

Tema 10: HORMIGONES

- Definición.
- Factores de los que depende las características del hormigón.
- Dosificación: Esquema general.
- Relación agua/cemento.
- Tamaño máximo del árido.
- Consistencia del hormigón. Cantidad de agua y cemento.
- Composición granulométrica del árido. Condiciones del árido ideal.
- Parábolas de Fuller y Bolomey.
- Módulo granulométrico.
- Relación entre la resistencia y el módulo granulométrico.
- Proporción de la mezcla.
- Resumen sobre la resistencia y trabajabilidad del hormigón.

DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

El hormigón es el producto resultante de la mezcla de un aglomerante, arena, grava o piedra machacada y agua. Se puede considerar también como el resultado de agregar a un mortero grava o piedra machacada.

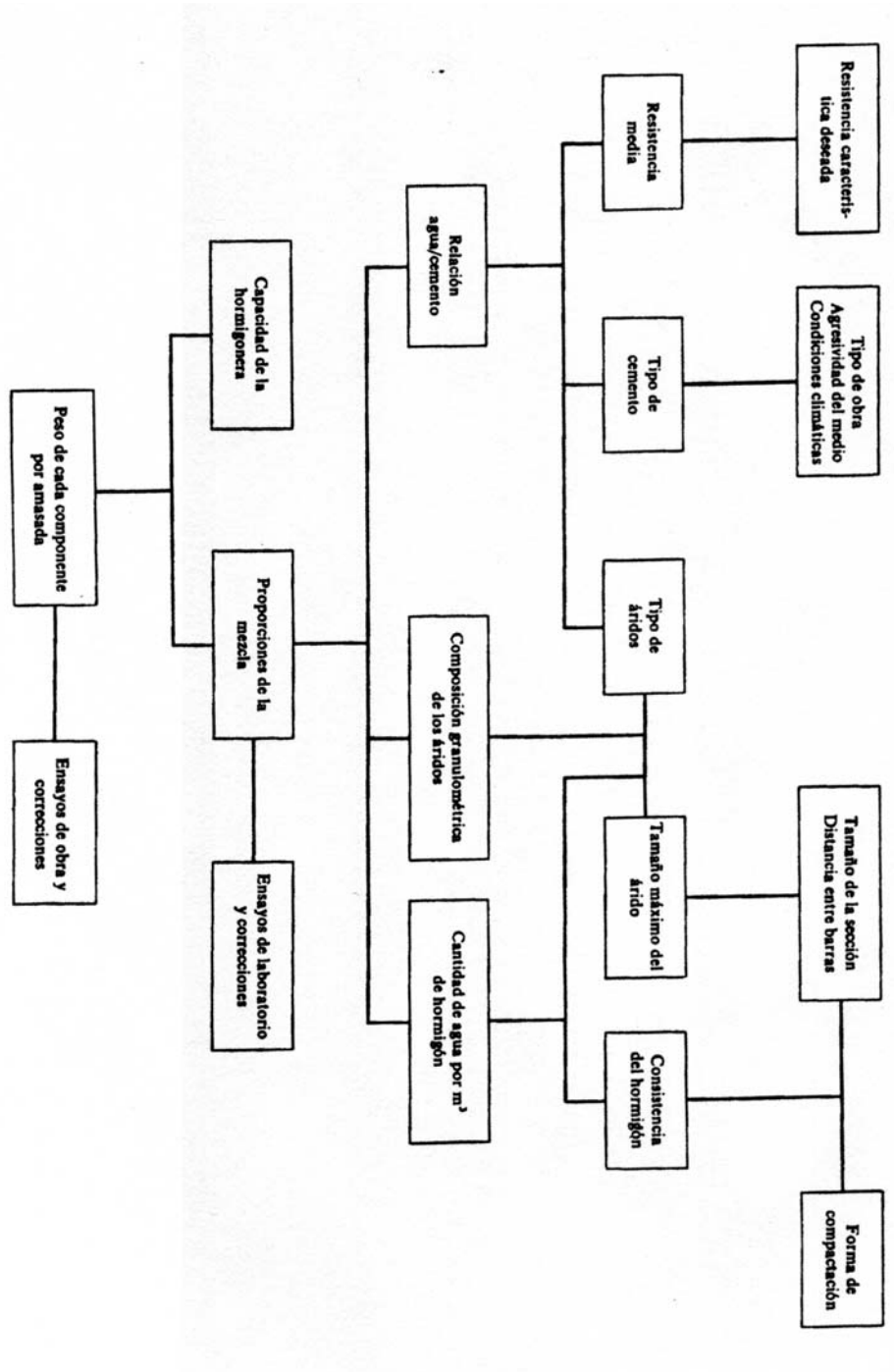
Al dosificar un hormigón deben tenerse en cuenta tres **factores fundamentales**, a partir de los cuales se han de determinar las cantidades necesarias de agua, cemento y áridos para obtener el hormigón deseado al más bajo coste posible.

