

MINERALES DESARROLLADOS EN HORMIGONES DETERIORADOS POR LA REACCIÓN ÁLCALI-SÍLICE (PROVINCIA DE CÓRDOBA)

Pedro J. MAIZA^{1,2}, Silvina A. MARFIL^{1,3} y Carlos A. MILANESI

1. Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, San Juan 670, 8000, Bahía Blanca, e-mail smarfil@criba.edu.ar, Argentina
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
3. Investigador Adjunto de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

ABSTRACT

MINERALS DEVELOPED IN CONCRETES DETERIORATED BY THE ALKALI - SILICA REACTION. Samples of four deteriorated concretes from pavements near Córdoba city were studied. The objet from this paper is to determine the cause of the damage, to identify reaction products and to evaluate deleterious aggregates.

The samples were studied by means of X ray diffraction, SEM and EDAX. Zeolites and ettringite associated with calcite and portlandite were identified.

The presence of zeolite allows to conclude that the damage was consequence of the development of the alkali-silica reaction. The secondary ettringite contributes to the concrete degradation.

INTRODUCCIÓN

Es cada vez más frecuente observar estructuras de hormigón de cemento portland deterioradas por el desarrollo de la reacción álcali - sílice (RAS). Esta se produce entre la sílice liberada por los minerales potencialmente reactivos (vidrio volcánico, tridimita, montmorillonita y cuarzo con extinción ondulante) y los álcalis (Na y K) provenientes del cemento y/o de los agregados.

Son muy numerosos los trabajos hallados en la bibliografía donde se mencionan problemas de deterioro debido a la RAS (Qinhua *et al.*, 1997; Kawamura *et al.*, 1996).

El primer producto de esta reacción es un gel que luego cristaliza en estructuras ceolíticas con el consecuente incremento de volumen, lo que provoca expansión y fisuramiento del hormigón (Maiza *et al.*, 1992 y 1993; Marfil *et al.*, 1993).

Es frecuente encontrar ettringita asociada a las ceolitas. Esta se desarrolla en una primera etapa durante la hidratación del cemento a partir del aluminato tricálcico, el que reacciona con el yeso. Luego la ettringita se transforma en monosulfoaluminato de calcio que es mucho más estable dentro del hormigón (Maiza *et al.*, 1996).

Numerosos autores han realizado estudios referidos al incremento de volumen que se produce al formarse la ettringita con el consiguiente poder destructivo (Metha, 1983).

La ettringita que se forma en un medio plástico como el que se produce en la iniciación del fraguado del hormigón, no produce tensiones ya que los nuevos compuestos se acomodan al espacio disponible. Esta se denomina ettringita primaria. Por otra parte, en el hormigón endurecido la situación es diferente; por un exceso en el contenido de iones sulfato ya sea interno ò externo, el monosulfoaluminato de calcio pasa a ettringita, la cual cristalizará en los poros, fisuras, contactos agregado - pastas, espacios intergranulares, etc. y el incremento de volumen generará tensiones superiores a las que puede soportar el

hormigón, provocando una acción destructiva. Esta se conoce como ettringita secundaria (Maiza *et al.*, 1997).

MATERIALES

Se trabajó sobre muestras provenientes de 4 hormigones ubicados en zonas próximas entre sí, denominados:

1. Autopista Córdoba - Villa Carlos Paz: corresponde a una autopista que une la ciudad capital de la provincia con un importante centro turístico. Este material fue estudiado en un trabajo previo (Maiza *et al.*, 1998).
2. Pavimento urbano: se trata de un tramo suburbano de la ruta N° 9, en proximidades a la ciudad de Córdoba.
3. Cordón cuneta: corresponde al cordón del pavimento urbano.
4. Puente: construido sobre un tramo de la autopista.

MÉTODOS

Se trabajó con estereomicroscopio Olympus trinocular SZ-PT, microscopio petrográfico Olympus trinocular B2-UMA y microscopio electrónico de barrido JEOL JSM 35 CP equipado con una sonda EDAX, DX 4, de ventana ultradelgada, con un rango de análisis elemental desde Z = 5 (B) hasta Z = 92 (U), el que permitió observar la morfología e identificar los elementos químicos en cada una de las especies observadas.

RESULTADOS

Los trozos de hormigón, observados con estereomicroscopio, muestran un importante desarrollo de microfisuras, algunas de las cuales se encuentran rellenas y parcialmente selladas por productos de neoformación. Así mismo presentan claras evidencias de fenómenos de reacción tales como la presencia de minerales secundarios. Entre ellos puede mencionarse un mineral blanco, blando y muy fibroso determinado como ettringita, en especial en el interior de cavidades formadas por aire entrampado. También se observó un mineral blanco pero macizo y de mayor dureza. Ambos materiales fueron separados para ser analizados por SEM-EDAX.

