Documento: Eh-6

2 - ESTRUCTURA (E)

UNIDAD CONSTRUCTIVA

FORJADOS UNIDIRECCIONALES CON VIGUETAS/NERVIOS DE HORMIGÓN Y ENTREVIGADO. PARTE II

DESCRIPCIÓN

Elemento estructural, generalmente plano, que recoge las cargas y las transmite a los elementos que lo sustentan (muros, vigas o soportes).

DAÑO

FISURACIONES EN EL PROPIO ELEMENTO, EN PARTICIONES Y EN REVESTIMIENTOS.

ZONAS AFECTADAS

Estructura, compartimentaciones y acabados

Fig. 1: Vista general forjado unidireccional

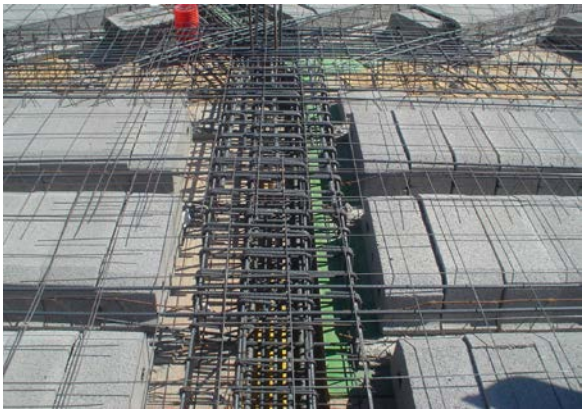

Fig. 2: Forjado unidireccional con semiviguetas

RECOMENDACIONES TÉCNICO-CONSTRUCTIVAS

Se relaciona a continuación la metodología para la ejecución de los forjados unidireccionales:

- Control de recepción de los elementos constitutivos del forjado.
- Montaje del encofrado con entablado continuo horizontal y estructura vertical soporte (puntales o módulos de andamios) y preparación del perímetro del apoyo de las viguetas.
- Replanteo y montaje de las viguetas y de las piezas de entrevigado.
- Colocación de las armaduras y disposición de los separadores.
- Vertido y compactación del hormigón previo riego de encofrados, piezas de entrevigado y viguetas.
- Curado del hormigón.
- Desapuntalado y desencofrado.

El forjado dispondrá de una losa superior (capa de compresión) hormigonada en obra, con espesor mínimo de 40 mm sobre viguetas, piezas de entrevigado de hormigón o cerámico y de 50 mm sobre piezas de entrevigado de otro tipo y también en el caso de zonas con aceleración sísmica de cálculo mayor de 0,16g y con cualquier tipo de entrevigado.

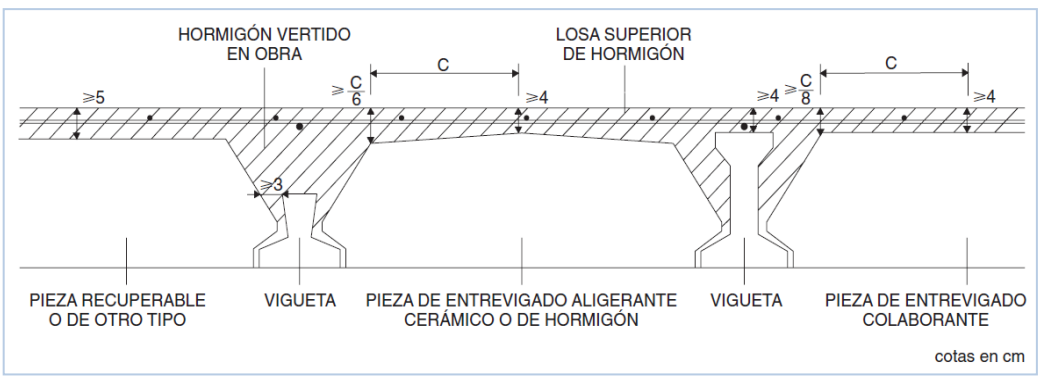

Fig. 3. Esquema de las condiciones geométricas de los forjados unidireccionales con viguetas pretensadas

Previo a la recepción de los elementos constitutivos del forjado y su montaje en obra, se dispondrá de la ficha de autorización de uso (salvo aquellos elementos que estén obligados al marcado CE), comprobando que las características físico-mecánicas son iguales o superiores a las del proyecto.