- La resistencia
- La consistencia
- El tamaño máximo del árido

Orden a seguir en la dosificación de un hormigón:

1. Fijar la resistencia característica del hormigón de acuerdo con las condiciones previstas para la ejecución de la obra.
2. Elegir el tipo de cemento, en función de la clase de obra, la agresividad del medio y las condiciones climáticas.
3. Determinar la relación agua/cemento que corresponde a la resistencia media del hormigón, según el tipo de cemento y áridos empleados.
4. Determinar el tamaño máximo del árido, en función de los distintos elementos de la obra.
5. Estudiar la consistencia más conveniente del hormigón, según la forma de compactación en obra y, como consecuencia, fijar la cantidad aproximada de agua y determinar la cantidad de cemento correspondiente.
6. Establecer la proporción en que han de mezclarse los áridos disponibles, para que la curva granulométrica del árido total sea la más conveniente al hormigón en estudio.
7. Calcular las cantidades de agua, cemento y áridos necesarias para obtener un metro cúbico de hormigón.
8. Efectuar unas masas de prueba para comprobar si el hormigón obtenido tiene las características deseadas y, en caso contrario, hacer las correcciones necesarias.

Esquema del proceso de dosificación del hormigón



(Jiménez Montoya, García Messeguer, Morán Cabré)

RESISTENCIA DEL HORMIGÓN (EHE-08)

La resistencia característica f_{ck} de un hormigón es el valor que se adopta para la resistencia a compresión en los cálculos del proyecto, y está asociada a un nivel de confianza del 95%.

La resistencia característica f_{ck} que se consigue en obra es obviamente menor que la resistencia media f_{cm} obtenida en los ensayos de laboratorio.

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm}$$

$$f_{ct,m}(t) = \beta_{cc}(t)^\alpha \cdot f_{ct,m}$$

f_{cm}	Resistencia media a compresión a 28 días que puede calcularse como $f_{cm} = f_{ck} + 8$ si las condiciones de ejecución son buenas
$f_{ct,m}$	Resistencia media a tracción a los 28 días $f_{ct,m} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3}$ para $f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$
β_{cc}	Coeficiente que depende de la edad del hormigón $\beta_{cc} = \exp\left\{s \cdot \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{1/2}\right]\right\}$
t	Edad del hormigón en días
s	Coeficiente que depende del tipo de cemento =0,2 para cementos de alta resistencia y endurecimiento rápido (CEM 42,5R, CEM 52,5R) =0,25 para cementos normales y de endurecimiento rápido (CEM 32,5R, CEM 42,5) =0,38 para cementos de endurecimiento lento (CEM 32,5)
α	Coeficiente que depende de la edad del hormigón y de su resistencia característica a los 28 días: = 1 si $t < 28$ días = 2/3 si $t \geq 28$ días y $f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$ a los 28 días

RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

VALORES ORIENTATIVOS DE LA RESISTENCIA MEDIA EN FUNCION DE LA RESISTENCIA CARACTERISTICA		
Código	Valor de f_{ck} que se desea en N/mm^2 (MPa)	Valor necesario de f_{cm} en N/mm^2 (MPa)
Código Modelo	$f_{ck} \leq 50$	$f_{cm} = f_{ck} + 8,0$
Código ACI	$f_{ck} \leq 20$	$f_{cm} = f_{ck} + 7,0$
	$20 \leq f_{ck} \leq 35$	$f_{cm} = f_{ck} + 8,5$
	$f_{ck} > 35$	$f_{cm} = f_{ck} + 10,0$

Tabla 37.3.2.b Resistencias mínimas recomendadas en función de los requisitos de durabilidad (*)

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	CLASE DE EXPOSICIÓN												
		I	Ila	Ilb	IIla	IIlb	IIlc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
resistencia Mínima (N/mm^2)	masa	20	-	-	-	-	-	-	30	30	35	30	30	30
	armado	25	25	30	30	30	35	30	30	30	35	30	30	30
	pretensado	25	25	30	30	35	35	35	30	35	35	30	30	30

(*) Estos valores reflejan las resistencias que pueden esperarse con carácter general cuando se emplean áridos de buena calidad y se respetan las especificaciones estrictas de durabilidad incluidas en esta Instrucción. Se trata de una tabla meramente orientativa, al objeto de fomentar la deseable coherencia entre las especificaciones de durabilidad y las especificaciones de resistencia. En este sentido, se recuerda que en algunas zonas geográficas en las que los áridos sólo pueden cumplir estrictamente las especificaciones definidos para ellos en esta Instrucción, puede ser complicado obtener estos valores.

RELACIÓN AGUA/CEMENTO

A pesar de que la relación A/C es el factor que más influye en la resistencia del hormigón, no pueden darse valores fijos que relacionen ambas magnitudes.

VALORES ORIENTATIVOS DE LA RELACION AGUA/CEMENTO EN FUNCION DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGON A COMPRESION A 28 DIAS					
Resistencia del hormigón (N/mm ²)		Áridos rodados (*)		Áridos machacados (*)	
f _{ck}	f _{cm}	CEM-I/32,5	CEM-I/42,5	CEM-I/32,5	CEM-I/42,5
20	28	0,55	0,60	0,65	-
25	33	0,50	0,55	0,60	0,65
30	39	0,45	0,50	0,55	0,60
35	44	0,40	0,45	0,50	0,55
40	50	-	0,40	0,45	0,50
(*) Hormigones sin aditivos					

La relación A/C debe ser tan baja como sea posible, pero teniendo en cuenta que debe permitir una adecuada trabajabilidad y compactación del hormigón y que debe evitarse, el fenómeno de la segregación de los áridos gruesos. A veces, para conseguir estas características, es necesario utilizar mayor cantidad de cemento de la estrictamente necesaria, o emplear aditivos adecuados.

