

Método de dosificación de hormigones de peso normal según "Jiménez Montoya, Álvaro García Meseguer y Francisco Morán Cabre"

Ing. Raul F. Velasquez Garzon

1. GENERALIDADES

El método propuesto en el capítulo 3 del texto Hormigón Armado 14a edición y anteriores, de Pedro Jiménez Montoya, Alvaro García Meseguer y Francisco Morán Cabré; se caracteriza por su sencillez, hace énfasis en la granulometría y nos da la posibilidad de utilizar hasta dos tamaños distintos de agregado grueso y diferentes tipos de cemento.

El aporte de este trabajo consiste en la elaboración de un procedimiento para la aplicación rápida del método. Con el objetivo de adaptar el método a nuestras condiciones las tablas para la obtención de los diferentes parámetros fueron aproximadas utilizando métodos de regresión.

Los resultados que se obtengan aplicando el procedimiento deben obligatoriamente ser comprobados mediante mezclas de prueba en laboratorio para su posterior aplicación en obra.

2. BASES DEL METODO

2.1. RESISTENCIA

Siendo f_{ck} la resistencia característica a la compresión exigida en el proyecto, para el diseño del hormigón se debe determinar la resistencia media a compresión f_{cm} valor superior a f_{ck} , con el objeto de garantizar la obtención de la resistencia de proyecto en obra. Dicho valor puede obtenerse aplicando la tabla 1. según las condiciones de ejecución o la tabla 2. según el Código Modelo CEB-FIP-90 y ACI-316-84 para condiciones de ejecución suficientemente buenas.

2.2. RELACION AGUA/CEMENTO (a/c)

La resistencia del hormigón y la durabilidad es función de muchos factores: tipo, clase y cantidad de cemento, características, granulometría y tamaño máximo del árido, compactación, curado, y otros; pero fundamentalmente de la relación a/c.

Como primera aproximación se puede utilizar la siguiente relación:

$$c/a = k * f_{cm} + 0.5$$

c/a = Concentración de la pasta o relación cemento/agua, en peso

k = Coeficiente cuyos valores se encuentran en la tabla 3.

f_{cm} = Resistencia media expresada en MPa

La durabilidad del hormigón está ligado a su compacidad o impermeabilidad, por esta razón se limita la relación a/c y el contenido de cemento. La máxima relación a/c y mínimo contenido de cemento a aplicarse se puede obtener de la tabla 4., estos valores son recomendados por el Código Modelo CEB-FIP, la Norma europea ENV-206 y la Instrucción Española.

2.3. CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN Y CANTIDADES DE AGUA Y CEMENTO

En función del tipo de elemento y sus características (tamaño de la sección, distancia entre barras, etc.) y teniendo en cuenta la forma de compactación prevista, se fija la consistencia que ha de tener el hormigón. A tal efecto, pueden

ser útiles las indicaciones de la tabla 6.

Fijada la consistencia, se determina la cantidad de agua por metro cúbico de hormigón, según los valores de la tabla 7. Teniendo la cantidad de agua y conocida la relación agua/cemento, es fácil determinar la cantidad de cemento en kg/m³

$$\text{Cantidad de cemento } c = \text{agua} / (a/c)$$

2.4. COMPOSICIÓN GRANULOMETRICA DE LOS ARIDOS

Para obtener mezclas mas económicas es importante tomar en cuenta que se requiere agregados con un mayor grado de compacidad que da lugar a un menor volumen de huecos y por tanto será menor la cantidad de pasta de cemento necesaria para rellenar estos huecos. La granulometría de compacidad elevada se consiguen con mezclas pobres en arena y que requieren poca cantidad de agua de amasado, pero estas mezclas dan lugar a masas poco trabajables. Por el contrario para que la masa de hormigón sea trabajable y no se disgregue durante su colocación debe tener un contenido óptimo de granos finos, con lo que disminuirá la compacidad del árido y será necesario emplear mayor cantidad de agua y cemento. En todo caso habrá que adoptar una solución que satisfaga a ambos aspectos.

