

EFFECTOS DE LOS ADITIVOS EN EL HORMIGON UTILIZADO EN LA CONSTRUCCION DE GRANDES PRESAS. INFLUENCIA SOBRE EL CALOR DE HIDRATACION DEL CEMENTO (*)

Por JUAN A. HERNANDEZ RUBIO Y M.

Se publica a continuación el trabajo galardonado con el primer premio HALESA, otorgado al alumno de 5.º año de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, D. Juan A. Hernández Rubio.

En el próximo número publicaremos el correspondiente al segundo premio.

INTRODUCCION

La definición general y generalizada de aditivo es la de un producto cuya finalidad es modificar en sentido favorable (o conferir en su caso) propiedades para el mejor comportamiento del hormigón, fresco o endurecido, en las condiciones particulares de servicio del material en cada circunstancia.

El aditivo se añade al hormigón en el momento del amasado, de forma aislada o bien unido a alguno de los tres componentes tradicionales del hormigón: cemento, agua y áridos.

Es interesante considerar que un aditivo rara vez ejerce una sola acción. Puede, y es el caso general, tener una acción principal específica, pero junto a ésta siempre aparecen acciones secundarias, unas favorables al comportamiento general del hormigón y otras no. La razón evidente de este resultado es el hecho de que todas o casi todas las propiedades y parámetros del hormigón están íntimamente relacionados entre sí de una forma u otra. Así, por ejemplo, ocurre con la relación agua-cemento, la resistencia mecánica, la retracción y la fisuración, la permeabilidad, la durabilidad, la trabajabilidad, etc. Por consiguiente, un solo aditivo puede influir en muy diversos aspectos del hormigón, y así sucede casi siempre.

El objetivo a conseguir en la tecnología de los aditivos es que éstos influyan en el mayor número posible de propiedades del hormigón, de forma favorable y al máximo. Por otra parte, el que la variación de una característica tenga un sentido favorable o adverso no admite una formulación de tipo general, sino que viene definida por las condiciones particulares requeridas al hormigón en cada circunstancia.

Ahora bien, cuando hablamos de hormigón nos referimos al material de construcción que ha sido cuidadosamente estudiado, es decir, que esté formado por unos áridos convenientemente dosificados según la función que el

hormigón va a realizar, por un cemento adecuado tanto en calidad como en cantidad, por un agua que reúna los requisitos necesarios para poder servir como componente de un hormigón y, por último, que el hormigón tenga una consistencia que se corresponda con los medios de compactación y colocación de que se disponga. Es preciso, además, que los ingredientes (áridos, cemento y agua) hayan sido cuidadosamente controlados y medidos, ya que en el caso contrario, es decir, cuando el hormigón se utiliza sin estudio o sin cuidado o sin ambas cosas a la vez, los aditivos sobran, ya que son incapaces de transformar en bueno un hormigón malo.

TIPOS DE ADITIVOS PARA EMPLEO EN EL HORMIGON EN MASA DE GRANDES PRESAS

Los tipos de aditivos básicos normalmente utilizados en la construcción de grandes presas son:

1. Aireantes.
2. Plastificantes.

Ya que ellos modifican principalmente las cualidades más buscadas en el hormigón, que con este fin se utiliza aun cuando otros aditivos específicos pueden emplearse, normalmente combinados con éstos, con el objeto de accentuar algún aspecto parcial (impermeabilizantes, anticongelantes, retardadores y aceleradores, etc.).

AIREANTES

Los aireantes son sustancias orgánicas de moléculas más o menos complejas: jabones de ácidos resinosos, hidrocarburos sulfónicos, derivados de ácidos hidroxicarbosilicos, algunos jabones de ácidos grasos, etc. Estas sustancias son tensoactivas y sus cadenas orgánicas terminan en un grupo polar aniónico. La absorción de la molécula del agente tensoactivo por el grano de cemento o la arena se realiza por el grupo polar aniónico, en tanto que la cadena orgánica engloba y fija pequeñas burbujas de

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de octubre de 1971.

aire. El resultado es que el grano de cemento se torna hidrófobo al estar rodeado exteriormente por cadenas orgánicas hidrocarburadas y las partículas quedan rodeadas por pequeñas burbujas de aire de diámetro comprendido entre 0,075 y 1,5 mm.

EFFECTO DE LOS AIREANTES

El empleo de un agente aireante modifica ventajosamente las siguientes propiedades del hormigón:

a) *Aumento de la plasticidad.* — Las minúsculas esferillas de aire diseminadas en el hormigón actúan a la manera de un lubricante ideal, y con ello la plasticidad del hormigón se incrementa de un modo muy notable. Con ello se consigue que el hormigón no pierda su homogeneidad en las operaciones de transporte y vertido y se elimina la exudación una vez colocado en el bloque.

b) *Reducción del agua de amasado.* — Como consecuencia del aumento de plasticidad es posible obtener una consistencia y asiento dados con una proporción de agua menor en un hormigón con aireante en comparación con un hormigón sin él.

El gráfico 1 indica la variación del agua de amasado necesario para fabricar un hormigón de una cierta plasticidad y relación de agua-cemento, según el tanto por ciento de aire incluido.

