

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN  
TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFÍA  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**TEMA 4  
HORMIGONES Y MORTEROS  
INGENIERÍA CIVIL**

## ÍNDICE

1. Hormigones: Componentes
2. Dosificación de hormigones
3. Fabricación, puesta en obra y curado
4. Morteros de cemento
5. Hormigones especiales

## BIBLIOGRAFÍA

## 1- Hormigones: Componentes.

### 1.1.- Introducción

El hormigón es el material, junto al acero, más utilizado en la construcción, tanto en obras civiles, como en edificación. Su empleo es habitual en obras de arquitectura e ingeniería: edificios, puentes, pavimentos, presas, puertos, canales, túneles, etc., e incluso en cimentación de estructuras metálicas.

Esto es así, por sus principales características:

- Moldeabilidad: Adaptación a la geometría del molde (encofrado).
- Resistencia: Buena comportamiento ante los esfuerzos de compresión.
- Durabilidad: Conservación de propiedades e integridad a largo plazo.

### 1.2.- Definición:

El hormigón es un material compuesto, mezcla de cemento, áridos (finos y gruesos) y agua, pudiendo contener además adicciones y aditivos.

Cuando se utiliza en elementos estructurales, necesita la colaboración del acero, para soportar los esfuerzos de tracción, con armaduras pasivas ó con armaduras activas; y de esta combinación resulta el hormigón armado.

Si la mezcla tan solo contiene árido fino (arena), se trata de un mortero.



*Hormigón fresco*



*Hormigón endurecido*

El cemento, mezclado con agua, se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas (2/4) fragua y endurece, convirtiéndose en un material de consistencia pétreo.

Cuando se proyecta una estructura de hormigón, se establecen las dimensiones de los elementos, el tipo de hormigón, los aditivos, la resistencia que deberá alcanzar, en función de los esfuerzos que deberá soportar, y las condiciones ambientales a que estará expuesto.

### 1.3.-Tipos y designación completa del hormigón

Los hormigones convencionales se clasifican por su resistencia a compresión en N/mm<sup>2</sup>, principalmente, aunque también existen otras clasificaciones, como por su densidad, por su dosificación ó por alguna otra propiedad destacable, color, etc.

La designación o tipificación del hormigón que ha de constar en los documentos de los proyectos y en las hojas de suministro, deberá tener el formato que se indica en la Instrucción EHE. Esta es:

**T- R / C / TM/ A**, Con las siguientes correspondencias:

**T** Tipo de hormigón, según su aplicación

- HM Para el hormigón en masa.
- HA Para el hormigón armado.
- HP Para el hormigón pretensado.

**R** Resistencia a compresión

Es la resistencia característica a compresión ( $f_{ck}$ ), obtenida a la edad de 28 días y expresada en N/mm<sup>2</sup>. Se aconseja utilizar la escala de valores 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50.

**C** Tipo de consistencia medida con el cono de Abrams

Identifica la consistencia de acuerdo con los tipos:

- S : Seca ; - P : Plástica ; - B: Blanda ; - F: Fluida.

**TM** Tamaño máximo del árido

Es el tamaño máximo del árido grueso (grava) expresado en mm (20,40, etc.).

**A** Es la designación del tipo de ambiente y clase de exposición de la obra.

Ejemplo: HA-25/ P/ 20/ IIa; equivale a un hormigón armado de resistencia característica de 25 N/mm<sup>2</sup> (250 kp/cm<sup>2</sup>), de consistencia plástica, con tamaño máximo del árido 20 mm y una exposición tipo de ambiente IIa.

Por su densidad, se clasifican en ligero ( $\gamma < 2 \text{T/m}^3$ ), Normal ( $2 < \gamma < 2,6 \text{T/m}^3$ ) y pesado ( $\gamma > 2,6 \text{T/m}^3$ ).

#### 1.4.- Componentes:

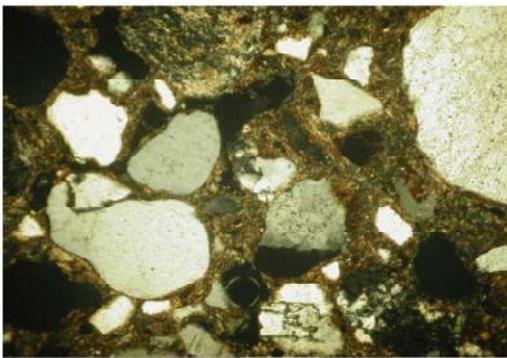
Los componentes para fabricar la mezcla definida como hormigón son:

- Cemento: Actúa como conglomerante al mezclarse con el agua.
- Árido Fino: Arenas de diferentes tamaños y granulometrías.
- Árido Grueso: Gravas de diferentes tamaños y granulometrías.
- Agua: Hidrata el cemento formando la pasta que envuelve a los áridos.

La composición porcentual en peso del hormigón, aproximada, es:

(Agua (5-10%) + Cemento (10-15%) → Pasta → (Grava + Arena) (70-80%)  
y opcionalmente, con hasta un 2% de aditivos.

Cuanto más compacta resulte la mezcla, más resistente, más durable y de mejor calidad resultará el hormigón.



*Macro-estructura del hormigón*



*Mezcla de áridos con cemento*

En la macro-estructura del hormigón, se distinguen claramente dos fases: los áridos de varios tamaños y formas, y en medio el conglomerante, que consiste en una masa incoherente de pasta de cemento hidratada.

El cemento y el agua son los componentes activos en el endurecimiento, mientras que los áridos son los componentes inertes, ya no participan en el fraguado, aunque si contribuyen en la resistencia alcanzada por la mezcla.

Las adiciones son materiales con cierta capacidad conglomerante, que se pueden utilizar en una proporción mayor del 5%, y con el fin de mejorar alguna propiedad ó abaratar el coste del hormigón, se usan cenizas, escorias, etc.

Los aditivos son sustancias utilizadas, opcionalmente, en una proporción < 5% para modificar de forma específica el comportamiento de la pasta fresca ó sus

propiedades, y que no debe influir en la resistencia, ni en la durabilidad, como son los fluidificantes, colorantes, aceleradores, retardadores de fraguado, etc.

a) Cemento:

Se pueden utilizar los cementos tipificados y recogidos en la Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-08), y en cada proyecto se especificará el tipo de cemento a utilizar.

b) Agua:

La misión del agua es hidratar el cemento para que se produzca el fraguado ó endurecimiento de la pasta y que esta sirva de conglomerante con los áridos.

El agua utilizada, tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, no debe contener ningún ingrediente perjudicial en cantidades tales que afecten a las propiedades del hormigón o a la protección de las armaduras frente a la corrosión

En un principio podrán emplearse todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica, pero cuando no se disponga de información ó existan dudas de su composición deberán analizarse, y cumplir las siguientes condiciones, establecidas en la EHE-08 (Instrucción del Hormigón Estructural).

*Condiciones exigibles al agua de amasado (según EHE-08)*

- Exponente de hidrógeno pH	$\geq 5$
- Sustancias disueltas	$\leq 15$ gramos por litro
- Sulfatos, expresados en $\text{SO}_4^{=}$ ,	$\leq 1$ gramo por litro
- Ión cloruro, $\text{Cl}^-$ ;	$\leq 1$ gramo por litro (h. pretensado)
- Ión cloruro, $\text{Cl}^-$ ;	$\leq 3$ gramos por litro (h. armado)
- Hidratos de carbono	Exento
- Sustancias orgánicas solubles en éter	$\leq 15$ gramos por litro

El agua de mar, o aguas salinas análogas, puede utilizarse para el amasado o curado de hormigones en masa, pero no si son armados o pretensados.

Cantidad de agua adecuada para el amasado

La cantidad de agua añadida al amasado debe ser precisa y controlada, para que se ajuste a la proporción establecida respecto al cemento, es decir, que se garantice la relación A/C (agua/cemento), ya que exceso de agua reduce la resistencia y la durabilidad.