Las sopandas de las viguetas pretensadas han de colocarse por debajo de la cota de los apoyos, para que una vez montadas las viguetas y trabajando a luz completa obtenga, por su peso propio, la flecha instantánea, procediéndose a continuación a conectar las sopandas con las viguetas, sin forzarlas en ningún caso.

Para las viguetas de celosía se debe elevar ligeramente las sopandas al objeto de contar con una contra flecha del orden de L/500, mientras que para las viguetas armadas las sopandas se colocarán al mismo nivel que los apoyos coincidentes con los tablones de las vigas.

❖ Montaje de viguetas y entrevigado

"Cuando se tenga en cuenta la continuidad de los forjados conviene que los nervios o viguetas se dispongan enfrentadas, pero puede admitir una desviación c inferior a la distancia recta entre testas s en apoyos interiores, y hasta 5 cm. en apoyos de voladizos ".

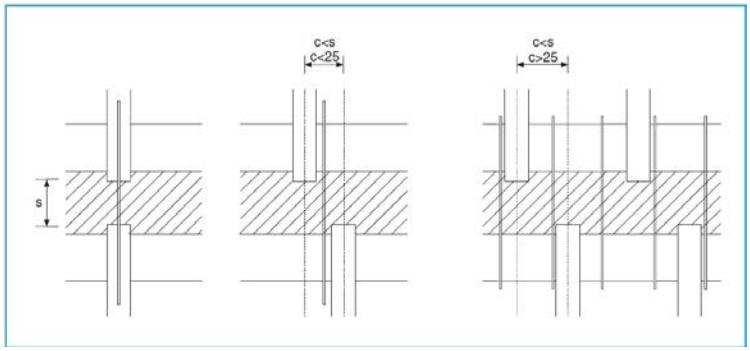

Fig. 4. Enfrentamiento de viguetas o nervios

"En los casos en los que un forjado acometa a otro perpendicularmente, su armadura superior se anclará por prolongación recta.

Se garantizará la resistencia a compresión de la parte inferior del forjado hormigonando las partes necesarias o con disposiciones equivalentes."

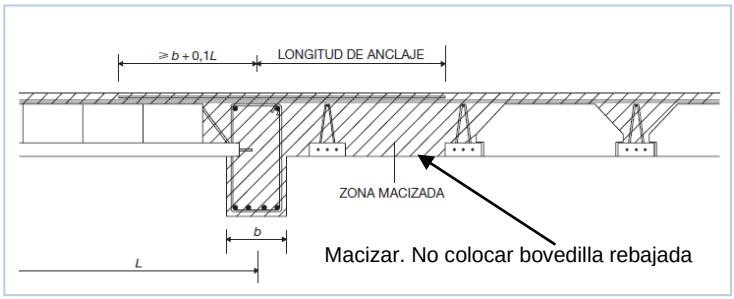

Fig. 5. Encuentro entre forjados perpendiculares

Cuando el forjado es paralelo a vigas, zunchos o muros, se ha de evitar quedar separaciones excesivas sin armar entre estos elementos y las viguetas que se encuentran en los lados.

En el caso de forjados de viguetas sin armaduras transversales de conexión con el hormigón vertido en obra, se dejará libre un paso entre las bovedillas y a cada lado de la cara superior de la vigueta, no menor de 30 mm. (Fig. 6 y 7), que permita que el hormigón cubra la cabeza de la vigueta para que trabaje la sección del forjado completa y evitar problemas de rasante, es lo que se denomina "incompatibilidad vigueta-bovedilla". (Ver fig. 28).

