



**Universidad Nacional del Altiplano**  
Facultad de Ingeniería Civil



---

# Diseño de Mezclas de Concreto

---



Samuel Laura Huanca  
samuel\_ingcivil@hotmail.com  
Puno – Perú  
Marzo – 2006

## PROLOGO

Este resumen solamente pretende ser un aporte más al conocimiento del concreto y, específicamente, está orientado a los procedimientos a seguir para proporcionar mezclas de concreto de peso normal. Este es un resumen recopilado de las diversas referencias bibliográficas existentes en nuestro medio.

Esta obra está dirigida a los estudiantes universitarios que desean ampliar y afinar sus conocimientos para realizar un buen diseño y/o proporcionamiento de mezclas de concreto, por los diferentes métodos aquí expuestos.

Esta contribución va dedicada a los estudiantes y compañeros de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano, con quienes comparto día a día las aulas y el patio de nuestra querida casa de estudios, y a quienes espero seguir contribuyendo en su formación profesional.

### Filosofía del Constructor

Interpretada por: **Ruskin**

Toda acción humana resulta honrada, agraciada y verdaderamente magnífica cuando se hace considerando las cosas que están por venir... En consecuencia, cuando construyamos, hagámoslo pensando en que será para siempre. No edifiquemos para el provecho y el uso actual solamente. Hagamos tales obras que nuestros descendientes nos lo agradezcan y consideremos, a medida que ponemos piedra sobre piedra, que llegará el día en que esas piedras serán sagradas porque nuestras manos las tocaron, y que la posteridad pueda decir con orgullo, al ver nuestra labor y esencia que en ella forjamos, *“Mirad aquí el legado de quienes nos precedieron”*.

Samuel Laura Huanca

Puno, Marzo del 2006.

## **PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE PESO NORMAL**

El proporcionamiento de mezclas de concreto, más comúnmente llamado diseño de mezclas es un proceso que consiste de pasos dependientes entre sí:

- a) Selección de los ingredientes convenientes (cemento, agregados, agua y aditivos).
- b) Determinación de sus cantidades relativas “proporcionamiento” para producir un, tan económico como sea posible, un concreto de trabajabilidad, resistencia a compresión y durabilidad apropiada.

Estas proporciones dependerán de cada ingrediente en particular los cuales a su vez dependerán de la aplicación particular del concreto. También podrían ser considerados otros criterios, tales como minimizar la contracción y el asentamiento o ambientes químicos especiales.

Aunque se han realizado gran cantidad de trabajos relacionados con los aspectos teóricos del diseño de mezclas, en buena parte permanece como un procedimiento empírico. Y aunque hay muchas propiedades importantes del concreto, la mayor parte de procedimientos de diseño, están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión para una edad especificada así como una trabajabilidad apropiada. Además es asumido que si se logran estas dos propiedades las otras propiedades del concreto también serán satisfactorias (excepto la resistencia al congelamiento y deshielo u otros problemas de durabilidad tales como resistencia al ataque químico). Sin embargo antes de pasar a ver los métodos de diseño en uso común en este momento, será de mucha utilidad revisar, en más detalle, las consideraciones básicas de diseño.

## **CONSIDERACIONES BASICAS**

### **Economía**

El costo del concreto es la suma del costo de los materiales, de la mano de obra empleada y el equipamiento. Sin embargo excepto para algunos concretos especiales, el costo de la mano de obra y el equipamiento son muy independientes del tipo y calidad del concreto producido. Por lo tanto los costos de los materiales son los más importantes y los que se deben tomar en cuenta para comparar mezclas diferentes. Debido a que el cemento es más costoso que los agregados, es claro que minimizar el contenido del cemento en el concreto es el factor más importante para reducir el costo del concreto. En general, esto puede ser echo del siguiente modo:

- Utilizando el menor slump que permita una adecuada colocación.
- Utilizando el mayor tamaño máximo del agregado (respetando las limitaciones indicadas en el capítulo anterior).
- Utilizando una relación óptima del agregado grueso al agregado fino.
- Y cuando sea necesario utilizando un aditivo conveniente.

Es necesario además señalar que en adición al costo, hay otros beneficios relacionados con un bajo contenido de cemento. En general, las contracciones serán reducidas y habrá menor calor de hidratación. Por otra parte un muy bajo contenido de cemento, disminuirá la resistencia temprana del concreto y la uniformidad del concreto será una consideración crítica.

La economía de un diseño de mezcla en particular también debería tener en cuenta el grado de control de calidad que se espera en obra. Como discutiremos en capítulos posteriores, debido a la variabilidad inherente del concreto, la resistencia promedio del concreto producido debe ser más alta que la resistencia a compresión mínima especificada. Al menos en pequeñas obras, podría ser más barato “sobrediseñar” el concreto que implementar el extenso control de calidad que requeriría un concreto con una mejor relación costo – eficiencia.

