

TEMA 1

HORMIGONES

Definimos el hormigón como el producto resultante de unir elementos áridos con la pasta que se obtiene añadiendo agua a un conglomerante.

Este conglomerante puede ser cualquiera (yeso o cal) pero el hormigón por antonomasia es el fabricado con cemento artificial.

NOMENCLATURA

- **HORMIGÓN ORDINARIO:** Material que se obtiene al mezclar cemento, agua y áridos minerales de tamaños variados, superiores e inferiores a 5 mm.
- **HORMIGÓN EN MASA:** Hormigón que no contiene en su interior armadura de ninguna clase. Apto para resistir esfuerzos a compresión.
- **HORMIGÓN ARMADO:** Hormigón con armadura de acero, debidamente dimensionada y situada. Es apto para resistir sollicitaciones a flexión y compresión.
- **HORMIGÓN PRETENSADO:** Hormigón con una armadura de acero especial, sometida a tracción previamente a la puesta en obra.
- **HORMIGÓN MIXTO:** Se emplea mezcla de los dos componentes y los nombres de estos deberán incluirse en la denominación del hormigón.
- **HORMIGÓN CICLOPEO:** Es el que tiene embebidos en su masa grandes mampuestos de dimensión mínima de 30 cm, y de forma tal que no pierde la compacidad.
- **HORMIGÓN AEROCLUSO:** El que tiene una capacidad de aire incorporado no mayor del 6 % de su volumen uniformemente distribuido en toda su masa, en forma de burbujas cuyo tamaño esta comprendido entre 0'05 mm y 0'1 mm. También hormigón aireado (Arlita)
- **HORMIGÓN UNIMODULAR:** Es el hormigón con áridos de un solo tamaño.
- **HORMIGÓN LIGERO:** Compuesto con áridos ligeros. Una variante es el hormigón celular que contiene burbujas independientes de gas uniformemente repartidas.
- **HORMIGÓN INJECTADO:** Cuando se inyecta en un molde o encofrado relleno de árido ($\phi > 25$ mm) mortero de relleno.
- **HORMIGÓN BLINDADO:** Unidad de obra utilizado en pavimentaciones, compuesta por una capa de espesor variable de hormigón ordinario y otra superior de piedra embutida.
- **AMIANTO CEMENTO:** Hormigón cuyo árido es el amianto o abesto. Roca fibrosa.

COMPONENTES DEL HORMIGÓN

ARIDO + AGUA + CEMENTO

ARIDOS UNE 83-101

Es el conjunto de gravas minerales de dimensiones comprendidas entre 0 y 10 mm destinados principalmente para la fabricación de morteros, hormigones, capas de cimentación y base de firmes de carreteras y vías férreas.

Pueden ser:

TIPOS DE ARIDOS SEGÚN SU NATURALEZA

- ARIDOS NATURALES: Cuando proceden de fuentes naturales sin mas transformaciones que las mecánicas de cribado, lavado...
- Por su composición pueden ser
- Graníticas
- Calizas
- Silíceos

(en función de la familia petrológica de procedencia)

- Por el proceso mecánico que han experimentado para su suministro y uso.
- Machaqueo
- Rodados (Mejores)
- ARIDOS ARTIFICIALES: áridos fabricados con materias primas que sufren una transformación mecánica, térmica y química. Se clasifican según el proceso de obtención. En su designación debe figurar siempre referida al proceso de fabricación.
- Arcillas expandidas
- Escorias peletizadas

CARACTERÍSTICAS Y CLASIFICACION

Densidad real y granulometría

En ambos casos los áridos se caracterizan y clasifican por su

- DENSIDAD REAL

Ligeros $< 2 \text{ g/cm}^3$

Normales 2 a 3 g/cm^3

Pesados $> 3 \text{ g/cm}^3$

Cociente entre la masa seca de la muestra de árido y el volumen ocupado por la materia sólida, comprendiendo los huecos accesibles e inaccesibles contenido en los granos.

Por su densidad real se clasifican en:

- áridos ligeros: Densidad real del grano $< 2 \text{ g/cm}^3$
 - áridos normales: $2 \text{ g/cm}^3 < \text{densidad real del grano} < 3 \text{ g/cm}^3$
 - áridos pesados: Densidad real $> 3 \text{ g/cm}^3$
- GRANULOMETRIA

Determinación mediante tamices de las dimensiones de los granos por extensión también de denomina granulometría a la distribución dimensional de los granos de un árido.

Por el tamaño de los granos, los áridos se denominan:

- ◆ Finos: dimensión del grano $< 0{,}08$ mm
- ◆ Arenas: $0{,}08$ mm $<$ dimensión del grano < 5 mm
- ◆ Grava: 5 mm $<$ dimensión de grano < 100 mm

FRACCION GRANULOMETRICA: Es la parte de árido cuya granulometría viene definida desde el punto de vista dimensional mediante dos aberturas de macla de tamices de la serie UNE 7050.

IDENTIFICACIÓN DE ARIDOS

Paso fundamental antes de elaborar el hormigón es el conocimiento profundo de las materias primas a utilizar.

- **PROCEDENCIA** UNE 83.108

- **ARIDOS QUE PROCEDEN DE ROCAS MASIVAS**

Constituidos por mezclas de diferentes minerales o rocas.

- ◆ Composición mineralógica: Estudio petrográfico incidiendo en materiales alterados o no peligrosos por su forma, absorción de agua o reactividad con otro componente del hidrógeno.
- ◆ Estado de alteración: Para el conocimiento de la existencia de arcillas (procedentes de la caolinización)
- ◆ Textura: Depende de la dimensión y disposición relativa de los compuestos cristalinos de las rocas. Influye en la resistencia mecánica y en el proceso de machaqueo.
- ◆ Densidad real y porosidad: Directamente ligadas a la resistencia mecánica y al comportamiento a la acción de hielo y deshielo.
- ◆ Índice de continuidad: Existencia de micro fisuras, poros y materiales alterados. (UNE 83.117)

- **ARIDOS PROCEDENTES DE ROCAS NO CONSOLIDADAS**

áridos formados por mezclas de varias rocas de naturaleza diferente y de distintas fases minerales.

- granulometría: El análisis granulométrico tiene por objeto la separación de cada clase granulométrica para su estudio por separado y para establecer la curva granulométrica UNE 7139
- Composición mineralógica y petrográfica: Para determinar el % de cada una de las especies mineralógicas y petrográficas en cada clase granulométrica.
- Textura: en materiales no consolidados, se realiza una clasificación de textura por cada clase granulométrica.
- Porosidad: Solo en áridos gruesos (material retenido por el tamiz 5. UNE 7050)
- Índice de continuidad: en el elementos superiores a 40 mm

Para realizar ensayos para la aceptación a rechazo de los áridos se debe realizar una forma de muestras según norma UNE 83.109

Esta forma de muestras también sirve para controlar el producto en el lugar de suministro y en el lugar de utilización.

El proceso e forma de muestras varia según la fuente de suministros.

- ◊ Canteras
- ◊ Depósitos de bloques sueltos, canto rodado
- ◊ Depósitos de gravas y arenas (UNE 83.109)
- ◊ Obra

ENSAYOS EN ARIDOS

• RESISTENCIA A COMPRESIÓN

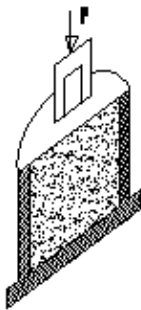
Resistencia a compresión de rocas empleadas en la fabricación de áridos UNE 83.111

Probetas de 200x200x200 mm³ desecadas a peso constante con peso y densidad conocidos se someten a rotura en prensa hidráulica con una carga y velocidad comprendida entre 0'3 y 0'5 MPa/s (Megapascal / segundo)

• DETERMINACIÓN DEL INDICE DE MACHACABILIDAD UNE 83.112

Es un valor indicativo de la resistencia del mismo a compresión.

En este ensayo la compresión esta ejercida por la acción de una partícula sobre las contiguas al someter a las mismas a una carga exterior aplicada gradualmente estando estas dentro de un recipiente indeformable.



FRACCION PATRON

Tamiz 14

UNE 7.050

Tamiz 10

• DETERMINACIÓN DEL VALOR DE CARGA CORRESPONDIENTE AL 10% DE FINOS (UNE 83.113)

Establece el valor de la carga necesaria para producir un 10 % de finos en la muestra patrón.

Finos tamiz 2'5 UNE 7.050

NOTA: Se realiza la factor patrón 14/10 (Tamices)

• COEFICIENTE DE LOS ANGELES (UNE 83.116)

Define el método de ensayo para determinar la resistencia a la fragmentación por choque de los áridos gruesos.

- Carga abrasiva con esferas de acero
- Tamiz 1'6 mm UNE 7.050
- Coeficiente de los ángulos

(M-M') en % masa original

- INDICE DE CONTINUIDAD (UNE 83.117)

Aplicable para todo tipo de áridos naturales y artificiales. Se basa en el ensayo de la variación que sufre la velocidad de una onda longitudinal al atravesar una roca debida a las microfisuras minerales alteradas, poros...

V_{lm} = Velocidad real

V_{lc} = Velocidad teórica

- DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE LOS COMPUESTOS DE AZUFRE (UNE 83.120)

La presencia de azufre en forma de sulfatos y de sulfuros es perjudicial para la durabilidad del hormigón.

- DETERMINACIÓN DE LA REACTIVIDAD ÁRIDO/ALCALIS (UNE 83.121)

Valora la posible reactividad de los áridos con las álcalis del cemento.

Se utiliza una solución de hidróxido sódico en agua destilada.

- ESTABILIDAD EN MEDIO ALCALINO (UNE 83.122)

Valora la estabilidad dimensional de los áridos en medios alcalinos.

Se sumergen las probetas en agua desmineralizada, sosa y potasa (hidróxido sódico e hidróxido potásico)

Probetas de árido (tamiz UNE 3'15 mm) + CEM I R con Na_2O y $K_2O < 0'6 \%$

- DETERMINACIÓN DE CLORUROS (UNE 12.490)

La presencia de cloruros en el hormigón provoca ataques a las armaduras (corrosión)

Este ensayo mide la existencia de cloruros en los áridos.

- ENSAYO DEL AZUL DE METILENO (UNE 83.130)

Ensayo para medir la capacidad de absorción del material.

Valor de azul: Cantidad de azul metileno absorbido por 100 gr de finos en 200 cm³ de agua destilada.

