

DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES

Los métodos de dosificación de hormigones tienen por finalidad encontrar las proporciones en que hay que mezclar a los diferentes componentes de los mismos para conseguir mezclas que posean determinadas características de consistencia, compacidad, resistencia, durabilidad, etc.

El cálculo teórico de las proporciones en que hay que mezclar a los componentes no exime de la comprobación experimental para la puesta a punto de la composición a adoptar. Esto es debido a que ningún método de dosificación puede tener en cuenta la gran cantidad de factores que influyen en las propiedades del hormigón a conseguir.

No existe un método único de dosificación, sino que, dependiendo de las condiciones que deba reunir el hormigón, el proyectista podrá elegir uno entre varios de los muchos existentes y los resultados que se consigan con él serán buenos cuando éste se haya elegido convenientemente y se hayan realizado las correcciones oportunas mediante masas de prueba.

En lo referente a la cantidad y proporción de los componentes, la EHE indica las siguientes limitaciones:

- La cantidad mínima de cemento y la máxima relación agua/cemento serán las establecidas en la Tabla 1

Tabla 1.- Máxima relación agua/cemento y mínimo contenido de cemento

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	CLASE DE EXPOSICIÓN												
		I	Ila	Ilb	IIla	IIlb	IIlc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
Máxima relación a/c	Masa	0,65	—	—	—	—	—	—	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	Armado	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	Pretensado	0,60	0,60	0,55	0,50	0,45	0,45	0,45	0,50	0,45	0,45	0,55	0,50	0,50
Mínimo contenido de cemento (kg/m ³)	Masa	200	—	—	—	—	—	—	275	300	325	275	300	275
	Armado	250	275	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300
	Pretensado	275	300	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300

- La cantidad máxima de cemento por metro cúbico de hormigón será de 400 kg. En casos excepcionales, previa justificación experimental y autorización expresa de la Dirección de Obra, se podrá superar dicho límite.
- 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, respectivamente.
- Las resistencias mínimas en función del tipo de ambiente al que va a estar expuesto el hormigón serán las mostradas en la Tabla 2.

Tabla 2.- Resistencias mínimas compatibles con 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

Datos de partida

La determinación de una dosificación para hormigones debe hacerse partiendo de unos datos iniciales establecidos en base al proyecto y condiciones de ejecución (reales o previstas) de la obra. Como datos necesarios se pueden indicar, por orden de trascendencia, los siguientes:

1. Resistencia característica especificada.
2. Sistema de puesta en obra o consistencia del hormigón.
3. Características de los materiales:
 - Cemento: tipo, categoría y peso específico
 - Aridos: granulometría, peso específico y procedencia o forma.

Para mayor aclaración, el esquema de la Figura 1, puede ser indicativo de los pasos a seguir en la dosificación de un hormigón.