### **Trabajabilidad**

Claramente un concreto apropiadamente diseñado debe permitir ser colocado y compactado apropiadamente con el equipamiento disponible. El acabado que permite el concreto debe ser el requerido y la segregación y sangrado deben ser minimizados. Como regla general el concreto debe ser suministrado con la trabajabilidad mínima que permita una adecuada colocación. La cantidad de agua requerida por trabajabilidad dependerá principalmente de las características de los agregados en lugar de las características del cemento. Cuando la trabajabilidad debe ser mejorada, el rediseño de la mezcla debe consistir en incrementar la cantidad de mortero en lugar de incrementar simplemente el agua y los finos (cemento). Debido a esto es esencial una cooperación entre el diseñador y el constructor para asegurar una buena mezcla de concreto. En algunos casos una menos mezcla económica podría ser la mejor solución. Y se deben prestar oídos sordos al frecuente pedido, en obra, de “**más agua**”.

### **Resistencia y durabilidad**

En general las especificaciones del concreto requerirán una resistencia mínima a compresión. Estas especificaciones también podrían imponer limitaciones en la máxima relación agua/cemento (a/c) y el contenido mínimo de cemento. Es importante asegurar que estos requisitos no sean mutuamente incompatibles. Como veremos en otros capítulos, no necesariamente la resistencia a compresión a 28 días será la más importante, debido a esto la resistencia a otras edades podría controlar el diseño.

Las especificaciones también podrían requerir que el concreto cumpla ciertos requisitos de durabilidad, tales como resistencia al congelamiento y deshielo ó ataque químico. Estas consideraciones podrían establecer limitaciones adicionales en la relación agua cemento (a/c), el contenido de cemento y en adición podría requerir el uso de aditivos.

Entonces, el proceso de diseño de mezcla, envuelve cumplir con todos los requisitos antes vistos. Asimismo debido a que no todos los requerimientos

pueden ser optimizados simultáneamente, es necesario compensar unos con otros; (por ejemplo puede ser mejor emplear una dosificación que para determinada cantidad de cemento no tiene la mayor resistencia a compresión pero que tiene una mayor trabajabilidad).

Finalmente debe ser recordado que incluso la mezcla perfecta no producirá un concreto apropiado si no se lleva a cabo procedimientos apropiados de colocación, acabado y curado.

## INFORMACION REQUERIDA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

- Análisis granulométrico de los agregados
- Peso unitario compactado de lo agregados (fino y grueso)
- Peso específico de los agregados (fino y grueso)
- Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados (fino y grueso)
- Perfil y textura de los agregados
- Tipo y marca del cemento
- Peso específico del cemento
- Relaciones entre resistencia y la relación agua/cemento, para combinaciones posibles de cemento y agregados.

## PASOS PARA EL PROPORCIONAMIENTO

Podemos resumir la secuencia del diseño de mezclas de la siguiente manera:

1. Estudio detallado de los planos y especificaciones técnicas de obra.
2. Elección de la resistencia promedio ( $f'_{cr}$ ).
3. Elección del Asentamiento (Slump)
4. Selección del tamaño máximo del agregado grueso.
5. Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.
6. Selección de la relación agua/cemento (a/c).
7. Cálculo del contenido de cemento.
8. Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino.
9. Ajustes por humedad y absorción.
10. Cálculo de proporciones en peso.
11. Cálculo de proporciones en volumen.
12. Cálculo de cantidades por tanda.

### 1. Especificaciones técnicas

Antes de diseñar una mezcla de concreto debemos tener en mente, primero, el revisar los planos y las especificaciones técnicas de obra, donde podremos encontrar todos los requisitos que fijó el ingeniero proyectista para que la obra pueda cumplir ciertos requisitos durante su vida útil.

## 2. Elección de la resistencia promedio ( $f'_{cr}$ )

### 2.1. Cálculo de la desviación estándar

#### **Método 1**

Si se posee un registro de resultados de ensayos de obras anteriores deberá calcularse la desviación estándar. El registro deberá:

- Representar materiales, procedimientos de control de calidad y condiciones similares a aquellos que se espera en la obra que se va a iniciar.
- Representar a concretos preparados para alcanzar una resistencia de diseño  $f'_c$  que este dentro del rango de  $\pm 70$  kg/cm<sup>2</sup> de la especificada para el trabajo a iniciar.

Si se posee un registro de 3 ensayos consecutivos la desviación estándar se calculará aplicando la siguiente fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}}$$

Donde:

$s$  = Desviación estándar, en kg/cm<sup>2</sup>

$X_i$  = Resistencia de la probeta de concreto, en kg/cm<sup>2</sup>

$\bar{X}$  = Resistencia promedio de  $n$  probetas, en kg/cm<sup>2</sup>

$n$  = Número de ensayos consecutivos de resistencia

- Consistir de por lo menos 30 ensayos consecutivos o dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos 30 ensayos.

Si se posee dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos un registro de 30 ensayos consecutivos, la desviación estándar promedio se calculará con la siguiente fórmula:

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)(s_1)^2 + (n_2 - 1)(s_2)^2}{(n_1 + n_2 - 2)}}$$

Donde:

$\bar{s}$  = Desviación estándar promedio en kg/cm<sup>2</sup> .

$s_1, s_2$  = Desviación estándar calculada para los grupos 1 y 2 respectivamente en kg/cm<sup>2</sup> .

$n_1, n_2$  = Número de ensayos en cada grupos, respectivamente.