El estudio de la composición granulométrica del árido total consiste en definir los porcentajes óptimos de los diferentes áridos disponibles, para conseguir el hormigón que se desea.

Con respecto a las áridos se han propuesto métodos que hacen referencia al caso de granulometría continua, en el que se encuentran representados todos los tamaños de granos; y otros al caso de granulometrías discontinuas, en el que faltan algunos elementos intermedios, por lo que la curva granulométrica presenta un escalón horizontal.

En el presente caso no nos ceñiremos exactamente a la curva teórica de Fuller, bastara con que el módulo granulométrico de la curva compuesta sea el mismo que el de la teórica. El módulo granulométrico de áridos que siguen la parábola de Fuller podemos obtenerlo de la tabla 8.

Como alternativa podemos utilizar los valores óptimos del módulo granulométrico propuesto por Abrams para hormigones ordinarios que se dan en la tabla 9.

Una vez elegido el módulo granulométrico teórico con el que se trabajara, se determinan las proporciones en que deben mezclarse los áridos a partir de sus módulos granulométricos. Si m_a , m_g y m son los módulos granulométricos de la arena, grava y el teórico respectivamente, se deducen los porcentajes x e y , en peso, en que deben mezclarse la arena y la grava, resolviendo las ecuaciones:

$$m_a x/100 + m_g y/100 = m \quad (1)$$

$$x + y = 100 \quad (2)$$

En la figura 1 se han dibujado, en papel semilogaritmico, las curvas granulométricas de la arena y la grava, así como la parábola de Fuller y la correspondiente al árido compuesto. Al ser iguales los módulos granulométricos de las dos últimas, las zonas rayadas a uno y otro lado de la parábola de Fuller son equivalentes.

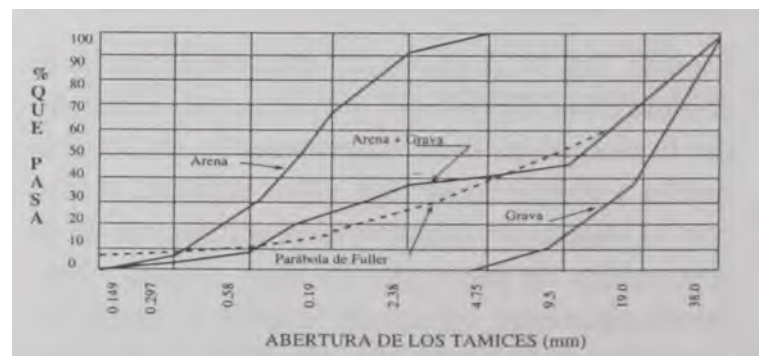


Figura 1. Curvas granulométricas de los áridos

Si se trata de tres áridos (arena, gravilla y grava) (le módulos ^g ranulométricos i ^g uales a m_0 , m_1 y m_2 respectivamente, se escogerán los módulos granulométricos teóricos correspondientes al tamaño máximo de la gravilla (m_0) y de la grava (m_2). Con tales datos, los porcentajes x , y , z en que deben mezclarse la arena, la gravilla y la grava se obtienen sucesivamente, de las siguientes ecuaciones:

$$x + y = 100 * (m_2 - m_0)/(m_2 - m_0) \quad (1)$$

$$x = (x + y) * (m_1 - m_0)/(m_1 - m_0) \quad (2)$$

$$y = (x + y) - x \quad (3)$$

$$z = 100 - (x + y) \quad (4)$$

2.5. PROPORCIONES DE LA MEZCLA

Para determinar las cantidades necesarias de los distintos materiales para obtener un metro cúbico de hormigón, hay que tener en cuenta la contracción que experimenta el hormigón fresco, que puede evaluarse en un 2.5 %. Ello se debe a que el agua se evapora en parte; en otra parte es absorbida por el árido; y el resto debido a la retracción de la pasta de cemento.

