

16.1. Definición de tiempo frío y conceptos generales

Debe prestarse especial atención cuando en el mismo día del hormigonado (o primeras noches) se puedan presentar temperaturas menores a 0°C y riesgo de heladas en las inmediaciones del elemento estructural o cuando se pronostica que la temperatura media diaria de los 3 días consecutivos pueda estar por debajo de los 5°C .

En estas situaciones, que pueden preverse con la ayuda de los pronósticos, no sólo basta con controlar que la temperatura del hormigón se encuentre por encima de cierto valor especificado en reglamentos, sino que hay que proteger la estructura durante los primeros días para que no pierda esta temperatura inicial, más la que puede incrementarse por las reacciones de hidratación.

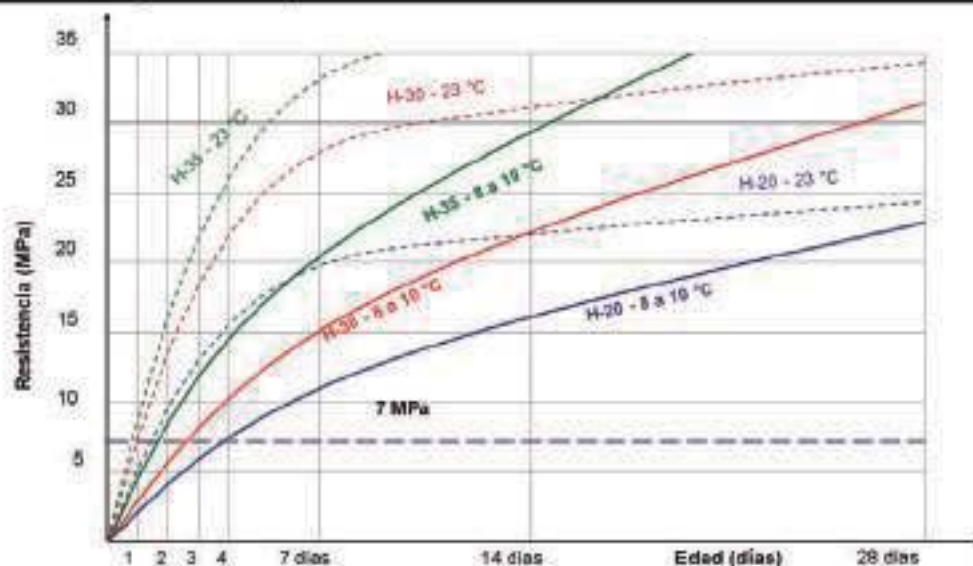
Sin embargo, existen varios prejuicios o "recetas" muy arraigadas en el medio que establecen que sólo puede hormigonarse cuando la temperatura es de 3 a 4°C y en ascenso. Este criterio es completamente erróneo, ya que en condiciones de temperaturas muy bajas existen experiencias en nuestro país (por ejemplo en alta montaña o en minería) en que se lograron excelentes resultados, siempre y cuando se tomen las medidas de protección apropiadas. Estas disposiciones pueden ir en contra severamente de la productividad de cualquier proyecto.

Las medidas de protección ante bajas temperaturas que serán descritas deben realizarse hasta que el hormigón posea cierta resistencia, para que no sea dañado por las bajas temperaturas y/o las heladas. Si las temperaturas descienden por debajo de -2°C en el interior del hormigón, el daño será permanente, debiéndose por lo general reconstruir el elemento. Si el hormigón se congela a poco tiempo de colado y éste no alcanzó una resistencia de 5 a 10 MPa , su resistencia potencial puede reducirse hasta en un 50% o más. En estos casos se produce una fisuración irreparable de la matriz de la pasta cementícea debido al aumento del volumen del agua contenida en el hormigón durante la congelación. Estos daños afectan principalmente el hormigón "de piel" o de recubrimiento en contacto con el ambiente, el cual es el más relevante de la estructura ya que, por ejemplo, protegerá a las armaduras de la corrosión o brindará resistencia al desgaste en pavimentos y canales.

Reglamentariamente, se define como tiempo frío aquellas condiciones en las cuales en las inmediaciones de la estructura la temperatura media es menor que 5°C o cuando la temperatura ambiente es igual o menor que 10°C durante medio día durante 3 o más días consecutivos. Las disposiciones y recomendaciones brindadas en el presente capítulo son de aplicación indispensable para que estas condiciones climáticas no dañen de forma permanente la estructura ni alteren su funcionalidad.



