

HORMIGÓN Y TEMPERIE

INTRODUCCION

Toda obra de hormigón en masa o armado, excepto casos excepcionales, se ejecutará dentro de la atmósfera, por lo que existirá siempre una influencia del estado de esta atmósfera sobre la obra; esta influencia será beneficiosa en unos casos, indiferente en otros y perjudicial en algunos, pudiendo este efecto perjudicial llegar a arruinar la resistencia de los distintos elementos que la componen, alejando esta resistencia, los valores previstos en el cálculo de la estructura, con lo que la seguridad de la misma puede verse muy mermada.

Resulta, pues, evidente que para una correcta ejecución de la obra debe conocerse qué variables meteorológicas pueden influir y en qué sentido, para poder actuar en sentido contrario con objeto de paliar en la medida de lo posible su efecto negativo, por ejemplo, regando o humectando por cualquier otro procedimiento si el efecto ha sido una desecación excesiva, etc., por otra parte, una vez conocidas las variables y su influencia, es importante conocer qué valores son los que debemos esperar para esas variables durante la ejecución de la obra, para ello debemos recurrir a la climatología del lugar, de donde podremos obtener información sobre cuáles son los valores normales de la variable en cuestión durante un cierto período de tiempo. Finalmente, para una planificación de la ejecución de la obra sobre el terreno y a corto plazo, en especial referida a aquellos factores que, en caso de presentarse, pueden ser decisivos, tales como heladas, precipitaciones intensas, fuertes vientos, etc., debe contarse con la predicción meteorológica.

Este artículo se centra en el primer punto, es decir, señalar qué variables meteorológicas pueden influir en la ejecución de la obra.

Como introducción digamos que el hormigón puede definirse como el material resultante de la unión de elementos áridos con la pasta que se obtiene añadiendo agua a un conglomerante. Se llaman conglomerantes hidráulicos a aquellos productos que amasados con el agua fraguan y endurecen, los más importantes de los cuales son los cementos.

1. CEMENTOS

Desde un punto de vista meteorológico, pueden hacerse las siguientes recomendaciones para la utilización de algunos de los tipos de cementos existentes en el mercado:

Cemento tipo P-550. Es adecuado para hormigonado en tiempo frío, siendo desaconsejable su utilización en tiempo caluroso y seco; en particular debe protegerse la obra de radiación solar directa.

Cemento tipo PA-350. Debe tenerse especial cuidado en su curado en particular en los primeros días, evitando la desecación. El desencofrado debe efectuarse a plazo normal más largo, sobre todo en tiempo frío.

Cementos tipo siderúrgico. Presentan poca retracción y un débil calor de hidratación, por lo que pueden ser utilizados sin riesgo en grandes macizos, no obstante y por la misma razón, son muy sensibles a las bajas temperaturas, que retardan apre-

ciablemente su endurecimiento, por lo que no son indicados para hormigonado en tiempo frío, en particular la clase I no debe utilizarse por debajo de 2°C, y las clases II y III por debajo de 5°C.

Cemento tipo A-550. Este cemento no es aconsejable para zonas calurosas, puesto que no solamente es inadecuado cuando la temperatura ambiente es elevada durante el hormigonado, sino que las temperaturas superiores a 35°C durante la vida de la obra pueden perjudicar gravemente la resistencia del hormigón, si bien para ello es necesaria la presencia de humedad.

Cementos tipos NL-20, 30 y 80. No son indicados para hormigonado en tiempo frío.

Cementos tipos P-350, 450 y 550-ARI. Muy adecuados para hormigonado en tiempo frío.

Cementos tipos P-350, 450 y 550-Y. Los cementos portland resistentes al yeso, no son indicados para hormigonado en tiempo frío, en particular, el 350 no debe utilizarse a menos de 5°C, y el 450 a menos de 2°C.

Cemento tipo P-350-BC. No es adecuado en tiempo frío.

