

2.- HORMIGÓN

03

Materia primas

1. Cemento

1.1 Generalidades

El cemento es el material fundamental de un hormigón. Tanto por función aglomerante y su aportación de resistencia mecánica como por la protección *natural* que proporciona al acero. El cemento es el más importante de los aglomerantes hidráulica. Esta importancia ha hecho necesaria la existencia de una instrucción específica para la recepción de cementos, cuya versión vigente es la RC-97, heredera de la serie de Pliegos para la Recepción de Cementos que en el pasado se ocuparon de éste importante material. En estos momentos hay una versión del año 2002 que está a punto de ser promulgada. La Instrucción EHE se ocupa del cemento refiriéndose, en gran medida, a la «*vigente Instrucción para la Recepción de Cementos*», lo que, en términos informáticos, crea un enlace dinámico entre las dos instrucciones. Por esa razón, para evitar consultas cruzadas entre las dos Instrucciones la información que sigue toma datos de los dos documentos.

El cemento se compone básicamente de Clinker y regulador de fraguado, a los que se añaden diversos tipos de adiciones o aditivos

Clínteres

- De cemento Pórtland.- Es el resultado de la calcinación hasta fusión parcial de la mezcla de calizas y arcillas para conseguir la combinación total de sus componentes.
- De cemento Aluminoso.- Es el resultado de la fusión de una mezcla de calizas y bauxitas de composición y granulometría adecuadas para conseguir un contenido mínimo de alúmina del 36%.

Regulador de fraguado

- Son productos naturales o artificiales que tienen la función de evitar una rápida reacción del Clinker con el agua, permitiendo que el cemento tenga un tiempo abierto suficiente para la aplicación del cemento. El principal es el yeso dihidrato molido durante el proceso de molienda del cemento.

Adiciones activas (reaccionan químicamente en la fase de hidrólisis)

- Escorias siderúrgicas.- Se obtiene por templado o enfriado brusco, con agua o con aire, de la ganga fundida procedente de procesos siderúrgicos.
- Puzolanas naturales.- Se obtiene por la molienda de rocas tobáceas, volcánicas vítreas, de naturaleza traquítica alcalina o pomítica.
- Cenizas Volantes.- Son residuos sólidos recogidos por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que integran los gases de la combustión en los quemadores de las centrales termoeléctricas alimentadas con carbones pulverizados
- Humo de sílice.- Es un subproducto en los procesos de obtención de silicio y ferrosilicio. Al reducir en horno eléctrico cuarzo muy puro y carbón se recoge el humo generado mediante filtros electrostáticos una partículas de diámetro muy pequeño básicamente formadas por sílice muy activa.

Adiciones inertes (producen efectos físicos: dispersión, trabajabilidad, etc.)

- Filler calizo.- Están formados por carbonato de calcio en forma de calcita (más del 85 %) molido finamente en el proceso de fabricación del cemento al que se adiciona.
- Otros productos químicos se utilizan durante la fabricación del cemento para facilitar la molienda o para conseguir que el cemento o su derivados tengan alguna propiedad específica tal como contenido de aire, baja retracción, etc.

1.1.1 Propiedades generales

Del cemento se espera principalmente que proporcione resistencia al producto resultante de mezclarlo con agua (pasta de cemento) o con agua y áridos (morteros y hormigones).

Esta característica la consigue como resultado de la reacción de hidratación de sus componentes básicos. A continuación figura una composición tipo de un Clinker de cemento Pórtland:

Cal combinada	62,5 %
Sílice	21,0 %
Alúmina	06,5 %
Hierro	02,5 %
Azufre	02,0 %
Cal libre	00,0 %
Magnesia	02,0 %

Estos componente se presenta formando combinados complejos que establecen las principales características del Clinker de un cemento Pórtland:

Silicato tricálcico SC ₃	40-50 %
Silicato bicálcico SC ₂	20-30 %
Aluminato tricálcio AC ₃	10-15 %
Aluminato tetracálcico AFC	05-10 %

Silicato tricálcico: Es el compuesto activo más importante del Clinker de cemento Pórtland. Desarrolla una resistencia inicial muy alta. Su calor de hidratación es también elevado. Aparece en una alta proporción en los cementos de endurecimiento rápido y de altas resistencias iniciales.