Es importante el desarrollo de microfisuras algunas de las cuales se encuentran rellenas y parcialmente selladas por productos de neoformación.

Estudios con microscopio petrográfico

1. Autopista Córdoba - Villa Carlos Paz: observado en secciones delgadas, el hormigón presenta un marcado proceso de carbonatación y ceolitización de la pasta. También se identificó ceolita en el interior de cavidades formadas por aire entrampado (Fig. 1a). Los agregados gruesos están constituidos principalmente por cuarzo microcristalino, con texturas en mortero, extinción ondulante, con marcados senos de corrosión y bordes de reacción. El agregado fino contiene vidrio volcánico fresco como material deletéreo.
2. Pavimento urbano: presenta abundante microfisuramiento y carbonatación de la pasta. Se identificó ceolita, principalmente en el interior de cavidades. Los agregados gruesos

están constituidos principalmente por rocas cuarcíticas. El cuarzo tiene extinción ondulante e importantes senos de corrosión. El agregado fino contiene vidrio volcánico fresco como material deletéreo. En la figura 1b se observa una fisura rellena con ceolita asociada a un clasto de agregado grueso de cuarcita.

3. Cordón Cuneta: el agregado grueso está constituido principalmente por rocas cuarcíticas, (cuarzo con texturas sacaroides con extinción ondulante) y en menor proporción cuarzo con textura mirmequítica con marcados senos de corrosión. Se observó mucha carbonatación en la pasta; algunos bordes de los clastos de cuarzo están ceolitizados. El agregado fino está constituido por cuarzo tensionado, feldespato (principalmente ortosa y microclino) y vidrio volcánico fresco. En la figura 1c se muestra una zona ceolitizada del mortero, con el borde de un clasto de cuarzo afectado por el proceso.
4. Puente: el mortero presenta abundante carbonatación, ceolitización y microfisuramiento. Son abundantes las ceolitas en el interior de cavidades formadas por aire accidental. Los agregados gruesos están constituidos principalmente por rocas cuarcíticas, el cuarzo presenta extinción ondulante y marcados senos de corrosión. Se identificó vidrio fresco relicto, ya que la mayoría está alterado. En la figura 1d se muestra una fisura rellena de ceolita que provoca expansión del mortero y un relicto de una triza de vidrio ceolitizada.

Microscopía electrónica de barrido - EDAX

Los productos de reacción fueron separados bajo estereomicroscopio y analizados por SEM-EDAX. Los resultados fueron similares en los 4 hormigones estudiados.

El material fibroso fue determinado como ettringita $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$, se identificaron las reflexiones $K\alpha$ y/o $K\beta$ de S, Al, O y Ca. Las figuras 2 a, b, c y d corresponden a las fotomicrografías de los 4 hormigones analizados. En la figura 3a se muestra el espectro EDAX de ettringita correspondiente a la figura 2a (sector A). El resultado fue similar en las 3 muestras restantes.

La figura 3b corresponde al espectro EDAX del sector B de la figura 2a donde se identificaron las reflexiones de Si, O, Al Ca y K correspondientes a una ceolita.

Resultados similares se obtuvieron en los tres hormigones restantes.

CONCLUSIONES

1. El deterioro de los cuatro hormigones estudiados es consecuencia del desarrollo de la reacción álcali-sílice.
2. Se considera que los minerales potencialmente reactivos son: cuarzo tensionado (con extinción ondulante), cuarzo microcristalino del agregado grueso y vidrio volcánico del agregado fino.
3. Como principales materiales de neoformación se identificaron ceolita y ettringita.
4. El desarrollo de la ceolita se produce como consecuencia de la alteración del vidrio volcánico y a partir de la sílice liberada del cuarzo microcristalino a elevado pH. El crecimiento de los cristales provoca el fisuramiento del hormigón.
5. La ettringita se desarrolla a partir del yeso incorporado al cemento y/o por el contacto con soluciones ricas en sulfato. Su formación en espacios confinados provoca el deterioro del hormigón.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la CIC, a la UNS y al CONICET por el apoyo brindado, a Graciela R. Mas por la lectura crítica del manuscrito y a Rodolfo C. Salomón por la colaboración en la elaboración de las fotomicrografías.