#### **Método 2**

Si solo se posee un registro de 15 a 29 ensayos consecutivos, se calculara la desviación estándar "s" correspondiente a dichos ensayos y se multiplicara por el factor de corrección indicado en la tabla 2.1 para obtener el nuevo valor de "s".

El registro de ensayos a que se hace referencia en este Método deberá cumplir con los requisitos a), b) del método 1 y representar un registro de ensayos consecutivos que comprenda un periodo de no menos de 45 días calendario.

Tabla 2.1. Factores de corrección.

MUESTRAS	FACTOR DE CORRECCION
menos de 15	Usar tabla 2.2
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30	1.00

## 2.2. Cálculo de la resistencia promedio requerida

Una vez que la desviación estándar ha sido calculada, la resistencia a compresión promedio requerida ( $f'_{cr}$ ) se obtiene como el mayor valor de las ecuaciones (1) y (2). La ecuación (1) proporciona una probabilidad de 1 en 100 que el promedio de tres ensayos consecutivos estará por debajo de la resistencia especificada  $f'_c$ . La ecuación (2) proporciona una probabilidad de similar de que ensayos individuales estén  $35\text{kg/cm}^2$  por debajo de la resistencia especificada  $f'_c$ .

- a) Si la desviación estándar se ha calculado de acuerdo a lo indicado en el Método 1 o el Método 2, la resistencia promedio requerida será el mayor de los valores determinados por las formulas siguientes usando la desviación estándar “s” calculada.

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34s \dots\dots\dots (1)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33s - 35 \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

s = Desviación estándar, en  $\text{kg/cm}^2$

- b) Si se desconoce el valor de la desviación estándar, se utilizara la Tabla 2.2 para la determinación de la resistencia promedio requerida.

TABLA 2.2. Resistencia a la compresión promedio.

$f'_c$	$f'_{cr}$
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Sobre 350	$f'_c + 98$

## 3. Elección del asentamiento (Slump)

- ❖ Si las especificaciones técnicas de obra requieren que el concreto tenga una determinada consistencia, el asentamiento puede ser elegido de la siguiente tabla:

Tabla 3.1. Consistencia y asentamientos.

Consistencia	Asentamiento
Seca Plástica Fluida	0" (0mm) a 2" (50mm) 3" (75mm) a 4" (100mm) ≥5" (125mm)

- ❖ Si las especificaciones de obra no indican la consistencia, ni asentamiento requeridos para la mezcla a ser diseñada, utilizando la tabla 3.2 podemos seleccionar un valor adecuado para un determinado trabajo que se va a realizar. Se deberán usar las mezclas de la consistencia más densa que puedan ser colocadas eficientemente.

Tabla 3.2. Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.

TIPOS DE CONSTRUCCION	REVENIMIENTO (cm)	
	MAXIMO	MINIMO
- Zapatas y muros de cimentación reforzados	8	2
- Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	8	2
- Vigas y muros reforzados	10	2
- Columnas	10	2
- Pavimentos y losas	8	2
- Concreto ciclópeo y masivo	5	2

#### 4. Selección de tamaño máximo del agregado

Las Normas de Diseño Estructural recomiendan que el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea el mayor que sea económicamente disponible, siempre que sea compatible con las dimensiones y características de la estructura.

La *Norma Técnica de Edificación E. 060* prescribe que el agregado grueso no deberá ser mayor de:

- 1/5 de la menor dimensión entre las caras de encofrados; o
- 1/3 del peralte de la losa; o
- 3/4 del espacio libre mínimo entre barras individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos de presfuerzo.

El tamaño máximo nominal determinado aquí, será usado también como tamaño máximo simplemente.

Se considera que, cuando se incrementa el tamaño máximo del agregado, se reducen los requerimientos del agua de mezcla, incrementándose la resistencia del concreto. En general este principio es válido con agregados hasta 40mm (1½"). En tamaños mayores, sólo es aplicable a concretos con bajo contenido de cemento.



## 5. Estimación del agua de mezclado y contenido de aire

La tabla 5.1, preparada en base a las recomendaciones del Comité 211 del ACI, nos proporciona una primera estimación del agua de mezclado para concretos hechos con diferentes tamaños máximos de agregado con o sin aire incorporado.

Tabla 5.1. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)		Agua en $lt/m^3$ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.							
		10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1½")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO									
30 a 50 (1" a 2")		205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100 (3" a 4")		225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180 (6" a 7")		240	230	210	205	185	180	170	---
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).		3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO									
30 a 50 (1" a 2")		180	175	165	160	145	140	135	120
80 a 100 (3" a 4")		200	190	180	175	160	155	150	135
150 a 180 (6" a 7")		215	205	190	185	170	165	160	---
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

Los valores del asentamiento para concreto con agregado más grande que 40mm (1½") se basan en las pruebas de Slump hechas después de retirar las partículas mayores de 40mm (1½") por tamizado húmedo.

Estos contenidos de agua de mezclado son valores máximos para agregado grueso angular y bien formado, y cuya granulometría está dentro de las especificaciones aceptadas (ASTM C 33 o ITINTEC 400.037).

\* Para concreto que contiene agregado grande será tamizado húmedo por una malla de 40mm (1½") antes de evaluar el contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en material más pequeño que 40mm (1½") debe ser el tabulado en la columna de 40mm (1½"). Sin embargo, los cálculos iniciales de las proporciones deben basarse en el contenido de aire como un porcentaje de la mezcla completa.

