

830 - 5

## **el hormigonado con temperaturas bajo 0°C en Rusia**

**ALBERTO PRADO**

Ingeniero de Construcciones Urbanas de la Escuela Superior de Ingenieros de la Construcción de Moscú

Desde principios de este siglo xx la técnica de la construcción en Rusia se ha desarrollado con un ritmo gigantesco. Unos materiales de construcción se cambiaban por otros de mejor calidad. Entonces se empezó a emplear ampliamente el hormigón en masa y hormigón armado. Pero el hormigón encontró las mismas dificultades que existían con el mortero para su empleo en toda clase de obras realizadas en invierno.

La edificación en invierno tiene muchos inconvenientes, y no es de extrañar que, aproximadamente hasta el año 1930, las obras se interrumpieran durante las heladas.

Es necesario tener en cuenta que el invierno en Rusia dura de cuatro a seis meses y con temperaturas bajo 0°C.

Las primeras investigaciones sobre el hormigonado en invierno fueron llevadas a cabo a principios de este siglo, y la primera obra de esta clase pertenece al año 1910 (un puente de hormigón armado, con una luz de 4,5 metros).

La producción en masa del hormigón armado en invierno empezó desde el año 1935, después de muchos años de trabajo, investigaciones y estudios.

Hoy día el hormigonado en invierno teóricamente no tiene límites, aunque se suspende el trabajo cuando las temperaturas son inferiores a 25° C bajo cero por resultar peligroso para la salud del personal.

El coste de las obras en invierno es considerablemente mayor que en verano.

### **Ejecución de obras de hormigón en invierno**

El fraguado del hormigón se produce a temperaturas superiores a 0°C. Cuanto más alta es la temperatura, más se acelera el fraguado, si éste tiene una humedad determinada.

Con temperaturas aproximadas a 0°C, el fraguado de las masas de hormigón se retrasa. En caso de congelarse al principio del fraguado, se para.

Después del deshielo y subida de la temperatura, el proceso de endurecimiento del hormigón se restablece, pero la resistencia definitiva es menor que la prevista.

Por lo tanto, en invierno es necesario curar el hormigón en un ambiente artificial con la cantidad de calor y humedad necesaria para lograr la resistencia adecuada.

El hormigón debe alcanzar una resistencia suficiente antes de congelarse, ya que solamente después de esto se puede desencofrar y cargar el hormigón con una carga parcial o carga de cálculo. Los hormigones de cementos normales se deben resguardar de la congelación durante los primeros 3-7 días del período de fraguado.

La diferencia de temperaturas existente entre la masa de hormigón y el exterior origina una pérdida de calor a través de la superficie de la pieza, que da lugar al enfriamiento de la estructura.

El enfriamiento del hormigón depende del «módulo de superficie», que es la relación entre la superficie de enfriamiento de la estructura y su volumen:

$$M = \frac{F}{V} .$$

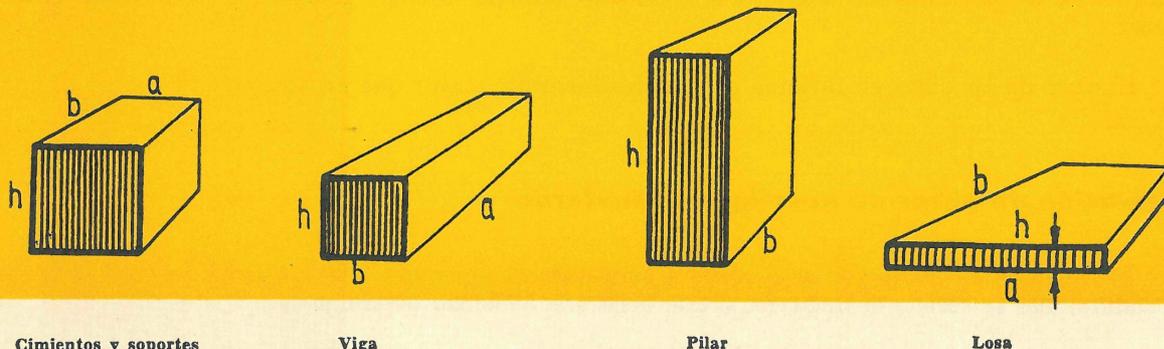
Para los macizos de cimientos de los soportes de puentes y otras construcciones parecidas, el módulo de superficie es de 2 a 5. Para las estructuras de volumen mediano, a las que pertenecen vigas y pilares, el módulo de superficie se determina por la siguiente fórmula:

$$M = \frac{F}{V} = \frac{2(a+b)h}{abh} = \frac{2(a+b)}{ab} ,$$

y su magnitud es de 5 a 10.