Figura 1. Tiempo Frio



Esta definición está relacionada con la temperatura a la cual se detienen o paralizan las reacciones de hidratación, que según diversos estudios ronda los 3 a 4 °C. Sin embargo, y aunque no esté claramente previsto en los reglamentos, para condiciones de temperatura no tan exigentes –por ejemplo para temperaturas medias de 7 a 10 °C o temperaturas esperables de 0 °C o inferiores de forma puntual en una sola jornada–, se retrasa notablemente la velocidad de endurecimiento o ganancia de resistencias, aunque no exista ningún daño potencial para la resistencia final o durabilidad. Este aspecto toma mayor relevancia en aquellas estructuras en las cuales deban aplicarse tensiones antes de la edad de diseño (habilitación rápida de pavimentos, movimiento de piezas premoldeadas, retiro de puntales). Para este tipo de elementos, aunque no se encuentren en condiciones estrictas de tiempo frío, serán aplicables las recomendaciones que se detallan, con el objetivo principal de agilizar la ganancia de resistencias. En estos casos y para habilitar tempranamente estructuras a determinada edad, se recomienda realizar ensayos sobre el elemento (por ejemplo, extracción de testigos) o sobre probetas moldeadas y curadas junto a la estructura, siendo mucho más práctica la segunda opción.

16.2. Períodos de protección ante bajas temperaturas

La protección efectiva del hormigón para defenderlo del frío consiste básicamente en mantenerlo a una temperatura y con un tenor de humedad que asegure el

desarrollo de la resistencia y la durabilidad en las primeras edades. Según Reglamento CIRSOC 201, cuando se espera que la temperatura del ambiente descienda por debajo de +5 °C después de su colocación, el hormigón fresco será protegido y mantenido a temperaturas iguales o mayores a 13 °C, para elementos con una mínima dimensión de 30 cm y 10 °C, para elementos con mínimas dimensiones entre 30 y 90 cm; mientras que para elementos masivos los requisitos son más permisivos.

También se establece que el período de protección mínimo ante bajas temperaturas debe ser de 6 días para hormigones con aire incorporado y de 12 días para H' sin aire incorporado. Estos períodos, principalmente el segundo, son muy prolongados e influyen notablemente en la economía y productividad de la obra. Sin embargo, el mismo reglamento establece que el período de protección de las bajas temperaturas puede ser interrumpido cuando probetas curadas a un costado de la estructura arrojen resistencias de 7 MPa o más; siendo indispensable la realización de estos ensayos para disminuir los períodos arriba indicados.

En la Figura 1 se presenta sólo como valores referenciales la evolución de resistencias de hormigones H-20 a H-35 con cementos adicionados, para diferentes condiciones de temperatura. Apreciando estos gráficos, que deben ser corroborados con ensayos de obra, se aprecia cómo para categorías resistentes bajas de H-20 el período puede ser de 3 a 4 días, mientras que para H-30 se acorta el período a 2 días y con hormigones de más elevada resistencia a veces es necesario sólo tomar las medidas de

protección durante la primera noche. Este “incremento de costos” de categorías resistentes más elevadas de las requeridas por proyecto son casi siempre muy inferiores a los costos asociados a los días adicionales de protección.

Las medidas de protección deberán ser mantenidas cuando la temperatura ambiente sea inferior a 5 °C mediante uno de los dos métodos generales durante el período antes consignado:

- Protección pasiva: Evitar que el hormigón pierda su temperatura inicial, empleando materiales aislantes
- Protección activa: Brindar al hormigón un “microclima”, con aporte externo de calor

16.3. Temperatura inicial del hormigón fresco

En condiciones de tiempo frío, es recomendable medir la temperatura del hormigón fresco como criterio de aceptación, tal cual fue descrito en el Capítulo 9 del Manual. Los reglamentos establecen las temperaturas iniciales mínimas del hormigón a la salida de la planta elaboradora, las cuales deben cumplir con lo siguiente:

- Para temperatura ambiente de -1 a 7 °C, debe ser de al menos 16 °C para elementos de menos

de 30 cm, 13 °C para espesores de 30 a 60 cm, 10 °C para espesores de 90 a 180 cm y de 7 °C para estructuras masivas de más de 180 cm de dimensión mínima

- Para temperaturas ambientes de -18 a -1 °C, las temperaturas serán 3 °C superiores a las arriba indicadas
- Para temperaturas inferiores a -18 °C, las temperaturas serán 6 °C superiores a las indicadas para -1 a 7 °C
- Las temperaturas anteriores no deben superarse en más de 10 °C para evitar gradientes térmicos considerables con la temperatura ambiente que puedan llegar a fisurar térmicamente el hormigón.

La temperatura inicial del hormigón es el mayor desafío del proveedor del hormigón elaborado en tiempo frío, mientras que el período de protección corresponde a las medidas a tomar en obra.