Silicato bicálcico: Es el compuesto que proporciona al cemento su resistencia a largo plazo. Su fraguado y endurecimiento es lento. Su calor de hidratación es el más bajo de todos los compuestos del cemento. Tiene una alta estabilidad química, lo que confiere a los cementos con alto porcentaje de este silicato una mayor resistencia a los sulfatos.

Aluminato tricálcico: Es un compuesto que tiene un alto calor de hidratación, un fraguado instantáneo y una gran retracción. Es el compuesto con más influencia en la resistencia a corto plazo. Tiene una alta resistencia química frente al agua de mar y, al contrario, una alta debilidad ante los sulfatos.

Aluminato tetracálcico: No tiene un papel relevante en el desarrollo de las resistencias del cemento hidratado. Es necesario porque aporta fundentes de hierro al proceso de cocción en el horno. Tiene un bajo calor de hidratación y un fraguado rápido. Tiene una gran resistencia a la presencia de azufre en el agua puesta en contacto con el cemento endurecido. Tiene un color oscuro por que se limita su presencia en los cementos blancos.

2. Agua

2.1 Propiedades generales

2.1.1 Generalidades

Los griegos consideraban al agua un elemento. Es decir indivisible y generadora de los compuestos al combinarse con otros elementos. Hasta el siglo XVIII no se descubre que el agua es un compuesto de oxígeno e hidrógeno.

En el año 1783 Canvendish «*inventó*» el agua sin saberlo al mezclar hidrógeno y oxígeno y obtener agua al condensas el gas resultante, pero no interpretó debidamente el fenómeno confundido por la teoría del *flogisto*. La interpretación correcta la dio Lavoisier, que tenía desarrollada ya su teoría de al combustión como combinación del producto quemado con el oxígeno del aire.

El agua en la construcción es todavía un «*material*» imprescindible para construir y, al tiempo, un material nocivo para el edificio construido. Durante la construcción el agua, en su justa proporción) cumple las siguientes misiones:

- Dota de fluidez a los aglomerantes para su manejo
- Hidrata los componentes (Vg., los silicatos) produciendo compuesto resistentes
- Permite el curado (barrera para la evaporación) de los materiales en base a cemento.

Sin embargo, durante la vida útil del edificio:

- Es vehículo de sustancias nocivas (cloruros, sulfatos) hacía el interior del hormigón
- Favorece la expansión y rotura de hormigones al hidratar determinados compuestos
- Hace posible cierto tipo de corrosión del hormigón
- Favorece la formación de colonias de hongos y otros formaciones insalubres

Durante el proceso el agua en exceso hace perder potencia mecánica a los aglomerantes, en general, y al cemento en particular.

2.1.2 Propiedades

El agua habitual de construcción es la de la red, que se puede utilizar sin problemas para el amasado del hormigón. Pero, a veces, es necesario utilizar agua de pozo o agua de mar. El agua de mar sólo se puede utilizar con hormigones sin armaduras en los que no tenga importancia dos efectos:

- Una bajada del 15 % de la resistencia a compresión
- Eflorescencias

En caso de duda hay que comprobar el contenido de determinadas sustancias en el agua para su utilización como agua de amasado.

2.1.3 Tipos

Desde el punto de vista de la técnica del hormigón hay los siguientes tipos de agua:

- Agua de amasado
 - Agua directamente añadida
 - Procedente de la humedad de los áridos
 - De absorción
 - Superficial
 - Aportada por los aditivos
- Agua de curado

2.1.3.1 Agua de amasado

El agua de amasado es la añadida a la hormigonera para su mezcla con el resto de componentes del hormigón. Es imprescindible para la hidratación del cemento y, por tanto, para la formación de la matriz que rodea al esqueleto mineral formado por los áridos. El cemento necesita menos del 30 % de su peso en agua para una completa hidratación. Pero con esa cantidad de agua no se puede conseguir que tome contacto con todos los granos de cemento. El agua sobrante cumple la misión positiva de conducirse a sí misma hacia los granos de cemento y la misión negativa de formar la red capilar al evaporarse. Como se verá más adelante la relación a/c (agua/cemento) tiene una gran importancia en las propiedades del hormigón. El agua de amasado debe estar libre de sustancias tales como sulfatos (producen fenómenos expansivos), cloruros (favorecen la corrosión de las armaduras), hidratos de carbono (alteran los tiempos de fraguado). Además deben tener un pH superior a 5 (para evitar la corrosión del acero)