Por ejemplo, para un pilar de dimensiones:  $a = 0,4$  m y  $b = 0,6$  m, el módulo será igual a:

$$M = \frac{2(0,4 + 0,6)}{0,4 \times 0,6} = 8,4 .$$



Esquemas de elementos para la determinación del módulo de superficie.

Para losas y estructuras laminares, el módulo se determina por la relación:

$$M = \frac{2ab}{abh} = \frac{2}{h},$$

teniendo valores mayores de 10.

Por ejemplo, teniendo una losa  $h = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$ :

$$M = \frac{2}{0,1} = 20$$

En la actualidad, el método más aplicado de curado del hormigón durante el invierno consiste en el endurecimiento de éste en un ambiente de calor y humedad en cantidades adecuadas.

Para obtener un cierto tiempo de curado en el ambiente de calor y humedad, es necesario que la masa de hormigón contenga una cantidad de calor suficiente y que este calor se conserve todo el tiempo posible.

La masa de hormigón recibe este calor por los siguientes medios: por calentamiento de los áridos, por el calor desprendido por el cemento, al endurecerse, como resultado del proceso químico (exotermia), por calentamiento del mismo hormigón o del ambiente que le rodea.

En las estructuras macizas de hormigón, el calor desprendido por el propio hormigón (exotermia) es muy considerable.

En las estructuras laminares, se debe calentar el hormigón o el ambiente para obtener la resistencia necesaria del elemento en un plazo breve.

Este método se practica también en América, Alemania y otros países, donde las temperaturas en invierno son parecidas a las de Rusia.

Al bajar la temperatura del aire, además de calentar los áridos, es necesario curar el hormigón, según la estructura y las condiciones locales, aplicando los siguientes métodos:

1. Método del «termo», en el cual el endurecimiento del hormigón se efectúa en un encofrado convenientemente aislado y cubierto, por medio del calor introducido en la masa durante su mezcla y del calor desprendido por el cemento en el proceso de hidratación.
2. Método de calentamiento o recalentamiento por medio de vapor o electricidad.
3. Hormigonado en recintos calientes.

El método del «termo» es el que más se emplea. En este método, el calor desprendido por el cemento debe utilizarse durante el curado muy lentamente para que al enfriarse el hormigón hasta  $0^{\circ}\text{C}$  obtenga una resistencia suficiente para poder desencofrarlo.

El calor se mantiene mejor en las estructuras macizas de soportes de puentes y en las presas con pequeños módulos de superficie (hasta 5), en las cuales sube la temperatura como consecuencia de la exotermia del cemento.

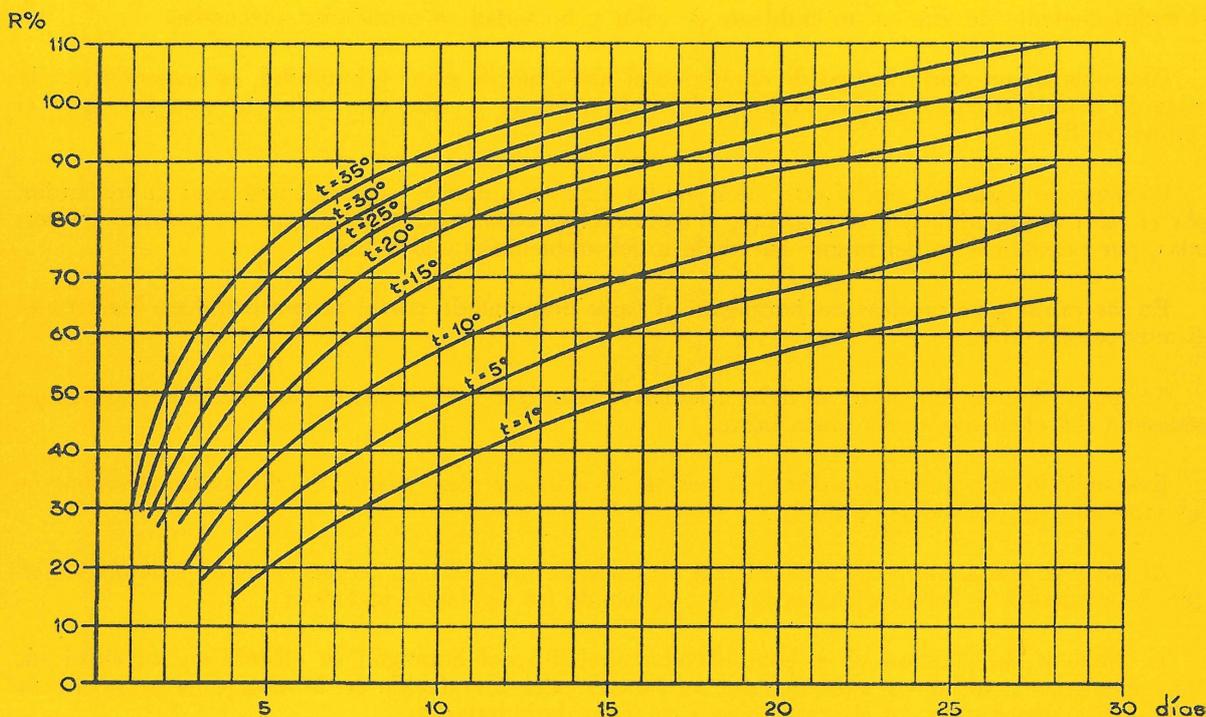
Las estructuras de poco espesor, como vigas y losas, con gran «módulo de superficie» (más de 10),