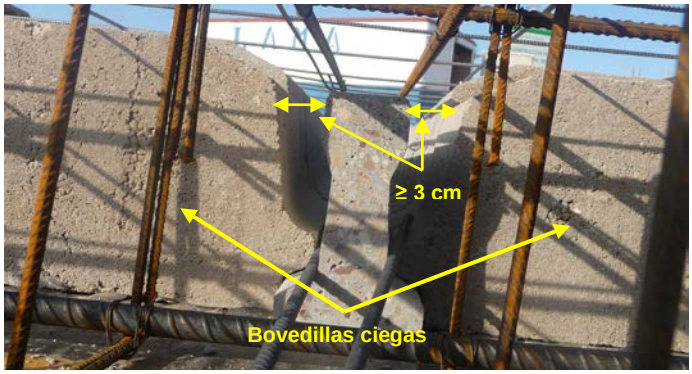

Fig. 6 y 7. Compatibilidad entre viguetas pretensadas y bovedillas de hormigón

Se han de colocar preferiblemente las bovedillas extremas con su lateral ciego, para impedir la entrada del hormigón (Fig. 7), de no ser así, se deberá proceder a la colocación de tapas, antes de iniciar el hormigonado, correctamente fijadas para evitar que puedan meterse entre las armaduras. En la fig. 6 está pendiente de la colocación de dichas tapas.

Se ha de conseguir el macizado de las cabezas de las viguetas, al menos 10 cm, entre las bovedillas y el elemento de apoyo, de no ser así se deben de redistribuir las piezas de entrevigado, siendo a veces necesario la retirada de una pieza y repartiendo el espacio entre los dos extremos de las viguetas y sus respectivos elementos de apoyos (vigas, muros, etc.).
También es una práctica común colocar la primera línea de bovedillas rebajadas, si bien no exime de respetar los 10 cm de macizado, como se aprecia en la fig. 9.

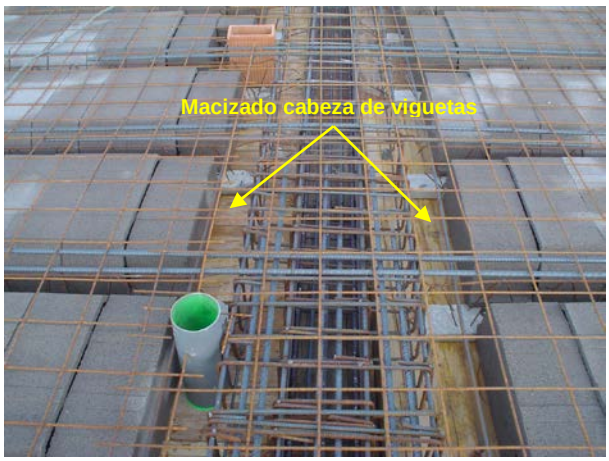

Fig. 8 y 9. Macizados de los extremos de viguetas en zona de apoyos

Previo al hormigonado quedarán replanteados los huecos de comunicación vertical (ascensores, escaleras), los de ventilación y los de las instalaciones (saneamiento, fontanería electricidad, comunicaciones, etc.), debiendo comprobarse la coincidencia del aplomado en plantas sucesivas.

En el perímetro de los huecos se dispondrá de zunchos de atado o bien por las propias vigas y/o viguetas, si así se indica en proyecto.

Fig. 10. Replanteo de huecos en forjados. Correcto

Se ha de evitar el realizar la apertura de los huecos con posterioridad al hormigonado, y en caso necesario, se deberá replantear previamente los huecos, haciéndolos coincidir con la zona del entrevigado, afectando de esta manera solamente a la capa de compresión, y evitando afectar la zona de influencia de las vigas y viguetas, ya que en la mayoría de los casos, al realizarse la apertura con equipos de extracción del hormigón suelen cortar las barras de acero del armado de las vigas y/o viguetas (Fig. 11 y 12), con la consiguiente repercusión en su comportamiento estructural.

