

TRATAMIENTOS TERMICOS DEL HORMIGON

J. CALLEJA

DOCTOR EN CIENCIAS QUIMICAS

El auge, cada vez más notorio, de las industrias de elementos prefabricados de hormigón, hace que, de día en día, crezca el interés de los fabricantes por los aspectos relativos a los tratamientos térmicos de los aglomerados de cemento portland.

La bibliografía tanto doctrinal como puramente técnica, es muy abundante, sobre todo en aquellos países en que tiene solera y amplitud este tipo de industria, relativamente muy reciente.

El buen número de consultas hechas al Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento en el curso de los últimos años, tanto por parte de empresas y entidades como de particulares, nos mueve a publicar esta breve nota que, recogiendo muy concisamente y de manera muy general los puntos más destacados de la literatura técnica al respecto, refleja también, en sustancia, la esencia de lo aportado a dichas consultas por la Sección de Físicoquímica.

Sirva también esta nota como anuncio de un manual, amplio y detallado que, sobre el mismo tema y tal vez con el mismo título, posiblemente publicará el Instituto en un próximo futuro.

Las altas temperaturas aceleran los procesos físico-químicos de fraguado y endurecimiento de los aglomerantes hidráulicos, con las consiguientes ventajas técnicas y económicas en la prefabricación: aumento de producción; ahorro de moldes y mayor rendimientos de éstos al poder desencofrar en mucho menos tiempo; ahorro de espacio dedicado al almacenaje; posibilidad de utilización más inmediata de las piezas, etc.

Es de advertir que, en general, en los tratamientos térmicos usuales en la industria del hormigón prefabricado se obtienen los mismos productos de hidratación que en los procesos normales de curado a la temperatura ordinaria. La acción de las elevadas temperaturas es, pues, meramente aceleradora (1).

La aplicación de calor al hormigón para acelerar su fraguado y endurecimiento ha de ir siempre acompañada de la presencia de humedad en cantidad suficiente para que los

procesos se desarrollen de manera normal, evitándose tensiones, agrietamientos, desecaciones por excesiva evaporación y otros efectos nocivos.

En cuanto a los métodos de aplicación de calor, son muy variados, siendo todos ellos técnicamente equivalentes, siempre que se lleven a cabo, en cada caso, en las debidas condiciones. No resultan en cambio, equivalentes desde el punto de vista económico, factor éste que depende de circunstancias diversas y que debe estudiarse en cada situación particular.

Puede aplicarse calor y humedad mediante vapor libre o a presión (autoclaves), o mediante inmersión de las piezas en agua caliente. Puede calentarse también eléctricamente (por efecto Joule) (2), mediante radiaciones infrarrojas, por métodos dieléctricos, etc.

Como resumen y compendio breve de las conclusiones más salientes de todos los trabajos sobre curado térmico, consultados por la Sección de Fisiología, puede indicarse lo que sigue a continuación con referencia concreta a los métodos que utilizan el vapor libre como aportador simultáneo de calor y humedad.

En primer lugar, los tratamientos térmicos con vapor libre deben aplicarse a cementos portland, no siendo aconsejables su aplicación a cementos aluminosos, o de fraguado rápido, o supersulfatados.

En todo caso debe evitarse la condensación del vapor, en forma de gotas, sobre las caras superiores de las piezas.

Tomando como índice de calidad del producto resultante la resistencia mecánica, comparada con la obtenida por un curado normal, son varios los factores a considerar en relación con el coste y la producción. Los más importantes de estos factores son:

a) Tiempo que media entre el amasado y amoldado del hormigón y el comienzo de la aplicación del tratamiento térmico.

b) Velocidad de calefacción desde el comienzo del tratamiento hasta alcanzar una temperatura máxima.

c) Valor de la temperatura máxima alcanzada.

d) Tiempo de permanencia del hormigón a la temperatura máxima.

e) Velocidad de enfriamiento desde el final de la permanencia de las piezas a la máxima temperatura, hasta que alcanzan la temperatura ambiente, o hasta que salen de la cámara de curado.

