

680 - 39

## **influencia de los retardadores de fraguado sobre la retracción del hormigón**

**Ch. LALEMAN**

La retracción del hormigón después de su fraguado es una de las causas más frecuentes de aparición de anomalías. Las tensiones internas que se manifiestan en el hormigón durante la retracción, son las principales causas de su fisuración. Estas fisuras son, en general, muy finas y, por tanto, difíciles de corregir, y pueden dar lugar a:

- fugas a través de la masa del hormigón;
- pérdida de resistencias mecánicas;
- riesgo de corrosión de las armaduras o de los cables en el caso de hormigón pretensado.

La retracción puede aminorarse por diferentes métodos:

- confeccionando el hormigón sin exceso de agua y con áridos que posean la menor cantidad posible de finos;
- tomando precauciones para evitar un calentamiento perjudicial del hormigón (puesta en obra por capas de pequeño espesor) y procurando que el sol no caliente excesivamente a la masa;
- tomando precauciones para evitar una excesiva evaporación del agua de amasado, durante el fraguado (toldos, regado, etc.);
- mediante el empleo de aditivos.

Entre los posibles aditivos, es normal pensar en aquellos que disminuyen el módulo de elasticidad del hormigón sin modificar sus características mecánicas. El hormigón más elástico podrá soportar sin fisuración las tensiones de retracción. Así resulta que la adición de un 5 a un 10 % de acrilato de polivinilo, al hacer cinco veces más pequeño el módulo de elasticidad del hormigón, impide su fisuración.

Es curioso también, cómo ciertos retardadores de fraguado actúan disminuyendo considerablemente la retracción del hormigón.

Es sabido que la retracción del hormigón obedece a dos tipos principales: retracción hidráulica y retracción térmica.

## RETRACCION HIDRAULICA

Los hormigones se dosifican, en general, con relaciones agua/cemento del orden de 0,4 a 0,6, a pesar de que la relación necesaria para hidratar el cemento sea de 0,3 aproximadamente. Este exceso de agua sobre la de hidratación se elimina poco a poco después del fraguado, dando lugar a una disminución de volumen que será la causante de la fisuración. La adición al hormigón de un retardador de fraguado que al mismo tiempo sea plastificante, permite al disminuir la relación agua/cemento en un 20 % como mínimo, y a igualdad de consistencia, limitar esta pérdida de agua y por consiguiente la retracción.

## RETRACCION TERMICA

Todos los hormigones se calientan durante el fraguado. La elevación de temperatura que se produce da lugar a una dilatación del hormigón durante el fraguado, dilatación que no es perjudicial debido a que el hormigón es en este primer estado deformable. Acto seguido, el hormigón empieza a enfriarse hasta la temperatura ambiente y por consiguiente se produce una retracción. Esta retracción es grave debido a que ocurre en el momento en que el hormigón ha dejado de ser deformable, existiendo por consiguiente peligro de fisuración, máxime si tenemos en cuenta que el hormigón es incapaz de soportar las tensiones de retracción debido a la carencia de capacidad resistente.

El calentamiento durante y después del fraguado es función de tres factores: dosificación de cemento, naturaleza de los constituyentes químicos del cemento y finura de molido del mismo.

La influencia del primero es evidente: cuanto mayor sea la cantidad de cemento en el hormigón, tanto mayor será el calentamiento.

La influencia de los constituyentes químicos del cemento es igualmente preponderante, permitiendo explicar la diferente retracción térmica de hormigones dosificados con la misma relación agua/cemento, pero preparados con cementos diferentes. Así, tomando valores extremos, vemos que el silicato bicálcico desprende 62 cal/g, mientras que el aluminato tricálcico da 207 cal/gramo.

Por último, en un mismo cemento se observan notables diferencias según sea su grado de molido. El calentamiento y, por consiguiente, la retracción, son tanto más importantes cuanto el cemento está más molido.

Si se caracteriza la finura por el diámetro medio de los granos de cemento ( $d_{50}$ ), se encuentran los calores de hidratación siguientes expresados en cal/g:

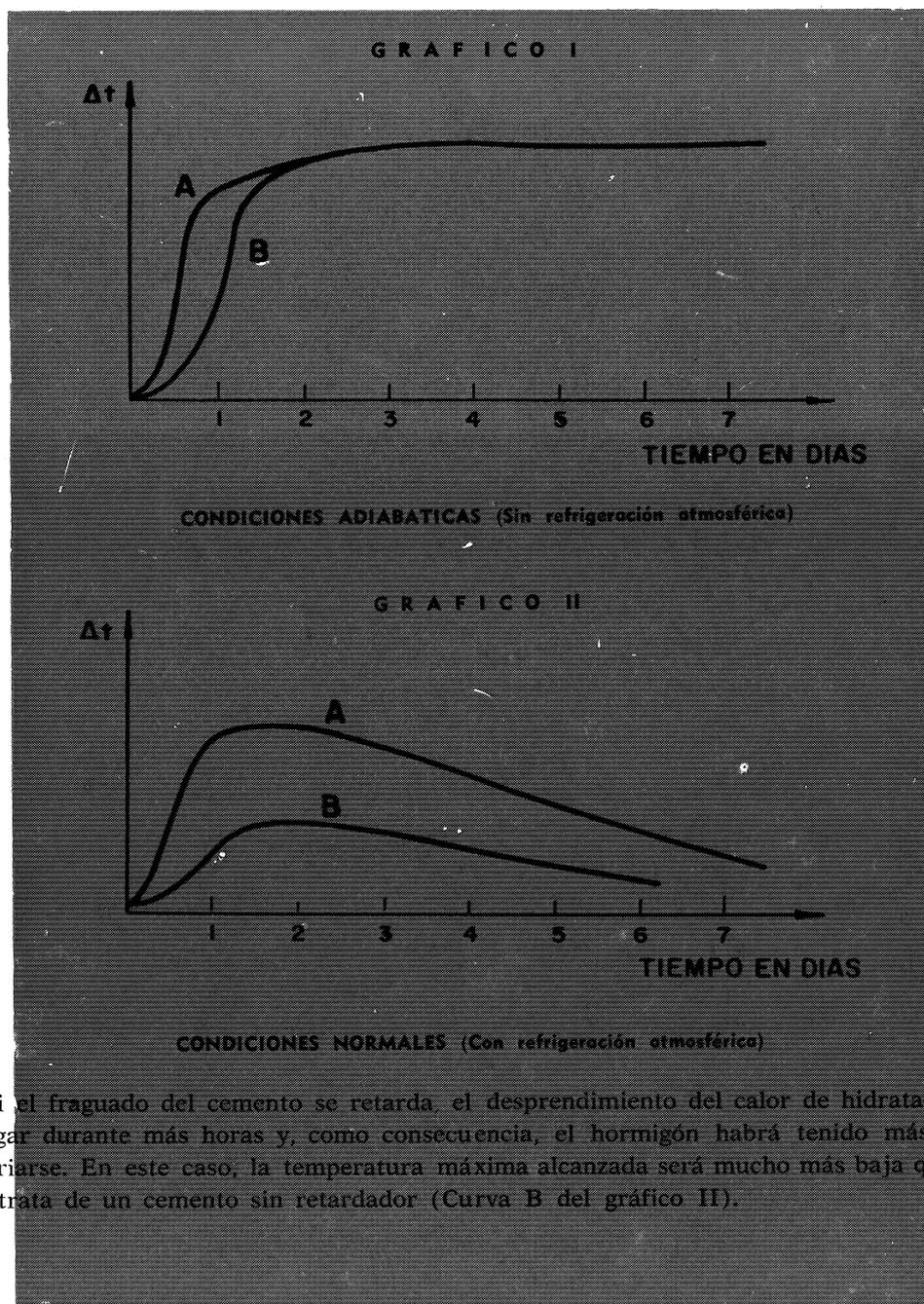
$d_{50}$ (micras)	Calor de hidratación a los 7 días (cal/g)
15	73
4	65
30	42
100	34
200	18

Estos valores expuestos, son los dados por Venuat y Papadakis, en "Control y Ensayos de Cementos, Morteros y Hormigones".

En pura teoría, la adición al cemento de un producto que modifica el tiempo de fraguado, sea acelerador o retardador, no puede cambiar la cuantía del calor de hidratación del cemento, pues ésta corresponde a una reacción química bien definida y, por consiguiente, es independiente de la velocidad con que se lleve a cabo.

Por tanto, si efectuamos las medidas en un calorímetro adiabático o en una botella aislante, tendremos la relación  $T = f(t)$  dada en el gráfico I.

En la práctica, las cosas ocurren de forma diferente, puesto que el hormigón no está encerrado en un recipiente adiabático y, por tanto, al mismo tiempo que se eleva la temperatura por la hidratación del cemento se producirá una pérdida de calor debido a la diferencia de temperatura con el exterior. Para un cemento normal sin aditivos tendremos, por consiguiente, la relación dada en la curva A del gráfico II.



Si el fraguado del cemento se retarda el desprendimiento del calor de hidratación tendrá lugar durante más horas y, como consecuencia, el hormigón habrá tenido más tiempo de enfriarse. En este caso, la temperatura máxima alcanzada será mucho más baja que cuando se trata de un cemento sin retardador (Curva B del gráfico II).

## CALENTAMIENTO DE LOS HORMIGONES

Se concibe, por tanto, que la retracción sea mucho menor en un cemento fraguado con retardador que en uno fraguado sin él.

En un «ensayo de retracción sobre nitrato» efectuado en el Laboratorio de los Cementos Lafarge, se ha encontrado que la retracción de un cemento CLK, y de un cemento CPAC, es, a los 3 días, tres veces más pequeña que cuando se le adiciona el retardador de fraguado SUNLAN R2 de la Casa SUNLITH.

## CASO PARTICULAR DE LOS CEMENTOS ALUMINOSOS

Los cementos aluminosos presentan frente a los silico-calcáreos numerosas ventajas, tales como: resistencias iniciales mucho más elevadas, endurecimiento final que se alcanza en menos de 1 día, insensibilidad a la mayor parte de las aguas agresivas, etc.