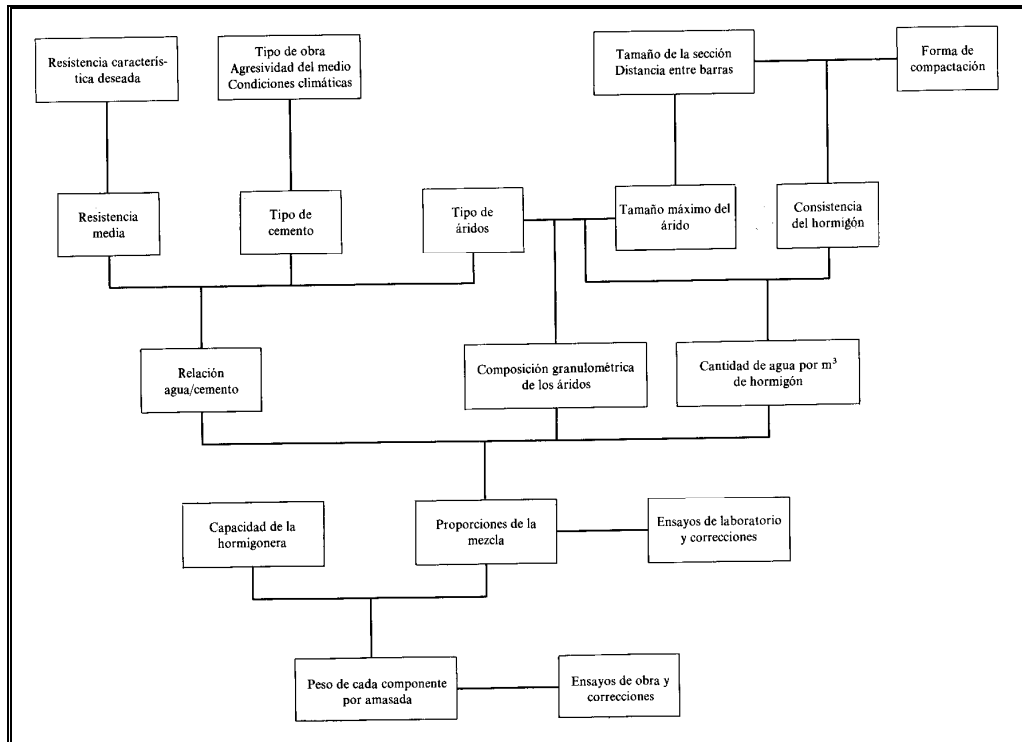


Figura 1.- Proceso para la definición de la dosificación de un hormigón

En general, las dosificaciones se basan en los tres tipos siguientes:

- Dosificación del hormigón según mezcla de sus componentes en volumen, y en función de la riqueza de cemento que se necesite por m^3 .
- Dosificación por peso de sus componentes, partiendo de una cantidad fijada de cemento por m^3 .
- Dosificación en razón a las resistencias requeridas del hormigón a los 7, 14 ó 28 días (edad del hormigón).

Dosificación de un hormigón en volumen

Este tipo de dosificación es el más antiguo, fácil y cómodo, a todos los efectos, en aquellas pequeñas obras donde la precariedad de medios precise su realización manual y a pie de obra. La Tabla 3 permite calcular de manera sencilla los materiales necesarios para la confección de $1 m^3$ de este material, así como prever las materias precisas para el conjunto o volumen de hormigón que requiera la obra.

Tabla 3.- Cantidades para la confección de $1m^3$ hormigón en volumen

Dosificación o riqueza de cemento por metro cúbico de hormigón (kg/m^3)	Proporciones			Litros			Usos y empleos preferentes del hormigón
	Cemento	Arena	Grava	Cemento	Arena	Grava	
100	1	6	12	75	450	900	Rellenos. Hormigón de limpieza o pobre.
150	1	4	8	110	440	880	Zanjas. Cimientos. Grandes espesores.
200	1	3	6	145	435	870	Muros de contención. Pozos de cimentación. Soleras.
250	1	2,5	5	170	425	850	Pilares, soportes y prefabricados corrientes. Pavimentos.
300	1	2	4	207	415	830	Hormigones armados. Zapatas. Muros especiales.
350	1	2	3	240	480	720	Hormigones para estructuras. Pilares. Vigas.
400	1	1,5	3	263	395	790	Forjados delgados. Piezas a fatiga. Viguetas.
450	1	1,5	2,5	290	435	725	Prefabricados especiales. Pretensados. Postensados.
500	1	1	2	360	360	730	Trabajos y obras muy especiales de gran control.

Para aclarar el proceso operativo, supóngase el siguiente ejemplo: se dispone de una hormigonera en obra que en cada amasada proporciona $1/4$ de m^3 de hormigón. Si la cantidad necesaria de cemento es $300 \text{ kg}/m^3$, ¿cuántos litros de cada componente han de introducirse en la misma?

