspondientes. La dosificación y la dispersión homogénea del agente rejuvenecedor deberán seguir las recomendaciones de su fabricante y ser aprobadas por el Supervisor.



Equipo

Todos los equipos empleados deberán ser compatibles con los procedimientos de construcción adoptados y requerirán la aprobación previa del Supervisor, teniendo en cuenta que su capacidad y eficiencia se ajusten al programa de ejecución de las obras y al cumplimiento de las exigencias de calidad de la presente especificación y de la correspondiente a la respectiva partida de trabajo.

El equipo que emplee el Contratista para los trabajos de pavimentación flexible cumplirá los requerimientos establecidos en la Sección 400.03 del EG-2013



Tabla F : Especificaciones para emulsiones catiónicas

Tipo	Rotura Rápida				Rotura Media				Rotura Lenta				Rotura Rápida		
	CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h		CQS-1H		
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
Prueba sobre Emulsiones															
- Viscosidad Saybolt Furol a 25°Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	20	100	20	100
- Viscosidad Saybolt Furol a 50°Cs	20	100	100	400	50	450	50	450	-	-	-	-	-	-	
- Estabilidad de Almacenamiento, 24h, %(**)	.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Demulsibilidad, 35 cm ³ , 0,8% Diocilsulfosuccinato sódico, %	40	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
- Revestimiento y Resistencia al agua:															
- Revestimiento agregado seco					Bueno				Bueno						
- Revestimiento, agregado seco después del rociado					Aceptable				Aceptable						
- Revestimiento, agregado húmedo					Aceptable				Aceptable						
- Revestimiento, agregado húmedo después del rociado					Aceptable				Aceptable						
Carga de partícula	Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		
Prueba de Tamiz % (**)	-	0,1	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	--	0,10	-	0,10	
Mezcla con Cemento, %									-	2,0	-	2,0			
Destilación:															
- Destilación de aceite, por volumen de emulsión	-	3	-	3	-	12	-	12							
- % Residuo	60	-	65	-	65	-	65	-	57	-	57	-	57	-	
Pruebas sobre el Residuo de destilación:															
- Penetración, 25°C, 100 g, 5s	100 ^(a)	250 ^(a)	100 ^(a)	250 ^(a)	100	250	40	90	100	250	40	90	40	90	
	50 ^(a)	150 ^(a)	50 ^(a)	150 ^(a)											
- Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	40		40		40		40		40		40		40		
- Solubilidad en Tricloroetileno, %	97,5		97,5		97,5		97,5		97,5		97,5		97,5		

(*) CQS – 1H, emulsión que debe cumplir los requisitos considerados en la Norma D 3910.

CQS – 1h, usado para sistemas de mortero asfáltico.

(**) Este requerimiento de prueba en muestras representativas se exige.

(a) En función a las condiciones climáticas del Proyecto se definirá uno de los grados indicados (50-150 ó 100-250)

Fuente: ASTM D 2397 y D 3910.



Tabla F-1
Especificaciones para emulsiones catiónicas con polímeros

Tipo	Rotura Rápida				Rotura Media				Rotura Lenta		Norma
	CRS-1P		CRS-2P		CMS-1P		CMS-2hP		CSS-1P		
	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	
Prueba sobre Emulsiones											
- Viscosidad Saybolt Furol a 25°Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	MTC E430-00
- Viscosidad Saybolt Furol a 50°Cs	20	-	20	-	20	-	20	-	-	-	MTC E 404-00
- Estabilidad de Almacenamiento, 24h, %(**)	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	
Carga de partícula	Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		MTC E 407-00
Residuo de evaporación, %	60		65		59		57		60		MTC E 411-00
Sedimentación (a los 7 días), %	5		5		5		5		5		MTC E 404-00
Prueba de tamiz, %	0,1		0,1		0,1		0,1		0,1		MTC E 405-00
Mezcla con Cemento, %									2,0		MTC E 410-00
- Revestimiento y Resistencia al agua:											MTC E 409-00
- Revestimiento agregado seco					Bueno		Bueno				
- Revestimiento, agregado seco después del rociado					Aceptable		Aceptable				
- Revestimiento, agregado húmedo					Aceptable		Aceptable				
- Revestimiento, agregado húmedo después del rociado					Aceptable		Aceptable				
Pruebas sobre el residuo de Evaporación:											MTC E 411-00
- Penetración, 25°C, 100 g, 5s	100 ^(a)	200 ^(a)	100 ^(a)	200 ^(a)	100	220	50	90	100	150	MTC E 304-00
	50 ^(a)	90 ^(a)	50 ^(a)	90 ^(a)					50 ^(a)	90 ^(a)	
- Punto de ablandamiento (A y B), °C	45		45		40		40		45		MTC E 307-00
-Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	≥ 10										MTC E 306-00
- Recuperación elástica, 25° C, %	≥ 30										ASTM D 6084
- Recuperación elástica, 25 ° C, por torsión, %	≥ 20										MTC E 320-00

Nota: ^(a) En función a las condiciones climáticas del proyecto se definirá uno de los grados indicados (50-90 ó 100-200 ó 100 -150)

Fuente: ASTM D 2397 y NTP 321.141 (2003) y AASHTO T 316.



Tabla G
Requisitos de material bituminoso diluido de curado medio

Tipo	Material Bituminoso Diluido									
	MC-30		MC-70		MC-250		MC-800		MC-3000	
	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.
Pruebas sobre el Material Bituminoso										
-Viscosidad Cinemática a 60°C, cSt	30	60	70	140	250	500	800	1.600	3000	6.000
-Punto de Inflamación, °C	-	0,2	-	0,2	-	0,2	-	0,2	-	0.2
-Ensayo de destilación										
-Destilado, porcentaje por volumen del total de destilado a 360 °C										
-a 225 °C	-	25	-	20	-	10	-	-	-	-
-a 260 °C	40	70	20	60	15	55	-	35	-	15
-a 315 °C	75	93	65	90	60	87	45	80	15	75
Residuo del destilado a 360 °C, % en volumen por diferencia	50	-	55	-	67	-	78	-	80	-
Pruebas en el Residuo de Destilación:										
Viscosidad Absoluta a 60°C, Pa.s., (P) ^(*)	30 (300)	120 (1200)	30 (300)	120 (1200)	30 (300)	120 (1200)	30 (300)	120 (1200)	30 (300)	120 (1200)
Ductilidad a (25°C), 5 cm/min, cm	100	-	100	-	100	-	100	-	100	-
Solubilidad en Tricloro – etileno, %	99,0	-	99,0	-	99,0	-	99,0	-	99,0	-
Ensayo de la Mancha (Oliensies) ^(**)										
Solvente Nafta – Estándar	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta – Xileno, % Xileno	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano – Xileno, % Xileno	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	

(*) En reemplazo del ensayo de viscosidad absoluta del residuo, se puede reportar el ensayo de penetración a 100g, 5s a 25°C, siendo el rango de 120 a 250 para los materiales bituminosos citados.

(**) Porcentajes de solvente a usar, se determinará si el resultado del ensayo indica positivo.

Nota: Si la ductilidad a 25°C es menor a 100 cm, el material será aceptado si la ductilidad a 15°C, 5 cm/min es como mínimo 100 cm.

Fuente: ASTM D 2027, AASHTO M 82 y NTP



PERÚ

Ministerio
de Transportes
y ComunicacionesViceministerio
de TransportesDirección General
de Caminos y
Ferrocarriles

Tabla H
Requisitos de material bituminoso diluido por curado rápido

Tipo	Material Bituminoso Diluido							
	RC-70		RC-250		RC-800		RC-3000	
	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.
Pruebas sobre el Material Bituminoso								
Viscosidad Cinemática a 60 °C , cSt.	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
Punto de Inflamación, °C	-	-	27	-	27	-	27	-
Contenido de Agua, %	-	0,2	-	0,2	-	0,2	-	0,2
Ensayo de destilación:								
Destilado, porcentaje por volumen del total de destilado a 360 °C								
-a 190°C	10	-	-	-	-	-	-	-
-a 225°C	50	-	35	-	15	-	-	-
-a 260°C	70	-	60	-	45	-	25	-
-a 315°C	85	-	80	-	75	-	70	-
Residuo del destilado a 360°C , % en volumen por diferencia	55	-	65	-	75	-	80	-
Pruebas en el Residuo de Destilación:								
Viscosidad absoluta a 60°C, Pa.s.(P) (*)	60 (600)	240 (2.400)	60 (600)	240 (2.400)	60 (600)	240 (2.400)	60 (600)	240 (2.400)
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	100	-	100	-	100	-	100	-
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	99,0	-	99,0	-	99,0	-	99,0	-
Ensayo de la Mancha (Oliensies) (**)								
Solvente Nafta-Estándar	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta-Xileno, %Xileno	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano-Xileno, % Xileno	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	

(*) En reemplazo del ensayo de viscosidad absoluta del residuo, se puede reportar el ensayo de penetración a 100g, 5s a 25°C, siendo el rango de 80 a 120 para los materiales bituminosos citados.

(**) Porcentajes de solvente a usar, se determinara si el resultado del ensayo indica positivo Fuente: ASTM D 2028 Y AASHTO

Tabla I
Rangos de temperatura de aplicación (°C)

Tipo y Grado del Asfalto	Temperatura de Esparcido ⁽²⁾		Temperatura de Mezclado en planta ⁽¹⁾	
	Mezclas in situ	Tratamientos superficiales	Mezclas Densas	Mezclas Abiertas
Asfaltos Diluidos				
MC-30	-.-	30	-.-	-.-
RC-70 ó MC-70	20	50	-.-	-.-
RC-250 ó MC-250	40	75	55-80	-.-
RC-800 ó NC-800	55	95	75-100	-.-
Emulsiones Asfálticas				
CRS-1	-.-	50-85	-.-	-.-
CRS-2	-.-	50-85	-.-	-.-
CMS-2	20-70	-.-	10-70	-.-
CMS-2h, CSS-1, CSS-1h	20-70	-.-	10-70	-.-
Cemento Asfáltico				
Todos los grados	140 máx ⁽⁴⁾		140 máx ⁽⁴⁾	

(1) Temperatura de mezcla inmediatamente después de preparada.

(2) La máxima temperatura deberá estar debajo de aquella en la que ocurre vapores o espuma.

(3) En algunos casos la temperatura de aplicación puede estar por encima del punto de inflamación. Por tanto se debe tener precaución para prevenir fuego o explosiones.

(4) Se podrá variar esta temperatura de acuerdo a la carta viscosidad-temperatura.

FUENTE: MS-16-Asphalt Institute

Requerimientos de Construcción

Explotación de materiales y producción de agregados

Las fuentes de materiales, así como los procedimientos y equipos utilizados para la explotación de aquellas y para la elaboración de los agregados requeridos, deberán tener aprobación previa del Supervisor, la cual no implica necesariamente la aceptación posterior de los agregados que el Contratista suministre o elabore de tales fuentes, ni lo exime de la responsabilidad de cumplir con todos los requisitos de cada especificación.

Los procedimientos y equipos de explotación, clasificación, trituración, lavado y el sistema de almacenamiento, deberán garantizar el suministro de un producto de características uniformes. Si el Contratista no cumple con estos requerimientos, el Supervisor exigirá los cambios que considere necesarios.

Todos los trabajos de clasificación de agregados y en especial la separación de partículas de tamaño mayor que el máximo especificado para cada gradación, se deberán ejecutar en el sitio de explotación o elaboración y no se permitirá efectuarlos en la vía.

Los suelos orgánicos existentes en la capa superior de las canteras deberán ser conservados para la posterior recuperación de las excavaciones y de la recuperación ambiental de las áreas afectadas. Al concluirse los trabajos en las canteras temporales, el Contratista remodelará el terreno para recuperar las características hidrológicas superficiales de ellas, así como de la recuperación ambiental de las áreas afectadas de acuerdo al Plan de Manejo Ambiental y debiendo cumplir en lo que corresponda lo indicado en la Subsección 05.06 del EG-2013

Fórmulas de trabajo para riegos, tratamientos superficiales, emulsiones, morteros y sellos, asfálticos; así como, mezclas asfálticas.

Antes de iniciar el acopio de los materiales, el Contratista deberá suministrar para verificación del Supervisor muestras de ellos, del producto bituminoso por emplear y de los eventuales aditivos, avaladas

por los resultados de los ensayos de laboratorio que garanticen la conveniencia de emplearlos en el tratamiento o mezcla. El Supervisor después de las comprobaciones que considere convenientes y dé su aprobación a los materiales, solicitará al Contratista definir una "Fórmula de Trabajo" que obligatoriamente deberá cumplir las exigencias establecidas en la especificación correspondiente. En dicha fórmula se consignará la granulometría de cada uno de los agregados pétreos y las proporciones en que deben mezclarse, junto con el polvo mineral (filler), de ser el caso, para obtener la gradación aprobada.

En el caso de mezclas y morteros asfálticos deberán indicarse, además, el porcentaje de ligante bituminoso en relación con el peso de la mezcla y el porcentaje de aditivo respecto al peso del ligante asfáltico, cuando su incorporación resulte necesaria. Si la mezcla es en frío y requiere la incorporación de agua, deberá indicarse la proporción de ésta.

En el caso de mezclas en caliente también deberán señalarse:

- Los tiempos requeridos para la mezcla de agregados en seco y para la mezcla de los agregados con el ligante bituminoso.
- Las temperaturas máximas y mínima de calentamiento previo de los agregados y el ligante. En ningún caso se introducirán en el mezclador agregados pétreos a una temperatura que sea superior a la del ligante en más de 15 °C.
- Porcentaje de filler (polvo de roca, cemento, cal, etc.) en peso de la mezcla, en caso sea necesario su utilización.
- Las temperaturas máximas y mínimas al salir del mezclador.
- La temperatura mínima de la mezcla en la descarga a los elementos de distribución en obra.
- La temperatura mínima de la mezcla al inicio y terminación de la compactación.

Cuando se trate de tratamientos superficiales, el Contratista deberá presentar al Supervisor el diseño con las cantidades de ligante asfáltico y agregados pétreos para los distintos riegos, incluyendo la posible incorporación de aditivos.

La aprobación definitiva de la Fórmula de Trabajo por parte del Supervisor no exime al Contratista de su responsabilidad de alcanzar, en base a ella, la calidad exigida por la respectiva especificación.

Las tolerancias que se admiten en los trabajos específicos, se aplican a la Fórmula de Trabajo aprobada por el Supervisor, para la ejecución de la obra.

La fórmula aprobada sólo podrá modificarse durante la ejecución de los trabajos, si se produce cambios en los materiales, canteras o si las circunstancias lo aconsejan y previa aprobación del Supervisor.

Tramo de prueba y ejecución en riegos, tratamientos superficiales, emulsiones, morteros y sellos, asfálticos; así como, mezclas asfálticas.

Antes de iniciar los trabajos, el Contratista efectuará un tramo de prueba para verificar el estado de los equipos y determinar, en secciones de ensayo de ancho y longitudes aprobadas por el Supervisor, el método definitivo de preparación, transporte, colocación y compactación de la mezcla o tratamiento, de manera que se cumplan los requisitos de la respectiva especificación.

En el caso de la construcción de morteros asfálticos, se hace necesaria la compactación en aquellas áreas donde el espesor sea mayor que 6 mm, con el equipo que sea aprobado por el Supervisor.

El Supervisor tomará muestras del tratamiento, mortero o mezcla, para determinar su conformidad con las condiciones especificadas que correspondan en cuanto a granulometría, dosificación, densidad y demás requisitos.

En caso que el trabajo elaborado no se ajuste a dichas condiciones, el Contratista deberá efectuar las correcciones requeridas en los equipos y sistemas o, si llega a ser necesario, en la Fórmula de Trabajo, repitiendo las secciones de ensayo una vez efectuadas las correcciones.

El Supervisor determinará si es aceptable la ejecución de los tramos de prueba como parte integrante de la obra en construcción.

En el caso de tratamientos superficiales y morteros asfálticos se definirán en esta fase sus tiempos de rotura y curado, con el fin de que se puedan tomar las previsiones necesarias en el control del tránsito.

En caso de riegos asfálticos se verificara la tasa de aplicación. Para riegos de imprimación se comprobará adicionalmente la penetración.

En caso que los tramos de prueba sean rechazados o resulten defectuosos, el Contratista deberá levantarlo totalmente, transportando los residuos a los DME, acorde a la Sección 209 del EG-2013. El Contratista deberá efectuar las correcciones requeridas a los sistemas de producción de agregados, preparación de mezcla, extensión y compactación hasta que ellos resulten satisfactorios para el Supervisor, debiendo repetirse los tramos de prueba cuantas veces sea necesario. Todo esto a su cuenta, costo y riesgo del Contratista. Finalmente el Supervisor aprobara la Fórmula de Trabajo de la obra.

El empleo de un pavimento asfáltico en la construcción de carreteras requiere tener un adecuado manejo ambiental, dado que las consecuencias pueden ser grandes. Para lo cual, se requiere realizar una serie de acciones complementarias para que sus efectos negativos se minimicen o eviten y no altere el ecosistema.

Para realizar las actividades de suministrar y aplicar materiales diversos a una base, la cual ha sido preparada con anterioridad, es necesario considerar las implicaciones ambientales para ser tratados adecuadamente.

Durante la aplicación del material bituminoso, el Contratista deberá contar con extintores, dispuestos en lugares de fácil accesibilidad para el personal de obra, debido a que las temperaturas en las que se trabajan pueden generar incendios.

En estas etapas, se debe contar con un botiquín permanente que reúna los implementos apropiados para cualquier tipo de quemaduras que pudiera sufrir el personal de obra. Además, es conveniente dotar al personal de obra que trabaja directamente en las labores de aplicación del material bituminoso, con los equipos de seguridad y protección personal correspondientes, así como de los equipos de auxilio (ambulancia y otros) en caso de ocurrencia de accidentes.

Se deben tomar las previsiones correspondientes para evitar el ingreso de personas, animales u otros a la zona de la obra.

Se debe dar la protección adecuada para evitar que se manche y dañe la infraestructura adyacente a la vía. Se debe proteger veredas, cursos de agua, jardines, áreas verdes naturales, zonas arqueológicas, etc.

En las áreas que han sido tratadas, no se debe permitir el tránsito vehicular, para lo cual se instalarán las señalizaciones y desvíos correspondientes. De existir zonas críticas indicadas en el Proyecto, se debe dar una protección adecuada contra los factores climáticos, geodinámicos, etc.

Aceptación de los trabajos

Criterios

Los trabajos para su aceptación estarán sujetos a lo siguiente:

1. Controles

Durante la ejecución de los trabajos, el Supervisor efectuará los siguientes controles principales:

- Verificar la implementación para cada fase de los trabajos, lo especificado en la Sección 103 del EG-2013
- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo empleado por el Contratista.
- Verificar que las plantas de asfalto y de trituración estén provistas de filtros, captadores de polvo, sedimentadores de lodo y otros aditamentos que el Supervisor considere adecuados y necesarios para impedir emanaciones de elementos particulados y gases que puedan afectar el entorno ambiental.
- Comprobar que los materiales por utilizar cumplan todos los requisitos de calidad exigidos en la Subsección 415.02 del EG-2013
- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado como resultado del tramo de prueba, en cuanto a la elaboración y manejo de los agregados, así como la manufactura, transporte, colocación y compactación de los tratamientos y mezclas asfálticas.

- Ejecutar ensayos de control de mezcla, de densidad de las probetas de referencia, de densidad de la mezcla asfáltica compactada in situ, de extracción de asfalto y granulometría; así como control de las temperaturas de mezclado, descarga, extendido y compactación de las mezclas (los requisitos de temperatura son aplicables sólo a las mezclas elaboradas en caliente).
- Efectuar ensayos de control de mezcla, extracción de asfalto y granulometría en morteros asfálticos.
- Ejecutar ensayos para verificar el diseño en tratamientos superficiales, así como la granulometría de aquellos.
- Efectuar ensayos para verificar las dosificaciones de ligante en riegos de liga e imprimaciones, si el Proyecto no establece el método de medición, será propuesto por el Contratista y aprobado por el Supervisor.
- Vigilar la regularidad en la producción de los agregados y mezclas o morteros asfálticos, durante el período de ejecución de las obras.
- Efectuar pruebas para verificar la eficiencia de los productos mejoradores de adherencia, siempre que ellos se incorporen.
- Realizar las medidas necesarias para determinar espesores, levantar perfiles, medir la textura superficial y comprobar la uniformidad de la superficie, siempre que ello corresponda.

El Contratista rellenará inmediatamente con mezcla asfáltica, a su cuenta, costo y riesgo, todos los orificios realizados con el fin de medir densidades en el terreno y compactará el material de manera que su densidad cumpla con los requisitos indicados en la respectiva especificación.

También cubrirá, sin costo para la entidad contratante, las áreas en las que el Supervisor efectúe verificaciones de la dosificación de riegos de imprimación y liga, tratamientos superficiales y morteros asfálticos.

2. Condiciones y tolerancias para la aceptación

Las condiciones y tolerancias para la aceptación las obras ejecutadas, se indican en las especificaciones correspondientes. Todos los ensayos y mediciones requeridas para la aceptación de los trabajos especificados, estarán a cargo del Supervisor.

Aquellas áreas donde los defectos de calidad y excedan las tolerancias, deberán ser reemplazadas por el Contratista, a su cuenta, costo y riesgo, de acuerdo a las instrucciones del Supervisor y aprobadas por éste.

Medición

- Ejecución de riegos de imprimación y liga, sellos de arena-asfalto, tratamientos superficiales y morteros asfálticos.

La unidad de medida será el metro cuadrado (m^2), aproximado al entero, de todo trabajo ejecutado con la aprobación del Supervisor, de acuerdo a lo exigido en la especificación respectiva.

El área se determinará multiplicando la longitud real, medida a lo largo del eje del trabajo, por el ancho especificado en los planos aprobados.

No se medirá ninguna área por fuera de tales límites.

- Ejecución de mezclas densas y abiertas en frío y en caliente.

La unidad de medida será el metro cúbico (m^3), aproximado al décimo de metro cúbico, de mezcla suministrada y compactada en obra con la aprobación del Supervisor, de acuerdo con lo exigido por la especificación respectiva.

El volumen se determinará multiplicando la longitud real, medida a lo largo del eje del trabajo, por el ancho y espesor especificados en los planos aprobados.

No se medirá ningún volumen por fuera de tales límites.

- Ejecución de bacheos o parchados con mezcla asfáltica.

La unidad de medida será el metro cuadrado (m^2), aproximado al décimo de metro cuadrado, de bacheo o parchado con mezcla asfáltica ejecutado, de acuerdo con lo exigido por la especificación respectiva.

La indicada área se determinará multiplicando las dos dimensiones de cada bacheo o parche.

Pago

Riegos, tratamientos superficiales, emulsiones, morteros y sellos, asfálticos y bacheos o parchados con mezcla asfáltica

El pago se hará al respectivo precio unitario del contrato, por metro cuadrado (m^2), para toda la obra ejecutada de acuerdo al proyecto, las presentes especificaciones y aprobada por el Supervisor.

El precio unitario deberá cubrir todos los costos de adquisición, obtención de permisos y derechos de explotación o alquiler de fuentes de materiales y canteras; obtención de permisos ambientales para la explotación de los suelos y agregados; las instalaciones provisionales; los costos de arreglo o construcción de las vías de acceso a las fuentes y canteras; la preparación de las zonas por explotar, así como todos los costos de explotación, selección, trituración, lavado, carga, descarga y transporte dentro de las zonas de producción, almacenamiento, clasificación, desperdicios, mezcla, colocación, nivelación y compactación de los materiales utilizados; y los de extracción, bombeo, transporte del agua requerida y su distribución.

El transporte del material al punto de aplicación se pagará de acuerdo a lo establecido en la Sección 700 del EG-2013.

El precio unitario deberá incluir, también, los costos de ejecución de los tramos de prueba y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de la capa respectiva, según lo dispuesto en la Subsección 07.05 del EG-2013 También, deberá incluir los costos de la definición de la Fórmula de Trabajo.

En todos los casos, el precio deberá incluir el suministro en el sitio, almacenamiento, desperdicios y aplicación de agua y aditivos mejoradores de adherencia y de control de rotura que se requieran; la protección de todos los elementos aledaños a la zona de los trabajos y que sean susceptibles de ser afectados por los riegos de asfalto.

Mezclas asfálticas

El pago se hará al respectivo precio unitario del contrato, por metro cúbico (m^3), para toda obra ejecutada de acuerdo al proyecto, las presentes especificaciones y aprobada por el Supervisor.

El precio unitario deberá cubrir todos los costos de adquisición, obtención de permisos y derechos de explotación o alquiler de fuentes de materiales y canteras; obtención de permisos ambientales para la explotación de los suelos y agregados; las instalaciones provisionales; los costos de arreglo o construcción de las vías de acceso a las fuentes y canteras; la preparación de las zonas por explotar, así como todos los costos de explotación, selección, trituración, lavado, carga, descarga y transporte dentro de las zonas de producción, almacenamiento, clasificación, desperdicios, mezcla, colocación, nivelación y compactación de los materiales utilizados; y los de extracción, bombeo, transporte del agua requerida y su distribución.