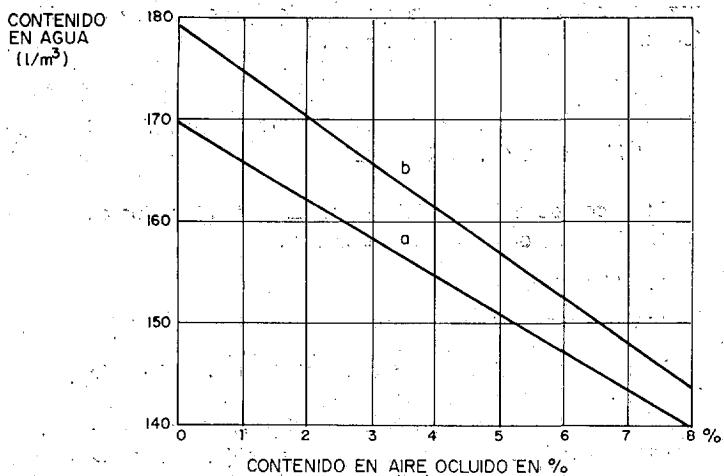


Gráfico 1.

La recta (a) corresponde a áridos naturales y la (b) a áridos de machaqueo. Se observa que la reducción de agua es mayor en el caso de áridos de machaqueo, que son los utilizados más frecuentemente en la construcción de grandes presas.

Esta disminución del agua de amasado, aparte de los efectos que trae como consecuencia con relación al calor de hidratación y que analizaremos posteriormente, conduce a:

c) *Aumento de la impermeabilidad.* — Ya que al disminuir el agua de amasado se reduce el volumen de la red

capilar después de fraguado y endurecido el hormigón, reduciéndose en consecuencia su higroscopicidad. Además, por la mayor trabajabilidad del hormigón, se evita la formación de coqueras, con lo que se suprime una de las causas más corrientes de filtraciones a través de los bloques.

Por otra parte, al ser utilizable una relación agua-cemento más baja, para una misma trabajabilidad, el hormigón que resulta es más impermeable. En el gráfico 2 se

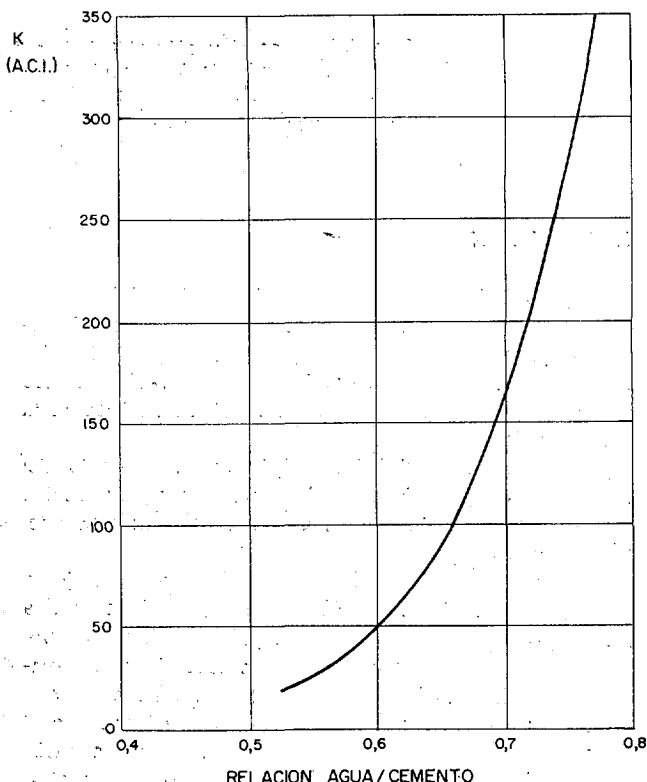


Gráfico 2.

indica la variación de la permeabilidad con la relación agua-cemento y se observa que disminuciones de un 10 por 100 en la relación A/C originan descensos en la permeabilidad que pueden llegar a ser del 75 por 100.

d) *Resistencia a las heladas.* — Cuando un hormigón que ha embebido agua se hiela, los efectos del hielo penetran hasta las zonas más profundas, y la ruptura no tiene lugar hasta que la expansión del hielo puede hacerse hacia el exterior. Por lo tanto, si se trata de un hormigón aireado en el cual los canales capilares están cortados por expansiones esféricas que están llenas de aire, cuando el hielo avance a partir de la superficie saturada de agua, las presiones se irán amortiguando en las esferillas que sucesivamente se irán encontrando.

La capacidad de duración de un hormigón frente a los ciclos de hielo y deshielo crece con el tanto por ciento de aire incluido hasta alcanzar un máximo cuando dicho porcentaje es del 6 por 100, a partir del cual disminuye,

ya que por encima de este valor disminuye también considerablemente la resistencia a la compresión; como veremos a continuación.

Para un porcentaje de aire del 4 por 100, valor medio de los normalmente utilizados, un hormigón resiste ocho veces más ciclos de hielo y deshielo que un hormigón corriente, como se ilustra con el gráfico 3, a igualdad de dilatación.