*Máxima relación A/C (agua/cemento) y mínimo contenido de cemento (EHE-08)*

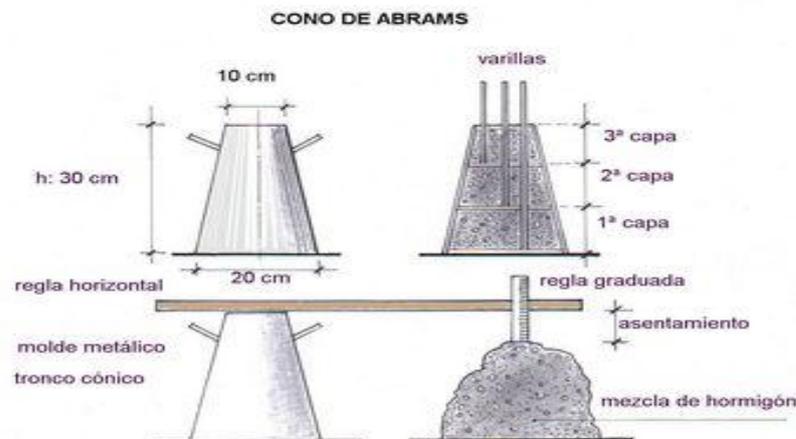
Parámetro de dosificación	CLASE DE EXPOSICIÓN												
	I	Ila	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
Máxima Rel. A/C	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
Mínimo Cont Cem.kg/m <sup>3</sup>	250	275	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300

Estas clases de exposición se clasifican de menor a mayor agresividad y de condiciones del ambiente en el que sitúa la obra:

I- No agresiva; II- Normal; III- Marina; IV- Con Cloruros; Q- Química agresiva; H- Con Heladas, sin sales fundentes; F- Con Heladas, con sales fundentes E-Exposición con erosión.

El proceso de control de la relación A/C, se realiza desde la fase de dosificación, pasando por la fabricación y terminando en el control de recepción en obra. Para ello se utiliza la medida del asiento en el cono de Abrams, como prueba de que no se han modificado las condiciones iniciales de la A/C.

Este ensayo consiste en establecer una consistencia del hormigón fresco, en función de su relación A/C, y asociarla a un valor de asiento (cm.) cuando se desmoldea el hormigón fresco de un cono normalizado de 30 cm. de altura.



El cono se rellena en tres capas de hormigón fresco, picando con barra (25 veces/capa), se enrasa y se retira el molde, para medir el asiento de la mezcla.

En este control, se ha de tener en cuenta la variación de consistencia que se produce cuando se utilizan aditivos fluidificantes.

c) Áridos:

Elementos sólidos y clasificados por tamaños, que forman la estructura mineral del hormigón. Se obtienen de rocas machacadas ó rodadas (naturales), que permiten garantizar una resistencia y una durabilidad adecuada, por lo que se clasifican según su procedencia en machacados y rodados.

Designación y tamaños del árido:

Los áridos se designan por el rango de su tamaño (mínimo  $d$  y máximo  $D$ ), en mm, de acuerdo con la expresión: árido  $d/D$ , por ejemplo árido 20/25.

El parámetro principal de un árido es el *tamaño máximo  $D$* , que se define como la mínima abertura del tamiz de la serie UNE por el que pasa más del 90%.

Se denomina tamaño mínimo  $d$  de un árido, la máxima abertura de tamiz de la serie UNE por el que pasa menos del 10% en peso.

La frontera de separación entre la arena ó árido fino y la grava ó árido grueso, se fija en 4 mm, por lo que se entiende que la *arena* es la fracción que pasa por un tamiz de 4 mm de luz de malla (tamiz 4 UNE); y que la *grava* es la que resulta retenida por dicho tamiz.

Como áridos para la fabricación de hormigones pueden emplearse arenas y gravas existentes en yacimientos naturales, rocas machacadas o escorias siderúrgicas apropiadas.

Cuando no se tengan antecedentes sobre los áridos disponibles, se deben realizar ensayos de identificación, mediante análisis mineralógicos, petrográficos, físicos o químicos, según convenga a cada caso, quedando excluidos los que contengan sulfuros.

Al igual que ocurre con el cemento y el agua, la normativa de referencia (EHE-08), establece las especificaciones que deben cumplir los áridos.

*Limitaciones a las sustancias perjudiciales (EHE-08)*

SUSTANCIAS PERJUDICIALES (% sobre el Peso total de árido)	Cantidad Máxima	
	Árido F	Árido G
Terrones de arcilla (reducción de Resistencia)	1,00	0,25
Partículas blandas (reducción de Resistencia)	—	5,00
Material retenido por el tamiz 0,063, y que flota en un líquido de P.espec. 2	0,50	1,00
Compuestos totales de azufre expresados en $\text{SO}_4^{2-}$ (agresividad)	1,00	1,00
Sulfatos solubles en ácidos, expresados en $\text{SO}_4^{2-}$ (agresividad al cemento)	0,80	0,80
Cloruros expresados en $\text{Cl}^-$ (agresividad a las armaduras)	0,80	0,80

Además, se han de cumplir las siguientes limitaciones:

- Friabilidad de la arena (FA)  $\leq 40$
- Resistencia al desgaste de la grava  $\leq 40$  (Ensayo de Los Ángeles)
- Absorción de agua por los áridos  $\leq 5\%$
- Resistencia a la helada de Finos  $\leq 15\%$  (pérdida de peso en  $\text{SO}_4\text{Mg}_2$ )
- Resistencia a la helada de Gruesos  $\leq 18\%$  (pérdida de peso en  $\text{SO}_4\text{Mg}_2$ )
- Coeficiente de forma  $\alpha < 0,20$
- Índice de lajas  $< 35$

La forma del árido grueso es muy importante y se expresa mediante su *coeficiente de forma* y su *índice de lajas*, que establecen la relación entre las dimensiones máxima y mínima de los granos.

Se llama coeficiente de forma del árido grueso a la relación entre el volumen de los granos de dicho árido, y el correspondiente a esferas cuyos diámetros sean las mayores dimensiones de los granos.

Los áridos que presentan formas laminares o aciculares (lajas y agujas) son inadecuados para la obtención de hormigones con buenas resistencias.



*Proceso de machaqueo de áridos*



*Clasificación de áridos rodados*

#### d) Aditivos:

Se definen como aditivos, toda sustancia añadida a los componentes principales del hormigón, en cantidades menores del 5% sobre el cemento, para conseguir una mejora ó modificación de las propiedades iniciales.

Se suelen añadir al agua de amasado, para una mejor distribución, y a la función principal (objetivo), puede acompañar unos efectos secundarios que se deben controlar.

Todos ellos deben cumplir la norma UNE correspondiente; y en hormigones armados no se pueden utilizar productos que contengan cloruros, sulfuros, sulfitos u otros productos químicos que afecten a la corrosión de armaduras.

#### Tipos

Se pueden distinguir dos grupos principales:

- Modificadores de la reología: Cambian el comportamiento en estado fresco, tal como la consistencia, docilidad, etc.
- Modificadores del fraguado: Que adelantan o retrasan el fraguado o sus condiciones.

Los aditivos más utilizados son los que incrementan la fluidez del hormigón, haciéndolo más manejable, los aditivos que aceleran el fraguado son especialmente diseñados para obras o construcciones donde las condiciones climáticas requieran un fraguado más rápido.

Los retardadores se usan en lugares donde el hormigón fragua rápidamente, especialmente en regiones con clima cálido ó en situaciones donde el hormigón se transporta a gran distancia; para evitar un fraguado durante el trayecto.

#### Clasificación

Se realiza esta por su función principal, con la siguiente relación:

##### **A-Modificadores de la reología**

- Plastificantes, para mejorar la plasticidad
- Fluidificantes, para fluidificar el hormigón fresco
- Superfluidificantes, similar al anterior pero con un mayor efecto.

##### **B-Modificadores del fraguado y del endurecimiento**

- Acelerantes, para adelantar el inicio y final del fraguado
- Retardadores, para retardar el inicio y final del fraguado

### **C-Modificadores del contenido de aire**

- Inclusores de aire
- Generadores de espuma,
- Generadores de gas,
- Eliminadores de aire

### **D-Mejora de las propiedades físico-químicas**

- Protectores de las heladas
- Reductores de la penetrabilidad de agua
- Anticongelantes
- Inhibidores de corrosión de armaduras
- Modificadores de la reacción árido-álcalis

### **E-Otros aditivos**

Existen otra variedad de productos que, sin ser propiamente aditivos, pueden considerarse como tales ya que modifican propiedades del hormigón, como ocurre con los colorantes o pigmentos que actúan sobre el color hormigón, etc.

En la utilización, se debe tener especial precaución con la dosificación, el almacenamiento, la distribución, el contenido de  $Cl^-$  y el tiempo de actividad.

## **2- Dosificación de hormigones**

El proceso de dosificación consiste en definir el contenido de los componentes, para la posterior fabricación de un hormigón, con el objetivo de que la mezcla sea manejable (dócil), durante la puesta en obra, y el producto resultante sea resistente y compacto.

En la fase inicial se analizan los componentes para determinar su idoneidad y se obtienen los parámetros identificativos de tamaño y granulometría de los áridos a utilizar.

