

PUESTA EN OBRA DEL HORMIGÓN

- Fabricación del hormigón.
- Hormigón fabricado en central.
- Transporte del hormigón en obra.
- Puesta en obra del hormigón.
- Juntas de hormigonado.
- Hormigonado en tiempo frío.
- Hormigonado en tiempo caluroso.
- Encofrado y desencofrado.

Preparación y puesta en obra del hormigón

1. Fabricación del hormigón.

1.1. Consideraciones generales.

Una vez determinada la dosificación más conveniente se procede a la fabricación del hormigón.

Para ello es necesario:

- Almacenar las materias primas
- Disponer de unas instalaciones de dosificación adecuadas
- Disponer también del correspondiente equipo de amasado.

La Instrucción española distingue dos formas de preparar el hormigón.

a) Hormigón fabricado en central

Forma más recomendable.

Requiere disponer de una central de hormigonado y de un servicio de control de calidad de producción.

Se consiguen así una gran homogeneidad y uniformidad de las masas de hormigón.

La central puede estar o no a pie de obra. Si no pertenece (es decir, si su responsable es independiente del constructor) el hormigón se denomina *hormigón preparado*.

b) Hormigón no fabricado en central

Es el fabricado en hormigoneras en obra.

Su empleo no es aconsejable salvo en obras de poca importancia, por las grandes dispersiones que resultan de este tipo de preparación.

1.2. Prescripciones generales.

El agua se dosifica en volumen; el cemento y los áridos, en peso.

El cemento y los áridos se pueden dosificar en volumen para obras de poca importancia. En tal caso, deben utilizarse recipientes de medida de poca sección y mucha altura, para minimizar los errores que se cometen en el enrase.

Las materias primas deben amasarse de forma que se consiga una mezcla íntima y homogénea, debiendo resultar el árido bien recubierto de pasta de cemento.

No deben mezclarse masas frescas que contengan distintos tipos de cementos no compatibles entre sí. Antes de comenzar la fabricación de una masa con un nuevo tipo de cemento, las hormigoneras deben limpiarse perfectamente.

El agua total de una masa de hormigón está constituida por el agua directamente añadida a la amasada, el agua que contienen los áridos, el agua residual de lavado que pudiera quedar en la amasadora y, eventualmente, la que pudieran aportar los aditivos.

2. Hormigón fabricado en central.

2.1. Consideraciones generales.

Una central de hormigonado consta de almacenamiento de materias primas, instalaciones de dosificación, equipos de amasado y equipos de transporte, y dispondrá de un laboratorio de control de calidad de producción.

En cada central debe haber un técnico de fabricación, que estará presente durante el proceso de producción, y otro técnico encargado del servicio de control de calidad.

2.2. Homogeneidad y uniformidad.

Será necesario efectuar los ensayos pertinentes para comprobar la *homogeneidad* de un hormigón (mantenimiento de las características dentro de una misma amasada), así como la *uniformidad* del mismo (mantenimiento de características similares entre distintas amasadas).

- a) 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, amasado y transporte. Deberán obtenerse resultados satisfactorios en los dos ensayos del grupo A y, al menos, en dos de los cuatro del grupo B.

TABLA 1
Comprobación de la homogeneidad del hormigón.

<i>Ensayos</i>	<i>Tolerancia</i>	<i>Observaciones</i>
Grupo A		
1. Consistencia (UNE 83.313-90)		
Si el asiento medio es ≤ 9 cm	3 cm	–
Si el asiento medio es > 9 cm	4 cm	–
2. Resistencia a compresión ⁽¹⁾	7,5 %	respecto a la media total
Grupo B		
3. Densidad del hormigón	16 kg/m ³	–
4. Contenido de aire	1 %	respecto al volumen de hormigón
5. Contenido de árido grueso (UNE 7.295)	6 %	respecto al peso de la muestra
6. Módulo granulométrico del árido (UNE 7.295)	0,5	–
⁽¹⁾ Para cada muestra se romperán a compresión, a 7 días, tres probetas cilíndricas. Se determinará la media de cada una de las dos muestras como porcentaje de la media total.		

- b) La *uniformidad* del hormigón se estudia evaluando, mediante el coeficiente de variación, la dispersión existente entre características análogas de distintas amasadas. Para ello, normalmente, se utilizan los valores de la resistencia a compresión a 28 días.