Solución:

Entrando en la Tabla 3, se observa que un hormigón dosificado a razón de $300 \text{ kg}/m^3$ de cemento, responde a unas proporciones de 1:2:4; por lo tanto, o se llena la hormigonera a base de 1:2:4 paladas de cemento/arena/grava hasta rebosar (sin olvidar, además, el agua), o bien se dividen por 4 las proporciones de estos materiales dadas en litros en dicha Tabla, y que son 207:415:830; significando que $1/4 \text{ m}^3$ de hormigón dosificado con $300 \text{ kg}/m^3$ de cemento precisa 52 l de cemento, 104 l de arena y 208 l de grava, todo lo cual se reduce a 5 cubos de 10 l de cemento, 10 cubos de arena y 20 de grava.

Métodos de dosificación basados en el contenido de cemento

a- Dosificación de un hormigón por el método de Fuller

La dosificación por el sistema, Fuller está indicada para piezas no muy armadas, áridos redondeados, con un tamaño máximo de 70 mm y una riqueza mínima de cemento de $300 \text{ kg}/m^3$.

En base a dichas premisas, la dosificación de los áridos viene determinada por una curva de referencia (parábola de Gessner), la cual representa una granulometría continua, y su empleo favorece la total compenetración del conjunto de granos, lo que ayuda a una buena docilidad y densidad del conjunto (Figura 2). Dicha curva patrón está representada por la siguiente ecuación:

$$P = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$$

donde:

- D = Luz de malla del tamiz que define el tamaño máximo del árido empleado en la mezcla.
- d = Abertura de cada uno de los tamices empleados para determinar la granulometría del árido que se va a utilizar (siempre menor a D).
- P = Representa el porcentaje de material en peso que pasa por cada uno de esos tamices (d).

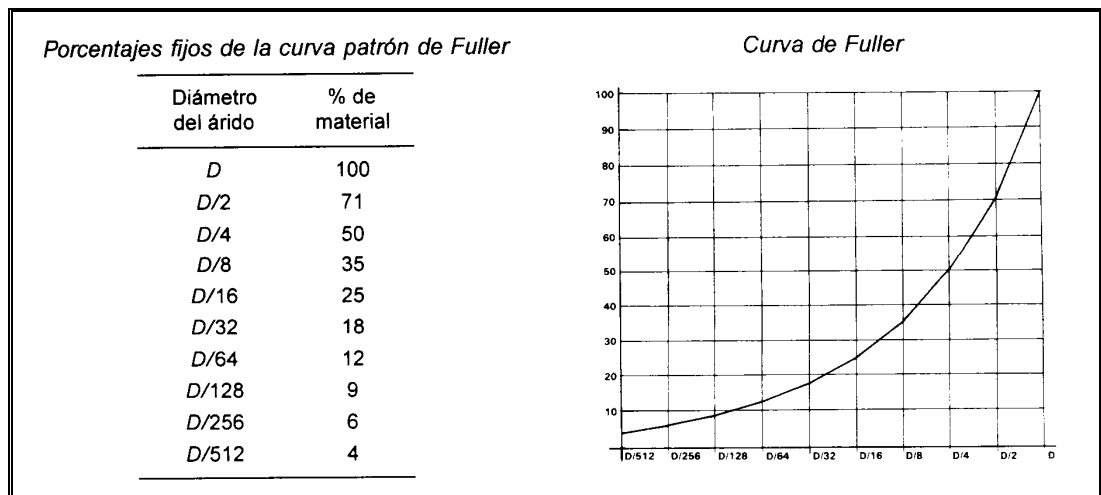


Figura 2.- Porcentajes y curva patrón según el método de Fuller

b- Dosificación de un hormigón por la fórmula de Bolomey

Dosificar por Bolomey constituye un perfeccionamiento de la ley de Fuller ya que, aunque los datos para operar sean los mismos, se trata de obtener un hormigón económico en cemento en base a sus resistencias, consistencia de la masa y forma de los áridos (redondeados o de machaqueo). El método está indicado para hormigones en masa, grandes macizos, presas, etc., debiéndose tantear con mucho cuidado la curva granulométrica y los porcentajes de finos, pues aquí interviene, también, el cemento utilizado.