Datos de partida → Dosificación → Objetivo → Hormigón resistente y compacto

### 2.1 Tipos de dosificación

Cuando se acomete el proceso de dosificación de un hormigón, se puede optar por un procedimiento genérico, rápido y poco preciso, que llamamos aproximada, ó bien, por otro más elaborado y ajustado a las características específicas de los componentes y la obra, que es la dosificación técnica.

### 2.1.1. Dosificación aproximada:

Es la que se obtiene a partir de tablas y ábacos establecidos para obtener una resistencia determinada, en función del tipo de árido, del tipo de cemento y del tamaño máximo de árido. Se trata de una dosificación poco precisa, al no analizar los áridos a utilizar.

### 2.1.2. Dosificación técnica:

En esta, se calculan las proporciones de los componentes de una manera más precisa, analizando las características de los áridos, las condiciones de ejecución, el ambiente de exposición y la geometría de elementos de proyecto. Los datos de partida para estudiar la dosificación son:

- \*Resistencia característica **fck**, que requiere el proyecto y se debe garantizar
- \*Consistencia del hormigón: la especificada para el tipo de obra.
- \*Condiciones de ejecución, que dependen de los medios de puesta en obra.
- \*Tipo de cemento (Resistencia), según los tipos 32,5 - 42,5 - 52,5 kp/cm<sup>2</sup>
- \*Tipos de áridos y origen: (silíceo ó calizo, machacado ó rodado)
- \*Granulometría de los áridos: (curva granulométrica, Módulo granulométrico)
- \*Tamaño máximo del árido: valor de D para la grava (tamiz que pasa el 90%)

Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1º Definir la resistencia media  $f_{cm}=f(fck)$ , función de las condiciones ejecución.
- 2º Fijar la relación A/C, obtenida de la expresión  $(C/A)=\alpha f_{cm}+0,5$ , con el máximo de A/C y el mínimo de cemento "C", establecidos en la EHE-08.
- 3º Determinar la dosificación de agua "A" y de cemento "C", en función de la consistencia y tipo de árido (Tabla dosificación de agua).
- 4º Calcular los módulos granulométricos de áridos (arena y grava) y de Fuller. Parábola Fuller  $p = 100 d / D = f$  (para D-tamaño máx. árido).  
Módulo gran. (m1, m2)= $\Sigma\%$  Retenidos Acumulados/100, Tamices  $\geq 0,16$  mm.
- 5º Obtener las proporciones de áridos X% (arena), Y%(grava) en la mezcla, con las ecuaciones,  $m_a \cdot X + m_g \cdot Y = 100 \cdot m_F$ ;  $X + Y = 100$
- 6º Calcular las cantidades de arena y grava por m<sup>3</sup> de hormigón.

$$\frac{C(\text{cemento}) (kg)}{Y_{\text{cemento}}} + \frac{A(\text{arena}) (kg)}{Y_{\text{arena}}} + \frac{G(\text{grava}) (kg)}{Y_{\text{grava}}} + \frac{\text{agua} (kg)}{Y_{\text{agua}}} = 1025 l$$

7º) Comprobaciones sobre amasadas de prueba para verificar que la resistencia estimada (probetas) **fest > fck**. ( resistencia característica).

1º) Resistencia media ( $f_{cm}$ ):

Se obtiene entrando con el valor de  $f_{ck}$  en la tabla adjunta.

Condiciones previstas para la ejecución de la obra.	Valor aprox. de la resistencia media $f_{cm}$ para obtener en obra una $f_{ck}$
Medias	$f_{cm}=1,50 \cdot f_{ck} + 20 \text{ kg/cm}^2$
Buenas	$f_{cm}=1,35 \cdot f_{ck} + 15 \text{ kg/cm}^2$
Muy buenas	$f_{cm}=1,20 \cdot f_{ck} + 10 \text{ kg/cm}^2$

Ejemplo: Condiciones "buenas" y " $f_{ck}$ "=200 kg/cm<sup>2</sup> → " $f_{cm}$ "=285 kg/cm<sup>2</sup>

2º) Relación agua/cemento **A/C**: (método de De la peña)

A partir del tipo de cemento y el tipo de árido, se deduce el coeficiente "α"

CEMENTO	Aridos rodados	Aridos machacados
CEM I, II – 32,5	α =0,0054	α =0,0035
CEM I, II – 42,5	α =0,0045	α =0,0030
CEM I, II – 52,5	α =0,0038	α =0,0026

Ejemplo: Cemento CEM II-42,5 y "áridos rodados" → "α"=0,0045

La concentración de cemento es  $Z=C/A= \alpha f_{cm} + 0,5 \rightarrow Z=1,7825$ ;  $A/C=0,56$

3º) Dosificación de agua "A" y de cemento "C":

La dosificación del agua está condicionada por la consistencia deseada, el tipo de árido y el tamaño máximo de este. Con esta información se obtiene el contenido de agua "A" (l/m<sup>3</sup>), aplicando la tabla inferior, en la que se puede apreciar, que este crece con la fluidez, el árido machacado y el menor tamaño de árido.

Consistencia del hormigón	Asiento en cono de Abrams (cm)	Aridos Rodados			Aridos Machacados		
		80mm	40mm	20mm	80mm	40mm	20mm
Seca	0-2	135	155	175	155	175	195
Plástica	3-5	150	170	190	170	190	210
Blanda	6-9	165	185	205	185	205	225
Fluida	10-15	195	215	235	215	235	255

Dosificación de agua "A" (l/m<sup>3</sup>), según la consistencia, tipo y tamaño máximo del árido

Los áridos machacados necesitan más agua por tener mayor absorción que los rodados y los de menor tamaño también, por ser mayor la superficie total a envolver por el agua. (Ej.: para C. Plástica y T.máx=20 mm →  $\text{Agua}=190 \text{ l/m}^3$ ).

Para la dosificación del cemento “C” aplicamos la relación A/C, ya prefijada en el apartado 2 y el agua “A”, calculando  $C = A / (A/C)$  en  $\text{kg} / \text{m}^3$ , que deberá ser superior al mínimo especificado para la clase de exposición de que se trate. (Ejemplo  $C=190 / 0,56$   $C=339 \text{ Kg/m}^3$ ).

#### 4º) Calculo de los módulos granulométricos:

Para ello se necesita disponer del análisis granulométrico de cada fracción de árido, que como mínimo serán dos, una grava y una arena (tabla adjunta).

Se debe elegir un árido grueso que cumpla con las especificaciones del tamaño máximo de árido, condicionadas por el tipo de elemento proyectado, así este, debe ser menor que las dimensiones siguientes:

- a) 0,8 de la distancia horizontal libre entre vainas o armaduras
- b) 1,25 de la distancia entre un borde de la pieza y una vaina o armadura
- c) 0,25 de la dimensión mínima de la pieza, excepto en los casos siguientes:
  - Losa superior de forjados, donde T.máx será  $< 0,4$  veces el espesor mínimo.
  - Piezas muy cuidadas (prefabricación), el T.máx. será  $< 0,33$  veces el espesor.

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LO ARIDOS Y DE LA PARABOLA DE FULLER

TAMIZ (mm)	Granulometría (%) que Pasa		GRAVA		ARENA		Fuller	
	Grava	Arena	Retenido (%)	R.Acum. (%)	Retenido (%)	R.Acum. (%)	(p) Pasa (%)	R.Acum. (%)
80	100	100	0	0	0	0	100	0
40	100	100	0	0	0	0	100	0
20	99	100	1	1	0	0	100	0
10	38	100	61	62	0	0	71	29
5	3	95	35	97	5	5	50	50
2.5	0	63	3	100	32	37	35	65
1.25	0	36	0	100	37	64	25	75
0.63	0	10	0	100	26	90	18	82
0.32	0	3	0	100	7	97	13	87
0.16	0	0	0	100	3	100	9	91
<b>Sumas.....</b>			<b>660</b>		<b>393</b>		<b>479</b>	

El módulo granulométrico de cada árido, da una idea de su tamaño y se calcula con la expresión  $Mg = \Sigma \% \text{ Ret. Acumulados} / 100$ , (tamices  $\geq 0,16$  mm).

Para los áridos de la tabla adjunta, el Módulo granulométrico: suma de porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz de la serie dividida por 100, resulta ( $M_{grava}=6,60$ ;  $M_{arena}=3,93$ ).