2.3. Formas de especificar el hormigón.

X Por resistencia

El suministrador establecerá la composición de la mezcla y garantizará las características siguientes:

- Tamaño máximo del árido
- Consistencia
- Resistencia característica
- Contenido máximo de cemento por m³ de hormigón (para evitar problemas de retracción y de calor de fraguado excesivos)

X Por dosificación

Sólo recomendable para casos de hormigones sin función resistente; o bien, en el otro extremo, para casos de hormigones especiales cuya composición se ha especificado previamente en laboratorio por parte del utilizador.

El suministrador garantizará:

- Tamaño máximo del árido
- Consistencia
- Contenido máximo de cemento por m³ de hormigón

En ningún caso el suministrador puede emplear aditivos ni adiciones sin el conocimiento del utilizador y sin la autorización de la Dirección Facultativa.

El utilizador efectuará la recepción del hormigón tomando las muestras necesarias para realizar los ensayos de control.

Deberá acordarse el tiempo que pueda transcurrir entre la fabricación y la puesta en obra del hormigón.

En condiciones medias, el tiempo transcurrido entre la adición del agua de amasado y la colocación del hormigón no debe ser mayor de hora y media.

En tiempo caluroso, o en condiciones que contribuyan a un rápido fraguado del hormigón, el tiempo límite deberá ser inferior, a menos que se tomen medidas especiales.

2.4. Transporte a obra.

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.

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

- a) *Especificación del hormigón:* Resistencia característica y contenido de cemento por metro cúbico de hormigón (con una tolerancia de 15 kg en más o en menos), cuando se especifique por resistencia. Cuando se especifique por dosificación, el contenido de cemento por metro cúbico de hormigón.

Tipo, clase y marca del cemento.

Tamaño máximo del árido, consistencia y relación A/C con una tolerancia de 0,02 en más o en menos.

Tipo de aditivo, según UNE 83.200-91, si lo hubiere.

Procedencia y cantidad de adiciones (cenizas volantes o humo de sílice), si las hubiere.

- b) *Cantidad de hormigón que compone la carga (m^3 de hormigón fresco).*
c) *Hora límite de uso para el hormigón.*

3. 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) **Durante el transporte no deben segregarse los áridos gruesos**, lo que provocaría en el hormigón pérdidas de homogeneidad y resistencia. 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 se seque durante el transporte.**
- c) Si al llegar al tajo 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.**

4. Puesta en obra del hormigón.

4.1. Vertido y colocación.

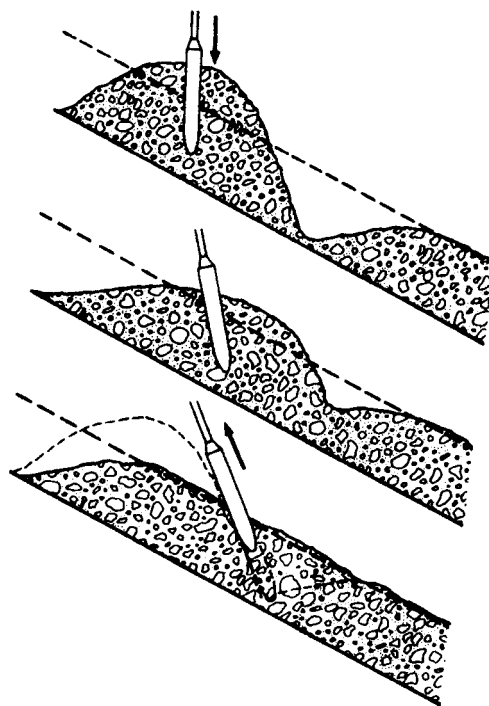
Deben efectuarse de manera que no se produzca la disgregación de la mezcla.

El peligro de disgregación es mayor, en general, cuanto más grueso es el árido y más discontinua su granulometría, siendo sus consecuencias tanto peores cuanto menor es la sección del elemento que se hormigona.