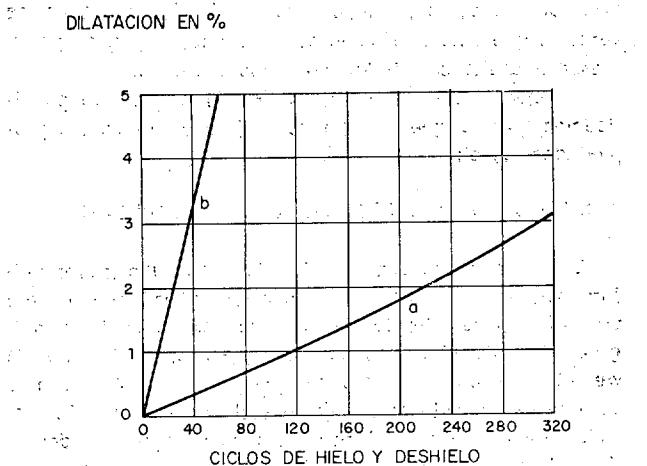


Gráfico 3.

(a) Hormigón aireado al 4 por 100. (b) Hormigón ordinario

INFLUENCIA DE LA AIREACION SOBRE LA RESISTENCIA A COMPRESION

Es sabido que en un hormigón sin airear la resistencia a la compresión no depende de la dosificación en cemento, sino de la relación agua-cemento, y que el contenido en aire o huecos disminuye la resistencia, por lo que, para obtener hormigones de alta resistencia, es necesario utilizar consistencia muy seca y apisonar o vibrar para eliminar totalmente el aire o los huecos.

Al introducir aire en el hormigón, a igualdad de composición granulométrica y de contenido en agua y cemento, se reduce ligeramente la resistencia de los hormigones. Esta reducción está perfectamente definida y, según los ensayos del Bureau of Reclamation, varía entre el 4 y el 6 por 100 por cada 1 por 100 de aire que se incluye en el hormigón. En el gráfico 4 se indica esta variación.

Pero el aire contenido en los hormigones fabricados por procedimientos que excluyen la adición de aireante lo está en forma de bolsadas relativamente grandes que, por consiguiente, no pueden actuar como elemento lubricante de los áridos. En estas condiciones, su único efecto es reducir la resistencia final, sin aumentar sensiblemente la plasticidad y la trabajabilidad del hormigón, por lo que su efecto es, evidentemente, perjudicial.

En el hormigón aireado, en cambio, el aire incluido aumenta la plasticidad, lo que permite reducir el agua de amasado y con ello la relación agua-cemento.

Desde el punto de vista práctico es necesario comparar

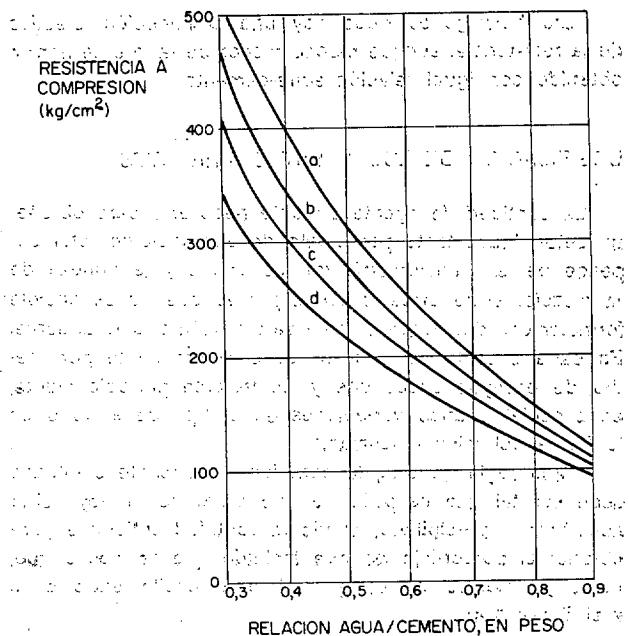


Gráfico 4.

(a) Hormigón ordinario. (b) Aireado al 2 por 100. (c) Aireado al 4 por 100. (d) Aireado al 6 por 100.

la resistencia con el contenido en cemento a igualdad de plasticidad; el contenido de agua en cada caso vendrá determinado por la necesidad de conseguir la plasticidad necesaria.

En éstas condiciones, la comparación entre un hormigón corriente y un hormigón aireado (al valor medio del 4 por 100) viene dada por el gráfico, y se observa que la cuestión varía totalmente de aspecto.

Para hormigones pobres (dosificación inferior a 225 Kg de cemento por metro cúbico), la aireación, lejos de disminuir la resistencia a la compresión, la aumenta de manera agradable.