El transporte del material al punto de aplicación se pagará de acuerdo a lo establecido en la Sección 700 del EG-2013.

El precio unitario deberá incluir, también, los costos de ejecución de los tramos de prueba y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de la capa respectiva, según lo dispuesto en la Subsección 07.05 del EG-2013 También, deberá incluir los costos de la definición de la Fórmula de Trabajo.

En todos los casos, el precio deberá incluir el suministro en el sitio, almacenamiento, desperdicios y aplicación de agua y aditivos mejoradores de adherencia y de control de rotura que se requieran; la protección de todos los elementos aledaños a la zona de los trabajos y que sean susceptibles de ser afectados por los riegos de asfalto.

Pavimento de concreto hidráulico

Descripción

Este trabajo consiste en la elaboración o fabricación de mezclas de concreto hidráulico con cemento Portland y su colocación, con o sin refuerzo, sobre una superficie debidamente preparada, de acuerdo con estas especificaciones y de conformidad con el Proyecto.

Materiales

a. Concreto hidráulico

Estará conformado por una mezcla homogénea de cemento, agua, agregado fino y grueso y aditivos, cuando estos últimos se requieran. Los materiales deberán cumplir con los requisitos básicos que se indican a continuación:

1. Cemento

El cemento utilizado será Portland, de marca aprobada oficialmente. Si los documentos del Proyecto o una especificación especial no señalan algo diferente, se empleará el denominado Tipo I de los descritos en la Subsección 439.02 del EG-2013

No se permitirá el uso de cemento endurecido por diversas razones o cuya fecha de vencimiento haya expirado.

2. Adiciones

Si el Proyecto lo considera, se podrá utilizar cemento con adiciones, de conformidad con la especificación NTP 334.090 (ASTM C 595). Las adiciones deberán ser incorporadas en la fábrica del cemento.

Si la adición está constituida por cenizas volantes o puzolanas crudas o calcinadas, éstas deberán cumplir los requisitos de las clases C, F ó N de la especificación NTP 334.104 (ASTM C-618), excepto que las pérdidas por ignición para las clases F ó N no podrán exceder de 6%.

Si se trata de escoria de alto horno, molida y granulada, deberá cumplir lo exigido en la especificación ASTM C-989 para los grados 100 ó 120.

Tanto si se emplea cemento Portland tipo I como adicionado, el Contratista deberá presentar los resultados de todos los ensayos físicos y químicos relacionados con él, como parte del diseño de la mezcla.

3. Agua

Según lo indicado en la Subsección 420.02(c) del EG-2013.

Cuando se empleen otras fuentes o cuando se mezcle agua de 2 o más procedencias, el agua deberá ser calificada mediante ensayos. Los requisitos primarios para esta calificación serán los incluidos en la Tabla J

Tabla J
Requisitos de performance del concreto para el agua de mezcla

Ensayo	Límites	Método de ensayo
pH	5,5 – 8,5	NTP 339.073
Resistencia a la compresión, mínimo, % del control a 7 días ^A	90	NTP 339.034
Tiempo de fraguado, desviación respecto al control, horas: minutos ^A	De 1 h más temprano a 1,5 h más tarde	NTP 339.082

^A Las comparaciones estarán basada en proporciones fijas para un diseño de mezcla de concreto representativo con abastecimiento de agua cuestionable y una mezcla de control utilizando agua 100% potable o agua destilada

Los requisitos que se muestran en la [Tabla 438-02 del EG-2013](#) se consideran opcionales y sirven para que el productor de la mezcla mantenga documentada la química y el contenido del agua de mezclado.

4. Agregado fino

Se considera como tal, a la fracción que pasa el tamiz de 4,75 mm (Nº. 4). Proviene de arenas naturales o de la trituración de rocas, gravas, escorias siderúrgicas u otro producto que resulte adecuado, de acuerdo al Proyecto.

El porcentaje de arena de trituración no podrá constituir más del 30% de la masa del agregado fino.

El agregado fino deberá satisfacer el requisito granulométrico señalado en la [Tabla K](#). Además de ello, la gradación escogida para el diseño de la mezcla no podrá presentar más del 45% de material retenido entre dos tamices consecutivos y su módulo de finura se deberá encontrar entre 2,3 y 3,1.

Siempre que el módulo de finura varíe en más de dos décimas respecto del obtenido con la gradación escogida para definir la Fórmula de Trabajo, se deberá ajustar el diseño de la mezcla.

Tabla K
Granulometría para el agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico

Tamiz		Porcentaje que pasa
Normal	Alternativo	
9,5 mm	3/8"	100
4,75 mm	N.º 4	95-100
2,36 mm	N.º 8	80-100
1,18 mm	N.º 16	50-85
600 µm	N.º 30	25-60
300 µm	N.º 50	10-30
150 µm	N.º 100	2-10

El agregado fino deberá cumplir, además, los requisitos de calidad indicados en la [Tabla 438-04 del EG-2013](#).

Si el agregado fino no cumple el requisito indicado en la [Tabla 438-04 del EG-2013](#) para el contenido de materia orgánica, este se podrá aceptar, si al ser ensayado en relación con el efecto de las impurezas orgánicas sobre la resistencia del mortero, se obtiene una resistencia relativa a 7 días no menor de 95%, calculada de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma NTP 400.013 (ASTM C 87)

5. Agregado grueso

Se considera como tal, la porción del agregado retenida en el tamiz de 4,75 mm (Nº. 4). Dicho agregado deberá proceder fundamentalmente de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan afectar la calidad de la mezcla. Permitirá la utilización de agregado grueso proveniente de escorias de alto horno.

Su gradación se deberá ajustar a alguna de las señaladas en la Tabla 438-05 del EG-2013. Siempre que el tamaño máximo nominal sea mayor de 25 mm (1”), el agregado grueso se deberá suministrar en las dos fracciones que indica la Tabla 438-05 del EG-2013.

La curva granulométrica obtenida al mezclar los agregados grueso y fino en el diseño y construcción del concreto, deberá ser continua y asemejarse a las teóricas obtenidas al aplicar las fórmulas de Fuller o Bolomey.

El tamaño máximo nominal del agregado no deberá superar un tercio del espesor de diseño del pavimento. El agregado grueso deberá cumplir, además, los requisitos de calidad señalados en la Tabla 438-06 del EG-2013.

Siempre que se requiera la mezcla de dos o más agregados gruesos para obtener la granulometría de diseño, los requisitos indicados en la Tabla 438-06 del EG-2013 para dureza, durabilidad y contenido de sulfatos deberán ser satisfechos de manera independiente por cada uno de ellos. La limpieza y las propiedades geométricas, se medirán sobre muestras del agregado combinado en las proporciones definidas en la Fórmula de Trabajo.

6. Reactividad

Los agregados, tanto gruesos como finos, no deberán presentar reactividad potencial con los álcalis del cemento. Se considera que el agregado es potencialmente reactivo, si al determinar su concentración de SiO_2 y la reducción de alcalinidad R, mediante la norma MTC E-217, se obtienen los siguientes resultados:

$$\text{SiO}_2 > R \quad \text{cuando } R \geq 70$$

$$\text{SiO}_2 > 35 + 0,5 R \quad \text{cuando } R < 70$$

Si el agregado califica como potencialmente reactivo, en base a los criterios anteriores, no debe ser utilizado en la producción de concretos, a no ser que se demuestre que no es nocivo para el concreto, en base a evaluaciones complementarias, como las indicadas en el apéndice de la especificación NTP 400.011 (ASTM C 33), en especial las que hacen referencia a las normas NTP 339.067 (ASTM C 227), ASTM C 342 y NTP 334.110 (ASTM C 1260).

7. Aditivos

Se podrán usar aditivos de reconocida calidad para modificar las propiedades del concreto, con la finalidad de adecuarlo a las condiciones especiales del pavimento por construir. Su empleo se deberá definir por medio de ensayos efectuados con antelación a la obra, con las dosificaciones que garanticen el efecto deseado, sin que se perturben las propiedades restantes de la mezcla, ni representen peligro para la armadura que pueda tener el pavimento.

Los aditivos por usar pueden ser los siguientes:

- Inclusiones de aire, los cuales deberán cumplir los requerimientos de la especificación ASTM C 260. El agente inclusor de aire deberá ser compatible con cualquier aditivo reductor de agua que se utilice.
- Aditivos químicos, que pueden ser reductores de agua, acelerantes y retardantes de fraguado, los cuales deberán cumplir los requerimientos de la especificación ASTM C 494, incluyendo el ensayo de resistencia a la flexión. Los aditivos reductores de agua se deberán incorporar en la mezcla separadamente de los inclusiones de aire, de conformidad con las instrucciones del fabricante.

La utilización de acelerantes o retardantes se debe evitar en la medida de lo posible; se podrán utilizar únicamente en casos especiales, previa evaluación por parte del Contratista y aprobación del Supervisor.

b. Acero

En el Proyecto se indicará el acero necesario para la construcción del pavimento, bien sea para los elementos de enlace o transferencia en las juntas o como refuerzo de las losas. Las barras de acero deberán cumplir con la especificación ASTM A 615.

1. Pasadores o barras pasajuntas

En las juntas transversales que muestren las especificaciones del Proyecto y/o en los sitios en que indique el Supervisor, se colocarán pasadores constituidos por barras lisas de hierro, como mecanismo para garantizar la transferencia efectiva de carga entre las losas adyacentes.

Las barras serán de acero redondo y liso, con límite de fluencia (f_y) mínimo de 420 MPa (4200 kg/cm²); ambos extremos de los pasadores deberán ser lisos y estar libres de rebabas cortantes. En general, las barras deberán estar libres de cualquier imperfección o deformación que restrinja su deslizamiento libre dentro del concreto.

Los pasadores de barras lisas de acero se tratarán en un espacio comprendido entre la mitad y tres cuartos de su longitud con una película fina de algún producto que evite su adherencia al concreto. Cuando los pasadores se coloquen en juntas de dilatación, el extremo correspondiente a la parte tratada se protegerá con una cápsula de diámetro interior ligeramente mayor que el del pasador y una longitud mínima de 5 cm.

Las características y dimensiones de los pasadores y las varillas de unión serán las indicadas en el Proyecto.

Antes de su colocación, los pasadores se deberán revestir con una capa de grasa u otro material que permita el libre movimiento de ellos dentro del concreto e impida su oxidación.

El casquete para los pasadores colocados en las juntas transversales de dilatación deberá ser de metal u otro tipo de material aprobado y deberá tener la longitud suficiente para cubrir entre 5 cm y 7,5 cm del pasador, debiendo ser cerrado en el extremo y con un tope para mantener la barra al menos a 2,5 cm del fondo del casquete. Los casquetes deberán estar diseñados para que no se desprendan de los pasadores durante la construcción.

2. Barras de amarre

En las juntas que muestren las especificaciones técnicas del Proyecto y/o en los sitios en que indique el Supervisor, se colocarán barras de amarre, con el propósito de evitar el desplazamiento de las losas y la abertura de las juntas. Las barras serán corrugadas, con límite de fluencia (f_y) de 420 MPa (4200 kg/cm²).

En general, las barras de amarre no deberán ser dobladas y enderezadas; sin embargo, si por razones constructivas es absolutamente indispensable doblarlas y enderezarlas, con aprobación del Supervisor, se deberá utilizar un acero con límite de fluencia (f_y) de 420 MPa (4200 kg/cm²); en este caso, el Contratista deberá rediseñar el sistema de barras de amarre para acomodarlo a la nueva resistencia, rediseño que deberá ser verificado y aprobado por el Supervisor, cuando corresponda.

3. Refuerzo de las losas

Los documentos del Proyecto pueden requerir la colocación de una o 2 parrillas de refuerzo en todas o algunas de las losas del Proyecto, bien sea como parte integral del diseño o como sistema para controlar la aparición o el ensanche de grietas. Como guía general, se requerirá la colocación de, al menos, una parrilla de refuerzo en las losas que tengan las siguientes características:

- Longitud de la losa (mayor dimensión en planta) superior a 24 veces el espesor de la misma.
- Losas con relación largo/ancho mayor que 1,4.
- Losas de forma irregular (diferente de la rectangular o cuadrada).
- Losas con aberturas en su interior para acomodar elementos tales como pozos de inspección o sumideros.
- Losas en las cuales no coinciden las juntas con las de las losas adyacentes.

El acero de refuerzo de las losas estará constituido por barras con límite de fluencia (f_y) de 420 MPa (4200 kg/cm²). Todos los detalles del refuerzo, como cuantía, distribución, localización, etc., deberán quedar definidos en el Proyecto.

c. Productos de curado

El curado del concreto en obra se podrá llevar a cabo según la forma prevista en los documentos del Proyecto, mediante:

- Humedad.
- Productos químicos.
- Láminas para cubrir el concreto.

Si el curado se realiza mediante humedad, el agua utilizada deberá cumplir los requisitos de la Subsección 438.02(a)(3) del EG-2013. El material de cobertura deberá ser de un material con alta retención de humedad.

En el caso de los productos químicos, se empleará un producto de calidad certificada que, aplicado mediante aspersión sobre la superficie del pavimento garantice el correcto curado de éste. El producto por utilizar, debe satisfacer todas las especificaciones de calidad que indique su fabricante. La efectividad de los productos de curado se debe demostrar mediante experiencias previas exitosas o ensayos al inicio de la colocación del concreto. Deberán cumplir con la especificación ASTM C-309, tipo 2, clase B, o clase A sólo si la base es de parafina.

Las láminas de curado pueden ser de polietileno blanco o de papel de curado, que cumplan con la especificación ASTM C-171.

d. Membranas para la separación del pavimento

En caso que el Proyecto lo considere, para evitar la adherencia entre el concreto de las losas y el material de base o evitar el reflejo de fisuras de la base en las losas de concreto, se emplearán membranas de separación entre las losas y su capa de apoyo. Estas membranas deberán cumplir con la especificación ASTM C-171.

Es recomendable que al colocar este tipo de membranas, las losas de concreto se apoyen sobre bases de concreto sin o con juntas que no coincidan con las de las losas del pavimento.

e. Productos para las Juntas

1. Material de sello

En el Proyecto se especificará el tipo de material de sello a emplear en las juntas del pavimento, que podrá ser de los siguientes tipos:

- **Sello de silicona:** El material a emplear deberá cumplir tanto los requisitos establecidos en el Proyecto como las especificaciones de la Tabla 438-07 del EG-2013.
- **Sello de aplicación en caliente:** El material a emplear deberá cumplir con los requisitos establecidos en la especificación ASTM D-3405.

2. Tirilla o cordón de respaldo

La tirilla de respaldo deberá ser de espuma de polietileno extruida de celda cerrada y de diámetro aproximadamente 25% mayor que el ancho de la caja de junta. Deberá cumplir con la especificación ASTM D 5249.

3. Material de relleno para juntas de expansión

El material de relleno para juntas de expansión deberá ser suministrado en piezas de la altura y el largo requeridos para la junta. Previa aprobación del Supervisor, se podrán utilizar ocasionalmente 2 piezas para completar el largo (nunca la altura), caso en el cual los 2 extremos que se juntan deberán quedar adecuadamente asegurados, para garantizar la conservación de

la forma requerida, sin moverse. Los materiales por emplear deberán cumplir con alguna de las especificaciones ASTM D 994, ASTM D 1751 ó ASTM D 1752.

f. Resina epóxica

Si se insertan barras dentro del concreto endurecido, en orificios elaborados mediante taladrado, su anclaje al pavimento se deberá asegurar empleando resina epóxica conforme con la especificación ASTM C 881, Tipo I, grado 3, clase C. Las clases A y B se pueden emplear, si la temperatura del concreto endurecido es inferior a 16°C.

La resina epóxica que se utilice para la reparación de fisuras a edades tempranas del concreto, deberá ser del tipo IV, grado 1, de la especificación ASTM C-881, y la que se use como imprimante para la reparación de juntas astilladas, será del tipo III, grado 1, de la misma especificación.

Equipo

Todo el equipo necesario para la ejecución de los trabajos deberá cumplir con lo estipulado en la Subsección 05.11 del EG-2013 Los principales equipos requeridos son los siguientes:

a. Equipos para la elaboración de agregados

Para el proceso de producción de los agregados pétreos se requieren equipos para su explotación, carguío, transporte y producción. La unidad de proceso consistirá en una unidad clasificadora y, de ser necesario, una planta de trituración provista de trituradoras primaria, secundaria y terciaria siempre que esta última se requiera, así como un equipo de lavado. La planta deberá estar provista de los filtros necesarios para controlar la contaminación ambiental de acuerdo con la reglamentación vigente.

b. Equipos para la elaboración del concreto

El concreto para la construcción del pavimento se fabricará en centrales de mezcla discontinua, capaces de manejar simultáneamente el número de fracciones de agregados que exija la Fórmula de Trabajo adoptada. La producción horaria de la central de fabricación deberá ser capaz de suministrar el concreto sin que se interrumpa la alimentación de la pavimentadora, cuando este equipo se utilice.

Las tolvas para agregados deberán tener paredes resistentes y estancas, bocas de anchura suficiente para que su alimentación se efectúe correctamente, y estarán provistas de dispositivos para evitar intercontaminaciones; su número mínimo será función del número de fracciones de agregado pétreo que exija la Fórmula de Trabajo adoptada.

Para el cemento a granel se utilizará una balanza independiente de la utilizada para los agregados.

El mecanismo de carga deberá estar protegido contra un eventual cierre antes de que la tolva de pesada estuviera adecuadamente cargada. El de descarga, contra una eventual apertura antes que la carga del cemento en la tolva de pesada hubiera finalizado, y que la masa del cemento en ella difiera en $\pm 1\%$ de la especificada; además, estará diseñado de forma que permita la regulación de la salida del cemento sobre los agregados.

La dosificación de los agregados se podrá efectuar por pesadas acumuladas en una sola tolva o individualmente con una tolva de pesada independiente para cada fracción. En el primer caso, las descargas de las tolvas de alimentación y la descarga de la tolva de pesada estarán protegidas de forma que:

- No podrá descargar más de una tolva al mismo tiempo.
- El orden de descarga no podrá ser distinto al previsto.
- La tolva de pesada no se podrá descargar hasta que haya sido depositada en ella la cantidad requerida de cada uno de los agregados y estén cerradas todas las descargas de las tolvas.
- La descarga de la tolva de pesada deberá estar protegida contra una eventual apertura antes que la masa de agregado en la tolva, difiera en $\pm 1\%$ del acumulado de cada fracción.

Si se emplean tolvas de pesada independientes para cada fracción, todas ellas deberán poder ser descargadas simultáneamente. La descarga de cada tolva de pesada deberá estar protegida contra una eventual apertura antes que la masa de agregado en ella, difiera en $\pm 2\%$ de la especificada.

No se permitirá que se descargue parte alguna de la dosificación, hasta que todas las tolvas de los agregados y la del cemento estuvieran correctamente cargadas, dentro de los límites especificados.

Una vez comenzada la descarga, no se podrá comenzar una nueva dosificación hasta que las tolvas de pesada estén vacías, sus compuertas de descarga cerradas y los indicadores de masa de las balanzas a cero, con una tolerancia del $\pm 0,3\%$ de su capacidad total.

Los dosificadores ponderales deberán estar aislados de vibraciones y de movimientos de otros equipos de la central, de forma que, cuando éstos funcionen, sus lecturas, después de paradas las agujas, no difieran de la masa designada en $\pm 1\%$ para el cemento, $\pm 1,5\%$ para cada fracción del agregado o $\pm 1\%$ para el total de las fracciones, si la masa de éstas se determinase conjuntamente. Su precisión no deberá ser inferior al $\pm 0,5\%$ para los agregados, ni al $\pm 0,3\%$ para el cemento. El agua añadida se medirá en masa o volumen, con una precisión no inferior al $\pm 1\%$ de la cantidad total requerida.

Una vez fijadas las proporciones de los componentes, la única operación manual que se podrá efectuar para dosificar los agregados y el cemento de una amasada, será la de accionamiento de interruptores o conmutadores. Los mandos del dosificador deberán estar en un compartimento fácilmente accesible, que pueda ser cerrado con llave cuando así se requiera.

Si se prevé la incorporación de aditivos a la mezcla, la central deberá poder dosificarlos con precisión suficiente. Los aditivos en polvo se dosificarán en masa y los aditivos en forma de líquido o de pasta en masa o en volumen, con una precisión no inferior al $\pm 3\%$ de la cantidad especificada de producto.

El temporizador del amasado y el de la descarga del mezclador deberán estar protegidos de tal forma que, durante el funcionamiento del mezclador, no se pueda producir la descarga hasta que haya transcurrido el tiempo de amasado previsto.

La posibilidad de utilizar equipos de otras características para la fabricación de la mezcla, deberá ser definida en una especificación especial.

Para garantizar la uniformidad de la mezcla deben realizarse pruebas periódicas a la salida de la mezcladora.

c. Equipo de transporte

El transporte del concreto a la obra se realizará en camiones con elementos de agitación o en camiones cerrados de tambor giratorio (mixer), provistos de paletas, los cuales estarán equipados con cuentarrevoluciones. El equipo de transporte antes indicado deberá ser capaz de proporcionar mezclas homogéneas y descargar su contenido sin que se produzcan segregaciones.

d. Equipos de puesta en obra del concreto

La mezcla de concreto se extenderá y se compactará por los medios apropiados para garantizar la homogeneidad de la mezcla colocada, evitando la segregación y la aparición de vacíos y logrando alcanzar el espesor y la densidad adecuados y el contenido de aire especificado. La puesta en obra del Concreto se podrá realizar mediante extendido entre encofrados fijos, con equipos de encofrados deslizantes o con equipos de extensión manual.

1. Elementos necesarios para la puesta en obra del concreto empleando encofrados fijos.

El equipo mínimo necesario para la ejecución de las obras empleando encofrados fijos, estará integrado básicamente por los siguientes elementos:

- **Encofrados:**

Los elementos para la construcción deberán tener una longitud no menor de 3 m y su altura será igual al espesor del pavimento por construir. Deberá tener la suficiente rigidez para que no se deforme durante la colocación del concreto y, si va servir como rieles para el desplazamiento de equipos, para no deformarse bajo la circulación de los mismos.

En la mitad de su espesor y a los intervalos requeridos, los encofrados tendrán orificios para insertar a través de ellos las varillas de unión o anclaje, cuando ellas estén contempladas en el Proyecto.

La fijación de los encofrados al suelo se hará mediante pasadores de anclaje que impidan cualquier desplazamiento vertical u horizontal, debiendo estar separados como máximo 1 m, y existiendo al menos uno en cada extremo de los encofrados o en la unión de aquellos.

En las curvas, los encofrados se acomodarán a los polígonos más convenientes, pudiéndose emplear elementos rectos rígidos, de la longitud que resulte más adecuada.

Se deberá disponer de un número suficiente de encofrados para tener colocada, en todo momento de la obra, una longitud por utilizar igual o mayor que la requerida para 3 horas de trabajo, más la cantidad necesaria para permitir que el desencofrado del concreto se haga a las 16 horas de su colocación.

Todos los materiales utilizados en ésta actividad, deberán ser dispuestos en un lugar seguro, de manera que los clavos, fierros retorcidos, u otros no signifiquen peligro alguno para las personas que transitan por el lugar. De otro lado, todo el personal deberá tener necesariamente, guantes, botas y casco protector, a fin de evitar posibles desprendimientos y lesiones.

- **Equipo para la construcción del pavimento**

Estará integrado por una extendedora o esparcidora que dejará el concreto fresco repartido uniformemente; una terminadora transversal con elementos de enrase, compactación por vibración y alisado transversal; y una terminadora longitudinal que realice el alisado en dicho sentido.

Los vibradores superficiales deberán tener una frecuencia no inferior a 3.500 hz y los de inmersión de 5.000 hz. La amplitud de la vibración debe ser suficiente para ser visible en la superficie del concreto y generar una onda a 30 cm del vibrador.

Para el acabado superficial, se utilizarán planchas con la mayor superficie posible, que permita obtener un acabado del pavimento al nivel correcto y sin superficies porosas.

Sólo se usarán vibradores de inmersión en áreas pequeñas, donde no sea posible usar reglas vibradoras.

Para la ejecución de las juntas en fresco, se empleará un equipo con cuchillas vibrantes o podrán emplearse dispositivos para la inserción de tiras continuas metálicas.

Si las juntas se ejecutan sobre el concreto endurecido, se emplearán sierras cuyo disco requiere la aprobación previa del Supervisor, en lo relacionado con el material, espesor y diámetro. El número necesario de sierras se determinará mediante ensayos de velocidad de corte del concreto empleado en la construcción del pavimento.