Cuanto mayor es la velocidad de calefacción, tanto mayores son las resistencias iniciales y tanto más pronto puede desencofrarse. No obstante, las resistencias a plazos más largos (7 a 28 días) pueden llegar a bajar bastante en relación con las de un curado normal a veces de un 30 a un 50%. Hay, pues, en cada caso, un límite en la velocidad de calefacción, el cual no se puede sobrepasar sin peligro de que las resistencias a largo plazo bajen en porcentajes notables con relación a las que daría un curado normal. Hasta qué punto puede sacrificarse la resistencia mecánica a plazos medianos y largos en beneficio de un tratamiento más rápido y de una mayor producción de elementos, es cuestión a estudiar en cada caso particular, sin que sea posible establecer normas generales.

En el caso del hormigón armado o pretensado, tampoco es conveniente una calefacción demasiado rápida, pues perjudica la adherencia entre el hormigón y las armaduras.

En cuanto al tiempo que media entre el amasado y el comienzo de la aplicación del vapor, puede ser nulo o dársele valores que puedan llegar hasta el final del fraguado. Normalmente se adopta una posición intermedia. Cuanto mayor es este período previo al tratamiento, tanto más admisibles son las velocidades mayores de calefacción, ya dentro del tratamiento, y las mayores temperaturas máximas alcanzadas en el mismo, para unas resistencias finales dadas, o que no bajen de un cierto porcentaje dado con relación a las del curado normal. También en este aspecto juegan el tiempo (o en definitiva la producción) y las resistencias a plazo mode-

rado y largo. Como siempre, cada caso exige su solución particular, dada por la experiencia.

La temperatura máxima de tratamiento puede llegar a las proximidades de los 100°C o quedar entre los 50-60°C, siendo bastante normales y frecuentes los valores comprendidos entre 70 y 80°C.

El tiempo de permanencia a la máxima temperatura favorece, en general, las resistencias mecánicas a largo plazo, teniendo como límite el impuesto por las consideraciones económicas (producción y coste), a estudiar en cada caso.

Lo mismo que la velocidad de calefacción, la de enfriamiento debe ser gradual, evitándose los choques térmicos lo mismo que las variaciones bruscas de humedad. El valor máximo de la velocidad de enfriamiento, será función de los factores económicos y de las características mecánicas de las piezas a obtener.

A continuación, se da un cuadro con las cifras correspondientes a distintos tratamientos tomados al azar de la bibliografía. A fin de poder fijar algunas cifras, se hacen ciertas hipótesis que se señalan en las observaciones del cuadro. Este corresponde a tratamientos que pudieran llamarse continuos.

La duración total de cada proceso sería, en realidad, de 24 horas, es decir, una jornada completa, invirtiéndose las 5 horas restantes en preparar las cámaras de curado, desmoldar, amasar y enmoldar, así como en otras operaciones accesorias.

Se insiste en que la eficacia de un determinado proceso ha de determinarse experimentalmente en cada caso particular, tomando como base las resistencias mecánicas de las piezas a corto, mediano y largo plazo, en comparación con las que resultarían de un curado normal. En todo caso, hay que jugar con la calidad del producto, por una parte, y la producción y economía, por otra.

Existen, además de los citados, otros tratamientos que pudieran llamarse discontinuos o

CURADO	PROCESOS							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Tratamientos térmicos mediante vapor libre. Períodos y datos referentes a los mismos								
1 Período preliminar (duración en horas)	0	2	2	0	0	0	2	2
2 Variación de temperatura durante 1) (en °C)	0	20-27	0	0	0	0	0	0
3 Velocidad de calentamiento en 1) (en °C/hora)	0	3.5	0	0	0	0	0	0
4 Período de calefacción (duración en horas)	3	1½	4	4	4	4	3	3
5 Período de calefacción (durante 4) (en °C)	20-74	27-76	20-93	20-74	20-76.5	20-82	20-82	20-93
6 Velocidad de calefacción en 4) (en °C/hora)	18	32	18	13.5	14	15.5	21	24
7 Temperatura máxima alcanzada (en °C)	74	76	93	74	76.5	82	82	93
8 Período de máxima temperatura (duración en horas)	1	0	5-6	12	14½	14	1	16
9 Período de enfriamiento duración en horas)	8	5	6		4	6	12	3
10 Variación de temperatura durante 9) (en °C)	3							
11 Velocidad de enfriamientos en 9) (en °C/horas)	74-20	76-55	93-20					
12 Temperatura final (en °C)	18	4	12	enfriamiento espontáneo		enfriamiento espontáneo en la cámara.		enfriamiento y secado en corriente de aire.
13 Duración total del proceso (en horas)	20	55	20					