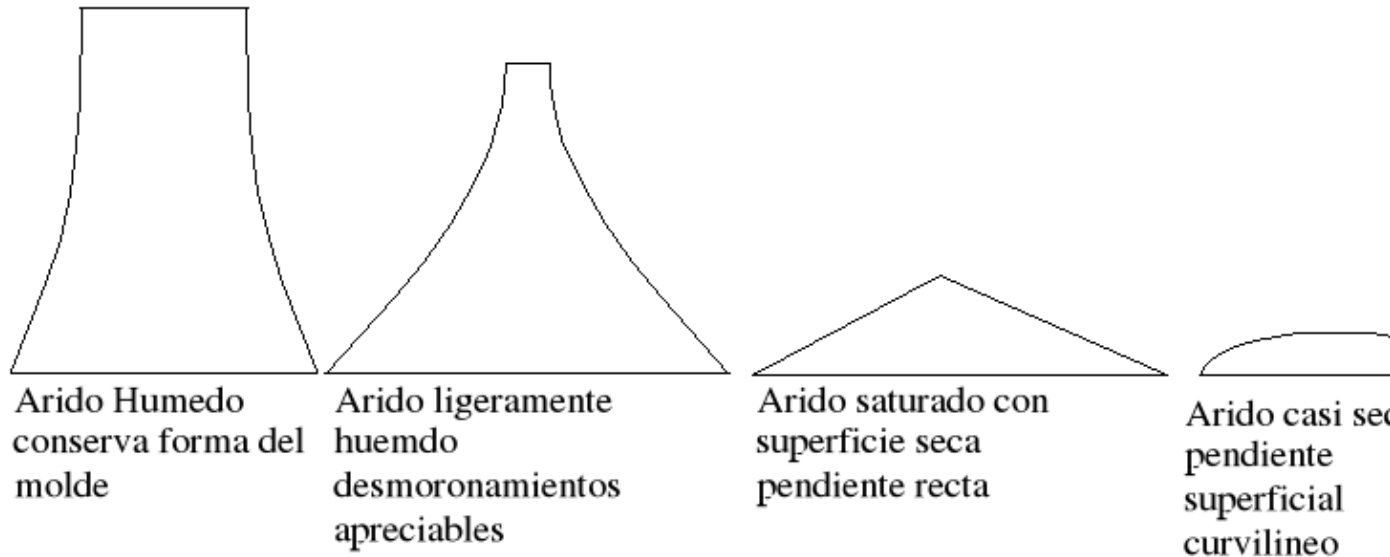
El agitador de aletas (árido + agua) se introduce en disolución de azul metileno.

El valor de azul es:

Se deposita una gota en muestra de filtro. El ensayo es positivo si la zona húmeda aparece una aureola azul alrededor del depósito central.

- UNE 83.133

Define el método para definir las densidades, coeficientes de absorción y contenido de agua en una muestra de árido fino.



- UNE 83.124

Igual que UNE 83.133 pero para áridos gruesos.

- RESUMEN

En resumen, una vez conocidos los ensayos para determinar las características de los áridos, se especifican los siguientes conceptos.

- áridos: Son materiales inertes, naturales o artificiales que, aglomerados con cemento constituye el hormigón.
- Si bien no tiene participación alguna en el fraguado y endurecimiento del hormigón, desempeñan un importante papel desde el punto de vista de las propiedades físicas, químicas y mecánicas del hormigón.
- Según UNE 83.101
 - Gravas o árido grueso: $\varnothing > 5\text{mm}$
 - Arena o árido fino: $\varnothing < 5\text{ mm}$

- OTRAS NOMENCLATURAS

- ARENAS O ARIDO FINO
 - ◆ Arena gruesa 2–5 mm
 - ◆ Arena fina 0'05–2 mm
 - ◆ Polvo 0–0'05 mm
- GRAVAS O ARIDO GRUESO
 - ◆ Morro 80–150 mm
 - ◆ Grava gruesa 50–80 mm
 - ◆ Grava media 40–60 mm
 - ◆ Grava menuda 30–50 mm
 - ◆ Gravilla 20–30 mm
 - ◆ Garbancillo 5–20 mm

PROCEDENCIA DE GRAVAS Y ARENAS

Las gravas y arenas proceden de la desintegración natural o artificial de rocas y según la naturaleza de estas pueden ser silíceas, calizas, granítica, etc...

Las rocas de procedencia no debe ser activas frente al cemento o los agentes exteriores.

(UNE 83.120, 83.121, 83.122, 83.124...)

EJEMPLO DE ARIDO ACTIVO

En arenas el exceso de arcillas (sustituto que aumenta las exigencias de agua) hace disminuir unas resistencias mecánicas del hormigón. La materia orgánica puede impedir el endurecimiento del cemento.

CONSIDERACIONES SOBRE LA FORMA DE LOS ARIDOS

La forma tiene una gran influencia en la resistencia del hormigón.

Cuando se trata de áridos rodados se obtendrán hormigones tanto mejores cuanto mas se aproximen a la forma esférica. En el caso de áridos machacados los mejores hormigones se obtendrán cuando la forma difiera poco del cubo.

Los hormigones serán de peor calidad cuando tengan forma laminar o acicular. Producen un hormigón poco manejable, con menos capacidad y por tanto disminuyen sus resistencias mecánicas y su impermeabilidad.

CONSIDERACIONES SOBRE LA HUMEDAD Y EL ENDURECIMIENTO

De las cuatro formas en que podemos encontrar los áridos con respecto al agua.

UNE 83.133

- ◇ Seco (absorben agua al amasar el hormigón)
- ◇ Saturado con superficie seca (absorben agua al amasar el hormigón)
- ◇ Ligeramente húmedos (absorben agua al amasar el hormigón)
- ◇ Saturados (permanece igual)

Pueden estar además mojados y cederán agua a los demás componentes del hormigón.

Cuanto mas fina es la arena, mas importante es el aumento de volumen, llegando a un 40 % de volumen con un 8 % de agua en peso.

CONSIDERACIONES SOBRE ADHERENCIA

- Es básica la adherencia perfecta entre los áridos y la pasta del cemento, sin ella no habría hormigón.
- Condiciones indispensables para la adherencia son una aspereza mínima en la superficie de los áridos y una gran limpieza.
- No debe existir en la superficie de los granos película de arcilla o materia orgánica. Tampoco polvo, cosa frecuente en los áridos de machaqueo, que se mezcla mal durante el amasado del hormigón.
- En el caso de existencia de estas u otras materias, es indispensable lavar el árido para eliminarlas, ya que de lo contrario se ven perjudicadas seriamente todas las características del hormigón, y de un modo especial, la resistencia a tracción y la fragilidad.

GRANULOMETRIA

Composición granulométrica de un árido cualquiera.

Es el conjunto de porcentajes en peso de los distintos tamaños de los granos que lo integran en relación con el peso total del mismo.

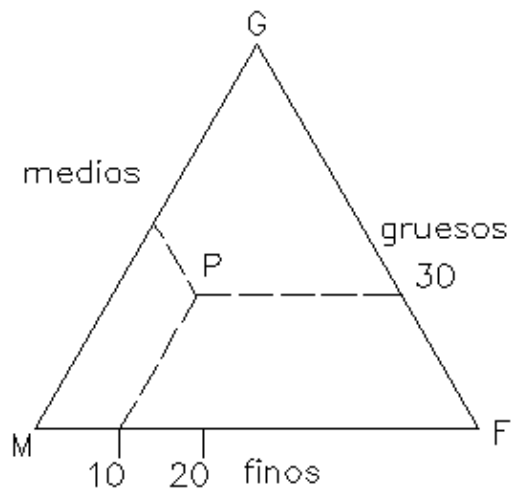
La granulometría de la grava y la arena se determinan por pesado y sabiendo la proporción de grava y de hormigón y la granulometría de estos áridos se puede determinar el árido conjunto.

Es antieconómico corregir la granulometría de la grava pero se realiza con el árido grueso.

ESTUDIOS DE FERET (COMPACIDAD)

Si un árido posee gravas en tamaños y cantidades tales que cada grupo de ellos este en condiciones de rellenar los huecos o vacíos dejados por los de tamaño superior a el, siendo mas compacto.

Feret llego a la conclusión investigando arenas y las represento en diagramas triangulares.



g = gramos gruesos
m = medios
f = finos

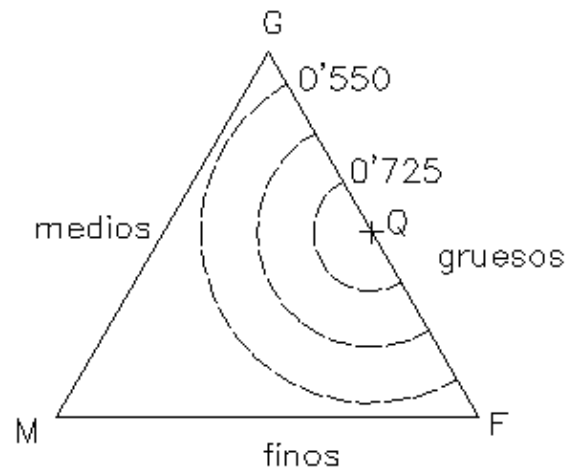
$$g + m + f = n$$

Ejemplo:

Una arena con composición 30 % gruesos, un 20 % de finos y un 50 % de medios se encuentra en el punto P.
P(30,50,20), (g,m,f)

Preparo numerosas mezclas g+m+f, cuyas compacidades determino preparando un diagrama de curvas.