Para obtener el módulo del árido de Fuller, que es un árido ideal, en el que su granulometría queda definida por su tamaño máximo, se calculan los porcentajes (p) que pasan por cada tamiz (d) del árido de tamaño máximo (D), coincidente con el de los áridos a emplear, 20 mm en este caso.

$$p = (d/D)^{1/2} \times 100 (\%)$$

Los porcentajes "p" se pasan a retenidos "r"= $100-p$  y con el sumatorio de estos acumulados obtenemos el modulo de Fuller:

$$M_F = \frac{\sum \% \text{ Ret. Acum. (árido Fuller)}}{100} = 4,79$$

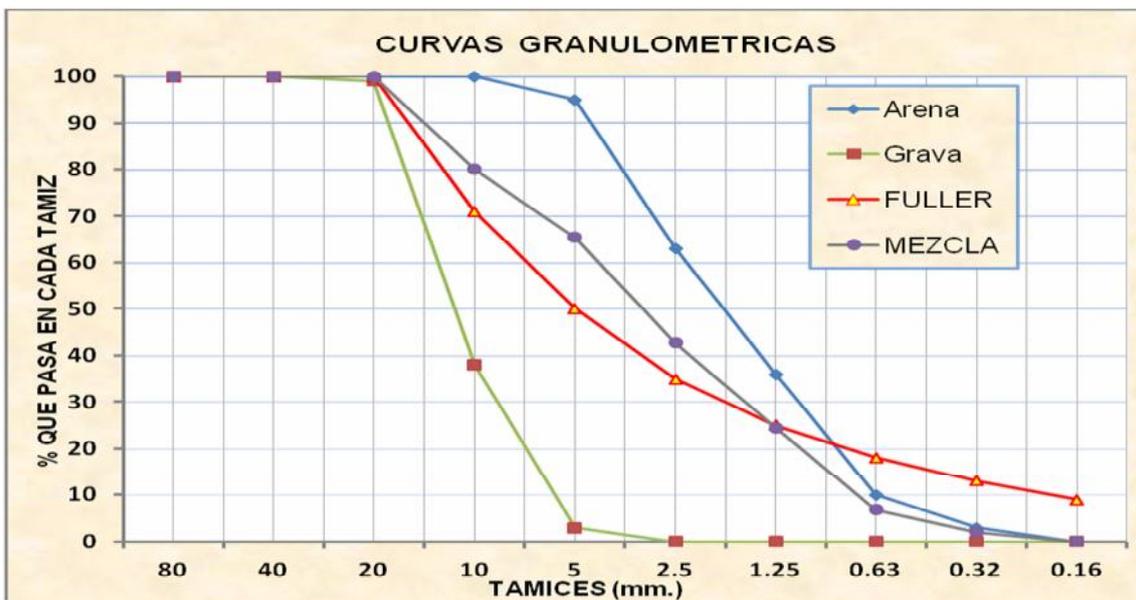
5º) Proporción de los áridos (X) de arena e (Y) de grava (Método de Fuller):

La proporción en que deben mezclarse los áridos, es la que aporte la máxima compacidad a la mezcla, es decir, la que aproxime la granulometría a la del árido ideal de Fuller, ó lo que es lo mismo, la que consiga que el módulo granulométrico de la mezcla sea igual al módulo de este árido ideal.

Los valores de X (%) e Y (%) se obtienen a partir de las ecuaciones:

(1)  $m_a.X + m_g.Y = M_F \cdot 100$  ; que para el ejemplo sería:  $3,93.X + 6,60.Y = 4,79 \cdot 100$

(2)  $X + Y = 100$  ;  $\rightarrow X = 67,8 \%$  ;  $Y = 32,2 \%$



Con estos porcentajes, se comprueba con la representación gráfica de las curvas granulométricas que la de la mezcla se ajusta a la parábola de Fuller.

Otros procedimientos para determinar esta proporción de áridos, están basados en tablas ó en ábacos, como el Método de Carlos de la Peña, que a partir del tamaño máximo del árido "T" y del módulo granulométrico de la arena "Ma", se obtienen los porcentajes de arena y grava en ábacos (C. De la Peña).

#### 6º) Cantidades de arena y grava por m3 de hormigón

Una vez conocidos los contenidos de agua y cemento, y la proporción de los áridos, falta por calcular los contenidos de estos, para completar la mezcla que se desea fabricar.

Se trata de deducir que parte del volumen (m<sup>3</sup>) de hormigón queda para los áridos, habiendo fijado el agua y el cemento, y sabiendo que el volumen de hormigón fresco se reduce en 25 milésimas por la retracción del fraguado.

Se convierten los pesos a volúmenes, dividiendo por el peso específico de cada componente, lo que da lugar a la siguiente expresión:

$$\frac{C(\text{cemento}) (kg)}{\gamma_{\text{cemento}}} + \frac{A(\text{arena}) (kg)}{\gamma_{\text{arena}}} + \frac{G(\text{grava}) (kg)}{\gamma_{\text{grava}}} + \frac{\text{agua} (kg)}{\gamma_{\text{agua}}} = 1025 l ; \text{ que}$$

siguiendo el ejemplo, con condiciones de ejecución "buenas", áridos rodados, cemento II-45, relación A/C=0,56, agua A=190 kg/m<sup>3</sup> y cemento C=339 Kg/m<sup>3</sup>

$$\frac{339 (kg)}{3,10 \text{ kg/m}^3} + \frac{A(\text{arena}) (kg)}{2,65 \text{ kg/m}^3} + \frac{G(\text{grava}) (kg)}{2,65 \text{ kg/m}^3} + \frac{190 \text{ kg}}{1,0 \text{ Kg/m}^3} = 1025 l ; A+G=1923 \text{ Kg.}$$

$$\text{Arena}(X\%) \text{ de } 1923 \text{ Kg} = 0,678 \cdot 1923 = \boxed{1304 \text{ Kg}}; \text{ Grava } (Y\%) = 0,322 \cdot 1923 = \boxed{619 \text{ Kg}}$$

Con estos valores, queda definida la dosificación técnica del hormigón, salvo las correcciones que se requieran, atendiendo a:

- El contenido de humedad de los áridos,
- El tipo de aditivos,
- Una mayor docilidad, etc

### 7º) Comprobación de la dosificación:

El último paso consiste en fabricar varias amasadas con la dosificación de los componentes, realizando toma de muestras, para comprobar que las características del hormigón se ajustan a las necesarias, verificando que la resistencia estimada (en rotura de probetas)  **$f_{est} > f_{ck}$** . (resistencia característica), que la consistencia, medida con el asiento de cono de Abrams, es la adecuada para el tipo de obra y que la mezcla resulta homogénea.



*Fabricación de probetas (ø15cmx30cm)*



*Medida de Resistencia a compresión a 28 días.*

### **3- Fabricación, puesta en obra y curado del hormigón**

La fabricación del hormigón, así como su puesta en obra, tiene una gran importancia en las características el producto obtenido. Una vez determinada la dosificación más conveniente, se procede a la fabricación del hormigón, cuyo objetivo es conseguir un producto homogéneo y con las características previstas en la dosificación teórica.

Las propiedades que debe tener el hormigón fresco son:

- Docilidad
- Consistencia
- Homogeneidad

#### 3.1- Fabricación

Es la operación que incluye los procesos de seleccionar, dosificar y mezclar los componentes indicados en la dosificación, en la que distinguen tres fases:

- Acopio de los materiales
- Dosificación e incorporación de componentes
- Mezclado y amasado

### 3.1.1- Acopio de materiales

Se trata de almacenar los componentes debidamente organizados, en la proximidad del punto de mezcla, en condiciones adecuadas.

-Cemento: se almacena en silos, identificados por tipos, estancos para preservarlo de la humedad ambiente y con control de temperatura (<40°C)

-Agua: se pueden disponer de balsas, depósitos, pozos ó directamente de la red de abastecimiento, siempre que se evite la contaminación con sustancias nocivas y que realice un control químico y periódico.

-Áridos: se acopian en tolvas abiertas ó cerradas, ó directamente en acopios con forma de “estrella” (cono sectorizado) o en acopios en paralelo separados por muros ó tabiques separadores.

En todos los casos, se debe evitar la contaminación ó mezcla involuntaria y controlar la humedad para corregir la cantidad del agua de amasado.



*Acopio de áridos en paralelo*



*Silos de almacenamiento de cemento*

### 3.1.2- Dosificación e incorporación de los componentes

Según la normativa se puede realizar fuera de una central ó en central de hormigonado, que es la forma más habitual y recomendable, para ello se requiere disponer de una central de hormigonado y de un servicio de control de calidad de producción, con lo que se consigue una gran homogeneidad y uniformidad de las amasadas de hormigón.

La central puede estar o no a pie de obra, ya que dependiendo de la demanda, puede ser rentable montar una central en la propia obra.

El agua se dosifica en volumen, mientras que el cemento y los áridos se dosifican en peso. Este sistema requiere una instalación que incluya:

- Zona de almacenamiento de las materias primas
- Mecanismos de alimentación y básculas para la dosificación adecuada
- Equipo de amasado con una capacidad acorde a la producción

Los medios de dosificación deben estar tarados y calibrados, con la precisión necesaria, para ajustar la mezcla a las proporciones teóricas.