Recomendaciones:

- a) **El vertido no debe efectuarse desde gran altura** (uno o 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 (en general, de 20 a 30 cm, sin superar los 40 cm cuando se trate de hormigón en masa, ni los 60 cm en hormigón armado)
- c) **No se arrojará el hormigón con pala a gran distancia, ni se distribuirá con rastrillos para no disgregarlo, ni se le hará avanzar más de un metro dentro de los encofrados.**
- d) En las **piezas muy armadas** y, en general, cuando las condiciones de colocación son difíciles, puede ser conveniente, para evitar coqueas y falta de adherencia con las armaduras, **colocar una capa de 2-3 cm del mismo hormigón pero exento del árido grueso**, vertiendo inmediatamente después el hormigón ordinario.
- e) En el hormigonado de **superficies inclinadas**, el hormigón fresco tiene tendencia a correr o deslizar hacia abajo, especialmente bajo el efecto

de la vibración. Si el espesor de la capa y la pendiente son grandes, es necesario utilizar un **encofrado superior**. En caso contrario, puede hormigonarse sin este contraencofrado *colocando el hormigón de abajo a arriba, por roscas*, cuyo volumen y distancia a la parte ya compactada deben calcularse de forma que el hormigón ocupe su lugar definitivo después de una *corta acción del vibrador*.



El hormigón se extiende de abajo arriba, por roscas, que deben ocupar su lugar definitivo después de una acción del vibrador tan corta como sea posible

Figura 4.1. Colocación del hormigón en una superficie inclinada

4.2. Puesta en obra con bomba.

El hormigón bombeado requiere un contenido de cemento no menor de 300 kg/m^3 y utilizar arena y árido grueso que no sea de machaqueo.

La dosificación del hormigón debe hacerse en peso.

Conviene utilizar un plastificante o fluidificante y emplear consistencias plástico-blandas.

Resulta adecuado el empleo de cemento puzolánico, por la plasticidad que confiere al hormigón.

El tamaño máximo del árido no debe exceder de $\frac{1}{4}$ del diámetro de la tubería si es metálica, o de $\frac{1}{3}$ si es de plástico. No deben emplearse tuberías de aluminio, material que reacciona con los álcalis del cemento.

En la colocación debe evitarse la proyección directa del chorro de hormigón contra las armaduras; hay que vigilar que el hormigón no aparezca segregado a causa del aire comprimido; y deben adoptarse precauciones en materia de seguridad de los operarios.

4.3. Compactación.

Para que el hormigón resulte compacto debe emplearse el medio de consolidación más adecuado a su consistencia, de manera que se eliminen los huecos y se obtenga un completo cerrado de la masa, sin que llegue a producirse la segregación.

✓ **Compactación por picado**

Se efectúa mediante una barra metálica que se introduce en la masa de hormigón repetidas veces.

Se emplea en hormigones de consistencia blanda y fluida, en general en obras de poca importancia.

También es indicado para compactar zonas de piezas armadas (nudos).

✓ **Compactación por apisonado**

Se efectúa mediante el golpeteo repetido de un pisón adecuado.

Las tongadas suelen ser de 15 a 20 cm de espesor.

Se emplea generalmente en elementos de poco espesor y mucha superficie horizontal, con hormigones de consistencia plástica y blanda.

✓ **Compactación por vibrado**

Se emplea cuando se quieren conseguir hormigones resistentes, ya que es apropiada para masas de consistencia seca.

Es el método de consolidación más adecuado para estructuras de hormigón armado. 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**

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 (de a 1,5 minutos) que en pocos durante más tiempo.

- **Vibradores de superficie**

Se emplean fundamentalmente en pavimentos de hormigón.

Para elementos estructurales suele emplearse en placas y losas de poco espesor.

La frecuencia de los vibradores oscila entre 2000 y 5000 ciclos por minuto.

- **Vibradores externos o indirectos**

Actúan sobre los moldes o encofrados de las piezas.

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.

✓ **Métodos especiales de compactación**

- **Por inyección**

Una vez colocado el árido grueso en el encofrado, se inyecta el mortero con aparatos adecuados.

- **Por vacío**

Más propia de taller que de obra. Consiste en amasar el hormigón con el agua necesaria para su fácil colocación y, empleando moldes especiales, aspirar parte del agua mediante ventosas.

- **Por centrifugado**

Los áridos más gruesos son desplazados hacia el exterior debido a la fuerza centrífuga, quedando en la cara interna una capa más rica en cemento y, por tanto, más impermeable.

