

Hormigonado en tiempo frío

Calentamiento de los materiales



Palabras clave: Hormigón, bajas temperaturas, capacidad calorífica, calentamiento de materiales, aditivos, curado del hormigón.

Key words: Concrete, low temperatures, heat capacity, materials heating, additives, concrete treatment.

Resumen:

El tiempo frío proporciona importantes ventajas para colocar el hormigón de baja temperatura dentro de los límites establecidos en la normativa. El hormigón que es colocado a baja temperatura (5 °C a 15 °C), que está protegido contra el congelamiento y que recibe un curado prolongado, desarrolla una resistencia última mayor y también tiene una mayor durabilidad.

Es destacable la ayuda que proporciona la utilización adecuada de los distintos tipos de aditivos para la consecución de hormigones de calidad en condiciones meteorológicas adversas de fabricación y puesta en obra.

Abstract:

Cold weather provides important advantages to place low temperature concrete within established codes limits. Concrete placed with low temperatures (from 5°C to 15 °C) conditions, which is protected against freezing and receive a prolonged thermal treatment, develops higher resistant and durability.

It is remarkable the help that a proper use of different kinds of additives provides to obtain quality concretes with meteorological adverse conditions during its manufacture and collocation.



Gabriel Sémelas Ledesma

Ingeniero del ICAI. Después de una trayectoria profesional ligada al hormigón y la construcción, crea la empresa MyPHor Materiales Especiales, S.L., que desarrolla su actividad en la asesoría de soluciones y suministro de productos para la construcción. Perteneció al Comité Técnico de la Asociación Nacional de Fabricantes de Aditivos para el Hormigón (ANFAH).

Introducción

Debido a las diferentes condiciones meteorológicas y a las exigencias en cuanto a requerimientos de tiempo de puesta en obra, ganancia de resistencias y puesta en servicio de las estructuras, así como a las múltiples necesidades de reutilización de moldes en la industria del hormigón prefabricado, nos planteamos cuál es el mejor procedimiento desde el punto de vista térmico y económico a la hora de obtener un hormigón con una temperatura mayor a la que tendría por la mezcla y amasado de los materiales que lo componen a la temperatura a la que éstos se encuentran en un momento determinado.

¿Qué es mejor, calentar el agua, calentar los áridos? ¿Hasta qué temperatura?

No entran dentro del objeto del presente artículo los métodos de calentamiento del hormigón una vez realizada la mezcla de los componentes mediante, por ejemplo, la utilización de vapor de agua inyectado durante el proceso de amasado, etc., ya que esto conlleva posibles variaciones de la relación agua-cemento que, dependiendo de las instalaciones que se disponga, puede ser más sencillo (caso de fabricar mediante amasadora), o más complicado (caso de fabricar vía seca y utilizar el medio de transporte como amasadora).

Antes de nada, hemos de conocer que es lo que dice la nueva normativa EHE-08 al respecto en su articulado correspondiente.

Puesta en obra del hormigón en condiciones climáticas especiales

Hormigonado en tiempo frío

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.

Hormigonado en tiempo caluroso

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. Estas medidas deberán acentuarse para hormigones de resistencias altas.

Para ello los materiales constituyentes del hormigón y los encofrados o moldes destinados a recibirlo deberán estar protegidos del soleamiento. Una vez efectuada la colocación del hormigón se protegerá éste del sol y especialmente del viento, para evitar que se deseeque. Si la temperatura ambiente es superior a 40 °C o hay un viento excesivo se suspenderá el hormigonado, salvo que, previa autorización expresa de la Dirección de Obra, se adopten medidas especiales.¹

Podemos asegurar, por lo tanto, que es conveniente hacer uso de las ventajas que nos proporciona el tiempo frío para colocar el hormigón de baja temperatura dentro de los límites establecidos en la normativa. Con el calentamiento adecuado de los materiales y la baja temperatura exterior,

podremos buscar las condiciones idóneas de colocación en cada caso y aplicación.

El hormigón que es colocado a baja temperatura (5 °C a 15 °C), que está protegido contra la congelación y que recibe un curado prolongado, desarrolla una resistencia última mayor y también tiene una mayor durabilidad. El hormigonado a baja temperatura también reduce el riesgo de fisuración por retracción térmica.