El hormigón no fabricado en central es aquel que se fabrica en hormigoneras de obra. Su empleo no es aconsejable salvo en obras de poca importancia, por las grandes dispersiones que resultan de este tipo de preparación, por lo que la calidad de un hormigón puede verse disminuida.

### 3.1.3- Mezclado y amasado

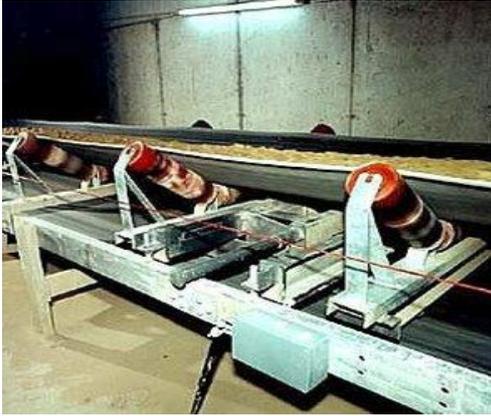
El amasado del hormigón tiene por finalidad recubrir a los áridos de una capa de pasta de cemento, y mezclar todos los componentes hasta conseguir una masa uniforme.

El amasado se realiza en mezcladoras u hormigoneras, que deben tener la potencia necesaria para voltear las amasadas durante el tiempo mínimo de amasado (2 a 4 minutos), con el que se consiga dar homogeneidad al hormigón fresco.

La mezcla no debe perder su uniformidad durante las operaciones de descarga y esto dependerá de la cohesión de la mezcla y del tipo de hormigonera.

Tipos de amasadoras:

- Eje horizontal: compuesta por dos ejes paralelos horizontales.
- Eje vertical: el amasado gira sobre un eje vertical, es la más utilizada.
- Eje basculante: la basculación facilita la carga y descarga.
- Sobre camión: en este caso el amasado se realiza haciendo girar el depósito (cuba) en el que se transporta.



*Báscula de cinta (dosificación de áridos)*



*Amasadora de hormigón de eje vertical*

### 3.2- Propiedades del hormigón fresco

Las propiedades del hormigón fresco son la docilidad, la consistencia y la homogeneidad, que inciden en la puesta en obra y en la calidad de producto. Por su incidencia en esta, se deben controlar durante la fabricación.

#### 3.2.1- Docilidad

La docilidad es la aptitud del hormigón fresco para ser colocado en obra con los medios de compactación normales. Se relaciona esta con la facilidad para manipular, transportar y colocar el hormigón sin perder homogeneidad. La docilidad depende, entre otros, de los siguientes factores:

a).- Contenido de agua: es el factor de mayor influencia y de función directa (a mayor cantidad de agua, mayor docilidad). Se debe conseguir la solución de compromiso óptima entre docilidad y resistencia necesaria, teniendo en cuenta que los excesos de agua provocan disminuciones de resistencia e impermeabilidad.

b).- Contenido del árido: según su tipo, los naturales (redondeados) aportan más docilidad que los de machaqueo (cúbicos y angulares). Por su tamaño y granulometría, a mayor cantidad de árido fino más docilidad, pero también mayor demanda de agua, con el inconveniente antes citado de merma de resistencia.

c).- Contenido de cemento: la docilidad aumenta con el contenido de cemento y con la finura del mismo. Aumenta la cohesión pero también la rigidez.

d).- Contenido de aditivos: la utilización de plastificantes tienen como función aumentar la docilidad conservando las restantes características.

Otros aditivos pueden modificarla con efectos secundarios (aire ocluido). La docilidad depende también de la forma y tamaño del molde y, de los medios de compactación disponibles.

Trabajabilidad	contenido de	
	agua	granos finos
Fluidez	↗	↘
Consistencia	↘	↗

$$\text{FLUIDEZ} + \text{CONSISTENCIA} = \text{TRABAJABILIDAD}$$

### 3.2.2-Consistencia.

La consistencia es la mayor ó menor facilidad que presenta el hormigón fresco para deformarse, siendo una propiedad física inherente al propio hormigón.

La composición de la masa tiene una gran influencia en las deformaciones, es decir, de su "consistencia", desde este punto de vista, la forma, granulometría, y tamaño máximo del árido, así como la dosificación de cemento, cantidad de agua de amasado y eventual empleo de aditivos, inciden en esta propiedad.

La consistencia es función del agua de amasado, o bien, estando fijada ésta, de la humedad de los áridos, de aquí que las medidas de la consistencia sirvan, entre otros fines, para controlar las variaciones de agua en la masa y den una idea de la falta de uniformidad que se puede tener en las resistencias.

Se mide con el asentamiento del hormigón fresco moldeado en el cono de Abrams, y así se clasifica de mayor a menor consistencia en seca, plástica, blanda y fluida, y de manera inversa los asentamientos van de menor a mayor.



Medida de consistencia (Cono de Abrams)

Tipo de consistencia	Asiento en cm
Seca	0 - 2
Plástica	3 - 5
Blanda	6 - 9
Fluida	10 - 15

Tabla de consistencias del hormigón

### 3.2.3-Homogeneidad.

Es la cualidad por la que los diferentes componentes del hormigón aparecen distribuidos en toda la masa en igual presencia y cantidad. El hormigón es una mezcla de componentes sólidos diferentes y de un líquido, por tanto, por su propia naturaleza, es un material que tiende a ser heterogéneo, por lo que debe poseer la cohesión necesaria para conservar la homogeneidad con la que se fabrica.

La homogeneidad puede perderse por segregación (separación de los gruesos por una parte y los finos por otra), o por decantación (los gruesos caen al fondo y el mortero queda en la superficie). Ambos fenómenos aumentan con el exceso de agua, con el tamaño máximo del árido, con incorrectos transportes y puesta en obra del hormigón.

La homogeneidad del hormigón se analiza determinando la dispersión que existe entre características de dos muestras tomadas de la misma amasada, (entre  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{3}{4}$  de la descarga) para comprobar la idoneidad de los procesos de dosificación, de amasado y de transporte.

Deberán obtenerse resultados satisfactorios de las siguientes propiedades:

- La consistencia
- La resistencia a compresión
- La densidad del hormigón
- El contenido de árido grueso
- El módulo granulométrico del árido

### 3.3- Puesta en obra del hormigón

Podríamos definir la puesta en obra del hormigón, como los procesos que se realizan desde que se fabrica hasta que se encuentra consolidado en el molde. En estos se incluyen el transporte, la colocación y la consolidación.

#### 3.3.1- Transporte

El transporte del hormigón, desde la central a la obra, puede efectuarse, bien en amasadoras móviles a velocidad de agitación, o en equipos adecuados que sean capaces de mantener la homogeneidad del hormigón.

El transporte más habitual se realiza con camiones hormigonera diseñados para facilitar la carga y la descarga, poder amasar la mezcla, protegerla del exterior (viento, lluvia, etc.) y con capacidades de 6 y 10 m<sup>3</sup>. En obras especiales, se recurre a otros procedimientos para optimizar rendimientos, como es el caso del blondin en las presas, vagonetas, etc.

Según la normativa, cada carga de hormigón debe ir acompañada de una hoja de suministro en la que deben figurar, entre otros, los siguientes datos:

Especificación del hormigón en albarán de suministro:

- Resistencia característica y contenido de cemento por m<sup>3</sup> de hormigón.
- Tipo, clase y marca del cemento. (Ejemplo: CEM II-A-P/32,5)
- Tamaño máximo del árido, consistencia y relación A/C.
- Tipo de aditivo, según UNE 83.200-91, si lo hubiere.
- Procedencia y cantidad de adiciones (cenizas, etc.), si las hubiere.
- Cantidad de hormigón que compone la carga (m<sup>3</sup>).
- Hora límite de uso para el hormigón (1h 30m, después de fabricarse)



*Camión hormigonera (cuba de 10 m<sup>3</sup>)*



*Transporte de hormigón con cinta*

Transporte del hormigón en obra.

Este transporte, es el que va desde el camión o la amasadora en su caso, hasta el tajo de colocación. Puede hacerse por múltiples procedimientos: mediante canaletas, tuberías, cintas transportadoras, vagonetas, etc.

Cualquiera que sea la forma de transporte, deben cumplirse las siguientes condiciones:

a) Evitar la segregación de los áridos gruesos durante el transporte, lo que provocaría en el hormigón pérdidas de homogeneidad y resistencia; para ello deben evitarse las vibraciones y choques, así como un exceso de agua, que favorecen la segregación.