Por tanto, la suma de los volúmenes de los distintos materiales debe ser 1025 litros, para obtener un metro cúbico de hormigón:

$$a + c/p + G_1/p_1 + G_2/p_2 = 1025$$

a = Litros de agua por m^3 de hormigón

c = Peso del cemento en kg por m^3 de hormigón

p = Peso específico real del cemento en kg/lt

G_1 y G_2 = Pesos de la arena y de la grava, en kg por m^3 de hormigón

p_1 y p_2 = Pesos específicos reales de la arena y de la grava, en kg/lt

2.6. AIRE INCLUIDO

En hormigones con aire puede disminuirse el agua, por m^3 de hormigón, en la proporción de 3 litros por cada 1 % de aire incluido. Esto nos obliga a ajustar la cantidad de alguno de sus componentes; en este caso consideremos la arena.

$$\text{Agua} = \text{Agua inicial} - 3 * \% \text{ de aire ocluido}$$

La cantidad de arena viene dado por:

$$G_1 = [1025 - a - c/p - G_2/p_2 - (\% \text{aire} / 100) * 1000] *$$

3. PROCEDIMIENTO

3.0. DATOS REQUERIDOS

- Tipo de cemento
- Peso específico del cemento
- Peso específico de la grava condición seca, porcentaje de absorción y porcentaje de humedad
- Peso específico de la arena condición seca, porcentaje de absorción y porcentaje de húmeda.
- Módulos granulométricos de los agregados
- Tipo de agregado (rodados o chancados)
- fck Resistencia característica a la compresión especificada del hormigón a los 28 días expresada en Mpa
- Condiciones de ejecución

3.1. Cálculo de la resistencia media f_{cm}

Se determina de la tabla 1. o tabla 2.

3.2. Relación agua/cemento

El menor valor obtenido de:

$$c/a = k^* f_{cm} + 0.5$$

c/a = Concentración de la pasta o relación cemento/agua, en peso

k = Coeficiente cuyos valores se encuentran en la tabla 3.

f_{cm} = Resistencia expresada en MPa

y de la tabla 4.

3.3. Elección del tamaño máximo del agregado.

Cuanto mayor sea el tamaño del árido, menor agua se necesitará para conseguir la consistencia deseada, ya que la superficie específica de los áridos (superficie a mojar) será más pequeña. Como consecuencia, podrá reducirse la cantidad de cemento, resultando más económico el hormigón para la misma resistencia.

Conviene, por lo tanto emplear el mayor tamaño posible de árido, siempre que sea compatible con las exigencias de puesta en obra. Estas imponen que el tamaño del árido no exceda del menor de los dos límites siguientes:

1. La cuarta parte de la anchura, espesor o dimensión mínima de la pieza entre encofrados, o la tercera parte si se encofra por una sola cara.
2. Los cinco sextos de la distancia horizontal libre entre barras, o entre éstas y el encofrado.

Por otra parte, tamaños superiores a 40 mm no siempre conducen a mejoras de resistencia, porque con áridos muy gruesos disminuye en exceso la superficie adherente y se crean discontinuidades importantes dentro de la masa, especialmente si ésta es rica en cemento.

En la tabla 5. se indican los valores del tamaño mínimo del árido que pueden recomendarse para los distintos tipos de obras.

3.4. Determinación de la consistencia (Asentamiento en el cono de Abrams (As))

Si dicho valor no está impuesto en las especificaciones de proyecto se puede obtener de la tabla 6. en función del tipo de compactación a aplicar en obra.

3.5. Determinación de la dosis de agua (a).

Se determina de la tabla 7.