En caso de que el pavimento se vaya a curar con un producto químico que forme membrana, se debe disponer del equipo adecuado para que la aspersion sea homogénea en toda la superficie por curar y sin que se produzcan pérdidas por la acción del viento.

2. Pavimentadora de encofrados deslizantes para la puesta en obra del concreto

La máquina pavimentadora de encofrados deslizantes deberá extender en el espesor de diseño, compactar y enrasar uniformemente el concreto, de manera de obtener mecánicamente un pavimento denso y homogéneo, salvo algunas operaciones de carácter manual.

La pavimentadora de encofrado deslizante debe estar equipada con un sistema de sensores de dirección y altura que garantice la geometría de la sección del pavimento.

La máquina estará dotada de encofrados móviles de dimensiones, forma y resistencia suficientes para sostener lateralmente el concreto durante el tiempo necesario para la construcción del pavimento, con la sección transversal requerida.

La pavimentadora compactará adecuadamente el concreto por vibración interna en todo el ancho colocado, mediante vibradores transversales o una serie de unidades de vibrado longitudinal; en este caso, la separación entre unidades de vibrado estará comprendida entre 50 cm y 75 cm, medidos centro a centro. Además, la separación entre el centro de la unidad de vibrado externa y la cara interna del encofrado correspondiente, no excederá de 15 cm.

La frecuencia de vibración de cada unidad no será inferior a 5.000 hz. y la amplitud de la vibración será suficiente para ser perceptible en la superficie de concreto a lo largo de la longitud vibrante y a una distancia mayor de 30 cm.

La longitud de la placa conformadora de la pavimentadora será la necesaria para que no se aprecien vibraciones en la superficie del concreto tras el borde posterior de la placa.

La ejecución de las juntas longitudinales con empleo de la pavimentadora de encofrado deslizante puede ser de construcción de manera que el ancho del carril estaría limitado por el de la pavimentadora, o para el caso de que el ancho de la pavimentadora contenga más de un carril (anchos superiores a 6 m) se emplearán equipos similares al de las juntas transversales en fresco.

Los productos de curado que se requieran serán los mismos que se exigen en caso de que el pavimento se construya entre encofrados fijos.

3. Equipos para la extensión o esparcido manual del concreto

En áreas localizadas de pequeñas dimensiones, inaccesibles al equipo convencional, el Supervisor podrá autorizar la extensión y compactación del concreto por medios manuales. En este caso, para distribuir el concreto se emplearán palas y para enrasarlo se usará una regla vibratoria ligera.

e. Herramientas y elementos para el acabado

1. Flotador o enrasador

Esta herramienta manual de acabado superficial tendrá una superficie metálica, lisa y rígida, provista de un mango largo articulado. Su longitud deberá ser del orden de 3 m y su ancho de 15 cm; para áreas pequeñas, la longitud se puede reducir a 1,5 m y su ancho a 10 cm. Deberá tener sus bordes ligeramente curvos y chaflanados, evitando que se hunda en el concreto fresco, dejando surcos. Su sección transversal deberá tener forma de canal.

2. Tela de fique o yute

Será tejido de fibra vegetal de fique o yute que se pasará en sentido longitudinal a la vía, después de haber realizado el allanado. La tela no deberá tener costuras internas para no dejar marcas indeseables en la superficie del pavimento.

3. Cepillo de texturizado

Esta herramienta puede ser de manejo manual o puede ir montada sobre una máquina que sigue a la máquina pavimentadora, a una distancia determinada por la consistencia del concreto.

La herramienta constará de un cuerpo principal en forma de rastrillo o peine metálico cuya función es dejar una textura estriada transversal en la superficie del concreto, que debe medir aproximadamente 0,80 m de largo, con dientes metálicos flexibles y un mango.

Los dientes del peine deberán tener un ancho de cerda de 3 mm \pm 1 mm y las separaciones entre dientes deberán ser las adecuadas para minimizar el ruido. La huella que deja el peine en el concreto fresco deberá tener 3 mm y 6 mm de profundidad.

Los dientes deberán estar colocados aproximadamente a 45°, evitando así que ellos saquen los agregados a la superficie.

f. Equipos para el curado del concreto

En el caso de membranas de curado, su aplicación se deberá realizar por medio de equipos pulverizadores que aseguren un reparto uniforme y continuo del producto en toda la losa, inclusive en los costados descubiertos. Estos equipos deberán estar provistos de dispositivos que proporcionen una

adecuada protección del producto pulverizado contra el viento, así como de otro dispositivo dentro del tanque de almacenamiento del producto, cuya función es mantenerlo en agitación durante su aplicación.

En áreas reducidas o inaccesibles a dispositivos mecánicos, el Supervisor podrá autorizar el empleo de aspersores manuales.

g. Elementos para la ejecución de juntas

1. Equipos de corte

Para el corte de las juntas en el concreto endurecido, se deberán usar equipos con disco de diamante o de algún otro elemento abrasivo, que permita obtener resultados equivalentes; la calidad de los equipos y discos, así como la idoneidad del personal que los opera, deberá garantizar que la labor se desarrolle sin generar despostillamientos o agrietamientos en las zonas de corte. La potencia de cada equipo deberá ser, cuando menos, de 18 HP (13 428 watt (w)).

Se requerirán discos de diferentes diámetros y anchos para realizar los cortes iniciales y el ensanche de los mismos. Los equipos podrán ser de discos sencillos o múltiples. Los equipos de corte disponibles deberán permitir cortar las juntas requeridas para un día de trabajo (incluida la junta longitudinal) en menos de 8 horas. Además, el Contratista deberá contar con máquinas de reemplazo en caso de daño.

2. Elementos para la ejecución de la juntas en fresco

Para la ejecución de las juntas en fresco, se empleará un equipo con cuchillas vibrantes o se podrán emplear dispositivos para la inserción de tiras continuas de plástico, con un espesor mínimo de 0,35 mm.

h. Equipos de lavado, secado y sellado de juntas

Serán los recomendados por el fabricante del sello y deberán contar con la aprobación del Supervisor, antes del inicio de las labores correspondientes.

i. Bombas de agua de bajo consumo y alta presión

El Contratista deberá garantizar la adecuada limpieza de la cavidad de corte de las juntas, proponiendo, para evaluación y aprobación del Supervisor, los equipos apropiados dentro de las restricciones ambientales que puedan existir.

Para el correcto lavado de las juntas se podrán utilizar bombas de agua de bajo consumo y de alta presión. La presión será, como mínimo, de 10 MPa (100 kg/cm²).

j. Compresores de aire

El Contratista deberá garantizar el adecuado secado de la cavidad de corte. Para ello, deberá proponer, para evaluación y aprobación del Supervisor, los equipos más apropiados, dentro de las restricciones ambientales que puedan existir. Para el correcto secado de las juntas se podrán utilizar compresores de aire, de 1 MPa (10 kg/cm²) y caudal de 70 l/s.

k. Equipos para la inserción del sello

Los equipos deberán ser los recomendados por los fabricantes del material de sello y aprobados por el Supervisor.

Requerimientos de construcción

Explotación de materiales y elaboración de agregados

Las fuentes de materiales, así como los procedimientos y equipos empleados para la explotación de aquellas y para la elaboración de los agregados necesarios, requieren aprobación previa del Supervisor, lo cual no implica la aceptación posterior de los agregados que el Contratista suministre o elabore de tales fuentes, ni lo exime de la responsabilidad de cumplir con todos los requisitos de esta especificación.

Los procedimientos y equipos de explotación, clasificación, trituración, lavado y el sistema de almacenamiento, deberán garantizar el suministro de un producto de calidad uniforme. Si el Contratista no cumple con estos requerimientos, el Supervisor exigirá los cambios que considere necesarios.

Los suelos orgánicos existentes en la capa superior de las canteras, deberán ser conservados para la posterior recuperación de las excavaciones y de la vegetación nativa. Al abandonar las canteras temporales, el Contratista remodelará (nivelará) el terreno para recuperar las características hidrológicas superficiales de ellas.

Explotación de materiales y elaboración de agregados: las canteras deberán tener las señalizaciones adecuadas (de ubicación y camino de acceso), y al cierre de la misma, se deberá escarificar el suelo, para posteriormente adecuar el terreno a la morfología existente de acuerdo a lo establecido en la Sección 906 del EG-2013.

Estudio de la mezcla y obtención de la Fórmula de Trabajo

El Contratista entregará al Supervisor, muestras de los agregados, cemento, agua y eventuales aditivos por utilizar y el Diseño de Mezcla, avalados por los resultados de ensayos de laboratorio que garanticen su calidad, quien comprobará la calidad de los materiales, (cemento, agua, agregados y aditivos) y la correcta dosificación, por metro cúbico de concreto fresco, de acuerdo con la resistencia requerida a los 28 días.

Los materiales componentes del concreto deberán cumplir con lo estipulado en la Subsección 438.02 (a) del EG-2013.

La cantidad de cemento por metro cúbico (m^3) de concreto no será inferior a trescientos (300) kilogramos. La relación agua/cemento no será superior a 0,50 y el asentamiento, medido con el Cono de Abrams (MTC E 705) deberá estar entre 50 mm y 75 mm (2" - 3").

La fórmula de trabajo deberá corregirse, cuando varíe alguno de los siguientes factores: El tipo, clase o categoría del cemento y su marca, el tamaño máximo del agregado grueso, el módulo de fineza del agregado, fino en más de dos décimas (0,2), la proporción de los aditivos y/o el método de puesta en obra.

Tramo de prueba

Para cada dosificación de posible aplicación en obra, determinada a partir de los ensayos previos de laboratorio, se efectuarán ensayos de resistencia sobre prismas rectangulares procedentes de seis amasadas diferentes, confeccionando 2 prismas por amasada, las cuales se ensayarán a la flexotracción a 7 días, obteniéndose el valor medio del Módulo de Rotura (M_R). Para cada serie de probetas se controlará la resistencia y , de ser necesario, el aire incluido, con los mismos métodos empleados para los ensayos previos. Si el valor medio de la resistencia obtenida a los siete días es igual o superior al 80% de las resistencias especificadas a los veintiocho días, y no se han obtenido resultados fuera de especificación para la consistencia o el aire incluido, se efectuará un tramo de prueba con un concreto de dicha dosificación. En caso contrario, se harán los ajustes necesarios hasta conseguir un concreto que cumpla las exigencias de este numeral. El tramo de prueba tendrá una longitud ± 20 m y su ancho será determinado por el Supervisor, fuera de la calzada por pavimentar. El tramo servirá para verificar que los medios de vibración disponibles son capaces de compactar adecuadamente el concreto en todo el espesor del pavimento, que se cumplen las limitaciones de regularidad y rugosidad establecidas por la presente especificación, que el proceso de curado y protección del concreto fresco es adecuado y que las juntas se realizan correctamente.

En caso que los resultados del primer tramo no sean satisfactorios, se construirán otros introduciendo variaciones en los equipos, métodos de ejecución o, incluso, en la dosificación, hasta obtener un pavimento con las condiciones exigidas. Logrado esto, se podrá proceder a la construcción del pavimento.

Preparación de la superficie existente

La mezcla no se extenderá hasta que se compruebe que la superficie sobre la cual se va a colocar tenga las características físicas, la densidad especificada, las cotas indicadas en los planos y hayan sido concluidos y aprobados todos los trabajos de drenaje, instalación de tuberías y de servicios que quedarán cubiertos por el pavimento, todo lo cual será aprobado por el Supervisor.

Antes de verter el concreto, se humedecerá ligeramente la superficie de apoyo de las losas sin que se presenten charcos o, si el Proyecto lo contempla, se cubrirá con papel especial o material plástico con traslapes no inferiores a 15 cm y plegándose lateralmente contra los encofrados, cuando éstas se utilicen. El traslape se hará teniendo en cuenta la pendiente longitudinal y transversal, para asegurar la impermeabilidad.

En todos los casos, se prohibirá circular sobre la superficie preparada, salvo las personas y equipos indispensables para la ejecución del pavimento.

En caso de efectuarse demoliciones y reconstrucciones, como consecuencia de la presencia de fisuras o defectos a edades tempranas, los escombros resultantes deberán ser eliminados por el Contratista, de acuerdo a lo establecido en la Sección 209 del EG-2013

Elaboración de la mezcla

a. Manejo y almacenamiento de los agregados pétreos

No se permitirá ningún método de manejo y almacenamiento de los agregados que pueda causar segregación, degradación, mezcla de distintos tamaños o contaminación con el suelo u otros materiales.

Todos los materiales a utilizarse en la obra deben estar ubicados de tal forma que no cause incomodidad a los transeúntes y/o vehículos que circulen en los alrededores.

b. Suministro y almacenamiento del cemento

El cemento en sacos se deberá almacenar en sitios secos y aislados del suelo, en rumas de no más de 8 bolsas.

Si el cemento se suministra a granel, se deberá almacenar en silos apropiados aislados de la humedad.

No se permitirá el uso de cemento endurecido por diversas razones o cuya fecha de vencimiento haya expirado.

Esta frecuencia será disminuida en relación directa a la condición climática, de temperatura, humedad y/o condiciones de almacenamiento. Este examen incluirá pruebas de laboratorio para determinar su conformidad con los requisitos de la NTP 334.009 ó NTP 334.090.

c. Almacenamiento de aditivos

Los aditivos se protegerán convenientemente de la intemperie y de toda contaminación. Los sacos de productos en polvo se almacenarán bajo cubierta y observando las mismas precauciones que en el caso del almacenamiento del cemento. Los aditivos suministrados en forma líquida se almacenarán en recipientes estancos. Estas recomendaciones no son excluyentes de las especificadas por los fabricantes.

Todos los materiales a utilizarse en la obra deben estar ubicados de tal forma que no cause incomodidad a los transeúntes y/o vehículos que circulen en los alrededores.

d. Dosificación del concreto

Los agregados y el cemento a granel para la fabricación del concreto se dosificarán por peso, por medio de equipos automáticos de dosificación.

En la Fórmula de Trabajo, las dosificaciones de los agregados se establecerán en peso de materiales secos, teniéndose en cuenta su humedad al ajustar los dispositivos de pesaje. En el momento de su dosificación, los agregados tendrán una humedad suficientemente baja para que no se produzca un escurrimiento de agua durante el transporte desde la planta de dosificación al dispositivo de mezclado.

El cemento a granel deberá ser pesado en una balanza independiente de la utilizada para dosificar los agregados. El mecanismo de descarga de la tolva de pesaje del cemento estará diseñado de tal manera, que permita la regulación de la salida del cemento sobre los agregados.

Los aditivos en polvo se medirán en peso y los aditivos líquidos o en pasta, se medirán en peso o en volumen, con una precisión de $\pm 1\%$ de la cantidad especificada.

e. Mezcla de los componentes

La mezcla se realizará en una planta central. En obras de pequeño volumen se podrá autorizar la mezcla en camiones mezcladores (mixer), cuyas características deben adaptarse a lo prescrito en "Elementos de Transporte" tratado antes en la presente especificación. Los componentes de la mezcla se introducirán en la mezcladora de acuerdo con una secuencia previamente establecida por el Contratista y aprobada por el Supervisor. Los aditivos en forma líquida o en pasta se añadirán al agua antes de su introducción en la mezcladora. Los aditivos en polvo se introducirán en la mezcla junto con el cemento o los agregados, excepto cuando el aditivo contenga cloruro de calcio, en cuyo caso se añadirá en seco mezclado con los agregados, pero nunca en contacto con el cemento; no obstante, en este último caso se prefiere agregarlo en forma de disolución. Estas recomendaciones no son excluyentes de las especificadas por los fabricantes.

Los materiales deberán mezclarse durante el tiempo necesario para lograr una mezcla íntima y homogénea de la masa, sin segregación. Su duración mínima se establecerá mediante pruebas de laboratorio y deberá contar con la aprobación del Supervisor.

Transporte del concreto

El transporte entre la planta y la obra se efectuará de la manera más rápida posible, empleando el equipo de transporte descrito en la Subsección 438.03(c) del EG-2013. El concreto se podrá transportar a cualquier distancia, siempre y cuando no pierda sus características de trabajabilidad y se encuentre en estado plástico en el momento de la descarga.

En el caso de construcción en tiempo caluroso, se cuidará de que no se produzca desecación de la mezcla durante el transporte. Si existe tal riesgo, se deberá utilizar retardadores de fraguado.

Colocación de encofrados

Cuando la obra se ejecute entre encofrados fijos, éstos podrán constituir por sí mismos el camino de rodadura de las máquinas de construcción del pavimento o podrán tener un carril para atender esa función. En cualquier caso, deberá presentar las características de rigidez, altura y fijación señaladas en la Subsección 438.03(d) (1) del EG-2013.

Las caras interiores de los encofrados aparecerán siempre limpias, sin restos de concreto u otras sustancias adheridas a ellas. Antes de verter el concreto, dichas caras se recubrirán con un producto antiadherente, cuya composición y dosificación deberán ser aprobadas previamente por el Supervisor.

Cuando la máquina utilice como encofrado un bordillo o una franja de pavimento construido previamente, éste deberá tener una edad de cuando menos 3 días.

Colocación de elementos de guía para pavimentadoras de encofrados deslizantes

El espaciamiento de los elementos (varillas de fijación) que sostienen el hilo guía no será mayor de 12 m; los apoyos de hilo en tales elementos tendrán la cota teórica y la flecha del hilo entre 2 varillas será menor de 2 mm.

Cuando se vierta concreto en una franja adyacente a otra existente, se tomarán las mismas precauciones que en el caso de trabajar entre encofrados fijos.

Colocación de los pasadores y de las barras de amarre

a. Colocación de los pasadores

Salvo que los pasadores se introduzcan por vibración en el pavimento mediante máquinas adecuadas para ello, deberán disponerse en su ubicación final con anterioridad al vertido de concreto sobre canastas de varillas metálicas, suficientemente sólidas y con uniones soldadas que se fijarán a la base de un modo firme.

Los pasadores se colocarán paralelos entre sí y al eje de la calzada, en la ubicación que se tenga prevista para la junta, de acuerdo con lo que establezca el Proyecto. Se deberá dejar una referencia precisa que defina dicha posición a la hora de completar la junta.

b. Colocación de las barras de amarre

Cuando el Proyecto contemple la colocación de barras de amarre, éstas se deberán instalar en forma perpendicular a la junta longitudinal, con la separación mostrada en los planos. Deberán quedar aproximadamente a mitad del espesor de la losa y en forma paralela a la superficie del pavimento, con una mitad a cada lado de la junta.

Cuando la pavimentación se realice entre encofrados fijos, las varillas se insertarán manualmente dentro de los encofrados, de manera que una mitad de ellas penetre dentro de la franja de concreto recién colocada.

Si la obra se realiza con pavimentadora de encofrado deslizante, las varillas se introducirán manualmente en la mitad del espesor del pavimento fresco, a las separaciones previstas en el Proyecto.

Si las barras de amarre se colocan en un pavimento endurecido, se efectuarán barrenos horizontales a la mitad del espesor de las losas y con una profundidad igual a la mitad de la longitud de las varillas, las cuales se insertarán manualmente, previamente lubricadas con la resina epóxica.

Colocación del concreto

Antes de vaciar el concreto, la superficie de apoyo se deberá encontrar preparada, de acuerdo con lo descrito en la Subsección 438.07 del EG-2013.

La máxima caída libre de la mezcla desde el vehículo de transporte en el momento de la descarga, será de 1 m, procurándose que ello ocurra lo más cerca posible del lugar definitivo de colocación, para reducir al mínimo las posteriores manipulaciones. Antes que empiece el fraguado inicial, el concreto deberá ser colocado, vibrado y recibir el acabado final.

Cuando la puesta en obra se realice entre encofrados fijos, el concreto se distribuirá uniformemente y una vez extendido se compactará por vibración y enrasará con elementos adecuados, de modo de tener una superficie uniforme, lisa y libre de irregularidades, marcas y porosidades. Cuando se empleen reglas vibratorias, la compactación de los bordes de la placa deberá completarse con un vibrador de aguja (de inmersión).

Los elementos vibratorios de las máquinas no se apoyarán sobre pavimentos terminados o encofrados laterales y en las pavimentadoras de encofrados deslizantes deberán dejar de funcionar en el instante en que éstos se detengan.

En los pavimentos de concreto armado, el vaciado se hará en una sola capa. Teniendo en consideración que el pavimento de concreto es vaciado por paños, cada uno de estos debe vaciarse en una sola operación, no permitiéndose la creación de juntas de construcción en un mismo paño.

El proceso constructivo en casos especiales será tratado de una forma particular. El Contratista deberá seguir las indicaciones del Proyecto para adelantar la construcción de las losas de concreto en todos los casos especiales, tal el caso de losas irregulares, empates con estructuras fijas o con otros pavimentos de concreto, presencia de estructuras hidráulicas tales como pozos de inspección y sumideros o empalmes con pavimentos asfálticos, entre otros.

Las limitaciones a la ejecución de pavimentos de concreto hidráulico entre otros, son las siguientes:

- Los trabajos de construcción del pavimento de concreto hidráulico se deberán realizar en condiciones de luz natural. Sin embargo, el Supervisor podrá autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el Contratista garantice el suministro y operación de un equipo de iluminación artificial que resulte satisfactorio.
- No se realizará trabajos de vaciado del concreto durante precipitaciones pluviales.
- En zonas calurosas, se deberán extremar las precauciones, con el fin de evitar fisuraciones o desecación superficial. Cuando la temperatura ambiental exceda de 30°C, se deberá contemplar el empleo de aditivos retardadores del fraguado.

- La temperatura de la masa de concreto, durante la operación de vaciado, no podrá ser inferior a 6°C y se prohibirá la puesta en obra sobre una superficie cuya temperatura sea inferior a 0°C o cuando la temperatura ambiente sea inferior a 6°C.
- El sellado de juntas en caliente se suspenderá cuando la temperatura ambiental baje de 6°C, salvo autorización del Supervisor, o en caso de precipitaciones pluviales o viento fuerte.

Todas las losas deberán recibir una identificación, la cual se imprimirá en un sitio previsto para una de sus esquinas.

Colocación de armaduras

Cuando el Proyecto contemple la colocación de varillas de unión y la pavimentación se realice entre encofrados fijos, las varillas se insertarán dentro de los encofrados, de manera que una mitad de ellas penetre dentro de la franja de concreto recién colocada.

Si la obra se realiza con pavimentadora de encofrados deslizantes y ésta no posee dispositivos de colocación, las varillas se podrán introducir manualmente en la mitad del espesor del pavimento fresco, a las separaciones previstas en el Proyecto. No obstante, lo más adecuado es utilizar pavimentadoras con dispositivos preparados para colocar las varillas, tanto transversal como longitudinalmente. En cualquier caso, el método utilizado deberá ser aprobado por el Supervisor.

En los pavimentos de tipo armado con juntas, las armaduras se encontrarán libres de suciedad y óxido no adherente, se colocarán en los sitios y forma establecidos en el Proyecto, sujetándolas, para impedir todo movimiento durante la colocación del concreto.

Cuando sea necesario el traslape de armaduras, las varillas longitudinales se colocarán de acuerdo a lo indicado en el Proyecto.

Es indispensable que la armadura se coloque paralela a la superficie del pavimento, por lo que los tejidos del acero se deben suministrar en barras y no en rollos.

Las varillas transversales irán debajo de las longitudinales y el recubrimiento de éstas deberá encontrarse entre 6 cm y 9 cm.

Ejecución de las juntas

Las juntas longitudinales y transversales de construcción del pavimento de concreto se realizarán en las dimensiones, características y empleando los materiales que establezca el Proyecto.

Se tendrá especial cuidado que el concreto nuevo que se coloque a lo largo de la junta sea homogéneo y quede perfectamente compactado, especialmente cuando la junta sea del tipo machihembrado.

Acabado superficial

Salvo que se instale un equipo de iluminación que resulte idóneo a juicio del Supervisor, la colocación del concreto se suspenderá con suficiente anticipación para que las operaciones de acabado se puedan concluir con luz natural.

El acabado de pavimentos construidos entre encofrados fijos se realizará con una terminadora autopropulsada que pueda rodar sobre los encofrados o los carriles adyacentes. La disposición y movimiento del elemento enrasador serán los adecuados para obtener el perfil, sin superar las tolerancias prefijadas.

En lugares que por su forma o ubicación no permitan el empleo de máquinas, el enrasado podrá efectuarse con herramientas manuales.

El acabado de pavimentos construidos con pavimentadoras de encofrados deslizantes deberá ser efectuado por la misma máquina pavimentadora, la cual deberá disponer de los elementos necesarios para ello.

La uniformidad de la superficie de la obra ejecutada será comprobada, por cualquier metodología que permita determinar tanto en forma paralela como transversal, al eje de la vía, que no existan variaciones superiores a 5 mm. Cualquier diferencia que exceda esta tolerancia, así como cualquier otra falla o deficiencia que presentase el trabajo realizado, deberá ser corregida por el Contratista a su cuenta, costo

y riesgo de acuerdo a las instrucciones y aprobación del Supervisor, no siendo permitido el agregar o eliminar concreto para corregir irregularidades.

