

UTILIZACIÓN DE MICROSONDA ELECTRÓNICA EN LA DETERMINACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE LA RAS

Marfil, S. A,^{1,2} y P. J. Maiza^{1,2}

1. Dpto. de Geología. Universidad Nacional del Sur. San Juan 670. 8000 Bahía Blanca, TE. 0291-4595184. FAX: 0291-4595148. email: smarfil@criba.edu.ar.

2. Investigador Adjunto s/d CIC.

3. Investigador Principal. CONICET

RESUMEN

El propósito del presente trabajo es caracterizar los productos de neoformación desarrollados en hormigones afectados por la RAS utilizando microsonda electrónica. Se trabajó sobre secciones delgadas estudiadas previamente con microscopio de polarización.

Los productos de reacción se manifiestan en el interior de cavidades de aire accidental, de microfisuras y en los contactos agregado reactivo-mortero. El análisis con microsonda permitió identificar S, Al y Ca en los dos primeros casos. Estos elementos se adjudicaron a ettringita. En los contactos con agregados reactivos se identificó Si, Al, Ca y pequeñas cantidades de Na y K, adjudicados a estructuras ceolíticas.

Se realizó un mapeo de aluminio y elementos alcalinos en clastos afectados por la RAS con desarrollo de abundante producto de reacción, en zonas de contacto con el mortero y en fracturas, a fin visualizar las variaciones en los contenidos de los silicatos de calcio. Esta metodología permite determinar rápidamente el grado de deterioro que presentan los clastos y el estado de avance del proceso de reacción.

Palabras claves: microsonda – RAS – composición productos neoformación.

Introducción

Es muy numerosa la bibliografía mundial respecto al estudio de los productos desarrollados por la reacción álcali-sílice utilizando diferentes metodologías, en especial SEM-EDAX (1, 2, 3). Se menciona que el gel encontrado en el hormigón es un material de composición variable constituido principalmente por Si, Ca, Na y K junto con otros elementos menores (4).

En Argentina, la primera manifestación de la RAS fue comunicada en 1950, en la ruta que una la ciudad de La Plata con Punta Lara. Los primeros estudios se realizaron en 1968 por la Comisión de estudio de la reacción álcali agregado (5). A partir de allí fueron numerosos los trabajos desarrollados por la citada Comisión. En 1989 (6), en su trabajo de Tesis Doctoral menciona que los productos de la RAS son ceolitas, identificadas por DRX. Trabajos posteriores (7, 8, 9, 10) efectuaron estudios con microscopio de polarización sobre secciones delgadas y SEM-EDAX, identificando Si, Al, O, y álcalis atribuidos a las estructuras ceolíticas determinadas por DRX y S, Al, O y Ca, desarrollado principalmente en el interior de cavidades de aire accidental y en microfisuras que afectan a la pasta, adjudicados a ettringita (12).

En trabajos previos se identificaron ceolitas y ettringita por sus propiedades ópticas. Estos minerales se presentan en muy escasa cantidad. Además se analizaron, con SEM-EDAX, trozos de hormigón separados con estereomicroscopio donde se observó la ettringita y el “gel”. Por difracción de rayos X fue posible diferenciar las estructuras ceolíticas de la ettringita. El denominado gel, no presentaba características amorfas sino que por el contrario se determinó una estructura cristalina bien definida similar a ceolita. Este método permite

analizar la composición química de ambos productos sin perder su posición en el mortero. Con microsonda electrónica se observaron secciones delgadas, estudiadas en forma previa con microscopio de polarización para identificar rápidamente las zonas a ser analizadas. De esta manera se estudió el material del interior de cavidades, fisuras, contactos agregados reactivos – mortero, etc.

Materiales y Métodos

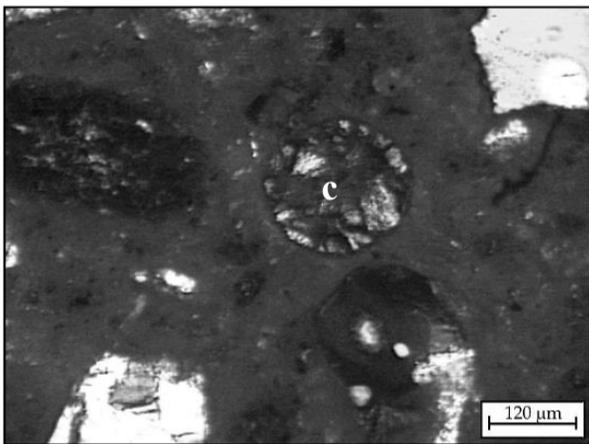
Se trabajó con muestras de hormigón provenientes de una pista de aeropuerto seriamente afectada por la RAS. En un trabajo previo (11), se estudió la petrografía del hormigón, los principales constituyentes de los agregados fino y grueso. Se identificaron como especies deletéreas cuarzo de grano fino, con extinción ondulante y abundantes rocas volcánicas con pastas vítreas.