La fórmula propuesta por Bolomey es la siguiente:

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

- P = Porcentaje de material (incluido el cemento) que pasará por el tamiz de valor d.
 d = Abertura (mm) de cualquier tamiz utilizado par determinar la granulometría del árido.
 D = Luz de malla del tamiz que define el tamaño máximo del árido empleado en la dosificación.
 a = Coeficiente variable, según la consistencia del hormigón y el tipo de árido empleado, de acuerdo a la Tabla 4.

Tabla 4.- Valores del coeficiente a de Bolomey

Tipo de árido	Consistencia	Valores de a
Rodado	Seco-plástica	10
	Blanda	11
	Fluida	12
Machaqueo	Seco-plástica	12
	Blanda	13
	Fluida	14

c- Cálculo de la dosificación

Desde el punto de vista de aplicación de estos métodos, se considera como tamaño máximo del árido al que corresponde al tamiz más pequeño de la serie utilizada que retenga menos del 15 por 100 del peso total del árido. Dado que la granulometría del árido conjunto no se conoce hasta haber realizado la composición de todas las fracciones del árido, y a fin de evitar tanteos, se considera como tamaño máximo la abertura del menor tamiz que retiene menos del 25 por 100 al cribar por él la grava, es decir, el árido de mayor tamaño, no entrando en esta determinación los gránulos de grandes dimensiones.

La cantidad de cemento a introducir en el diseño de la mezcla será la real que se vaya a emplear en la fabricación del hormigón.

La cantidad de agua se elige de acuerdo con el tipo de árido utilizado, su tamaño máximo y la consistencia que deba tener el hormigón. Si los hormigones han de colocarse mediante bombeo o en secciones estrechas es conveniente emplear consistencia blanda. Si se van a consolidar por vibración la consistencia más adecuada es la plástica y si estos van a consolidarse con vibración energética e incluso compresión, puede emplearse consistencia seca (Tabla 5).

Tabla 5.- Determinación del agua de amasado

Consistencia del hormigón	Árido de canto rodado			Árido de machaqueo		
	80 mm	40 mm	20 mm	80 mm	40 mm	20 mm
Seca	135	155	175	155	175	195
Plástica	150	170	190	170	190	210
Blanda	165	185	205	185	205	225
Fluida	180	200	220	200	220	240
Líquida	195	215	235	215	235	255

El paso siguiente es calcular el volumen relativo de las partículas de árido a incorporar al hormigón. Para ello, se parte de la base de que 1000 ℓ de hormigón endurecido suponen 1025 ℓ de hormigón fresco.

$$1025 = A + V_c + V_a$$

siendo:

A = Volumen de agua extraído de la Tabla 5 (ℓ/m³).

V_c = C/ρ_c = Volumen relativo de cemento, con C = dosificación de cemento (kg/m³).

V_a = Volumen relativo del total de árido.

En el caso de la dosificación por el método de Fuller, el último paso consiste en repartir V_a proporcionalmente a los porcentajes obtenidos tras el ajuste de la parábola de Gessner.

El método de Bolomey considera al cemento como un árido más, por lo tanto, el volumen a repartir en esta situación es:

$$V_c + V_a = 1025 - A$$

Métodos de dosificación basados en la resistencia a compresión

a- Método A.C.I. para hormigón convencional

Es un método en el que se parte de la resistencia que debe tener el hormigón, siendo adecuado para cualquier tipo de obra realizada con este material.

Según el tipo de construcción en que se vaya a emplear el hormigón la consistencia medida en cono de Abrams recomendada es la indicada en la Tabla 6.

Tabla 6.- Asiento en el cono de Abrams recomendado

Tipo de construcción	Asiento (cm)	
	Máximo	Mínimo
Muros armados de cimientos y zapatas.	8	2
Zapatas, cajones y muros de hormigón en masa.	8	2
Vigas y muros armados.	10	2
Pilares de edificios.	10	2
Pavimentos y losas.	8	2
Grandes macizos.	6	2

La cantidad de agua a utilizar en el hormigón será función de la consistencia que deba tener el mismo, del tamaño máximo de árido elegido, de su forma y de su granulometría, viniendo, también, influenciada por la cantidad de aire incorporado y siendo independiente de la cantidad de cemento empleada.