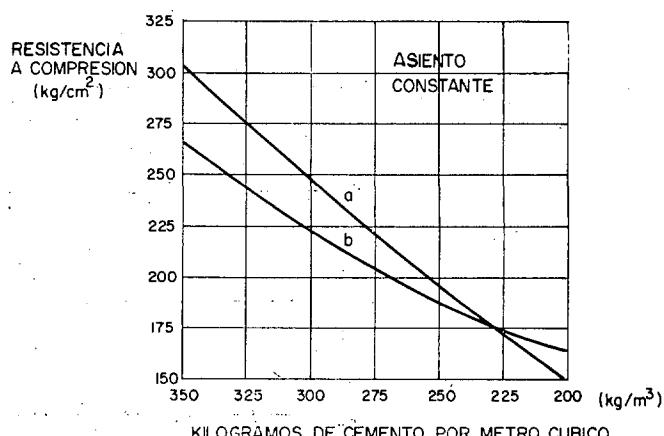


Gráfico 5.

(a) Hormigón ordinario. (b) Hormigón aireado al 4 por 100.

Para hormigones ricos hay una disminución efectiva de la resistencia, aunque mucho menor de la que se habría obtenido con igual relación agua-cemento.

DOSIFICACION DE LOS AGENTES AIREANTES

La cantidad de agente aireante necesario para obtener un determinado tanto por ciento de aire incluido total depende de la granulometría de los áridos y la riqueza de la mezcla, entre otros factores, por lo que no es posible formular una dosificación única para ningún agente aireante. En cada caso la dosificación debe determinarse por medio de ensayos adecuados y controlarse periódicamente, en especial cuando variaciones en el tipo de árido o en la forma del mismo ocurran.

Como regla general, la cantidad de aireante empleado debe ser tal que después de que parte de él haya sido absorbido o precipitado, quede la cantidad suficiente para obtener el porcentaje de aire incluido que se desee que, como ya hemos dicho, generalmente oscila entre el 3 y el 5 por 100.

PLASTIFICANTES

Al igual que los aireantes son compuestos orgánicos tensioactivos, pudiendo ser de dos tipos: aniónicos y apolares.

Tanto unos como otros provocan, al ser absorbidos por las partículas de cemento, repulsiones entre ellas, a la vez que tornan hidrófilos los granos de cemento (a diferencia de los aireantes que, como hemos visto, los hacen hidrófobos). Por la acción conjunta de repulsión e hidrofilia se produce una desfloculación de los glomérulos de cemento, quedando los granos de éste rodeados de agua, pudiendo,

por tanto, desplazarse con mayor libertad, aumentando la plasticidad de la pasta.

EFFECTO DE LOS PLASTIFICANTES

Como consecuencia del aumento de plasticidad que el empleo de un plastificante provoca, se hace posible la reducción del agua de amasado a igualdad de trabajabilidad con respecto a un hormigón ordinario, con todas las ventajas que esto trae como consecuencia y que, en parte, fueron analizadas al tratar sobre los aireantes.

Un efecto fundamental derivado del empleo de plastificantes, por lo que supone de mejora en todas las propiedades, es el:

AUMENTO EN LA UNIFORMIDAD DEL HORMIGON

Los hormigones con plastificante tienen una mayor uniformidad en resistencia y la resistencia es generalmente un índice de las demás propiedades deseables del hormigón. La uniformidad se determina por el coeficiente de variación de los resultados de ensayos de resistencia a la compresión; cuanto más bajo sea el coeficiente, más elevada será la uniformidad en las distintas tongadas y dentro de cada tongada. El gráfico 6 muestra que el coeficiente de variación de un hormigón con plastificante es menor que el correspondiente al mismo hormigón sin aditivo y que la resistencia media aumenta aproximadamente en un 28 por 100 respecto a la de éste. Es posible, por tanto, obtener con la misma dosificación de cemento una resistencia característica mayor con la simple adición de plastificante, aparte la garantía que ofrece frente a las exigencias de los Pliegos de Condiciones la menor dispersión de los ensayos de control.

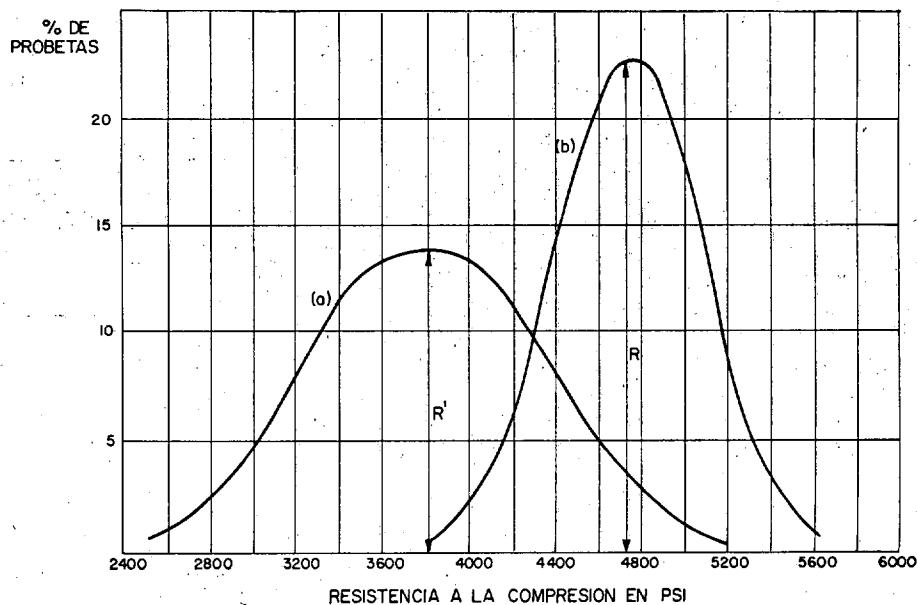


Gráfico 6.