2.1.3.2 Agua de curado

El agua de curado cumple la misión de mantener hidratado el cemento el tiempo suficiente para que se formen todos los compuestos resistentes potenciales. Cuando tiene sustancia nociva su acción es más perjudicial porque produce un aporte continuo de las mismas.

3. Áridos

3.1 El material

Los áridos son granulados naturales o de machaqueo que proporcionan al hormigón volumen y resistencia sin reacciones indeseables y haciendo posible la aplicación de la limitación del contenido de cemento. Pueden emplearse, también escorias siderúrgicas apropiadas. No se pueden utilizar áridos que contengan sulfuros oxidables (pirrotina, marcasita y algunas formas de pirita).

Los áridos están recibiendo una atención creciente en el reglamento del hormigón. La EHE da un paso más al cualitativo dado por la EH-88 en materia de evaluación de finos al ofrecer requisitos relacionados, al tiempo, con las clases de exposición y la naturaleza de los áridos. Se han dado pasos importantes para normalizar los áridos y sus procesos. En próximas ediciones se podrá comprobar.

3.1.1 Propiedades generales

Los áridos deben contribuir a la resistencia y durabilidad del hormigón. La resistencia por la naturaleza de la roca de procedencia y su limpieza que no haga posible que se interponga una capa débil entre la pasta de cemento y el árido. La durabilidad actuando como un inerte, es decir, no reaccionado con el cemento. Para ello se deben evitar los áridos que contengan sustancias carbonatadas magnesianas (dolomitas) que provocan reacciones altamente expansivas en presencia de los álcalis del cemento (reacción árido-álcali) y los áridos. Por último algunos áridos con procedencia en rocas magmáticas pueden reaccionar con el hidróxido de calcio de la hidrólisis del cemento.

3.1.2 Tipos

Las rocas más utilizadas para la producción de áridos (70 %) son las calizas. Hay dos tipos básicos de áridos para hormigones: fino y grueso.

Árido

Granulado progresivo procedente de la naturaleza o del machaqueo de rocas

Árido Fino o arena

La fracción de un árido que pasa por un tamiz 4 UNE EN 933-2:96

Árido grueso o grava

La fracción de un árido que es retenida por el tamiz 4 UNE EN 933-2:96

Árido total

Aquel que de por sí o por mezcla posee las proporciones de arena y grava adecuadas para fabricar hormigón.



El árido total suele ser fuente de numerosos problemas en las obras cuando se aceptan mezclas realizadas utilizando medios rudimentarios, que no garantizan las proporciones buscadas. Esta circunstancia suele darse en lugares de monopolio industrial, donde no es posible escoger otro suministrador más cuidadoso. En estos casos es necesario acudir a la acción corporativa para que sean los colegios profesionales los que ejerzan las denuncias necesarias y dotando, al tiempo, a los profesionales de herramientas legales de acción menos lesivas que el enfrentamiento individual con una situación consolidada de hecho.