5. Juntas de hormigonado.

Al interrumpir el hormigonado de una estructura de hormigón es necesario que las juntas 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 el hormigonado de soportes y muros es conveniente esperar a que el hormigón no esté plástico antes de hormigonar la vida o losa que apoya sobre ellos, con objeto de evitar fisuras posteriores.

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 será la necesaria para efectuar el hormigonado posterior.

Las resinas epoxi permiten resolver con éxito gran cantidad de problemas de juntas.

6. 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.

El hormigón queda seriamente dañado si la primera helada le sorprende cuando su resistencia no ha alcanzado los 8 N/mm².

Debe **suspenderse 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:

- Añadir CaCl₂ al agua de amasado.
- Calentar el agua de amasado a unos 40°-70°, cuidando que no se formen grumos. Conviene verter una parte de los áridos antes que el cemento.
- Calentar los áridos.
- Proteger las superficies hormigonadas (polietileno, balas de paja, etc.).
- Calentar artificialmente el ambiente de la obra.
- Prolongar el curado durante el mayor tiempo posible.
- Retrasar el desencofrado de las piezas, incluidos costeros, cuando el encofrado actúe como aislante (caso de la madera).

7. Hormigonado en tiempo caluroso.

Hay que adoptar medidas para impedir la evaporación del agua de amasado, especialmente durante el transporte, y para reducir la temperatura de la masa.

El calor, la sequedad y el viento provocan una evaporación rápida del agua que trae consigo:

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

Para reducir la temperatura de la masa puede recurrirse al empleo de agua fría, con trozos de hielo en su masa.

Los áridos deben almacenarse protegidos del soleamiento.

Como norma general y a pesar de las protecciones, no debe hormigonarse por encima de los 40°C, o por encima de los 35°C si se trata de elementos de mucha superficie (pavimentos, losas, soleras, etc.).

En las proximidades de estas temperaturas conviene regar continuamente, al menos durante 10 días, los encofrados y superficies expuestas de hormigón.

Influencia de la temperatura y de la relación A/C en los tiempos de fraguado, según VENUAT						
Relación A/C	0.45		0.50		0.55	
Fraguado	Principio	Fin	Principio	Fin	Principio	Fin
5°C	6 h 30 m	16 h 00 m	7 h 30 m	16 h 30 m	9 h 15 m	17 h 00 m
20°C	3 h 00 m	6 h 00 m	3 h 30 m	6 h 30 m	4 h 00 m	7 h 00 m
40°C	1 h 30 m	2 h 15 m	1 h 45 m	2 h 30 m	1 h 55 m	2 h 50 m
60°C	1 h 20 m	1 h 55 m	1 h 30 m	2 h 10 m	1 h 40 m	2 h 30 m
80°C	0 h 40 m	1 h 00 m	0 h 45 m	1 h 10 m	0 h 50 m	1 h 20 m

100°C	0 h 25 m	0 h 50 m	0 h 30 m	0 h 55 m	0 h 40 m	1 h 00 m
-------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

8. 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.

Con cemento Portland normal y para elementos de hormigón armado, el periodo de curado mínimo debe ser de 7 días, plazo que puede reducirse a la mitad 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 elementos 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.

9. Encofrados.

La misión del encofrado es contener y soportar el hormigón fresco hasta su endurecimiento, sin experimentar asientos ni deformaciones, dándoles la forma deseada. Cuando en vez de obras «in situ» se trata de prefabricación en taller, los encofrados se denominan *moldes*.

Los encofrados o moldes son generalmente de madera o metálicos, exigiéndoseles como cualidades principales la de ser rígidos, resistentes, estancos y limpios.

Los encofrados de madera deben humedecerse antes de la colocación del hormigón, para que no absorban el agua de éste.

Las superficies interiores de los encofrados deben estar limpias en el momento del hormigonado.

Tanto las superficies interiores de los encofrados como los productos desencofrantes que a ellas puedan aplicarse, deberán estar exentos de sustancias perjudiciales para el hormigón.

Antes de reutilizar un encofrado debe limpiarse con cepillo de alambre para eliminar el mortero que haya podido quedar adherido a su superficie.