- (a) Hormigón corriente: Coeficiente de variación = 15. Resistencia media (R') = 3714 psi.
- (b) Hormigón con plastificante: Coeficiente de variación = 10. Resistencia media (R) = 4750 psi.

Naturalmente, si no se necesita hormigón de mayor resistencia, el hormigón con plastificante puede redosificar para una resistencia menor. Por lo tanto, el empleo de un plastificante, de forma adecuada, ofrece una economía en la dosificación de un hormigón para una resistencia dada.

Otros efectos producidos por los aditivos plastificantes son:

a) *Control del contenido de aire.*—La presencia de un plastificante en la masa de hormigón consigue una marcada uniformidad del contenido de aire incluido en él al efectuar el amasado. Además, por regla general, los plastificantes son compatibles con los aditivos aireantes, sobre cuya actividad también ejercen una acción homogeneizante.

b) *Aumento de la impermeabilidad.*—Como consecuencia del aumento de homogeneidad y de la reducción del agua de amasado, el empleo de plastificantes consigue una gran elevación de la impermeabilidad respecto a los hormigones ordinarios.

El gráfico 7 muestra las diferencias de permeabilidad entre ambos hormigones para distintos valores de la resistencia a la compresión a los veintiocho días, siguiendo las normas ASTM. La reducción de la permeabilidad es del 80 por 100.

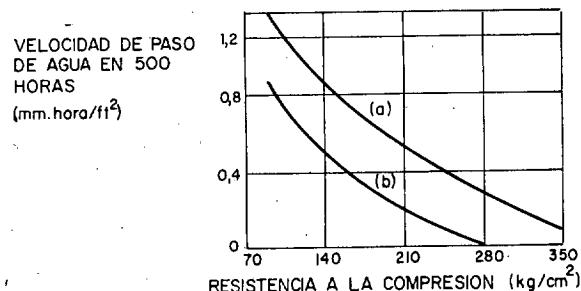


Gráfico 7.

c) *Aumento de la durabilidad.*—La durabilidad en los hormigones a los que se les añade un plastificante aumenta no sólo en relación a los hormigones sin aditivos, sino también a aquellos que han sido confeccionados con una dosis de aireante, en una proporción que oscila alrededor del 10 por 100.

d) *Disminución de los cambios de volumen.*—El plastificante reduce la posibilidad de grietas por contracción al reducir el contenido de agua de amasado y al mejorar la uniformidad general del hormigón, aumentando la adherencia de la pasta de cemento al árido y la resistencia mecánica de la pasta misma.

EL CALOR DE HIDRATACION Y SUS EFECTOS

La pasta de cemento endurecida es un gel microcristalino que resulta de las progresivas reacciones de hidratación de los componentes del clinker, proceso que constituye el fraguado y endurecimiento. Por su carácter exotérmico, dichas reacciones elevan la temperatura de la pasta, que posteriormente desciende hasta equilibrarse con la correspondiente al medio ambiente. Por consiguiente, cuando el cemento es parte integrante de un hormigón, su fraguado eleva la temperatura en toda la masa de éste.

Este fenómeno, que carece de importancia en estructuras de pequeño espesor o construidas lentamente, tiene en cambio consecuencias fundamentales en las grandes presas, con fuertes espesores y grandes masas de hormigón puestas en obra diariamente, a causa de las tensiones que los cambios térmicos producen en el hormigón.

Dos momentos son especialmente peligrosos, según se deduce del estudio tensional de estas variaciones de temperatura:

- El primero, cuando se han enfriado los bordes, manteniéndose en el interior la temperatura, con lo que puede agrietarse el paramento.
- El segundo, cuando se ha evacuado completamente el calor generado, en cuyo caso las tracciones se originan en el contacto con el cimiento.

Esbozadas las consecuencias de los cambios térmicos debidos al fraguado, y siendo aquéllas proporcionales a la variación de la temperatura, es innecesario justificar el interés que ofrecen los medios para controlar la temperatura del hormigón en masa, entre los que se encuentran los aditivos que hemos considerado, bien en forma pura, bien, como es más frecuente, asociados a otros aditivos que acentúen la actividad de aquéllos o la perfeccionen.

FACTORES QUE DETERMINAN LA TEMPERATURA ALCANZADA POR EL HORMIGÓN Y SU VARIACION CON EL TIEMPO

En líneas generales, pueden agruparse de la siguiente manera:

1. Condiciones climatológicas.
2. Composición del hormigón.
3. Procedimientos constructivos.
4. Ritmo de ejecución.
5. Características de la cimentación.