3.6. Cálculo de la dosis de cemento (c).

$$c = \text{Dosis de agua} / (a/c) \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

3.7. Composición granulométrica del árido total.

Si se va a utilizar agregado fino de módulo granulométrico (m_a) y un solo tipo de agregado grueso de módulo granulométrico (m_g), el módulo granulométrico teórico (m) se obtiene de la tabla 8. ó tabla 9., y las proporciones de áridos a utilizarse se determina de:

$$m_a x/100 + m_g y/100 = m \quad (1)$$

$$x + y = 100 \quad (2)$$

x = % de agregado fino

y = % de agregado grueso

Cuando se va a emplear dos tipos de agregados gruesos de módulos granulométricos (m_1) y (m_2), se obtienen los módulos granulométricos teóricos correspondientes al del agregado grueso 1 (m_{o1}) y del agregado grueso 2 (m_{o2}) de la tabla 8. ó tabla 9. Con tales datos, los porcentajes x , y , z en que deben mezclarse el agregado fino y los agregados gruesos 1 y 2 se obtienen de las siguientes ecuaciones:

$$x + y = 100 * (m_2 - m_{o2}) / (m_2 - m_{o1}) \quad (1)$$

$$x = (x + y) * (m_1 - m_{o1}) / (m_1 - m_o) \quad (2)$$

$$y = (x + y) - x \quad (3)$$

$$z = 100 - (x + y) \quad (4)$$

x = % de agregado fino

y = % de agregado grueso 1

z = % de agregado grueso 2

3.8. Proporciones de la mezcla

Si el hormigón va a estar compuesto por dos áridos las cantidades se obtienen de:

$$a + c/p + G1/p1 + G2/p2 = 1025 \quad (1)$$

$$G1/G2 = x/y \quad (2)$$

a = Litros de agua por m³ de hormigón

c = Peso del cemento en kg por m³ de hormigón

P = Peso específico real del cemento en kg/lt

$G1$ y $G2$ = Pesos de la arena y de la grava, en kg por m³ de hormigón

$p1$ y $p2$ = Pesos específicos reales de la arena y de la grava, en kg por litro

Si el hormigón va a estar compuesto por tres áridos las cantidades se obtienen de:

$$a + c/p + G1/p1 + G2/p2 + G3/p3 = 1025 \quad (1)$$

$$G1/G2 = x/y \quad (2)$$

$$G1/G3 = x/z$$

a = Litros de agua por m³ de hormigón

c = Peso del cemento en kg por m³ de hormigón

p = Peso específico real del cemento en kg/lt

$G1$, $G2$, $G3$ = Pesos de la arena, grava 1 y de la grava 2, en kg por m³ de hormigón

$p1$, $p2$ y $p3$ = Pesos específicos reales de la arena, grava 1 y grava 2, en kg por litro

3.9. Caso de aire incluido.

Se puede usar como referencia la tabla 10. del método ACI.211.1. Definida la cantidad de aire incluido en el hormigón en %, la cantidad de agua a utilizarse será:

Agua = Agua inicial - 3* % de aire ocluido

La cantidad de arena viene dado por:

$$G1 = (1025 - a - c/p - G2/p2 - (\%aire/100)*1000) * p1$$

4. Ajustes por contenido de humedad del agregado

Las cantidades que realmente se deben pesar para el concreto deben considerar la humedad del agregado.

Los agregados están generalmente húmedos y sus pesos secos se deben incrementar con el porcentaje de agua tanto absorbida como superficial que contienen.

$$G1h = G1 (1 + \%hG1/100)$$

$$G2h = G2(1 + \%hG2/100)$$

El agua de mezclado que se añade a la mezcla se obtiene restando del agua calculada el agua libre que contienen los áridos

$$aañ = a - G1(\%hG1 - \%aG1)/100 - G2(\%hG2 - \%aG2)/100$$

EJEMPLO

Determine las cantidades de las componentes del hormigón por el método de "P. J. Montoya, A. G. Meseguer y F. M. Cabre" cuyos datos son los siguientes:

Hormigón f_c' [MPa]