\*\* Estos valores se basan en el criterio de que se necesita un 9% del contenido de aire en la fase de mortero del concreto.

Como se observa, la tabla 5.1 no toma en cuenta para la estimación del agua de mezclado las incidencias del perfil, textura y granulometría de los agregados. Debemos hacer presente que estos valores tabulados son lo suficientemente aproximados para una primera estimación y que dependiendo del perfil, textura y granulometría de los agregados, los valores requeridos de agua de mezclado pueden estar algo por encima o por debajo de dichos valores.

Al mismo tiempo, podemos usar la tabla 5.2 para calcular la cantidad de agua de mezcla tomando en consideración, además de la consistencia y tamaño máximo del agregado, el perfil del mismo. Los valores de la tabla 5.2 corresponden a mezclas sin aire incorporado.

Tabla 5.2. Contenido de agua de mezcla.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Contenido de agua en el concreto, expresado en $lt/m^3$ , para los asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados.					
		25mm a 50mm (1"-2")		75mm a 100mm (3"-4")		150mm a 175mm (6"-7")	
mm.	Pulg.	Agregado redondeado	Agregado anguloso	Agregado redondeado	Agregado anguloso	Agregado redondeado	Agregado anguloso
9.5	3/8"	185	212	201	227	230	250
12.7	1/2"	182	201	197	216	219	238
19.1	3/4"	170	189	185	204	208	227
25.4	1"	163	182	178	197	197	216
38.1	1½"	155	170	170	185	185	204
50.8	2"	148	163	163	178	178	197
76.2	3"	136	151	151	167	163	182

La tabla 5.1 nos muestra también el **volumen aproximado de aire atrapado**, en porcentaje, a ser esperado en un concreto sin aire incorporado y los promedios recomendados del contenido total de aire, en función del grado de exposición, para concretos con aire incorporado intencionalmente por razones de durabilidad a ciclos de congelamiento y deshielo, agua de mar o sulfatos.

Obtenidos los valores de cantidad de agua y de aire atrapado para un metro cúbico de concreto procedemos a calcular el volumen que ocupan dentro de la unidad de volumen de concreto:

$$\text{Volumen de agua (m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado (lts / m}^3\text{)}}{\text{Peso específico del agua (1000 kg / m}^3\text{)}}$$

## 6. Elección de la relación agua/cemento (a/c)

Existen dos criterios (por resistencia, y por durabilidad) para la selección de la relación a/c, de los cuales se elegirá el menor de los valores, con lo cual se garantiza el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones. Es importante que la relación a/c seleccionada con base en la resistencia satisfaga también los requerimientos de durabilidad.

### 6.1. Por resistencia

Para concretos preparados con cemento Pórtland tipo 1 o cementos comunes, puede tomarse la relación a/c de la tabla 6.1.

Tabla 6.1. Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto.

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS ( $f'_{cr}$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )*	RELACION AGUA/CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

\* Los valores corresponden a resistencias promedio estimadas para concretos que no contengan más del porcentaje de aire mostrado en la tabla 5.1. Para una relación agua/cemento constante, la resistencia del concreto se reduce conforme aumenta el contenido de aire.

## 6.2. Por durabilidad

La Norma Técnica de Edificación E.060 prescribe que si se desea un concreto de baja permeabilidad, o el concreto ha de estar sometido a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda. Se deberá cumplir con los requisitos indicados en la tabla 6.2.

Tabla 6.2. Máxima relación agua/cemento permisible para concretos sometidos a condiciones especiales de exposición.

CONDICIONES DE EXPOSICION	RELACIÓN AGUA/CEMENTO MÁXIMA.
Concreto de baja permeabilidad:	
a) Expuesto a agua dulce.	0.50
b) Expuesto a agua de mar o aguas salobres.	0.45
c) Expuesto a la acción de aguas cloacales. (*)	0.45
Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda:	
a) Sardineles, cunetas, secciones delgadas.	0.45
b) Otros elementos.	0.50
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres, neblina o rocío de esta agua.	0.40
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15 mm.	0.45

(\*) La resistencia  $f'_{c}$  no deberá ser menor de 245 kg/cm<sup>2</sup> por razones de durabilidad.

**METODO DE FÜLLER:**

Este método es general y se aplica cuando los agregados no cumplan con la Norma ASTM C 33. Asimismo se debe usar para dosificaciones con más de 300 kg de cemento por metro cúbico de concreto y para tamaños máximos del agregado grueso comprendido entre 20mm (3/4") y 50mm (2").

$$\text{Relación: } a/c = \frac{1}{Z}; \quad Z = K_1 \cdot R_m + 0.5$$

Donde:

$K_1$ : Factor que depende de la forma del agregado. De 0.0030 a 0.0045 para piedra chancada y de 0.0045 a 0.0070 para piedra redondeada.

$R_m$ : Resistencia promedio requerida.