Fig. 11 y 12. Apertura de huecos en elementos estructurales (vigas y viguetas) para paso instalaciones. INCORRECTO.

❖ **Apoyos y enlaces en forjados de viguetas**

Los ***apoyos*** pueden ser:

- Directos: sobre muros de carga o vigas de canto mayor al del forjado.
- Indirectos: cuando el forjado se enlaza a vigas con el mismo canto.

Los ***tipos de enlaces*** pueden ser por:

- Entrega de las viguetas.
- Introducción de la armadura saliente de las viguetas en las vigas.
- Solapo.

Se muestran a continuación esquemas usuales de apoyos de forjados de viguetas pretensadas y armadas:

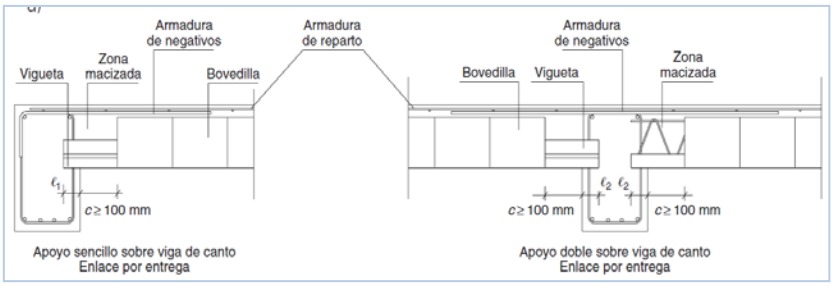

Fig. 13 y 14. Apoyo sobre viga de canto. Enlace por entrega

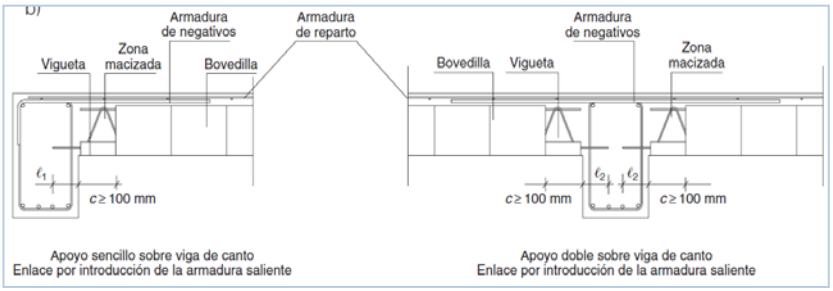

Fig. 15 y 16. Apoyo sobre viga de canto. Enlace por introducción de la armadura saliente