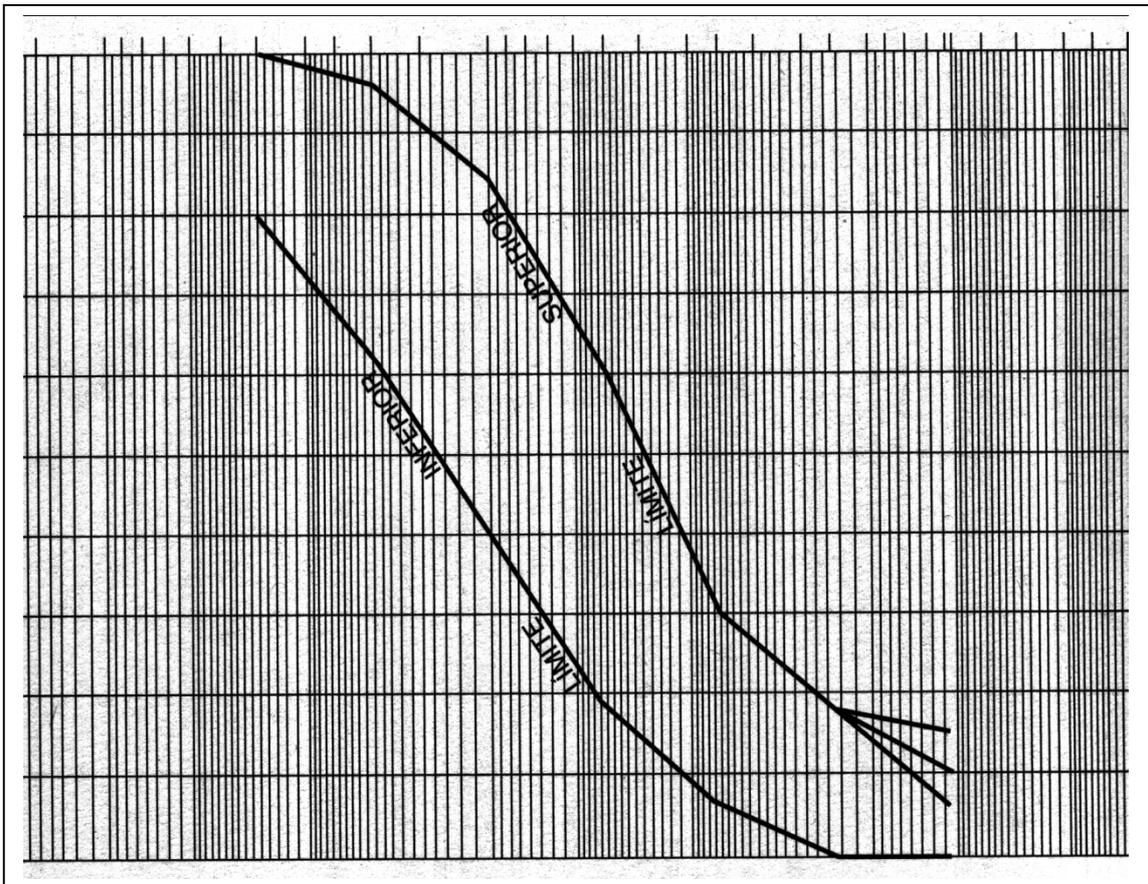
3.1.3 Granulometría

Curva granulométrica

Es la representación gráfica de los pesos en tanto por 100 de árido que son retenidos por los tamices de la serie:

- 40 UNE EN 933-2 a 0,01 UNE EN 933-2

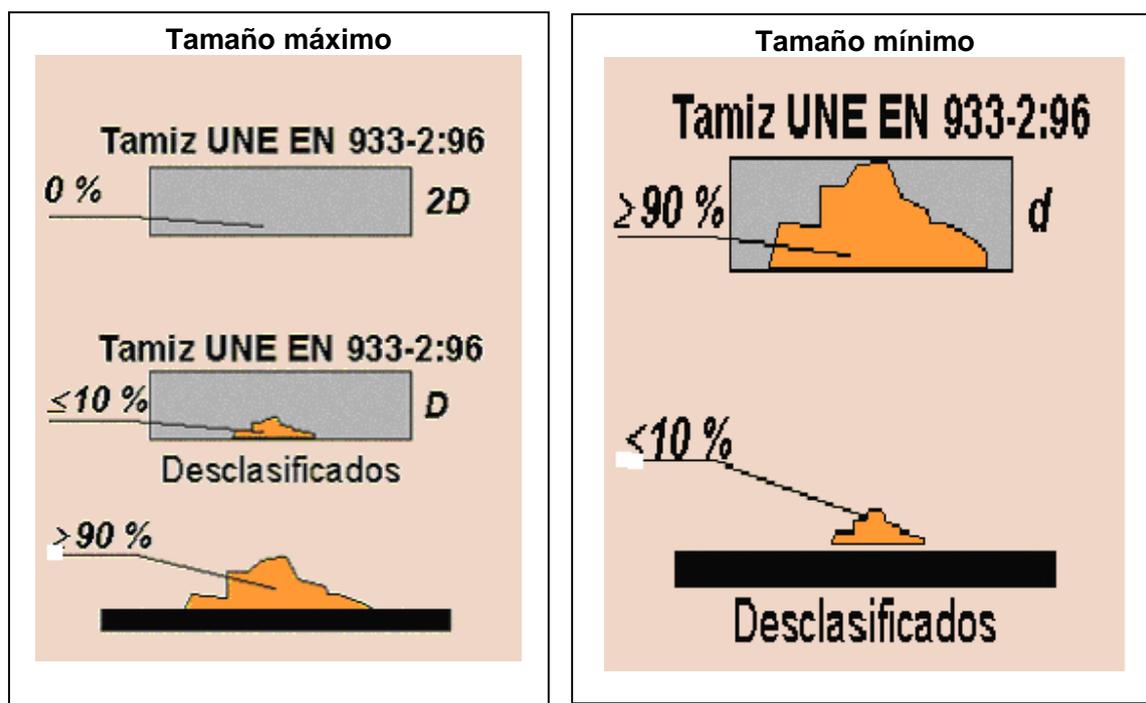
Huso granulométrico



Es la porción de área de un gráfico granulométrico dentro de la cual deben incluirse las curvas granulométricas de las arenas para ser aptas para la fabricación del hormigón.

:

El árido se designa por su tamaño máximo y su tamaño mínimo (d/D).



Tamaño máximo (D)

Es la mínima abertura de tamiz UNE EN 933-2:96 por el que pase más del 90 % en peso cuando, además, pase todo por el tamiz doble.

Tamaño mínimo (d)

Es la máxima abertura de un tamiz UNE EN 933-2:96 por el que pase menos del 10 % en peso.

Los áridos tienen numerosas aplicaciones en la construcción. La principal es actuar como *carga* en los materiales compuestos para limitar el contenido de aglomerantes o adhesivos, y a sea por razones técnicas o económicas. Los encontramos en el hormigón y en los morteros, tanto en base a cemento como en base a resinas sintéticas.

Tamaño máximo

La EHE proporciona especificaciones en las que relaciona el tamaño máximo del árido con la separación entre armaduras y de éstas respecto de los encofrados (EHE, 28.2), que presentamos ahora por su importancia al fijar el valor de D . Para cada especificación se hacen las aclaraciones correspondientes.

El tamaño máximo del árido grueso será menor que las dimensiones siguientes:

1. 0,8 de la distancia horizontal libre entre vainas o armaduras que no formen grupo, o que entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo mayor que 45° con la dirección de hormigonado.
2. 1,25 de la distancia entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme

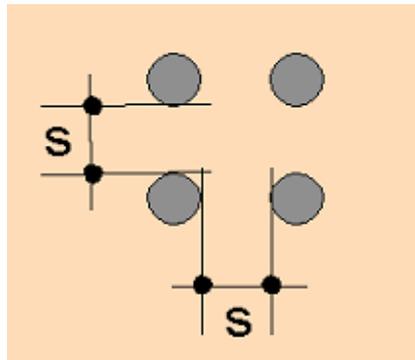
- un ángulo no mayor que 45° con la dirección de hormigonado
3. **0,25 de la dimensión mínima de la pieza, excepto en los casos siguientes;**
- Losa superior de los forjados, donde el tamaño máximo del árido será menor que 0,4 veces el espesor mínimo
 - Piezas de ejecución muy cuidada (caso de prefabricación 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

Las condición 3 no presenta dificultad. Respecto de la 1 y 2 se hacen las siguientes aclaraciones:

Para 1

La primera parte de esta especificación presupone que la distancia entre armaduras o vainas está fijada en el proyecto de antemano a la elección de D . Las separaciones entre barras las fija la EHE en función de los siguientes criterios (EHE, 66.4.1):