**7. Cálculo del contenido de cemento**

Una vez que la cantidad de agua y la relación a/c han sido estimadas, la cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto es determinada dividiendo la cantidad de agua por la relación a/c. Sin embargo es posible que las especificaciones del proyecto establezcan una cantidad de cemento mínima. Tales requerimientos podrían ser especificados para asegurar un acabado satisfactorio, determinada calidad de la superficie vertical de los elementos o trabajabilidad.

$$\text{Contenido de cemento (kg / m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado (lts / m}^3\text{)}}{\text{Relación a/c (para } f'_{cr}\text{)}}$$

$$\text{Volumen de cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de cemento (kg)}}{\text{Peso específico del cemento (kg / m}^3\text{)}}$$

**8. Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino****METODO DE FÜLLER:**

$$\text{Ley de Füller: } P_d = 100 \sqrt{d/D}$$

Donde:

$P_d$ : % que pasa por la malla d.

$d$ : Abertura de la malla de referencia.

$D$ : Tamaño máximo del agregado grueso.

La relación arena/agregado, el volumen absoluto, se determina gráficamente:

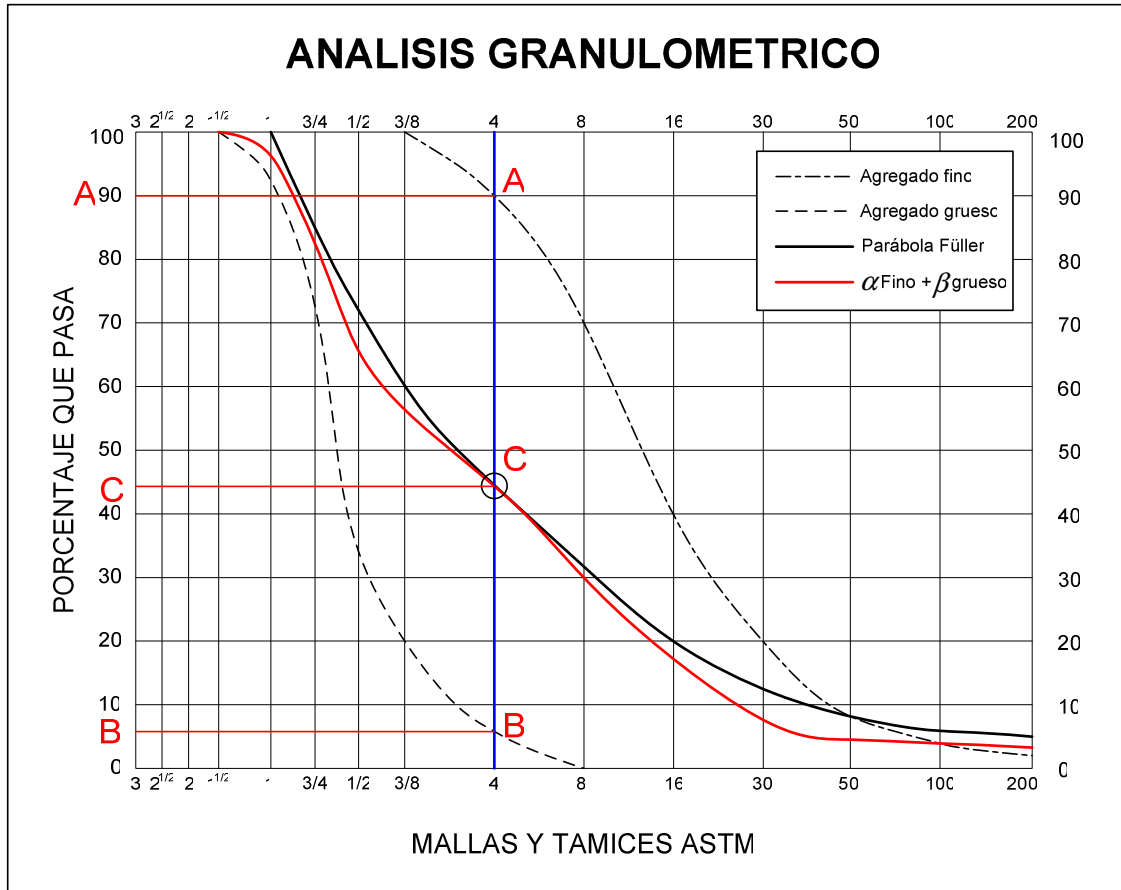
- Se dibujan las curvas granulométricas de los 2 agregados.
- En el mismo papel, se dibuja la parábola de Füller (Ley de Füller).
- Por la malla N° 4 trazamos una vertical la cual determinará en las curvas trazadas 3 puntos.

- A= % Agregado fino que pasa por la malla N° 4.  
 B= % Agregado grueso que pasa por la malla N° 4.  
 C= % Agregado ideal que pasa por la malla N° 4.

Si llamamos:

- $\alpha$ : % en volumen absoluto del agregado fino dentro de la mezcla de agregados.  
 $\beta$ : % en volumen absoluto del agregado grueso dentro de la mezcla de agregados.

Figura 8.1. Proporciónamiento de agregados. Método de Füller.



La figura 8.1 nos muestra un ejemplo de la determinación de las proporciones de agregado fino y agregado grueso en relación al volumen total de agregados por metro cúbico de concreto.