RELACIÓN AGUA/CEMENTO

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

Clase de exposición	Máxima relación A/C			Mínimo contenido de cemento		
	H. en masa	H. armado	H. pretensado	H. en masa	H. armado	H. pretensado
I	0,65	0,65	0,60	200	250	275
IIa	—	0,60	0,60	—	275	300
IIb	—	0,55	0,55	—	300	300
IIIa	—	0,50	0,50	—	300	300
IIIb	—	0,50	0,45	—	325	325
IIIc	—	0,45	0,45	—	350	350
IV	—	0,50	0,45	—	325	325
Qa	0,50	0,50	0,50	275	325	325
Qb	0,50	0,50	0,45	300	350	350
Qc	0,45	0,45	0,45	325	350	350
H	0,55	0,55	0,55	275	300	300
F	0,50	0,50	0,50	300	325	325
E	0,50	0,50	0,50	275	300	300

— Si el tipo de ambiente incluye *varias clases específicas de exposición*: se adoptará el criterio más exigente.

— Si se utilizan *adiciones* en la fabricación del hormigón: se podrá tener en cuenta su empleo a los efectos del cálculo de los parámetros de la tabla, sustituyendo:

- El contenido de cemento C (kg/m³) por $C + K \cdot F$.
- La relación agua cemento A/C, por $A/(C + K \cdot F)$.

siendo F (kg/m³) el contenido de adición, y K el coeficiente.

- En el caso de cenizas volantes $K \neq 0,20K$ si se emplea un cemento CEM I 32,5, ni superior a 0,40 en el caso de cementos CEM I con otras categorías resistentes superiores. La Dirección Facultativa podrá admitir, bajo su responsabilidad, valores superiores del coeficiente de eficacia pero no mayores de 0,65, siempre que ello se deduzca como una estimación centrada en mediana del valor característico real, definido como el cuantil del 5% de la distribución de valores de K. La estimación referida procederá de un estudio experimental que deberá ser validado previamente por el correspondiente organismo certificador del hormigón y que no sólo tenga en cuenta la resistencia sino también el comportamiento frente a la agresividad específica del ambiente al que va a estar sometida la estructura.

- En el caso de humo de sílice $K \leq 2$, excepto en el caso de hormigones con relación $A/C > 0,45$ que vayan a estar sometidos a clase de exposición H o F, en cuyo caso $K=1$

En el caso de utilización de adiciones, los contenidos de cemento no podrán ser inferiores a 200, 250 ó 275 kg/m³, según se trate de hormigón en masa, armado o pretensado.

Recomendaciones para la selección del tipo de cemento a emplear en hormigones estructurales

TABLA A.4.2 Tipos de cementos en función de la aplicación del hormigón

APLICACIÓN	CEMENTOS RECOMENDADOS
Hormigón en masa	Todos los cementos comunes, excepto los tipos CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T, CEM II/B-T y CEM III/C Cementos para usos especiales ESP VI-1 (*)
Hormigón armado	Todos los cementos comunes excepto los tipos CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM III/C, CEM V/B
Hormigón pretensado incluidos los prefabricados estructurales	Cementos comunes (**) de los tipos CEM I, CEM II/A-D, CEM II/A-V, CEM II/A-P y CEM II/A-M (V-P) (***)
Elementos estructurales prefabricados de hormigón armado	Resultan muy adecuados los cementos comunes (**) de los tipos CEM I, CEM II/A .y adecuado el cemento común tipo CEM IV/A cuando así se deduzca de un estudio experimental específico.
Hormigón en masa y armado en grandes volúmenes	Resultan muy adecuados los cementos comunes CEM III/B y CEM IV/B y adecuados los cementos comunes tipo CEM II/B, CEM III/A, CEM IV/A y CEM V/A, Cementos para usos especiales ESP VI-1 (*) Es muy recomendable la característica adicional de bajo calor de hidratación (LH) y de muy bajo calor de hidratación (VLH), según los casos
Hormigón de alta resistencia	Muy adecuados los cementos comunes tipo CEM I y adecuados los cementos comunes tipo CEM II/A-D y CEM II/A 42,5 R. El resto de cementos comunes tipo CEM II/A pueden resultar adecuados cuando así se deduzca de un estudio experimental específico.
Hormigones para reparaciones rápidas de urgencia	Los cementos comunes tipo CEM I, CEM II/A-D, y el cemento de aluminato de calcio (CAC),
Hormigones para desencofrado y descimbrado rápido	Los cementos comunes (**) tipo CEM I, y CEM II,
Hormigón proyectado	Los cementos comunes tipo CEM I, y CEM II/A
Hormigones con áridos potencialmente reactivos (****)	Resultan muy adecuados los cementos comunes tipo CEM III, CEM IV, CEM V, CEM II/A-D, CEM II/B-S y CEM II/B-V, y adecuados los cementos comunes tipo CEM II/B-P y CEM II/B-M