Terminadas las operaciones de acabado recién descritas y mientras el concreto aún esté fresco, se redondearán cuidadosamente los bordes de las losas mediante un procedimiento aprobado por el Supervisor.

Textura superficial

Después de comprobar el acabado superficial y cuando el brillo producido por el agua haya desaparecido, se le dará al pavimento una textura transversal homogénea, en forma de estriado, por la aplicación manual o mecánica de un cepillo con púas de plástico, alambre u otro material aprobado por el Supervisor, en forma sensiblemente perpendicular al eje de la calzada, de tal forma que las estrías tengan unos 2 mm de profundidad, o según se haya dispuesto en el Proyecto.

Protección del concreto

Durante el tiempo de fraguado, el concreto deberá ser protegido contra el lavado por lluvia, la insolación directa, el viento y la humedad ambiente baja.

En épocas lluviosas, el Contratista colocará materiales impermeables o de cobertura sobre el concreto fresco, hasta que adquiera la resistencia suficiente para que el acabado superficial no sea afectado. Cualquier deterioro que sufra la superficie por la causa indicada será de responsabilidad del Contratista.

Durante el período de protección, que en general no será inferior a 3 días a partir de la colocación del concreto, estará prohibido todo tipo de tránsito sobre él, excepto el necesario para el aserrado de las juntas cuando se empleen sierras mecánicas.

Curado del concreto

El curado del concreto se deberá realizar en todas las superficies libres, incluyendo los bordes de las losas, por un período no inferior a 7 días. Sin embargo, el Supervisor podrá modificar dicho plazo, de acuerdo con los resultados obtenidos sobre muestras del concreto empleado en la construcción del pavimento.

a. Curado con productos químicos que forman película impermeable

Cuando el curado se realice con componentes de este tipo, ellos se deberán aplicar inmediatamente hayan concluido las labores de colocación y acabado del concreto y el agua libre de la superficie haya desaparecido completamente. Sin embargo, bajo condiciones ambientales adversas de baja humedad relativa, altas temperaturas, fuertes vientos o lluvias, el producto deberá aplicarse antes de cumplirse dicho plazo.

El compuesto de curado que se emplee deberá cumplir las especificaciones dadas por el fabricante y la dosificación de estos productos se hará siguiendo las instrucciones del mismo. Su aplicación se llevará a cabo con equipos que aseguren su aspersión como un rocío fino, de forma continua y uniforme. El equipo aspersor deberá estar en capacidad de mantener el producto en suspensión y tendrá un dispositivo que permita controlar la cantidad aplicada de la membrana.

Cuando las juntas se realicen por aserrado, se aplicará el producto de curado sobre las paredes de ellas. También se aplicará sobre áreas en las que, por cualquier circunstancia, la película se haya estropeado durante el período de curado, excepto en las proximidades de las juntas cuando ellas ya hayan sido selladas con un producto bituminoso.

No se permitirá la utilización de productos que formen películas cuyo color sea negro.

b. Curado por humedad

Cuando se opte por este sistema de curado, la superficie del pavimento se cubrirá con telas de algodón, arena u otros productos de alto poder de retención de humedad, una vez que el concreto haya alcanzado la suficiente resistencia para que no se vea afectado el acabado superficial del pavimento.

Mientras llega el momento de colocar el producto protector, la superficie del pavimento se mantendrá húmeda aplicando agua en forma de rocío fino y nunca en forma de chorro. Los materiales utilizados en el curado se mantendrán saturados todo el tiempo que dure el curado.

No se permite el empleo de productos que ataquen o decoloren el concreto.

c. Curado mediante membranas de polietileno o de papel

Cuando se adopte este método de curado, las membranas se colocarán cuando la superficie de concreto tenga la suficiente resistencia para que el pavimento no se vea afectado en su acabado. Durante el intervalo transcurrido mientras esto sucede, se aplicará agua en forma de rocío para mantener la superficie húmeda.

Se deberá asegurar la permanencia de las membranas durante todo el período previsto de curado, teniendo en cuenta traslapar las fajas al menos 20 cm y asegurando con pesos los bordes y traslapes para impedir el levantamiento de las membranas por acción del viento.

No se permitirá la utilización de membranas de color negro.

Desencofrado

Cuando el pavimento se construya entre encofrados fijos, el desencofrado se efectuará luego de transcurridas por lo menos 16 horas a partir de la colocación del concreto. En cualquier caso, el Supervisor podrá aumentar o reducir el tiempo, en función de la resistencia alcanzada por el concreto.

Aserrado de juntas

En las juntas transversales, el concreto endurecido se aserrará de forma y en instante tales, que el borde de la ranura sea limpio y antes de que se produzcan grietas de retracción en la superficie.

Las juntas longitudinales pueden aserrarse en cualquier momento, después de transcurridas 8 horas de construido el pavimento, siempre que se asegure que no circulará ningún tráfico, hasta que se haya hecho esta operación.

Hasta el momento de sellado de las juntas o hasta el instante de apertura al tránsito en el caso que las juntas se vayan a dejar sin sello, ellas se obturarán con cuerdas u otros elementos similares, con el objeto de evitar la introducción de cuerpos extraños.

Sellado de las juntas.

El sistema de sellado de juntas deberá garantizar la hermeticidad del espacio sellado, la adherencia del sello a las caras de la junta, la resistencia a la fatiga por tracción y compresión; la resistencia al arrastre por las llantas de los vehículos; la resistencia a la acción del agua, a los solventes, a los rayos ultravioleta y a la acción de la gravedad y el calor, con materiales estables y elásticos.

a. Instante de aplicación del sello

Las juntas deberán ser selladas pasados 21 a 28 días de edad del concreto, tan pronto como las condiciones climáticas lo permitan y antes que el pavimento sea abierto al tránsito. En el momento de la aplicación del componente de sello, la temperatura ambiental deberá estar por encima de 6°C y no debe haber precipitaciones pluviales.

El sello se deberá realizar, preferiblemente, en horas diurnas, En caso de que se requiera la aplicación del material de sello antes de la edad especificada, se deberán utilizar imprimantes que creen una barrera de vapor y garanticen una total adherencia del material sellante a los bordes de la junta.

b. Instalación del sello

Antes de sellar las juntas, el Contratista deberá demostrar que el equipo y los procedimientos para preparar, mezclar y colocar el sello producirán un sello de junta satisfactorio. El Supervisor deberá verificar que los procedimientos de instalación propuestos estén de acuerdo con las indicaciones del fabricante.

Antes de iniciar esta tarea en forma masiva, se ejecutarán dos pruebas de instalación en juntas, de 50 m cada una, las cuales deberán ser aprobadas por el Supervisor.

Para conservar un buen nivel de productividad y calidad, se deberán mantener durante el período total de la obra, las personas y los equipos de trabajo usados para estas pruebas. Los cambios del personal,

materiales o equipos, deberán ser notificados al Supervisor e implican la realización de nuevos tramos de prueba.

Las juntas deberán ser verificadas en lo que corresponde a ancho, profundidad, alineamiento y preparación de la superficie de los bordes de junta, y el material de sello deberá tener la aprobación del Supervisor, antes que sea aplicado.

Para sellar las juntas se emplearán llenantes elastoméricos autonivelantes a base de poliuretano o siliconas vaciadas en frío.

Previamente al vaciado del material de sello, se deberá colocar una tirilla de respaldo, presionándola dentro de la junta con un instalador adecuado de rueda metálica, de manera que quede colocada a la profundidad requerida. La tirilla, que deberá cumplir los requisitos citados en la Subsección 438.02(e) (2) del EG-2013, no podrá ser estirada ni torcida durante la operación de colocación. Durante la jornada de trabajo, se deberá limitar la colocación de la tirilla de respaldo a las juntas que puedan ser selladas en el día.

Se deberá enrasar el sello pasando una herramienta en ambas direcciones, para asegurar una aplicación libre de aire. La superficie del sello deberá quedar 3 mm por debajo de los bordes de la junta.

El sello que no pegue a la superficie de la pared de junta, contenga huecos o falle en su tiempo de curado, será rechazado y deberá ser reemplazado por el Contratista, sin costo adicional alguno para la entidad contratante.

Apertura al tránsito

El pavimento se abrirá al servicio cuando el concreto haya alcanzado una resistencia del 80% de la especificada a 28 días y se haya procedido al sellado de juntas, las cuales también deben de ser capaces de funcionar correctamente en ese momento para evitar problemas con las contracciones y humedad del pavimento. A falta de esta información, el pavimento se podrá abrir al tránsito sólo después de transcurridos 10 días desde la colocación del concreto o cuando la resistencia a la flexión sea no menos de 3,86 MPa (38,6 kg/cm²).

Defectos a edades tempranas

Si una losa presenta una sola fisura, paralela o perpendicular a una de las juntas, el Supervisor podrá autorizar la recepción provisional del pavimento, sólo si dicha fisura permite ser sellada efectivamente. Dicho sello será efectuado a cuenta, costa y riesgo del Contratista. En caso que el fisuramiento continúe, el Supervisor debe disponer el cambio del paño, previa demolición.

Si se presentan fisuras de otra naturaleza, como las de esquina, el Supervisor deberá ordenar su demolición y reconstrucción. Todas las operaciones a que haya lugar, correrán por cuenta del Contratista.

Si a causa de un aserrado prematuro se presentan descascaramientos en las juntas, deberán ser reparados por el Contratista, a su costo, con un mortero de resina epóxica aprobado por el Supervisor.

Conservación

El pavimento de concreto hidráulico deberá ser mantenido en perfectas condiciones por el Contratista, hasta la recepción definitiva de los trabajos.

Aceptación de los trabajos

Criterios

a. Controles

Durante la ejecución de los trabajos, el Supervisor efectuará los siguientes controles principales:

- Verificar la implementación para cada fase de los trabajos de lo especificado en la Sección 103 del EG-2013.
- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo empleado por el Contratista.
- Comprobar que los materiales por utilizar cumplan todos los requisitos de calidad exigidos por la presente especificación.
- Observar la correcta aplicación del método de trabajo aprobado en cuanto a la elaboración y manejo de los agregados, así como la manufactura, transporte, colocación, compactación, ejecución de juntas, acabado y curado de las mezclas de concreto que constituyen el pavimento.
- Efectuar los ensayos necesarios para el control de la mezcla.
- Establecer correlaciones entre la resistencia a la flexión y la resistencia para el concreto con el cual se construye el pavimento.
- Vigilar la regularidad en la producción de los agregados y la mezcla de concreto durante el período de ejecución de las obras.
- Tomar cotidianamente muestras de la mezcla que se elabore, para determinar su resistencia a la flexión.
- Tomar núcleos para determinar el espesor del pavimento.
- Realizar medidas para levantar perfiles, medir la textura superficial y comprobar la uniformidad de la superficie.

Los orificios que dejen los núcleos tomados por el Supervisor para determinar el espesor del pavimento y otros controles a que haya lugar, serán rellenados por el Contratista, sin costo alguno para la entidad Contratante, con una mezcla de iguales características que la empleada en la construcción del pavimento, la cual deberá ser correctamente compactada y enrasada.

b. Condiciones específicas y tolerancias para la aceptación

1. Calidad del cemento

El Supervisor efectuará los ensayos de control que permitan verificar la calidad del cemento, especificado según Norma NTP 334.009 o NTP 334.090.

2. Calidad del agua

Se determinarán su pH y sus contenidos de materia orgánica, sulfatos y cloruros, así como sus características de calidad especificadas en la Subsección 438.02(a)(3) del EG-2013

3. Calidad de los agregados

De cada procedencia de los agregados empleados en la construcción del pavimento de concreto hidráulico y para cualquier volumen previsto, se tomarán 4 muestras y de cada fracción de ellas se determinarán:

- El desgaste en la máquina de Los Ángeles.
- Las pérdidas en el ensayo de solidez (durabilidad) en sulfato de magnesio, principalmente en climas con ciclos de hielo y deshielo.
- El equivalente de arena del agregado fino.
- El contenido de materia orgánica del agregado fino mediante el ensayo colorimétrico.

- Además, cuando no existan antecedentes sobre los agregados por emplear, se efectuarán las pruebas de detección de sustancias perjudiciales.

Durante la etapa de producción, el Supervisor examinará los acopios y ordenará el retiro de los agregados que, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado. También, ordenará acopiar por separado aquellos que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, partículas alargadas o aplanadas o plasticidad y vigilará la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, efectuará las verificaciones de calidad y las frecuencias de control para los diversos agregados que se indican deberán satisfacer los requisitos establecidos en la Subsección 503.03 del EG-2013.

4. Calidad de pasadores, varillas de unión y mallas

El Supervisor efectuará las pruebas necesarias para verificar que la calidad del acero empleado responde a las exigencias del Proyecto.

5. Compuestos de curado, membranas y sellado de juntas

El Contratista deberá entregar al Supervisor certificaciones periódicas de estos productos, que garanticen su calidad.

6. Calidad del producto para el sellado de juntas

El Contratista deberá presentar certificaciones periódicas de los fabricantes ó proveedores de los productos por emplear en el sellado de las juntas, que garanticen la calidad para su utilización, para la revisión y aprobación de su uso por parte del Supervisor.

El Contratista deberá garantizar el sello contra defectos de los materiales y su instalación, por el período que establezca el Contrato.

c. Calidad de la mezcla

1. Consistencia

El Supervisor controlará la consistencia y densidad del concreto de cada carga transportada, para lo cual extraerá una muestra en el momento de la colocación del concreto para someterla al ensayo de asentamiento, cuyo resultado deberá encontrarse dentro de los límites indicados en la Subsección 438.05 del EG-2013. En caso de no cumplirse este requisito, se someterán a observación las losas construidas con dicha carga.

2. Resistencia

Por cada 50 m³ se tomará una muestra compuesta por 4 especímenes con los cuales se ensayarán probetas según MTC E 709 para ensayos de resistencia a flexotracción, de las cuales se fallarán 2 a 7 días y 2 a 28 días, luego de ser sometidas al curado normalizado. Los valores de resistencia a siete días se emplearán únicamente para controlar la regularidad de la calidad de la producción del concreto, mientras que los obtenidos a 28 días se emplearán en la comprobación de la resistencia del concreto.

El promedio de la resistencia de los dos especímenes tomados simultáneamente de la misma mezcla, se considera como un ensayo.

Ningún valor de ensayo podrá estar a más de 0,2 MPa (2 kg/cm²) por debajo de la resistencia a la flexión especificada en el Proyecto, y el promedio de cualquier grupo de cuatro ensayos consecutivos deberá ser igual o mayor que la resistencia a la flexión especificada en el Proyecto, más 0,2 MPa (2 kg/cm²).

Si el promedio de los 4 ensayos se encuentra entre el valor especificado en el Proyecto, y ese valor más 0,2 MPa. (2 kg/cm²), se podrá aceptar el pavimento con las sanciones que para este caso se prevea, salvo que el Contratista desee que, a sus expensas, se ejecuten los ensayos de información, los cuales consistirán en la toma de tres testigos cilíndricos para separaciones no

mayores de 7 m entre sí y de 0,5 m de cualquier junta o borde de la superficie vaciada de la mezcla observada.

Estos testigos deberán ser tomados de preferencia antes de los 54 días de la puesta en obra del concreto y se ensayarán a flexión a la edad de 56 días, luego de haber sido conservados durante cuarenta y ocho horas en curado húmedo.

El valor medio de los resultados de estos ensayos se comparará con el valor medio obtenido con los testigos extraídos del tramo de prueba mencionado en la Subsección 438.06 del EG-2013. Si el valor iguala o supera el obtenido en el tramo de ensayo, se considerará aceptable la resistencia del concreto bajo discusión.

Si el resultado de un ensayo es menor en más de 0,2 MPa. (2 kg/cm²) que la resistencia de diseño o si el promedio de un grupo de 4 ensayos consecutivos resulta inferior a la resistencia de diseño, se demolerá el tramo del pavimento objeto de la controversia, a expensas del Contratista, quien lo reemplazará a su costo, con otro de calidad satisfactoria.

3. Contenido de aire

Si en el diseño de la mezcla se ha especificado un contenido de aire, el Supervisor lo controlará (norma de ensayo MTC E-706) en cada uno de los 3 primeros camiones que lleguen a la obra en la jornada de trabajo y en los 3 primeros después de cada interrupción, programada o no, durante el curso de dicha jornada. Los resultados se deberán ajustar al valor establecido al definir la Fórmula de Trabajo, con las tolerancias que muestra la Tabla 438-08 del EG-2013. Si el resultado de la muestra de algún camión se encuentra por fuera de los límites de tolerancia, se tomará una segunda muestra del mismo camión y se repetirá el ensayo. Si este último se encuentra dentro de la tolerancia especificada, se aceptará el viaje. En caso contrario, se rechazará. Si se rechaza el concreto de los 3 camiones consecutivos por este motivo, se suspenderán la producción de la mezcla y la construcción del pavimento, hasta que se detecten y corrijan las causas de la anomalía.

d. Calidad del trabajo terminado

La capa terminada deberá presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas en el Proyecto.

La distancia entre el eje del Proyecto y el borde de la capa construida no podrá ser menor que la indicada en los planos o aprobada por el Supervisor.

La cota de cualquier punto del pavimento curado no deberá variar en más de 5 mm de la proyectada.

Además, el Supervisor deberá efectuar las siguientes verificaciones:

1. Espesor

La verificación de espesor se realizará subdividiendo la superficie del pavimento en zonas con un área de 3500 m² cada una. Cada zona se subdividirá en sectores de 350 m² cada uno, debiendo extraerse de cada sector 2 testigos cilíndricos mediante equipos provistos de brocas rotativas. Los testigos se extraerán luego de transcurridos 15 días desde la colocación del concreto.

Si el espesor promedio de los 2 testigos correspondientes a un sector resulta inferior al espesor teórico de diseño (e_d) en más de 1,5 cm, el pavimento del sector será demolido y reconstruido por el Contratista con un concreto de las características especificadas y espesor adecuado, sin compensación alguna. Igual procedimiento se seguirá cuando el espesor de un testigo resulte inferior en más de 2 cm con respecto al teórico del diseño.

El retiro de los escombros correrá, también, por cuenta del Contratista.

Se considerará como espesor promedio de la zona (e_m), al promedio de las alturas de los testigos extraídos de ella, redondeados al mm. Cuando corresponda la demolición de un sector por los motivos expuestos en el párrafo anterior, las alturas de sus testigos no se considerarán en el cálculo del espesor promedio de la zona.

Si el espesor promedio de la zona es inferior al teórico de diseño en más de 2 mm hasta 10 mm, el pavimento, en cuanto a su espesor, el trabajo se aceptará con descuento por deficiencia de espesor. El descuento se aplicará a la zona de la cual se extrajeron los testigos, previa deducción de los sectores donde haya correspondido la demolición y la reconstrucción. El descuento (D), en porcentaje, por aplicar en el pago por metro cúbico (m³) de pavimento en la zona así afectada (Z), se calculará con la expresión:

$$D = \left[1 - \frac{(e_m + 2)^2}{(e_d^2)} \right] * 100$$

e_m : espesor medio (mm)

e_d : espesor de diseño (mm)

Cuando el espesor promedio de la zona (e_m) sea inferior al teórico de diseño (e_d) en más de 10 mm, el Contratista deberá demoler, retirar y disponer escombros y reconstruir el pavimento a su costo, de modo de cumplir todas las exigencias de la presente especificación.

2. Uniformidad de la superficie

La uniformidad de la superficie de la obra ejecutada será comprobada, por cualquier metodología que permita determinar tanto en forma paralela como transversal, al eje de la vía, que no exista variación superior a 5 mm. Cualquier diferencia que exceda esta tolerancia, así como cualquier otra falla o deficiencia que presentase el trabajo realizado, deberá ser corregida por el Contratista a su cuenta, costo y riesgo de acuerdo a las instrucciones y aprobación del Supervisor.

3. Textura

Al día siguiente de ejecutados los trabajos que se indican en la Subsección 438.17 del EG-2013, se determinará la profundidad de textura por medio del círculo de arena (MTC E 1005), al menos en 10 puntos aleatoriamente elegidos por día de trabajo, debiendo obtenerse una profundidad media no menor a 0,8 mm, con valores individuales no inferiores a 0,6 mm. Además, el coeficiente de resistencia al deslizamiento (MTC E-1004) deberá ser, cuando menos, de 45 centésimas. Si no se cumplen estas exigencias, se rechazará el tramo hasta que el Contratista presente soluciones para alcanzar los valores indicados, cuya implementación será a su exclusivo costo.

4. Rugosidad

La rugosidad superficial medida en unidades IRI no podrá ser mayor de 3,0 m/km. Para la medición de la rugosidad se seguirá lo especificado en la Subsección 423.18(e) (5) del EG-2013.

5. Defectos a edades tempranas

Al respecto, se aplicarán las exigencias de la Subsección 438.24 del EG-2013.

Todas las áreas del pavimento de concreto hidráulico donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, deberán ser corregidas por el Contratista, a su cuenta, costo y riesgo, de acuerdo con las indicaciones del Supervisor y con su aprobación.

6. Integridad

Siempre que se presenten losas agrietadas o astilladas, se procederá como se indica en la Subsección 438.26(d)(5) del EG-2013.

7. Resistencia del pavimento terminado

Independientemente de que se hayan superado los requisitos indicados en la Subsección 438.26(c)(2) del EG-2013, en relación con la resistencia de la mezcla de concreto, se deberá verificar la resistencia efectiva del concreto en el pavimento terminado.

Al efecto, se extraerán de cada lote, en sitios escogidos al azar sobre las losas elaboradas con las mezclas que presentaron los valores aceptables más bajos de resistencia de control, al menos 5 vigas prismáticas para determinar la resistencia a la flexión ó 5 núcleos cilíndricos para determinar

la resistencia a compresión, según el tipo de resistencia que se haya adoptado para el control. Estos elementos se tomarán conforme lo indica la norma MTC E 707. Las dimensiones de las vigas serán 152x152x508 mm (6"x6"x20") y los núcleos deberán tener un diámetro de 15 cm. El pavimento del cual se extraen los elementos deberá tener una edad de, cuando menos, 28 días.

Los elementos extraídos se sumergirán en agua durante 48 horas y, a continuación, se someterán a rotura por flexión o compresión, según el caso.

Con los valores de resistencia obtenidos con estos especímenes se estimará una resistencia característica definitiva ($f_{ct, est\ definitiva}$ o $f_{c, est\ definitiva}$).

El lote será aceptado de manera definitiva, en relación con la resistencia del concreto, si la resistencia característica definitiva del pavimento terminado iguala o supera la resistencia característica de flexión del concreto a 28 días, correspondiente al valor promedio utilizado para el diseño estructural del pavimento (o su equivalente a la compresión según la correlación aprobada por el Supervisor):

$$f_{ct, est\ definitiva} \geq f_{ct,D} \quad \text{O} \quad f_{c, est\ definitiva} \geq f_{c,D}$$

Si esta condición de resistencia definitiva no se cumple, el Contratista deberá realizar una revisión analítica del diseño del pavimento, empleando el mismo método utilizado para el diseño original y adoptando para el lote el espesor promedio determinado (e_m) y el valor estimado de la resistencia característica definitiva a la flexión para el concreto del lote ($f_{ct, est\ definitiva}$). Si esta revisión indica, que el tránsito que puede soportar el pavimento es igual o superior al de diseño del pavimento, se aceptará el lote de pavimento bajo discusión, en relación con los criterios de espesor y resistencia.

Si el tránsito calculado resulta inferior al de diseño, el Supervisor, podrá tomar alguna de las siguientes decisiones:

- Reforzar el pavimento representado por el lote.
- Demoler y reconstruir el pavimento representado por el lote.

En cualquiera de los dos casos, la eventual demolición del lote y los materiales y la ejecución de todos los trabajos de refuerzo o de reconstrucción correrán por cuenta exclusiva del Contratista, sin costo alguno para la entidad contratante. En caso de que se opte por el refuerzo, el diseño del mismo, que será de tipo rígido, correrá a cargo del Contratista y no se podrá implementar, mientras el Supervisor no lo apruebe.

Todas las obras de refuerzo o reconstrucción que se deban acometer, serán sometidas a los mismos controles descritos en esta Subsección para el pavimento original. La obligación de ejecutar estas correcciones, no podrá ser utilizada por el Contratista como excusa para incumplir el plazo de ejecución de las obras contratadas.

8. Densidad del concreto

A los testigos extraídos del pavimento terminado se les determinará su densidad, según la norma de ensayo ASTM C 642. Los resultados deberán ser reportados, pero no se emplearán como criterio para aceptación o rechazo del pavimento construido.

9. Módulo elástico del concreto

Sobre los núcleos cilíndricos extraídos del pavimento para el control de resistencia a la compresión Subsección 438.26(d)(7) del EG-2013 se determinará el módulo de elasticidad, mediante el procedimiento descrito en la norma ASTM C 469.