- **2 centímetros**
- **el diámetro de la mayor**
- **1,25 veces el tamaño máximo del árido**



La EHE recomienda que estas distancias se aumenten cuando existan varias capas de armaduras. La distancia se refiere tanto al eje horizontal como al vertical:

El tercer criterio, como se puede comprobar, es el inverso del que estamos tratando. En efecto 1,25 es igual a $1/0,8$

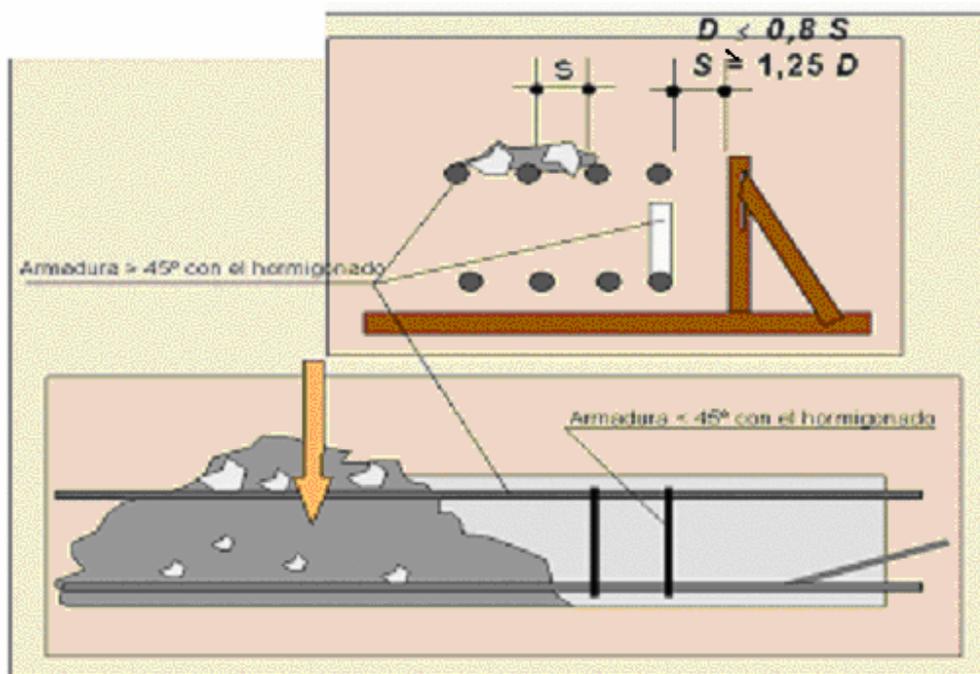


A pesar de que la EHE lo plantea al contrario, parece más razonable que el proyectista normalice el tamaño máximo del árido y luego se imponga la condición de separación de armaduras correspondientes.

Respecto de los grupos de barras y a los efectos considerados en este apartado, se tendrá en cuenta lo siguiente (EHE, 66.4.1):

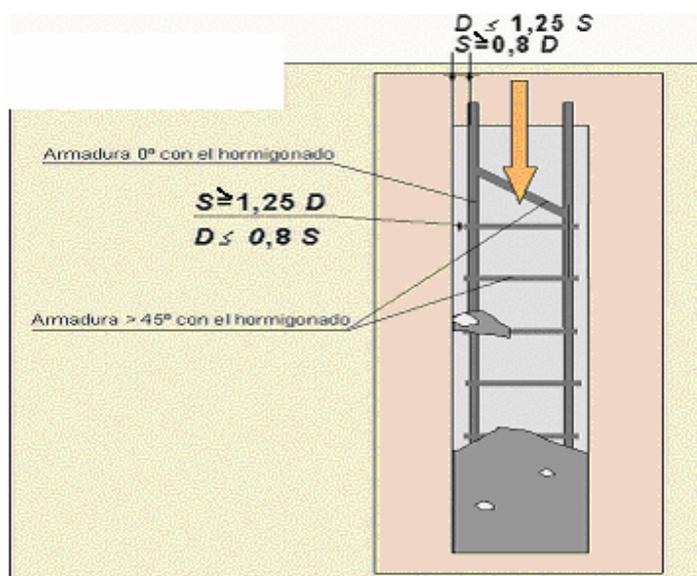
- Se considera como diámetro de cada grupo el de la sección circular de área equivalente a la suma de las áreas de las barras que lo constituyen.
- El grupo de barras se dispondrá de tal manera que el diámetro equivalente no sea mayor de 50 mm, salvo en piezas comprimidas que se hormigonan en posición vertical, en las que podrá elevarse a 70 mm.
- Los recubrimientos y distancias se medirán respecto del contorno real del grupo