intermitentes, de los que son buenos ejemplos los que se citan a continuación:		Segundo período de enfriamiento, de 71 a 57°C	1-1¼ horas
Período preliminar	0 horas	Tercer período de calefacción, de 57 a 95°C	40 min
Primer período de calefacción, de 20 a 57-60°C	10-15 min.	Período de máxima temperatura, a 95°C	1 hora
Primer período de enfriamiento de 57-60 a 43°C	1 hora	Tercer período de enfriamiento, desde 95°C hasta abrir la cámara de curado	3 hora
Segundo período de calefacción, de 43 a 71°C	½ hora	Duración total del proceso	7½ hora

Período preliminar	0 horas	caso particular, pueden aceptarse, en principio, las siguientes:	
Primer período de calefacción, de 20 a 50°C	2 horas	Duración del período preliminar	2 horas
Segundo período de calefacción, de 50 a 100°C	4 horas	Variación de temperatura en el período preliminar	0°C
Velocidad de calefacción en el primer período	15°C/hora	Velocidad de calentamiento en el período preliminar	0°C
Velocidad de calefacción en el segundo período	12,5°C/hora.	Duración del período de calefacción	3 horas
		Variación de calefacción en dicho período	20°C/hora
		Temperatura máxima alcanzada	80°C.
		Duración del período de máxima temperatura	8 horas
		Duración del período de enfriamiento	6 horas
		Variación de temperatura en el período de enfriamiento	80-20°C.
		Velocidad de enfriamiento en dicho período	10°C/hora
		Temperatura inicial y final	20°C.
		Duración total de proceso	19 horas

En cuanto a los métodos químicos de activar el fraguado y endurecimiento de los aglomerantes hidráulicos, mediante el empleo de sustancias aceleradoras, no son equivalentes ni tan activos como los métodos físicos (térmicos) citados, pero pueden coadyuvar con éstos al acortamiento de los distintos períodos de los tratamientos y, en definitiva, al mejor rendimiento de los mismos.

El más conocido y empleado de todos los aceleradores de fraguado y endurecimiento es el cloruro cálcico. Respecto de las condiciones de su empleo, el I.T.C.C. ha publicado recientemente un manual (3), así como un trabajo experimental relativo al empleo de dicho producto en la prefabricación de hormigón armado (4).

Es también propósito del Instituto editar, a la mayor brevedad posible, otro manual más general sobre el empleo de adiciones para el cemento y hormigón.

OBSERVACIONES:

Secado posterior al enfriamiento, consiste en un tratamiento durante 3 horas con aire seco y caliente.

Se supone que la calefacción y el enfriamiento son uniformes.

Salvo indicación en contrario, se admite que la temperatura inicial y final es de 20°C.

Si se trata de obtener cifras medias de las correspondientes a los procesos A-H, a fin de fijar un tratamiento que, a base de la experiencia acumulada, sirva de punto de partida para ensayos y tanteos prácticos en un

- 1) Calleja, J.: ULTIMOS AVANCES EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, Boletín del I.T.C.C., núm. 32, pág. 20-40, 1952; REVISTA DE CIENCIA APLICADA, núm. 29, año VI, fasc. 6, págs. 516, nov.-dic. 1952.
- 2) Calleja, J.: ULTIMOS AVANCES EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, Boletín del I.T.C.C., núm. 41, págs. 5-33, 1953; REVISTA DE CIENCIA APLICADA, núm. 35, año VII fasc. 6, págs. 494-505, nov.-dic. 1953; ZEMENT-KALK-GIPS, Vol. 6/42, núm. 8, págs. 282-290, agosto 1953.
- 3) Calleja, J.: "EL CLORURO CÁLCICO COMO ACELERADOR EN LA PRE-FABRICACION DEL HORMIGÓN".
- 4) Calleja, J.: "EL CLORURO CÁLCICO EN LA CONSTRUCCIÓN". (Manuales y Normas del I.T.C.C., 1957. ULTIMOS AVANCES EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, núms. 85 y 86 (en prensa); Monografía núm. 185 del I.T.C.C., (en prensa). De "MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN ULTIMOS AVANCES", Nº 85, enero-febrero 1958. Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. Madrid - España.