(*) En el caso de grandes volúmenes de hormigón en masa

(**) Dentro de los indicados son preferibles los de alta resistencia inicial

(***) La inclusión de los cementos CEM II/A-V, CEM II/A-P y CEM II/A-M (V-P) como utilizables para la aplicación de hormigón pretensado, es coherente con la posibilidad, contemplada en el articulado de esta Instrucción, de utilización de adición al hormigón pretensado de cenizas volantes en una cantidad no mayor del 20 % del peso de cemento

(****) Para esta aplicación son recomendables los cementos con bajo contenido en alcalinos o aquellos citados en la tabla

Cementos recomendados para cimentaciones

Tabla A4.3.1

APLICACIÓN	CEMENTOS RECOMENDADOS
Cimentaciones de hormigón en masa	<p>Muy adecuados los cementos comunes tipo CEM IV/B, siendo adecuados el resto de cementos comunes, excepto los CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T y CEM II/B-T</p> <p>En todos los casos es recomendable la característica adicional de bajo calor de hidratación (LH).</p> <p>Es necesario cumplir las prescripciones relativas al empleo de la característica adicional de resistencia a sulfatos (SR) o al agua de mar (MR) cuando corresponda</p>
Cimentaciones de hormigón armado	<p>Muy adecuados los cementos comunes tipo CEM I y CEM II/A, siendo adecuados el resto de cementos comunes a excepción de los CEM III/B, CEM IV/B CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T y CEM II/B-T</p> <p>Es necesario cumplir las prescripciones relativas al empleo de la característica adicional de resistencia a sulfatos (SR) o al agua de mar (MR) cuando corresponda</p>

Cementos recomendados para obras hidráulicas distintas de las presas

TABLA A4.3.4

APLICACIÓN	TIPO DE HORMIGÓN	CEMENTOS RECOMENDADOS
Tubos de hormigón, canales y otras aplicaciones hidráulicas	En masa	Cementos comunes excepto los tipos CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM III/C
	Armado	Cementos comunes excepto los tipos CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM III/C, y CEM V/B
	Pretensado	Cementos comunes de los tipos CEM I, CEM II/A-D, CEM II/A-V, CEM II/A-P y CEM II/A-M (V-P)

Selección del tipo de cemento en función de las circunstancias de hormigonado

TABLA A.4.4. Tipos de cementos en función de las circunstancias de hormigonado

CIRCUNSTANCIAS DE HORMIGONADO	CEMENTOS RECOMENDADOS
Hormigonado en tiempo frío (*) (**)	Los cementos comunes tipo CEM I, CEM II/A y CEM IV/A
Hormigonado en ambientes secos y sometidos al viento y, en general, en condiciones que favorecen la desecación del hormigón (**)	Cementos comunes tipo CEM I y CEM III/A
Insolación fuerte u hormigonado en tiempo caluroso (**)	Los cementos comunes tipo CEM II, CEM III/A, CEM IV/A y CEM V/A,

(*) En estas circunstancias, no conviene emplear la característica adicional de bajo calor de hidratación (LH)

(**) En estas circunstancias, resulta determinante tomar, durante el proceso de ejecución o puesta en obra, las medidas adecuadas especificadas en la reglamentación correspondiente y, en su caso, en esta Instrucción.

Selección del tipo de cemento en función de la clase de exposición

TABLA A4.5. Tipos de cementos en función de las clases de exposición

CLASE DE EXPOSICIÓN	TIPO DE PROCESO (agresividad debida a)	CEMENTOS RECOMENDADOS
I	Ninguno	Todos los recomendados según la aplicación prevista
II	Corrosión de las armaduras de origen diferente de los cloruros	CEM I, cualquier CEM II (preferentemente CEM II/A), CEM III/A, CEM IV/A.
III (*)	Corrosión de las armaduras por cloruros de origen marino	Muy adecuados los cementos CEM II/S, CEM II/V (preferentemente los CEM II/B-V), CEM II/P (preferentemente los CEM II/B-P), CEM II/A-D, CEM III, CEM IV (preferentemente los CEM IV/A) y CEM V/A
IV	Corrosión de las armaduras por cloruros de origen no marino	Preferentemente, los CEM I y CEM II/A y, además, los mismos que para la clase de exposición III.
Q (**)	Ataque al hormigón por sulfatos	Los mismos que para la exposición III
Q	Lixiviación del hormigón por aguas puras, ácidas, o con CO ₂ agresivo	Los cementos comunes de los tipos CEM II/P, CEM II/V, CEM II/A-D, CEM II/S, CEM III, CEM IV y CEM V
Q	Reactividad álcali-árido	Cementos de bajo contenido en alcalinos (***) (óxidos de sodio y de potasio) en los que $(Na_2O)_{eq} = Na_2O (\%) + 0,658 K_2O (\%) < 0,60$

(*) En esta clase de exposición es necesario cumplir las prescripciones relativas al empleo de la característica adicional de resistencia al agua de mar (MR), tal y como establece la Instrucción de Hormigón Estructural EHE.