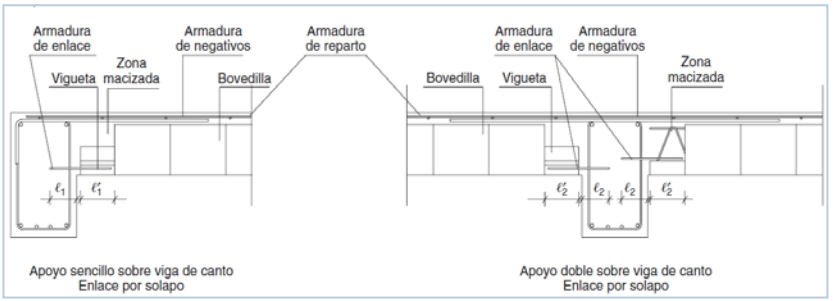

Fig. 17 y 18. Apoyo sobre viga de canto. Enlace por solapo

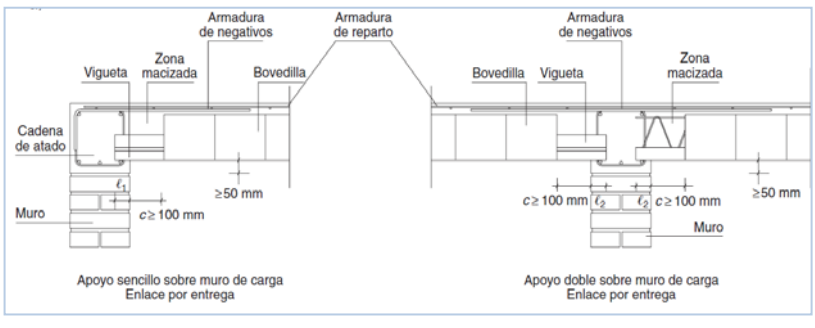

Fig. 19 y 20. Apoyo sobre muro de carga. Enlace por entrega

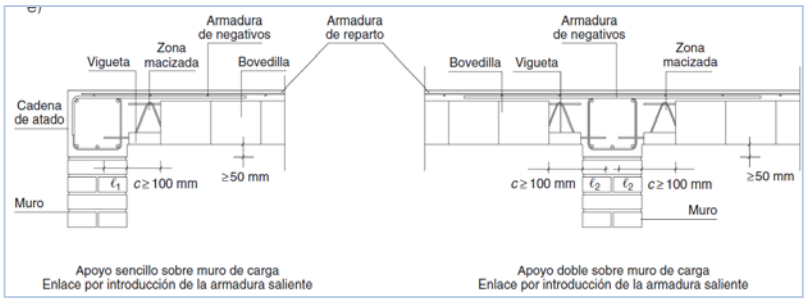

Fig. 21 y 22. Apoyo sobre muro de carga. Enlace por introducción de la armadura saliente

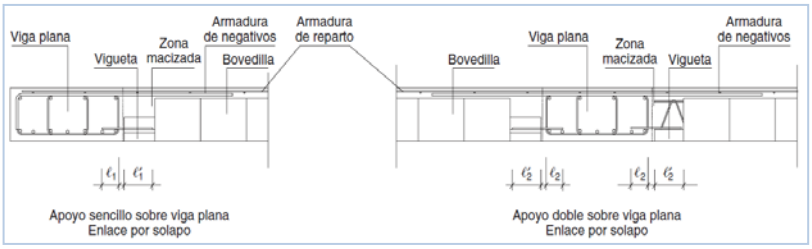

Fig. 23 y 24. Apoyo sobre viga plana. Enlace por solapo

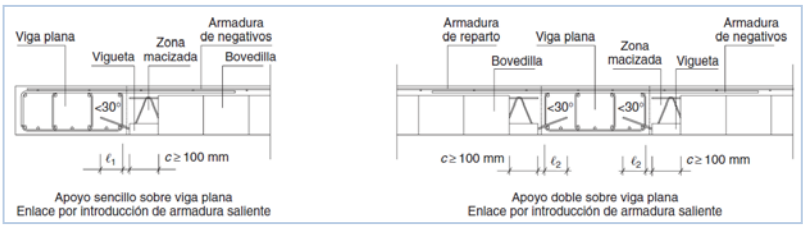

Fig. 25 y 26. Apoyo sobre viga plana. Enlace por introducción de la armadura saliente

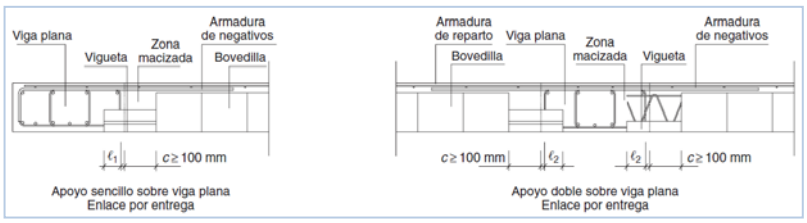

Fig. 27 y 28. Apoyo sobre viga plana. Enlace por entrega

❖ Montaje de las armaduras

Las armaduras se montarán en obra exentas de pintura, grasa o cualquier otra sustancia nociva que pueda afectar negativamente al acero, al hormigón o a la adherencia entre ambos.