10. Desencofrados.

Los costeros y fondos del encofrado, así como los apeos y cimbras, deben retirarse transcurridos los plazos oportunos, sin producir sacudidas ni choques.

La retirada de costeros puede efectuarse en los plazos indicados en la tabla, o incluso antes si el hormigón ha endurecido lo suficiente para resistir los daños que pueda ocasionarse durante el desencofrado.

Plazo de desencofrado de costeros		
Tipo de cemento	Costeros de vigas	Costeros de soportes
Portland ordinario	3 días	7 días
Portland de alta resistencia inicial	2 días	4 días

Plazo de desencofrado de fondos			
Media aritmética de las máximas y mínimas de temperaturas diarias.	Q/G		
	0	0,5	1,0
5 °C	8 semanas	4 semanas	2,5 semanas
10 °C	6 semanas	3 semanas	2 semanas
15 °C	5 semanas	2,5 semanas	12 días
20 °C	4 semanas	2 semanas	10 días
Q = Sobrecarga prevista. G = Carga permanente sin descimbrar.			

PRESCRIPCIONES INCLUIDAS EN LA EHE

Colocación

- En ningún caso se tolerará la colocación en obra de masas que acusen un principio de fraguado.
- En el vertido y colocación de las masas se adoptarán precauciones para evitar la disgregación de la mezcla.
- No se colocarán en la obra capas o tongadas de hormigón cuyo espesor sea superior al que permita una compactación completa de la masa.
- No se efectuará el hormigonado hasta obtener la conformidad de la dirección de obra, una vez que se haya revisado la colocación de las armaduras.
- El hormigonado de cada elemento se realizará de acuerdo con un plan previamente establecido, en el que deberán tenerse en cuenta las deformaciones previsibles en encofrados y cimbras.

Compactación

- Se realizará mediante procedimientos adecuados a la consistencia de las mezclas, y de manera tal que se obtenga un perfecto cerrado de la masa, sin que llegue a producirse segregación. El proceso deberá prolongarse hasta que refluya la pasta a la superficie y deje de salir aire.
- Cuando se utilicen vibradores de superficie, el espesor de la capa después de compactada será ≤ 20 cm.
- La utilización de vibradores de molde o encofrado deberá ser objeto de estudio, con el fin de evitar la formación de huecos y capas de menor resistencia.
- El revibrado del hormigón deberá ser aprobado por la dirección de obra.

Juntas de hormigonado

- Deberán, en general, estar previstas en el proyecto, situándose en dirección lo más normal posible a la de las tensiones de compresión y alejadas de las zonas en las que la armadura esté sometida a fuertes tracciones.
- Cuando haya necesidad de disponer de juntas no previstas, se dispondrán preferentemente sobre los puntales de la cimbra. No se reanudará el hormigonado sin que hayan sido previamente examinadas por la dirección de obra.
- Si el plano de una junta resulta mal orientado, se demolerá la parte de hormigón necesaria para proporcionar a la superficie la dirección apropiada.
- Antes de reanudar el hormigonado, se retirará la capa superficial de mortero, dejando los áridos al descubierto, y se limpiará la junta de toda suciedad o árido que haya quedado suelto. Se prohíbe expresamente el empleo de productos corrosivos en la limpieza de juntas.
- Se prohíbe hormigonar directamente sobre o contra superficies de hormigón que hayan sufrido los efectos de las heladas. En este caso deberán eliminarse previamente las partes dañadas por el hielo.
- El pliego de PTP podrá autorizar el empleo de otras técnicas para la ejecución de juntas, siempre que se garanticen previamente mediante ensayos los resultados.

Curado

Generalidades:

- El curado para mantener la humedad del hormigón se prolongará durante el tiempo necesario según el tipo de cemento, la temperatura y humedad del ambiente, etc.
- Podrá realizarse mediante riego directo que no produzca deslavado. El agua empleada debe poseer las características exigidas en el art. 27 de la EHE.
- El curado por aportación de humedad podrá sustituirse por la utilización de recubrimientos plásticos o de otro tipo, siempre que garanticen la retención la

de humedad de la masa durante el primer periodo de endurecimiento, y que no contengan sustancias nocivas para el hormigón.

- Cuando el curado se realice empleado técnicas especiales (al vapor, etc.), se requerirá la autorización previa del director de la obra.