Se estudió el hormigón en secciones delgadas con un microscopio de polarización trinocular Olympus BH-2, con videocámara incorporada y sistema de captura y digitalización de imágenes image pro plus 3.1. Se utilizó microsonda electrónica para determinar la composición química de los productos observados en los diferentes sectores del hormigón dañado.

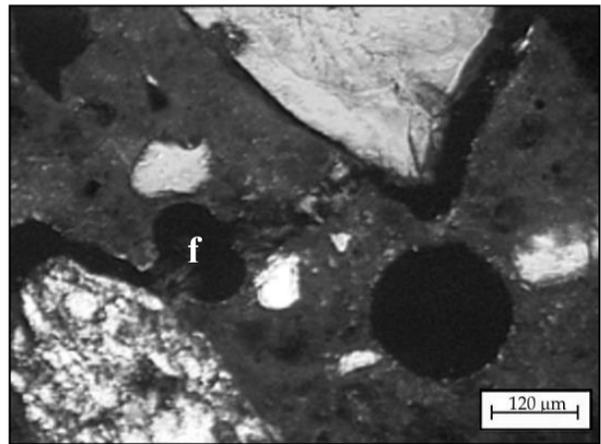
Resultados

Microscopía de polarización

El hormigón utilizado presenta un fuerte grado de deterioro evidenciado por la presencia de microfisuras que afectan al mortero y a los agregados reactivos, principalmente a los constituidos por cuarzo fino con extinción ondulante. Las cavidades de aire accidental (c) (fotomicrografía N° 1) y las microfisuras finas (f) que afectan sólo a la pasta (fotomicrografía N° 2), se encuentran colmatadas con un mineral de baja birrefringencia identificado por DRX en un trabajo previo (11) como ettringita.



Fotomicrografía N° 1



Fotomicrografía N° 2

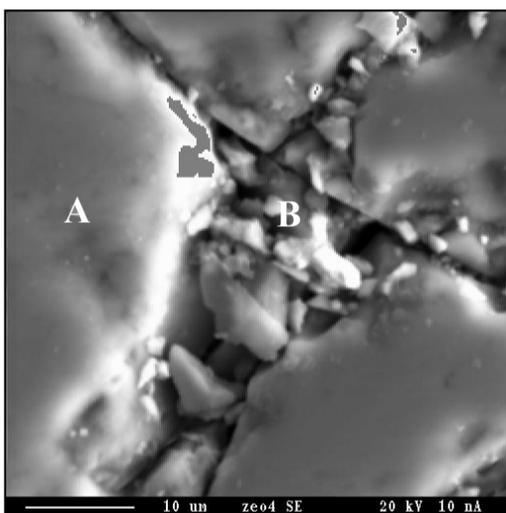
Los clastos reactivos se presentan fisurados y en algunos casos despegados del mortero. En las fisuras se desarrolla un brechamiento o molienda en cuyos interespacios se observa un material, con muy baja cristalinidad (a veces amorfo), asignado a estructuras ceolíticas por DRX (Maiza et al. op. cit). (Fotomicrografía N° 3).

Microsonda electrónica

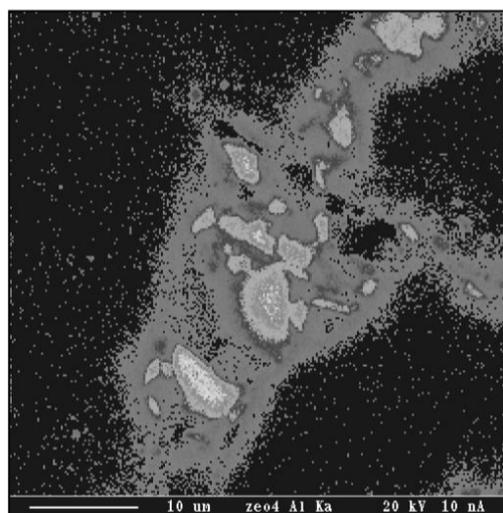
Se analizaron diferentes sectores de la pasta, especialmente el material contenido en el interior de las cavidades de aire accidental (c) observado en la fotomicrografía N° 1 y el del interior de las microfisuras (f) que afectan a la pasta (Fotomicrografía N° 2). Los resultados se muestran en la tabla N° 1 (sectores 1 y 2 respectivamente) donde es posible observar que en su composición predomina S, Ca y Al, correspondientes a ettringita.

También se analizó la composición química del contenido interior de las fracturas, de los clastos reactivos y de los contactos con el mortero. Los sectores analizados se muestran en la fotomicrografía N° 3 (electrones retrodispersados). En el sector A de la foto, que corresponde a un clasto reactivo, se determinó que está constituido por 100 % de sílice (cuarzo), mientras que en el interior de las fracturas (sector B de la foto), predomina Si y Ca con cantidades menores de Al y muy escaso Na y K (Tabla N° 1, sector 3).