El valor promedio de cada lote deberá ser reportado y se empleará, si corresponde, en la revisión de los diseños estructurales del pavimento, a los cuales se hace referencia en la Subsección 438.26(d)(7) del EG-2013.

Si el control de resistencia se va a realizar mediante vigas sometidas a flexión, se deberá extraer el mismo número de núcleos cilíndricos, en las mismas losas, para la determinación del módulo de elasticidad.

Todos los orificios resultantes de la extracción de testigos para determinar la resistencia, la densidad y el módulo elástico del pavimento terminado, deberán ser rellenados, vibrados y curados por el Contratista, a la mayor brevedad posible y sin costo para la entidad contratante, con un concreto de igual o mayor resistencia que el extraído.

10. Alineación de los pasadores

La alineación de los pasadores en las juntas transversales se podrá verificar mediante tomografía magnética, empleando un dispositivo MIT Scan 2 u otro equipo aprobado por el Supervisor.

Si se advierten desviaciones superiores a las consideradas aceptables en la Subsección 438.12(a) del EG-2013, el Contratista dispondrá de las siguientes opciones:

- Realizar, a su costo, los trabajos de realineación de las varillas desviadas, empleando un procedimiento validado por la experiencia y aceptado por el Supervisor.
- No realizar ninguna intervención.

Si acoge la segunda opción, de ello se dejará constancia en el acta de recepción definitivo de la obra y los registros respectivos se incluirán en el informe final de Supervisión. En tal evento, serán de responsabilidad exclusiva del Contratista los agrietamientos transversales que se presenten en las losas a causa de la falta de alineación, durante el período de vigencia de la garantía de estabilidad de la obra y, por lo tanto, estará obligado a reconstruir las losas afectadas y a reponer, a su costo, todo el sistema de transferencia de carga de ellas, a satisfacción completa de la entidad contratante, durante dicho período.

11. Transferencia de carga en las juntas

Se deberá comprobar la transferencia de carga, tanto en las juntas longitudinales como en las transversales, siguiendo las indicaciones del Proyecto. En ellos se fijarán también los valores mínimos admisibles y los procedimientos a seguir en caso de incumplimiento.

12. Proceso constructivo para casos especiales

El Contratista deberá seguir las indicaciones del Proyecto para adelantar la construcción de las losas de concreto en todos los casos especiales, tales como losas irregulares, empates con estructuras fijas o con otros pavimentos de concreto, estructuras hidráulicas (pozos de inspección y sumideros o empalmes con pavimentos asfálticos), etc.

13. Limitaciones en la ejecución

Los trabajos de construcción del pavimento de concreto hidráulico se deberán realizar con luz natural. Sin embargo, el Supervisor podrá autorizar el trabajo en horas nocturnas, siempre y cuando el Contratista garantice el suministro y operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado para la realización de dichos trabajos.

El vaciado del concreto no se realizará en presencia de cuando haya precipitaciones pluviales.

En zonas calurosas, se deberán extremar las precauciones, con el fin de evitar fisuraciones o desecación superficial. Donde la temperatura ambiente exceda de 30°C, se deberá contemplar el empleo de aditivos retardadores del fraguado.

La temperatura de la masa de concreto, durante la operación de vaciado, no podrá ser inferior a 6°C y se prohibirá la puesta en obra sobre una superficie cuya temperatura sea inferior a 0°C o cuando la temperatura ambiente sea inferior a 6°C.

El sellado de juntas en caliente se suspenderá cuando la temperatura ambiente baje de 6°C, salvo autorización del Supervisor, o en caso de precipitaciones pluviales o viento fuerte.

14. Manejo ambiental

Todas las labores requeridas para la construcción del pavimento de concreto hidráulico se realizarán teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del Proyecto y las disposiciones vigentes sobre la conservación del medio ambiente y de los recursos naturales.

Al término de los trabajos de construcción del pavimento de concreto hidráulico, el Contratista deberá limpiar la superficie y retirar todo material sobrante o desperdicio y transportarlo y depositarlo en un DME, según lo establecido en la Sección 209 del EG-2013.

Siempre que se deban demoler y reponer losas, los productos de la demolición quedarán de propiedad del Contratista, quien deberá disponer de ellos de manera que no causen afectaciones ambientales ni se genere obligación de ninguna índole a la entidad contratante.

Medición

La unidad de medida del pavimento de concreto hidráulico será el metro cúbico (m^3), aproximado al décimo de metro cúbico, de concreto suministrado, colocado, compactado y terminado, debidamente aprobado por el Supervisor.

El volumen se determinará multiplicando la longitud real medida a lo largo del eje vial, por el ancho y el espesor especificados en el Proyecto y aprobados por el Supervisor.

No se medirán cantidades por fuera de estos límites.

Pago

El pago se hará al precio del contrato por toda obra ejecutada de acuerdo con esta especificación y aprobada por el Supervisor.

El precio unitario deberá cubrir todos los costos de adquisición, obtención de permisos y derechos de explotación o alquiler de las fuentes de materiales y su acondicionamiento y la preparación de las zonas por explotar.

Deberá cubrir, también, todos los costos de explotación de dichas fuentes de materiales; la selección, trituración, eventual lavado y clasificación de los materiales pétreos; el suministro, almacenamiento, desperdicios, carga, transporte, descarga y mezcla de todos los materiales constitutivos de la mezcla cuya Fórmula de Trabajo se haya aprobado, incluidos los aditivos; el suministro, almacenamiento, desperdicios, carga, transportes, descarga y colocación de los pasadores, varillas de unión, mallas electrosoldadas, elementos para separación del pavimento o curado y materiales para el sello de todas las juntas según lo contemple el Proyecto; el transporte del concreto al sitio de los trabajos, su colocación y vibrado, la ejecución de juntas, el acabado superficial y el curado requerido; las instalaciones provisionales; los costos de arreglo o construcción de las vías de acceso a las fuentes de materiales; la adecuación paisajística de las fuentes para recuperar las características hidrológicas superficiales al terminar su explotación; el tramo de prueba; y el período de curado, la demolición, retiro y disposición de las losas rechazadas y, en general todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados y lo especificado en la Subsección 07.05 del EGE-2013.

La preparación de la superficie existente se considera incluida en el ítem referente a la capa a la cual corresponde dicha superficie y, por lo tanto, no habrá lugar a pago separado por este concepto.

En el caso de que el Contrato emplee el concreto pre-mezclado, el pago correspondiente será por el Costo Unitario del m^3 de la mezcla adquirida, el cual debe cumplir la norma AASHTO M-157, en cuyo caso todo lo indicado estará incluido en el precio unitario del concreto pre-mezclado.

Acero de refuerzo

Descripción

Este material está constituido por barras de acero corrugadas, con límite de fluencia (f_y) de 420 MPa (4200 kg/cm²), que se colocan como refuerzo dentro de las diferentes estructuras permanentes de concreto, de acuerdo con estas especificaciones y de conformidad con el Proyecto.

Materiales

Los materiales que se proporcionen a la obra deberán contar con certificación de calidad del fabricante y de preferencia contar con certificación ISO 9000.

a. Barras de refuerzo

Deberán cumplir con la más apropiada de las siguientes normas, según se establezca en el proyecto: AASHTO M-31 y ASTM A-706.

Cuando en los planos del proyecto está prevista barras de refuerzo galvanizado, ésta debe cumplir la norma ASTM - A767.

b. Alambre y mallas de alambre

Deberán cumplir con las siguientes normas AASHTO, según corresponda: M-32, M-55, M-221 y M-225.

c. Pesos teóricos de las barras de refuerzo

Los pesos unitarios, se indican en la Tabla N°01.

Tabla N°1
Peso de las barras por unidad de longitud

Barra N°	Diámetro Nominal en mm (pulg)	Peso Kg/m
2	6,35 (1/4")	0,25
3	9,5 (3/8")	0,56
4	12,7 (1/2")	1,00
5	15,7 (5/8")	1,55
6	19,1 (3/4")	2,24
7	22,2 (7/8")	3,04
8	25,4 (1")	3,97
9	28,7 (1 1/8")	5,06
10	32,3 (1 1/4")	6,41
11	35,8 (1 3/8")	7,91
14	43,0 (1 3/4")	11,38
18	57,3 (2 1/4")	20,24

Equipo

Se requiere de un equipo idóneo para el corte y doblado de las barras de refuerzo. Si se autoriza el empleo de soldadura, el Contratista deberá disponer del equipo apropiado para dicha labor.

Se requieren, además, elementos que permitan asegurar correctamente el refuerzo en su posición, así como herramientas menores.

Al utilizar el acero de refuerzo, los operarios deben utilizar guantes de protección.

Los equipos de corte y doblado de las barras de refuerzo no deberán producir ruidos por encima de los permisibles o que afecten a la tranquilidad del personal de obra y las poblaciones aledañas. El empleo de los equipos deberá contar con la aprobación del Supervisor.

Requerimientos de construcción

Planos y despiece

Antes de cortar el material a los tamaños indicados en los planos, el Contratista deberá verificar las listas de despiece y los diagramas de doblado.

Si los planos no los muestran, las listas y diagramas deberán ser preparados por el Contratista y aprobados por el Supervisor, pero tal aprobación no exime al Contratista de su responsabilidad por la exactitud de los mismos. En este caso, el Contratista deberá contemplar el costo de la elaboración de las listas y diagramas mencionados, en los precios de su oferta.

Suministro y almacenamiento

Todo envío de acero de refuerzo que llegue al sitio de la obra o al lugar donde vaya a ser doblado, deberá estar identificado con etiquetas en las cuales se indiquen la fábrica, el grado del acero y el lote correspondiente.

El acero deberá ser almacenado en forma ordenada por encima del nivel del terreno, sobre plataformas, largueros u otros soportes de material adecuado y deberá ser protegido, hasta donde sea posible, contra daños mecánicos y deterioro superficial, incluyendo los efectos de la intemperie y ambientes corrosivos.

Se debe proteger el acero de refuerzo de los fenómenos atmosféricos, principalmente en zonas con alta precipitación pluvial. En el caso del almacenamiento temporal, se evitará dañar, en la medida de lo posible, la vegetación existente en el lugar, ya que su no-protección podría originar procesos erosivos del suelo.

Doblamiento

Las barras de refuerzo deberán ser dobladas en frío, de acuerdo con las listas de despiece aprobadas por el Supervisor. Los diámetros mínimos de doblamiento, medidos en el interior de la barra, con excepción de flejes y estribos, serán los indicados en la Tabla 502-02 del EG-2013.

El diámetro mínimo de doblamiento para flejes u otros elementos similares de amarre, no será menor que 4 diámetros de la barra, para barras N°. 5 o menores. Para las barras mayores, se doblarán de acuerdo con lo que establece la Tabla 504-02 del EG-2013.

Colocación y amarre

Al ser colocado en la obra y antes de producir el concreto, todo el acero de refuerzo deberá estar libre de polvo, óxido en escamas, rebabas, pintura, aceite o cualquier otro material extraño que pueda afectar la adherencia. Todo el mortero seco deberá ser retirado del acero.

Las varillas deberán ser colocadas con exactitud, de acuerdo con las indicaciones de los planos, y deberán ser aseguradas firmemente en las posiciones señaladas, de manera que no sufran desplazamientos durante la colocación y fraguado del concreto. La posición del refuerzo dentro de los encofrados deberá ser mantenida por medio de tirantes, bloques, soportes de metal, espaciadores o cualquier otro soporte aprobado. Los bloques deberán ser de mortero de cemento prefabricado, de calidad, forma y dimensiones aprobadas. Los soportes de metal que entren en contacto con el concreto, deberán ser galvanizados. No se permitirá el uso de cascajo, fragmentos de piedra o ladrillos quebrantados, tubería de metal o bloques de madera.

Las barras se deberán amarrar con alambre en todas las intersecciones, excepto en el caso de espaciamientos menores de 0,30 m, en el cual se amarrarán alternadamente. El alambre usado para el amarre deberá tener un diámetro equivalente de 1,5875 mm (N° 16) ó 2,032 mm (N° 12), o calibre equivalente. No se permitirá la soldadura de las intersecciones de las barras de refuerzo.

Además, se deberán obtener los recubrimientos mínimos especificados en la última edición del Código ACI-318.

Si el refuerzo de malla se suministra en rollos para uso en superficies planas, la malla deberá ser enderezada en láminas planas, antes de su colocación.

El Supervisor deberá revisar y aprobar el refuerzo de todas las partes de las estructuras, antes de que el Contratista inicie la colocación del concreto.

Traslapes y uniones

Los traslapes de las barras de refuerzo se efectuarán en los sitios mostrados en los planos o donde lo indique el Supervisor, debiendo ser localizados de acuerdo con las juntas del concreto.

El Contratista podrá introducir traslapes y uniones adicionales, en sitios diferentes a los mostrados en los planos, siempre y cuando: dichas modificaciones sean aprobadas por el Supervisor, los traslapes y uniones en barras adyacentes queden alternados según lo exija éste, y el costo del refuerzo adicional requerido sea asumido por el Contratista.

En los traslapes, las barras deberán quedar colocadas en contacto entre sí, amarrándose con alambre, de tal manera, que mantengan la alineación y su espaciamiento, dentro de las distancias libres mínimas especificadas, en relación a las demás varillas y a las superficies del concreto.

El Contratista podrá reemplazar las uniones traslapadas por uniones soldadas empleando soldadura que cumpla las normas de la American Welding Society, AWS D1.4. En tal caso, los soldadores y los procedimientos deberán ser precalificados por el Supervisor de acuerdo con los requisitos de la AWS y las juntas soldadas deberán ser revisadas radiográficamente o por otro método no destructivo que esté sancionado por la práctica. El costo de este reemplazo y el de las pruebas de revisión del trabajo así ejecutado, correrán por cuenta del Contratista.

Las láminas de malla o parrillas de varillas se deberán traslapar entre sí de acuerdo a lo especificado en el proyecto para mantener una resistencia uniforme, y se deberán asegurar en los extremos y bordes. El traslape de borde deberá ser, como mínimo, igual a 1 espaciamiento en ancho.

Sustituciones

La sustitución de las diferentes secciones de refuerzo sólo se podrá efectuar con aprobación del Supervisor. En tal caso, el acero sustituyente deberá tener un área y perímetro equivalentes o mayores que el área y perímetro de diseño.

Aceptación de los trabajos

Criterios

a. Controles

Durante la ejecución de los trabajos, el Supervisor efectuará los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento del equipo empleado por el Contratista.
- Solicitar al Contratista copia certificada de los análisis químicos y pruebas físicas realizadas por el fabricante a las muestras representativas de cada suministro de barras de acero.
- Comprobar que los materiales por utilizar cumplan con los requisitos de calidad exigidos por la presente especificación.
- Verificar que el corte, doblado y colocación del refuerzo se efectúen de acuerdo con los planos, esta especificación y sus instrucciones.
- Vigilar la regularidad del suministro del acero durante el período de ejecución de los trabajos.
- Verificar que cuando se sustituya el refuerzo indicado en los planos, se utilice acero de áreas y perímetros iguales o superiores a los de diseño.
- Efectuar las medidas correspondientes para el pago del acero de refuerzo correctamente suministrado y colocado.

b. Calidad del acero

Las barras y mallas de refuerzo deberán ser ensayadas en la fábrica y sus resultados deberán satisfacer los requerimientos de las normas respectivas de la AASHTO o ASTM correspondientes.

El Contratista deberá suministrar al Supervisor una copia certificada de los resultados de las pruebas físicas y mecánicas realizadas por el fabricante para el lote correspondiente a cada envío de acero de refuerzo a la obra.

En caso que el Contratista no cumpla este requisito, el Supervisor ordenará, a cuenta, costo y riesgo del Contratista, la ejecución de todos los ensayos que considere necesarios sobre el refuerzo, antes de aceptar su utilización.

Cuando se autorice el empleo de soldadura para las uniones, su calidad y la del trabajo ejecutado se verificarán de acuerdo con lo indicado en la Subsección 504.07 del EG-2013.

Las varillas que tengan fisuras o hendiduras en los puntos de flexión, serán rechazadas.

c. Calidad del trabajo terminado

Se aceptarán las siguientes tolerancias en la colocación del acero de refuerzo:

1. Desviación en el espesor de recubrimiento

- Con recubrimiento ≤ 5 cm: 5 mm
- Con recubrimiento > 5 cm: 10 mm

2. Área

No se permitirá la colocación de acero con áreas y perímetros inferiores a los de diseño.

Todo defecto de calidad o de instalación que exceda las tolerancias de esta especificación, deberá ser corregido por el Contratista, a su cuenta, costo y riesgo, de acuerdo con procedimientos establecidos y aprobados por el Supervisor.

Medición

La unidad de medida será el kilogramo (kg), aproximado al décimo de kilogramo, de acero de refuerzo para estructuras de concreto armado, realmente suministrado y colocado en obra, debidamente aprobado por el Supervisor.

La medida no incluye el peso de soportes separados, soportes de alambre o elementos similares utilizados para mantener el refuerzo en su sitio, ni los empalmes adicionales a los indicados en el Proyecto.

Si se sustituyen barras a solicitud del Contratista y como resultado de ello se usa más acero del que se ha especificado, no se medirá la cantidad adicional.

La medida para barras se basará en el peso computado para los tamaños y longitudes de barras utilizadas, usando los pesos unitarios indicados en la Tabla N° 01.

La medida para malla de alambre será el producto del área en metros cuadrados de la malla efectivamente incorporada y aceptada en la obra, por su peso real en kilogramos por metro cuadrado.

No se medirán cantidades en exceso de las indicadas en el Proyecto y aprobada por el Supervisor.

Pago

El pago se hará al precio unitario del contrato por toda obra ejecutada de acuerdo con esta especificación y aprobada por el Supervisor.

El precio unitario deberá cubrir todos los costos por concepto de suministro, ensayos, transporte, almacenamiento, corte, desperdicios, doblamiento, limpieza, colocación y fijación del refuerzo necesario para terminar correctamente el trabajo, de acuerdo con los planos, esta especificación, con la aprobación del Supervisor y lo especificado en la Subsección 07.05 del EG-2013.

Tubería de concreto simple

Descripción

Este trabajo consiste en la instalación de tubos de concreto simple, debidamente aprobados para el paso de agua superficial y desagües pluviales transversales, de acuerdo con estas especificaciones y de conformidad con el Proyecto.

Materiales

Tubería

Los tubos deberán ser elaborados con una mezcla homogénea de concreto, de calidad tal, que cumplan los requisitos de resistencia al aplastamiento y absorción indicados en la [Tabla N° 02](#), determinados de acuerdo con las normas de ensayo indicados.

En todo caso, el tamaño máximo nominal del agregado grueso no podrá exceder de 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ ") y la mezcla deberá ser de la clase definida en la [Sección 503 del EG-2013](#) y no podrá contener menos de 330 kg de cemento por metro cúbico (m³) de concreto.

Cada tubo deberá tener una longitud entre (0,80 m - 1,00 m) y sus extremos deberán estar diseñados de manera de obtener un encaje adecuado entre ellos, formando un conducto continuo con una superficie interior lisa y uniforme.

Todos los materiales a utilizarse deberán estar ubicados de tal forma que no cause incomodidad a los transeúntes y/o vehículos que circulen en los alrededores.

Tabla N° 2

Diámetro interno de diseño (mm)	Espesor mínimo de pared (mm)	Resistencia promedio N/m (kg/m)	MTC-E-901 Absorción Máxima (%) MTC-E-902	Ancho de solado (m)
450	38	32,4 (3300)	9,0	1,15
600	54	38,2 (3900)	9,0	1,30
750	88	44,1 (4500)	9,0	1,45

Material para solado y sujeción

El solado y sujeción para la tubería se ejecutarán en concreto simple, clase F, según lo especificado en la [Subsección 503.04 del EG-2013](#).

Mortero

El mortero para las juntas de la tubería deberá estar constituido por 1 parte de cemento Portland y 3 partes de arena, medidas por volumen en estado seco, con el agua necesaria para obtener una mezcla trabajable.

Alternativamente, se podrá emplear un mortero espeso de cemento Portland.

Equipo

Se requieren, principalmente, elementos para la producción de agregados pétreos, fabricación y curado de la mezcla de concreto, moldes para la fabricación de los tubos y equipos para su transporte y colocación en el sitio de las obras.

Requerimientos de construcción

Preparación del terreno base

Cuando el fondo de la tubería se haya proyectado a una altura aproximadamente igual o, eventualmente, mayor a la del terreno natural, éste se deberá limpiar, excavar, rellenar, conformar y compactar, de acuerdo con lo especificado en las Secciones 201, 501 y 205 del EG-2013; de manera que la superficie compactada quede por lo menos 15 cm debajo de las cotas proyectadas del fondo exterior de la tubería.

El material utilizado en el relleno deberá clasificar como corona según la Tabla 205-01 del EG-2013 y su compactación deberá ser, como mínimo, el 95% de la máxima obtenida en el ensayo modificado de compactación (norma de ensayo MTC E 115).

Cuando la tubería se vaya a colocar en una zanja excavada, ésta deberá tener caras verticales, cada una de las cuales deberá quedar a una distancia suficiente del lado exterior de la tubería, que permita la construcción del solado en el ancho mencionado en la Tabla N° 02 o el aprobado por el Supervisor. El fondo de la zanja deberá ser excavado a una profundidad de no menos de 15 cm debajo de las cotas especificadas del fondo de la tubería.

Dicha excavación se realizará conforme se indica en la Sección 501 del EG-2013, previo el desbroce y limpieza requeridos.

Cuando una corriente de agua impida la ejecución de los trabajos, el Contratista deberá desviarla hasta cuando se pueda conducir a través de la tubería.

Cuando exista la necesidad de desviar un curso natural, el contratista deberá previamente solicitar el permiso respectivo al Supervisor y a la autoridad competente. Así mismo, el curso abandonado deberá ser restaurado a su condición original.

No se permitirá el vadeo frecuente de arroyos con equipos de construcción, debiéndose utilizar puentes u otras estructuras donde se prevea un número apreciable de pasos del agua.

Los desechos ocasionados por la construcción de los pasos de agua, se eliminarán en los lugares señalados en el proyecto para éste fin.

No debe permitirse el acceso de personas ajenas a la obra.

Solado

Una vez preparada la superficie, se colocará el solado con el material especificado en la Subsección 505.03 del EG-2013, ancho según la Tabla N° 02 y un espesor no menor de 15 cm o según sea establecido y aprobado por el Supervisor.

Colocación de la tubería

La tubería se colocará mientras el concreto del solado esté fresco, en forma ascendente, comenzando por el lado de salida y con los extremos acampanados o de ranura dirigidos hacia el cabezal o caja de entrada de la obra. El fondo de la tubería se deberá ajustar a los alineamientos y cotas señalados en el proyecto.

Cuando las tuberías y demás obras de drenaje de una construcción confluyan directamente a un río, éste deberá estar provisto de obras civiles que permitan la decantación de sedimentos.

Las tuberías deben conducirse siguiendo la menor pendiente hacia los cursos naturales protegidos. En caso que esto no sea posible, se deben construir obras civiles de protección mecánica para el vertimiento de las aguas, tales como estructuras de disipación de energía a la salida del terreno para evitar la erosión.

Juntas

Las juntas de los tubos deberán ser humedecidas completamente antes de hacer la unión con mortero. Previamente a la colocación del tubo siguiente, las mitades inferiores de las campanas o ranuras de cada tubo, deberán ser llenadas con mortero de suficiente espesor para permitir que la superficie interior de los tubos quede a un mismo nivel. Después de colocar el tubo, el resto de la junta se llenará con el mortero, usando una cantidad suficiente para formar un anillo exterior alrededor de la junta. El interior de la junta deberá ser limpiado y alisado.

Después del fraguado inicial, el mortero de los anillos exteriores deberá ser protegido contra el aire y el sol con una cubierta de tierra saturada o una arpillera húmeda.

Para las juntas con mortero de cemento, se deberán emplear moldes u otros medios aprobados por el Supervisor, para retener el mortero vertido o bombeado.

Sujeción

Tan pronto se hayan asentado los tubos en la mezcla, y una vez endurecido el mortero de las juntas, se sujetarán a los lados, con una mezcla igual a la utilizada en el solado, hasta una altura no menor de un cuarto del diámetro exterior del tubo.

Relleno

Una vez que la sujeción haya curado suficientemente, se efectuará el relleno de la zanja conforme a lo señalado la Sección 502 del EG-2013.

