



EVOLUCION DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO AFECTADOS POR LA REACCION ALCALI – SÍLICE (RAS) EN LA CIUDAD DE BAHÍA BLANCA (Provincia de Buenos Aires, Argentina)

MAIZA, P. J.^{1,2}. y MARFIL, S.A.^{1,3}

1. Profesor Dpto. de Geología. Universidad Nacional del Sur. San Juan 670. 8000 Bahía Blanca. Argentina. TE: 54-291-4595184. FAX: 54-291-4595148. email: smarfil@criba.edu.ar.
2. Investigador Principal CONICET
3. Investigador Adjunto s/d CIC de la Prov. de Bs. As.

RESÚMEN

En la ciudad de Bahía Blanca, (Prov. de Buenos Aires, Argentina) los pavimentos de concreto presentan un estado variable de conservación. Los más sanos son los más antiguos (más de 50 años) y existen otros con no más de 15 años de edad que muestran un grado de deterioro importante.

Se estudió la petrografía de los agregados finos y gruesos que los constituyen. Todos presentan componentes similares. Las arenas tienen materiales altamente deletéreos frente a la reacción álcali-sílice al igual que el canto rodado y una roca cuarcítica utilizada como piedra partida. Se analizaron además por los métodos de ensayo convencionales tales como método químico y barras de mortero.

En el presente trabajo se estudió la patología que presentan los pavimentos deteriorados. Se identificaron especies de neoformación tales como ettringita y estructuras ceolíticas y se concluyó que el deterioro se debe al desarrollo de la reacción álcali – sílice y corresponde al período en que se utilizaron cementos con alto contenido de álcalis.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la reacción álcali-sílice (RAS) encuentra sus primeras menciones en la Argentina en la década del '50, creándose una Comisión especial en el año 1956 para estudiarlo. (Comisión de estudio de la reacción álcali-agregado, 1968). La recta afectada fue un tramo de la carretera que une las ciudades de La Plata y Punta Lara en la Prov. de Buenos Aires. El deterioro fue tan intenso que no pudo inaugurarse ya que se debieron realizar importantes reparaciones. Desde entonces son muy numerosos los trabajos realizados sobre el tema en todo el mundo a modo de ejemplo pueden citarse: Berubé et Fournier, 1986; Cole, et al., 1981; Dent Glasser and Kataoka, 1981; Capra and Bournazel, 2001; Gifford and Gillot, 1996 entre muchos otros.

En la ciudad de Bahía Blanca, (Prov. de Bs. As.) (Figura N° 1), los primeros estudios que involucran a la RAS como causa de la destrucción de los pavimentos de concreto, data de alrededor de 1994. (Maiza y Marfil, 2000).

La mayoría de los agregados finos (arenas naturales de diferente origen) contienen componentes litológicos calificados como deletéreos entre los que puede mencionarse vidrio volcánico de diferente composición (desde ácidos a mesosilícicos), rocas volcánicas con pastas vítreas frescas y alteradas, calcedonia, sílice criptocristalina y otros. No existen yacimientos alternativos cercanos, con otros componentes para sustituirlos. (Maiza et al. 1988).

Los agregados gruesos son canto rodado, en cuya composición participan rocas y minerales semejantes a los de las arenas y dos tipos de rocas usadas como agregados de trituración, un granito de buena calidad calificado como inocuo y una cuarcita que ha sido calificada como de reacción lenta frente a la RAS. (Marfil y Maiza 1993).

El cemento disponible es normal, con un contenido de Na_2O equivalente menor al 0.6 %, aunque con el transcurso del tiempo este valor se ha ido incrementando. En general los cementos de la región tienen bajo sodio y elevado potasio. Hasta el año 1970 se fabricaba en su mayor parte en la Prov. de Buenos Aires, a partir de esa fecha entraron en el mercado otros cementos de origen nacional, con mayor contenido de elementos alcalinos y a partir de 1980 se importó en parte. Se hallaron valores de Na_2O equivalente superiores al 1.20 %.

De la mayoría de las obras consideradas en el presente estudio, se observó que casi todas fueron realizadas con el mismo agregado fino y el agregado grueso varía entre granito triturado, cuarcita triturada y canto rodado.