Entonces:

$$\alpha = \frac{C - B}{A - B} \times 100$$

$$\beta = 100 - \alpha$$

Teniendo los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  podemos calcular el volumen de agregado fino y agregado grueso por metro cúbico de concreto, de la siguiente manera:

$$Vol. total de agregados = 1 - (Vol. agua + Vol. aire + Vol. cemento)$$

$$Vol. agregado fino (m^3) = \frac{\alpha}{100} \times Vol. total de agregados (m^3)$$

$$Vol. agregado grueso (m^3) = \frac{\beta}{100} \times Vol. total de agregados (m^3)$$

Obtenidos los volúmenes de agregado fino y grueso dentro de un metro cúbico de concreto, calculamos los pesos de agregado fino y grueso para un metro cúbico de concreto:

$$Peso agregado fino (kg / m^3) = (Vol. agregado fino)(Peso específico del ag. fino)$$

$$Peso agregado grueso (kg / m^3) = (Vol. agregado grueso)(Peso específico del ag. grueso)$$

### METODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI:

Se determina el contenido de agregado grueso mediante la tabla 7.1, elaborada por el Comité 211 del ACI, en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino. La tabla 7.1 permite obtener un coeficiente  $b/b_0$  resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en  $kg/m^3$ .

Tabla 7.1. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO		Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino.			
		MÓDULO DE FINEZA DEL AGREG. FINO			
mm.	Pulg.	2.40	2.60	2.80	3.00
10	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3"	0.81	0.79	0.77	0.75
150	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

\* Los volúmenes de agregado grueso mostrados, está en condición seca y compactada, tal como se describe en la norma ASTM C29.

Estos volúmenes han sido seleccionados a partir de relaciones empíricas para producir concretos con un grado adecuado de trabajabilidad para construcciones armadas usuales.

Para concretos menos trabajables, tales como el requerido en la construcción de pavimentos, pueden incrementarse los valores en 10% aprox.

Para concretos más trabajables, tales como los que pueden requerirse cuando la colocación es hecha por bombeo, los valores pueden reducirse hasta en un 10%.

Obtenido  $b/b_0$  procedemos a calcular la cantidad de agregado grueso necesario para un metro cúbico de concreto, de la siguiente manera:

$$\text{Peso seco del A. grueso (kg / m}^3\text{)} = \frac{b}{b_0} x (\text{Peso unitario compactado del A. grueso})$$

Entonces los volúmenes de los agregados grueso y fino serán:

$$\text{Vol. agregado grueso (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso seco del A. grueso}}{\text{Peso específico del A. grueso}}$$

$$\text{Vol. agregado fino (m}^3\text{)} = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. aire} + \text{Vol. cemento} + \text{Vol. agregado grueso})$$

Por consiguiente el peso seco del agregado fino será:

$$\text{Peso agregado fino (kg / m}^3\text{)} = (\text{Vol. agregado fino}) (\text{Peso específico del agregado fino})$$

## METODO DEL MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS:

Las investigaciones realizadas en la Universidad de Maryland han permitido establecer que la combinación de los agregados fino y grueso, cuando éstos tienen granulometrías comprendidas dentro de los límites que establece la Norma ASTM C 33, debe producir un concreto trabajable en condiciones ordinarias, si el módulo de fineza de la combinación de agregados se aproxima a los valores indicados en la tabla 7.2.

Tabla 7.2. Módulo de fineza de la combinación de agregados.

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso		Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para contenidos de cemento en sacos/metro cúbico indicados.				
mm.	Pulg.	5	6	7	8	9
10	3/8	3.88	3.96	4.04	4.11	4.19
12.5	1/2	4.38	4.46	4.54	4.61	4.69
20	3/4	4.88	4.96	5.04	5.11	5.19
25	1	5.18	5.26	5.34	5.41	5.49
40	1 1/2	5.48	5.56	5.64	5.71	5.79
50	2	5.78	5.86	5.94	6.01	6.09
70	3	6.08	6.16	6.24	6.31	6.39

\* Los valores de la Tabla están referidos a agregado grueso de perfil angular y adecuadamente graduado, con un contenido de vacíos del orden del 35%. Los valores indicados deben incrementarse o disminuirse en 0.1 por cada 5% de disminución o incremento en el porcentaje de vacíos.

\*\* Los valores de la Tabla pueden dar mezclas ligeramente sobrearenosas para pavimentos o estructuras ciclópeas. Para condiciones de colocación favorables pueden ser incrementados en 0.2.

De la tabla 7.2 obtenemos el módulo de fineza de la combinación de agregados ( $m_c$ ), al mismo tiempo contamos, previamente, con valores de los módulos de fineza del agregado fino ( $m_f$ ) y del agregado grueso ( $m_g$ ), de los cuales haremos uso para obtener el porcentaje de agregado fino respecto al volumen total de agregados mediante la siguiente fórmula:

$$r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} \times 100$$

Donde:

$r_f$  : Porcentaje del volumen de agregado fino con respecto al volumen total de agregados.