30

Asentamiento máximo [cm]	7.5	Módulo de fineza de la arena	2.67
Tamaño máximo nominal del agregado grueso 2 [plg]	1"	Tipo de cemento	IP-40
Tamaño máximo nominal del agregado grueso 1 [plg]	3/8"	Arido fino rodado	
Módulo granulométrico de la grava 1"	6.92	Aridos gruesos chancados	
Módulo granulométrico de la gravilla 3/8"	5.99	Condiciones de ejecución buenas	

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

MATERIAL	PESO ESPECIFICO	P. U. SUELTO [Kg/m3]	P. U. COMPAC. [Kg/m3]	ABSORCION %
Cemento	3.02	1115		
Arena	2.57	1650	1840	1.90
Gravilla 3/8"	2.58	1580	1770	1.75
Grava 1"	2.59	1550	1720	
Agua	1.00			

Solución

De la tabla 4.:

Paso 1. Cálculo de la resistencia media fcm

a/c (máxima) = 0.65 (1 Interior de edificios, exterior con baja humedad)

Para condiciones de ejecución buenas:

Contenido mínimo de cemento 250 kg/m3

Tabla 1. en MPa $f_{cm} = 1.35 f_{ck} + 1.5 = 1.35 * 30 + 1.5 = 42$

Elegimos a/c = 0.54

Tabla 2. en MPa $f_{cm} = f_{ck} + 8.0 = 30 + 8.0 = 38$

Paso 3. Elección del tamaño máximo del agregado.

Elegimos: fcm = 42 MPa

TMN = 1" (dado)

Paso 2. Relación agua/cemento

Paso 4. Determinación de la consistencia (Asentamiento en le cono de Abrams (As)

$c/a = k * f_{cm} + 0.5$

As = 7.5 cm (dado)

De la tabla 3.: k = 0.032 (para cemento IP-40 y áridos chancados)

Paso 5. Determinación de la dosis de agua (a).

$c/a = 0.032 * 42 + 0.50 = 1.844$

De la tabla 7.: a = 220 lt/m3 (Interpolando)

$a/c = 1/1.844 = 0.54$

Paso 6. Cálculo de la dosis de cemento (c).

$$c = \text{Dosis de agua} / (a/c) = 220/0.54 = 407 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Paso 7. Composición granulométrica del árido total.

Módulos granulométricos de los áridos:

$$\text{Grava de 1" } m_2 = 6.92$$

$$\text{Gravilla de 3/8" } m_1 = 5.99$$

$$\text{Arena } m_0 = 2.67$$

Módulos granulométricos teóricos:

$$\text{De la tabla 9.: Grava 1" } m_1 = 5.60$$

$$\text{Gravilla 3/8" } m_1 = 4.40$$

Reemplazando en:

$$x + y = 100 * (m_2 - m_0) / (m_2 - m_1) \quad (1)$$

$$x = (x + y) * (m_1 - m_0) / (m_1 - m_0) \quad (2)$$

$$y = (x + y) - x \quad (3)$$

$$z = 100 - (x + y) \quad (4)$$

$$x + y = 100 * (6.92 - 5.60) / (6.92 - 4.40) = 52.38 \quad (1)$$

$$x = 52.38 * (5.99 - 4.40) / (5.99 - 2.67) = 25.08 \quad (2)$$

$$y = 52.38 - 25.08 = 27.30 \quad (3)$$

$$z = 100 - 52.38 = 47.63 \quad (4)$$

$$x = 25.08 \% \text{ de agregado fino}$$

$$y = 27.30 \% \text{ de agregado grueso 1 (gravilla de 3/8")}$$

$$z = 47.63 \% \text{ de agregado grueso 2 (grava de 1")}$$

Paso 8. Proporciones de la mezcla

Reemplazando en:

