

Estudio técnico

Hormigón en tiempo frío.

 **BASF**
The Chemical Company



INTRODUCCIÓN:

El presente Estudio Técnico complementa las prescripciones realizadas en la EHE-08 para el diseño, confección y puesta en obra de hormigón en tiempo frío.



HORMIGONADO EN TIEMPO FRÍO SEGÚN LA EHE-08:

Previo a realizar ninguna consideración sobre el hormigón en tiempo frío, es preciso hacer referencia a las prescripciones realizadas en el artículo 71.5.3.1 Hormigonado en tiempo frío de la EHE-08, donde se indica qué se considera tiempo frío, así como las precauciones y recomendaciones a seguir.



La temperatura de la masa de hormigón, en el momento de verterla en el molde o encofrado, no será inferior a 5 °C.

Se prohíbe verter el hormigón sobre elementos (armaduras, moldes, etc.) cuya temperatura sea inferior a cero grados centígrados.

En general, se suspenderá el hormigonado siempre que se prevea que, dentro de las cuarenta y ocho horas siguientes, pueda descender la temperatura ambiente por debajo de los cero grados centígrados.

En los casos en que, por absoluta necesidad, se hormigone en tiempo de heladas, se adoptarán las medidas necesarias para garantizar que, durante el fraguado y primer endurecimiento de hormigón, no se producirán deterioros locales en los elementos correspondientes, ni mermas permanentes apreciables de las características resistentes del material. En el caso de que se produzca algún tipo de daño, deberán realizarse los ensayos de información (véase Artículo 86º) necesarios para estimar la resistencia realmente alcanzada, adoptándose, en su caso, las medidas oportunas.

El empleo de aditivos aceleradores de fraguado o aceleradores de endurecimiento o, en general, de cualquier producto anticongelante específico para el hormigón, requerirá una autorización expresa, en cada caso, de la Dirección de Obra. Nunca podrán utilizarse productos susceptibles de atacar a las armaduras, en especial los que contienen ión cloro.

COMENTARIOS: Se entiende por tiempo frío el periodo durante el cual existe, durante más de tres días, las siguientes condiciones:

- *La temperatura media diaria del aire es inferior a 5 °C.*
- *La temperatura del aire no supera los 10 °C durante más de la mitad del día.*

La hidratación de la pasta de cemento se retrasa con las bajas temperaturas. Además, la helada, puede dañar de manera permanente el hormigón poco endurecido si el agua contenida en los poros se hiela y rompe el material. En consecuencia, deben adoptarse las medidas necesarias para asegurar que la velocidad de endurecimiento es la adecuada y que no se producen daños por helada.

Entre las medidas que pueden adoptarse en la dosificación del hormigón, está la utilización de relaciones agua/cemento lo más bajas posible, y la utilización de mayores contenidos de cemento o de cementos de mayor categoría resistente. Con ello conseguirá acelerarse la velocidad de endurecimiento del hormigón, aumentar la temperatura del mismo y reducir el riesgo de helada.

Cuando exista riesgo de acción del hielo o de helada prolongada, el hormigón fresco debe protegerse mediante dispositivos de cobertura o aislamiento, o mediante cerramientos para el calentamiento del aire que rodee el elemento estructural recién hormigonados, en cuyo caso deberán adoptarse medidas para mantener la humedad adecuada.

DISEÑO Y CONFECCIÓN DE HORMIGÓN EN TIEMPO FRÍO

Varias son las recomendaciones en cuanto al diseño y confección del hormigón en tiempo frío. Se detallan a continuación:



3.1 Selección del tipo y cantidad de cemento:

Se realizan las siguientes recomendaciones:

- Contenidos de cemento superiores a los requeridos para la clase resistente. Cuanto menor es el contenido de cemento, mayor es el riesgo de que el hormigón padezca los efectos adversos del tiempo frío. Por tanto, las precauciones deberán extremarse en hormigones de clase resistente inferior.
- Utilización de cementos con alto contenido en clinker. Según este criterio un CEM I es más adecuado que un CEM II. Dentro de los CEM II es más adecuado el tipo A (alto contenido en clinker) que el tipo B (bajo contenido en clinker). En muchas ocasiones, por motivos logísticos, económicos y/o ambientales, no es viable la utilización de cementos con altos contenidos en clinker.

Existe una limitación en cuanto a criterios de sostenibilidad en la producción de clinker al ser un proceso que consume elevados recursos energéticos generando una elevada cantidad de CO₂

además de la necesidad cada vez mayor, de valorizar subproductos de otras industrias como el humo de sílice, cenizas volantes, escorias, etc.

- Utilización de cementos de mayor clase resistente. Según este criterio, es más adecuado un CEM I 52,5 que un CEM I 42,5, etc.
- Utilización de cemento de rápido desarrollo de resistencias. Por tanto, es más adecuado un tipo R (Rápido desarrollo de resistencias iniciales) que un tipo N (Normal desarrollo de resistencias iniciales).