En la Tabla 7 se indican las cantidades máximas de agua a emplear en un primer tanteo, suponiendo que los áridos son machacados y que tienen una granulometría y forma adecuada. Si se precisase más agua que la indicada sería señal de que la forma o la granulometría de los áridos no son las adecuadas, en cuyo caso el aumento de agua debe ir acompañado de un aumento en la dosificación de cemento a fin que la relación agua/cemento permanezca constante. Si, por el contrario, los áridos exigen menos agua de la indicada en la Tabla, no se reducirá la dosificación de cemento.

Tabla 7.- Determinación del agua de amasado

Asiento en el cono de Abrams (cm)	Agua, en l/m ³ , para los tamaños máximos, en mm							
	10	12,5	20	25	40	50	70	150
Hormigón sin aire incorporado								
3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	—
Aire ocluido en la masa, en %	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Hormigón con aire incorporado								
3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
8 a 10	200	190	180	170	160	155	150	135
15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	—
Aire ocluido total, en %	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3

En la Tabla 8, se recogen las relaciones agua/cemento que deben emplearse para conseguir las diferentes resistencias a compresión a 28 días, medidas en probetas cilíndricas de 15 x 30 cm.

Tabla 8.- Relación a/c para alcanzar diferentes resistencias a compresión

Resistencia a compresión a 28 días (N/mm ²)	Relación a/c	
	Hormigón sin aire incorporado	Hormigón con aireante
45	0,38	—
40	0,43	—
35	0,48	0,40
30	0,55	0,46
25	0,62	0,53
20	0,70	0,61
15	0,80	0,71

La cantidad de cemento se deduce al conocer la relación agua/cemento y la cantidad de agua de amasado. La cantidad de árido grueso se determina mediante ensayos de laboratorio, aunque si no se dispone de ellos, se puede obtener su contenido aproximado mediante la Tabla 9, en la que ésta se ha calculado para producir hormigones armados de buena docilidad.

Tabla 9.- Determinación de la cantidad de árido grueso

Tamaño máximo (mm)	Volumen de árido grueso, compactado en seco, por unidad de volumen de hormigón, para diferentes módulos de finura de la arena			
	2,40	2,60	2,80	3,00
10	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
20	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
40	0,76	0,74	0,72	0,70
50	0,78	0,76	0,74	0,72
70	0,81	0,79	0,77	0,75
150	0,87	0,85	0,83	0,81

El contenido de árido fino se determina mediante el sistema de los volúmenes absolutos o el de los pesos. En el primero, el volumen de arena fina se halla restando a 1025 el volumen de árido grueso, cemento, agua y aire; en el segundo, el peso de la arena es la diferencia entre el peso del hormigón fresco y la suma de los pesos de los otros componentes. Para ello, pueden emplearse los valores dados en la Tabla 10.

Tabla 10.- Peso estimado del m³ de hormigón fresco

Tamaño máximo del árido (mm)	Peso estimado del metro cúbico de hormigón fresco (kg/m ³)	
	Sin aireante	Con aireante
10	2285	2190
12,5	2315	2235
20	2355	2280
25	2375	2315
40	2420	2355
50	2445	2375
70	2465	2400
150	2505	2435

Si tras la elaboración de una amasada de comprobación en laboratorio, se observa que las características previstas no se cumplen, se aconseja seguir los siguientes criterios de corrección:

- Aumentar o disminuir el contenido de agua en 2 kg/m³ de hormigón, si se desea aumentar o disminuir en 1 cm el asiento
- Reducir o aumentar el contenido de agua en 3 kg/m³ de hormigón, si se desea aumentar o disminuir en un 1% el contenido de aire atrapado
- Para reestimar el peso por metro cúbico del hormigón fresco tras el ajuste, reducir o aumentar el obtenido en la amasada de prueba en igual porcentaje al incremento o disminución del contenido de aire atrapado

b- Método según De la Peña

Este método de dosificación por resistencias se aplica en hormigones estructurales de edificios, pavimentos, canales, depósitos de agua, puentes, etc., partiendo de un contenido de 300 kg/m³ de cemento y cuando las condiciones de ejecución puedan estimarse como buenas.