En la colocación del armado de las vigas se ha de comprobar que no se invierte la posición de la armadura inferior y superior, ya que por lo general la ferralla se coloca ya montada de taller o en la propia obra.

Se ha cuidar la ejecución de los nudos de unión entre las vigas/jácenas con el soporte, comprobándose la colocación correcta de las armaduras y de sus anclajes, y cumpliendo la separación entre barras, según se indica en el apartado 8.2 del anexo 19 del Código Estructural, para que pueda permitir el correcto vertido y compactación del hormigón y el desarrollo de una adecuada adherencia.

Se deberá de cuidar la disposición de los negativos en los nervios, con un correcto atado para evitar el descenso de las barras principalmente en sus extremos, centrarlos en el ancho del nervio y que no impidan la entrada del hormigón para un correcto macizado y vibrado.

Las barras de menor diámetro y, siempre que el espesor de la capa de compresión permita asegurar los recubrimientos, se podría colocar sobre el armado de reparto.

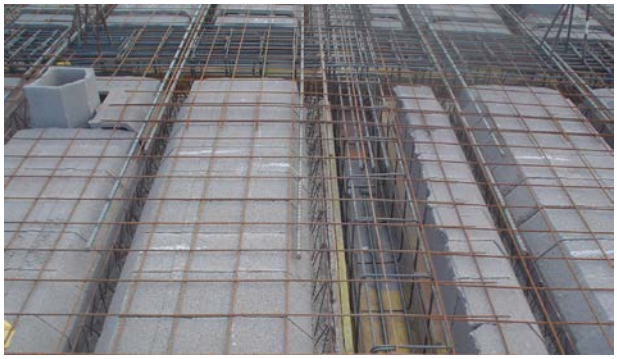

Fig. 29 y 30. Colocación armado de negativos y mallazo de reparto

En la losa superior de hormigón vertido en obra (capa de compresión), se dispondrá una armadura de reparto, con separaciones entre elementos longitudinales y transversales no mayores que 350 mm, de al menos 4 mm de diámetro en dos direcciones, perpendicular y paralela a los nervios, y cuya cuantía geométrica será como mínimo las indicadas en la tabla siguiente, expresadas en tanto por mil, de las armaduras de reparto referidas al espesor de la capa de compresión hormigonada in situ.

Tipo de elemento estructural		Tipo de acero	
		Fy = 400 N/mm²	Fy = 500 N/mm²
Forjados unidireccionales	Armadura de reparto perpendicular a los nervios	1,4	1,1
	Armadura de reparto paralela a los nervios	0,7	0,6

Fig. 31. Cuantía geométrica mínima de la armadura de reparto

❖ Recubrimientos de las armaduras

Los recubrimientos nominales de las armaduras de los forjados deberán cumplir las especificaciones indicadas en el artículo 43.4.1.del Código Estructural, según la clase de exposición, tipo de cemento, f_{ck} y la vida útil de proyecto. Deberán garantizarse mediante la disposición de los correspondientes elementos (separadores o calzos) colocados en obra, según se indica en el artículo 49.8.2 del Código Estructural.

El espesor del recubrimiento constituye un parámetro de gran importancia para lograr una protección adecuada de la armadura durante la vida de servicio de la estructura. El periodo durante el que el hormigón del recubrimiento protege a las armaduras es función del cuadrado del espesor del recubrimiento. Esto conlleva que una disminución del recubrimiento a la mitad de su valor nominal se traduzca en un periodo de protección de la armadura reducido a la cuarta parte.

Si el hormigón es poco compacto o poroso, la eficacia del recubrimiento es prácticamente nula, cualquiera que sea su espesor.

En la figura 32 podemos observar el estado que presenta la armadura de una estructura con más de 20 años, que dispone de un adecuado espesor de recubrimiento y calidad del hormigón, mientras que en la figura 33 se aprecia la corrosión del armado por la falta de protección debido al escaso recubrimiento y/o deficiente calidad del hormigón, ambas viguetas se encuentran en ambientes similares.