Cementos tipos P-350, 450 y 550 B. Para ellos debe recordarse, en particular, el efecto desecador del viento, el lavado por la lluvia y la posible aparición de eflorescencias por efecto de la niebla.

2. ALMACENAMIENTO

Cuando el suministro de cemento se realice bien en sacos, bien a granel, su almacenamiento debe efectuarse aislándolo lo más posible de la acción de la intemperie y, en concreto, aislándolo de la humedad. La humedad ambiente puede provocar la meteorización del cemento, es decir, la hidratación de sus partículas más pequeñas, perdiendo su valor hidráulico. Las consecuencias son un retraso en el tiempo de fraguado y una pérdida de resistencia mecánica en particular frente a la compresión. También los áridos deberán almacenarse de tal forma que queden protegidos de la intemperie, en caso contrario, deberán adoptarse las precauciones oportunas para evitar los perjuicios que la elevada temperatura o excesiva humedad pudieran ocasionar.

3. ADITIVOS

Son aditivos, aquellos productos que se incorporan al hormigón fresco con objeto de mejorar alguna de sus características. Existen numerosos aditivos en el mercado, aceleradores, retardadores, plastificantes, aireantes, impermeabilizantes, etc. Para el hormigonado en tiempo frío, se utilizan aceleradores, con lo que se consigue que el hormigón adquiera resistencia rápidamente, contrarrestando el efecto retardador de las bajas temperaturas.

En general, no debe hormigonarse cuando se prevean temperaturas inferiores a los 0°C en las 48 horas siguientes al momento del hormigonado. No obstante, el empleo del cloruro cálcico en dosis comprendidas entre el 1 y 2 %, permite hormigonar aunque se prevean temperaturas de hasta 3°C bajo cero.

Los retardadores son de utilidad en tiempo caluroso para retrasar el fraguado del hormigón.

Los plastificantes suelen retrasar ligeramente el fraguado, sobre todo si se utilizan en dosis elevadas, por lo que debe retrasarse el desencofrado cuando se utilicen en tiempo frío.

Los aireantes ocluyen en la masa del hormigón una gran cantidad de burbujas de aire, con diámetro que van desde 20 a 200 micras, uniformemente repartidas por toda la masa. Estas burbujas interceptan la red capilar del hormigón endurecido, mejorando así su resistencia a las heladas, actuando como cámaras de expansión que compensan el incremento de volumen que tiene lugar al helarse el agua contenida en los capilares.

4. TRANSPORTE

Las condiciones climáticas del lugar en que va a enclavarse la obra son factores básicos, no sólo para determinar la dosificación del hormigón, sino también para el transporte del mismo, dado que la consistencia a pie de obra puede ser bastante diferente de la que presentaba a la salida de la hormigonera, en especial si el transporte es prolongado y en condiciones meteorológicas extremas.

Durante el transporte del hormigón deben adoptarse medidas para evitar la evaporación del agua. En épocas de elevadas temperaturas y fuerte insolación, puede presentar ventajas la utilización de hormigón preparado seco.

5. HORMIGONADO CON BAJAS TEMPERATURAS

En tiempo de heladas, el fraguado y primer endurecimiento del hormigón tiene lugar de forma anormal, debido a la dilatación provocada por la solidificación del agua que contiene, dando lugar a una disminución de la resistencia del mismo.

Lo recomendable es suspender el hormigonado siempre que se prevea que dentro de las 48 horas siguientes puede descender la temperatura por debajo de los 0°C.

En particular, el artículo 17 de la Instrucción EH-91 prohíbe hormigonar directamente sobre o contra superficies de hormigón que hayan sufrido los efectos de la helada, señalando que, en este caso, deberán eliminarse previamente las partes dañadas por el hielo. Análogamente, el artículo 18 de la citada Instrucción prohíbe verter el hormigón sobre elementos (armaduras, moldes, etc.) cuya temperatura sea inferior a 0°C.