Conociendo la resistencia media, bien directamente o a través de la característica, se determina la concentración o relación cemento/agua, en peso, por medio de:

$$Z = K \cdot f_{cm} + 0,5$$

Z es la concentración o relación cemento/agua, en peso

f_{cm} es la resistencia media del hormigón en N/mm², a 28 días, medida en probeta de 150x30.

K es un parámetro que toma los valores dados en la Tabla 11, cuando la resistencia está expresada, en N/mm².

Tabla 11.- Valores del parámetro K

Conglomerante (clase)	Áridos rodados	Áridos machacados
22,5	0,072	0,045
32,5	0,054	0,035
42,5	0,045	0,030
52,5	0,038	0,026

Este método considera como tamaño máximo del árido al de la abertura del tamiz más pequeño de la serie empleada que retenga menos del 25 por 100 de la fracción más gruesa del árido.

La consistencia del hormigón a confeccionar depende de las características de los medios de puesta en obra. Generalmente, en estructuras vibradas se emplean las consistencias secas y plásticas, aunque si los hormigones se van a colocar en obra por bombeo, pueden emplearse las blandas. Las consistencias blandas permiten, por otra parte, colocar el hormigón mediante picado con barra, logrando un ahorro importante de energía, si bien estas consistencias no deben emplearse nada más que en casos extremos.

La cantidad de agua por metro cúbico de hormigón necesaria para la confección del hormigón, en función del tipo y tamaño del árido a emplear, se obtiene de la Tabla 5. El peso de cemento se determina una vez conocida la concentración, Z, y el volumen de agua por metro cúbico, V_a , dado en la Tabla 5 por medio de:

$$P_c = V_a \cdot Z$$

La proporción en que deben mezclarse los áridos se halla por medio del gráfico de la Figura 3. Si se trata de una arena y un árido grueso, el porcentaje de arena, en volumen real, con referencia al volumen real de todo el árido, se determina en el gráfico entrando con el módulo granulométrico de la arena en ordenadas y viendo el punto en que la horizontal corta a la curva correspondiente al tamaño máximo del árido, en cuya vertical se tiene el porcentaje de arena en volumen, que restado a cien, da el porcentaje de árido grueso.