necesitan un aislamiento térmico para conservar la temperatura sobre 0°C durante los 5-10 primeros días.

Para esto se utilizan encofrados aislados con recubrimientos de paja, fieltro, mantas de lana mineral, serrín seco u otros materiales análogos.

En el método del «termo» a base de cálculos, se determinan: el tiempo de enfriamiento de la estructura, la temperatura del hormigón vertido en la estructura y la resistencia térmica del aislamiento del encofrado. El método «termo» es más efectivo para las estructuras cuyo «módulo de superficie» es inferior a 5.

El calentamiento suplementario de la estructura se efectúa en los casos en que el calentamiento del agua y áridos, y el calor desprendido por el cemento, no son suficientes para su endurecimiento.



Aumento de resistencia del hormigón, según la temperatura durante el fraguado (se empleó cemento portland con 300-400 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia cúbica).

Este calor se aplica a la estructura por sus superficies exteriores, a base de vapor, o corriente eléctrica.

El calentamiento con vapor se efectúa con vapor húmedo con una presión no mayor de 0,5 atmósferas. Este vapor pasa entre la superficie exterior del encofrado y la superficie interior de la «camisa» térmica.

La «camisa» térmica está compuesta de un entablonado con aislamiento térmico.

En los forjados, estas «camisas» térmicas se montan sobre las superficies superior e inferior, formando una especie de recinto cerrado. El vapor se introduce por tuberías en la parte inferior y, con

El calentamiento eléctrico se debe empezar de 1 a 2 horas después de verter el hormigón, para conseguir una temperatura no inferior a  $+5^{\circ}\text{C}$  en éste.

Se recomienda no elevar la temperatura más de  $8^{\circ}\text{C}$  por hora. Es necesario limitar la temperatura máxima del calentamiento, según la clase de cemento y su resistencia.

Para las piezas con «módulo de superficie» inferior a 15, esta temperatura tiene que ser inferior a  $75^{\circ}\text{C}$ . Para las piezas con «módulo» superior a 15, no se debe elevar más de  $50^{\circ}\text{C}$ - $60^{\circ}\text{C}$ . Con temperaturas superiores a las citadas, la masa de hormigón se seca demasiado y se destruye.

El calentamiento con la temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$  no se recomienda más de 72 horas; con la temperatura de  $50^{\circ}\text{C}$ , más de 60 horas, y con  $70^{\circ}\text{C}$ , más de 36 horas. El calentamiento eléctrico con una temperatura de  $30^{\circ}\text{C}$ , para obtener 70 % de la resistencia del hormigón, puede durar hasta 150 horas. El calentamiento por medio de vapor y corriente eléctrica se emplea con éxito para hormigones poco dóciles y cementos de poca calidad.

En unos casos, es conveniente combinar el método «termo» con el método de calentamiento por medio de vapor o corriente eléctrica.

Como aceleradores del fraguado se usan adiciones de cloruro cálcico (1-3 %) y cloruro sódico. La cantidad de las adiciones depende de la cantidad de armadura en la pieza. Cuanto mayor sea la cantidad de armadura, menor cantidad se debe añadir, de cloruro cálcico, con objeto de evitar la corrosión de las armaduras. Hasta la temperatura de  $5^{\circ}\text{C}$  bajo cero, será suficiente calentar los áridos y el agua del hormigón y añadir aceleradores de fraguado.

Cuando se necesita obtener la resistencia de cálculo del hormigón en pleno invierno, o cuando la estructura tiene que entrar en servicio, se emplea el método de endurecimiento del hormigón en recintos cerrados, debidamente calentados.

Estos se utilizan en estructuras muy importantes y bajo severas condiciones invernales, por ser el coste muy superior al de los demás métodos.

En todos estos métodos es necesario tomar precauciones para conservar la temperatura durante la mezcla, transporte, hormigonado y para mantener la temperatura prevista al aplicar la protección.