El peligro de que se hiele el hormigón fresco es tanto mayor cuanto mayor cantidad de agua lleve, por lo que cuando son de prever heladas, se recomienda emplear hormigones tan secos como sea posible. Igualmente es aconsejable el uso de aireantes.

Si agrupamos las obras en dos tipos, en primer lugar las obras corrientes sin protección especial, y en segundo lugar las protegidas con elementos aislantes, junto a las obras de gran masa, pueden establecerse como temperaturas mínimas previstas dentro de las 48 horas siguientes al hormigonado, por debajo de las cuales no debe efectuarse el mismo, las siguientes:

Cementos	Obras sin protección	Obras protegidas
Portland	0°C	-3°C
Portland y cloruro cálcico	-3°C	-6°C
Portland, cloruro cálcico y agua de amasado caliente	-5°C	-8°C
Cemento siderúrgico o puzolánico	5°C	2°C

Existe también el peligro de heladas en épocas posteriores a la del propio hormigonado. Frente a ellas, el hormigón ya endurecido se comporta como un material pétreo cualquiera siendo su porosidad y su contenido en agua, las causas determinantes de su comportamiento frente a la helada, puesto que al helarse el agua contenida en los capilares, ésta aumenta de volumen, ejerciendo un efecto de cuña que fisura el hormigón. Este efecto será tanto menor cuanto más compacto sea el hormigón. Para evitar estos daños es conveniente el uso de aireantes.

6. HORMIGONADO CON ALTAS TEMPERATURAS

Cuando el hormigonado se efectúe en tiempo caluroso deben adoptarse medidas para impedir la evaporación del agua amasada, especialmente durante el transporte del hormigón, y para reducir, en su caso, la temperatura de la masa. El calor, la falta de humedad y el viento provocan una evaporación rápida del agua, incluso la del hormigón ya compactado, lo que provoca pérdidas de resistencia, fisuras por afogado y aumento de la retracción en las primeras edades.

Una vez colocado el hormigón en obra debe protegerse de la insolación y de la acción del viento mediante cualquier procedimiento que conserve su humedad propia, e incluso aporte nueva humedad. Sin embargo, lo más aconsejable es no hormigonar por encima de los 40°C, e incluso de los 35°C cuando se trate de elementos de gran superficie. En este sentido, el artículo 19 de la Instrucción EH-91, señala que si la temperatura ambiente es superior a 40°C, se suspenderá el hormigonado, salvo que, previa autorización expresa del Director de obra, se adopten medidas especiales, tales como enfriar el agua, enfriar los áridos, etc.

Muy importante es el hecho de que con temperaturas ambiente elevadas será necesario mantener permanentemente húmedas las superficies del hormigón, regándolas continuamente, al menos durante 10 días, si bien el plazo definitivo debe fijarse en función del tipo, clase y categoría del cemento, así como de la temperatura y del grado de humedad del ambiente.

Una vez endurecido el hormigón, las altas temperaturas no tienen ningún efecto directo sobre el mismo por debajo de los 100°C, por lo que la influencia meteorológica nula en este sentido.

En el proyecto de estructuras de hormigón es necesario tener en cuenta los movimientos térmicos debidos a la oscilación térmica, bien para establecer las necesarias juntas de dilatación, bien para tener en cuenta en el cálculo los esfuerzos que aparecen como consecuencia de la dilatación en el caso de que la estructura no tenga libertad de movimiento.

El hormigón tiene una gran inercia térmica, sobre todo en grandes espesores, por lo que las variaciones de la temperatura ambiente se transmiten muy lentamente al interior de la masa, quedando el efecto de la oscilación muy amortiguado a poca distancia de la superficie.

7. FRAGUADO, ENDURECIMIENTO Y CURADO

La temperatura ambiente, influye notablemente en el fraguado, de forma que al pasar de 20 a 40°C, el comienzo del fraguado tiene lugar, aproximadamente, en la mitad del tiempo, mientras que prácticamente se duplica al pasar de 20 a 5°C. Análogamente, la duración del fraguado se reduce casi a la tercera parte en el primer caso mientras que aumenta, hasta triplicarse, en el segundo.