De entre estos factores vamos a analizar aquéllos que son susceptibles de modificación con el empleo de aditivos, que son los que hemos incluido en el segundo grupo. De ellos, los principales son los siguientes:

- a) Cantidad y tipo de cemento.
- b) Relación agua-cemento.
- c) Tipo de árido.
- d) Características térmicas del hormigón.
- e) Velocidad de fraguado.
- f) Propiedades mecánicas del hormigón.

a) *Cantidad y tipo de cemento.* La cantidad y el tipo de cemento utilizados en la confección de un hormigón son los factores más efectivos en relación con el control de la temperatura.

Por parte de la cantidad se puede afirmar que el aumento de temperatura del hormigón debida al calor de hidratación de un cemento dado varía directamente con el contenido en cemento (gráfico 8).

El grado de finura del cemento influye en la velocidad

completa en un plazo menor que en el caso de granos grandes. Además, en el mismo porcentaje que aumenta la parte del calor total generada inicialmente (con mayor finura de molido), aumenta la resistencia inicial, ya que es consecuencia de la propia hidratación.

El tipo de cemento juega un importante papel, tanto con relación a la cantidad total de calor generado como respecto a la forma de variar la temperatura.

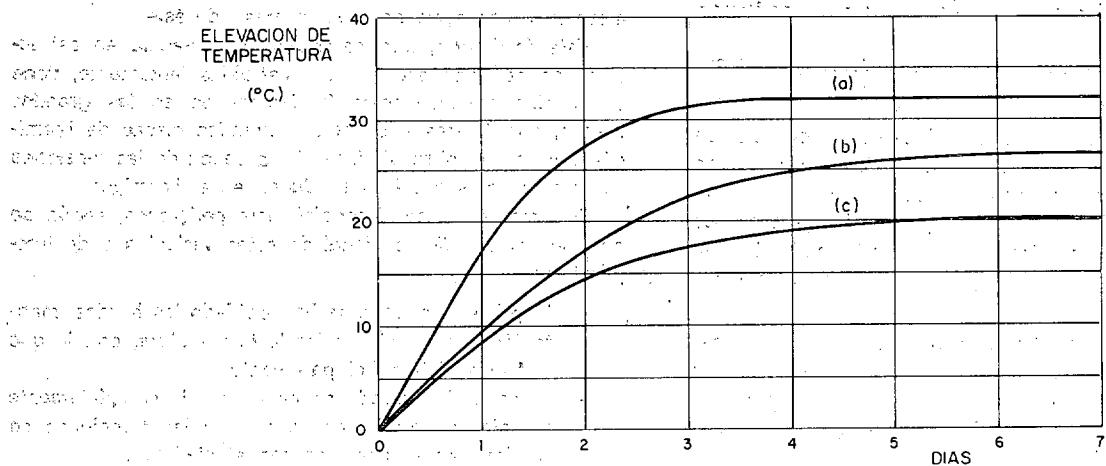


Gráfico 8.

(a) 350 Kg/m³, (b) 200 Kg/m³, (c) 150 Kg/m³.

de desarrollo del calor, ya que la velocidad de penetración de la hidratación en los granos de cemento puede considerarse independiente del tamaño de los propios granos y, por tanto, para granos finos se logra la hidratación com-

pleta en un plazo menor que en el caso de granos grandes. Además, en el mismo porcentaje que aumenta la parte del calor total generada inicialmente (con mayor finura de molido), aumenta la resistencia inicial, ya que es consecuencia de la propia hidratación.

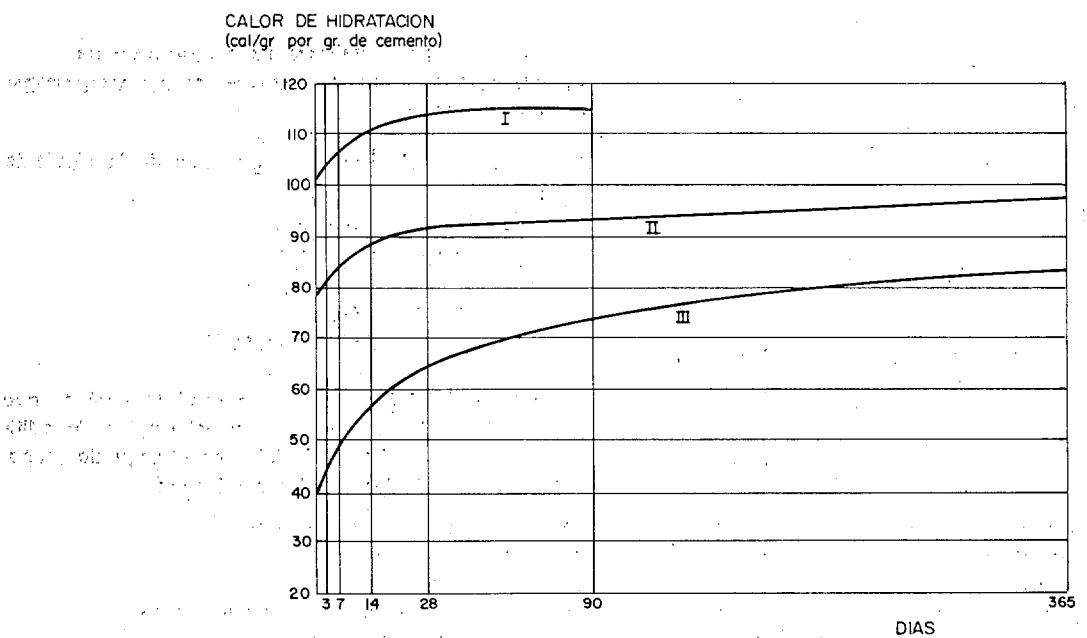


Gráfico 9.