$$a + c/p + G_1/p_1 + G_2/p_2 + G_3/p_3 = 1025 \quad (1)$$

$$G_1/G_2 = x/y \quad (2)$$

$$G_1/G_3 = x/z \quad (3)$$

$$220 + 407/3.02 + G_1/2.57 + G_2/2.58 + G_3/2.59 = 1025 \quad (1)$$

$$G_1/G_2 = 25.08/27.30 \quad (2)$$

$$G_1/G_3 = 25.08/47.63 \quad (3)$$

Resolviendo el sistema de 3 ecuaciones:

$$\text{Dosis de arena kg / m}^3 \quad G_1 = 434$$

$$\text{Dosis de gravilla 3/8" kg/m}^3 \quad G_2 = 472$$

$$\text{Dosis de grava 1" kg/m}^3 \quad G_3 = 824$$

Resumen:

$$\text{Agua} \quad \text{kg/m}^3 \quad 220$$

$$\text{Cemento} \quad \text{kg/m}^3 \quad 407$$

$$\text{Arena} \quad \text{kg/m}^3 \quad 434$$

$$\text{Gravilla 3/8" kg/m}^3 \quad 472$$

$$\text{Grava 1" kg/m}^3 \quad 824$$

Tabla 1. Valores orientativos de la Resistencia media fcm en función de la Resistencia característica fck

Condiciones previstas para la ejecución de obra *	Valor aproximado de la Resistencia media fcm necesaria en laboratorio para obtener en obra una Resistencia característica fck
Medias	$f_{cm} = 1.50 \cdot f_{ck} + 2.0$
Buenas	$f_{cm} = 1.35 \cdot f_{ck} + 1.5$
Muy buenas	$f_{cm} = 1.20 \cdot f_{ck} + 1.0$

(*) La definición precisa de estas condiciones puede encontrarse en el Código Boliviano del Hormigón Armado CBH - 87

Tabla 2. Valores orientativos de la Resistencia media f_{cm} en función de la Resistencia característica f_{ck} *

Código	Valor de f_{ck} que se desea en Mpa (N/mm ²)	Valor necesario de f_{cm} en Mpa (n/mm ²)
Código Modelo	$f_{ck} \leq 20$	$f_{cm} = f_{ck} + 8.0$
Código ACI	$f_{ck} < 20$	$f_{cm} = f_{ck} + 7.0$
	$20 \leq f_{ck} \leq 35$	$f_{cm} = f_{ck} + 8.5$
	$f_{ck} > 35$	$f_{cm} = f_{ck} + 10.0$

* Para condiciones de ejecución suficientemente buenas

Tabla 3. Valores orientativos de k

Cemento	Aridos rodados	Aridos chancados
Pórtland Tipo 30	0.061	0.039
Pórtland Tipo 40	0.049	0.032
Pórtland Tipo 50	0.041	0.028

Tabla 4. Máxima relación agua/cemento y mínimo contenido de cemento en kg/m³, en función de las condiciones ambientales

Condiciones ambientales de la estructura		Máxima relación agua/cemento	Contenido mínimo de cemento	
			Ho en masa	Ho armado
I - Interior de edificios - Exterior con baja humedad	I	0.65	200	250
II - Interior de edificios con humedad alta - Exteriores normales - Elementos en contacto con aguas normales - Elementos en contacto con terrenos ordinarios	II Sin heladas	0.60	200	275
	II-h Con heladas	0.55	200	300
	II-f Con heladas y fundentes*	0.5	200	300
III - Elementos en atmósfera industrial agresiva - Elementos con atmósfera marina - Elementos en contacto con aguas salinas o ligeramente ácidas	III Sin heladas	0.55	200	300
	III-h Con heladas	0.5	200	300
	III-f Con heladas y fundentes*	0.5	200	325
IV - Ambientes con contenido de sustancias químicas capaces de provocar alteraciones del hormigón con velocidad...	IV-a ...lenta	0.5	225	325
	IV-b ...media	0.5	250	350
	IV-c ...alta	0.45	250	350

(*) Con fundentes (sales de deshielo), el hormigón debe contener un mínimo de 4.5% de aire ocluido.

