

## NOTA DE LA REDACCIÓN

*La incidencia de la reacción álcali-árido en España no ha sido motivo de preocupación hasta la actualidad. No obstante, en los últimos tiempos se ha atribuido a ese proceso la alteración de determinados hormigones. Dada la oportunidad que han tenido los Dres. Draper, Wagner y Skalny en remitir su trabajo sobre dicho tema, se ha considerado de interés incluir a continuación un avance dado por Dña. ESPERANZA MENÉNDEZ de una investigación que se está desarrollando en el ICCET, sobre la reacción álcali-árido en hormigones españoles.*

---

# Estudio microestructural de productos de reacción álcali-árido en hormigones curados a alta temperatura

ESPERANZA MENÉNDEZ  
ICCET/CSIC  
ESPAÑA

Fecha de recepción: 1-XII-93

## INTRODUCCIÓN

La degradación del hormigón, debida a la reacción expansiva llamada "reacción álcali-árido", ha sido ampliamente estudiada (1) y (2). Este fenómeno es especialmente relevante en países como Estados Unidos, Canadá, Brasil, etc., donde hay una gran cantidad de áridos con sílice reactiva. En España, hasta ahora ha sido prácticamente desconocido ese fenómeno. El presente trabajo recoge una descripción de las microestructuras típicas de productos de reacción álcali-árido a través de microscopía electrónica de barrido (SEM), así como la composición asociada a dichos productos mediante de microanálisis por energías dispersivas de rayos X (EDX). Para el estudio se han utilizado muestras de hormigón español curado a altas temperaturas (entre 65°C y 70°C); los cambios microestructurales producidos por efecto de la temperatura son objeto de diversos estudios que se están llevando a cabo en la actualidad.

No se ha determinado, con precisión, la influencia de las altas temperaturas de curado como desencadenante o potenciador del desarrollo de la reacción "álcali-árido" en una pieza de hormigón.

Los datos que se recogen en el presente trabajo son parte de un estudio mucho más amplio que, en

la actualidad, se está realizando en el ICCET y que se publicarán en su momento. Dicho trabajo trata exhaustivamente uno de los primeros casos de reacción álcali-árido demostrados en hormigones elaborados en España.

## ESTUDIO MICROESTRUCTURAL DE PRODUCTOS DE REACCIÓN ÁLCALI-ÁRIDO POR S.E.M.-EDX

La importancia del estudio a través de SEM-EDX de productos de reacción álcali-árido presentes en un hormigón es determinante. Muchas veces, la presencia de estos productos es la única evidencia inequívoca para demostrar que ha ocurrido la reacción álcali-árido en el hormigón. No obstante, es imprescindible combinar el estudio con estas técnicas con el de otras como: estereomicroscopía, microscopía óptica de reflexión, lámina delgada, microscopía electrónica de backscattering y, en menor medida, difracción de rayos X y espectroscopía infrarroja.

Generalmente, se describen los productos de reacción álcali-árido como "geles". Ahora bien, por microscopía electrónica de barrido se ha demostrado que estos productos son tanto de tipo gel como de tipo cristalino (3) y (4).

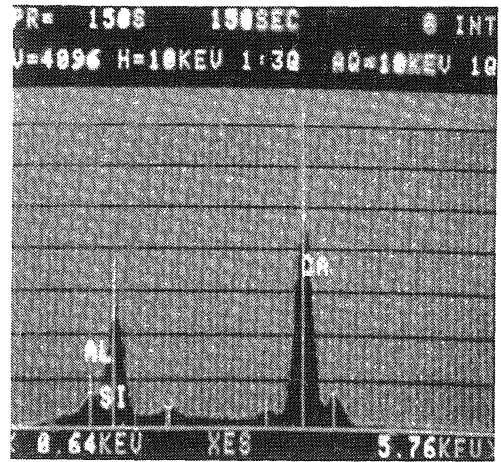
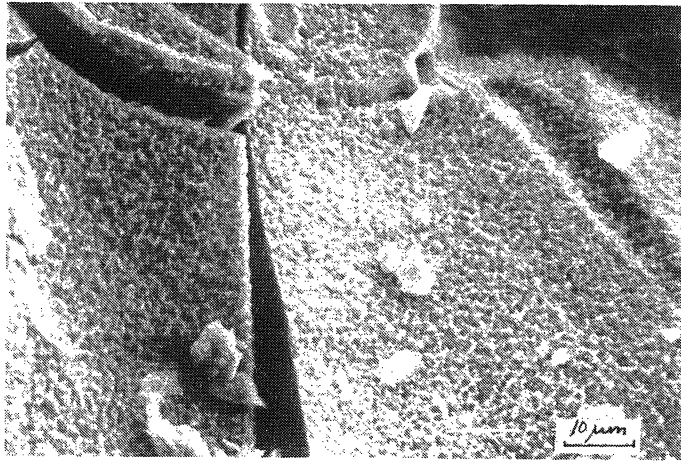


