

# Patologías del hormigón. Interacción entre el ataque por Sulfatos y la reacción Álcali-Árido

M<sup>º</sup>C. Angel Martínez; I. Fontao Orosa; A. Leiro López; S. López Ramos, B. Mateo Sanz y N. Prendes Rubiera.

CEDEX-MOPTMA. C/Alfonso XII, 3 y 5 28014. Madrid.

## ABSTRACT

*The presence of both alkali-aggregate reaction and sulphate attack products in concrete samples has lead to the necessity of determining the formation sequence of such products. M.E.B.-E.D.X. studies have confirmed that silica gel is formed first and afterwards sulphates are activated, which promote the gel formation as a result of ions release to the solution.*

**Key words:** Reacción álcali-árido, ettringita, portlandita, durabilidad, hormigones

*Geogaceta, 20 (3) (1996), 723-724  
ISSN:0213683X*

## Introducción

El análisis, por M.E.B., de los productos de neoformación en hormigones degradados, había llevado a algunos autores [1,2,3] a sospechar que podrían darse dos tipos de patologías, el ataque por sulfatos y la reacción álcali-árido, acelerando todo el proceso de microfisuración y reactividad en el hormigón.

Por otra parte, la utilización de trazadores de uranio [4] para acotar la presencia de geles silicocalcoalcalinos, ha permitido constatar estos dos tipos de fases (ettringitas, no detectables por los marcadores y geles, que dan fluorescencia con luz ultravioleta), en un mismo hormigón, por medio de la Microscopía Electrónica de Barrido y una sonda de Energía Dispersiva de rayos X (M.E.B.-E.D.X.).

Ambas fases mineralógicas (de carácter, además, expansivo) explicaban toda la patología de los hormigones, aunque planteaban el problema de establecer su secuencia genética, a fin de definir los mecanismos de reactivación y propagación de la alteración dentro del hormigón.

## Material

Las muestras proceden de una presa hidroeléctrica, sobre el río Duero, construida en los años 50, por lo que no se han facilitado los datos de composición de los cementos. Los áridos constituyentes son granitos y granodioritas de dos micas [5]. De ellos destacamos,

por su interés en este tipo de patologías, el contenido en cuarzo (34%), con extinción ondulante, lo que es un claro indicativo de su potencial reactividad con los álcalis del hormigón [6], así como la presencia de opacos (piritas y calcopiritas) que son susceptibles de pasar a sulfatos y formar compuestos ettringíticos ( $3\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $3\text{CaSO}_4$ ,  $32\text{H}_2\text{O}$ ).

## Morfología de los productos

**Geles silicocalcoalcalinos:** Presentan una morfología muy variada, desde amorfos o masivos [7], hasta cristales tipo roseta [8]. Localizados sobre las partículas de los áridos, o en la interfase árido-pasta, generan importantes presiones disruptivas, debido a su estructura ceolítica tipo A que, en presencia de agua, aumentan considerablemente su volumen. Este gel facilita la falta de adherencia árido-pasta, así

como la microfisuración interna del hormigón.

**Ettringitas:** Cristales aciculares, creciendo radialmente a partir de zonas de nucleación de anteriores cristales de sulfatos. Su morfología hace que desarrollen presiones, en cada cristal, de unos 70MPa [9], produciendo una intensa red de fisuración que facilita la penetración y circulación del agua [10]. Los procesos de disolución y recristalización de esta fase mineralógica se aprecian en la fotografía 2, en la que observamos como los cristales están tapizando las paredes de los poros, llegando incluso a colmatarlos.

**Portlanditas:** Constituyen un importante reservorio de cationes de  $\text{Ca}^{2+}$ , y son un indicador de unas condiciones de P, T<sup>a</sup> y pH estrictas. Se presentan en cristales, de hábito hexagonal, bien como plaquetas o de aspecto tabular. Si las condiciones de T<sup>a</sup> o P varían, estos cristales se disuelven, transfiriendo cationes  $\text{Ca}^{2+}$  a la solución intersticial, lo que favorece la fijación y el crecimiento de las ettringitas, por lo que, generalmente, se encuentran asociadas a ellas [3,11].

## Interacción álcali-árido y ataque por sulfatos

Pettifer and Nixon [12] sugieren, en base a un modelo teórico, que la presencia de sulfatos condiciona y da lugar a posteriores ataques, favoreciendo la formación del gel reactivo de álcali-



Fig.1.- Reacción álcali-árido

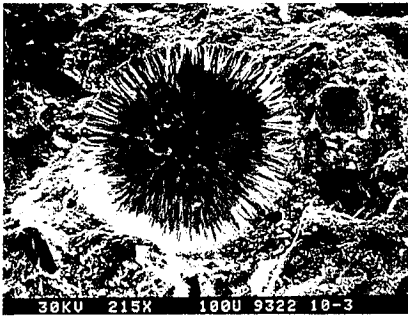


Fig. 2.- Ettringita en poro

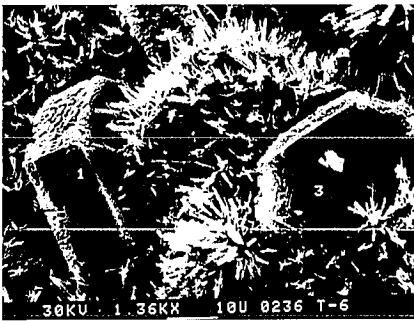


Fig. 3.- Portlanditas

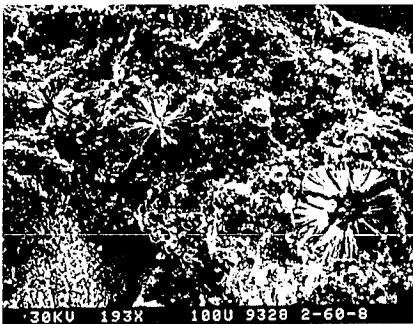


Fig. 4.- Gel de ASR y ettringitas

árido (ASR), basando esta idea en que el  $C_3A$  de la pasta aumenta la concentración de  $Ca(OH)_2$ , (portlandita) fase mineralógica que aporta cationes de  $Ca^{2+}$  al sulfoaluminato, fijando sus iones y favoreciendo la solución parcialmente saturada que va a colmar los poros y microfisurar la pasta, en presencia de agua, lo que, a su vez, hace aumentar la concentración de grupos  $(OH)^-$ , facilitando la reacción álcali-árido (formación de geles).