Entonces los volúmenes de agregado fino y agregado grueso por metro cúbico de concreto son:

$$\text{Vol. total de agregados} = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. aire} + \text{Vol. cemento})$$

$$\text{Vol. agregado fino (m}^3\text{)} = \frac{r_f}{100} \times (\text{Vol. total de agregados})$$

$$\text{Vol. agregado grueso (m}^3\text{)} = \text{Vol. total de agregados} - \text{Vol. agregado fino}$$

Por tanto, los pesos de los agregados en un metro cúbico de concreto son:

$$\text{Peso agregado fino (kg / m}^3\text{)} = (\text{Vol. agregado fino}) (\text{Peso específico del agregado fino})$$

$$\text{Peso agregado grueso (kg / m}^3\text{)} = (\text{Vol. agregado grueso}) (\text{Peso específico del ag. grueso})$$

### **METODO DE WALKER:**

La tabla 7.3, elaborado por Walter, permite determinar el porcentaje aproximado de agregado fino en relación al volumen total de agregados, en función del módulo de fineza del agregado fino, el tamaño máximo nominal del agregado grueso, el perfil del mismo y el contenido de cemento en la unidad cúbica de concreto.



Tabla 7.3. Porcentaje de agregado fino

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso		Agregado Redondeado				Agregado Angular			
		Factor cemento expresado en sacos por metro cúbico				Factor cemento expresado en sacos por metro cúbico			
mm.	Pulg.	5	6	7	8	5	6	7	8
Agregado Fino – Módulo de Fineza de 2.3 a 2.4									
10	3/8	60	57	54	51	69	65	61	58
12.5	1/2	49	46	43	40	57	54	51	48
20	3/4	41	38	35	33	48	45	43	41
25	1	40	37	34	32	47	44	42	40
40	1 1/2	37	34	32	30	44	41	39	37
50	2	36	33	31	29	43	40	38	36
70	3	34	32	30	28	41	38	36	34
Agregado Fino – Módulo de Fineza de 2.6 a 2.7									
10	3/8	66	62	59	56	75	71	67	64
12.5	1/2	53	50	47	44	61	58	55	53
20	3/4	44	41	38	36	51	48	46	44
25	1	42	39	37	35	49	46	44	42
40	1 1/2	40	37	35	33	47	44	42	40
50	2	37	35	33	32	45	42	40	38
70	3	35	33	31	30	43	40	38	36
Agregado Fino – Módulo de Fineza de 3.0 a 3.1									
10	3/8	74	70	66	62	84	80	76	73
12.5	1/2	59	56	53	50	70	66	62	59
20	3/4	49	46	43	40	57	54	51	48
25	1	47	44	41	38	55	52	49	46
40	1 1/2	44	41	38	36	52	49	46	44
50	2	42	38	36	34	49	46	44	42
70	3	39	36	34	32	46	43	41	39

\* Los valores de la Tabla corresponden a porcentajes del agregado fino en relación al volumen absoluto total de agregado.

\*\* Los valores corresponden a agregado grueso angular en concretos de peso normal sin aire incorporado.

De la tabla obtenemos el valor de  $\alpha$  (porcentaje de agregado fino), con el cual procedemos de la siguiente manera:

$$Vol. total de agregados = 1 - (Vol. agua + Vol. aire + Vol. cemento)$$

$$Vol. agregado fino (m^3) = \frac{\alpha}{100} x (Vol. total de agregados)$$

$$Vol. agregado grueso (m^3) = Vol. total de agregados - Vol. agregado fino$$

Por tanto, los pesos de los agregados en un metro cúbico de concreto son:

$$Peso agregado fino (kg / m^3) = (Vol. agregado fino) (Peso específico del agregado fino)$$

$$Peso agregado grueso (kg / m^3) = (Vol. agregado grueso) (Peso específico del ag. grueso)$$

## 9. Ajustes por humedad y absorción

El contenido de agua añadida para formar la pasta será afectada por el contenido de humedad de los agregados. Si ellos están secos al aire absorberán agua y disminuirán la relación a/c y la trabajabilidad. Por otro lado si ellos tienen humedad libre en su superficie (agregados mojados) aportarán algo de esta agua a la pasta aumentando la relación a/c, la trabajabilidad y disminuyendo la resistencia a compresión. Por lo tanto estos efectos deben ser tomados estimados y la mezcla debe ser ajustada tomándolos en cuenta.

Por lo tanto:

Si:

$$\begin{array}{l} \text{Agregado Grueso} \\ \text{Agregado Fino} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \text{Humedad} = \%W_g \\ \% \text{ absorcion} = \%a_g \\ \text{Humedad} = \%W_f \\ \% \text{ absorcion} = \%a_f \end{array} \right.$$

Pesos de agregados húmedos:

$$\text{Peso A. grueso humedo (kg)} = (\text{Peso A. grueso seco}) \cdot \left(1 + \frac{\%W_g}{100}\right)$$

$$\text{Peso A. fino humedo (kg)} = (\text{Peso A. fino seco}) \cdot \left(1 + \frac{\%W_f}{100}\right)$$

Agua Efectiva:

$$\text{Agua en agregado grueso} = (\text{Peso A. grueso seco}) \cdot \left(\frac{\%W_g - \%a_g}{100}\right) = X$$

$$\text{Agua en agregado fino} = (\text{Peso A. fino seco}) \cdot \left(\frac{\%W_f - \%a_f}{100}\right) = Y$$

$$\text{Agua efectiva (Lts)} = \text{Agua de diseño} - (X + Y)$$

## 10. Cálculo de las proporciones en peso

Cemento : agregado fino : agregado grueso / agua

$$\frac{\text{Peso cemento}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Peso A. fino humedo}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Peso A. grueso humedo}}{\text{Peso cemento}} / \frac{\text{Agua efectiva}}{\text{Peso cemento}}$$

## 11. Cálculo de las proporciones en volumen

### 11.1. Datos necesarios:

- Peso unitario suelto del cemento ( $1500 \text{ kg/m}^3$ ).
- Pesos unitarios sueltos de los agregados fino y grueso (en condición de humedad a la que se ha determinado la dosificación en peso).