- Las arenas con un solo tamaño de grano son las menos compactas.
- La ausencia de finos conduce a compacidades escasas.
- La arena mas compacta 60 % g + 40 % f Q compacidad > 72'5 %

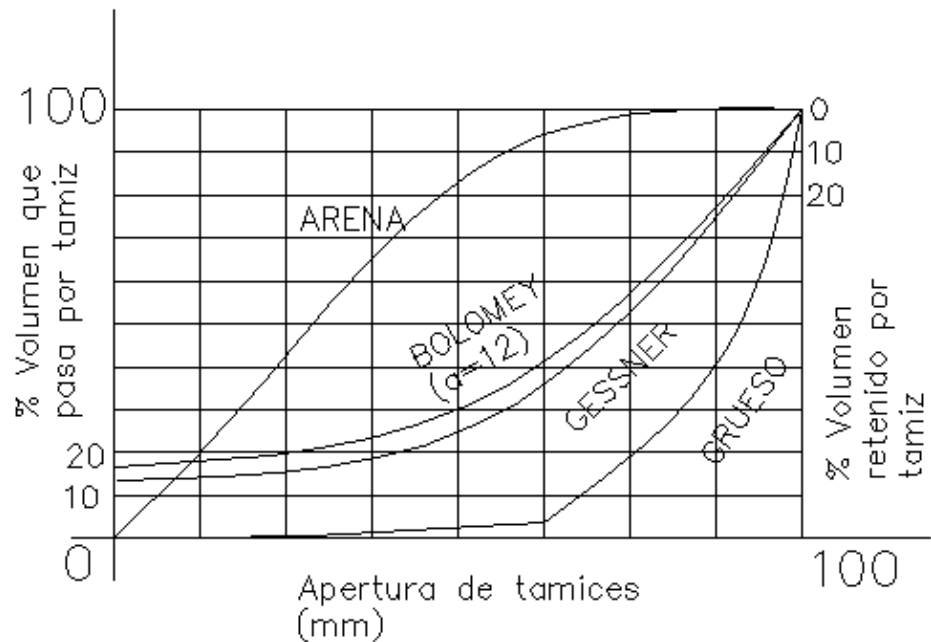


CURVAS DE FULLER–THOMSON

Ampliando los ensayos de Feret a áridos de cualquier tamaño, Fuller estableció que la máxima compacidad de un árido requiere una composición granulométrica parabólica por la ecuación:

$r = (\% \text{ del total}) \text{ peso de cada tamaño de } \phi \text{ d siendo } D \text{ el } \phi \text{ máximo.}$

Esta ecuación es una parábola (Parábola de Gessner).



Si la curva granulométrica de un árido propuesto coincide con la Gessner se dice que su Parábola granular es óptima.

Bolomey perfecciono la curva de Gessner, teniendo en cuenta el tipo de cemento, tipo de árido, consistencia...

Parábola de Bolomey

ÁRIDO	CONSISTENCIA HORMI.	a	
RODADO	SECO, PLASTICO	10	
		BLANDA	11
		FLUIDA	12
	MACHAQUEO	SECO, PLASTICO	12
		BLANDA	13
		FLUIDA	14

MODULO DE FINURA

Abrams definió como módulo de finura la suma de los tanto por ciento retenidos en cada tamiz, dividida por 100.

Ejemplo de arena:

Tamiz (mm)	% Retenido		Acumulado
		Parcial	
2'380 (D)	11'0	11'0	
1'190 (D/2)	27'2	38'2	

0'590 (D/4)	34'1	72'3
0'297 (D/8)	24'2	96'5
0'149 (D/16)	3'5	100'0

Cuanto mas fino sea el árido, menor será su modulo de finura.

Este dato es lo único que nos indica el modulo de finura pero no dice nada respecto a la granulometría.

El modulo de finura ajustado a la curva de Fuller cuyo tamaño máximo de grano se D (38'0) vale:

Un árido posee composición granulométrica tanto mas correcta, cuanto mas se aproxime a 6'7 el valor de su Md, tanto por defecto como por exceso.

ADICIONES

Se entiende por adiciones al hormigón toda materia (a excepto de agua, cemento y áridos) que se añada al hormigón para provocar una mejora o varias de las características del hormigón.

La acción de estas adiciones es, en general, de naturaleza físico-química y por lo tanto producen alteraciones de las características físicas, químicas o mecánicas de la mezcla.

Se debe tener en cuenta que algunas adiciones al mejorar alguna característica de la mezcla pueden alterar otras.

Un aditivo no es un paliativo, no tiene por misión conseguir un buen hormigón a partir de una mala dosis o de una colocación defectuosa en obra.

No es un producto capaz de sustituir a las reglas de la técnica correcta.

Pueden ser:

- Plastificantes
- Fludificantes
- Aireantes
- Aceleradores
- Retardadores
- Hidrófugos
- Autocongelantes y Antiheladizos
- Aditivos diversos, etc...

UNE 83.200

Norma española para la clasificación y definiciones de aditivos para hormigón morteros y pastas.

Esta norma especifica:

- ◆ El aditivo se añade antes o durante el amasado.
- ◆ La proporción es inferior al 5 % del peso del cemento.
- ◆ No deteriora las características del hormigón.
- ◆ Cuando se utilizan varios aditivos deben de ser compatibles entre si.
- ◆ No deben alterar las características del hormigón.

- ◆ A no ser que el aditivo se debe añadir al cemento (caso excepcional) siempre se incorpora al hormigón disueltos en el agua de amasado.

FUNCION PRINCIPAL

Cada aditivo se caracteriza y define por producir una modificación determinada y solo una de las propiedades o características del hormigón.

FUNCION SECUNDARIA

Si accesoriamente se modifica alguna o algunas propiedades o características del hormigón, mortero o pasta.

Especifica los siguientes tipos de aditivos, basado en la función principal de los aditivos.

• ADITIVOS QUE MODIFICAN LA REOLOGÍA

Sustancias o productos que modifican o mejoran la trabajabilidad, (ductilidad, manejabilidad, docilidad...) del hormigón, mortero o pasta en estado seco.

• PLASTIFICANTES

Tienen por función principal:

- ◇ Mejorar la trabajabilidad para una determinada relación agua / cemento.
- ◇ Permitir una modificación de la cantidad de agua para una trabajabilidad dada.

Son tanto mas necesarios cuando la arena posee pocos elementos finos o la dosificación del cemento es débil.

Existen varios productos que se caracterizan por:

Modificar procesos físico o mecánicos, favorecen el deslizamiento de los granos de cemento y arena y a pesar de su extremada finura no requiere mas que la cantidad estrictamente de agua.

- Kieserguir (sílice fósil pulverizado)($\phi < 100$ micras)
- Bentonitas (arcilla $\phi < 1$ micra)
- Cenizas volantes
- Puzolanas

Estos productos se utilizan en una proporción de un 3–5 % del peso del cemento.

Son productos pulverulentos extremadamente finos, insolubles en agua.

VENTAJAS:

- Permite reducir el agua de amasado con lo cual se obtienen resistencias mecánicas compactidad e impermeabilidad.

• FLUDIFICANTES

Llamados también reductores de agua. Tienen por función principal:

- Disminuir el contenido de agua de un hormigón, mortero o pasta para la trabajabilidad dada.

- Aumentar la trabajabilidad de un hormigón, masa o pasta para el mismo contenido de agua sin producir le segregación.
- Ambos aspectos simultáneamente.

Actúan por procesos físico-químicos. Suelen ser de tipo emulsivo y mantienen la dispersión de las partículas de cemento en una cantidad reducida de agua (Defloculación en la pasta liberando burbujas de aire)

VENTAJAS:

- Permite reducir un 10 % (aprox.) el agua de amasado.
- El mas conocido es el lignosulfonato de calcio.
- Se añade en el agua.
- Ojo, comprobar la compatibilidad con el cemento, sobre todo cuando contiene escorias.
- Se aconsejan cuando se desean hormigones de alta resistencia, conservando a su vez manejabilidad satisfactoria.
- Son mas especificas cuanto mas secas sean las mezclas.

• SUPERFLUDIFICANTES

Los mismos efectos, pero mas enérgicos que los fluidificantes, debiéndose evitar 2 efectos:

- Exudaciones (no se mezcla bien el agua y el cemento)
- Segregaciones de finos

• ADITIVOS QUE MODIFICAN EL FRAGUADO Y/O EL ENDURECIMIENTO

• ACELERADORES DE FRAGUADO

Tienen como función principal reducir o adelantar el tiempo de fraguado (principio y final) del cemento que se encuentra en hormigón, masa o pasta.

- Son productos solubles en agua que actúan químicamente, aumentando la velocidad de hidratación del cemento.
- Activa el fraguado y aumenta el desprendimiento de calor.
- Se emplean en tiempo frío y para trabajos urgentes.
- Pueden ser:
 - ◆ Acelerantes de fraguado
 - ◇ Álcalis
 - ◇ Carbonatos (sódico)
 - ◇ Sulfatos de sosa
 - ◇ Sulfatos de potasa
 - ◆ Acelerantes de endurecimiento
 - ◇ Cloruros
 - ◇ Carbonatos

NOTA: Los productos a base de cloruros pueden producir corrosión (no utilizar en pretensados, s. radiantes...)

Los cloruros mejoran el hormigón frente a las heladas, al mejorar su docilidad y aumentar su compacidad. Se utiliza en proporciones del 2%–5% del peso del cemento.

Suelen producir retracciones.

• RETARDADORES DEL FRAGUADO

función principal, retardar el tiempo de fraguado (principio y final) del cemento que se encuentra en el hormigón, masa o pasta.

- Actúan químicamente, como los acelerantes, retardando la hidratación y el inicio del fraguado del cemento.
- Productos:
 - ◆ Azúcares y aluconantes.
 - ◆ Ácido cítrico.
 - ◆ Ácido tartárico.
 - ◆ Óxido de zinc
 - ◆ Fosfatos alcalinos.
- Disminuyen la resistencia inicial, si bien, normalmente, aumentan las finales.
- Son aconsejables:
 - ◆ En hormigón en tiempo caluroso.
 - ◆ Transportes de hormigón a grandes distancias.
 - ◆ Continuaciones de hormigonadas.
 - ◆ ADITIVOS QUE MODIFICAN EL CONTENIDO DE AIRE (O DE OTROS GASES)

Tienen como misión (función principal) modificar en uno u otro sentido el contenido de aire ocluido en los hormigones.

◆ INCLUSORES DE AIRE

Producen en el hormigón, pasta o masa un número elevado de finas burbujas de aire separadas y repartidas uniformemente.

Estas microburbujas permanecen así durante el endurecimiento.

Son compuestos generalmente resinosos o a base de aceites vegetales y minerales. Se presentan en forma líquida, sales solubles o polvos insolubles, que se deben añadir en el momento del amasado.

El diámetro medio de las burbujas es de 0'05 mm

Mejoran:

- ◆ La plasticidad y manejabilidad del hormigón. Las burbujas actúan como si se tratase de pequeños granos elásticos y sus roces.
- ◆ La resistencia a las heladas de hormigón endurecido (anticongelante) estas burbujas constituyen un sistema de vasos expansivos por los cuales el agua intersticial aumenta de volumen evitando la disgregación.
- ◆ Produce disminución de las resistencias mecánicas.
- ◆ GENERADORES DE GAS

Aditivos cuya función principal es producir un gas por medio de una reacción química durante la colocación del hormigón, masa o pasta.