(**) En esta clase de exposición es necesario cumplir las prescripciones relativas al empleo de la característica adicional de resistencia a los sulfatos (SR), en el caso de la clase específica Qb o Qc, tal y como establece el articulado de esta Instrucción. En los casos en que el elemento esté en contacto con agua de mar será necesario cumplir las prescripciones relativas al empleo de la característica adicional de resistencia al agua de mar (MR).

(***) También son recomendables los cementos citados en la tabla A4.2. para hormigones con áridos potencialmente reactivos (que necesitarían cementos con bajo contenido en alcalinos)

TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO

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

Hay que compatibilizar el mayor tamaño de árido posible con las **exigencias de puesta en obra**, que imponen los límites siguientes:

- a) 0,8 veces la distancia horizontal libre entre vainas o armaduras que no formen grupo, o entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo mayor que 45° con la dirección de hormigonado.
- b) 1,25 veces la distancia entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo no mayor que 45° con la dirección de hormigonado.
- c) 0,25 veces la dimensión mínima de la pieza, excepto en los casos siguientes:
 - Losa superior de los forjados, donde el tamaño máximo del árido será menor que 0,4 veces el espesor mínimo.
 - Piezas de ejecución muy cuidada (caso de prefabricación en taller) y aquellos elementos en los que el efecto pared del encofrado sea reducido (forjados que se encofran por una sola cara), en cuyo caso será menor que 0,33 veces el espesor mínimo.

Valores recomendados para el tamaño máximo del árido (Jiménez Montoya, García Messeguer, Morán Cabré)				
Dimensión mínima de la sección del elemento	Tamaño máximo del árido			
	Vigas, pilares y muros armados	Muros sin armar	Losas muy armadas	Losas poco armadas o sin armar
De 5 a 10 cm	De 10 a 20 mm	20 mm	De 15 a 25 mm	De 20 a 40 mm
De 15 a 30 cm	De 20 a 40 mm	40 mm	40 mm	De 40 a 80 mm
De 40 a 80 cm	De 40 a 80 mm	80 mm	De 40 a 80 mm	80 mm
Más de 80 cm	De 40 a 80 mm	160 mm	De 40 a 80 mm	De 80 a 160 mm

Tamaños superiores a 40 mm no siempre conducen a mejoras de resistencia, porque con áridos muy gruesos disminuye en exceso la superficie adherente.

TAMAÑO MÁXIMO (D) Y MÍNIMO (d) DEL ÁRIDO

Los tamaños de los áridos no deben tener un D/d menor que 1,4.

Tabla 28.3.a Requisitos generales de los tamaños máximo D y mínimo d.

		Porcentaje que pasa (en masa)				
		2 D	1,4 D ^{a)}	D ^{b)}	d	d/2 ^{a)}
Árido grueso	$D > 11,2$ ó $D/d > 2$	100	98 a 100	90 a 99	0 a 15	0 a 5
	$D \leq 11,2$ o $D/d \leq 2$	100	98 a 100	85 a 99	0 a 20	0 a 5
Árido fino	$D \leq 4$ y $d = 0$	100	95 a 100	85 a 99	-	-

a) Como tamices 1,4D y d/2 se tomarán de la serie elegida o el siguiente tamaño del tamiz más próximo de la serie.

b) El porcentaje en masa que pase por el tamiz D podrá ser superior al 99 %, pero en tales casos el suministrador deberá documentar y declarar la granulometría representativa, incluyendo los tamices D, d, d/2 y los tamices intermedios entre d y D de la serie básica más la serie 1, o de la serie básica más la serie 2. Se podrán excluir los tamices con una relación menor a 1,4 veces el siguiente tamiz más bajo.

Tabla 28.3.b Series de tamices para especificar los tamaños de los áridos

Serie Básica mm	Serie Básica + Serie 1 mm	Serie Básica + Serie 2 mm
0,063	0,063	0,063
0,125	0,125	0,125
0,250	0,250	0,250
0,500	0,500	0,500
1	1	1
2	2	2
4	4	4
-	5,6 (5)	-
-	-	6,3 (6)
8	8	8
-	-	10
-	11,2 (11)	-
-	-	12,5 (12)
-	-	14
16	16	16
-	-	20
-	22,4 (22)	-
31,5 (32)	31,5 (32)	31,5 (32)
-	-	40
-	45	-
63	63	63
125	125	125

NOTA - Por simplificación, se podrán emplear los tamaños redondeados entre paréntesis para describir el tamaño de los áridos