La temperatura del hormigón en el momento de su colocación se debe mantener tan cerca de los mínimos establecidos como sea posible, y preferentemente no debe superar los 25 °C. De no ser así puede sufrir una rápida pérdida de humedad desde las superficies expuestas al ambiente frío, porque el hormigón caliente, a su vez calienta el aire frío circundante, reduciendo así la humedad relativa de este último.

En el caso de que las temperaturas sean muy bajas, tenemos que recurrir a tomar las medidas adecuadas para el cumplimiento de los límites establecidos en la normativa. Dentro de los variados métodos existentes, el más extendido y habitual es el calentamiento de los materiales.

Temperaturas máximas de calentamiento de los materiales

Debido a que la temperatura del hormigón afecta a la velocidad de pérdida de asentamiento, y puede afectar también al comportamiento de los aditivos, las fluctuaciones de su temperatura pueden originar un comportamiento variable de las sucesivas tongadas.

Los materiales se deben calentar uniformemente debido a que una considerable variación en su temperatura hará variar, significativamente también, la demanda de agua, la incorporación de aire, la velocidad de fraguado y la consistencia del hormigón.

Si los áridos están libres de hielo y de terrones congelados, habitualmente basta con calentar sólo el agua de amasado para obtener la temperatura mínima requerida en el hormigón.

⁽¹⁾ Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08.

Dependiendo de varios factores, como las características de los cementos y otros, el agua no debe calentarse a más de 60 °C, aunque se podría llegar hasta los 85 °C en casos concretos.

Si se da el caso de que la temperatura del aire está significativamente por debajo de los -4 °C, normalmente es necesario calentar también los áridos. En este caso, rara vez es necesario calentar los mismos a temperaturas superiores a los 15 °C si el agua de amasado se calienta a unos 60 °C aproximadamente. Para calentar los áridos es recomendable hacer circular vapor a través de los mismos. Aunque el uso de chorros de vapor directamente sobre los áridos puede causar variaciones problemáticas de su humedad, constituye el método térmicamente más eficiente para calentarlos y puede constituir el único método práctico cuando se necesitan descongelar cantidades importantes que se encuentran a temperaturas extremadamente bajas. En tal caso, la descongelación se debe realizar con la suficiente anticipación a la elaboración del hormigón como para alcanzar un sustancial equilibrio entre el contenido de humedad y la temperatura.

En ocasiones se ha empleado aire caliente seco, en vez de vapor de agua, para mantener libres de hielo a los áridos.

Temperatura final de la mezcla del hormigón

Si se conocen las temperaturas de todos los constituyentes y el contenido de humedad de los áridos, se puede estimar la temperatura final de la mezcla de hormigón a partir de las siguientes consideraciones termodinámicas:

$$\Delta Q = C * \Delta T$$

El incremento del calor de un cuerpo es igual a la capacidad calorífica C del mismo por su incremento de temperatura.

Si por ejemplo tenemos dos cuerpos A y B, a temperaturas respectivas, T_A y T_B de forma que:

$T_A > T_B$ entonces:

El cuerpo A cede calor:

$$\Delta Q_A = C_A * (T - T_A) \text{ siendo } < 0$$

El cuerpo B recibe calor:

$$\Delta Q_B = C_B * (T - T_B) \text{ siendo } > 0$$

Estando, lógicamente, la temperatura final de equilibrio T entre T_A y T_B y por lo tanto:

$$T_A > T > T_B$$

Dado que el calor cedido por A es igual al recibido por B:

$$\Delta Q_A + \Delta Q_B = 0$$

La temperatura de equilibrio será la media ponderada que podemos expresar así:

$$T = \frac{C_A * T_A + C_B * T_B}{C_A + C_B}$$

Dado que a la hora de aplicar estos conceptos al hormigón, donde vamos a manejar la composición del mismo en Kg, y con objeto de facilitar los cálculos, deberemos de tener en cuenta que la *capacidad calorífica* C por unidad de masa es lo que llamamos *calor específico* c de un cuerpo. Siendo por tanto:

$$C = c * m$$

Teniendo en cuenta lo anterior, y tal y como decíamos arriba, si se conocen las temperaturas de todos los constituyentes y el contenido de humedad de los áridos, se puede estimar la temperatura final de la mezcla de hormigón.