Para elevar la temperatura del hormigón fresco deberá tomar medidas para aislar térmicamente las materias primas o equipos de mezclado y proteger la temperatura de los materiales o calentar los materiales

Figura 2. Planta con medidas adecuadas para producir hormigón en tiempo frío



Figura 3. Técnicas constructivas en obras en alta montaña



constituyentes del hormigón para que cumpla con los requisitos de temperaturas mínimas.

En la Figura 2 se muestra una planta techada con caldera.

- Para temperaturas mayores a 0°C generalmente es suficiente calentando el agua de mezclado a 60-70°C. Ejemplo: Para una temperatura de cemento y agregados de 3 a 4°C, se eleva la temperatura del hormigón a 16 a 18°C, sólo calentando el agua a 60 a 70°C; no debiendo calentarla a más de 80°C.
- En condiciones extremas, deberán calentarse los agregados, bien sea cubriéndolos por la noche con materiales aislantes, o mediante el empleo de resistencias eléctricas o tuberías por donde circulen fluidos calientes por su interior.
- Además, deberá preverse no trabajar con agregados congelados, reducir el empleo de agregados lavados, trabajar con cemento a la mayor temperatura posible o recién recibido, pudiendo ser factible aislar térmicamente algún silo en la planta cuando sea un requisito exigible la temperatura del hormigón.
- En casos de temperaturas muy bajas, podrán revestirse los trompos de los camiones hormigoneros con materiales aislantes, como espuma de poliuretano (Figura 3).

16.4. Metodología de protección pasiva de las bajas temperaturas

Generalmente es el medio más económico para estructuras y el menos conocido, ya que los recursos de protección son siempre reutilizables. Conceptualmente consiste en evitar que el hormigón pierda su temperatura inicial y aprovechar la temperatura desprendida en las primeras horas devenidas de las reacciones de hidratación que son exotérmicas. Este método de protección se basa en colocar materiales aislantes como placas de poliestireno expandido, mantas térmicas, lana de vidrio, polietileno con burbujas o "pluribol", paja o heno, o cubiertas aislantes especiales sobre las superficies de las estructuras.

Es recomendable que para evitar la pérdida de humedad de las estructuras se aplique otro método de curado como láminas plásticas, membranas de curado o encofrados dejados en el lugar, los cuales impiden pérdida de humedad pero no de temperatura. En las Figuras 4 y 5 se muestran medidas de protección pasivas, las cuales en general son más económicas y merecen menor supervisión, siendo más amigables con el ambiente ya que no se desperdicia energía.

El control de esta metodología consiste en medir bajo el material aislante en contacto con la superficie del hormigón que la temperatura no caiga por debajo de 7 a 13 °C durante los días del período de protección, para elementos masivos a elementos esbeltos respectivamente. Al cubrir el hormigón con capas de materiales aislantes,

Figura 4. Protección pasiva de estructuras con materiales aislantes



Figura 5. Protección pasiva con aislantes térmicos.



es muy importante el control de la temperatura inicial del hormigón fresco, ya que estos métodos no brindan más temperatura, sino que su objetivo es que se disipe muy lentamente la temperatura inicial.

16.5. Metodología de protección activa ante las bajas temperaturas

Existen diferentes métodos aplicables en función de la tipología del elemento estructural a proteger para brindarle al hormigón un microclima apropiado, para que su temperatura no descienda por debajo de 10 °C en promedio. Para ello, pueden acondicionarse:

- Recintos aislados o semi-cubiertos, con cortavientos y calefaccionados con caloventores o quemadores
- Ambientes al aire libre con quemadores u otros medios de calefacción

La calefacción puede materializarse mediante quemadores industriales de combustibles líquidos, ventiladores calefactores con motor a explosión, estufas tipo salamandra alimentadas con carbón de leña o mineral o con otros tipo de combustibles. Al usar cualquier tipo de calefactor debe prevenirse la posible pérdida de humedad del hormigón en su zona de acción. Varios calefactores producen dióxido de carbono, por lo que de usarlos

debe protegerse la superficie del hormigón con láminas plásticas o similares, salvo que exista una buena ventilación que asegure la eliminación del gas. El dióxido de carbono en contacto con el hormigón en sus primeras horas después de colado puede aparejar patologías superficiales en pisos y pavimentos, como el empolvamiento.

Otro cuidado a tener cuando se utilizan sistemas de calefacción es que no se produzcan grandes variaciones de temperatura entre distintas zonas de la estructura, lo que puede producir daños a ésta. Una adecuada ventilación y circulación del aire en la zona caldeada soluciona el problema. Otro aspecto a tener en cuenta es el relacionado con la potencial contaminación del medio ambiente en zonas urbanas o la imposibilidad de utilizarlos en ciertas obras que tienen uso restringido del fuego. En las Figuras 6 y 7 se muestran ejemplos de protección activa.