Los áridos rodados son más propicios a segregarse que los de machaqueo, dado el mayor rozamiento interno de estos últimos.

b) Debe evitarse que el hormigón pierda humedad durante el transporte.

c) Si al llegar al lugar de colocación el hormigón acusa un principio de fraguado, la masa debe desecharse y no ser puesta en obra.

d) Cuando se empleen hormigones de diferentes tipos de cemento, se limpiará cuidadosamente el material de transporte antes de hacer el cambio.

### 3.3.2- Colocación ó puesta en obra

El proceso de colocación ó puesta en obra del hormigón que llega a la obra, requiere una serie de actuaciones previas, como son:

- Limpieza de moldes o encofrados y de la superficie donde se va a colocar, eliminando partículas ó restos, para mejorar el acabado y la adherencia.

- Humectación con un riego superficial, para que las superficies en contacto con la masa fresca no absorban agua de la mezcla, reduciendo la necesaria para hidratar el cemento.

#### 3.3.2.1- Vertido

Debe efectuarse de manera que no se produzca la disgregación de la mezcla, ya que el riesgo de disgregación es mayor, cuanto más grueso es el árido y más discontinua su granulometría, siendo sus consecuencias tanto peores cuanto menor es la sección del elemento a ejecutar.

Las recomendaciones para un vertido correcto son:

a) El vertido no debe efectuarse desde gran altura (no más de dos metros, como máximo en caída libre), procurando que su dirección sea vertical y evitando desplazamientos horizontales de la masa.

El hormigón debe ir dirigido durante el vertido, mediante canaletas u otros dispositivos que impidan su choque libre contra el encofrado o las armaduras.

- b) La colocación se efectuará por capas o tongadas horizontales de espesor inferior al que permita una buena compactación de la masa (30 a 40 cm).
- c) No se arrojará el hormigón con pala a gran distancia, ni se distribuirá con rastrillos para no disgregarlo, ni se desplazará más de un metro en horizontal.
- d) En el hormigonado de superficies inclinadas, el hormigón fresco tiene tendencia a deslizarse hacia abajo, especialmente bajo el efecto de la vibración. Para evitar esta situación, se debe colocar el hormigón de abajo a arriba.

### 3.3.2.2- Puesta en obra con bomba.

El hormigón bombeado, cada vez más frecuente, requiere un contenido de cemento no menor de 300 kg/m<sup>3</sup> y utilizar arena y árido grueso que no sea de machaqueo, o el porcentaje de este sea menor.

Es habitual utilizar aditivos como plastificantes, fluidificantes y emplear consistencias plásticas o blandas, para facilitar el bombeo, y resulta adecuado el empleo de cementos que confieran, plasticidad al hormigón. El tamaño máximo del árido no debe exceder de  $\frac{1}{4}$  del diámetro de la tubería. En la colocación debe evitarse la proyección directa del chorro de hormigón contra las armaduras.



*Bomba de hormigonado (F. Superior) ; Puesta en obra de hormigón con bomba (F.Inferior).*

### 3.3.2.3- Consolidación

Para que el hormigón resulte compacto debe emplearse el medio de consolidación o compactación más adecuada a su consistencia, de manera que se eliminen los huecos y se obtenga la máxima compacidad de la masa, sin que llegue a producirse la segregación, con ello se incrementa la resistencia y la durabilidad.

Se realiza por picado, apisonado ó vibrado.

#### -Compactación por picado

Se efectúa mediante una barra metálica que se introduce en la masa de hormigón repetidas veces. Este sistema es poco habitual y se emplea en hormigones de consistencia blanda y fluida, en general en obras de poca importancia. También es indicado para compactar zonas muy armadas (nudos).

#### -Compactación por apisonado

Se emplea generalmente en elementos de poco espesor y mucha superficie horizontal, como pavimentos, etc., y se efectúa mediante el golpeo repetido de un pisón adecuado en capas o tongadas de 15 a 20 cm de espesor, con consistencias secas ó plásticas.

#### -Compactación por vibrado

En este sistema se utiliza la energía de vibración de un mecanismo vibrante, que reacomoda los áridos en el interior de la pasta y hace que fluyan las burbujas de aire hacia la superficie, compactando la mezcla.

Se emplea cuando se quieren conseguir hormigones resistentes, ya que es apropiada para masas de consistencia seca o plástica. Es el método de consolidación más adecuado para estructuras de hormigón armado, ya que permite un ahorro de cemento y mano de obra, así como un desencofrado más rápido como consecuencia de la menor cantidad de agua de amasado empleada.

La acción de los vibradores depende, entre otros factores, de su frecuencia de vibración. Existen tres tipos de vibradores:

- Vibradores internos ó de “aguja”, que se introducen en la mezcla.

Su frecuencia varía entre 3000 y 12000 ciclos por minuto, siendo preferibles los que no bajan de 6000 ciclos por minuto.

La separación entre los distintos puntos de inmersión del vibrador depende de su radio de acción. Normalmente la separación óptima oscila entre 40 y 60 cm. Es mejor vibrar en muchos puntos durante poco tiempo (0,5 a 1,0 min.) que en pocos durante más tiempo, pues esto producir segregación.

- Vibradores de superficie, que transmiten la vibración desde la superficie  
Se emplean fundamentalmente en pavimentos de hormigón. Para elementos estructurales suele emplearse en placas y losas de poco espesor.

- Vibradores externos o indirectos

Actúan sobre los moldes o encofrados de las piezas, como es el caso de las mesas vibrantes o de los vibradores de encofrado.

Los encofrados deben ser totalmente estancos para que no haya pérdidas de lechada, siendo tanto más adecuados cuanto más robustos, flexibles y ligeros sean. La frecuencia de los vibradores de encofrado suele oscilar entre 3000 y 12000 ciclos por minuto.



*Consolidación con vibrador interno*



*Alisadora vibrante de superficie*

#### 3.3.2.4-. Juntas de hormigonado.

Cuando un elemento se ejecuta por partes, hay que tratar las superficies de contacto entre ellas, de tal manera que la unión entre ellas no suponga una discontinuidad, por lo que al interrumpir el hormigonado de una estructura de

hormigón, es necesario preparar las juntas para que queden orientadas lo más perpendicularmente posible a la dirección de las tensiones de compresión, siendo deseable alejarlas de las zonas de máximos esfuerzos.

Antes de reanudar el hormigonado, debe limpiarse la junta de toda suciedad y material que quede suelto, retirando la capa superficial de mortero para dejar los áridos al descubierto.

Posteriormente se humedece la superficie de la junta y se le aplica una capa de mortero fresco de 1 cm de espesor inmediatamente antes de verter el nuevo hormigón.

No se debe hormigonar directamente sobre superficies que hayan sufrido el efecto de la helada, debiendo sanearse previamente las partes dañadas por el hielo.

En las vigas y placas conviene situar las juntas de hormigonado en las proximidades del cuarto de la luz, donde los esfuerzos cortantes y de flexión son moderados, dándoles un trazado a 45°. También es posible situarlas hacia el centro de la luz, con trazado vertical.

En estructuras en las que se prevea una retracción importante conviene dejar abiertas las juntas para que las piezas contiguas puedan deformarse con libertad. La anchura de las juntas deberá ser la necesaria para efectuar el hormigonado posterior.

Para tratar las juntas situadas en zonas que requieran garantía de continuidad estructural, se utilizan las resinas epoxi, que permiten resolver con éxito el problema de la adherencia entre hormigones.

#### 3.3.2.5- Influencia de las condiciones climatológicas

Las condiciones ambientales más favorables para la puesta en obra del hormigón, son aquellas que mantienen una temperatura intermedia, entre 15°C y 20°C. y una elevada humedad, por encima del 80% de humedad relativa en el aire.

Estas condiciones permiten que la velocidad de fraguado sea óptima y que el hormigón tenga garantizada la humedad necesaria para hidratarse.

Por el contrario, las condiciones climatológicas extremas, con frío y con calor, son las más desfavorables, y por tanto, las que suponen un riesgo para el hormigonado.

#### Hormigonado en tiempo frío.

Está demostrado que el hormigón no adquiere la resistencia necesaria cuando su fraguado y primer endurecimiento tiene lugar en tiempo de heladas, debido a la acción expansiva del agua intersticial y el bloqueo del proceso de fraguado.

El hormigón queda seriamente dañado si la primera helada le sorprende cuando su resistencia no ha alcanzado los 10 N/mm<sup>2</sup>.

Se debe *suspender el hormigonado* en cualquiera de los casos siguientes:

- Cuando se prevea que, dentro de las 48 horas siguientes, pueda descender la temperatura ambiente por debajo de los 0 °C.
- Cuando la temperatura de la masa de hormigón sea inferior a 5 °C en elementos normales, o a 10 °C en elementos de pequeño espesor.
- Cuando la temperatura de los moldes o encofrados sea inferior a 3 °C.