Considerando los distintos materiales, podemos tomar aproximadamente los siguientes valores medios para el *calor específico* c de cada uno de ellos:

Para el Cemento $c = 0,22$

Árido grueso $c = 0,22$

Árido fino $c = 0,22$

Para el Agua $c = 1$

Valores dados en Kcal/Kg*°C

Si la temperatura de uno o de ambos áridos es inferior a 0 °C, el agua libre de los mismos estará congelada, y consecuentemente la expresión anterior se deberá transformar sustituyendo el calor, o la carga térmica, de dicha porción de agua libre representada por: $T_{arg} * P_{arg} + 0 T_{arf} * P_{arf}$, o ambos, si corresponde, de la siguiente forma:

$$T_{arg} * P_{arg} \text{ por } P_{arg} (0,50 * T_{arg} - 80)$$

$$T_{arf} * P_{arf} \text{ por } P_{arf} (0,50 * T_{arf} - 80)$$

Esta transformación en la expresión anterior es debida a las siguientes consideraciones:

- El calor específico del agua líquida es de 1 Kcal/Kg*°C ó 4.184 Julios/Kg*°C.
- El calor específico del agua en estado sólido (hielo) es de 0,5 Kcal/Kg*°C ó 2.092 Julios/Kg*°C.

Por otra parte, al fundirse el hielo, este absorbe calor a razón de lo que se llama calor latente de fusión (para la unidad de masa) y en el caso del hielo a 0 °C es de 334 KJ/Kg (79,83 Kcal/Kg) y ésta absorción de calor la hace sin que se produzca cambio de temperatura.

$$T_{Horm.} = \frac{0,22 (T_{arg} * P_{arg} + T_{arf} * P_{arf} + T_c * P_c) + T_{agu} * P_{agu} + T_{arg} * P_{arg} + T_{arf} * P_{arf}}{0,22 (P_{arg} + P_{arf} + P_c) + P_{agu} + P_{arg} + P_{arf}}$$

Siendo:

$T_{Horm.}$ = Temperatura final de la mezcla de hormigón, en °C

T_{arg} = Temperatura del árido grueso, en °C

P_{arg} = Peso del árido grueso, en kg

T_{arf} = Temperatura del árido fino, en °C

P_{arf} = Peso del árido fino, en kg

T_c = Temperatura del cemento, en °C

P_c = Peso del cemento, en kg

T_{agu} = Temperatura del agua de mezclado añadida, en °C

P_{agu} = Peso del agua de mezclado añadida, en kg

P_{arg} = Peso del agua libre en el árido grueso, en kg

P_{arf} = Peso del agua libre en el árido fino, en kg

Por lo tanto, en el caso de tener el agua de los áridos gruesos congelada a una temperatura de T_{arg} (misma temperatura bajo cero de los áridos que la alojan), el calor necesario para elevar la temperatura del hielo desde T_{arg} hasta $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ es de:

$$c * m * (T_{arg} - 0) = 0,5 * P_{argagul} * T_{arg}$$

El calor necesario para transformar hielo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ en agua a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ es el calor latente de fusión del hielo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, que es de 79, 83 Kcal/Kg (aproximadamente 80).

De ahí que $T_{arg} * P_{argagul}$ haya de ser sustituido por $P_{argagul} (0,50 * T_{arg} - 80)$.

En el caso de los áridos finos, u otro tipo de áridos, hay que hacer las mismas consideraciones.

Elaboración del hormigón

Cuando se utilice agua de mezclado, calentada o enfriada, a una temperatura determinada, es necesario disponer de una cantidad suficiente de la misma para evitar las fluctuaciones de temperatura del hormigón entre tongada y tongada.

El contacto prematuro de agua muy caliente con cantidades concentradas de cemento puede causar fraguado instantáneo y grumos de cemento en la hormigonera. Puede ser adecuado añadir el agua caliente y el árido grueso antes que el cemento, y detener o reducir la adición del agua mientras son cargados el cemento y los áridos finos.

Para facilitar el mezclado se deben colocar aproximadamente tres cuartos del agua caliente a incorporar a la amasadora, ya sea antes de los áridos o con ellos, incorporando primero los áridos gruesos, luego los áridos finos y a continuación el cemento. Como componente final se debe agregar lentamente el cuarto de agua restante.