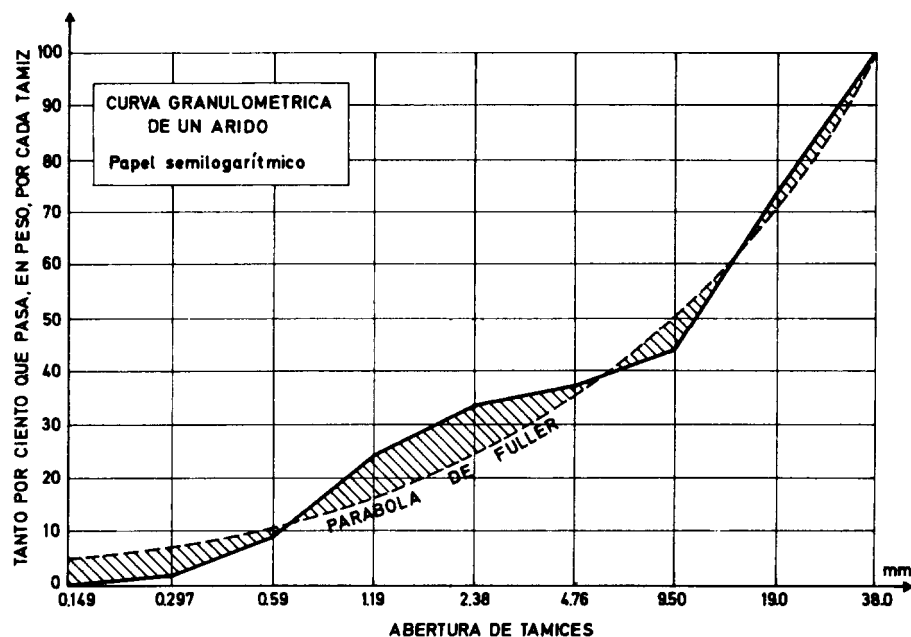
FORMA DEL ÁRIDO GRUESO

La forma del árido grueso se expresará mediante su **índice de lajas**, entendido como el porcentaje en peso de áridos considerados como lajas según UNE-EN 933-3 y su valor debe ser **inferior a 35**.

El empleo de áridos gruesos con formas inadecuadas dificulta extraordinariamente la obtención de buenas resistencias y exige una dosis excesiva de cemento. Para evitar la presencia de áridos laminares y aciculares en una proporción excesiva, se impone una limitación al índice de lajas.

COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DEL ÁRIDO

La curva granulométrica se determina cribando el árido a través de una serie normalizada de cribas y tamices.



Los **parámetros** que determinan las características granulométricas de un árido son:

- El tamaño máximo del árido.
- La compacidad del árido.

Es la relación entre su volumen real y su volumen aparente.

Cuanto mayor sea la compacidad, menor será el volumen de huecos que deja el árido y, por tanto, será menor la cantidad de pasta de cemento necesaria para rellenarlos.

- El contenido de granos finos.

Aumentan la docilidad y trabajabilidad del hormigón.

Obligan a incrementar los contenidos de agua y cemento en los hormigones.

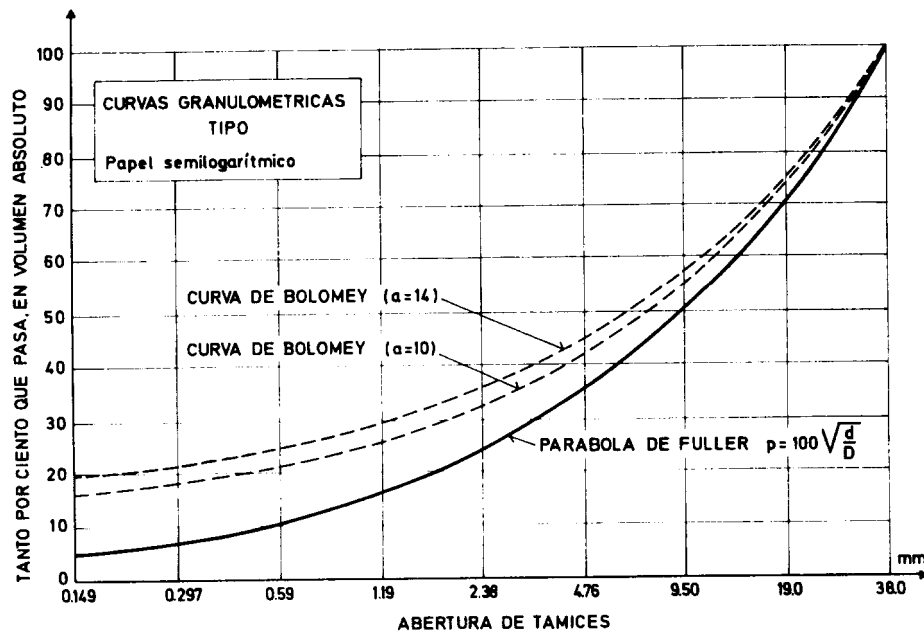
MÉTODOS PARA DETERMINAR LA CURVA GRANULOMÉTRICA

a) Parábola de Fuller

En hormigón armado, con áridos redondeados cuyo tamaño máximo sea de 50 ± 20 mm y contenido de cemento no inferior a 300 kg/m^3 , se obtienen buenos resultados mediante granulometrías continuas que siguen la parábola:

$$p = 100 \cdot \sqrt{\frac{d}{D}}$$

p = porcentaje en peso que pasa por cada tamiz;
 d = abertura (diámetro) de cada tamiz;
 D = tamaño máximo (diámetro) del árido.



Cuando se emplean áridos de machaqueo, en piezas de pared delgada o en secciones muy armadas, puede adoptarse la parábola de Fuller, aumentando los finos convenientemente.

b) Parábola de Bolomey

Se considera incluido el cemento y su campo de utilización es mucho más amplio que el de la parábola de Fuller.

$$p = a + (100 - a) \cdot \sqrt{\frac{d}{D}}$$

Valores de a en la parábola de Bolomey		
Consistencia del hormigón	Aridos rodados	Aridos machacados
Seca y plástica	10	12
Blanda	11	13
Fluida	12	14

c) Módulo granulométrico

Se llama **módulo granulométrico de un árido** a la suma de los porcentajes retenidos en cada tamiz de la serie Tyler, dividida por 100.