Fig. 1.—Morfología y composición asociada del "gel tipo esponja".

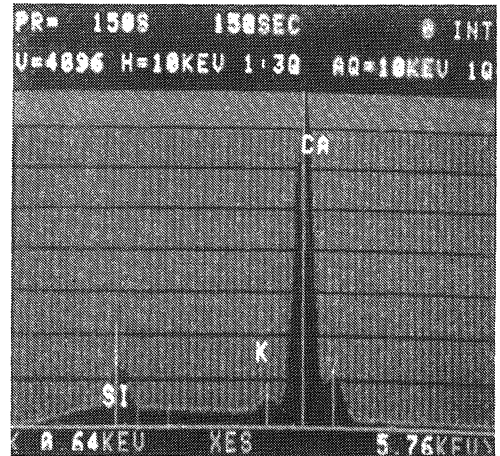
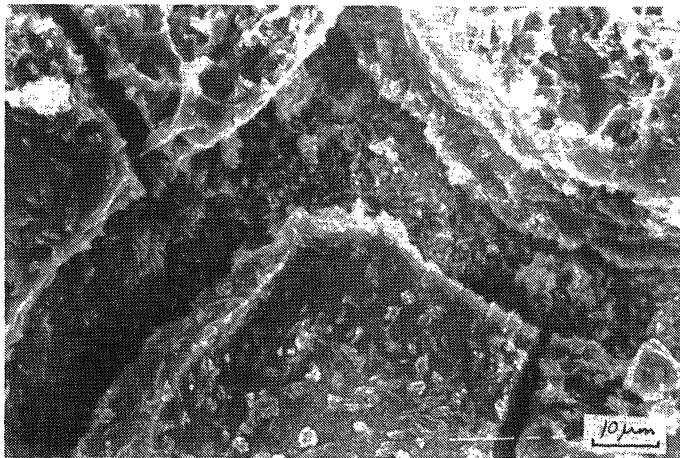


Fig. 2.—Morfología y composición asociada del "gel masivo".

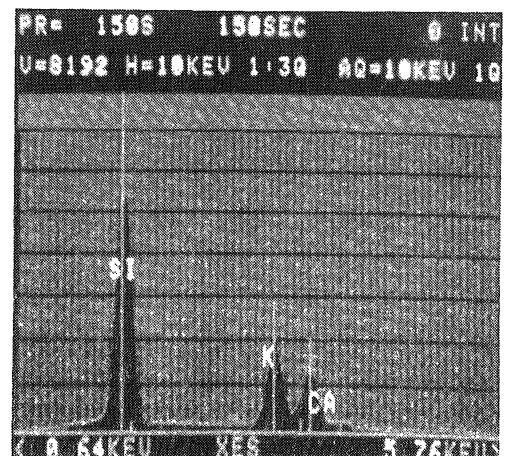
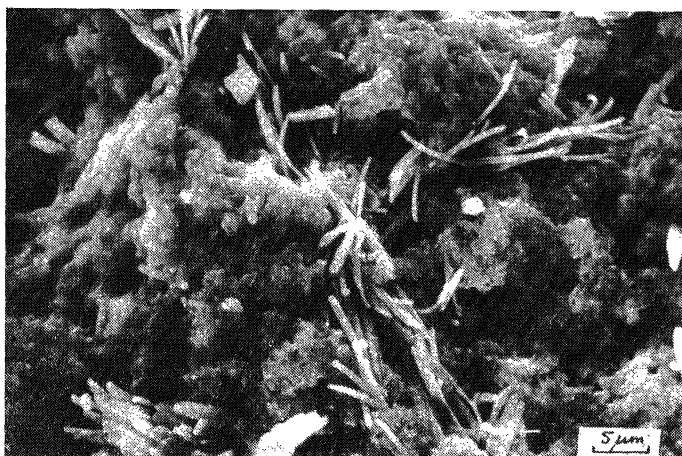