Son productos que:

- ◆ En pequeñas proporciones produce una ligera expansión del hormigón en estado fresco posteriormente retracción.
- ◆ En cantidades más elevadas produce un importante volumen de gas formándose

hormigón celular.

◆ GENRADORES DE ESPUMA

Aditivos cuya función principal es producir por medios mecánicos una espuma estable formada por burbujas de aire de tamaño variable, que se encuentran homogéneamente repartidas dentro de la masa a la que confiere una estructura aureolar.

◆ DESAIREAMIENTOS O ANTIESPUMANTES

Eliminan el exceso de aire debidos a áridos o aditivos con función secundaria aireante.

◆ GENERADORES DE EXPANSION

Aditivos cuya función principal es producir una expansión controlada y permanente en los hormigones, morteros o pasta. (moldes)

Produce una expansión final correspondiente entre 0 y 0'05 % (compensadores de expansión)
0 >= 0'06 % (expansión libre)

◆ ADITIVOS QUE MEJORAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES FÍSICAS

Función principal conseguir que los hormigones, masa o pasta, presentan mayor resistencia a la acción de los fenómenos de naturaleza física.

◆ PROTECTORES CONTRA LAS HELADAS

Mejoran resistencia frente a las heladas.

No se deben confundir anticongelantes y antiheladizos (actúa una vez endurecido)

◇ ANTICONGELANTES

Evita la formación de hielo en el hormigón fresco.

El hielo destruye la compacidad y detiene el fraguado del cemento.

- Hay que acelerarlo.
- Reducir dosificaciones de agua.
- Modificar el punto de congelación del H₂O.

◇ En estado endurecido (inclusores de aire)

◇ En estado fresco (aceleradores de fraguado de endurecimiento)

◇ ANTIHELADIZOS

Evitan que el hormigón una vez endurecido se disgrega progresivamente por las heladas.

◇ Aireantes.

◇ La mejor solución es compacidad y homogeneidad reologica.

Otro tipo son los HIDROFUGOS, productos que mejora la estanqueidad, protegiendo los hormigones al detener la humedad capilar.

◇ HIDROFUGOS DE MASA

Se añade en forma líquida o en polvo a mezclas en hormigonera o en el agua de amasado.

Plastificantes que tapan los poros.

- ◊ Kies Cleuhr
- ◊ Caolin
- ◊ Filler
- ◊ Bentonita
- ◊ Jabones (estetrato u oleatos de calcio)

Son modificantes si el hormigón es compacto y homogéneo y si se han evitado fisuras.

◊ HIDROFUGOS DE SUPERFICIE

Se aplican con brocha sobre el hormigón duro.

Pueden ser:

- ◊ Silicatos.
- ◊ Siliconas.
- ◊ Fluosilicatos
- ◊ Pinturas bituminosas
- ◊ Pinturas vinílicas

No se deben aplicar pinturas grasas (oleos) pues la cal del cemento produce saponificación de aceites grasos.

◆ ADITIVOS QUE MEJORAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES FISICO-QUIMICAS

Sustancias o productos que tienen como función principal incrementar la resistencia de los hormigones, morteros o pastas, así como de armaduras de los mismos a los ataques de naturaleza físico-química internos o externos.

Por ejemplo existen tratamientos superficiales por fluosilicatos, silicatación, silíceos, etc.. Por los cuales el hormigón se vuelve más duro y resistente a los agentes agresivos (también ayuda una breve compactación y una dosificación de cemento adecuando sus condiciones esenciales).

◊ INHIBIDORES DE CORROSION DE ARMADURAS

Aditivos cuya función principal es reducir la posibilidad de corrosión de las armaduras en el hormigón o mortero.

Se debe especificar la clase de armadura sobre la que se echa el aditivo (inhibida de corrosión para acero)

◊ MODIFICADORES DE LA ÁLCALIS-ARIDOS

Generalmente polvos minerales finos. Aditivos cuya función principal es la de impedir o dificultar la reacción entre ciertos áridos y los álcalis del cemento y reducir sus efectos expansivos.

◊ OTROS ADITIVOS

◊ ADITIVOS PARA EL BOMBEO

Tienen como función principal reducir el rozamiento extremo del hormigón, masa o pasta, contra la tubería de conducción sin modificar la relación agua / cemento.

◊ ADITIVOS PARA HORMIGON Y MORTEROS PROYECTADOS

Sustancias cuya función principal es impedir el descuelgue del material proyectado y el rechazo.

◇ ADITIVOS PARA INYECCIONES

Tienen como función principal aumentar la fluidez de los rellenos o morteros de inyección y reducir los riesgos de exudación y decantación.

Son plastificantes o bien productos a base de polvo de aluminio que por reacción con el cemento, provoca los desprendimientos de burbujas de hidrógeno.

Hay quien dice que el oxígeno naciente produce o podría producir corrosión en los aceros, por lo que el control debe ser estricto.

◇ COLORANTES

◇ Tienen como función principal colorear el hormigón.

◇ Tienen que ser compatibles con la cal y no descomponerse con lo que se libera durante el fraguado y endurecimiento del cemento, ser estables y no alterarse a la intemperie.

◇ Es un material inerte (máx. 10 % en peso del cemento) Tienen que tener un alto poder colorante.

◇ Nunca pigmentos orgánicos(se altera con el tiempo y pierde color)

◇ Carbones, arcilla (tierra), cobalto (azul), óxidos (rojos, verdes).

COLORANTES	APTOS	NO APTOS
BLANCOS	Dióxido de titanio	Blanco de zinc
	Cretas	Blanco de plomo
	Caliza blanca	
AMARILLO	Oxido de hierro	Amarillo de cromo
	Amarillo de cadmio	Amarillo de zinc
		Amarillo e barita
ROJO	Rojo ingles	Minio de plomo
	Ocre rojo de hierro	Rojo de cadmio
	Oxido ferrico especial	Rojo de cobre
AZUL	Azul cobalto	Azul de París
	Azul de magnesio	Azul de Prusia
VERDE	Oxido de cromo	Verde cobalto
	Hidróxido de cromo	
PARDOS	Oxido de hierro	
	Ocre pardo	
NEGROS	Oxido de hierro	Hollín
	Negro de humo	
	Negro de magnesio	

CUADRO COMPARATIVO DE LA UTILIZACIÓN DE ADITIVOS

ADITIVOS	UTILIZACION
FLUDIFICANTES	◊ Necesidad de una buena trabajabilidad. ◊ Refabricación. ◊ Hormigones de alta resistencia.
PLASTIFICANTES	◊ Transporte neumático de hormigón. ◊ Hormigón colocado bajo el agua. ◊ Bloques prefabricados ◊ Arenas faltas de finos ◊ Hormigones muy armados ◊ Inyección
ACELERANTES	◊ Desencofrado rápido ◊ Refabricación en tiempo frío ◊ Sellados ◊ Continuaciones de hormigonado
RETARDADORES	◊ Tiempo cálido ◊ Transporte a grandes distancias ◊ Hormigón con árido visto ◊ Continuaciones de hormigonado
AIREANTES	◊ Carreteras ◊ Obras expuestas al hielo
ANTIGELICOS	
ANTICONGELANTES	◊ Hormigón Hasta – 10 % (tiempo muy frío) ◊ Bajo precauciones
HIDROFUGOS	◊ Morteros de enlucidos, cisternas, depósitos... ◊ Trabajos subterráneos ◊ Morteros de junta

ENSAYOS DE ADITIVOS

La serie UNE 83.200 se refiere aditivos para pastas, morteros y hormigonados. Son importantes entre otros:

UNE 83.281 Reductores de agua/fludificantes

UNE 83.282 Reductores de agua de alta actividad

UNE 83.283 Aceleradores de fraguado

UNE 83.284 Retardadores de fraguado

En estos ensayos se tiene en cuenta:

- ◊ Características organológicas (color, aspecto...)
- ◊ Residuo seco (UNE 83.205) Es el producto sólido que se obtiene cuando el aditivo líquido se somete a la acción de cola a 105 ± 3 °C hasta masa constante.
- ◊ Residuo insoluble en agua destilada UNE 83.208
- ◊ Peso específico (UNE 83.225) aditivos ligeros por densímetro.
- ◊ Densidad aparente (UNE 83.226) en aditivos sólidos.
- ◊ Ph (UNE 83.227)

◊ Contenido de alógenos (UNE 83.210)

◊ Espectro infrarrojo (UNE 83.240) para conocer la composición

HAY QUE EVITAR LOS ADITIVOS

AGUA

El hormigón tiene tres componentes son fundamentales:

- Cemento
- Áridos
- Agua
- + aditivos si son imprescindibles

El agua en el proceso juega un doble proceso:

◆ AGUA DE AMASADO

Es el agua que participa en las reacciones de hidratación del cemento y además confiere al hormigón la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra.

La cantidad de agua de amasado debe limitarse al mínimo estrictamente necesario, ya que el agua en exceso se evapora y crea una serie de huecos en el hormigón que disminuye la resistencia.

(1 litro de agua de amasado: 2 Kg. menos de cemento)

◆ AGUA DE CURADO

Es el agua que se añade para compensar las pérdidas de agua por evaporación y permite que se desarrollen menos procesos de hidratación.

Debe ser abundante el proceso de curado, tanto el agua de amasado como la de curado deben ser aptas para desempeñar eficazmente su función.

Durante el amasado el hormigón es difícil que se contamine con el agua, pues la capacidad de posibles aportaciones nocivas se añaden una sola vez y actúan sobre la masa en estado plástico.

(excepción aguas minerales gran pureza y por tanto muy agresivas)

Durante el curado se debe ser mas selectivo con el agua aportación de sustancias nocivas en cantidades mayores y de actuación mas duradera y sobre una masa no plástica.

Un índice útil sobre la aptitud de un agua es su potabilidad (son también aptas las depuradas con cloro)

No aptas:

- ◊ Aguas con impurezas de carbón
- ◊ Con limos en suspensión
- ◊ Aguas con cloruros
- ◊ Con sustancias orgánicas

◆ AGUA DEL MAR

La instrucción española del hormigón admite su empleo para el hormigón en masa. (aparición de eflorescencias, caída de resistencia 15%)

No se admite en hormigón armado.