### 11.2. Volúmenes en estado suelto:

$$\begin{aligned} \text{❖ Cemento} & : \quad \text{Vol. cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso cemento (kg)}}{\text{P.U. cemento (1500 kg / m}^3\text{)}} \\ \text{❖ Agregado fino} & : \quad \text{Vol. A. fino (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso A. fino humedo (kg)}}{\text{P.U. A. fino humedo (kg / m}^3\text{)}} \\ \text{❖ Agregado grueso} & : \quad \text{Vol. A. grueso (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso A. grueso humedo (kg)}}{\text{P.U. A. grueso humedo (kg / m}^3\text{)}} \end{aligned}$$

En el caso del **agua**, éste se calculará en litros por bolsa de cemento (*Lts/Bls*), se la siguiente manera:

$$\text{Agua (Lts/Bls)} = \frac{\text{Cantidad de agua por m}^3 \text{ de C}^\circ}{\left( \frac{\text{Peso cemento por m}^3 \text{ de C}^\circ}{\text{Peso cemento por bolsa (42.5)}} \right)}$$

### 11.3. Proporciones en volumen:

Cemento : agregado fino : agregado grueso / agua (*Lts/Bls*)

$$\begin{array}{ccccccc} \frac{\text{Vol. cemento}}{\text{Vol. cemento}} & : & \frac{\text{Vol. A. fino}}{\text{Vol. cemento}} & : & \frac{\text{Vol. A. grueso}}{\text{Vol. cemento}} & / & \text{Agua (Lts/Bls)} \\ \text{C} & : & \text{F} & : & \text{G} & / & \text{A} \end{array}$$

## 12. Cálculo de cantidades por tanda:

### 12.1. Datos necesarios:

- Capacidad de la mezcladora.
- Proporciones en volumen.

### 12.2. Cantidad de bolsas de cemento requerido:

$$\text{Cant. de bls de requerida} = \frac{(\text{Capacidad mezcladora (pie}^3\text{)}) (0.0283 \text{ m}^3) (\text{Peso cemento (kg)})}{\text{Peso cemento por bolsa (42.5 kg)}}$$

### 12.3. Eficiencia de la mezcladora:

Debido a que la mezcladora debe ser abastecida por un número entero de bolsas de cemento, la *cantidad de bolsas de cemento por tanda* será igual a un número entero menor a la *cantidad de bolsas requerida* por la mezcladora.

$$Eficiencia(\%) = \frac{Cantidad\ de\ bolsas\ de\ cemento\ por\ tanda}{Cantidad\ de\ bolsas\ requerido} \times 100$$

### 12.4. Volumen de concreto por tanda:

$$Vol.\ de\ C^o\ por\ tanda = (Capacidad\ mezcladora\ (pie^3))(0.0283\ m^3) \left( \frac{Eficiencia(\%)}{100} \right)$$

### 12.5. Cantidades de materiales por tanda:

Teniendo las proporciones en volumen (C:F:G/A), calculamos las cantidades de materiales por tanda:

- ❖ Cemento : 1x2 = 2 bolsas.
- ❖ Agregado fino : Fx2 = Cantidad de A. fino en  $m^3$ .
- ❖ Agregado grueso : Gx2 = Cantidad de A. grueso en  $m^3$ .
- ❖ Agua : Ax2 = Cantidad de agua en *Lts*.

## 13. Referencias bibliográficas

- ❖ Abanto Castillo, Flavio. *Tecnología del Concreto*. Editorial San Marcos. Lima – Perú.
- ❖ American Concrete Institute – Capitulo Peruano. *Tecnología del Concreto*. 1998.
- ❖ ASOCEM. *Boletines Técnicos*. Lima – Perú.
- ❖ Neville, A.M. y Brooks, J.J. *Tecnología del Concreto*. Editorial Trillas. México D.F. 1998.
- ❖ Pasquel Carbajal, Enrique. *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*. Colegio de Ingenieros del Perú – Consejo Nacional. 1998.
- ❖ Polanco Rodríguez, Abraham. *Manual de Prácticas de Laboratorio de Tecnología del Concreto*. Universidad Autónoma de Chihuahua. México.
- ❖ Reglamento Nacional de Construcciones. *NTE E.060–Concreto Armado*. 2004.
- ❖ Rivva López, Enrique. *Diseño de Mezclas*. Lima – Perú. 1996.
- ❖ Sandoval Ocaña, Guillermo. *Apuntes de Clase del Curso de Tecnología del Concreto*. Universidad de Piura. Piura – Perú.