grantes, en el supuesto de hidratación completa, es la siguiente:

C ₃ A	207 cal/gr.
C ₃ S	120 cal/gr.
C ₄ AF	100 cal/gr.
C ₂ S	62 cal/gr.
CaO	279 cal/gr.
MgO	203 cal/gr.

Por lo tanto, según las proporciones relativas de los distintos componentes, así será relativamente el calor de hidratación de los distintos tipos de cemento. En el gráfico 9 se indica el calor generado por distintos tipos de cemento, cuya composición media se refleja en la tabla 1. El proceso se puede considerar completamente terminado al cabo de un año.

- I: Cemento de alta resistencia inicial.
- II: Cemento normal.
- III: Cemento de calor reducido de fraguado.

TABLA I.—Composiciones.

	C ₃ A	C ₃ S	C ₄ AF	C ₂ S	CaO	MgO
I	17	56	8	15	1,3	2,6
II	12	43	8	31	0,8	2,4 (% de componentes)
III	6	21	14	51	0,3	2,7

Siendo la cal liberada en la hidratación del C₃S uno de los principales responsables del calor de hidratación, se consigue reducir notablemente éste disminuyendo el contenido de C₃S en el clinkер y aumentando paralelamente el de C₂S.

En menor escala, el empleo de componentes que fijan la cal libre también reduce el calor de hidratación del cemento.

Puede obtenerse la fijación de la cal libre a base de incluir entre los componentes normales del pórtland puzolanas. La inclusión de puzolanas, por otra parte, no sólo rebaja el calor de hidratación a base de fijar la cal libre, sino también porque reduce la cantidad total de los demás componentes del clinker.

Estos tipos de cemento, llamados cementos fríos, tienen como contrapartida baja resistencia inicial respecto a los pórtland, aunque para edades del hormigón suficientemente grandes (del orden de los ciento ochenta días) la diferencia se anula e incluso puede llegar a invertirse.

b) Relación agua-cemento.—Normalmente, el contenido de agua del hormigón se determina por la necesidad de trabajabilidad del hormigón fresco. Las necesidades de resistencia definen luego la relación agua-cemento y, con eso, el contenido en cemento. El mayor efecto de la elección de la relación agua-cemento con relación al problema del control de la temperatura reside en que tal elección determina la cantidad de cemento. Por otra parte, condiciones de impermeabilidad y durabilidad pueden modificar

las necesidades básicas antes mencionadas y afectar la determinación de un contenido mínimo de cemento.

Un efecto menor, generalmente despreciable, es la variación que el contenido de agua puede introducir en las características térmicas del hormigón.

c) Tipo de árido.—Las características térmicas del árido, que varían con la composición mineralógica, determinan fundamentalmente las características térmicas del hormigón. Ahora bien, en muy raras ocasiones y, prácticamente, nunca en la construcción de grandes presas, se puede basar la elección del árido sobre consideraciones de temperatura. Donde la selección fuese posible, sería conveniente escoger el árido que produjese hormigón con valores altos de su difusividad, ya que ésta es un índice de la facilidad con la que el hormigón soportará los cambios de temperatura.

d) Características térmicas del hormigón.—Las características térmicas del hormigón deben ser, generalmente, aceptadas, ya que es prácticamente imposible seleccionarlas o controlarlas. De todos modos, si hay que hacer una estimación del comportamiento del hormigón con la temperatura, es necesario que sus propiedades térmicas estén determinadas.

La difusividad o coeficiente de difusión puede determinarse observando el flujo de calor a través de una muestra y midiendo el valor medio, o bien determinando la conductividad, el calor específico y la densidad separadamente, obteniendo a continuación el coeficiente de difusión por la fórmula:

$$h^2 = \frac{K}{C d}$$

K = conductividad.

C = calor específico.

d = densidad.

Este último método permite la determinación de la variación de las propiedades térmicas con la temperatura. Ordinariamente se toma como valor constante del coeficiente de difusión el valor medio de éste en el campo de variación de temperatura a que puede estar sometido el hormigón.

f) Propiedades mecánicas del hormigón.—El módulo de elasticidad, el coeficiente de dilatación, la resistencia a la rotura determinan el comportamiento mecánico del hormigón como consecuencia de los fenómenos térmicos, que, en definitiva, es lo que interesa.

Por ejemplo, un hormigón que presente un módulo de elasticidad bajo, poseyendo una resistencia a la rotura alta se fisurará mucho menos que otro hormigón con ambos factores equilibrados.