La duración e intensidad del curado del hormigón depende fundamentalmente, de la temperatura y la humedad del ambiente, así como de la acción del viento y la insolación directa.

En condiciones normales, el período de curado mínimo para hormigón con cemento normal y para elementos de hormigón armado, debe ser de siete días, y de quince cuando se utilicen cementos lentos y para elementos de hormigón en masa. Si bien, estos períodos de tiempo deben aumentarse a diez y veintidós días respectivamente, cuando el hormigonado se efectúe en tiempo seco.

En el curado al vapor del hormigón conviene disponer de un termómetro de ambiente, tanto para controlar el final del enfriamiento en la última etapa del proceso, evitando en lo posible cualquier choque térmico, como para conocer el período de fraguado, que no debe bajar de cuatro horas cuando se hormigona a 20°C, pudiendo reducirse este tiempo a medida que aumenta la temperatura.

8. DESENCOFRADO

La presión del hormigón fresco sobre el encofrado de los soportes es función, entre otras variables de la temperatura ambiente.

El período de desencofrado de fondos y apeos depende de la temperatura media diaria según se indica en la siguiente tabla:

T. ^a	Sobrecarga prevista / Carga permanente (al desencofrar)		
	0	0,5	1
5°C	56 días	28 días	17 días
10°C	42 días	21 días	14 días
15°C	35 días	17 días	12 días
20°C	28 días	14 días	10 días

9. ACCIONES METEOROLÓGICAS A CONSIDERAR PARA EL CÁLCULO

En el apartado «Acciones adoptadas para el cálculo» que figura en la memoria de todo proyecto encaminado a efectuar cualquier tipo de construcción, deben tenerse en cuenta, desde un punto de vista meteorológico, las siguientes:

1. Acción gravitatoria de la nieve en las cubiertas.
2. Acción del viento.
3. Acción térmica.

En este sentido la norma MV 101-1962 establece lo siguiente:

9.1. Acción gravitatoria de la nieve en las cubiertas

9.1.1. *Sobrecarga de nieve.* La sobrecarga en una superficie de cubierta es el peso de la nieve que, en las condiciones climáticas más desfavorables, puede acumularse sobre ella

9.1.2. *Peso específico aparente de la nieve.* Resulta ser muy variable según las circunstancias, pero pueden servir como orientación los siguientes valores

Tipo de Nieve	Peso específico (kg/m ³)
Nieve recién caída.....	120
Nieve prensada o empapada.....	200
Nieve mezclada con granizo.....	400

9.1.3. *Sobrecarga sobre superficie horizontal.* La sobrecarga de nieve sobre una superficie horizontal se supone uniformemente repartida, y su valor en cada localidad puede fijarse con los datos climáticos locales cuando existan. Cuando no existan datos, el valor de la sobrecarga en función de la altitud topográfica de la localidad será el que aparece en la siguiente tabla:

Altitud topográfica (metros)	Sobrecarga de nieve (kg/m ²)
Desde 0 a 200	40
Desde 201 a 400	50
Desde 401 a 600	60
Desde 601, a 800	80
Desde 801 a 1.000	100
Desde 1.001 a 1.200	120
altura > 1.200	altura / 10

9.1.4. *Sobrecarga sobre superficie inclinada.* La sobrecarga de nieve sobre una superficie de cubierta que forme un ángulo α con el plano horizontal, que no ofrezca impedimento al deslizamiento de la nieve, tendrá por metro cuadrado una proyección horizontal el valor $p \cdot \cos \alpha$, para ángulos de hasta 60° , considerándose nula para ángulos superiores y siendo p el valor de la sobrecarga sobre superficie horizontal

9.2. Acciones del viento

9.2.1. *Dirección del viento.* Se admite que el viento, en general, actúa horizontalmente y en cualquier dirección. Se considerará en cada caso la dirección o direcciones que produzcan las acciones más desfavorables

9.2.2. *Presión dinámica del viento.* El viento con velocidad v , produce una presión dinámica w , medida en kg/m^2 , en los puntos donde su velocidad se anula, de valor $w = v^2/16$, con v en m/s .