El control del método de curado consistirá en medir la temperatura en el punto más lejano de las fuentes de calor durante los días que sea necesario el período de protección y que ésta sea mayor a 7 a 13 °C en función de la tipología del elemento estructural (masivo o de poco espesor respectivamente).

16.6. Otras precauciones en tiempo frío

El hecho de hormigonar en tiempo frío no siempre es sinónimo de consecuencias desfavorables. En este sentido, es conveniente hacer uso de las ventajas provistas por

Figura 6. Protección Activa con recintos cerrados (Antena Aeroespacial Malargüe - Mendoza)



Figura 7. Protección Activa en ambientes al aire libre (losas y canales)



el tiempo frío para colocar el hormigón en bajas temperaturas. El hormigón que es colocado en temperaturas de 5 a 13 °C, siempre y cuando esté protegido contra el congelamiento y que recibe un curado prolongado, desarrolla una resistencia última mayor y también una estructura más compacta que se traduce en mayor durabilidad final. Además del control de la temperatura inicial del hormigón y de tomar medidas de protección pasiva o activa (no las dos superpuestas ya que no adicionan sus efectos), deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- No iniciar el hormigonado si no se cuenta en el lugar con los medios de protección aconsejables, como los elementos para cubrir, aislar, encerrar o calentar el ambiente del hormigón recién colado.
- Tener en cuenta que cuanto mayor sea la relación entre la superficie de evaporación y el volumen total de hormigón, será mayor la sensibilidad del elemento al tiempo frío (ejemplo: losas y pavimentos).
- No sólo prever medidas para controlar la temperatura, sino también aplicar un método de curado para evitar pérdidas de humedad.
- Controlar sistemáticamente la temperatura ambiente, de los materiales constituyentes y del hormigón fresco.
- No suspender la acción de los medios de protección hasta tanto no se tenga la certeza de que los valores de resistencias de probetas moldeadas y curadas con la estructura sean las apropiadas para liberar la estructura.
- Estudiar la factibilidad de aumentar la categoría resistente para reducir los períodos de protección.
- Agilizar la descarga y todas las tareas de colocación y compactación del hormigón.
- Descongelar la base de apoyo y encofrados en caso de que estén nevados o con escarcha, siendo necesario en algunos casos calentarlos, pero nunca en demasía porque puede resultar contraproducente.
- Utilizar materiales de adecuado desempeño en clima frío, como cementos de rápida ganancia de resistencias (si están disponibles en el mercado) y aditivos acelerantes de comprobada eficacia.
- No trabajar con asentamientos muy elevados ni excederse en aditivos superfluidificantes, ya que podrán retrasar el fragüe inicial del hormigón.
- Programar las tareas de llenado para las horas más favorables, que en tiempo frío suele ser el período entre las 10 y las 14 horas. Después de las 15 horas se corre el riesgo de que el fragüe coincida con el horario nocturno y hay que prestar mayor atención a las condiciones de protección.
- Respecto al tiempo de curado del hormigón, será más prolongado. Los días que el hormigón tenga temperaturas medias en su superficie de entre 5 y 10 °C deben ser considerados como 1/2 día, mientras que temperaturas medias menores a 4 °C no deberían considerarse como computadas para el curado.
- Extender los tiempos de desencofrado, de ser posible dejarlos en el lugar. Los tiempos para desapuntalamiento se deben computar de la misma forma que para el curado, siendo también recomendable la realización de ensayos de probetas moldeadas y curadas al costado de las estructuras.
- En tiempo frío, el curado húmedo con agua es el menos recomendable, debido a que cuando los recintos de protección se encuentran mal aislados se puede producir el congelamiento de agua en su interior.
- Al finalizar el período de protección, deben evitarse gradientes de temperatura desfavorables, no debiendo ser sometido a cambios de temperatura mayores a 3 °C/hora y sin sobrepasar 20 °C en 24 horas para hormigones convencionales. Para hormigones masivos, la caída debe ser más gradual e inferior a 1,5 °C/hora.
- Es siempre recomendable realizar reuniones previas al hormigonado, como las detalladas en el Capítulo 1.
- Tomar las medidas de protección enunciadas en el capítulo 16 en condiciones climáticas adversas para prevenir la fisuración por contracción plástica. En casos de velocidades de viento mayores a 25 km/h y humedades relativas inferiores al 60% o sólo con velocidades de viento superiores a 40 km/h, existirá riesgo de fisuración plástica aún para temperaturas ambientes del orden de 5 °C. «