NOTA: los cementos aluminosos que resisten bien el agua de mar, nunca se puede amasar con agua de mar fraguado relámpago.

ANÁLISIS DE AGUA DE AMASDO Y CURADO

	LIMITACIÓN	RIESGOS	OBSERVACIONES
Ph UNE 7.234	Mínimo 5 %	◇ Altura, fraguado y endurecimiento	Con cementos aluminosos no utilizar $pH > 8$
Sustancias disueltas UNE 7.130	Máximo 5 gr/l	◇ Aparición de eflorescencias ◇ Disminuye resistencia mecánica ◇ Fenómenos expansivos a largo plazo	
Contenido sulfatos UNE 7.131	Máximo 1 gr/l	◇ Alteración en fraguado y endurecimiento ◇ Perdidas de resistencia ◇ Afecta a la durabilidad	◇ Se debe ser estricto en agua de curado ◇ La promoción puede aumentar para CEM
Contenido Ion-cloruro UNE 7.178	Máximo 6 gr/l	◇ Corrosión de armaduras ◇ Otras	◇ Puede aumentar para hormigones en masa ◇ Para pretensado 0'5 gr/l
Hidratos de carbono UNE 7.132	No deben apreciarse	◇ El hormigón no fragua	◇ La sacarosa y glucosa alteran el endurecimiento
Sustancias orgánicas solubles en Éter	Máximo 15 gr/l	◇ Grandes alteraciones en fraguado y endurecimiento ◇ Fuertes caídas en resistencias	◇ Ensayo de presencia de aceites, grasas, humos ◇ Ojo con la materia orgánica de la arena

DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

El estudio de la composición de un hormigón consiste en determinar la mezcla optima de los distintos áridos presentes, así como la dosificación de cemento y de agua con objeto de conseguir un hormigón cuyas cualidades sean las necesarias para la construcción de una obra o parte de ella.

Tenemos tres factores fundamentales:

- ◊ La resistencia
- ◊ La consistencia
- ◊ Tamaño máximo del árido

Determinan las cantidades agua + cemento + árido para obtener el hormigón deseado al mas bajo coste posible.

Existen mucho métodos, reglas... para dosificar teóricamente el hormigón, pero solo son orientativas.

Salvo en obras de pequeña importancia, las proporciones definitivas de los componentes se ensayan y establecen en laboratorio, corrigiendo en obra.

El proceso para dosificar es el siguiente:

- ◆ Fijar la resistencia característica del hormigón de acuerdo con las necesidades de la obra y determina la resistencia media correspondiente.
- ◆ Elegir el tipo de cemento, en función de la clase de obra, la agresividad del medio y las condiciones climáticas.
- ◆ Determinar la reacción agua / cemento que corresponde a la resistencia media del hormigón según el tipo de cemento y árido empleado.
- ◆ Determinar el tamaño máximo de árido, en función de las características de los distintos elementos de la obra.
- ◆ Estudiar la resistencia mas conveniente del hormigón según la compactación en obra y como consecuencia fijar la cantidad de agua y determinar la cantidad de cemento correspondiente.
- ◆ Establecer la proporción en que han de mezclarse los áridos disponibles para que la curva granulométrica del árido total sea la mas conveniente al hormigón en estudio.
- ◆ Calcular las cantidades de agua, cemento y áridos necesarios para obtener un metro cúbico de hormigón.
- ◆ Efectuar unas masas de prueba para comprobar si el hormigón obtenido tiene las características deseadas y en caso contradictorio hacer las correcciones necesarias.
- ◆ Determinación de la resistencia media. El dato de partida es la resistencia característica exigida por el proyecto.

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA

La resistencia a compresión simple se determina mediante ensayo de probetas.

Como las probetas proporcionan datos diversos es necesario obtener un valor que define el resultado del muestreo.

Se define como resistencia característica del hormigón al valor que presenta un grado de confianza del 95 % existe una probabilidad del 0'95 % de que se presenten valores individuales de resistencia de probetas mayores que su resistencia característica (K_p/cm^2)

NOTA: Hoy los hormigones se dosifican según su resistencia característica

ANTES (EH-91)

- H-125
- H-150
- H-175 H-500

La próxima EHE-98 establece como resistencia mínima de proyecto

– 20 Mpa (hormigón en masa)

– 25 Mpa (hormigón armado)

RESITENCIA MEDIA

Es la media de los valores de rotura de las probetas.

En obra hay que conseguir en hormigón de resistencia tal que supuesto que se ensaye un numero de probetas muy grande de dicho hormigón, el 95 % daría valores iguales o superiores a la característica.

El hormigón se dosifica en laboratorio para que la resistencia media sea mayor que la característica. $f_{cm} > f_{ck}$

Se tendrán que tener en cuenta las cantidades previstas en ejecución de la obra.

◇ CONDICIONES DE EJECUCIÓN

Depende de la cantidad de los medios (maquinaria, equipos, operadores...) y modificar el valor de la resistencia característica necesariamente para llegar en obra a una resistencia característica.

· CONDICIONES MEDIAS

- ◇ Cemento sin conservación perfectamente adecuada
- ◇ Áridos medios sin precisión
- ◇ No se corrige el volumen de arena húmeda
- ◇ Se mide el agua pero no se tienen en cuenta el entumecimiento de la arena

· CONDICIONES BUENAS

- ◇ Cemento bien conservado y comprobado
- ◇ Áridos cuidadosamente medidos
- ◇ Se corrige el volumen de arena húmeda
- ◇ Se comprueba la dosificación de agua
- ◇ Existen

· CONDICIONES MUY BUENAS

- ◇ Control estricto del cemento
- ◇ Control estricto de relación agua / cemento
- ◇ Áridos medios en peso corrigiendo su granulometría y humedad
- ◇ Control de consistencia del hormigón
- ◇ Laboratorio a pie de obra

En función de estas premisas se utiliza la tabla:

Condiciones previstas para la ejecución de la obra	Valor aproximado de la resistencia media necesaria en laboratorio para obtener en obra una resistencia característica
◇ MEDIAS	◇ $f_{cm} = 1'50 f_{ck} + 20 \text{ Kg/cm}^2$

◇ BUENAS	◇ $f_{cm} = 1'35 f_{ck} + 15 \text{ Kg/cm}^2$
◇ MUY BUENAS	◇ $f_{cm} = 1'20 f_{ck} + 10 \text{ Kg/cm}^2$

EJECUCION DEL TIPO DE CEMENTO

En función de:

- ◇ De la clase de obra (volumen, topología...)
- ◇ Del medio (Agresivo, marino, sinuoso...)
- ◇ Del clima (Corrosivo, frío...)
- ◇ Del precio

La nueva EHE-98 incorpora los nuevos tipos de cementos aparecidos en 1996 en las normas UNE y en las RC-97.

Se introduce el termino adiciones.

ADICIONES: Son aquellos materiales inorgánicos, puzolánicos o con hidraulicidad latente, que finamente diluidos, pueden ser añadidos al hormigón con el fin de mejorar algunas de sus propiedades o conferirle propiedades especiales.

Se señala que las adiciones solo se podrán utilizar al hormigón compuesto por CEM I (estudio de las cenizas volátiles)

Expresa que en ningún caso se empleara adiciones sin el conocimiento del peticionario del hormigón y sin la autorización del director de la obra regla de responsabilidad.

DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA / CEMENTO

En una 1ª aproximación, la relación A/C viene determinada por la resistencia media que se requiere en laboratorio para el hormigón, por el tipo de cemento y por el tipo de árido.

C/A = cemento / agua en peso

f_{cm} = resistencia media a 28 días

K = coeficiente en función del árido

Resistencia característica del CEM I	Árido rodado	Árido machacado
32'5	0'0054	0'0035
42'5	0'0043	0'0028

Existen tablas orientativas por las que la formula anteriormente indicada conducen a los valores A/C.

Resistencia media en laboratorio a 28 días	Áridos rodados		Áridos machacados		
		R 32'5	R 42'5	R 32'5	R 42'5
f_{cm} (Kp/cm2)					
100	----	----	----	----	

150	0'76	---	---	---
180	0'68	0'79	0'88	---
240	0'56	0'65	0'75	0'85
300	0'50	0'56	0'64	0'75

DETERMINACION DEL TAMAÑO MAXIMO DEL ARIDO

Cuanto mayor sea el árido menor agua necesitara para conseguir la consistencia deseada, ya que la superficie de los áridos (superficie a mojar) será mas pequeña puede reducirse la cantidad de cemento, resultado mas económico el hormigón para la misma resistencia.

Se puede utilizar el mayor tamaño de árido siempre que sea compatible con las exigencias puestas en obra.

El tamaño del árido no excederá de los siguientes limites:

- ◇ 1/4 Anchura, espesor o dimensión mínima de la pieza entre encofrados.
- ◇ 1/3 Si se encofra a una sola cara
- ◇ 5/6 distancia horizontal libre entre barras o barras y encofrado

Los tamaños superiores a 40 mm no siempre conducen a mejoras de resistencias áridos muy gruesos disminuyen la superficie adherente y se crea discontinuidad dentro de la masa.

VALORES RECOMENDADOS PARA EL TAMAÑO MÁXIMO DE ÁRIDO

NOTA ligera variación en EH-91 y futura EHE-98

dimensión mínima de la sección del elemento	Tamaño máximo del árido				
		Vigas, pilares, muros armados	Muros sin armar	Losas muy armadas	Losas poco o sin armar
15 – 10 cm	10 – 20 mm	20 mm	15 – 25 mm	20 – 40 mm	
30 – 15 cm	20 – 40 mm	40 mm	40 mm	40 – 80 mm	
80 – 40 cm	40 – 80 mm	80 mm	40 – 80 mm	80 mm	
Mas de 80 cm	40 – 80 mm	160 mm	40 – 80 mm	80 – 160 mm	

CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN

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

CONSISTENCIA DE 1 HORMIGON

Es la mayor o menor facilidad que tiene un hormigón fresco para deformarse.

Varia con muchos factores: cantidad de agua de amasado, tamaño máximo, granulometría, forma de los áridos...

Se puede medir con el cono de Abrams, mesa de solubilidad, consistómetro Vebe.