9.2.3. *Sobrecarga del viento sobre un elemento superficial.* El viento produce sobre cada elemento superficial de una construcción, tanto orientado a barlovento como a sotavento, una sobrecarga unitaria p (kg/m^2) en la dirección de su normal, positiva (presión) o negativa (succión), de valor dado por la expresión $p = c \cdot w$, siendo w la presión dinámica del viento y c el coeficiente eólico (habitualmente tabulado), positivo para presión y negativo para succión; que depende de la configuración de la construcción, de la posición del elemento y del ángulo α de incidencia del viento con el plano de la superficie, o con el plano tangente en el caso de superficies curvas.

9.3. Acciones térmicas

Las acciones producidas por las deformaciones debidas a las variaciones de temperatura, deben tenerse en cuenta en las estructuras hiperestáticas, muy especialmente en los arcos, bóvedas, o en estructuras semejantes. Pueden no considerarse las acciones térmicas en las estructuras formadas por pilares y vigas, cuando se disponen juntas de dilatación a distancias adecuadas.

10. Caso práctico referido a las heladas en Extremadura

Una helada imprevista puede ocasionar graves daños a la obra, por el contrario su previsión permite programar con antelación el trabajo, orientándolo hacia aquellas actividades que no se vean perjudicadas por la helada.

A título orientativo, puede señalarse que si la temperatura registrada a las 9 horas de la mañana, hora solar, es igual o inferior a 4°C , es probable que se produzcan temperaturas iguales o inferiores a 0°C en las 48 horas siguientes.

Para comprobar hasta qué punto puede ser fiable esta norma orientativa aplicada a Extremadura, se ha estudiado un periodo de 18 años (1973-92) con datos del Observatorio Principal de Cáceres y un periodo de 13 años (1973-85) con datos del Observatorio Principal de Badajoz, habiéndose obtenido los siguientes resultados:

Número de días	Cáceres 73-90	Badajoz 73-85
Con $T.^a \leq 4^{\circ}\text{C}$ (a 09,00 horas TMG)	391	522
Que SI heló en las 48 horas siguientes	116	309
Que NO heló en las 48 horas siguientes	275	213

Es decir, se cumplió la predicción de helada, en Badajoz en un 59 % de los casos y en Cáceres en un 30 %, y se falló en Badajoz en un 41 % de los casos y en Cáceres en un 70 %.

Este elevado porcentaje de error (70 %) que se encuentra al estudiar los datos de Cáceres, es debido al pequeño número de días de helada que se registra en este Observatorio, como consecuencia de haber estado instalado, hasta el año 1983, dentro del casco urbano de la población, y por lo tanto bastante protegido de las heladas que hubieran podido tener lugar en el entorno.

Por otra parte:

Número de días de helada	Cáceres 73-90	Badajoz 73-85
En el período	131	320
previstos	98	279
no previstos	33	41

Es decir, el 87 % y el 75 % de las heladas que se produjeron en Badajoz y Cáceres respectivamente, fueron previstas por el método propuesto, y únicamente un 13 % en Badajoz y un 25 % en Cáceres no fueron previstas.

Por consiguiente, se llega a la conclusión de que el método presenta como aspecto positivo un elevado porcentaje en heladas previstas (87 % en Badajoz y 75 % en Cáceres) y como aspecto negativo el hecho de que en un 41 % en Badajoz y en un 70 % en Cáceres, del número total de días en que estaba prevista a la helada, ésta no se produjo, lo que hubiera podido dar lugar a retrasos innecesarios. No obstante, analizado globalmente el tema, y siempre del lado de la seguridad, el método parece que puede considerarse como eficaz.

Adolfo Marroquín Santoña
Marcelino Núñez Corchero
C.M.T. de Extremadura