La tercera consideración a realizar en relación a éste primer párrafo sobre el tamaño máximo del árido tiene que ver con la distancia a los bordes de la pieza y **la inclinación de la barra respecto de la dirección de hormigonado**. Se trata de garantizar suficiente distancia entre el encofrado y la armadura cuando ésta se puede constituir en una barrera para el paso del hormigón en su integridad estructural (que incluye, naturalmente al árido grueso). Por ello, la EHE establece un tamaño máximo de $0,8$ la distancia entre los bordes y las armaduras que formen un ángulo mayor de 45° con la dirección de hormigonado.



Para 2

La condición 2 implica que cuando la armadura situada en la dirección del hormigonado forme un ángulo inferior a 45° con ésta el tamaño máximo del árido podrá llegar a ser 1,25 veces la distancia entre la armadura o vaina y el borde de la pieza.



En este caso, se pone de manifiesto con mayor claridad que el tamaño máximo del árido no puede elegirse en función de las distintas situaciones de las armaduras, sino, al contrario, la separación entre armaduras dependerá en cada caso del tamaño elegido para el árido en un mismo tipo de hormigón.

Requisitos físico – químicos

En términos generales los áridos cumplirán las siguientes condiciones:

Tabla 3.1			
Limitaciones a las sustancias perjudiciales			
Sustancias perjudiciales		Cantidad máxima % peso total de la muestra	
		Arena	Grava
Terrones de arcilla.	UNE 7133:58	1,00	0,25
Partículas blandas.	UNE 7134:58	-	5,00
Material retenido por el tamiz 0,063 UNE EN 933-1:99 y que flota en un líquido de peso específico 2.	UNE EN 933-1:99 UNE 7244:71	0,50	1,00
Compuestos totales de azufre expresados en SO_3 , referidos al árido seco.	UNE EN 1744-1:99	1,00	1,00
Sulfatos solubles en ácidos, expresados en SO_3 , referidos al árido seco.	UNE EN 1744-1:99	0,80	0,80

Cloruros expresados en Cl ⁻ y referidos al árido seco.	UNE EN 1744-1:99	HA	0,05	0,05
		HM		
		HP	0,03	0,03
HA.- Hormigón armado; HM.- Hormigón en masa con armaduras para la fisuración; HP.- Hormigón pretensado				

Además se tendrá en cuenta que:

- Las arenas no tendrán materia orgánica en cantidad relevantes
- Los contenidos de cloruros de los áridos no contribuirán a que el contenido total en el hormigón supere los valores de 0,2 % del peso de cemento en hormigón pretensado y 0,3 en hormigón armado o en masa con armaduras de fisuración.
- Los áridos no contendrán finos en cantidades o naturaleza que resulten perjudiciales para el hormigón.
- Los áridos no será reactivos con los álcalis del cemento.

Requisitos físico - mecánicos

La EHE las siguientes condiciones físico-mecánicas para los áridos:

Tabla 3.2			
Condiciones físico - mecánicas			
Condición	Norma	Valores	
Friabilidad de la arena	UNE EN 1097-1:97	≤ 40	
Resistencia al desgaste de la grava	UNE EN 1097-2:97	≤ 40	
Absorción de agua por los áridos	UNE 83133:90	≤ 5 %	
Pérdida de peso en cinco ciclos con una solución de sulfato magnésico	UNE EN 1367-2:99	F	≤ 15 %
		G	≤ 18 %
F.- árido fino; G.- árido grueso			

Requisitos granulométricos

Los requisitos de este apartado son de aplicación tanto a los áridos calizos como a los procedentes del machaqueo de rocas dolomíticas **que no presenten reactividad con los álcalis del cemento.**