◇ CONO DE ABRAMS

Es un molde troncocónico de 30 cm de altura que se rellena con el hormigón a ensayar (siempre que el tamaño máximo del árido sea < 40 mm)

- Se humedece el molde y se coloca sobre una bandeja de chapa no absorbente y de forma rectangular, también ligeramente humedecida.
- Se llena el molde en 3 capas (1/3 V)
- Cada capa se compacta con una barra compactadora (UNE 83.301) 25 golpes
- Compactada la última capa se retira el sobrante con una espátula
- Se saca el molde levantando con cuidado en sentido vertical
- Se determina el índice de consistencia del hormigón fresco midiendo la diferencia entre la altura del molde y el punto más alto de la muestra después del ensayo
- Un hormigón no es apto para medir su consistencia por este método si se produce una caída o desprendimiento lateral en dos ensayos consecutivos.

CONSISTENCIA	ASIENTO CONO DE ABRAMS (cm)
Seca (S)	0 – 2
Plástica (P)	3 – 5
Blanda (B)	10 – 15
Fluida (F)	10 – 15
Líquida (L)	>= 16

◇ CONSISTOMETRO VEBE UNE 83.314

Variante del cono de Abrams, para hormigones muy secos que darían asientos nulos.

La consistencia se mide por el número de segundos necesarios para que el tronco del cono formado por el hormigón con el cono de Abrams, experimente, sometido a una vibración en mesa, un asiento determinado.

CONSISTENCIA SECA	TIEMPO VEBE
Extremadamente seca	305 – 185
Muy seca	185 – 105
Seca	105 – 55

MESA DE SACUDIDAS: Sirve para someter a una masa de hormigón fresco, de forma determinada a una serie de sacudidas normalizadas midiéndose el escurrimiento experimentado.

FORMA: Se fija la consistencia según forma de compactación.

Forma de compactación	Consistencia
Vibrado energético en taller	Seco (S)
Vibrado energético en obra	Plástico (P)
Vibrado o apisonado	Blanda (B)
Picado con barra	Fluido (F)

Y teniendo en cuenta:

- ◇ La consistencia a pie de tajo de colocación puede ser bastante diferente de la de salida de la hormigonera (especialmente si hay distancias o ambiente riguroso)

- ◇ Si la densidad de armaduras es grande, resultan preferibles las masas de mayor asiento bien compactado que los de menor con riesgo de coqueras.

CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN	ARIDOS RODADOS			ARIDOS MACHACADOS			
		80 mm	40 mm	20 mm	80 mm	40 mm	20 mm
SECO	131	155	175	155	175	195	
PLASTICA	150	170	190	170	190	210	
BLANDA	165	185	205	185	205	225	
FLUIDA	180	200	220	200	220	240	

LITROS DE AGUA POR METRO CUBICO DE HORMIGON

Una vez colocada la cantidad de agua y conocida la relación agua / cemento se determina el contenido en cemento por m3 de hormigón, siempre superior a:

- ◇ 150 Kg para hormigón en masa 3 sacos / m3
- ◇ 200 Kg para hormigón ligeramente armado 4 sacos / m3
- ◇ 250 Kg para hormigón armado 5 sacos / m3
- Normalmente inferior a 400 Kg/m3 salvo casos especiales.

COMPOSICIÓN GRANULOMETRICA DEL ÁRIDO TOTAL

- ◇ Es de aplicación la explicado en el apartado de granulometría de áridos.
- ◇ El estudio e composición granulométrica del árido total consiste en definir los % óptimos de los diferentes áridos disponibles para conseguir el hormigón que se desea.
- ◇ Métodos:
 - Curvas de Filler
 - Curvas de Bolomey
- ◇ Un árido tiene una buena granulometría si su modulo granulométrico se ajusta a las curvas teóricas anteriormente citadas.

MODULO GRANULOMETRICO DE ARIDOS SEGÚN LA PARÁBOLA DE FULLER

Tamaño máximo del árido (mm)	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Modulo granulométrico	5'21	5'45	5'64	5'82	6'00	6'16	6'29	6'40	6'51

VALORES OPTIMOS GRANULOMETRICOS SEGÚN ABRAMS PARA HORMIGONES ORDINARIOS

Contenido en cemento (Kg/m3)	TAMAÑO MÁXIMO DEL ARIDO							
		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	5'78	5'88	6'30	
400	4'40	4'80	5'20	5'60	5'80	5'90	6'40	

Una vez elegido el modulo granulométrico teórico se determina la proporción (arena + grava)

PROPORCIONES DE LA MEZCLA

- ◇ Para determinar las cantidades necesarias de los distintos materiales para obtener 1 m³ de hormigón.
- ◇ Hay que tener en cuenta la contracción que experimenta el hormigón fresco ("2'5 %) debidos a que parte del agua:
 - Se evapora
 - Es absorbida por el árido
 - Forma una pasta con el cemento que retrae antes de fraguar
- ◇ Por lo tanto la suma de los volúmenes de los distintos materiales debe ser 1'025 litros para obtener 1 m³ de hormigón.

A = litros de agua por m³ de hormigón.

C = peso del cemento por m³ de hormigón

G1 y G2 = pesos de la arena y grava en Kg por m³ de hormigón.

P1 y P2 = pesos específicos reales de la arena y grava, Kg/l.

(Si se puede determinar los pesos específicos se puede tomar $P = 3'1$, $P1 = P2 = 2'6$)

NOTA: Se puede suponer que los áridos estén secos, si están húmedos habrá que determinar su contenido de agua.

Si no se puede invalidar en el caso de la arena la dosificación por volumen.

CORRECCIONES Y ENSAYOS

Una vez establecidas las proporciones de la mezcla, deben efectuarse ensayos para comprobar que las hipótesis de partida se cumplen tanto en resistencia como trabajabilidad.

<i>Cuando aumenta</i>	<i>La trabajabilidad</i>	<i>La resistencia</i>
La finura de la arena	Aumenta	Disminuye
Relación agua / arena	Disminuye	Aumenta
La cantidad de agua	Aumenta	Disminuye
Tamaño máximo del árido	Disminuye	Aumenta
Contenido aire excluido	Aumenta	Disminuye

Se realizan distintos ensayos y en función de los resultados se retocaran las dosis, teniendo en cuenta:

- ◇ Con áridos de machaqueo conviene aumentar algo el árido mas fino.
- ◇ Para hormigón vibrado se puede aumentar algo el árido mas grueso.
- ◇ Con dosis superiores a 300 Kg/m³ de cemento puede disminuirse algo el árido mas fresco, al revés dosis inferiores.
- ◇ En hormigones con aire ocluido debe disminuirse la arena en un volumen igual al aire ocluido.
- ◇ El aumento de un solo cemento (50 kg) por m³ de hormigón produce un aumento aproximado de resistencia 25 Kg /m².

PREPARACIÓN Y PUESTA EN OBRA

◇ AMASADORA

Una vez determinada la dosificación adecuada según los criterios anteriores, los distintos componentes se introducen en la hormigonera o amasadora.

El orden debe ser:

- ◇ ½ dosis de agua
- ◇ cemento y arena
- ◇ árido grueso
- ◇ resto de agua

La duración del amasado debe ser suficiente para obtener una mezcla íntima y homogénea de los distintos componentes. El árido debe estar bien recubierto de la pasta de cemento (aproximadamente 1'5 minutos)

- ◇ Nunca se mezclan masas con distinto tipo de cemento

Durante este proceso de amasado puede ocurrir que la masa adquiera una rigidez prematura falso fraguado

Es debido a la presencia de yeso hemihidratado en el cemento, debido a la deshidratación parcial del yeso añadida al clinker durante la molienda gran avidez de agua (cristales de yeso)

RECOMENDACIÓN Seguir amasando, nunca añadir agua, que reduce la resistencia.

- ◇ Una vez amasado, se transporta al tajo con las siguientes precauciones:
- ◇ No debe superarse periodos de mas de 1 hora, normalmente para evitar evaporación del agua.
- ◇ Se debe evitar la segregación de los áridos gruesos.
- ◇ Se debe transportar la masa completa de la amasadora, nunca dividir una misma amasadora.
- ◇ El medio de transporte debe estar limpio si se cambia el tipo de hormigón.
- ◇ Si al llegar al tajo, ha hincado el fraguado, se debe desechar.

· HORMIGÓN PREPARADO

El hormigón se dosifica en central y se amasa.

- en central transporte en cubas
- durante el transporte transporte en hormigoneras
- en ambos lugares transporte en hormigoneras

Se pide a planta de dos formas:

- ◇ Por dosificación:
- ◇ Contenido en cemento por m³
- ◇ Tamaño máximo del árido
- ◇ Consistencia deseada
- ◇ Por resistencia:
- ◇ fck
- ◇ Tamaño máximo del árido
- ◇ Consistencia deseada

Normalmente se pide por resistencia deseada.

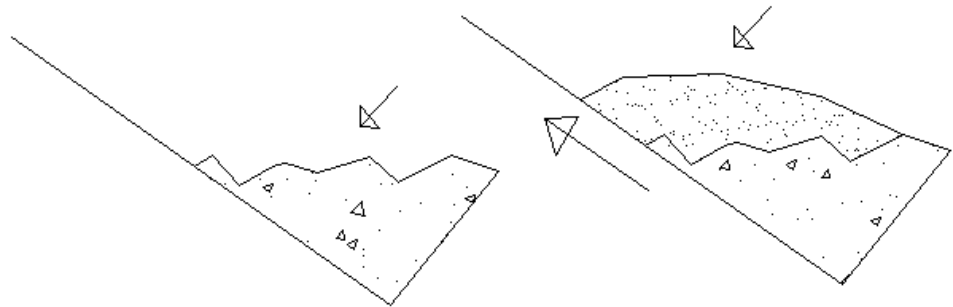
Precauciones:

- ◇ La masa debe ser uniforme. Si el transporte es el inadecuado, la masa es mas rica en gruesos durante la descarga y con mas finos y agua al final.
- ◇ Se debe ensayar al cuarto y $\frac{3}{4}$ de la descarga.
- ◇ Nunca se debe añadir agua
- ◇ Hora de llegada y final de vertido
- ◇ Nunca mas de 2 horas.
- ◇ Revisar el albaran de entrega.

PUESTA EN OBRA

Debe realizarse de manera que no se produzca la disgregación de la mezcla:

- No se debe verter desde alturas superiores a 2 metros.
- Se debe dirigir con canaletas que impidan el choque libre con encofrado o armaduras.
- Se vertirá por capas que se compactaran progresivamente.
- No se arroja con paletas o a gran distancia.
- El hormigonado inclinado se coloca el hormigón de abajo a arriba.