Fig. 32 y 33. Comportamiento de los recubrimientos del armado de viguetas, según espesores y/o calidad del hormigón

❖ ***Puesta en obra y curado del hormigón.*** (Artículo 52 del Código Estructural)

Vertido y colocación del hormigón. (Artículo 52.1 del C.E.)

Previo al vertido de hormigón se procederá a la limpieza y retirada de los residuos como alambres de atar, puntas, trozos de madera, de bovedillas, barro, etc.

Inmediatamente antes del hormigonado se procederá al riego del forjado, en especial si el entrevigado es cerámico o de hormigón, para impedir que las bovedillas absorban el agua del hormigón.

Se evitará el vertido del hormigón desde alturas superiores a 2 m y la caída se realizará sobre el que se acaba de echar en el elemento estructural, en este caso el forjado.

Se debe de hormigonar los nervios y la capa de compresión al mismo tiempo.

Se comprobará que el espesor de la capa de compresión cumple con las especificaciones del proyecto, siendo la tolerancia de -6 mm y +10 mm, medido en la clave de la bovedilla sumergiendo en el hormigón fresco un clavo.

Hormigonado en tiempo frio (Articulo 52.3.1 del C.E.)

La hidratación de la pasta de cemento se retrasa con las bajas temperaturas.

La helada pueda dañar de manera permanente al hormigón poco endurecido si el agua contenida en los poros se hiela y rompe el material, por lo que debe de protegerse el hormigón fresco mediante sistema de cobertura o aislamiento.

La temperatura de la masa de hormigón, en el momento de verterla en el forjado, no será inferior a 5 ºC.

Se prohíbe verter el hormigón sobre elementos del forjado cuya temperatura sea inferior a 0 ºC.

En general, se suspenderá el hormigonado siempre que se prevea que, dentro de las cuarenta y ocho48 horas siguientes, pueda descender la temperatura por debajo de los 0 ºC.

En aquellos casos que por absoluta necesidad se hormigone en tiempo de heladas, se adoptarán las medidas necesarias para garantizar un adecuado fraguado y primer endurecimiento del hormigón.

Se podrá utilizar el empleo de aditivos aceleradores de fraguado o aceleradores de endurecimiento o, en general, de cualquier producto anticongelante específico para el hormigón, previa autorización de la Dirección Facultativa.

Hormigonado en tiempo caluroso (Articulo 52.3.2 del C.E.)

Cuando el hormigonado se efectúe en tiempo caluroso, se adoptarán las medidas oportunas para evitar la evaporación del agua de amasado, en particular durante el transporte del hormigón y para reducir la temperatura de la masa.

Una vez colocado el hormigón se protegerá del sol y en especial del viento, para evitar la desecación.

Si la temperatura ambiente es superior a 40ºC o hay viento excesivo se suspenderá el hormigonado, salvo que se adopten medidas especiales autorizadas por la Dirección Facultativa.

Se recomienda tomar medidas especiales para evitar retracciones plásticas cuando exista peligro de evaporaciones superiores a 1 kg/m^2/h, lo que puede producirse cuando concurren circunstancias meteorológicas indicadas en la tabla siguiente:

Temperatura atmosférica (ºC)	Velocidad del viento (km/h)	Humedad relativa
40 ºC	10	≤ 35%
	25	≤ 45%
	40	≤ 55%
35 ºC	25	≤ 25%
	40	≤ 35%

Fig. 34. Condiciones atmosféricas para riesgo de retracción plástica

Compactación y juntas de hormigonado. (Artículo 52.2 y 52.4 del C.E.)

La compactación de los hormigones en obra se realizará mediante procedimientos adecuados a la consistencia de las mezclas y de manera tal que se eliminen los huecos y se obtenga un perfecto cerrado de la masa, sin que se llegue a producir segregación. El proceso de compactación deberá prolongarse hasta que refluya la pasta a la superficie y deje de salir aire.