Para hormigonar en tiempo frío es necesario mejorar la dosificación del hormigón, adoptando *relaciones A/C lo más bajas posible*, empleando mayor cantidad de cemento e incluso utilizando un aditivo adecuado. Todo ello con objeto de aumentar la velocidad de endurecimiento del hormigón y el calor de fraguado de la masa.

Precauciones:

- Prolongar el curado durante el mayor tiempo posible.
- Calentar los áridos a unos 20-40°C.
- Proteger las superficies hormigonadas (lonas, polietileno, arpilleras, etc.).
- Añadir anticongelantes o aceleradores de fraguado (CaCl<sub>2</sub>, etc.) en el agua.
- Calentar el agua de amasado a unos 40°-60°C.
- Retrasar el desencofrado de las pieza.

### Hormigonado en tiempo caluroso.

En estos casos, hay que adoptar medidas para impedir la evaporación del agua de amasado, especialmente durante el transporte, y para reducir la temperatura del hormigón fresco.

El calor, la sequedad del ambiente y el viento, provocan una evaporación rápida del agua que provoca en el hormigón deficiencias, como:

- Pérdidas de resistencia.
- Fisuras por ahogamiento.
- Aumento de la retracción en las primeras edades.

Se debe *suspender el hormigonado* en cualquiera de los casos siguientes:

- Cuando se prevea que la temperatura ambiente pueda superar 40 °C., en obras en general.
- Cuando se prevea que la temperatura ambiente pueda superar 35°C., cuando se trata de elementos expuestos de gran superficie.

Precauciones:

- Proteger los elementos a hormigonar de la exposición solar
- Proteger los áridos del soleamiento
- Enfriar los áridos a unos 20-30°C.
- Enfriar el agua de amasado a unos 10°-20°C.
- Añadir aditivos retardadores de fraguado
- Cubrir las superficies con lonas ó con arena mojada
- Prolongar el curado (riego con aspersores).

Cuando se trate de obras con grandes masas, como en las presas, se utilizan cementos con bajo calor de hidratación y bajo contenido de clinker.

### 3.3.2.6 - Curado del hormigón

Durante el proceso de fraguado y primeros días de endurecimiento se producen pérdidas de agua por evaporación, creándose una serie de huecos o capilares en el hormigón que disminuyen su resistencia.

Para compensar estas pérdidas y permitir que se desarrollen nuevos procesos de hidratación con aumento de resistencias, el hormigón debe curarse con abundancia de agua o evitando la pérdida sellando el elemento hormigonado.

Para un cemento Portland normal y para elementos de hormigón armado, el periodo de curado mínimo debe ser de 7 días, plazo que puede reducirse, si el cemento es de altas resistencias iniciales.

Por el contrario, hay que aumentarlo a 15 días cuando se trate de cementos lentos o de hormigón en masa.

En general, y de acuerdo con el Comité Europeo del Hormigón, el proceso de curado debe prolongarse hasta que el hormigón haya alcanzado el 70 por 100 de su resistencia de cálculo.

### Métodos de curado

Para realizar el curado del hormigón existen diferentes métodos:

- Riego con agua humectando la superficie del hormigón endurecido.
- Cubrición con lonas, laminas plásticas, que eviten la evaporación.
- Aplicación de productos de curado (sellado con ceras diluidas).
- Curado forzado, aplicando vapor de agua ( $60^{\circ}\text{C} < T < 80^{\circ}\text{C}$ ), para acelerar la curva de endurecimiento.

Este último, se utiliza en plantas de prefabricados para optimizar la producción, reduciendo el ciclo de moldeo-desmoldeo.



*Aplicación del líquido de curado*



*Riego con agua, en el curado de pilares.*

#### 4- Morteros de cemento

##### 4.1.- Introducción

El mortero es un material fabricado a partir de la mezcla de un conglomerante, agua y árido fino (arena), por lo que, se puede decir que el mortero de cemento es similar al hormigón, con una diferencia fundamental en su composición, la carencia de árido grueso (grava).

El conglomerante más utilizado es el cemento, si bien, también se utiliza la cal, y la mezcla de cemento y cal,

##### 4.2.- Designación

Los morteros se designan por la letra M, seguida de su resistencia a compresión a 28 días, medida en N/mm<sup>2</sup> y por el conglomerante utilizado:

CEM	cementos comunes	CL	Cal
BL	cementos blancos	CL-Q	Cal viva
CEM/CL-S	mezcla de cemento y cal apagada	CL-S	Cal apagada
BL-CL-S	mezcla de c. blanco y cal apagada		

##### 4.3.- Dosificación

Los morteros se dosifican de acuerdo con su aplicación constructiva (requisitos en estado fresco y endurecido). En cuanto a los conceptos de relación agua/cemento, tamaño máximo del árido, consistencia, etc., son equivalentes al hormigón. Es habitual utilizar aditivos retardadores, para disponer de un mayor plazo en el uso de cada amasada.



*Mortero envasado en saco de 25 Kg*



*Mortero fabricado en central*

#### 4.4.- Clasificación

Se pueden clasificar según su composición.

a) Por el tipo de Conglomerante:

- Cementos (Portland y Aluminoso);
- Cales (Aéreas e hidráulicas);
- Mixtos de cal y cemento (Bastardos)

b) Otros Morteros (en aplicaciones especiales): Modificados; Morteros cola; Ignífugos; Monocapa ; Ligeros ; Sin finos (porosos)

#### 4.5.- Aplicaciones de los morteros

- Morteros de albañilería: obras de fábrica. Suelen ser de cemento portland o bastardos (cemento y cal).
- Revestimientos continuos: Enfoscados y monocapa de paramentos exteriores.
- Pavimentos continuos: Morteros modificados y porosos.
- Pastas niveladoras: capa de nivelación para colocación de solados y paso de instalaciones.
- Material de agarre: revestimientos discontinuos.
- Protección pasiva: morteros ignífugos.
- Productos prefabricados: bordillos, baldosas hidráulicas, “piedras artificiales”, adoquines, bloques para fábricas, etc.

### **5- Hormigones especiales**

#### 5.1.-Introducción

Se consideran hormigones especiales, o con propiedades especiales, aquellos hormigones en los que se busca mejorar una o más de sus propiedades, sobre los valores normales obtenidos para un hormigón convencional, con el objetivo de alcanzar un fin determinado.

Para ello se deben modificar las especificaciones de los componentes, las proporciones de estos y recurrir al empleo de aditivos y adiciones.

Estas propiedades están relacionadas con la:

- Resistencia mecánica
- Durabilidad
- Forma de colocación
- Propiedades físicas:

La Instrucción EHE 08 contempla el uso de estos hormigones, cuya tipificación, propiedades y especificaciones se describen de forma detallada en sus correspondientes Anejos, lo que facilita su utilización por el proyectista con la condición de que se realicen estudios específicos para cada caso.

Los hormigones especiales que incluye esta normativa son:

- Hormigones con fibras
- Hormigones reciclados
- Hormigones ligeros
- Hormigones autocompactantes
- Hormigones no estructurales.

### 5.2.- Hormigones con fibras (HF)

Se utilizan como alternativa total o parcial a la armadura y buscando una mejor resistencia al fuego y a la fisuración

Aplicaciones:

Las aplicaciones varían significativamente según el tipo de hormigón y el tipo de fibra que se utilice.

- Fibras de acero: Mejoran la resistencia a la flexotracción y pueden reducir la densidad del armado del hormigón, tienen aplicaciones en:

- Gunitado de túneles y taludes
- Elementos sometidos a choques puntuales
- Soleras de seguridad

- Fibras poliméricas: ayudan a evitar las fisuras de retracción y a incrementar la resistencia a los choques o a la abrasión y la durabilidad; así como a limitar la porosidad y la pérdida de agua en fresco, tiene usos en:

- Pavimentos, soleras
- Tuberías
- Hormigones en masa

- Fibras de vidrio: indicadas en casos con riesgo de deterioro, consecuencia de la alcalinidad del medio, suelen presentarse con una capa protectora de material epoxídico. Su uso se suele limitar a aplicaciones no estructurales:

- Paneles Auto-portantes
- Tuberías
- Productos prefabricados

Principales características

- Adición al hormigón de fibras de tipo acero, poliméricas o de vidrio
- Admisible en hormigones en masa, armados y pretensados de dosificación inferior al 1,5% en volumen
- Según el tipo de fibra, limita la densidad del armado, mejora la durabilidad, la resistencia a la flexotracción al fuego y a la fisuración
- Pérdida de la docilidad del hormigón

Tipificación

T – R /f-R1-R3 /C/ TM-TF/A ; donde: •T: HMF o HAF o HPF ;•R: Resistencia en MPa; •f: Tipo de fibra (A:acero, P:poliméricas, V:vidrio); •R1-R3: Resistencia residual a flexotracción en Mpa; •C:Consistencia (S, P, B, F, L) ; •TM: Tamaño máximo; •TF:Longitud máxima de las fibras (mm); •A: Ambiente de exposición.