Análogamente, en la elección de un tipo determinado de cemento, no deben ser factores determinantes ni la resistencia ni la generación de calor considerados aisladamente, sino en una visión de conjunto.

g) Velocidad de fraguado.—Para un calor de hidratación total dado, la velocidad de fraguado determina el

valor máximo de la temperatura que se alcanzará en el proceso.

Un endurecido lento, al prolongar el periodo de evolución del calor, disminuye el valor máximo de la temperatura, con lo que se consigue reducir los esfuerzos térmicos. Las juntas debidas a la falta de continuidad en la colocación se eliminan más fácilmente. En cambio, las resistencias iniciales disminuyen.

Un fraguado acelerado facilita el hormigonado por debajo de la temperatura de congelación que se dan con bastante frecuencia en las presas. Además, al ir asociado un desarrollo rápido de la resistencia, permiten desencofrar más rápidamente y, por tanto, utilizar más profusamente los moldes. Como contrapartida, la generación de calor se concentra y aumenta la temperatura máxima con los consiguientes riesgos de fisuración por contracción.

Constituyendo el fraguado las reacciones de hidratación de las partículas de cemento, la velocidad con que se produzca está relacionada directamente con la mayor o menor facilidad que tenga el agua para entrar en contacto con los granos.

EFFECTO DE LOS ADITIVOS EN RELACION CON EL CALOR DE HIDRATACION

Vistos los factores que condicionan la generación de calor y su evolución en el tiempo, es inmediato deducir el efecto de los aditivos básicos antes analizados.

CALOR DE HIDRATACION
(cal/gr)

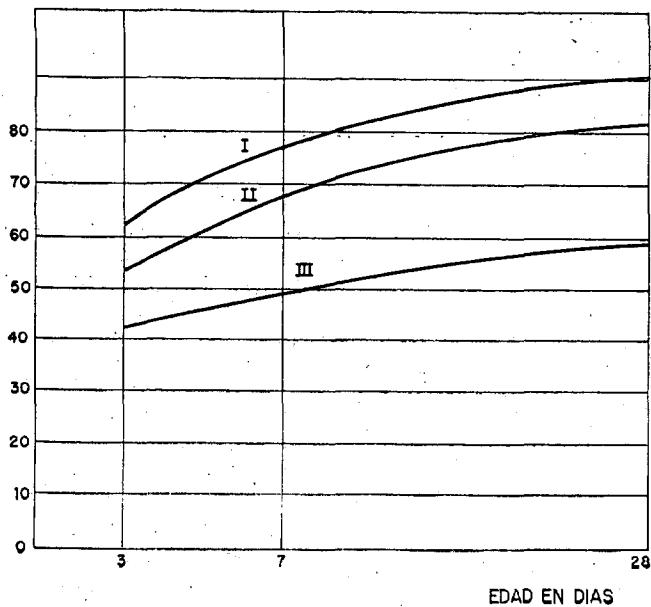


Gráfico 10.

Elegido un tipo de cemento, dados unos áridos de características definidas y fijada la resistencia que del hormigón se espera de acuerdo con las necesidades proyectadas, será efectiva la utilización de un aditivo con relación al calor de hidratación cuando:

1. Permite disminuir la cantidad de cemento dosificado, y/o
2. Posibilite el control de la velocidad del endurecimiento.

Respecto al primer punto, según se ha visto al tratar de los aireantes y los plastificantes, ambos permiten, aunque por distintos motivos, una reducción del agua de amasado para una misma trabajabilidad, lo que se traduce, para una relación agua-cemento dada (igual resistencia), una disminución de la cantidad de cemento empleada y, por tanto, una disminución de la temperatura (ver gráfico 8).

Respecto a la regulación de la velocidad de fraguado, hay que advertir que las acciones químicas de los aditivos ejercen una influencia muy superior a la correspondiente a las acciones físicas, por lo que los aireantes puros normalmente no tienen influencia apreciable sobre la velocidad de fraguado, mientras los plastificantes, en su inmensa mayoría conteniendo lignosulfonatos, son retardadores debido a la presencia de lignina.

Como muestra de los resultados obtenibles con el empleo de aditivos en relación al calor de hidratación, se indica en el gráfico 10 los resultados de las pruebas efectuadas en el Laboratorio Central de Ensayos de Materiales de Construcción, de Madrid, con el fin de determinar el hormigón óptimo para la construcción de la presa de Valdecañas, de Hidroeléctrica Española.

Se confeccionaron tres hormigones distintos:

- I: ordinario, sin aditivo.
- II: con plastificante normal.
- III: con plastificante retardante.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- F. ARREDONDO: Estudios de materiales. Tomos IV y V.
J. L. GOMEZ NAVARRO y J. JUAN ARACIL: Saltos de agua y presas de embalse. Tomo II.
C. RAWHouser: Temperatura control of mass concrete.
G. B. SOUTHWORTH: Admixtures for concrete: what they offer.
J. CALLEJA: Estado actual de los estudios sobre aditivos para hormigón en España.
E. VALLARINO: Contracciones de fraguado en grandes presas.

XVI Jornadas Técnicas ALEMAS: Aditivos para hormigones y morteros.