La compactación debe realizarse por vibración, siendo el método más utilizado el vibrador de aguja.

En el caso de realizar juntas de hormigonado, se situarán en dirección lo más normal posible a la de las tensiones de compresión, y allí donde su efecto sea menos perjudicial, alejándolas de las zonas en la que la armadura esté sometida a fuertes tracciones. Se situarán en torno a 1/5 de la luz entre apoyos, en general, en la línea de finalización del armado de negativos.

Fig. 35 y 36. Fase de hormigonado de forjado

Curado del hormigón. (Artículo 52.5 del C.E.)

El proceso de curado tiene una influencia decisiva para conseguir una adecuada resistencia y demás cualidades del hormigón resultante, al permitir una adecuada hidratación del cemento.

Durante el fraguado y primer periodo de endurecimiento del hormigón, deberá asegurarse el mantenimiento de la humedad del mismo mediante un adecuado curado debiéndose iniciar lo antes posible, evitando el lavado de la superficie del forjado.

El agua empleada en el proceso de curado deberá poseer las cualidades exigidas. (Artículo 29. del C.E.).

Los principales métodos para el curado del hormigón son la protección con láminas de plástico, la protección con materiales humedecidos (sacos de arpillera, arena, etc.), riego con agua, pulverización con aspersores y la aplicación de productos de curado que forman membranas de protección. Estos métodos se pueden utilizar separadamente o en combinación.

Si bien el tiempo que debe prolongarse el curado no está absolutamente definido, es recomendable mantener el aporte de agua, al menos, durante 7 días, preferiblemente mediante riego por la mañana y por la tarde, pasando posteriormente al riego por la mañana e ir disminuyendo la cantidad hasta el final del fraguado.

Descimbrado y desapuntalado (Artículo 53.2 del C.E.)

Los distintos elementos que constituyen los encofrados, apeos y cimbras, no se retirarán hasta que el hormigón haya alcanzado la resistencia necesaria para soportar, con suficiente seguridad y sin deformaciones excesivas, los esfuerzos a los que va a estar sometido durante y después del desencofrado.

En forjados unidireccionales el orden de retirada de los puntales será desde el centro del vano hacia los extremos y en el caso de voladizos del vuelo hacia el arranque. No se desapuntalará de forma súbita y se adoptarán precauciones para impedir el impacto de las sopandas y puntales sobre el forjado.

❖ **Mantenimiento y conservación:**

En el proyecto de todo tipo de estructuras, será obligatorio incluir un Plan de Inspección y Mantenimiento, que defina las actuaciones a desarrollar durante toda la vida útil. (Artículo 24 del C.E.).

Al menos, se solicitará, por parte de la propiedad, a un técnico una revisión inmediata siempre que aparezcan lesiones en el edificio (fisuras, grietas, desplomes, etc.), y cada 5 años una inspección general.

REFERENCIAS

FUNDACIÓN MUSAAT

AUTOR
● Alberto Moreno Cansado

Calle del Jazmín, 66.
28033 Madrid
www.fundacionmusaat.musaat.es

IMÁGENES
● Moreno Cansado, Alberto. (Fig.1, 2; 6,7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 29, 30, 32, 33, 35 y 36).

BIBLIOGRAFÍA y NORMATIVA
● Puesta en obra del hormigón: Eduardo Montero Fernández de Bobadilla● Código Estructural.● CTE/DB-SE-C; ● Normas UNE

CONTROL: **ISSN**: 2340-7573 **Data**: 15/2 **Ord**.: 5 **Vol**.: E **Nº**: Eh-6 **Ver**.: 2

NOTA: Los conceptos, datos y recomendaciones incluidas en este documento son de carácter orientativo y están pensados para ser ilustrativos desde el punto de vista divulgativo, fundamentados desde una perspectiva teórica, así como redactados desde la experiencia propia en procesos patológicos.

© del Autor
© de esta publicación, Fundación MUSAAT

Nota:
En este documento se incluyen textos de la normativa vigente