Sin embargo, Jones & Coole [13] consideran esta hipótesis poco viable, a pesar de que si bien es cierto que la ettringita se forma en los primeros estadios, para acelerar el fraguado, se estabiliza antes de que el hormigón se endurezca. Está claro, por otra parte, que la portlandita va a aportar cationes de  $Ca^{2+}$ , enriqueciendo la solución intersticial, pero no puede aumentar su alcalinidad ya que tan sólo pasará a la solución cuando el pH disminuya (por aporte de  $Si^{4+}$ , por ejemplo), lo que induce a pensar que es el gel ASR el que se formará primero, y a medida que se van liberando cationes de  $Si^{4+}$ , se disolverá portlandita, para equilibrar la reacción, dando lugar, si existen sulfoaluminatos, a pequeños cristales de ettringita [14].

Los estudios por M.E.B.-E.D.X., así como la distribución de la red de microfisuración señalan que las ettringitas recubren las capas de gel de ASR, no fácilmente detectables por el enmascaramiento que se produce en la sonda, [2,15] entre la ettringita, el árido subyacente y la fina capa de gel silicocalcoalcalino.

Otro argumento que puede apoyar esta idea es que se han encontrado algunos granos de cuarzo fracturados, dando lugar a debilitamientos estructurales (este tipo de fracturación no puede desarrollarse por las reacciones causadas debido a la expansión de la pasta de cemento, tal y como sucedería en el caso de la ettringita, por la presencia de sulfatos en la solución de los poros (fotografía 2), ya que la expansión de la pasta de cemento no puede someter a los áridos a carga a compresión [2]).

A partir de este momento, y una vez microfisurado el árido, aumentaría su superficie de ataque, exponiendo, consecuentemente, los sulfuros que se encuentran en el interior del mismo a las soluciones ricas en aluminatos, favoreciendo el fenómeno del «ataque por sulfatos».

### Conclusiones

A la vista de la información proporcionada por la M.E.B.-E.D.X. podemos decir que la reacción álcali-árido (ASR) es la primera en formarse, microfisurando el hormigón y generando presiones disruptivas que facilitan la entrada de agua en su interior, así como reactivando sulfuros inertes, dentro de los áridos constituyentes y acelerando los

procesos de ataque por sulfatos (presencia de ettringitas). La localización de las ettringitas y de los geles reactivos se encuentran en los «air void» para el primer caso, y en los bordes de los áridos en el segundo. La ettringita, asimismo, genera procesos de microfisuración en el seno de la pasta, lo que hace liberar álcalis que, posteriormente van a reaccionar con la sílice, produciendo un efecto de aceleración de la primera reacción.

### Referencias

- [7]Angel, M<sup>c</sup>., Fontao, I., Mateo, B., Leiro, A., López, S. & Prendes, N., (1995); Comun. VI Congr. Geoq. de España. pgs. 9041-49
- [2]Draper, E.A.; Wagner, K.E., (1993); en Mat. de Const., Vol. 43, N<sup>o</sup> 232, pgs.5-19
- [10]Dron, R. Brivot, F., (1985): Cah. du Labor. Central des Ponts et Chauss. FAER 1-63pgs.
- [4]Fontao, I.; Leiro, A.; Mateo, B. & Prendes, N., (1994); en Bol. Soc. Esp. de M<sup>i</sup>n. Vol. 17, pgs. 167-77.
- [3]Johansen, V.; Thaulow, N. and Skalny, J. (1993); in Adv. in Cem. Res. Vol. 5, N<sup>o</sup> 17, 23-9.
- [13]Jones, T.N. and Poole, A. B., (1986): Proc. 7th Int. Alkali Conf. Noyes, pgs. 446-450.
- [9]Larive, C., (1992): Cah. de Etudes et Rech. des Lab. des Ponts et Chauss. LCPC, pgs. 17-32.
- [11]Le Roux, A. & Cador, C., (1984): Gran. Cah. du Lab. des Ponts et Chauss. pgs. 135-38.
- [8]Menéndez, E. (1994): en Com. XVII Reunión Bienal de Micr. Electr. pg. 292-93.
- [12]Pettifer, K. and Nixon, P.J. (1980): in cem. concr. Res. 10, 173-181.
- [15]Pitts, J.; Stanger, H.(1987): in concrete, p. 5-7.
- [13]Regourd-Moranville, M.(1989): in Proc. 8th Int. Conf. on Alk. React. Kyoto, pgs.445.
- [14]Shayan, A. and Quick, G. W.(1992): in Proc. 14th int. cemem. microsc. assoc. 11-21.
- [1] Soriano, J. (1988): en Informes CEDEX. T.1. pp. 34-41.
- [5]Soriano, J. & Baldonado, J.L. (1988): en Jorn. Esp. y Port. sobre Mat. y Estruct. p. 107-8.
- [6]Soriano, J. & Baldonado, J.L. (1988): en Jorn. Esp. y Port. sobre Mat. y Estruct. p. 87-8.