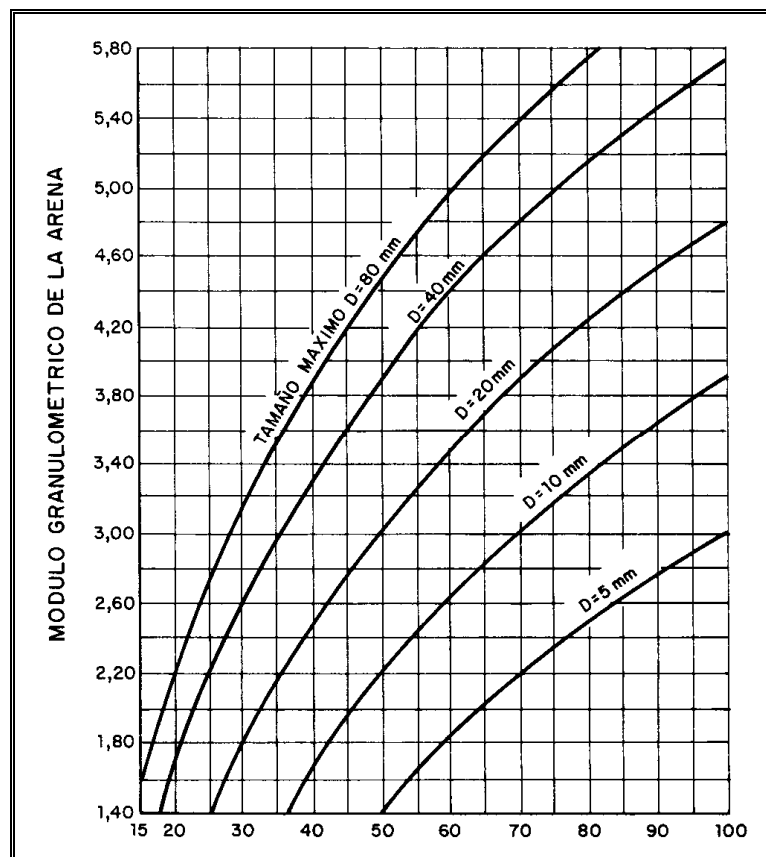


Figura 3.- Porcentaje de arena referido a la suma de los volúmenes reales de los dos áridos que se van a mezclar

Si en la composición del hormigón han de entrar más de dos áridos, se considera al de menor tamaño de ellos como "arena" y a los demás como "gravas". Se determina por medio del gráfico el porcentaje de "arena" con cada una de las "gravas" tomadas una a una.

Sean t_{a1} , t_{a2} , t_{a3} t_{ai} t_{an} los porcentajes de arena que resultan al considerar mezclas binarias con cada una de las fracciones de árido tomadas de menor a mayor tamaño.

El tanto por ciento de arena en volumen absoluto, con respecto a la suma del volumen absoluto de todos los áridos que entran en el hormigón, es:

$$t_0 = t_{an}$$

El tanto por ciento de la mezcla total correspondiente a la fracción de menor tamaño, es:

$$t_1 = t_{an} \frac{100 - t_{a1}}{t_{a1}}$$

El porcentaje que corresponde a la fracción situada en segundo lugar por su tamaño, es:

$$t_2 = t_{an} \frac{100 - t_{a2} - t_1}{t_{a2}}$$

El porcentaje de una fracción que ocupe el lugar i , por su tamaño máximo, contado de menor a mayor, es:

$$t_i = t_{an} \frac{100 - t_{ai}}{t_{ai}} - (t_1 + t_2 + \dots + t_{i-1})$$

La suma de todos los porcentajes de áridos debe cumplir:

$$t_0 + t_1 + t_2 + \dots + t_n = 100$$

Los valores hallados en el gráfico corresponden a un hormigón armado de consistencia adecuada para consolidar por picado con barra y en el que se han empleado áridos naturales de forma redondeada. Para hormigones de otras características es aplicable el método haciendo las correcciones que se indican a continuación y que habrá que realizar después de haber calculado los porcentajes de la mezcla de áridos en la forma que se ha indicado anteriormente.

Las correcciones serán las siguientes:

- Si el hormigón se compacta por vibración debe aumentarse el árido más grueso en un 4 por 100, restando este aumento a los demás áridos, proporcionalmente a su porcentaje.
- Si se trata de un hormigón en masa, se aumentará el árido más grueso en un 3 por 100, que se restará de los demás áridos como en el caso anterior.
- Si se emplean áridos machacados, se aumentará el árido más fino en un 4 por 100, que se restará de los demás en la forma antes indicada.
- Dado que el método está diseñado para hormigones de una dosificación de 300 kg/m³ de cemento, cualquier exceso o defecto sobre esta cifra debe compensarse con una disminución o aumento, respectivamente, de la arena en igual volumen.
- Si el hormigón lleva aire ocluido, debe restarse su volumen del volumen real de arena disponible.
- Como en cualquier método de dosificación, deben hacerse las correcciones oportunas en la composición de los áridos y en la cantidad de agua, cuando los áridos estén húmedos.

La dosificación del hormigón se determina sabiendo que la suma de los volúmenes relativos de agua, cemento, áridos, aire, etc., debe ser igual a 1025 litros, a fin de obtener, aproximadamente, un metro cúbico de hormigón fraguado, suponiendo que la contracción que experimenta el hormigón fresco es del 2,5 por 100.