Limpieza

Terminados los trabajos, el Contratista deberá limpiar la zona de las obras y retirar los materiales sobrantes, transportarlos y disponerlos en sitios aprobados por el Supervisor, de acuerdo con la Sección 209 del EG-2013

Aceptación de los trabajos

Criterios

a. Controles

Durante la ejecución de los trabajos, el Supervisor efectuará los siguientes controles principales:

- Verificar que el Contratista emplee el equipo aprobado y comprobar su estado de funcionamiento.
- Verificar el cumplimiento de lo especificado en la Sección 103 del EG-2013.
- Comprobar que los tubos y demás materiales y mezclas por utilizar cumplan los requisitos de la presente especificación.
- Supervisar la correcta aplicación del método de trabajo aprobado.
- Verificar que el alineamiento y pendiente de la tubería estén de acuerdo con los requerimientos de los planos.
- Medir las cantidades de obra ejecutadas satisfactoriamente por el Contratista.

b. Calidad de la tubería

El Supervisor no aceptará el empleo de tubos que presenten:

- Fracturas o grietas que atraviesen la pared del tubo.
- Defectos que indiquen dosificación, mezcla o moldeo inadecuados.
- Defectos superficiales tales como cangrejeras y textura abierta.
- Extremos dañados que impidan la construcción de juntas aceptables.
- Cualquier grieta continua que tenga un ancho en superficie igual o superior a $\geq 0,3$ mm y se extienda en una longitud mayor de 300 mm, en cualquier sitio del tubo.
- Sonido que no sea claro al colocarlos en posición vertical y golpearlos ligera y secamente con un martillo liviano.

El Contratista deberá suministrar al Supervisor, sin costo para la entidad contratante, muestras para ensayo hasta el medio por ciento (0,5%) del número de tubos de cada diámetro incluidos en la obra, sin que en ningún caso sean menos de dos ejemplares. Los tubos deberán encontrarse sanos y tener la longitud completa.

Para determinar la sanidad del tubo, se colocará verticalmente y se golpeará con un martillo, debiendo dar un timbre metálico. Si ello no sucede o si en el tubo se advierten grietas u otros defectos de forma o dimensiones en exceso de los límites aceptados por esta especificación, se descartará y se reemplazará por una muestra adicional del mismo embarque que sea sana, sin que dicho reemplazo implique costo alguno para la entidad contratante.

El ensayo de resistencia al aplastamiento, se efectuará sobre por lo menos el 75% de los tubos recibidos para ensayo. La tubería se considerará satisfactoria, si todos los tubos de prueba igualan o exceden la resistencia mencionada en la Tabla N° 02.

Si uno o más tubos no cumplen este requisito, el Contratista deberá suministrar, a su costo, dos tubos por cada tubo insatisfactorio y el embarque sólo será aceptado cuando todos los tubos adicionales cumplan el requisito de resistencia.

De cada tubo satisfactorio, se tomará una muestra para el ensayo de absorción, la cual deberá tener un área entre $77 \text{ cm}^2 - 129 \text{ cm}^2$, un espesor igual al de la pared del tubo y estar exenta de grietas visibles. El embarque sólo se considerará satisfactorio si todas las muestras ensayadas cumplen el requisito de absorción.

c. Tolerancias en las dimensiones de los tubos

1. Diámetro interno

Se aplicara lo indicado en la Tabla N° 03.

Tabla N° 3

Diámetro de diseño (mm)	Diámetro mínimo (mm)	Diámetro máximo (mm)
450	450	465
600	600	620
750	750	775

2. Espesor de pared

El espesor de la pared no podrá ser menor que el indicado en la Tabla N° 02. Tampoco podrá exceder en más 3 mm el espesor mínimo en los tubos de 45 cm y 60 cm, ni en más de 5 mm en los tubos de 750 mm.

Se admitirán tubos con variaciones localizadas de espesor por fuera de estos límites, si cumplen los requisitos de los ensayos físicos indicados en la Subsección 505.103(b) del EG-2013.

3. Longitud

Ningún elemento individual podrá tener una longitud que varíe en más de 13 mm respecto de la indicada en el Proyecto.

d. Concreto para solado

En relación con la calidad de los ingredientes para la mezcla, se aplicarán los criterios expuestos en Subsecciones 503.11 (b), (c), (d), (e) y (f) del EG-2013.

En relación con la calidad de la mezcla elaborada, se aplicará lo descrito en la Subsección 503.11 (f) del EG-2013, excepto lo pertinente a la ejecución de pruebas de carga a cuenta y costo del Contratista.

El Supervisor no autorizará la colocación del concreto para solado, si la superficie de apoyo no se encuentra correctamente preparada.

e. Calidad del trabajo terminado

La tubería será objeto de rechazo si en tramos rectos presenta variaciones de alineamiento de más de 1 cm/m.

El Supervisor tampoco aceptará los trabajos, cuando las juntas estén deficientemente elaboradas.

Todos los materiales defectuosos y los desperfectos en los trabajos ejecutados deberán ser reemplazados y subsanados por el Contratista, a su cuenta, costo y riesgo, de acuerdo con las instrucciones y aprobación del Supervisor.

La evaluación de los trabajos de "Tubería de Concreto Simple" se efectuará de acuerdo a lo indicado en la Subsección 04.11 del EG-2013.

Medición

La unidad de medida será el metro lineal (m), aproximado al decímetro, de tubería de concreto simple suministrada y colocada de acuerdo con el Proyecto, esta especificación y aprobada por el Supervisor.

La medida se hará entre las caras exteriores de los extremos de la tubería o los cabezales, según el caso, a lo largo del eje longitudinal y siguiendo la pendiente de la tubería. No se medirá, para efectos de pago, ninguna longitud de tubería colocada fuera de los límites aprobados por el Supervisor.

Pago

El pago se hará al precio unitario del tubo de concreto simple, según el diámetro de la tubería, por toda obra ejecutada de acuerdo con esta especificación y aprobada por el Supervisor.

El precio unitario deberá incluir todos los costos por concepto de suministro en el lugar de los tubos y su instalación; el suministro de los demás materiales y mezclas requeridos; la ejecución de las juntas; la colocación, vibrado y curado de las mezclas de concreto para el solado y la sujeción; las conexiones a cabezales, cajas de entrada y aletas; la limpieza de la zona de los trabajos; el transporte, disposición de los materiales sobrantes y, en general, todos los costos relacionados con la correcta ejecución de los trabajos especificados y lo indicado en la Subsección 07.05 del EG-2013.

La excavación de las zanjas y el relleno se pagarán de acuerdo a lo establecido en las Subsecciones 501.10 y 502.11 del EG-2013 respectivamente.

Tubería de concreto reforzado

Descripción

Este trabajo consiste en la instalación de tubos de concreto reforzado, aprobados para el paso de agua superficial y desagües pluviales transversales, de acuerdo con estas especificaciones y de conformidad con el Proyecto.

Materiales

Tubería

La tubería deberá cumplir los requisitos de materiales, diseño y manufactura establecidos en la especificación AASHTO M-170M. La clase de tubería y su diámetro interno, se deberán indicar en el Proyecto. Los extremos de los tubos y el diseño de las juntas deberán ser tales, que se garantice un encaje adecuado entre secciones continuas, de manera de formar un conducto continuo, libre de irregularidades en la línea de flujo.

El concreto para la tubería deberá ser de clase C definida en la Sección 503 del EG-2013.

Material para solado y sujeción

El solado y la sujeción se construirán con material para sub-base granular, cuyas características deberán satisfacer lo establecido en la Sección 402 del EG-2013.

Sello para juntas

Las juntas para las uniones de los tubos se sellarán con empaques flexibles que cumplan la especificación AASHTO M-198, mortero o lechada de cemento. Si se emplea mortero, éste deberá ser una mezcla volumétrica de una parte de cemento Portland y tres de arena aprobada, con el agua necesaria para obtener una mezcla seca pero trabajable.

Equipo

Básicamente, se requieren los mismos elementos mencionados en la Subsección 505.05 del EG-2013, así como herramientas adecuadas para la correcta colocación del refuerzo.

Requerimientos de construcción

Preparación del terreno base

El terreno base se preparará de acuerdo con lo indicado en la Subsección 505.06 del EG-2013.

Cuando la tubería se vaya a colocar en una zanja excavada, el ancho total de ésta deberá ser igual al diámetro exterior de los tubos más 60 cm por lo menos, salvo que los planos indiquen un valor diferente.

Solado

Sobre el terreno natural o el relleno preparado se colocará una capa o solado de material granular, que cumplan con las características de material para subbase, de por lo menos 15 cm de espesor compactado, y un ancho igual al diámetro exterior de la tubería más 60 cm por lo menos. La superficie acabada de dicha capa deberá coincidir con las cotas especificadas del fondo exterior de la tubería y su compactación mínima será la que se especifica para la corona en la Subsección 205.12(c) (1) del EG-2013.

Colocación de la tubería

La tubería se colocará sobre el solado de material granular conformado y terminado, comenzando en el extremo de descarga, con el extremo de la ranura colocado en la dirección del nivel ascendente y con todo el fondo de la tubería ajustado con los alineamientos, las cotas y la posición que indiquen los planos.

En instalaciones múltiples de tubería, la línea central de cada una deberá ser paralela a las demás. Si los planos no indican otra cosa, la distancia libre entre 2 líneas de tubería deberá ser igual a 1/2 diámetro, y nunca inferior a 60 cm.

Cualquier tubo que no quede correctamente alineado o que presente asentamiento después de su colocación, deberá ser removido y vuelto a colocar correctamente, a cuenta y costo del Contratista.

Juntas

Las juntas se sellarán de acuerdo con materiales y procedimientos adecuados para el tipo de tubería usada, tal como lo contemplen en el Proyecto. Si se emplea mortero o lechada de cemento, se aplicarán las indicaciones establecidas en la Subsección 505.08 del EG-2013.

Sujeción

Una vez colocada y asentada la tubería sobre el lecho de material granular, éste se deberá aumentar y compactar en capas a los lados de la tubería y hacia arriba, al mismo nivel de densidad exigido para el solado, hasta una altura no menor a 1/6 del diámetro exterior de ella.

Si las juntas de la tubería se han sellado con lechada o mortero, la sujeción sólo se efectuará cuando el sello haya endurecido lo suficiente para que no sea dañado.

Relleno

El relleno posterior a lo largo de la tubería satisfactoriamente colocada, se hará de acuerdo con lo especificado en la Sección 502 del EG-2013.

Limpieza

Terminados los trabajos, el Contratista deberá limpiar la zona de las obras y retirar los materiales sobrantes, transportarlos y disponerlos en los DME, de acuerdo a la Sección 209 del EG-2013.

Acceptación de los trabajos

Criterios

a. Controles

El Supervisor efectuará los mismos controles generales indicados en la Subsección 505.13(a) del EG-2013.

b. Calidad de la tubería

El Supervisor no aprobará el empleo de tubos que presenten:

- Fracturas o grietas.
- Defectos de forma o moldeo.
- Defectos superficiales tales como cangrejera o textura abierta.
- Extremos dañados que impidan la construcción de juntas adecuadamente.

El Contratista deberá suministrar, sin costo para la entidad contratante, el número requerido de tubos para los ensayos, los cuales serán elegidos al azar. Los tubos se someterán al ensayo de resistencia al aplastamiento según la norma de ensayo MTC E 901 y la carga necesaria para producir una grieta de 0,3 mm o la carga última, no podrá ser inferior a la prescrita en la tabla que corresponda de la especificación AASHTO M-170M. La tubería será aceptable bajo los ensayos de resistencia, si todas las muestras probadas cumplen los requisitos. En caso contrario, el Contratista, a su cuenta, costo, y riesgo, suministrará para reensayo dos muestras adicionales por cada muestra que haya fallado y la tubería se considerará aceptable solamente cuando todas las muestras reensayadas cumplan los requisitos de resistencia.

De cada tubo satisfactorio por resistencia se tomará una muestra para el ensayo de absorción según la norma MTC E 902, la cual deberá tener una masa mínima de 1 kg, estará libre de grietas y representará el espesor total del tubo. Si ningún valor de absorción excede del 9%, el lote se considerará satisfactorio. Si la absorción de algún tubo supera dicho límite, se tomará otra muestra del mismo tubo y su resultado reemplazará al anterior. Si el valor vuelve a superar el límite admisible, se rechazará el lote representado por el conjunto de tubos ensayados.

En adición a las pruebas anteriores, el Supervisor efectuará ensayos de compresión, según la norma MTC E 704, para verificar el cumplimiento de la resistencia de diseño. Los cilindros se curarán de la misma manera que los tubos. La resistencia promedio de todos los cilindros (R_c) deberá ser igual o mayor que la de diseño (R_d), ($R_c \geq R_d$). Simultáneamente, no más del 10% de los cilindros podrá tener resistencia inferior a la especificada y ninguno podrá presentar una resistencia menor al 80% de ésta.

Si el anterior requisito se incumple, se podrán tomar núcleos de paredes de los tubos representados por dicho concreto si la armadura lo permite, y la resistencia de cada núcleo deberá ser por lo menos igual a la de diseño.

Si algún núcleo no satisface este requisito, se tomará otro del mismo tubo y se repetirá la prueba. Si el resultado de ésta tampoco es satisfactorio, se rechazará el lote representado por el conjunto de tubos ensayados.

c. Tolerancias en las dimensiones de los tubos

1. Diámetro interno

En ningún caso se aceptarán tubos cuyo diámetro interno sea inferior al de diseño. Tampoco se aceptarán aquellos cuyo diámetro interno exceda los siguientes límites, indicados en la Tabla N° 04.

Tabla N° 4

Diámetro interno de diseño (mm)	Diámetro interno máximo (mm)
900	925
1000	1080
1200	1230
1350	1385
1500	1540
1800	1850

Para diámetros diferentes, deberá consultarse la Tabla 6 de la especificación AASHTO M-170M.

2. Espesor de pared

No podrá variar $\pm 5\%$ o de 5 mm, el que resulte mayor, respecto del espesor de diseño indicado en la tabla correspondiente de la especificación AASHTO M-170M, de acuerdo con la clase de tubería empleada.

3. Longitud

Ningún tubo se aceptará si tiene una longitud que varíe en más de 13 mm respecto de la indicada en los planos.

d. Tolerancias en el refuerzo

1. Posición

La máxima variación admisible en la posición del refuerzo, será el mayor valor entre $\pm 10\%$ del espesor de diseño de la pared o ± 13 mm.

2. Área de refuerzo

Se considerará que el refuerzo satisface los requerimientos de diseño si el área, calculada sobre la base del área nominal de las varillas empleadas, iguala o excede los requerimientos de la respectiva tabla de diseño de la especificación AASHTO M-170M.

e. Material de solado y sujeción

En relación con su calidad, se deberán cumplir los requisitos del material de Subbase, de acuerdo a lo indicado en la Sección 402 del EG-2013.

En cuanto a la compactación, el número de verificaciones, si así, no lo estableciera el Proyecto será determinado por el Supervisor.

f. Calidad del trabajo terminado

La tubería será objeto de rechazo si en tramos rectos presenta variaciones de alineamientos superiores a 1 cm/m.

El Supervisor tampoco aprobará los trabajos, si las juntas están deficientemente elaboradas.

La evaluación de los trabajos de "Tubería de Concreto Reforzado se efectuará de acuerdo a lo indicado en las Subsecciones 04.11 del EG-2013.

Medición

La unidad de medida será el metro lineal (m), aproximado al decímetro, de tubería de concreto reforzado suministrada y colocada de acuerdo con el Proyecto, esta especificación, y la aprobación del Supervisor.

La medida se hará entre las caras exteriores de los extremos de la tubería o los cabezales, según el caso, a lo largo del eje longitudinal y siguiendo la pendiente de la tubería.

No se medirá, para efectos de pago, ninguna longitud de tubería colocada por fuera de los límites aprobados por el Supervisor.



Pago

El pago se hará al precio unitario del contrato, según el diámetro interno de la tubería, por toda obra ejecutada de acuerdo con esta especificación y aprobada por el Supervisor.

El precio unitario deberá cubrir todos los costos por concepto del suministro de los materiales requeridos para construir los tubos, incluido el acero de refuerzo, la elaboración y curado de los tubos, su transporte y correcta colocación; el suministro de los materiales requeridos para las juntas y la elaboración de éstas; el suministro, colocación y compactación de los materiales granulares requeridos para el solado y la sujeción; las conexiones de cabezales, cajas de entrada y aletas; la limpieza de la zona de los trabajos; el transporte y disposición de los materiales sobrantes y, en general, todos los costos relacionados con la correcta ejecución de los trabajos especificados y lo indicado en la Subsección 07.05 del EG-2013.

Las excavaciones de las zanjas y el relleno se pagarán de acuerdo a lo establecido en Subseccion 501.10 y 502.11 del EG-2013 respectivamente.

CONTROLES DE CALIDAD PARA LA RECEPCION DE OBRA Y LIQUIDACION DE LA MISMA

Introducción

En general, para controlar la calidad del pavimento debemos establecer los parámetros y el procedimiento a seguir:

1. Para determinar la condición superficial del pavimento se debe:
 - Evaluar visualmente el pavimento, mediante la identificación de las fallas superficiales y la determinación de su ubicación, magnitud y cantidad
 - Medir la rugosidad con el rugosímetro tipo respuesta (Bump Integrator), Índice de Rugosidad (IRI)
2. Para determinar la capacidad estructural:
Medir las deflexiones con la Viga Benckelman doble.
3. Para determinar las características de la subrasante y estructura del pavimento:
Realizar ensayos destructivos mediante calicatas en los siguientes puntos:
 - Punto donde la deflexión es similar a la característica del tramo
 - Punto donde la deflexión es similar a la promedio del tramo
 - Punto donde la deflexión es la máxima del tramo
 - Punto donde la deflexión es la mínima del tramo

Los parámetros o límites deberán fijarse desde las bases de construcción o rehabilitación, de acuerdo al nivel de servicio que requiera la entidad contratante.

La entidad contratante antes de la Recepción de las Obras construidas o rehabilitadas debe seguir el procedimiento antes señalado y determinar la calidad de las mismas, de acuerdo a los parámetros fijados en las bases correspondientes.

El Manual de Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras – EG-2013 en su Sección 438 también nos señala las condiciones para la aceptación de los trabajos y las exigencias de calidad para los productos terminados {Ítem 438.26 (d)}.

Dentro del mantenimiento post-construcción de las carreteras debe considerarse una evaluación periódica del pavimento que se ajuste al procedimiento indicado en párrafos anteriores para efectos del control de calidad, de acuerdo al siguiente cronograma:

- La inspección visual del tramo será una vez al año, salvo los sectores determinados aleatoriamente que se evaluarán mensualmente.
- La medición de la rugosidad se realizará cada dos años.
- La medición de las deflexiones se realizará cada dos años.

Para la Evaluación Visual de la Condición de Pavimentos Flexibles existen dos métodos:

PROCEDIMIENTO Nº 1

PROCEDIMIENTO Nº 2 - METODO SIMPLIFICADO

En la Medición de Rugosidades se define lo siguiente:

- A. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION DE UN RUGOSIMETRO O EQUIPO DE MEDICION DE IRREGULARIDADES TIPO RESPUESTA (Clase 3)
- B. DETERMINACION DE RUGOSIDAD DEL TRAMO
- C. CRITERIOS DE ACEPTACION O RECHAZO

Para la Medición de Deflexiones se utiliza la Viga Benkelman.

INSTRUCCIONES DE LLENADO DEL FORMATO "A"

TOMA DE DATOS

A.1. REFERENCIAS GENERALES

Se indicarán en cada FORMATO, el Region, la ruta de la carretera, denominación de la carretera y del tramo, nombre del asistente de evaluación, del profesional responsable, fecha de evaluación.

En cada formato se refleja la evaluación como máximo de treinta Kilómetros. La condición del pavimento será evaluada en base a una calificación por puntos; un puntaje de cero (0) indicará la no existencia de fallas o defectos.

A.2. TOMA DE DATOS

En cada fila del formato se reflejará el juicio que a partir de la inspección visual, tiene el operador del Kilómetro evaluado, de acuerdo a los criterios de evaluación que detallan a continuación:

A.2.1. Tipo de Pavimento

Se empleará la siguiente clave:

A: Mezcla Asfáltica en Caliente

F: Mezcla Asfáltica en Frío

T: Tratamiento Superficial

S: Sello Asfáltico sobre mezcla Asfáltica

A.2.2. Aspecto Superficial Estructural del Pavimento.

Debe tenerse en cuenta la diferente regularidad superficial de pavimentos entre mezclas asfálticas y tratamiento bicapa.

I. El aspecto superficial estructura se considerará como **BUENO**, cuando presente:

- Ausencia de Fisuras o Grietas
- Superficie Uniforme sin Deformaciones Apreciables. Se calificará en el casillero B, de 0 a 5 puntos.
- Se calificará en el casillero B, de 0 a 5 puntos.

II. El aspecto superficial estructural se considerará como **REGULAR**, si presenta:

- Fisuras simples o con tendencia a ramificarse y formar mallas.
- Signos de humedad sin deformación apreciable.
- Hundimientos, ondulaciones o crestas inferiores a 20 mm (salvo ahuellamientos, ver ítem A.2.4)

Se estimará porcentualmente la frecuencia de las zonas existentes con estos defectos, considerándose las frecuencias escasa, intermedia y extensa. No es preciso que estos porcentajes sean absolutamente exactos, a partir de ellos se dará los puntajes.

Como resultado de esta evaluación, en el casillero R (regular) se calificará, según lo siguiente:

Escasa 0 a 20%: 5 – 6 puntos

Intermedia 20 a 60%: 6 – 8 puntos

Extensa >60%: 8 – 10 puntos

III. El aspecto superficial se calificará como aspecto **MALO**, si la superficie presenta:

- Fisuras simples o ramificadas reflejas a través de un sello reciente
- Fisuras o grietas formando mallas o bloques tipo "piel de cocodrilo"
- Hundimientos, ondulaciones o crestas inferiores a 20 mm. (salvo ahuellamientos, ver ítem A.2.4)
- Desintegración del pavimento

- Baches

Como en el caso anterior, se estimará subjetivamente en forma porcentual la frecuencia y en el casillero M (malo), se calificará según lo siguiente:

Escasa 0 a 20%: 10 – 14 puntos

Intermedia 20 a 60%: 14 – 18 puntos

Extensa >60%: 18 – 25 puntos

Conviene indicar que es posible que existan puntajes en los casilleros R y M, o en uno sólo, pero nunca cuando aparezca en el casillero B.

A.2.3. Reparaciones Existentes en el Pavimento

Corresponden a las reparaciones existentes, que se presentan en el tramo en forma localizada.

Se calificará en función al número de reparaciones que se presentan en el sector, definiéndose como en los casos anteriores:

1 a 20 Zonas Reparadas Casillero 1º: 0 – 5 puntos

21 a 50 Zonas Reparadas Casillero 2º: 5 – 10 puntos

Más de 50 Zonas Reparadas Casillero 3º: 10 – 15 puntos

Puede presentarse el caso de que se aprecie el aspecto superficial estructural de pavimento como B, y en cambio existan reparaciones.

A.2.4. Ahuellamientos

El ahuellamiento es la depresión longitudinal continua a lo largo de las huellas de canalización del tránsito vehicular, de una longitud mayor a los 6 m.

En cada Kilómetro se medirá el ahuellamiento en cada huella, calificando según lo siguiente:

Menor de 5 mm Casillero 1º: 0 – 5 puntos

Entre 6 a 12 mm Casillero 2º: 6 – 12 puntos

Mayor de 12 mm Casillero 3º: 13 – 25 puntos

Puede darse el caso de que se aprecie el aspecto superficial estructural de pavimento como B, y en cambio existan ahuellamientos.

A.2.5. Defectos Varios del Pavimento

Se calificará con un porcentaje sí se aprecian las siguientes degradaciones superficiales que no afectan fundamentalmente a la capacidad resistente de la estructura del pavimento.

- Peladuras (sin bache)
- Desprendimiento de Agregados Superficiales (sin bache)
- Indentaciones (desintegración localizada por factores exógenos)
- Exudación de Asfalto
- Pulimento Superficial (agregados excesivamente pulidos en la superficie).

El puntaje de calificación estará en el rango de 0 a 15 puntos, dependiendo de la frecuencia, según lo siguiente:

Escasa : Casillero 1º: 0 – 5 puntos

Intermedia : Casillero 2º: 5 – 10 puntos

Extensa : Casillero 3º: 10 – 15 puntos

A.2.6. Bermas

Se anotará una equis (x) en la primera casilla si la berma tiene un recubrimiento, y en la segunda en caso contrario.

A.2.7. Drenaje

Se indicará la condición del drenaje del tramo, considerando lo siguiente:

Sin deficiencias de drenaje Casillero S/D: 0 puntos

Con deficiencias de drenaje Casillero C/D: 1 – 10 puntos

A.2.8. Comodidad de Manejo (Transitabilidad)

La comodidad de manejo o transitabilidad, se basa en la opinión del evaluador sobre la capacidad o condición del pavimento para servir al tránsito, teniendo en cuenta que el pavimento fue construido para asegurar una circulación suave, confortable y segura.