PUESTA EN OBRA CON BOMBA

Si la puesta en obra se realiza con bomba:

- ◇ La consistencia debe ser plástico-blanda.
- ◇ La tubería nunca proyectara directamente el chorro sobre las armaduras.
- ◇ Ø máximo del árido
- ◇ $\frac{1}{4}$ Ø tubería metálica.
- ◇ $\frac{1}{3}$ Ø tubería plástico.

COMPACTACION

Para Que el hormigón resulte compacto se den utilizar medios de consolidación adecuados con la resistencia para eliminar huecos. Acaba cuando refluye la pasta a la superficie.

- PICADO
 - Se efectúa con una barra metálica
 - Se utiliza el hormigón de consistencia blanda y fluidos en obras de poca importancia.
 - En obras muy armadas
- APISONADO
 - Por golpeo repetido de un pisón.

- Tangadas de 15–20 cm de espesor.

· VIBRADO

- Para masas de consistencia seca y para hormigones resistentes.
- Estructura de hormigón armado, pues permite un desencofrado mas rápido al necesitarse menos agua.
- Pueden ser de tres tipos:
 - ◆ Internos: estructura siempre vertical.
 - ◆ Superficiales: pavimentos placas de poco espesor.
 - ◆ Externos: Prefabricación mesas.
- Según la EHE–91 se recomienda para la compactación el uso de los vibradores
- Si son vibradores internos su frecuencia de trabajo no debe ser inferior a 6000 ciclos / minuto.
- Los vibradores internos deben sumergirse rápidamente y profundamente en la masa cuidado de retirar el agua con lentitud y a velocidad constante.
- Cuando se hormigón por togadas, conviene introducir el vibrador hasta que la punta penetre en la capa subyacente, procurando mantener el aparato vertical y ligeramente inclinado.

JUNTAS DE HORMIGONADO

- Deberán estar previstas en el proyecto, y se situaran en la dirección lo mas perpendicularmente posible a la dirección de las tensiones de compresión, añejándolas de las zonas donde la armadura este sometida a fuertes tracciones.
- Antes de reanudar el hormigonado, se limpiaran las juntas de toda suciedad y árido que haya quedado suelto y se retirara la capa superficial de mortero, dejando los áridos al descubierto, para ello se aconseja utilizar chorro de arena o cepillo de alambres, según se encuentre el hormigón mas o menos endurecido, pudiendo emplearse también en este ultimo caso un chorro de agua y aire.
- Esta prohibido utilizar productos agresivos en la limpieza de la junta.
- Esta prohibido hormigonar directamente sobre o contra superficies de hormigón que hayan sufrido efectos de las heladas.
- En el hormigonado de soportes y muros es conveniente esperar a que el hormigón haya experimentado su primera contracción (no plástico) para evitar fisuras.
- Para resolver problemas de juntas, se utiliza con éxito resinas epoxi.
- En la actual instrucción no se recomienda aplicar morteros frescos en las superficies de junta.
- Nunca se pondrá en contacto hormigones realizados con distintos tipos de cemento, sobre todo si son incompatibles.

HORMIGONADO EN TIEMPO FRIO

- El hormigón no adquiere su resistencia necesaria cuando su fraguado y primer endurecimiento tiene lugar en tiempo de heladas, debido a la acción expansiva del agua intersticial.
- Se suspenderá el hormigonado siempre que se prevea que dentro de las 48 horas siguientes puede descender la temperatura por debajo de los 0 °C.
- Si es imprescindible el hormigonado:
 - Se utiliza agua caliente (máximo 40 °C) prolongando el amasado.
 - Se calientan los áridos.

- Se pueden añadir anticongelantes con autorización expresa y nunca productos con clorados que ataquen a las armaduras.
- Se protegerán las superficies hormigonadas mediante sacos, plásticos, paja, lana de vidrio...
- No se vertirá hormigón sobre armaduras, molde... cuya temperatura sea inferior a 0 °C.
- **Por debajo de -5 °C se suspenderá el hormigonado o se realizara la fabricación del hormigón y el hormigonado en un recinto que pueda calentarse.**
- En cualquier caso se retrasara el desencofrado de las piezas (incluido costeros) sobre todo si son de madera que actúan como aislante.

HORMIGONADO EN TIEMPO CALUROSO

- Deben efectuarse medidas para impedir la evaporación del agua de amasado, especialmente durante el transporte del hormigón y para reducir también la temperatura de la masa.
- El calor, la sequedad y el viento provocan una evaporación rápida del agua (también en el ya compactado) con la consiguiente pérdida de resistencias, fisuras por aumento de la retracción.
- (Antes de la colocación) Los materiales adecuados con los que se fabricara el hormigón, así como los encofrados o moldes, deberá estar protegidos del soleamiento.
- (Después de la colocación) Una vez colocado el hormigón, se protegerá del sol y del viento para evitar que se deseeque.
 - Tejadillos.
 - Plásticos.
 - Esperas de paja regadas continuamente.
 - Regado continuo.
- Si la temperatura ambiente es >40 °C se suspenderá el hormigonado, salvo previa autorización expresa del director de obra, se adoptan medidas especiales, tales como:
 - Enfriar el agua.
 - Amasar con hielo picado.
 - Enfriar árido.
 - Regar continuamente durante 10 días.

CURADO DEL HORMIGÓN

- Durante el fraguado y el primer periodo de endurecimiento del hormigón deberá asegurarse el mantenimiento de la humedad del mismo.
- Es la operación mas importante del proceso de ejecución del hormigón por la influencia decisiva que tiene en la resistencia y demás cualidades del elemento final.
- El proceso de curado debe prolongarse al menos durante 7 días en condiciones normales.
- Métodos:
 - Riego continuo.
 - Plásticos.
 - Paja...

CURADO AL VAPOR

Aconsejable en elementos prefabricados, pues acelera considerablemente el endurecimiento.

MADURACION DEL HORMIGÓN

- Temperatura (°C) x tiempo (que activa la temperatura) = Cte.
- Para un tipo de hormigón la eficacia del curado es la misma si las distintas combinaciones de temperatura y tiempos producen el mismo resultado siempre que su producto sea constante.
- Cada cemento tiene una curva de curados ideal que deberá ser determinada experimentalmente.

DESCIMBRADO, DESENCOFRADO Y DESMOLDEO

- Los elementos que constituyen los encofrados, apeos, cimbras... se retiraran sin producir sacudidas ni choques en las estructuras.
- Esta operación no se realiza hasta que el hormigón haya alcanzado la resistencia necesaria para soportar, con suficiente seguridad y sin deformaciones excesivas los esfuerzos a los que van a estar sometidos durante y después del encofrado, desmoldeo o descimbrado.
- Para hormigones CEM I, CEM II y con endurecimientos en condiciones ordinarias.

a = carga máxima total

c = carga que actúa sobre el elemento + el peso propio

T = temperatura media

- Cuando no se posea experiencia de grosor análogo, para fijar plazos de desencofrado se pueden a ensayos de información. (flechas, ensayos descarga...)
- Después del desencofrado, hay que procederá la expansión de los pequeños defectos que puedan apreciarse (coqueras)
- Si los defectos fuesen inadmisibles se procederá a la demolición parcial o total.

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

El hormigón fresco es un material heterogéneo, pues en el coexisten 3 fases:

- ◊ Sólida áridos + cemento
- ◊ Líquida agua
- ◊ Gaseosa aire acluido

La fase sólida a la vez esta compuesta por granos de naturaleza y dimension variable.

Sus principales propiedades son:

- **CONSISTENCIA:** La mayor o menor facilidad que tiene el hormigón para deformarse.

Se clasifican en:

- ◊ Secos
- ◊ Plásticos
- ◊ Blandos
- ◊ Fluidos

◊ Líquidos

- **DOCILIDAD:** Aptitud de los hormigones para ser puesto en obra con los medios de compactación de que dispone.
 - Trabajabilidad: Inversa a la cantidad de trabajo interno útil necesario para producir una compactación completa.

Depende de:

- Cantidad de agua de amasado (+ agua, + docilidad)
- Granulometría (+ arena, + docilidad)
- Tipo de árido (+ redondeado, + docilidad)
- Contenido de cemento (+ cemento y + fino, + docilidad)
- Plastificante
 - NOTA: Ver correcciones y ensayos en dosificaciones.
- **HOMOGENEIDAD:** Cualidad por la que los distintos componentes del hormigón aparecen regularmente distribuidos en toda la masa.

Depende de :

- Amasado
- Transporte
- Colocación

Diferenciamos:

- **Segregación:** Separación de los gruesos por una parte y los finos por otro.
- **Decantación:** Gruesos al fondo y mortero queda en superficie.
- **PESO ESPECIFICO:** Indica la homogeneidad y uniformidad del hormigón fresco denota una alteración de la granulometría de los áridos, del contenido de cemento o del agua de amasado.

Estas características son propias del hormigón fresco mientras que en el hormigón endurecido se debe hablar de :

- **PESO ESPECIFICO**

Que en el hormigón endurecido depende de:

- Naturaleza de los áridos (+ peso específico árido + peso específico hormigón)
- Granulometría (+ árido grueso + peso específico hormigón)
- compactación (+ compactación + peso específico hormigón)

Peso específico del:

- ◆ Hormigón en masa = 2'3 t/m³
- ◆ Hormigón armado = 2'5 t/m³

- **COMPACIDAD**

Íntimamente relacionado con el peso específico medio de compactación.