Por el contrario, presentan dos graves inconvenientes, que son: un principio de rigidización y de fraguado demasiado corto para la mayoría de las aplicaciones, y un calentamiento importante que puede dar lugar no sólo a fisuras considerables, sino también a una degradación total. Estos dos inconvenientes pueden corregirse fácilmente mediante el empleo de un retardador especial, ya que hay que tener en cuenta que los cementos aluminosos son poco compatibles con la mayoría de los aditivos.

Mediante el empleo de cantidades pequeñas de retardador, del orden del 0,3 %, pueden conseguirse principios de fraguado que sobrepasen las 8 horas, permitiendo toda clase de hormigonados largos.

Este retraso en el fraguado no afecta en absoluto a las resistencias iniciales y finales, dándose el caso de un hormigón confeccionado con cemento aluminoso y retardador que a las 24 horas del fraguado alcanza una resistencia superior a 600 kg/cm<sup>2</sup>, resistencia que sigue creciendo hasta alcanzar y sobrepasar a los 3 meses la del hormigón confeccionado con el mismo cemento pero sin aditivo.

Como consecuencia de este retraso en el fraguado, el calentamiento y, por consiguiente, la fisuración y la disgregación, se limitan en gran cuantía, tal como puede verse en los cuadros de los valores encontrados en el Laboratorio Central de Cementos Lafarge, trabajando con el retardador de fraguado SUNLAN R2, que se dan en el cuadro número 1.

Las medidas de las temperaturas han sido efectuadas mediante termómetros de mercurio hundidos en la tres probetas de 20 × 20 × 20 cm preparadas para el ensayo.

El fraguado y endurecimiento del hormigón se han efectuado al aire libre sin tomar ninguna precaución especial.

**CUADRO N.º 1**  
**TEMPERATURAS DURANTE EL ENDURECIMIENTO (°C)**

% de SUNLAN R2	Tiempo de endurecimiento (horas)															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	20	24	28	34	38	43	48	50	46	44	42	40	30	28	26	24
0,3	20	22	23	25	27	28	30	33	33	34	32	30	28	26	24	24
0,6	20	21	22	24	26	27	27	28	30	32	33	34	30	28	26	24

La temperatura máxima alcanzada con el hormigón sin aditivo es de 50° C a las 7 horas después del amasado, mientras que el máximo no pasa de 34° C con un 0,3 % de aditivo y a las 9 horas del amasado, es decir, hay una diferencia de temperatura de 16° C. Vemos, por consiguiente, que la adición del retardador al cemento aluminoso atenúa el calentamiento que se produce al principio del endurecimiento.

Con respecto a las resistencias, los Laboratorios de Cementos Lafarge dan los valores que figuran en el cuadro número 2.

**CUADRO N.º 2**  
**RESISTENCIAS EN FUNCION DEL CONTENIDO DE RETARDADOR**

% de SUNLAN R2	Fraguado en pasta pura		Hormigón Faury de 450 kg/m <sup>3</sup>								
			Consistencia. Asiento Flow Test	Relación s/c	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )						
	Flexión				Compresión						
	1 día	7 días			28 días	1 día	7 días	28 días	90 días		
0	2h 05	2h 40	1,62	0,4	30	33	41	695	785	940	940
0,3	8h 30	11h 30	1,62	0,39	26	36,5	40	625	780	885	955
0,6	15h 00	21h 00	1,62	0,39	27	32	39	570	755	835	920

Las conclusiones a que han llegado después de estos ensayos los Laboratorios de Cementos Lafarge, son de que el retardador estudiado es un aditivo muy interesante para el fraguado del cemento aluminoso, debido a su propiedad de retardador de fraguado y plastificante, esperando que, gracias a esta adición, puedan encontrarse nuevas posibilidades en el desarrollo de los cementos aluminosos, puesto que los dos únicos reproches que se le hacen a este tipo de cemento, como son el tiempo de fraguado demasiado corto y el calentamiento excesivo, desaparecen y, con ellos, los peligros de retracción.

#### **OBSERVACIONES SOBRE LAS RESISTENCIAS**

Según el tipo de cemento, a igualdad de consistencia, la adición de retardadores, como el estudiado, permite un aumento de un 20 a un 40 % de resistencias. Esto se consigue, entre otras razones, debido al efecto plastificante del aditivo, que permite disminuir la relación agua/cemento en un 20 % como mínimo.

Se ha comprobado igualmente que a relación agua/cemento constante, las resistencias aumentan al emplear el aditivo. Este punto que puede sorprender al principio, se justifica mediante el estudio realizado por W. LERCH y que aparece publicado en el Boletín de la «Portland Cement Association» de 1955, en el que demuestra que una elevación de temperatura de 15° F (6,7 °C) reduce casi en un 10 % la resistencia mecánica del hormigón. El retardador al limitar el calentamiento del hormigón durante el fraguado, puede, por tanto, asegurar un aumento en las resistencias, aún cuando se mantenga constante la relación agua/cemento. De aquí, el que con dosis tan pequeñas de retardador, como es el 0,1 %, se puedan conseguir aumentos sensibles en las resistencias.