Fig. 3.—Morfología y composición asociada del "gel parcialmente recristalizado".

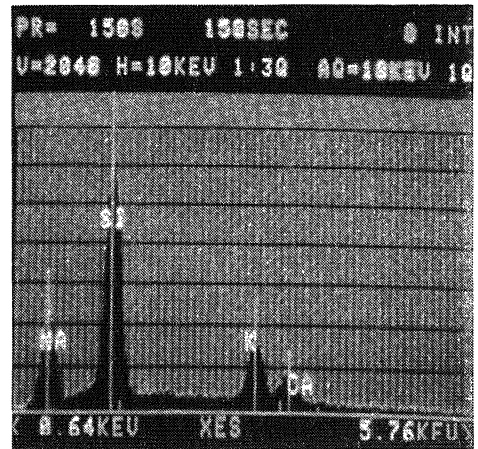
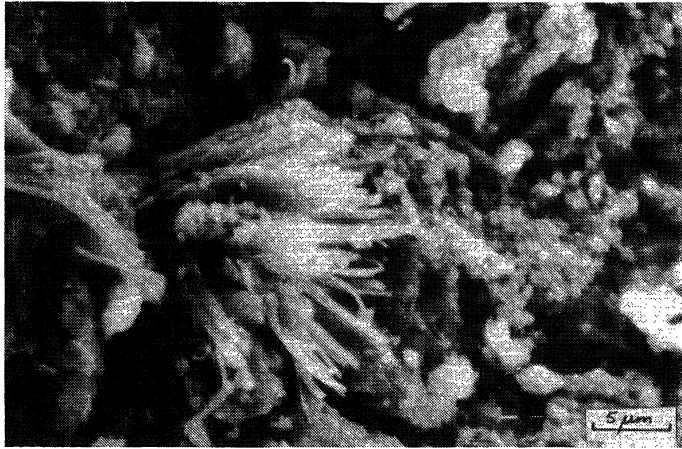


Fig. 4.—Morfología y composición asociada de los "cristales tipo varilla".

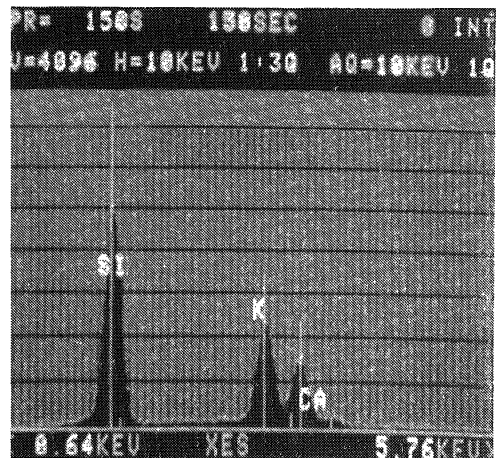


Fig. 5.—Morfología y composición asociada de los "cristales tipo espada".

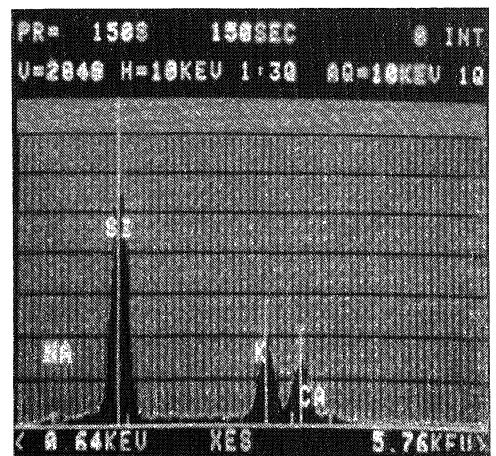


Fig. 6.—Morfología y composición asociada de los "cristales tipo roseta".