A mayor compacidad:

- Mayor resistencia mecánica
- Mayor resistencia desgaste
- Mayor resistencia vibraciones
- Mayor resistencia heladas
- Mayor resistencia acciones agresivas

- **PERMEABILIDAD**

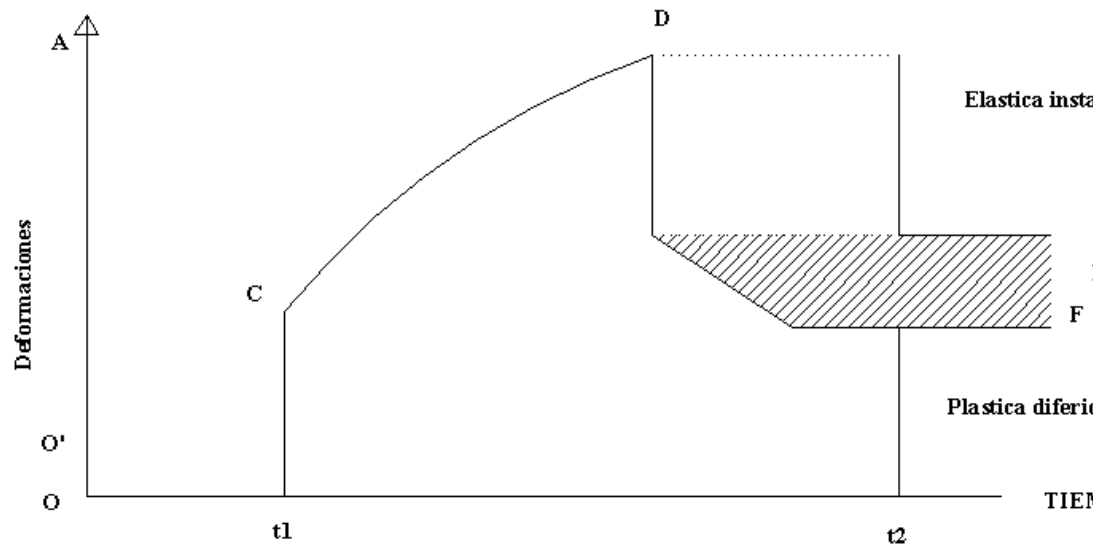
El agua puede penetrar en el hormigón por:

- Presión (depósitos, conducciones)
- Capilaridad (contacto con un medio húmedo)

A mayor compacidad mayor impermeabilidad mayor red capilar.

Existe mas permeabilidad si:

- Está poco molido el cemento
- Mayor relación agua / cemento
- Peor composición granulométrica
- Mas corto sea el curado
- RESISTENCIAS MECANICAS
- El hormigón resiste bien a compresión y mal a tracción.
- Ya se hablo de f_{ck} y f_{cm} en el apartado de dosificaciones.
- La resistencia a tracción se debe tener en cuenta debido a la adherencia entre armaduras / cemento, figuración, deslizamiento de armaduras...
- Al aplicar al hormigón un proceso de carga y descarga se observa:



- OA Se carga la probeta y tenemos una deformación instantánea.
- Al descargarla:
 - ◊ AO' deformación elástica (se recupera)
 - ◊ OO' deformación permanente (no se recupera)
- A partir de este momento hormigón elástico se carga con una carga $G_1 < G_2$ durante un tiempo $t_1 - t_0$.
- Al descargar la probeta esta se recupera la deformación elástica.
 - ◊ BC = DE (deformación elástica instantánea)
- Sigue recuperando parte de la deformación EF = elástica diferida
- A partir de F tenemos las deformaciones plásticas diferidas que es irreversible.
- FLUENCIA: Es el conjunto de deformaciones diferidas (se recupera el hormigón)
- DURABILIDAD

Para cumplir su cometido como material de construcción no solo debe ser resistente sino también durable.

Durabilidad es el conjunto de propiedades necesarias para conseguir que el material conserve durante su vida de servicio prevista un coeficiente de seguridad aceptable.

◇ ACCCIONES AGRESIVAS

- MECANICAS: Cargas, sobrecargas, vibraciones, rozamientos...
 - Se tiene en cuenta en el calculo.
 - FÍSICAS: Variaciones térmicas, heladas, humedad...
 - QUÍMICAS: Aire, gases, aguas agresivas...
 - Disminución de compuestos hidratados del cemento.
 - Formación de sales solubles.
 - Sal de Candlot: sulfatos + cal alumina (sulfoaluminatos)
 - BIOLÓGICAS: (Vegetación, microorganismos)
 - La norma vigente establece 3 ambientes en los cuales se ubica una obra de hormigón:
 - ◆ AMBIENTE I Hormigón en interior de edificio o medios exteriores de baja humedad (< 60 % humedad relativa + 90 días al año)
 - ◆ AMBIENTE II Hormigón en exteriores normales (no agresivos) en contacto con aguas normales o terreno ordinario.
 - ◆ AMBIENTE III Estructuras en atmósfera agresiva, industrial o marina, o en contacto con terrenos agresivos o con aguas salinas o ligeramente ácidas.
- ◇ La mayor garantía de durabilidad radica en la confección de un hormigón lo mas compacto posible, para lo cual debe emplearse masa ricas en cemento de baja relación agua / cemento y bien consolidadas.
- ◇ En medios agresivos se utilizan los siguientes métodos:
- Si el hormigón es poroso y pobre de cemento se aplica una lechada de cemento rico.
 - Silicato de sosa o aceites silicatos (deposita sílice en poros)
 - Fluosilicatos de magnesio o cinc.
 - Imprimaciones de alquitrán, brea o asfalto.
 - Parafina o cera.
 - Resinas
- ◇ Con relación a la durabilidad la EHE-91 especifican un capitulo nuevo e introducirá un nuevo coeficiente k.

◇ K coeficiente para el calculo del contenido de cemento y relación agua / cemento cuando se usan adiciones.

EHE-91

EHE-98

C

$C + k \cdot F$

A / C

$A / (C + K \cdot F)$

C contenido de cemento (KG / m³)

A agua

K coeficiente corrector

F adición (Kg / cm³)

DESIGNACION DEL HORMIGÓN

Hasta ahora se denominaba por su resistencia mecánica H-125, H-150, H-175, H-200 ... H-500

EHE-98 se define como mínimo:

- Consistencia
- Tamaño máximo del árido
- Ambiente
- Como se va a utilizar

T = HM (hormigón masa), HA (hormigón amasado), HP (hormigón pretensado)

R = resistencia característica (Mpa) mínima 20 en HM, 25 en HA

C = consistencia

TM = tamaño máximo del árido

A = ambiente

ENSAYOS DEL HORMIGÓN

- El hormigón se ensaya en dos estados.
 - ◆ Hormigón fresco como finalidad conocer las características del mismo.

- ◆ Hormigón endurecido determina fundamentalmente su resistencia.
- Hay dos métodos de ensayo:
 - ◆ Ensayos destructivos: determinan la resistencia mediante la rotura de probetas o piezas de hormigón.
 - ◆ Ensayos no destructivos: determinan la calidad del hormigón sin destruir la pieza o estructura ensayada.
- Los ensayos de resistencia se pueden determinar en distintos tiempos:
 - ◆ Ensayos previos: en laboratorios para determinar la dosificación.
 - ◆ Ensayos característicos: para comprobar antes de comenzar el hormigonado que la resistencia es la adecuada al proyecto.
 - ◆ Ensayos de control: realizados durante la obra para comprobar que la resistencia del hormigón se mantiene igual o mayor que la exigida.
 - ◆ Ensayos de información: realizados después de realizada una fase de la obra o a una edad determinada para estudiar la evolución del hormigón.
 - ◇ La norma UNE 83, serie 300 especifica como se toman muestras y como se ensayan los hormigones.

UNE 83.300

- Indica los procedimientos para toma de muestras de hormigón fresco.
- Las muestras deberán ser representativas del hormigón que se estudia. Se deberá tener en cuenta:
 - ◆ Cuando se toma la muestra
 - ◆ Como se toma la muestra
 - ◆ Tipos de ensayo a realizar (cantidad de la muestra)
- Se redacta un parte que comprende:
 - ◆ Quien toma la muestra
 - ◆ En que condiciones ambientales y de obra
 - ◆ Fecha y hora de la toma
 - ◆ Fecha y hora de fabricación de la probeta
 - ◆ Donde se coloca el hormigón que se muestrea
 - ◆ Tipo de hormigón
 - ◆ Asiento (mm)
 - ◆ Cemento empleado
 - ◆ Aditivos
 - ◆ Empresa suministradora
 - ◆ Hora de salida el puente
 - ◆ Hora de vertido
 - ◆ Tipo de transporte
 - ◆ Consistencia y Ø máximo de árido

UNE 83.301

- Indica los procedimientos para fabricar y conservar probetas de hormigón destinadas a ensayos de rotura por tracción y compresión.
- Los moldes será de material no absorbente y no reactivo, estanco y dimensiones:
 - ◆ Cilíndricas $h = d \times 2$; $\varnothing d$ " $3 \times \varnothing$ máximo de árido
 - ◆ Cubos arista $d = 150$ mm
- Se llevan con una tolva de sección coincidente con el molde.

- Se compacta con:
 - ◆ Mesa vibradora
 - ◆ Vibrador de aguja En función del asiento medio en cono de Abrams UNE 83.313
 - ◆ Barra metálica
- Se retira el hormigón sobrante y se frotosea la superficie.
- Para evitar la desecación de la masa, se conservan las probetas en sus moldes, cubiertos con una arpillera húmeda en lugar húmedo.
- No se mueven ni se desmolda hasta después de 24 horas de la fabricación y nunca estarán en obra mas de 48 horas.
- Se transportan a cámara húmeda o balsa de inmersión donde se conservan sin que estén en contacto.
- Se debe cuidar el traslado para evitar golpes, fisuras...

UNE 83.302

- Define el procedimiento para la extracción y conservación de probetas testigo obtenidas de hormigón endurecido.
- Las probetas cilíndricas se extraen mediante perforaciones tubulares (bailarinas)
- Las probetas prismales o bases de las cilíndricas se emplean sierras con abrasivos que no afecten al hormigón por temperatura o golpeo.
- Se debe realizar pasados 28 días de edad del hormigón.
- Se somete a saturación sumergidas 40–48 horas a 20 °C.

UNE 83.303

- Procedimiento de reenfrutado con mortero de azufre las probetas.

UNE 83.304

- Indica medios y procedimientos para ensayar roturas a compresión en probetas cilíndricas.
- Las probetas deben estar húmedas
- Se someten a carga continua que deforme antes de la rotura.
- Carga de rotura:
 - ◆ La carga máxima alcanzada
 - ◆ Se corrige en función de la esbeltez

UNE 83.305

- Indica medios y procedimientos para rotura flexo tracción de probetas cilíndricas.

UNE 83.307

- Ensayos de dureza superficial
- Se realiza con un esclerómetro con una masa conocida, impulsada con una energía determinada que choca contra el hormigón sobre una superficie de contacto dada.

UNE 83.308

- Velocidad de propagación de ultrasonidos (no destructivos) comprobación mas útil en restauración.
- Se utiliza en:
 - ◆ Estudios de uniformidad
 - ◆ Alteraciones cualitativas por edad

♦ Detección de defectos

OTRAS

Abrams, Vebe... han sido explicadas anteriormente.

MATERIALES DE CONSTRUCCION II