Este módulo, también conocido como módulo de finura de Abrams, cuantifica el área limitada por la curva granulométrica (en papel logarítmico), el eje de coordenadas y la horizontal trazada a la altura 100 por 100.

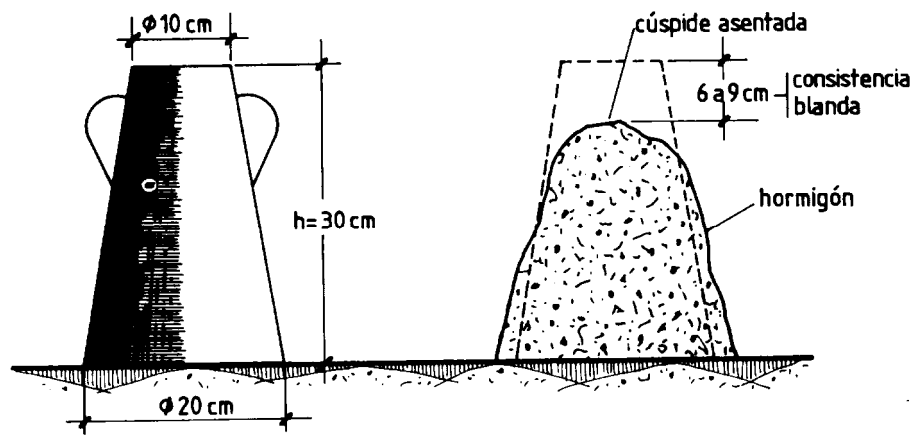
Módulo granulométrico de áridos que siguen la parábola de Fuller										
Tamaño máximo del árido (mm)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Módulo granulométrico	5.21	5.45	5.64	5.82	6.00	6.16	6.29	6.40	6.51	6.60

Valores óptimos del módulo granulométrico, según Abrams, para hormigones ordinarios							
Contenido en 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	5.60	5.80	6.00
300	4.20	4.60	5.00	5.40	5.65	5.85	6.20
350	4.30	4.70	5.10	5.50	5.73	5.88	6.30
400	4.40	4.80	5.20	5.60	5.80	5.90	6.40

CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN

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.

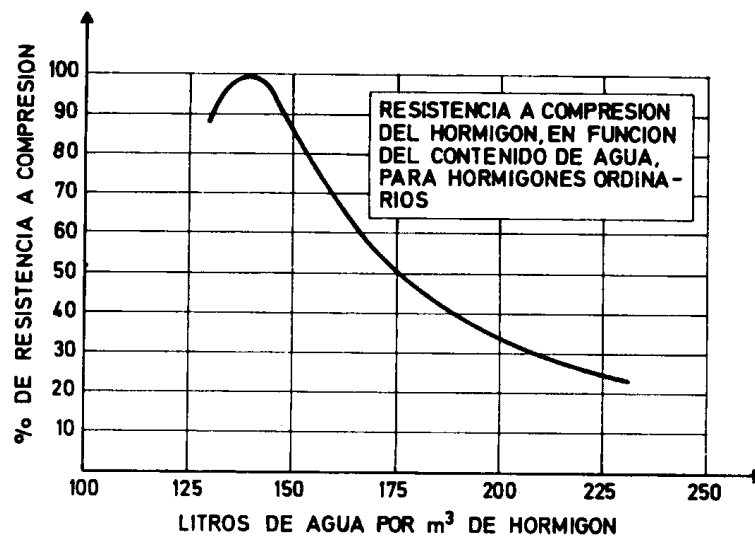
Consistencias y formas de compactación		
Consistencias	Asiento en cono de Abrams (cm)	Forma de compactación
Seca (S)	0 a 2	Vibrado energético en taller.
Plástica (P)	3 a 5	Vibrado energético en obra.
Blanda (B)	6 a 9	Vibrado a apisonado.
Fluida (F)	10 a 15	Picado con barra.
Líquida (L)	16 a 20	No apta para elementos resistentes, salvo que esta consistencia se consiga mediante el empleo de aditivos superplastificantes.



- La consistencia a pie de tajo de colocación puede ser bastante diferente de la de salida de hormigonera, especialmente si el transporte es apreciable y las condiciones ambientales rigurosas.
- Si la densidad de armaduras es grande, resultan preferibles las masas de mayor asiento bien compactadas, que las de menor con riesgo de coqueas.