La escala de calificación es la siguiente:

Excelente : 0 – 2 puntos

Bueno : 2 – 4 puntos

Regular : 4 – 6 puntos

Malo : 6 – 8 puntos

Pésimo : 8 – 10 puntos

A.2.9. Observaciones

Se anotarán las circunstancias que se juzguen de interés, entre otras:

- Ciudades o Pueblos
- Intersecciones
- Accidentes Especiales (deslizamientos de taludes, o estrechamientos).
- Estructuras Especiales (Túneles, Viaductos)
- Aclaraciones sobre longitudes anormales entre los hitos de Kilometraje
- Aclaraciones sobre cualquier aspecto evaluado.

A.3. REFERENCIACION DE DATOS

La referencia de los datos se hará con relación al departamento, carretera, tramo e hitos kilométricos.

A.4. RESUMEN DE DATOS

En cada kilómetro se sumará los puntajes correspondientes, anotándose el total en la columna T, el puntaje máximo por kilómetro es de 100 puntos.

El rango de la condición será igual a 100 menos la suma de puntos por los defectos encontrados.

La condición del kilómetro se calificará y anotará en la columna C, de acuerdo a lo siguiente:

Pésimo : 0 – 20 puntos

Malo : 20 – 40 puntos

Regular : 40 – 65 puntos

Bueno : 65 – 90 puntos

Excelente : 90 – 100 puntos

En la última fila de cada 10 km se realizarán las sumas de todos los puntajes anotados en cada columna ponderados entre la longitud de 10 km, con excepción de la casilla de tipo de pavimento y bermas, que reflejará el que mayormente existe en los 10 km.

Para determinar la condición final del tramo evaluado se sumará todos los puntajes anotados en cada columna ponderándose para la longitud del tramo, de tal manera que los puntajes totales del tramo estén dentro de los rangos especificados para cada condición.

RESUMEN DE RANGOS DE CONDICION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO

a. Aspecto Superficial Estructural del Pavimento: 0 – 25 puntos

Bueno	: 0 – 5 puntos
Regular	: 5 – 10 puntos
Malo	: 10 – 25 puntos

b. Reparaciones Existentes por km en el Pavimento : 0 – 15 puntos

1 á 20 Zonas Reparadas	: 0 – 5 puntos
20 á 50 Zonas Reparadas	: 5 – 10 puntos
Más de 50 Zonas Reparadas	: 10 – 25 puntos

c. Ahuellamientos: 0 – 25 puntos

Menos de 5 mm	: 0 – 5 puntos
Entre 6 á 12 mm	: 6 – 12 puntos
Mayor de 12 mm	: 13 – 25 puntos

d. Defectos Varios del Pavimento: 0 – 15 puntos

Escasa	: 0 – 5 puntos
Intermedia	: 5 – 10 puntos
Extensa	: 10 – 25 puntos

e. Drenaje: 0 – 10 puntos

Sin deficiencias de drenaje	: 0 puntos
Con deficiencias de drenaje	: 1 – 10 puntos

f. Comodidad de Manejo (Transitabilidad): 0 – 10 puntos

Excelente	: 0 – 2 puntos
Bueno	: 2 – 4 puntos
Regular	: 4 – 6 puntos
Malo	: 6 – 8 puntos
Pésimo	: 8 – 10 puntos

Puntaje Máximo 100 puntos

Puntaje de Condición = 100 – Sumatoria de defectos encontrados

PROCEDIMIENTO N° 1

EVALUACIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS

1. INTRODUCCIÓN

La base de la metodología es la toma de datos que deberá ser realizada por personal con experiencia en evaluación de pavimentos y a partir de la inspección visual anotará en el formato correspondiente.

La apreciación visual conviene que esté sistematizada de una manera adecuada para obtener una información homogénea y además debe efectuarse en subtramos de características y condiciones homogéneas, de modo que el muestreo sea lo suficientemente preciso para obtener valores estimados válidos para cada tramo.

2. EQUIPO DE TOMA DE DATOS

De una manera general, el equipo de toma de datos estará formado por lo menos por un (1) Ingeniero Responsable, un (1) Asistente de Evaluación y un (1) conductor, y dispondrá de lo siguiente:

- 1 vehículo dotado de luz destellante sobre el mismo y provisto de odómetro con aproximación al hectómetro (100 m).
- 1 cinta métrica de acero de 3 m.
- 1 cinta métrica de acero de 25 m.
- 1 regla de aluminio de 1,20 de longitud.

El personal dispondrá de los elementos de seguridad, como chalecos de señalización, conos, etc.

3. SISTEMA DE TOMA DE DATOS

La unidad de medida, en longitud, es el kilómetro.

En las carreteras con calzadas separadas, cada calzada dará lugar a una evaluación independiente.

En los tramos de calzada única, la evaluación será para toda la calzada.

La inspección visual se hará desde el vehículo a marcha lenta, con paradas al final de cada kilómetro, inspeccionando y verificando la evaluación 50 metros antes y 50 metros después del kilómetro.

4. CONTENIDO DE LA INFORMACIÓN

4.1. Parámetros Evaluados

Los parámetros evaluados se refieren a la evaluación de los siguientes aspectos:

- 1) Tipo de Capa de Rodadura.
- 2) Aspecto superficial de la estructura del pavimento.
- 3) Reparaciones existentes en el pavimento.
- 4) Ahuellamientos.
- 5) Defectos varios del pavimento.
- 6) Bermas.
- 7) Drenaje.
- 8) Condición de manejo (transitabilidad).
- 9) Observaciones

4.2. Criterios de Evaluación

Se proporcionará las Instrucciones de Llenado del **FORMATO "A"** para uniformizar los criterios de evaluación.



En el **FORMATO A** se reflejará, el juicio que, a partir de la inspección visual, tiene el operador del Kilómetro evaluado.

4.3. Control de Fiabilidad de la Evaluación

Con objeto de homogenizar la probable participación de distintos equipos de evaluación y teniendo en cuenta la inevitable subjetividad de toda evaluación visual, se establece la necesidad de un equipo profesional de verificación que efectuará un muestreo, repitiendo al menos un 5% de la longitud de las evaluaciones efectuadas por cada equipo. El control de los equipos de evaluación dará por resultado coeficientes de correlación que se aplicarán a las participaciones globales de cada equipo. En caso en que sea un solo equipo de personal de evaluación, el Consultor no necesitará incluir en su Propuesta al equipo profesional adicional de verificación.

4.4. Recopilación de la Información

La Toma de Datos se efectuará en el **FORMATO A** y finalmente el Consultor presentará un Resumen de Datos por cada subtramo homogéneo, ponderando finalmente la condición de cada uno de los tramos materia de evaluación.

FORMATO A

EVALUACIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS

TOMA DE DATOS



Región: _____ Ruta: _____ Carretera _____

Tramo: _____ De _____ km: _____ a km: _____

Ancho de Calzada: _____ Ancho de Berma _____

Asistente Evaluación: _____ Ing. Responsable: _____ Fecha: _____

Kilometraje	Tipo Pav.	Aspecto Superficial			Reparaciones			Ahuellamiento			Defectos Varios			Bermas Rec.		Drenaje		Comodidad	Resumen Datos		Observaciones
		B	R	M	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	SI	NO	S/D	C/D		T	C	
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
0																					
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
0																					



PROCEDIMIENTO N° 2

EVALUACION DE PAVIMENTOS

METODO SIMPLIFICADO PARA LA EVALUACION VISUAL DE LA CONDICION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

1. INTRODUCCION

La Base del procedimiento es identificar la condición del pavimento a partir de la inspección visual y su correlación con el panel fotográfico que ilustra cada condición con la falla observada; y, recomendar las probables soluciones globales.

La condición del pavimento ha sido distribuida en diez niveles: Excelente (condición 1), Excelente (condición 2), Muy Bueno (condición 3), Bueno (condición 4), Moderado (condición 5), Moderado - (condición 6), Moderado -- (condición 7), Malo (condición 8),

Muy Malo (condición 9) y Pésimo (condición 10). Por esta razón, la inspección visual deberá ser realizada por personal con experiencia en evaluación de pavimentos y convenientemente sistematizada de manera adecuada para obtener una información homogénea.

2. EQUIPO DE INSPECCION VISUAL

De una manera general, el equipo de inspección visual estará conformado por lo menos por un (1) Ingeniero Evaluador y un (1) conductor de vehículo, y dispondrá de lo siguiente:

- a) Un (1) vehículo dotado de luz destellante sobre el mismo y provisto de odómetro con aproximación al hectómetro (100 m),
- b) Una (1) cinta métrica de acero de 3 m.
- c) Una (1) cinta métrica de acero de 25 m.
- d) Una (1) regla de aluminio de 1,20 m de longitud.
- e) Un (1) manual del Procedimiento N° 2 Evaluación visual de la condición de pavimentos flexibles-asfálticos, que incluya el panel de fotografías ilustrativas de las diferentes condiciones del pavimento.

El personal dispondrá de los elementos de seguridad, como por ejemplo chalecos y conos de señalización.

3. IDENTIFICACION DE CONDICION Y TOMA DE DATOS

La inspección visual deberá efectuarse por subtramos de características y condiciones similares, de modo que el muestreo sea lo suficientemente preciso para obtener la condición válida y la probable solución para cada subtramo, siguiendo la guía y panel de fotografías de identificación de la condición del pavimento.

La unidad de medida en longitud es el kilómetro.

En las carreteras con calzadas separadas, cada calzada dará lugar a una evaluación independiente.

En los tramos de calzada única, la evaluación será para toda la calzada.

La inspección visual se hará desde el vehículo a marcha lenta, con paradas al final de cada kilómetro y en los límites de cambio de condición, inspeccionando y verificando la evaluación 50 metros antes y 50 metros después de cada parada.

4. CONTENIDO DE LA INFORMACION RECOPIADA

Recopilación de la información

La información recopilada se efectuará en el Formato 1, donde finalmente se precisará la condición de cada uno de los subtramos de características homogéneas evaluados.

Parámetros evaluados

Los parámetros evaluados se refieren a la evaluación de los siguientes aspectos:

1) Tipo de capa de rodadura:

Se empleará la siguiente identificación:

A: Mezcla asfáltica en caliente

F: Mezcla asfáltica en frío

T: Tratamiento superficial

SC: Sello asfáltico sobre carpeta o mezcla asfáltica

ST: Sello asfáltico sobre tratamiento superficial

2) Aspecto superficial de la estructura del pavimento.

Se evaluará el aspecto superficial estructural del pavimento, considerando lo siguiente:

- a) Carpeta o refuerzo asfáltico nuevo o de reciente construcción.
- b) Ausencia de fisuras o grietas.
- c) Fisuramiento capilar.
- d) Fisuras leves simples, a < 3mm (longitudinales o transversales).
- e) Fisuras leves con tendencia a ramificarse, sin formar mallas, a < 3mm (longitudinales y transversales).
- f) Fisuras moderadas, 3 - 12 mm, formando mallas o bloques de 1 a 3 m.
- g) Fisuras severas o grietas, a > 12 mm, formando mallas o bloques pequeños menores a 1 m.
- h) Baches superficiales.
- i) Baches profundos.

3) Defectos varios del pavimento

- a) Peladuras superficiales (sin bache).
- b) Desprendimiento de agregados superficiales (sin bache).
- c) Exudaciones de asfalto.
- d) Ahuellamientos.
- e) Ondulaciones o deformaciones.
- f) Parchados existentes.
- g) Otros defectos.

4) Condición del pavimento

Se calificará el pavimento estableciendo su condición en base a la inspección visual, los parámetros de evaluación y su correlación con el panel fotográfico que ilustra cada tipo de condición.

5) Observaciones

Se anotarán los aspectos que se juzguen de interés, entre otros:

- Ciudades o pueblos.
- Intersecciones.
- Accidentes especiales (deslizamientos de taludes, estrechamientos, etc)
- Estructurales especiales (túneles, puentes, etc).
- Aclaraciones sobre longitudes anormales entre los hitos de kilometraje.



- Aclaraciones sobre cualquier aspecto evaluado (áreas, longitudes, anchos, etc).

Criterios de evaluación

En el Formato 1 se reflejará, el juicio que, a partir de la inspección visual, tiene el Ing. Responsable del kilómetro evaluado.

5. CONTROL DE LA CONFIABILIDAD DE LA EVALUACIÓN

Con el objeto de homogenizar la probable participación de distintos equipos de evaluación y teniendo en cuenta la inevitable subjetividad de toda evaluación visual, se establece la necesidad de un equipo profesional de verificación que efectuará un muestreo, repitiendo al menos un 5% de la longitud de las evaluaciones efectuadas por cada equipo. Del resultado de este muestreo se obtendrán coeficientes de correlación que se aplicarán a las participaciones globales de cada equipo.

PROCEDIMIENTO N° 3**GUIA DE EVALUACION DE PAVIMENTOS
METODO SIMPLIFICADO PARA LA EVALUACION VISUAL DE LA CONDICION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES**

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	ESTADO DE LA CARPETA OBSERVADA	SOLUCIONES VIABLES
EXCELENTE 1	Sin fisuras Se trata de un pavimento o carpeta nueva	- Ninguna acción
EXCELENTE 2	Sin fisuras: se trata de un recapeo	- Mínimas actividades de mantenimiento rutinario
MUY BUENO 3	Fisuras capilares o finas ($a < 3$ mm) Longitudinales Aisladas	- Tratamiento de fisuras y mantenimiento rutinario
BUENO 4	Fisuras leves (3-6 mm) Longitudinales Transversales Aisladas	- Tratamiento de fisuras y mantenimiento rutinario
MODERADO 5	Fisuras Moderadas (3-6 mm) Formando bloques de mas de 3 m de lado	- Tratamiento de fisuras y mantenimiento rutinario
MODERADO (-) 6	Fisuras Moderadas (3-12 mm) en bloques de 1,00 a 3,00 de lado en áreas menores al 50 % del pavimento. Fisuras secundarias leves baches aislados superficiales.	- Tratamiento de fisuras - Sellado de las áreas críticas - Parchado superficial - Mantenimiento rutinario
MODERADO (-) 7	Fisuras Moderadas (3-12 mm) en bloques de 1,00 m de lado. En áreas menores al 50 % del pavimento baches aislados superficiales.	- Tratamiento de fisuras - Parchado superficial - Aplicación de Slurry o sellado general o micropavimento previa evaluación. - Mantenimiento rutinario
MALO 8	Fisuras Severas o Grietas ($a > 12$ mm) formando bloques menores a 1,00 de lado, piel de cocodrilo en áreas específicas ($< 25\%$ del área del Pav.) Baches superficiales y Baches profundos hasta en el 5 % del área del pavimento y frecuentes áreas con fisuramientos menores.	- Tratamiento de grietas - Parchados profundos en áreas con piel de cocodrilo. - Aplicación de un refuerzo, previa medición deflectométrica.

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	ESTADO DE LA CARPETA OBSERVADA	SOLUCIONES VIABLES
MUY MALO 9	Piel de cocodrilo (0,30 x 0,030 mm) y Malla de Gallinero ($> 25\%$ del área del pav.) (Fisuras leves) otros sectores con fisuras severas o grietas. Baches superficiales y profundos ($> 5\%$ del área de pavimento).	- Tratamiento de grietas - Parchados profundos en áreas con piel de cocodrilo. - Probable refuerzo o reconstrucción previo estudio deflectométrico.
PÉSIMO 10	Destrucción generalizada de la calzada	- Reconstrucción con nuevo pavimento de mayor capacidad estructural y buen drenaje

NOTAS: Otros defectos típicos de los pavimentos flexibles (fotos en anexo a)

- En los casos de presentarse peladuras, deberá efectuarse un tratamiento superficial en el sector deteriorado.
- En los casos de presentarse exudaciones, se harán tratamientos con arena impregnada con asfalto líquido. De persistir el problema se debe sobreponer otra carpeta asfáltica de mezcla especial.
- En los casos de haber desprendimientos de materiales, en baches o bordes, o de desprendimientos de carpetas de refuerzo de preferencia repararse con mezclas asfálticas frías de fraguado rápido y alta resistencia (ej. concreto asfáltico premezclados en bolsas).



- d) En los casos de presentarse ahuellamientos y/o deformaciones (>12 mm), deberá colocarse una capa asfáltica nivelante. Si el problema es generalizado, por originarse en la base o en la subrasante reconstruir el área.
- e) En los tramos en que el pavimento presente corrimientos localizados, deberá efectuarse parchados en los tramos ondulados deberá hacerse estudios deflectométricos para reforzar eventualmente el pavimento.

PANEL FOTOGRAFICO DE IDENTIFICACION DE LA

CONDICION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.



CONDICION N° 1 Excelente CONDICION N° 2



CONDICION N° 3 Muy Bueno CONDICION N° 4 Bueno.



CONDICION N° 5 Moderado CONDICION N° 6 Moderado (-).



CONDICION N° 7 Moderado (--) CONDICION N° 8 Malo.



CONDICION N° 9 Muy Malo CONDICION N° 10 Pésimo.

FOTOGRAFIAS DE LAS FALLAS DEL PAVIMENTO



FOTO N° 1 Peladura Superficial FOTO N° 2 Exudación de Asfalto



FOTO N° 3 Ahuellamiento severo medido con una regla de aluminio de 1,20 m de longitud y la depresión con una cinta métrica.



FOTO N° 4 Ondulación y corrimiento de la carpeta asfáltica.



FOTO N° 5 Parchado mal conformado



FOTO N° 6 Parchados con peladura o desgaste superficial.



FORMATO N° 1

PROCEDIMIENTO N° 2

MÉTODO SIMPLIFICADO

EVALUACIÓN VISUAL DE LA CONDICIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES-ASFÁLTICOS



Región: _____ Ruta: _____ Región: _____

Tramo: _____ De _____ a km: _____
km: _____

Ancho de Calzada: _____ Ancho de Berma D: _____ Ancho de Berma I: _____

Asistente Evaluación: _____ Ing. Revisor: _____ Fecha: _____

km- km	Tipo de capa Pav.	Aspecto Superficial Estructural del Pavimento (1)										Incidencia de Otros Defectos (estimación) (2)					OBSERVACIONES			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Peladura	Exudación	Ahuellam	Ondulación	Parchado				

(1) Marcar con (x) la condición que corresponda al sector evaluado (una sola condición)
 (2) Para los casos de peladura exudación, ondulación y parchado, la estimación será en % del área del sector evaluado.
 Para el caso de ahuellamiento, se medirá la profundidad de la huella en mm; adicionalmente, podrá también medirse la profundidad de las crestas en mm, en los sectores con ondulación

MEDICIÓN DE RUGOSIDADES

I. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE UN RUGOSIMETRO O EQUIPO DE MEDICIÓN DE IRREGULARIDADES TIPO RESPUESTA (Clase 3)

El procedimiento de calibración incluye los siguientes pasos:

1. Se elegirá un mínimo de cinco secciones de calibración.
2. Cada sección debe ser de 300 metros de longitud, de condición superficial homogénea y ubicadas en tangente, de no ser posible se podrá elegir secciones en curva de radio amplio o de curvatura insignificante.
3. El comienzo y fin de cada sección será claramente identificado por una marca en el pavimento e hitos temporales al costado de la vía.
4. Medición del perfil longitudinal, a lo largo de cada huella del vehículo a intervalos de 0,50 m, en cada carril de cada una de las secciones elegidas para calibración.
5. Cada huella del vehículo debe ser localizada y marcada a una distancia de la línea externa o línea de borde pintada, para el caso de una camioneta Toyota Pickup 4x4, doble cabina, será según lo siguiente:

Ancho de Carril	Huella Externa	Huella Interna
2,70 m	0,45 m	2,15 m
3,00 m	0,60 m	2,30 m
3,30 m	0,75 m	2,45 m
3,60 m	0,90 m	2,60 m

6. Se establecerá un BM en cada sección y se nivelará con dos niveles en forma independiente, es decir se tendrán dos elevaciones de cada punto. Las lecturas de nivelación tendrán una aproximación estimada de 1,0 mm.
7. Simulación matemática del perfil longitudinal de la sección de calibración, por cada huella de cada carril, a fin de obtener un número de rugosidad expresado en IRI que represente a cada huella del carril en la sección de calibración. Luego se obtendrá el IRI promedio de ambas huellas que será el valor representativo del carril en la sección de calibración.
8. Medir la rugosidad de cada sección de calibración por sentido o carril con el rugosímetro tipo respuesta.
9. El rugosímetro tipo respuesta debe pasar por lo menos 5 veces sobre cada carril de las 5 secciones o más establecidas para calibración, a una velocidad constante de 30 Km/h, 50 Km/h ó 80 Km/h; para el caso del rugosímetro del PERT-PRT que es el "Bump Integrator", el fabricante "Farnell" recomienda la velocidad de operación de 30 Km/h, 50 km/h o 80 km/h; para el caso del rugosímetro del PERT-PRT que es el "Bump Integrator", el fabricante "Farnell" recomienda la velocidad de operación de 30 km/h.
10. El vehículo en el cual el rugosímetro tipo respuesta esté instalado deberá estar en buenas condiciones de operación, odómetro, velocímetro y suspensión apropiados con amortiguadores de preferencia nuevos, la presión de los neumáticos en descanso o en frío deberá estar en 30 lb/pulg² tanto delanteras como posteriores. En el vehículo deben estar solamente dos personas (conductor y operador).
11. La medida de la rugosidad en cada carril por sección se obtendrá para exactamente los 300 m de la sección de calibración. Si alguna de las cinco medidas de rugosidad en las secciones de calibración tiene una variación mayor al 20% se repetirá la medición.
12. Las lecturas con el rugosímetro tipo respuesta deberán ser corregidas para ser transformadas en valores de rugosidad, que para el caso del rugosímetro "Bum Integrator" el fabricante "Farnell" establece la siguiente fórmula:

$$1. BI (mm/km) = (Lectura \times 10) / Longitud \text{ de la Sección (km)}$$



13. A través de un análisis de regresión, se relacionan las medidas de rugosidad con el rugosímetro tipo respuesta, para el presente caso serán las medidas con el "Bum Integrator" y la rugosidad IRI asignada a cada carril de cada sección de calibración y se determina una ecuación de calibración que será usada para estandarizar las medidas de rugosidad del tramo terminado. La curva de mejor ajuste denominada ecuación de calibración será aceptada si el coeficiente de ajuste (r^2) es mayor o igual a 0,8; de no comprobarse esta situación se verificarán todos los datos, especialmente los de la nivelación tomándose las medidas correctivas del caso.
14. La ecuación de calibración tiene validez para el vehículo utilizado en la medición de rugosidades. Se debe recalibrar cada 3 000 km de recorrido del vehículo.

II. DETERMINACION DE RUGOSIDAD DEL TRAMO

1. El tramo por controlar será dividido en sectores homogéneos, cuya estructura de pavimento o refuerzo colocado sea similar.
2. La velocidad de operación para el Bump Integrator será de 30 km/h.
3. El operador registrará las mediciones de rugosidad cada 300 m en cada carril de tránsito (o por sentido de tránsito) o cada 36 segundos de recorrido para la velocidad de 30 km/h.
4. En cada sector evaluado se indicará los límites de los cruces urbanos o poblados, sin perjuicio de efectuar las mediciones en estos sectores.
5. Con las mediciones obtenidas por carril se calculará el IRI promedio (IRIp), la desviación estándar (ds) y el IRI característico de cada sector y carril del tramo. Posteriormente se agruparán las medidas de ambos carriles determinándose el IRI promedio y el IRI característico representativo de cada sector y del tramo.
6. El IRI característico se determinará para una confiabilidad del 95%, que resultará de aplicar la siguiente expresión:

$$\mathbf{IRIc = IRIp + 1,645 ds.}$$

7. Las mediciones serán graficadas e incluirán la representación del IRI promedio y del IRI característico.
8. En función de los resultados obtenidos, se definirá si el tramo cumple las exigencias requeridas para la recepción de obra:

ENSAYO DE DEFLEXION RECUPERABLE Y DETERMINACION DE LA CURVA DE RECUPERACION ELASTO-RETARDADA DE PAVIMENTOS CON VIGA BENKELMAN

1. OBJETO

Esta norma detalla el procedimiento a seguir para determinar simultáneamente con una viga Benkelman la deflexión recuperable y la curva de recuperación elasto-retardada de un pavimento flexible, producida por una carga estática. A tal fin se utiliza un camión donde la carga, tamaño de las cubiertas, espaciado entre ruedas duales y presión de inflado están normalizadas.

2. EQUIPO

- a) Una regla Benkelman con su correspondiente flexímetro (al 0,01 mm y recorrido 12 mm) y las siguientes dimensiones fundamentales:
 - Longitud del brazo de ensayo, desde el pivote a la punta de prueba: 2,438 m.
 - Longitud del brazo de ensayo desde el pivote al punto de apoyo del vástago del dial registrador: 1,219 m.
- b) Un camión para ensayo con las siguientes características:
 - El eje trasero pesará en balanza 8,175 kg igualmente distribuidos en sus ruedas duales y estará equipado con cámaras neumáticas.
 - Las cubiertas deberán ser 10,00" x 20"; 12 telas e infladas a 5,6 kg/cm² (80 libras por pulgada cuadrada).
 - La distancia entre los puntos medios de la banda de rodamiento de ambos neumáticos de cada rueda dual debe ser 32 cm.
- c) Un medidor de presión de inflado.
- d) Un termómetro de 0° a 100° C, con divisiones cada grado.
- e) Un barreno para ejecutar orificios en el pavimento de 4 a 5 cm de profundidad y 10 a 15 mm de diámetro.
- f) Un bidón con agua, glicerina o aceite.
- g) Un cronómetro.
- h) Una cinta métrica de acero de 2 m y otra de 25 m.