Con todo lo indicado anteriormente, el cemento ideal para realizar un hormigonado en tiempo frío sería el CEM I 52,5 R en cantidades superiores a las requeridas por criterios mecánicos. Como en muchas ocasiones no es viable el empleo de este tipo de cementos *rápidos*, más adelante se detallarán las acciones necesarias para compensar la utilización de cementos comparativamente *lentos*, especialmente en el desarrollo de resistencias iniciales.



3.2 Relación agua/cemento.

Tal y como especifica la EHE-08, la relación A/C debe ser *lo más baja posible*.

Para ello, se recomienda que la relación A/C no sobrepase de 0,5. Para la consecución de este parámetro, es necesario la utilización de un aditivo superplastificante tipo **GLENIUM**.

3.2 Aditivos reductores de agua (plastificantes y superplastificantes)

El uso de aditivos plastificantes basados en lignina tiende a producir un retraso en el fraguado y posterior desarrollo de

resistencias, por lo que no se recomienda su empleo para el hormigonado en tiempo frío. Además, este tipo de aditivos posee una capacidad reductora de agua muy limitada, por lo que tampoco son adecuados para la consecución de una relación A/C lo más baja posible.

Los aditivos superplastificantes de última generación **GLENIUM** tienen una gran capacidad reductora de agua. Además, dentro de la gama **GLENIUM** existen varios tipos que se clasifican según la forma que modifican en el hormigón la reología, mantenimiento de consistencia, capacidad reductora de agua y velocidad de fraguado. Se puede decir, que los aditivos **GLENIUM** no retrasan el fraguado y permiten controlar la cinética del proceso.

Por tanto, para la confección de hormigón en tiempo frío es necesaria la utilización de aditivos superplastificantes de última generación **GLENIUM**.

3.3 Aditivos de acción específica

Son aditivos que alteran una o varias propiedades del hormigón en estado fresco y/o endurecido. En cuanto al hormigonado en tiempo frío, se consideran los siguientes tipos:

3.3.1 Anticongelantes: **POZZUTEC 10**

Los productos anticongelantes para hormigón, son considerados aceleradores de fraguado de bajo rango. **POZZUTEC 10 (BETTOGEL)** reduce los efectos perjudiciales producidos por las bajas temperaturas en el hormigón joven. Contribuye en la disminución del punto de congelación del agua y en el aceleramiento del fraguado y del endurecimiento, sin provocar pérdidas significativas de resistencia final, y mejorando la durabilidad y las prestaciones del hormigón cuando debe hormigonarse en tiempo frío.

Por otro lado, aún no existe normativa de referencia UNE-EN que regule los productos anticongelantes. Por tanto, no es posible con la normativa actual obtener un marcado CE para los productos denominados anticongelantes como **POZZUTEC 10 (BETTOGEL)**.

La normativa de referencia es la UNE-EN 934-2 *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 2: Aditivos para hormigones. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado*. Los aditivos que contempla la mencionada norma son los siguientes:

- Reductores de agua / plastificantes.
- Reductores de agua de alta actividad / superplastificantes.
- Retenedores de agua.
- Incluidores de aire.
- Aceleradores de fraguado.
- Aceleradores de endurecimiento.
- Retardadores de fraguado.
- Hidrófugos.
- Retardadores de fraguado / reductores de agua / plastificantes.
- Retardadores de fraguado / reductores de agua de alta actividad / superplastificantes.
- Aceleradores de fraguado / reductores de agua / plastificantes.

Como se puede apreciar, no se incluye a los productos anticongelantes en la normativa UNE-EN 934-2 por lo que es inviable actualmente, como se ha indicado con anterioridad, la obtención del marcado CE.

3.3.2 Aceleradores de fraguado: **POZZOLITH HE-1**.

Acorta el tiempo de fraguado, aumentando las resistencias iniciales del hormigón. También funciona como anticongelante y dispone de marcado CE.

3.3.3 Mejorador de las resistencias iniciales mediante nucleación inducida: **X-SEED 100**.

X-SEED 100 es una suspensión de nanopartículas de CSH que actúan como núcleo de cristalización facilitando la formación acelerada de gel CSH en la solución, potenciando el proceso de hidratación del cemento a edades tempranas incluso a temperaturas bajas.

A diferencia de los aceleradores de fraguado tradicionales, **X-SEED 100** permite el adelantamiento del inicio de fraguado, incrementando el desarrollo de las resistencias iniciales sin perjudicar las resistencias finales, construyendo una microestructura más cerrada que favorece la durabilidad del hormigón.

X-SEED 100 es un producto único en el mercado, protegido por patentes y fabricado con materias primas exclusivas de BASF. En muchos casos, permite duplicar la resistencia inicial del hormigón a muy corta edad (6-10 horas).

X-SEED 100 permite el incremento de los ciclos productivos (posibilidad de doblar la producción), así como un mayor rendimiento de los encofrados por mayor rotación de los mismos.

X-SEED 100 habilita la posibilidad de uso en tiempo frío de cementos con menor contenido en clinker y menor clase resistente, así como el uso de adiciones.