## Descripción de productos de reacción álcali-árido a través de S.E.M.-EDX:

Por las técnicas de microscopía electrónica de barrido (S.E.M.) y microanálisis por energías dispersivas de rayos X (EDX) observamos varios tipos de morfologías típicas de productos de reacción álcali-árido con una composición química asociada.

Generalmente se distinguen seis grupos diferentes de morfologías típicas en los productos de la reacción álcali-árido: "gel tipo esponja", "gel masivo", "gel parcialmente recristalizado", "cristales tipo varilla", "cristales tipo espada" y "cristales tipo roseta".

### *Gel tipo esponja*

Es una fase relativamente rara en los productos de reacción álcali-árido. Su morfología presenta el aspecto de una alfombrilla de pequeños cristales sobre una fase gel, con una composición química consistente en  $\text{SiO}_2$  y  $\text{CaO}$  con pequeñas cantidades de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (figura 1).

### *Gel tipo masivo*

Esta fase siempre está presente en los productos de reacción álcali-árido. Químicamente se diferencia del "gel tipo esponja" en la presencia de  $\text{K}_2\text{O}$  y ocasionalmente de  $\text{Na}_2\text{O}$ , y en la ausencia de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y la elevada relación Si/Ca (figura 2).

### *Gel parcialmente recristalizado*

Este es el gel que aparece entre los "cristales tipo varilla". Químicamente consiste en  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  (figura 3). La proporción entre estos tres óxidos es muy similar a la encontrada en los cristales tipo roseta.

### *Cristales tipo varilla*

Es una fase cristalina relativamente rara con un contenido en  $\text{Na}_2\text{O}$  mucho mayor que el encontrado en ninguna otra de las fases de productos de reacción álcali-árido (figura 4).

### *Cristales tipo espada*

Se trata de una fase bastante común que, en general, está íntimamente asociada con los "cristales tipo roseta". Químicamente se diferencia de éstos en que tiene una relación K/Ca mayor que en los "cristales tipo roseta" (figura 5).

### *Cristales de tipo roseta*

Esta fase cristalina está casi siempre presente en los productos de reacción álcali-árido. Químicamente es rica en  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  y presenta pequeñas cantidades de  $\text{Na}_2\text{O}$  (figura 6).

## CONCLUSIONES

Los productos de reacción álcali-árido presentan una microestructura y una composición química fácilmente identificables a través de la técnica de microscopía electrónica de barrido combinada con microanálisis por energías dispersivas de rayos X (S.E.M.-EDX), observándose diferentes morfologías tanto de tipo gel como de tipo microcristalino.

Para la confirmación de la presencia de productos de reacción álcali-árido en un hormigón es, en la actualidad, imprescindible la utilización de esta técnica. Si bien es necesario complementar dicha técnica con otras como estereomicroscopía y microscopía óptica; también la difracción de rayos X (DRX) y la espectroscopía infrarroja pueden aportar datos de interés en el estudio de degradación del hormigón debido a este fenómeno.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) BARNES, P.: *Structure and Performance of Cements*. Applied Science Publishers, pp. 380-397. London 1983.
- (2) BICZOK, Imre: *Corrosión y protección del hormigón*. Ed. Urmo, pp. 274-281, 1972.
- (3) DAVIS, G. and OBERHOLSTER, R. E.: *The alkali-silica reaction product. A mineralogical and an electron microscopic study*. Proceedings of the Eighth International Conference on Cement Microscopy. Orlando, Florida. U.S.A., 1986.
- (4) DURAND, B. and BERNARD, J.: *Use of gel composition as a criterion for diagnosis of alkali-aggregate reactivity in concrete containing siliceous limestone aggregate*. Materials and Structures. Vol. 20, pp. 39-43, 1987.
- (5) MENENDEZ, E.: *Deterioro de materiales artificiales I. Reacción álcali-árido*. La humedad como patología frecuente en la edificación. Colegio oficial de aparejadores y arquitectos técnicos de Madrid. pp.163-169, 1993.