Se realizó un mapeo de Al, y elementos alcalinos, de la zona observada en la fotomicrografía N° 3, con el propósito de observar el desarrollo de los productos de neoformación. En la fotomicrografía N° 4 se muestra los resultados para la distribución del aluminio. Esto permite visualizar el grado de deterioro del agregado y la distribución de los productos de reacción ya que el clasto original es de cuarzo (sectores oscuros). Todo el aluminio (área clara) se consideró como producto de neoformación.



Fotomicrografía N° 3



Fotomicrografía N° 4

Tabla N° 1. Composición química de los productos de neoformación, analizados con microsonda electrónica (*).

Composición	Sector 1	Sector 2	Sector 3
SiO ₂	0.09	0.35	21.88
SO ₂	20.94	21.09	0.03
TiO ₂	0.04	0.02	1.13
Al ₂ O ₃	9.31	12.84	30.02
MgO	0.00	0.02	3.94
CaO	40.51	40.04	12.08
MnO	0.02	0.00	0.13
FeO	0.02	0.09	4.97
Na ₂ O	0.02	0.00	0.93
K ₂ O	0.00	0.00	0.05

(*) En la tabla se indican únicamente los resultados obtenidos con microsonda, no se recalcularon los porcentajes sumando el OH⁻ y el H₂O.

Conclusiones

1. El estudio de productos de reacción con microsonda electrónica permite analizar la composición química de los productos de neoformación, en el contexto de la textura del mortero.
2. Se puede reconocer la distribución del material desarrollado en fisuras, cavidades y bordes de clastos reactivos y su composición química.
3. El mapeo por elemento permite evaluar el estado de los agregados reactivos y la distribución areal de los productos de reacción, aún cuando la cristalinidad de los mismos sea muy escasa.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CONICET, a la CIC de la Prov. de Bs. As y a la UNS por el apoyo brindado y al Sr. Rodolfo Salomón por la compaginación de las fotomicrografías.

Referencias

- 1) M. A. Berubé et Fournier B. "Les produits de la réaction alcalis-silice dans le béton: Etude de cas de la région de Québec". Canadian Mineralogist. 271-288 (1986).
- 2) W. F. Cole; C. J. Lancucki and M. J. "Sandy Products formed in an aged concrete". Cement and Concrete Research. 11, 443-454 (1981).
- 3) W. F. Cole and C. J. Lancucki. "Products formed in an aged concrete. The occurrence of okenite". Cement and Concrete Research. 11, 443-454 (1984).
- 4) Poole. "Introduction to alkali-aggregate reaction". Cape town: S252/13, 1-13 (1992).
- 5) Comisión de estudio de la reacción álcali-agregado. "Investigación de la reactividad potencial de los álcalis de los cementos con los áridos utilizados normalmente en las obras del gran Buenos Aires y en una parte del litoral norte argentino". VI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Memoria. IV. Doc. 58. 273-280 (1968).
- 6) S. A. Marfil. "La reacción álcali-agregado. Investigación de la reactividad potencial de los agregados con los álcalis del cemento, utilizados en Bahía Blanca y su zona de influencia". Tesis Doctoral. Biblioteca Central UNS. Bahía Blanca. (1989).
- 7) S. A. Marfil y P. J. Maiza. "Zeolite crystallization in portland cement concrete due to alkali-aggregate reaction". Cement and Concrete Research. Vol. 23 N° 6. pp 1283-1288. USA. (1993).
- 8) S. A. Marfil y P. J. Maiza. "Ceolita cristalizada a partir de un gel en un hormigón deteriorado por la reacción álcali - sílice". Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. N° 13. 111-116 (1999).
- 9) S. A. Marfil and P. J. Maiza. "Deteriorated pavements due to the alkali - silica reaction. A petrographic study of three cases in Argentina". Cement and Concrete Research. USA. Vol 31. N° 7. pp. 1017-1021 (2001).
- 10) S. A. Marfil; P. J. Maiza and R. C. Salomón. "ASR Induced Blow-up in an Urban Concrete Pavement (Bahía Blanca-Argentina)". The International Journal of Pavement Engineering. Vol. 2 N° 4- pp 271-276. UK (2001).
- 11) P. J. Maiza; S. A. Marfil and O. R. Batic. "Identification of zeolites in concretes affected by ASR. Effect of different aggregates". Ninth International Conference. Vol. 2. 630-637. London (1992).
- 12) O. R. Batic; C. A. Milanesi, P. J. Maiza and S. A. Marfil. "Secondary ettringite formation in concrete subjected to different curing conditions". Cement and Concrete Research. Vol 30. N° 9. 1407-1412 (2000).