Por tanto, **X-SEED 100** permite:

- Aumento de la productividad.
- Minimizar los riesgos derivados por el hormigonado en tiempo frío.
- Utilización de CEM II y en algunos casos de CEM III y cementos sulforresistentes SR.
- Sustitución de cemento por adiciones.
- Optimización de recursos.

RECOMENDACIONES DE PUESTA EN OBRA DE HORMIGÓN EN TIEMPO FRÍO:

Varias son las recomendaciones en cuanto a la puesta en obra del hormigón en tiempo frío.

4.1 Previsión climatológica

Hoy en día, existen previsiones climatológicas con un alto grado de fiabilidad, especialmente cuando se trata de predicciones a 24 horas.

Es necesario disponer de un alto grado informativo a nivel de obra y suministrador de hormigón, con el objeto de decidir qué medidas preventivas se van adoptar para cada caso.

A continuación y a modo informativo, se indica la relación entre la temperatura y el tiempo de fraguado del cemento.

Tiempo de Fraguado del Concreto a Diferentes Temperaturas	
Temperatura	Tiempo de Fraguado Aproximado
38 °C (100 °F)	1 2/3 horas
32 °C (90 °F)	2 2/3 horas
27 °C (80 °F)	4 horas
21 °C (70 °F)	6 horas
16 °C (60 °F)	8 horas
10 °C (50 °F)	11 horas
4 °C (40 °F)	14 horas
-1 °C (30 °F)	19 horas
-7 °C (20 °F)	No fragua -el concreto se congelará

Fuente: "Concrete Construction", Marzo 1990

4.2 Tipología de elemento a hormigonar

La forma y volumen del elemento a hormigonar ejercen una alta influencia sobre el riesgo derivado del hormigonado en tiempo frío.

Los elementos de menor volumen de hormigón, más expuestos (con mayor superficie libre) y esbeltos (soleras, pilares, etc.) son los más susceptibles a sufrir las consecuencias negativas del tiempo frío ya que el calor de hidratación generado (relativamente bajo al tratarse de elementos de bajo volumen) se disipa rápidamente por la acción del frío. Por tanto, en estos casos deben extremarse las precauciones.

Grandes volúmenes de hormigón contribuyen a aislar la parte más interna del mismo, la cual podrá hidratar sin especiales problemas y generar suficiente calor de hidratación como para compensar la acción del frío en las partes más superficiales. En casos aislados, para elementos de gran volumen se han observado anomalías diferidas de los gradientes térmicos y fraguados diferenciales entre el núcleo y superficie.



4.3 Franja horaria recomendable para la puesta en obra

Es recomendable que el hormigonado se realice durante las primeras horas del día (aprox. desde las 9 hasta las 14 horas), para propiciar que durante las horas centrales de mayor temperatura (aprox. desde las 12 hasta las 17 horas,) se produzca y complete el fraguado del cemento.

El objetivo es que el hormigón haya fraguado antes de que las temperaturas descieran bruscamente. De esta forma se minimizan los riesgos diferidos por bajas temperaturas y heladas.

4.4 Tipo de molde

En general el encofrado actúa de aislamiento (variable en función del tipo de encofrado), y por lo tanto ofrece una protección extra al hormigón.

Los moldes metálicos son malos aislantes térmicos, por lo que debe evitarse su utilización en elementos y condiciones críticas. En caso de emplearse, deben extremarse las precauciones.

4.4 Curadores

En tiempo frío el hormigón es susceptible de encontrarse fresco durante más tiempo. En estas condiciones se requiere un curado efectivo porque existe un alto riesgo de evaporación superficial.

La práctica habitual de realizar el curado mediante regado con agua no suele ser recomendable por el alto riesgo de heladas y susceptibilidad de lavado superficial del hormigón inherente a este método.

Por ello, se recomienda en estos casos para minimizar los riesgos de un inadecuado curado, la utilización de líquidos de curado de la gama **MASTERKURE** y **BETTOCURE**.

4.4 Medidas adicionales

Otras medidas adicionales como calentar el agua, utilizar bombas de calor, etc. se utilizan generalmente en climas extremos. Si bien son adecuados técnicamente, se consideran habitualmente como sistemas inviables, tanto desde un punto de vista logístico, como económico.

En climas extremos, son sistemas habituales e imprescindibles para el hormigonado.

4.4 Temperatura mínima de hormigonado

La temperatura mínima de hormigonado, tal y como se ha analizado, depende de numerosos factores:

- Diseño del hormigón y sus componentes:

- Tipo y cantidad de cemento.
- Tipo de aditivos empleados.
- Relación A/C.
- Temperatura del agua y los áridos.
- Etc.

- Condiciones climáticas externas (temperatura y previsión de temperatura).
- Sistema de puesta en obra (hora del hormigonado y protección del hormigón aplicado).
- Sección y dimensión de la estructura a hormigonar.

Tomando las medidas preventivas oportunas para cada caso, es factible realizar el hormigonado incluso a temperaturas por debajo de -15 °C.