CANTIDAD DE AGUA

Litros de agua por metro cúbico							
Consistencia del hormigón	Asiento en cono de Abrams (cm)	Áridos rodados			Áridos de machaqueo		
		80 mm	40 mm	20 mm	80 mm	40 mm	20 mm
Seca	0 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



Agua aportada por los áridos (l/m³)

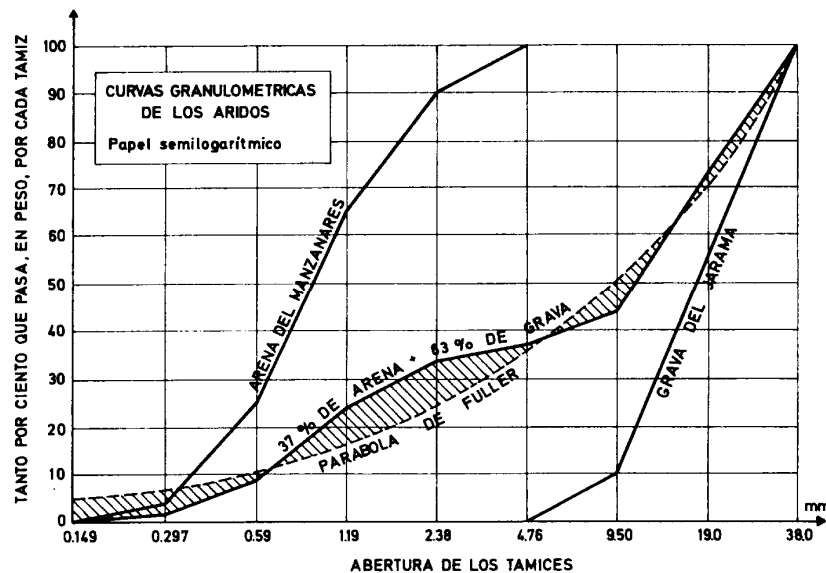
Apariencia	Arena	Gravilla	Grava
Seca	10 a 20	5	—
Húmeda	30 a 60	20 a 30	5 a 15
Muy húmeda	80 a 120	40 a 60	20 a 40
Saturada	120 a 150	70 a 90	50 a 60

PROPORCIÓN DE ARENA Y GRAVA EN LOS ÁRIDOS

Si se dispone de arena y grava, cuyos módulos granulométricos son m_a y m_g , siendo m el módulo granulométrico teórico elegido, se deducen los porcentajes en peso x e y en que deben mezclarse la arena y la grava, resolviendo el sistema:

$$m_a \cdot \frac{x}{100} + m_g \cdot \frac{y}{100} = m$$

$$x + y = 100$$



Si se disponen de tres áridos (arena, gravilla y grava) de módulos granulométricos iguales a m_a , m_1 y m_2 , respectivamente, se escogerán los módulos granulométricos teóricos correspondientes al tamaño máximo de la gravilla (m_{01}) y de la grava (m_{02}). Los porcentajes x , y , z en que deben mezclarse la arena, la gravilla y la grava se obtienen de resolver el sistema:

$$x + y = 100 \cdot \frac{m_2 - m_{02}}{m_1 - m_{01}}$$

$$y = (x + y) - x$$

$$x = (x + y) \cdot \frac{m_1 - m_{01}}{m_1 - m_a}$$

$$z = 100 - (x + y)$$

PROPORCIONES DE LA MEZCLA

Para dosificar correctamente un hormigón es necesario tener en cuenta la contracción que experimenta el hormigón, que puede evaluarse en un 2.5 %.

La suma de los volúmenes de los distintos componentes debe ser 1025 litros para obtener 1 metro cúbico de hormigón.

$$A + \frac{C}{p} + \frac{G_1}{p_1} + \frac{G_2}{p_2} = 1.025$$

siendo:

A = litros de agua por metro cúbico de hormigón.

C = peso del cemento en kg por metro cúbico de hormigón.

p = peso específico real del cemento, en kg por litro.

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 no se dispone de datos de laboratorio, se adoptarán como pesos específicos reales, p = 3.1; p₁ = p₂ = 2.6.

De igual manera, si no se dispone de datos de laboratorio, para dosificar en volumen se tomará como pesos específicos aparentes: 1.1 para el cemento, 1.55 para la arena y 1.65 para la gravilla.

CORRECCIONES Y ENSAYOS

Influencia de algunos factores sobre resistencia y trabajabilidad. (Jiménez Montoya, García Messeguer, Morán Cabré)		
Cuando aumenta ...	La trabajabilidad	La resistencia
La finura de la arena	Aumenta	Disminuye
La relación grava/arena	Disminuye	Aumenta
La cantidad de agua	Aumenta	Disminuye
El tamaño máximo del árido	Disminuye	Aumenta
El contenido en aire ocluido	Aumenta	Disminuye

- Con áridos de machaqueo conviene aumentar algo el árido más fino.
- Para hormigón vibrado, puede aumentarse algo el árido más grueso.
- Con dosis de cemento superiores a los 300 kg/m³ puede disminuirse algo el árido más fino, y al contrario con dosis inferiores.
- Con cemento puzolánico debe aumentarse algo la dosis de agua.
- En hormigones con aire ocluido, debe disminuirse la arena en un volumen igual al del aire ocluido (en general, 40 dm³ por m³ de hormigón), pudiendo también disminuirse el agua, por m³ de hormigón, en la proporción de 3 l por cada 1 por 100 de aire ocluido (en general, 12 l de agua).
- El aumento de un saco de cemento (50 kg) por m³ de hormigón viene a producir en éste un aumento de resistencia de 2,5 N/mm².