3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- a) El punto de pavimento a ser ensayado deberá ser marcado convenientemente con una línea transversal al camino. Dicho punto será localizado a una distancia prefijada del borde, según la siguiente Tabla.

Ancho de Carril	Distancia desde el Borde del Pavimento
2,70 m	0,45 m
3,00 m	0,60 m
3,30 m	0,75 m
3,60 m o más	0,90 m

- b) La rueda dual externa deberá ser colocada sobre el punto seleccionado quedando éste ubicado entre ambas llantas. Para una correcta ubicación de la rueda dual es conveniente colocar en la parte trasera externa del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga; desplazando suavemente el camión se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal indicada en (a), de modo que simultáneamente el Punto quede entre ambas cubiertas de la rueda dual.
- c) Se coloca la regla sobre el pavimento, detrás del camión perpendicularmente al eje de carga de modo que la punta de prueba coincida con el punto de ensayo y la regla no roce contra las cubiertas de la rueda dual.
- d) Se retira la traba de la regla y la base se ajusta por medio del tornillo trasero de modo tal que el brazo de medición quede en contacto con el vástago del dial.
- e) El flexímetro se ajusta de modo tal que el vástago tenga un recorrido libre comprendido entre 4 y 6 mm.

Se gira la esfera del flexímetro hasta que la aguja quede en cero y se verifica la lectura golpeando suavemente con un lápiz y poniendo en marcha el vibrador de la regla. Girar la esfera si es necesario y repetir la operación hasta obtener la posición "0" (cero). El ensayo comenzará cuando se compruebe que dicha lectura permanece constante, asegurando el equilibrio del pavimento bajo carga. Se da por estabilizada la deformación producida por la carga cuando la lectura inicial varía en 0,01 mm/minuto o menos.

- f) Establecida la lectura inicial en cero, se hace avanzar suave y lentamente el camión hasta una distancia de 4 m aproximadamente.
- g) En el caso de la determinación de la Deflexión Recuperable exclusivamente, se lee el flexímetro cada 60 segundos, golpeándolo suavemente con un lápiz. Cuando dos lecturas sucesivas no difieren en más de 0,01 mm se da por finalizada la recuperación del pavimento, registrándose la última lectura observada (L).

- h) En el caso de la determinación de la Curva de Recuperación Elasto-Retardada, se pone en marcha el cronómetro exactamente en el instante en que comienza a avanzar el camión y se lee el flexímetro a intervalos de 5 s registrándose todas las lecturas hasta que dos lecturas separadas por un lapso de 60 s no difieran en más de 0,01 mm. Cuando se cumple esta condición, se da por finalizada la recuperación correspondiendo la última lectura de la Deflexión Recuperable.

Se apaga el vibrador y traba la regla, dando por finalizada la determinación de la Deflexión Recuperable. En los casos que por razones climáticas el vibrador introdujera dificultades en las lecturas se reemplazará por los mencionados golpes suaves sobre el flexímetro, exclusivamente.

4. MEDICION DE LA TEMPERATURA Y DEFINICION DE RANGOS DE TRABAJO

- a) Con el fin de medir la temperatura del pavimento se practica un orificio (antes de comenzar el ensayo y simultáneamente con las tareas descritas en 3 a), cuyas dimensiones serán aproximadamente 4 cm de profundidad y 10 mm de diámetro, emplazada sobre la línea demarcada entre el punto de medición y el borde del pavimento (a no menos de 0,25 m del mismo).

Se llena con agua (glicerina, aceite o asfalto) el orificio y, una vez pasada el tiempo prudencial necesario para permitir que el líquido adquiera la temperatura del pavimento, se inserta el termómetro y se lee la temperatura.

- b) El rango de temperaturas de trabajo, en el que se pueden llevar a cabo las mediciones, queda definido en la siguiente forma (temperaturas medidas tal como se indica en 4 a):
Límite inferior: 5°C
Límite superior

- Concreto asfáltico que presenta la superficie libre de deformaciones, sellados, u otros tratamientos superficiales: 30°C.
- Mezclas de baja estabilidad o no convencionales, o concretos asfálticos no incluidos en el caso anterior: máxima temperatura para la cual no se detecta deformación plástica entre ambas cubiertas de la rueda dual, menor o igual a 30°C (ver párrafo 4c)
- Tratamientos superficiales bituminosos: 38°C

- c) Para detectar deformación plástica entre los neumáticos de la rueda dual del camión se procede en la siguiente forma:

- Se ubica el punto de ensayo de acuerdo a lo establecido en 3a).
- Manteniendo el camión a una distancia mayor de 4 m del punto a ensayar, se procede como se indica en 3 c), d) y e).
- Se hace retroceder suave y lentamente el camión hasta que la rueda dual externa quede colocada sobre el punto de ensayo, procediendo como se indica en 3b).
- Se observa la marcha de la aguja del flexímetro durante el retroceso del camión: si alcanzada cierta posición la aguja se detiene y luego se observa un desplazamiento en sentido contrario, como si se produjera la recuperación del pavimento, ello indica que existe deformación plástica medible entre ambas cubiertas de la rueda dual. Esa aparente recuperación puede ser debida también al hecho que el radio de acción de la

carga del camión afecte las patas delanteras de la regla, lo que deberá constatarse (ver párrafo 5a).

- No deberá efectuarse el ensayo fuera del rango de temperaturas indicado en 4b) y/o determinado en 4c), ni se detectará deformación plástica.

5. VERIFICACION DEL DESCENSO DE LAS PATAS DE LA VIGA

- a) Para constatar si el radio de acción de la carga afecta las patas de la viga se procederá de la siguiente forma:
- Se ubica la viga de acuerdo a los párrafos 3a), 3d), y 3e), manteniendo el camión a una distancia mayor de 4 m del punto de ensayo, medidos en el sentido de avance del camión.
 - Se hace retroceder lentamente el camión observando el flexímetro de la viga. Cuando se observa que el flexímetro comienza a desplazarse acusando la deformación producida por efecto de la carga, se marca sobre el pavimento la posición de la guía vertical mencionada en el párrafo 3b), y se detiene el retroceso del camión.
- b) Se mide la distancia entre la punta de prueba de la regla y la marca practicada sobre el pavimento de acuerdo con lo indicado en 5a). Llamando "d" a dicha distancia, se tendrán los siguientes casos:
- Si "d" es menor que la distancia entre la punta de prueba de la regla y las patas delanteras de la misma, no hay descenso de las mismas.
 - Si "d", por el contrario, es mayor que la distancia entre la punta de prueba de la regla y las patas delanteras, pero menor que la que media desde la misma punta hasta las patas traseras, existe descenso de las patas delanteras por lo que se requiere efectuar corrección. (ver 5c).
 - Por último, comprobándose que aún las patas traseras de la regla se encuentran dentro de la deformada bajo carga, no debe efectuarse el ensayo.
- c) En el caso de constatarse el descenso de las patas delanteras de la viga se deberá proceder de la misma manera que la descrita en 3, pero agregando una lectura adicional denominada lectura intermedio (Lm). Esta se determinará siguiendo el procedimiento indicado en 3h), pero con el camión detenido a una distancia igual a la que media entre la punta de prueba de la regla y las patas delanteras de la misma.

Si la diferencia entre Lm y L supera 0,01 mm., corresponde calcular la corrección, empleando la fórmula siguiente:

$$Dv = Da + Cte$$

Siendo:

Dv = deflexión verdadera del pavimento

Da = deflexión aparente (2L)

Cte = constante que depende de las dimensiones de la viga Benkelman empleada (que no hacen a su relación de palanca).

$$Cte = \frac{3S_1 - 2S_2}{S_3}$$

Donde:

S₁ = distancia entre pivote y patas posteriores

S₂ = distancia entre dial y patas posteriores

S₃ = distancia entre patas anteriores y posteriores

= descenso de las patas delanteras de la regla, es decir, la diferencia entre la lectura intermedia y la lectura final, multiplicada por la relación de palanca de la viga: 2 (Lm-L)

La determinación de la lectura intermedia puede realizarse periódicamente, a fin de comprobar la existencia o no de descenso de las patas delanteras y por lo tanto la necesidad, o no, de introducir corrección.

6. CÁLCULOS

La Deflexión Recuperable (D) se calcula mediante la expresión



$$D = 2 \times L \text{ (expresada en 0,01 mm.)}$$

Donde L es la última lectura registrada según 3h). (En los casos particulares en que corresponda se introducirán las correcciones indicadas en 5c).

Para trazar la curva de Recuperación Elasto-Retardada calcular las deflexiones para cada uno de los tiempos registrados, mediante la expresión:

$$d_i = 2 \times l_i \text{ (expresada en 0,01 mm)}$$

Donde las lecturas para 5, 10, 15.... s.

7. INFORME

Para el informe:

- a) Llenar todos los conceptos de la planilla para ensayo de Deflexión Recuperable.
- b) Anotar en la planilla de Ensayo Elasto-Retardado deflexiones y tiempos, indicando "estab" después de la última lectura. Trazar la curva de Recuperación Elasto-Retardada, indicando las deflexiones en 0,01 mm en la escala vertical y los tiempos en segundos en la escala horizontal.

PARA LA DETERMINACIÓN DEL RADIO DE CURVATURA DE LA DEFORMADA DEL PAVIMENTO CON VIGA BENKELMAN

1. OBJETO

Esta norma detalla el procedimiento a seguir para la determinación del Radio de Curvatura de la deformada bajo condiciones pre-establecidas de carga, en forma complementaria con la medición de Deflexiones Recuperables con Viga Benkelman.

La determinación del Radio de Curvatura se realizará en base a la aproximación parabólica, midiendo simultáneamente la Deflexión Recuperable bajo carga D, y la Deflexión Recuperable registrada a 0,25 m de la anterior D_{25} .

2. EQUIPO

El equipo coincide con el indicado en la Norma de Ensayo para el Ensayo de Deflexión Recuperable, previéndose el empleo de dos (2) Vigas Benkelman o bien de una (1) Viga Benkelman Doble.

3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El procedimiento de ensayo es similar al descrito para la determinación de la Deflexión Recuperable:

- Se procede tal como se indica en 3a), 3b), 3c) y 3d) de la mencionada norma.
- En el caso del empleo de dos vigas, se coloca la segunda viga, de forma tal que su punta de prueba se ubique a 0,25 m de la otra, en sentido contrario al avance del camión, y lo más próximo practicable a una línea imaginaria que, pasando por el punto a ensayar sea paralela al borde de la calzada.
En el caso de emplear una Viga Benkelman Doble las tareas se simplifican al quedar automáticamente ubicadas ambas reglas.
- Se procede según lo indicado en 3e), 3f) y 3h) de la Norma de Ensayo de Deflexión Recuperable, llevándose a cabo las tareas descritas exclusivamente para la Determinación de la Deflexión, pero en ambas vigas. Se diferenciarán las lecturas L1 y L2, según se trate de la viga ubicada bajo la carga o a 0,25 m de ésta respectivamente.

4. CALCULOS

El Radio de Curvatura se calculará con la fórmula

$$R_c = \frac{6250}{2(D - D_{25})}$$

Donde:

$$D = 2 L_1$$

$$D_{25} = 2 L_2 \quad 2 L_2$$

5. INFORME

Los Radios de Curvatura calculados se volcarán en las plantillas de Deflexiones Benkelman en correspondencia con las respectivas mediciones.

NOTAS:

- Es posible realizar las mediciones de D y D_{25} empleando una única Viga Benkelman, pero este procedimiento debe ser evitado, por la escasa precisión de los resultados obtenidos y el mayor tiempo insumido en la medición.
- En el caso de la utilización de dos Vigas Benkelman debe ponerse especial cuidado en la correcta ubicación de la segunda regla. La distancia de 0,25 m se incorpora elevada al cuadro en la fórmula empleada para el cálculo del Radio de Curvatura.

$$R = \frac{10 \times (25 \text{ cm})^2}{2(D_0 - D_{25})} = \frac{6250}{2(D_0 - D_{25})}$$

Se presenta a continuación las Tablas de Conversión de Unidades indispensables para el mejor entendimiento del presente manual.

Debe tenerse en cuenta que las unidades del Sistema Internacional de Unidades (SI) aparecen **en rojo**.



LONGITUD	
1 km	0,621371 milla
1 m	1,09361 yda. 3,2808 pies
1 cm	0,393701 pulg
1 mm	0,03937 pulg
1 μm	39,3701 μpulg
1 milla	1,60934 km
1 yda.	0,9144 m
1 pie	0,3048 m
1 pulg	25,4 mm
1 mili-pulg. (mil)	25,4 μm
1 μpulg	0,0254 μm

SUPERFICIE	
1 km²	100 ha 247,105 acres
1 ha	10,000 m² 2,47105 acres
1 m²	1,19599 yda ²
1 cm²	0,155 pulg ²
1 μm²	0,00155 pulg ²
1 milla ²	2,58999 km²
1 acre	4046,86 m² 0,404686 ha
1 yda ²	0,836127 m²
1 pie ²	0,092903 m²
1 pulg ²	645,16 mm²



VOLUMEN CAPACIDAD	
1 m³	1,30795 yda ³
1 dm³ (litro)	0,03531 pie ³ 0,26417 gal EE.UU 1,05669 qt EE.UU 2,11338 pt EE.UU 0,21997 imp Gal (Inglaterra)
1 cm³	0,06102 pulg ³ 0,0338 fl Oz EE.UU 0,0352 fl Oz. Inglaterra
1 yda ³	0,76455 m³
1 pie ³	28,3168 dm³
1 pulg ³	16,3871 cm³
1 gal EE.UU.	3,78541 dm³
1 pt EE.UU.	0,47318 dm³
1 fl Oz EE.UU.	29,5735 cm³

POTENCIA	
1 C.F. (eléctrico)	746,000 W(J/s)
1 C.F. (métrico)	735,499 W(J/s)
1 C.F. (Inglaterra)	745,700 W(J/s)
1 pie lbf/s	1,35582 W(J/s)



MASA	
1 tonelada métrica	1000 kg 2204,62 lb 0,98420 toneladas (largas) 1,1023 toneladas (cortas)
1 kg	0,2205 cwt (corto) 2,20462 lb 0,01968 cwt (largo)
1 g	0,03527 oz (avdp)
1 tonelada (larga)	1016,05 kg 2240 lb 1,01605 tonelada (métrica) 1,120 tonelada (corta)
1 tonelada (corta)	907,185 kg 2000 lb 0,90719 toneladas (métricas) 0,8929 toneladas (largas)
1 cwt (corto)	45,3592 kg 100 lb
1 cwt (largo)	50,823 kg 112 lb
1 lb	0,45359 kg

DENSIDAD	
1 kg/m³	1,686 lb/yda ³ 0,06243 lb/pie ³
1 g/cm³	62,4280 lb/pie ³
1 tonelada (larga)/yda ³	1328,94 kg/m ³
1 lb/yda ³	0,593 kg/m ³
1 lb/pie ³	16,0185 kg/m ³
1 lb/pulg ³	27,6799 kg/cm ³

FUERZA	
1N	0,10197 kgf 0,22481 lbf
1 kN	101,971 kgf 224,809 lbf
1 kgf (kilopond)	9,80665 N 2,20462 lbf
1 dina	10⁻⁵ N 0,224809 x 10 ⁻⁵ lbf
1 lbf	4,44822 N 0,45359 kgf
1 tonf (larga)	9,96402 kN 1016,05 kgf

TEMPERATURA	
Kelvin (K)	$= \frac{(t_f + 459,67)}{1,8}$ $= (t_c + 273,15)$
Celsius (C)	$= \frac{(t_f - 32)}{1,8}$
Fahrenheit (F)	$= (t_c \times 1,8) + 32$

PRESION, TENSION	
1 Pa (N/m²)	0,01 mbar 0,000145 lbf/pulg ² (psi)
1 kPa (kN/m²)	0,01 kgf/cm ² 10 mbar 20,885 lbf/pie ² 0,2953 pulg Hg 0,145 lbf/pulg ² (psi)
1 kgf/cm ²	98,0665 kPa 14,223 lbf/pulg ² (psi)
1 bar	100 kPa 14,5038 lbf/pulg ² (psi)
1 mbar	100 Pa 2,0885 lbf/pie ² (psi)
1 atm	101,325 kPa 14,6959 lbf/pulg ² (psi)
1 mm (Hg) (torr)	133,322 Pa 0,01934 lbf/pulg ² (psi)
1 mm H ₂ O	9,80665 Pa 0,001422 lbf/pulg ² (psi)
1 lbf/pulg ² (psi)	6,89476 kPa 0,07031 kgf/cm ² 68,9476 mbar
1 lbf/pie ²	47,8803 Pa 0,4788 mbar
1 tn/pie ² (corta)	0,9765 kgf/cm²
1 tn/pie ² (larga)	107,252 kPa
1 pulg Hg	3,38639 kPa 0.491 lbf/pulg ² (psi)
1 pie H ₂ O	2,98907 kPa 0,030 Kgf/cm ² 22,3997 mm Hg

VISCOSIDAD DINAMICA	
1 Pa s (N s/m²)	0,208854 lbf s/pie ²
1 cSt (centistoke)	2,088545 x 10 ⁻⁵ lbf s/pie ² 0,001 Pa s
1 lbf s/pie ²	47,8803 Pa s
1 lb/pie s	1488,16 cP 1,48816 kg/m s



VISCOSIDAD CINEMATICA	
1 m² /s	10,7639 pie ² /s
1 cSt (centistoke)	5,58001 pulg ² /h 1 mm² /s 10⁻⁶ m² /s
1 pie ² /h	0,092903 m² /h 25,8064 cSt
1 pulg ² /s	645,16 mm² /s 645,16 cST

ENERGIA	
1 MJ	0,277778 kWh
1 J	0,737562 pies lbf
1 Kgf m	9,80665 J 7,23301 pie lbf
1 termia	105,506 MJ
1 kWh	3,6 MJ.
1 Btu	1,05506 kJ

NORMA GENERAL

MTC E 001 - 2013

1.0 ALCANCE

Esta norma regula las condiciones que deben poseer los Técnicos en laboratorio así como los equipos para la ejecución de los ensayos, y la presentación de informes en los proyectos contratados por el MTC.

2.0 CALIFICACION DE LOS TECNICOS DE LABORATORIO

Todo el personal técnico utilizado en la ejecución de ensayos debe estar calificado por la Supervisión, en el caso de un proyecto específico, o por una Entidad competente, avalada por el MTC, en otros casos. En este último caso la vigencia de la Certificación será de tres (3) años, por lo cual, cumplido este período el técnico debe actualizarla. Si el Técnico no participa en otros proyectos después de ser evaluado, la vigencia de su calificación también será de tres (3) años.

El MTC se reservará el derecho de solicitar una revisión de la certificación, nombrando para tal caso la Entidad Evaluadora.

El Técnico podrá presentar prueba de suficiencia en uno, varios o todos los ensayos descritos en este Manual. De acuerdo con lo anterior el Evaluador acreditado suministrará un certificado por los ensayos que el Técnico haya aprobado. El Técnico sólo quedará autorizado para realizar los ensayos en los cuales haya sido aprobado.

El laboratorio respectivo debe anexar a los resultados, copia de los certificados del personal técnico responsable de la ejecución.

3.0 EQUIPO DE LABORATORIO

Todos los equipos e instrumentos de medición utilizados en los ensayos deberán encontrarse calibrados y certificados por un laboratorio especializado o entidad competente que cuente con un Sistema de Calidad. La certificación de calibración deberá actualizarse de acuerdo al tipo de equipo e instrumento de medición.

Los equipos deben encontrarse en lugares limpios, iluminados y con espacio suficiente para el manipuleo de muestras y las maniobras de los técnicos y que garanticen la confiabilidad de resultados.

El laboratorio anexará copia de los certificados de calibración respectiva de los equipos utilizados en los ensayos cuyos resultados está presentando.

4.0 Presentación de Informes

El envío de resultados a cualquier entidad adscrita al MTC o a la Supervisión de alguna de sus obras, deberá hacerse mediante un informe técnico, el cual debe contener:

- 4.1 Informe de Ensayo con los resultados firmada por el Ingeniero Director de Calidad ó responsable del laboratorio.
- 4.2 Objetivo de la investigación de laboratorio.
- 4.3 Localización de los sitios de toma de muestras, ilustrada en una figura.
- 4.4 El Informe de investigación subsuperficial deberá incluir:
 - Ubicación del área investigada. esto puede incluir esquemas o fotografías aéreas en las cuales se localizan las perforaciones y zonas de muestreo, así como detalles topográficos para la determinación de los diferentes suelos y rocas, tales como contornos, lechos de corrientes, depresiones, acantilados, etc. En cuanto sea posible, inclúyase en el informe un mapa geológico del área investigada.



- Inclúyanse también copias de los registros de perforaciones y calicatas de ensayo con resultados de los ensayos de laboratorio.
- 4.5 Tabla resumen con los resultados de los ensayos de laboratorio ejecutados.
 - 4.6 Figuras de los ensayos como granulometría, compactación, CBR, curvas esfuerzo – deformación.
 - 4.7 Anexo fotográfico en el caso de ensayos especiales, mostrando el estado antes y después de la ejecución.
 - 4.8 Anexo con los formatos diligenciados de cada uno de los ensayos. No se permitirá copia del borrador de laboratorio. Cada ensayo deberá tener la firma del Técnico Laboratorista que ejecutó el ensayo, del Jefe de Laboratorio y del Ingeniero Director de Calidad que revisaron el mismo.
 - 4.9 Cada formato debe contener, adicional a los resultados parciales de medidas y cálculos, el nombre del proyecto, la localización del sitio donde se recuperó la muestra, el tipo de muestra, es decir inalterada o remoldeada, si corresponde a mezcla o no, y descripción visual de la mezcla y el número de ensayo MTC.
 - 4.10 Anexo con los certificados de suficiencia de los Técnicos laboratoristas y de calibración de los equipos.

Esta sección hace referencia a los siguientes documentos:

- Ficha de competencia Técnica
- Ficha de Informe de Ensayo
- Ficha técnica de equipos e instrumentos.

-



INFORME DE ENSAYO N° - 20.....

SOLICITANTE	:	_____	MUESTRA	:	_____
DOMICILIO LEGAL	:	_____	IDENTIFICACIÓN	:	_____
PROYECTO	:	_____	CANTIDAD	:	_____
REFERENCIA	:	_____	PRESENTACIÓN	:	_____
FECHA DE RECEPCIÓN	:	_____	FECHA DE ENSAYO	:	_____

Observaciones :

.....
JEFE
Lugar, de del 20.....

Folios(.....)



Denominación				Código de Identificación		
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS						
Marca / Fabricante				Alcance de Indicación / Valor Nominal		
Tipo / Modelo				División Mínima		
Nº de Serie				Exactitud / Clase		
Procedencia				Año de Fabricación		
Tensión (V)				Frecuencia (Hz)	Potencia (W)	
Amperaje (A)				Combustible		
COMPONENTES Y/O ACCESORIOS PRINCIPALES:						
GENERALIDADES						
Fecha de Recepción				Inicio servicio		
Manual / Catálogo				Garantía		
Ubicación				Ambiente		
SERVICIO TÉCNICO						
Fabricante				Dirección / Teléfono		
Representante en Perú				Dirección / Teléfono		
CALIBRACIÓN						
Última calibración	Próxima calibración	Rango de calibración	Nº certificado	Responsable	Frecuencia	Firma
MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
Último Mantenimiento	Próximo Mantenimiento	Descripción		Responsable del Servicio	Firma	
REPARACIÓN						
Nº de Documento	Descripción			Responsable del Servicio	Firma	
OBSERVACIONES						



Nombre del Analista :
 Cargo :
 Cumple con los Requisitos del Puesto :
 Evaluador :
 Fecha de Evaluación :

A: Autorización para Ejecutar Ensayos

Nº	ENSAYO	REFERENCIA	AÑO	CONOCIMIENTO DEL MÉTODO			CONOCIMIENTO DEL GRUPO DE CONTROL	AUTORIZACIÓN PARA EJECUTAR ENSAYOS	FECHA DE AUTORIZACIÓN
				MUY BUENO	BUENO	REGULAR			

B: Autorización para Operar Equipos

Nº	EQUIPOS	MANEJO DEL EQUIPO			EXPERIENCIA EN MANEJO DEL EQUIPO	AUTORIZACIÓN PARA EJECUTAR EQUIPOS	FECHA DE AUTORIZACIÓN
		MUY BUENO	BUENO	REGULAR			