BIBLIOGRAFÍA

- KAWAMURA, M. and K. TAKEUCHI, 1996. Alkali-silica reaction and pore solution composition in mortars in sea water. *Cement and Concrete Research*. 26 (12):1809-1819, Pennsylvania.
- MAIZA P. J., S. A. MARFIL and O. R. BATIC, 1992. The Ninth International Conference on Alkali-Aggregate reaction in concrete 1992. (2):630-637, Londres.
- MAIZA P. J., S. A. MARFIL y O. R. BATIC, 1993. Congreso Internacional de Ingeniería Estructural y Tecnología del Hormigón. *Memorias (I)*:65-78, Córdoba.
- MAIZA, P. J., S. A. MARFIL y O. R. BATIC, 1995. Ettringita cristalizada en hormigones de cemento portland. IV Jornadas Geológicas Bonaerenses. *Actas*:273-280, Junín.
- MAIZA, P. J., S. A. MARFIL, C. A. MILANESI y O. R. BATIC, 1996. Ettringita y ceolitas formadas en hormigones afectados por la reacción álcali sílice. *Hormigón* 29: 11-22, La Plata.
- MAIZA, P. J., S. A. MARFIL y O. R. BATIC, 1997. Estabilidad de la ettringita a temperatura ambiente. *Hormigón* 30:11-18, La Plata.
- MAIZA, P. J., S. A. MARFIL y C. A. MILANESI, 1998. Desarrollo de minerales de neoformación en un pavimento deteriorado por la reacción álcali-sílice. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*. 21-A:136-137, Madrid.
- MARFIL S. A. y P. J. MAIZA, 1993. *Cement and Concrete Research*. 23 (6): 1283-1288, Pennsylvania.
- METHA, P. K., 1983. Mechanism of sulfate attack on portland cement concrete— Another look. *Cement and concrete Research*. 13:401-406, Pennsylvania.
- QINHUA J. and L. WEIQING, 1997. Investigations on concrete railway ties suffering form alkali-silica reaction. *Cement and Concrete Research*. 27 (1):107-113, Pennsylvania.



Figura 1a: Ceolita (z) desarrollada en el interior de una cavidad de aire atrapado, asociada a un clasto de agregado grueso con marcados senos de corrosión y reacción en los bordes.
Luz paralela.

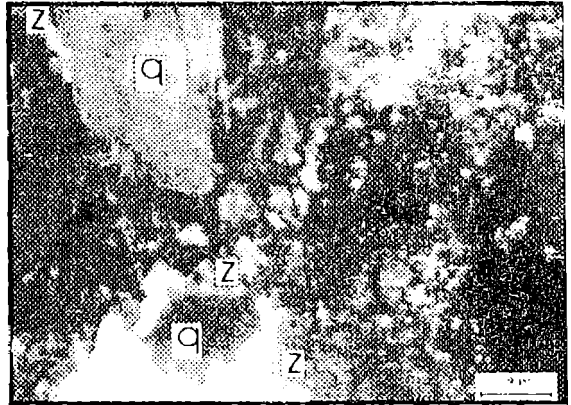


Figura 1b: Microfisura rellena con ceolita (z). El cuarzo (q) tiene extinción ondulante y los bordes ceolitizados.
Nicoles cruzados.

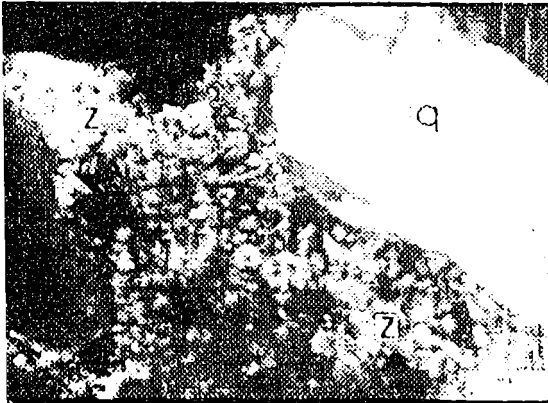


Figura 1c: Sector del mortero ceolitizado (z). Se observa el clasto de cuarzo (q) afectado en sus bordes.
Nicoles cruzados.



Figura 1d: Microfisura con ceolita (z) la que provoca expansión y una triza de vidrio (v) ceolitizada.
Luz paralela.