Hay aditivos oclusores de aire que pierden parte de su efectividad en contacto con agua caliente. En estos casos, se deben adoptar las precauciones necesarias para incorporar el aditivo después que la temperatura del agua se haya reducido por el contacto con los materiales sólidos más fríos.

Colocación del hormigón

La preparación para el hormigonado implica, antes de nada, asegurar que todas las superficies que estarán en contacto con el hormigón colocado se encuentren a temperaturas que no puedan causar la congelación temprana, ni un aumento importante del tiempo de fraguado del hormigón. Asimismo, la colocación del hormigón alrededor de elementos metálicos masivos empotrados en él, que estén a temperaturas inferiores al punto de congelación del agua en el hormigón, puede ocasionar la congelación local del hormigón en la interfase. Si la interfase permanece congelada más allá del momento del vibrado final del hormigón, se producirá una disminución permanente de la resistencia a la adherencia en dicha interfase, situación que se debe evitar.

Inmediatamente antes de hormigonar se debe remover toda la nieve, el hielo y la escarcha, de modo que no ocupen el espacio destinado a llenarse con el hormigón. Para ello está permitido utilizar chorros de aire caliente sobre los encofrados, armaduras y otros elementos empotrados. A menos que el área de trabajo se encuentre dentro de un recinto, este trabajo se debe realizar inmediatamente antes de colocar el hormigón, para prevenir una nueva congelación de la misma.

El hormigón no se debe colocar sobre un material de sub-base congelado. A veces la sub-base se puede descongelar aceptablemente cubriéndola, unos días antes de la colocación del hormigón, con un material aislante, pero en la mayoría de los casos es necesario aplicar calor externo. Si como consecuencia de este proceso la sub-base pierde sus características, ésta se debe volver a compactar.

Protección y curado del hormigón

Previamente a la iniciación de las tareas de hormigonado, se debe disponer en el emplazamiento de los elementos para cubrir, aislar, encerrar o calentar el hormigón recientemente colocado.

Es necesario proteger el hormigón inmediatamente después de su colo-

cación, para prevenir su congelación temprana. Esta protección debe permitir que en todas las secciones del hormigón moldeado se alcancen las condiciones de temperatura y humedad establecidas en la norma EHE-08.

Durante el tiempo frío la protección proporcionada por los encofrados, excepto aquéllos que son de acero, a menudo es de gran importancia. Aun en recintos abiertos, los encofrados sirven para distribuir uniformemente el calor. La mayor parte del calor de hidratación de los cementos, en su proceso de fraguado y endurecimiento, se desarrolla durante los primeros tres días, por lo cual si se protege bien al hormigón para conservar ese calor durante los períodos mínimos establecidos, en general no es necesario agregar calor desde fuentes externas para mantener las temperaturas mínimas requeridas.

Para evitar la pérdida del calor interno producido por la hidratación del cemento, se debe proteger al hormigón con:

- Encofrados protegidos con un material aislante como: placas de poliestireno expandido, espuma de poliuretano, espuma vinílica, lana de vidrio o fibras celulósicas.
- Mantas que contengan en su interior un material aislante como: lana de vidrio, fibras celulósicas o paja.
- Materiales aislantes sueltos, tales como: paja, arena o tierra.

Debido a que las esquinas y los bordes son particularmente vulnerables, es conveniente que los espesores de material aislante para estas partes sean el triple que en el resto de zonas.

El empleo de recintos cerrados es el método de protección generalmente más caro y efectivo, especialmente los construidos con materiales rígidos, debido a su mayor hermeticidad respecto de los flexibles y a que mantienen mucho mejor la temperatura ambiental interna. El mantenimiento de la temperatura en estos recintos se puede lograr calentando los mismos mediante inyección de aire caliente, radiadores o vapor de agua. Cuando se empleen fuentes de

Hormigón	
Ejemplo de HA - 25	
Cemento:	
Grava	h = 1,50%
Arena	h = 6%
Agua	añadida
Agua	aportada aridos
Aditivo:	Plastificante
	HRWR
Aire	4%
TOTAL	
a/C = 0,54	

Aditivo: Plastificante
HRWR

Kg/m ³	Dens. real	Volumen
	Kg/dm ³	Ltrs.
280	3,15	88,89
975	2,60	375,00
950	2,60	365,38
80	1,00	80,00
72	1,00	72,00
2,24	1,18	1,90
1,40	1,09	1,28
0		40,00
2.361		1.024,46

Dosificación media: 0,80%

Dosificación media: 0,50%

Temperatura final del hormigón. °C T = 5,48 12,39 13,26 20,17

Temp. de los mat. Ejemp.			
1	2	3	4
°C	°C	°C	°C
10	10	10	10
5	5	15	15
5	5	15	15
5	60	5	60
5	5	15	15

calor distintas del vapor de agua, se adoptarán las precauciones necesarias para evitar el secado del hormigón.