### 5.3.- Hormigones reciclados (HR)

Estos suponen una alternativa al hormigón convencional, para mejorar la sostenibilidad, al reutilizar materiales, como los áridos, obtenidos a partir de productos reciclados.

El uso de áridos reciclados tiene algunas desventajas, si bien permite reducir la huella ecológica del producto, mejora el ICES y saca provecho de materiales existentes en caso de demolición y reconstrucción.

Los aspectos a tener en cuenta son:

- Aumento de la retracción y de la fluencia del hormigón
- Disminución de la adherencia a la armadura con necesidad de incremento de la dosificación de cemento
- Menor durabilidad al ser más poroso el árido reciclado y más sensible a los ataques del ambiente
- Descenso de la resistencia en caso de presencia de impurezas de tipo distinto al hormigón (vidrio, cerámica)

Las principales características son:

- Hormigón con parte de árido grueso es procedente de residuos de hormigón
- Se admite hasta un 20% de árido reciclado para hormigones estructurales
- El árido reciclado es de la misma naturaleza que el hormigón
- Mejora el Índice de Contribución de la Estructura a la Sostenibilidad
- Admisible para hormigones en masa y armado (recomendado para resistencia inferior a 40 MPa)

Tipificación

T–R/C/TM/A; donde: •T:HRM o HRA; •R: Resistencia en MPa; •C: Consistencia (S,P,B,F,L); •TM: Tamaño máximo; •A: Ambiente de exposición.

#### 5.4.- Hormigones ligeros(HL)

Son aquellos que tienen una densidad aparente entre 1.200 y 2.000 kg/m<sup>3</sup>, muy por debajo del hormigón convencional (2.400 kg/m<sup>3</sup>) y que pueden alcanzar resistencias entre 15 y 50 N/mm<sup>2</sup>.

Sus principales características son la ligereza, el aislamiento térmico y el acústico; y estas se consiguen mediante la sustitución total o parcial del árido grueso por árido ligero natural o artificial (arrita), resultando hormigones con las siguientes propiedades:

- Mayor docilidad
- Menor resistencia a la compresión y a la erosión
- Mayor aislamiento térmico y acústico

Tipificación

T–R /C/TM/A; donde: •T: HLE (Hormigón Ligero Estructural);•R: Resistencia en MPa; •C: Consistencia (S,B,P,F,L); •TM: Tamaño máximo (mm); •A: Ambiente

Aplicaciones

El hormigón ligero en general, y estructural en particular, se utiliza en:

- Recrecidos de forjados y rehabilitaciones, limitando el incremento del peso al que se someten las estructuras
- Aumento de luces, caso de uso de hormigón ligero estructural en obra nueva
- Limitación de las necesidades de aislamiento adicional
- Aligeramiento de cubiertas
- Realización de elementos arquitectónicos con limitaciones de masa

### 5.5.- Hormigones autocompactantes (HAC)

Como su nombre indica, se fabrican con las condiciones necesarias para que se compacten por sí mismos, al verterlos en el encofrado. Se caracterizan por la ausencia de vibrado, durante su puesta en obra, por tanto reducen la mano de obra y mejoran los acabados.

Se compacta por la acción de su propio peso sin necesidad de energía de vibración ni de cualquier otro método de compactación. Este comportamiento se obtiene mediante la dosificación estudiada y el empleo de aditivos superplastificantes.

Sus principales propiedades, comparado con hormigones convencionales son:

- Ausencia de segregación y bloqueo de árido grueso
- Ausencia de exudación
- Mayor docilidad
- Mejores acabados

#### Tipificación

T-R/AC/TM/A; donde: •T: HM, HA, HP ; •R: Resistencia ; •AC: Consistencia autocompactante ; •TM: Tamaño máximo del árido; •A: Ambiente de exposición

También se puede definir la autocompactabilidad mediante la combinación de escurrimiento (AC-E), viscosidad (AC-V) y resistencia al bloqueo (AC-RB);

T - R / (AC-E + AC-V + AC-RB) TM / A

#### Aplicaciones

Los hormigones autocompactantes tienen su campo de aplicación principal en:

- Estructuras fuertemente armadas
- Estructura con armado convencional, pero con dificultades de vibrado
- Cualquier obra con plazos de ejecución ajustados o falta de mano de obra
- Hormigones en piezas arquitectónicas con acabados muy cuidados
- Uso de encofrados específicos para obtención de diseños estéticos

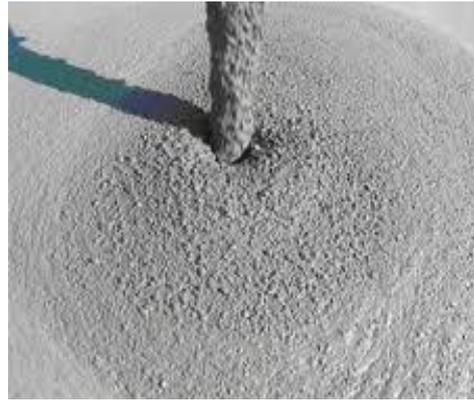
En este tipo de hormigones es fundamental cuidar el encofrado y el curado.

Cuando se usan hormigones autocompactantes, la buena calidad de los encofrados y el control del proceso de hormigonado son fundamentales, ya que en esta operación se pueden originar incidencias, con el resultado de:

- Derrame de material en caso de deficiente estanqueidad del encofrado
- Acabados inadecuados con encofrado en mal estado o de mala calidad
- Deseccación superficial, si no se realiza un curado intensivo



*Vertido de un HAR (consistencia alta)*



*Vertido de un HAC (consistencia muy baja)*

#### 5.6.- Hormigones de alta resistencia (HAR)

En los hormigones para edificios de gran altura y obras civiles, donde se requieren altas prestaciones, cada vez es más frecuente el uso de hormigones de alta resistencia.

Se considera hormigón de alta resistencia el que tiene una resistencia a compresión mayor de 50 MPa (500 kg/cm<sup>2</sup>), valores que se alcanzan con materiales de altas prestaciones y un tratamiento específico en la dosificación, puesta en obra y curado de los mismos.

Para conseguirlo estas resistencias, se necesitan:

- Áridos seleccionados muy resistentes,
- Cemento de alta resistencia (tipo I-52,5)
- Relación A/C debe ser muy baja ( $\approx 0,3$ )
- Granulometría con la máxima compacidad
- Fluidificantes muy potentes
- Adición de humo de sílice

En estas condiciones se consiguen hormigones que son:

- Muy compactos, poco porosos y tienen baja permeabilidad.
- Más rígidos que los convencionales y presentan fractura explosiva.
- Menos docilidad para su fabricación y puesta en obra.
- Mayor dificultad para el bombeo del hormigón.

El componente adicional en estos hormigones es el humo de sílice, sobre el que se debe realizar un control previo en la fase de aprobación de dosificaciones y periódicamente durante la obra, comprobando las especificaciones que fija la normativa vigente.

Dadas las relaciones A/C tan bajas (0,28-0,30), con las que se fabrican estos hormigones, la medida de la consistencia puede realizarse con la mesa de sacudidas, en lugar de hacerlo con el cono de Abrams.

La tipificación es similar a los convencionales, diferenciada en que la  $R > 50$

#### Aplicaciones

Los hormigones de alta resistencia se utilizan en los elementos estructurales diseñados con unas resistencias superiores a las convencionales, o cuando sea necesario reducir las dimensiones de las piezas, como en:

- Estructuras muy altas y esbeltas (plataformas of-shore)
- Piezas prefabricadas de hormigón pretensado
- Estructura de edificios de gran altura
- Tableros de puentes de canto reducido y relación canto/luz menores.
- Vigas de menor canto, para conseguir mayores gálibos.
- Elementos que requieran una alta durabilidad.

#### **BIBLIOGRAFÍA**

- Hormigón Armado. Prof. Jiménez Montoya.
- Hormigón: Adaptado a la IRC y a la EHE .M. Fernández Cánovas
- Generalidades sobre M. de Construcción (Hormigones). Francisco Arredondo
- Instrucción del Hormigón Estructural EHE-08
- Normas UNE de ensayos sobre áridos y sobre hormigones (AENOR).