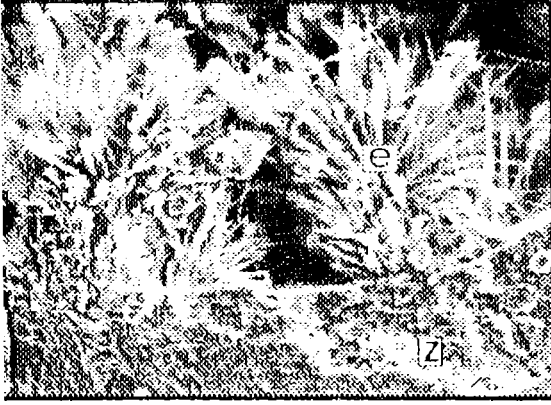


Figura 2a: Fotomicrografía SEM de ettringita (e) y zeolita (z) correspondiente al hormigón de la Autovía. (x 740 aumentos)

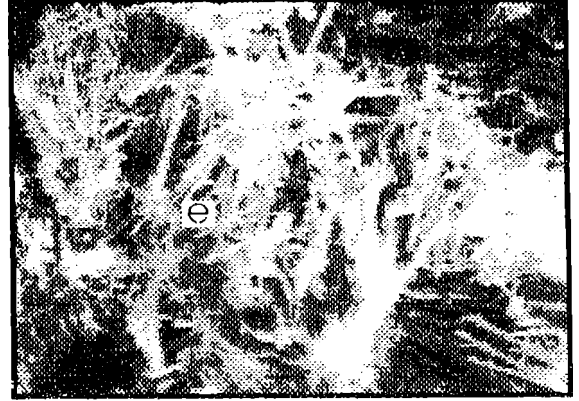


Figura 2b: Ettringita (e) desarrollada en el pavimento urbano (x 1000 aumentos)



Figura 2c: Ettringita (e) en forma de rosetas observadas en el cordón cimeta (x 1300 aumentos)

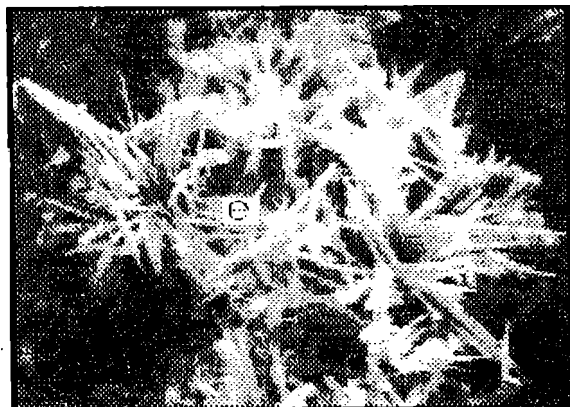


Figura 2d: Ettringita (e) en el hormigón del puente (x 860 aumentos)

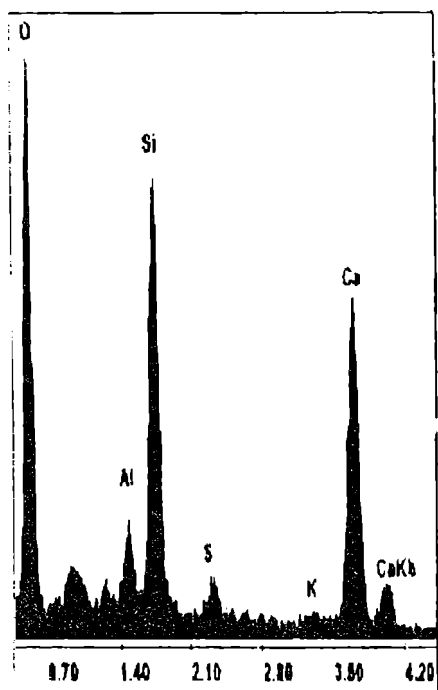


Figura 3a. EDAX de la ettringita observada en la figura 2a.

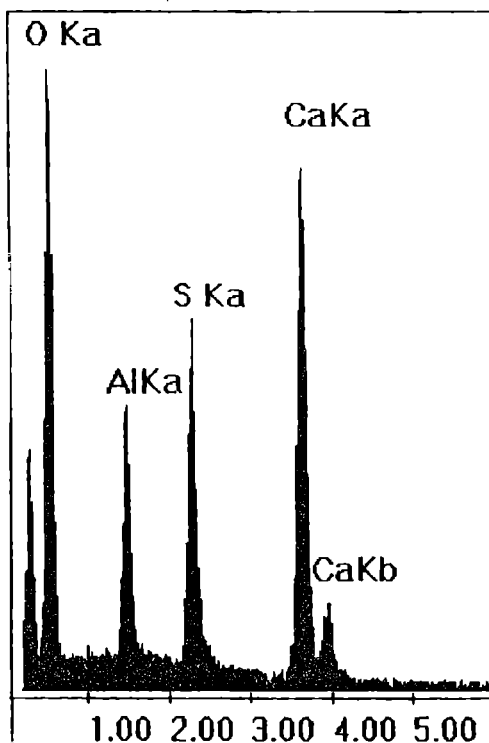


Figura 3b. EDAX correspondiente a la zeolita observada en la figura 2a.