En climas fríos, el curado húmedo con agua es el método menos recomendable, debido a que cuando los recintos de protección se encuentran mal sellados se produce la congelación del agua en el interior de los mismos. Por otra parte, con este método, al saturarse de agua el hormigón aumenta la posibilidad de congelación del mismo, al ponerse en contacto con el ambiente exterior; una vez finalizado el período de protección.

Aditivos especiales

Por último, no hemos de olvidar la gran contribución y ayuda que nos proporcionan determinados productos que, añadidos al hormigón, normalmente durante el proceso de amasado del mismo, facilitan la obtención de un hormigón de calidad en condiciones ambientales frías.

• Aditivos acelerantes

Los más usados son los acelerantes del fraguado, aunque en determinadas aplicaciones donde se requiera un tiempo determinado de puesta en obra, son especialmente recomendables los acelerantes del endurecimiento. A la hora de la selección de este tipo de productos deberemos tener en consideración varios factores: tipo de cemento, requerimientos de resistencias tempranas y su posterior desarrollo, influencia en las resistencias finales, temperatura ambiente y del hormigón, alternativas de una reducción de la relación de agua/cemento mayor; etc.

El empleo del cloruro cálcico puede ser una opción siempre y cuando no haya armaduras metálicas u otro tipo de limitación (hormigones en masa por ejemplo), ya que puede ser un buen plastificante y acelerante del fraguado, pero también muy perjudicial para la durabilidad del hormigón. En la actualidad es más seguro utilizar aditivos libres de generadores de ión cloro (limitado para los diferentes materiales en la EHE – 08 capítulo N° 6), ya que en una obra sería inseguro tener de los dos tipos por los errores que se pudieran producir en su uso.

• Aditivos anticongelantes puros

Este tipo de productos, cuya única función (función principal única) es bajar el punto de congelación del agua de amasado, son muy poco utilizados al ser muy poco prácticos. Con ellos conseguiríamos que el agua de amasado no se congelara, pero tendríamos que tener los elementos hormigonados paralizados y protegidos de movimientos, vibraciones, etc., hasta que las condiciones ambientales permitieran un comienzo del fraguado y un posterior desarrollo de resistencias adecuado para continuar con los trabajos.

Decimos que estos aditivos tienen una función única pues en general los aditivos se clasifican por: su función principal, su función secundaria y su función complementaria, careciendo de estas dos últimas en este caso.

• Aditivos anticongelantes habituales

Muchos de los productos que se comercializan en la actualidad son en realidad anticongelantes-acelerantes,

ya que estos productos usados adecuadamente y en las proporciones indicadas a cada tipo de aplicación proporcionarán los mejores rendimientos y calidad.

Conclusión

Podemos asegurar, por lo tanto, que es conveniente hacer uso de las ventajas que nos proporciona el tiempo frío para colocar el hormigón de baja temperatura dentro de los límites establecidos en la normativa. Con el calentamiento adecuado de los materiales y la baja temperatura exterior podremos buscar las condiciones idóneas de colocación en cada caso y aplicación.

El hormigón que es colocado a baja temperatura (5 °C a 15 °C), que está protegido contra la congelación y que recibe un curado prolongado, desarrolla una resistencia última mayor y también tiene una mayor durabilidad.

El hormigonado a baja temperatura también reduce el riesgo de fisuración por retracción térmica.

En el ejemplo descrito en el cuadro adjunto, vemos que un incremento de 55° C en la temperatura del agua, sube la temperatura del hormigón menos que un incremento de 10° C en la temperatura del conjunto de los áridos.

Es muy interesante resaltar la ayuda que nos proporciona la utilización adecuada de los distintos tipos de aditivos para la obtención de hormigones de calidad en condiciones meteorológicas adversas de fabricación y puesta en obra. ■