Tabla 5. Valores recomendados para el tamaño máximo del árido

Dimensión mínima de la sección del elemento cm	Tipo de elemento y tamaño máximo del árido en mm			
	Vigas, pilares y muros armados	Muros sin armar	Losas muy armadas	losas armadas o sin armar
De 5 a 10	De 10 a 20	20	De 15 a 25	De 20 a 40
De 15 a 30	De 20 a 40	40	40	De 40 a 80
De 40 a 80	De 40 a 80	80	De 40 a 80	80
Más de 80	De 40 a 80	160	De 40 a 80	De 80 a 160

Tabla 6. Consistencias y formas de compactación

Consistencias	Asiento en cono de Abrams (cm)	Forma de compactación
Seca	0 a 2	Vibrado enérgico en taller
Plástica	3 a 5	Vibrado enérgico en obra
Blanda	6 a 9	Vibrado o apisonado
Fluida	10 a 15	Picado con barra
Escurrida	16	(No apta para elementos resistentes)

Conviene tomar en cuenta las siguientes observaciones:

- La consistencia a pie de tajo de colocación puede ser bastante diferente de la de salida de hormigonera, especialmente si el transporte

interior es apreciable y las condiciones ambientales son rigurosas.

Si la densidad de armaduras es grande, resultan muy preferibles las masas de mayor asiento bien compactadas, ya que las de menor asiento provocan el riesgo de coqueas.

Tabla 7. Litros de agua por metro cúbico*

Consistencia del hormigón	Asiento en cono de Abrams cm	Aridos rodados			Piedra partida y arena de machaqueo		
		80 mm	40 mm	20 mm	80 mm	40 mm	20 mm
Seca	a 2	135	155	175	155	175	195
Plástica	3 a 5	150	170	190	170	190	210
Blanda	6 a 9	165	185	205	185	205	225
Fluida	10 a 15	180	200	220	200	220	240

(*) Hormigones sin aditivos

Tabla 8. Módulo granulométrico de áridos que siguen la parábola de Fuller

Tamaño máximo del árido (mm)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Módulo granulométrico	5.21	5.45	5.64	5.82	6.00	6.16	6.29	6.40	6.51	6.60

Tabla 9. Valores óptimos del módulo granulométrico según Abrams para hormigones ordinarios

Contenido de cemento kg/m ³	Tamaño máximo del árido mm						
	10	15	20	25	30	40	60
275	4.05	4.45	4.85	5.25	5.6	5.8	6.00
300	4.2	4.6	5.00	5.4	5.65	5.85	6.20
350	4.3	4.7	5.1	5.5	5.73	5.88	6.30
400	4.4	4.8	5.2	5.6	5.8	5.9	6.40

Tabla 10. Contenido de aire deseado para distintos tamaños máximos de agregado según ACI.211.1.

	Agua, kg por metro cúbico de concreto, para los tamaños máximos de agregados indicados*							
	9.5 mm (3/8")	12.7 mm (1/2")	19.0 mm (3/4")	25.4 mm (1")	38.1 mm (1 1/2")	50.8 mm (2")	76.2 mm (3")	152.4 mm (6")
Concreto sin aire incluido								
Cantidad aproximada de aire atrapado en el concreto sin aire incluido, porciento	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
Contenido de aire total promedio recomendado porciento, para el nivel de exposición:+								
Baja	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Severa	7.5	7.0	6.0	6.0	6.0	5.0	4.5	4.0

- El contenido de aire en las especificaciones de obra deberá especificarse para ser entregado dentro de -1 a +2 puntos porcentuales del valor anotado en la tabla para las exposiciones moderada y severa.

BIBLIOGRAFIA

1. Pedro Jimenez Montoya, Alvaro García Meseguer, Francisco Morán Cabré Hormigón Armado 14^a edición, Gustavo Gili, S.A. 2005

2. F. Arredondo, Dosificación de hormigones, Manuales y normas del Instituto Eduardo Torroja de la construcción y del cemento