Después de múltiples ensayos de laboratorio, observaciones realizadas en obra y estudios, se ha logrado encontrar un método nuevo de hormigonado y fraguado, a temperaturas inferiores a los  $0^{\circ}\text{C}$ , sin necesidad de calentar los áridos y el agua y sin emplear métodos de calentamiento durante el fraguado.

El método consiste en lo siguiente:

La mezcla de hormigón se realiza no en agua, sino en una solución acuosa de cloruro cálcico y cloruro sódico. El cloruro cálcico se introduce en la solución, en cantidad de 10 a 18 %, mezclado con cloruro sódico. La cantidad de cloruro sódico es hasta 5 % de la cantidad del agua. La solución se prepara sin calentar el agua. Los métodos de fabricación del hormigón, transporte de éste y hormigonado, son los mismos que los que se emplean con temperaturas sobre  $0^{\circ}\text{C}$ . Este método se recomienda para el firme de carreteras, suelos de pisos, muros de sostenimiento de tierra, cimientos de instalaciones y para edificios de viviendas hasta cuatro plantas.

El mejor método de luchar contra las dificultades en las obras de invierno es, siempre y cuando se pueda, el empleo de elementos prefabricados.

Me parece interesante citar que, para el año 1960, Rusia llegará a fabricar hasta 28 millones de metros cúbicos de hormigón prefabricado y, entre ellos, 7 millones de hormigón pretensado.

objeto de que pase el vapor a la superficie superior del forjado, se dejan orificios de  $20 \times 20$  cm. La temperatura del hormigón al empezar el calentamiento no debe ser inferior a  $+5^{\circ}\text{C}$ . El aumento de temperatura del vapor no debe ser superior a  $20^{\circ}$  ó  $25^{\circ}\text{C}$  por hora. Para obtener una resistencia de 70 % de la del cálculo, el calentamiento con vapor dura de 2 a 3 días.

La «camisa» térmica se puede quitar después de enfriarse el hormigón hasta  $+15^{\circ} - 20^{\circ}\text{C}$ . Como este método exige mucho material, hoy día el vapor se introduce entre el encofrado y la superficie del hormigón por unos conductos practicados en la superficie interior del encofrado. De esta manera se economiza mucho material, pero existe la posibilidad del sobrecalentamiento de las superficies del hormigón que se hallan próximas a la fuente del calor.

El calentamiento del hormigón mediante corriente eléctrica, se realiza con electrodos o con estufas eléctricas. El interior de la masa se puede calentar con electrodos, antes de su endurecimiento, gracias a la conductibilidad eléctrica del agua de la pasta.

Las estructuras de hormigón u hormigón armado, con una cantidad de armadura de hasta 50 kilogramos/m<sup>3</sup> de hormigón se calientan por medio de corriente alterna con tensiones de 120-220 voltios, pero se recomienda bajar la tensión hasta 60 voltios.

Los electrodos pueden ser superficiales (en forma de placas) e interiores.

Los electrodos superficiales se hacen de chapa de acero o de tela metálica, y se fijan en la superficie interior del encofrado a una distancia de 15-20 cm unos de otros. Con tensiones de 110 voltios, los electrodos deben situarse a una distancia mayor de 5 cm de la armadura.

Por regla general, los electrodos superficiales se utilizan para el calentamiento de vigas y losas, con espesores superiores a 5 cm y con armadura sencilla.

También se emplean estos electrodos para el calentamiento de superficies horizontales de hormigón, para lo cual los electrodos se fijan en la superficie interior de un entramado de tablas con aislamiento térmico. A este entablado se le llama «plancha eléctrica».

Los electrodos de varillas se hacen de redondos de acero con diámetros de 10-12 milímetros.

En los apoyos de vigas con gran cantidad de armadura, los electrodos se sitúan en orificios del costero del encofrado antes de verter el hormigón.

En el vano de la viga, los electrodos se colocan verticalmente cuando se vierte el hormigón. Se recomienda que la distancia entre las varillas sea:

Para una tensión de hasta 110 voltios = 10 cm.

Para una tensión de hasta 120-127 voltios = 30 cm.

Para una tensión de hasta 220 voltios = 60 cm.

La distancia entre los electrodos y la armadura no debe ser menor de la mitad de la distancia entre los electrodos.

La modificación de este método consiste en la colocación de electrodos horizontales a todo lo largo de la pieza (1,5-2,5 m).

El principio del método de calentamiento por medio de estufas eléctricas, es el mismo que en el caso de electrodos superficiales. Consiste en el calentamiento de la superficie del hormigón con el calor reflejado por las estufas.