La cantidad de finos admitidos establecidos (EHE, 28,3,3) se presentan en la tabla 6 donde queda clara la relación entre los tipos de áridos, sus contenidos de finos y las clases de exposición ambiental:

Tabla 3.3

Contenido máximo de finos en el árido %								
Tipos de áridos		Clases de exposición						
		I	Ila	Ilb	IIla	IIIb	IIIc	IV
Grueso	Redondeado	1	1	1	1	1	1	1
	Machaqueo no calizo	1	1	1	1	1	1	1
Fino	Redondeado	6	6	6	6	6	6	6
	Machaqueo no calizo	10	10	10	6	6	6	6
	Machaqueo calizo	15	15	15	10	10	10	10

Nota.- Los valores en casillas sombreadas pasan a tomar los valores de la derecha (6 para no calizos y 10 para calizos) cuando este presente una clase de exposición específica. (ver tabla x)

La granulometría de los áridos responderá a los siguiente criterios:

- La curva granulométrica del árido fino deberá estar comprendida dentro del huso establecido
- El árido grueso será juzgado por su coeficiente de forma o su índice de lajas

Tabla 3.4		
Forma del árido grueso		
Tipo	Norma	Valores
Coeficiente de forma	UNE 7238:71	$\geq 0,20$
Índice de lajas	UNE EN 933-3:97	< 35

4. Aditivos

4.1 El material

La EHE define a los aditivos como «sustancias o productos que, incorporados al hormigón antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) en un proporción no superior al 5% del peso de cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.»

4.1.1 Tipos

Los tipos de aditivos contemplados en la norma UNE EN 934-2:98

Tabla 4.1
Tipos de aditivos
Aditivo reductor de agua o plastificante: Aditivo que, sin modificar la consistencia, permite reducir el contenido en agua de un determinado hormigón, o que, sin modificar el contenido de agua, aumenta el asiento o produce ambos efectos a la vez
Aditivo reductor de agua de alta actividad o superfluidificante.- Aditivo que, sin modificar la consistencia, permite reducir fuertemente el contenido de agua de un determinado hormigón, o que, sin modificar el contenido en agua, aumenta considerablemente el asiento, o que produce ambos efectos a la vez
Aditivo retenedor de agua.- Aditivo que reduce la pérdida de agua, disminuyendo la exudación.
Aditivo inclusor de aire.- Aditivo que permite incorporar durante el amasado una cantidad controlada de pequeñas burbujas de aire, uniformemente repartida, que permanecen después del endurecimiento.
Aditivo acelerador de fraguado.- Aditivo que disminuye el tiempo de principio de la transición de la mezcla para pasar del estado plástico al estado rígido.
Aditivo acelerador del endurecimiento.- Aditivo que aumenta la velocidad de desarrollo de las resistencias iniciales del hormigón, con o sin modificación del tiempo de fraguado.
Aditivo retardador del fraguado.- Aditivo que aumenta el tiempo de principio de la transición de la mezcla para pasar del estado plástico al estafo rígido.
Aditivo hidrófugo de masa.- Aditivo que reduce la absorción capilar del hormigón endurecido.
Aditivo multifuncional.- Aditivo que afecta a diversas propiedades de un hormigón fresco o endurecido actuando sobre más de una de la funciones principales definidas para el resto de aditivos de esta tabla.

5. Adiciones

5.1 El material

5.1.1 Propiedades generales

Las adiciones se han consolidado como un componente habitual en la dosificación del hormigón. Son residuos industriales, por lo que la uniformidad de sus características es un aspecto fundamental de su empleo.

5.1.2 Tipos

- **Cenizas volantes.-** Residuos sólidos que se recogen por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas alimentadas por carbones pulverizados.

Dosificación máxima **35 %** del peso del cemento

- **Humo de sílice.-** Es un subproducto que se origina en la reducción de cuarzo de elevada pureza con carbón en hornos eléctricos de arco para la producción de silicio y ferrosilicio

Dosificación máxima **10 %** del peso del cemento

No se podrán utilizar adiciones con cemento distintos del CEM I