Duración mínima:

Para una estimación de la duración mínima de curado D , en días, puede aplicarse la expresión:

$$D = K \cdot L \cdot D_0 + D_1$$

donde:

- K es un coeficiente de ponderación ambiental, que toma los siguientes valores, según las clases de exposición:

I, II	1,00
III, IV, H	1,15
Q, F	1,30

- L es un coeficiente de ponderación térmica, que toma los siguientes valores, según la T_{media} durante el curado:

$T_{\text{media}} < 6^{\circ}\text{C}$	1,7
$6^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{media}} < 12^{\circ}\text{C}$	1,3
$T_{\text{media}} \geq 12^{\circ}\text{C}$	1,0

— D_1 es un parámetro que toma los siguientes valores, según el tipo de cemento:

CEM I	0
CEM II, II-S, II-D, II-P, II-V, II-L	1
CEM IV	2
CEM III/A	3
CEM III/B, CEM V, ESP VI-1, ESP VI-2	4
CAC/R	1

— D_0 es un parámetro básico del curado; sus valores figuran en la tabla siguiente:

Condiciones ambientales durante el curado ²	Velocidad de desarrollo de la resistencia del hormigón			
	Muy rápida	Rápida	Media	Lenta
A	1	2	3	4
B	2	3	4	5
C	3	4	6	8

A: no expuesto a sol ni a viento; humedad > 80%.
 B: expuesto a sol y viento moderados; 50% < humedad < 80%.
 C: expuesto a sol y a viento fuertes; humedad < 50%.

La velocidad de desarrollo de la resistencia del hormigón se puede determinar de acuerdo con la tabla siguiente:

Clase de cemento	Relación agua/cemento		
	A/C < 0,5	0,5 ≤ A/C ≤ 0,6	A/C > 0,6
52,5 R, 52,5 y 42,5 R	Muy rápida	Rápida	Lenta
42,5 y 32,5 R	Rápida	Media	Lenta
32,5	Media	Lenta	Lenta

¹ Este caso deberá ser objeto de un estudio especial.

² Cuando las condiciones no se correspondan exactamente con alguno de los casos expuestos, se utilizarán los valores de la tabla a título orientativo.

22,5

Lenta

Lenta

Lenta

Descimbrado, desencofrado y desmoldeo

- Estas operaciones se realizarán sin producir sacudidas ni choques en la estructura, y una vez que el hormigón haya alcanzado la resistencia necesaria.
- Cuando se trate de obras de importancia y no se posea experiencia en casos análogos, o cuando los perjuicios en caso de una fisuración prematura fueran grandes, se realizarán ensayos de información para fijar el momento de desencofrado.
- Se retirará todo elemento de encofrado o molde que pueda impedir el libre juego de juntas y articulaciones.
- En los elementos de hormigón pretensado será fundamental que el descimbrado se efectúe de conformidad con el programa incluido en el proyecto, el cual deberá estar de acuerdo con los programas de tesado.
- Para facilitar el desencofrado, y en particular cuando se empleen moldes, se recomienda pintarlos con barnices antiadherentes.
- A título orientativo los plazos de desencofrado vienen dados por la fórmula³:

$$j \text{ (días)} = \frac{400}{\left(\frac{Q}{G} + 0,5\right) \cdot (T + 10)}$$

- donde:
- T= temperatura media en, °C.
 - G= carga que actúa sobre el elemento a descimbrar.
 - Q= carga que actuará posteriormente.

³ Esta fórmula sólo es aplicable a los elementos de hormigón armado fabricados con cemento Portland, y siempre que su endurecimiento se haya realizado en condiciones ordinarias.

— Cuando no se disponga de datos suficientes⁴, podrán tomarse como referencia los periodos mínimos de desencofrado para elementos de hormigón armado que figuran en la tabla siguiente:

Periodos mínimos (días)				
Temperatura ⁵ (°C)	≥ 24°	16°	8°	2°
Encofrado vertical	9 h	12 h	18 h	30 h
Losas: Fondos de encofrado	2	3	5	8
Puntales	7	9	13	20
Vigas: Fondos de encofrado	7	9	13	20
Puntales	10	13	18	28

⁴ Y en el caso de haber utilizado cemento de endurecimiento normal.

⁵ Superficial del hormigón.