Se observaron dos tipos de deterioro: uno con fracturación irregular conocida en la literatura como “en forma de mapa”, con achicamiento o estrangulación de juntas, hinchamiento por elongación de las placas, elevación del nivel de rodamiento con desprendimiento de fragmentos en la zona deteriorada y otra con abobedamientos, fracturación, elevación del concreto, desprendimiento de la base y rotura con varios casos de estallido explosivo. (Marfil et al., 2000).

La remediación más utilizada es el seccionamiento de las placas y relleno con concreto de composición semejante, reparación que puede durar no más de 5 años, o eliminar la elevación y cubrirla con pavimento bituminoso. En el primer caso la reparación es transitoria porque el proceso expansivo continúa y cuando las placas se contactan producen la rotura y en el segundo, la capa asfáltica se comporta como impermeable, absorbe en forma diferencial el calor y aumenta la velocidad de la reacción de rotura. En este caso la reparación no alcanza a durar 3 años.

METODOLOGÍA ANALÍTICA

ESTUDIO DE LOS AGREGADOS

- Método de la barra de mortero (ASTM C-227), que consiste en confeccionar barras normalizadas y curarlas en cámara húmeda a 38 °C durante 6 meses, si la expansión medida supera el 0.1 % el agregado es considerado potencialmente reactivo.
- Método químico (ASTM C-289), permite determinar la sílice disuelta al sumergir el agregado en una solución de NaOH 1N a 80 °C durante 24 hs. Marfil et al. (1995), concluyeron que si los

valores son menores a 10 mg el material puede considerarse inocuo, entre 10 y 20 es dudoso y deben realizarse ensayos complementarios que permitan calificar el material y si supera los 20 mg se considera deletéreo.

- Examen petrográfico (ASTM C-295), establece los minerales potencialmente reactivos y los porcentajes máximos permitidos.

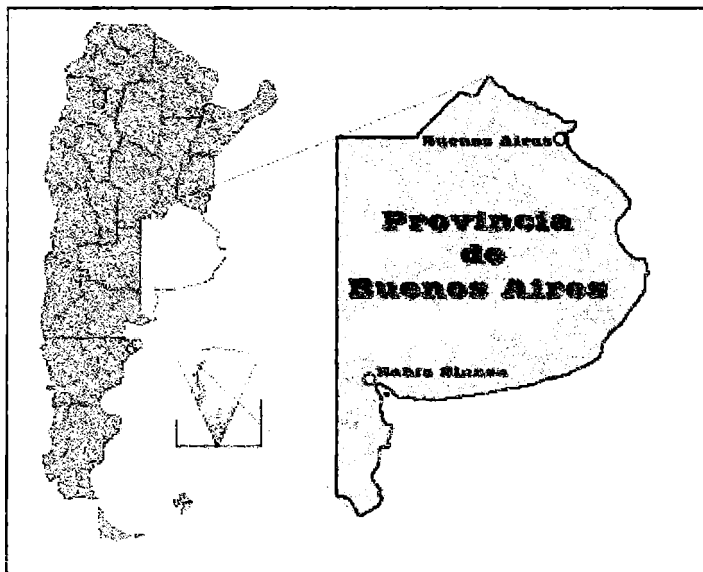


Figura N° 1. Mapa de ubicación.

PETROGRAFÍA DEL HORMIGÓN

- Estereomicroscopio y microscopía de polarización sobre secciones delgadas. Se utilizó un sistema microscópico Olympus, con procesador de imágenes integrado con un estereomicroscopio Olympus trinocular SZ-PT; microscopio petrográfico Olympus trinocular B2-UMA, con una cámara de video Sony 151 A incorporada, monitor de alta resolución, procesador de imágenes Image Pro Plus versión 3.1. y programas computarizados para tratamiento de imágenes y cuantificaciones.

ESTUDIO DE LOS PRODUCTOS DE REACCIÓN

- Difractometría de rayos X. Se trabajó con un difractómetro Rigaku D-max IIC con radiación de $\text{Cu K}\alpha$ y monocromador de grafito, con 35 Kv y 15 mA,
- Microscopía electrónica de barrido. Se utilizó un 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).

- Se utilizó microsonda electrónica para determinar la composición química de los productos observados en los diferentes sectores del hormigón dañado.

RESULTADOS

En trabajos previos (Maiza y Marfil, 1997) se han informado los resultados de los análisis y ensayos realizados sobre los agregados, utilizando los ensayos normalizados.

1. PETROGRAFÍA DE LOS AGREGADOS

En las tablas N° 1 y 2 se resume la petrografía de los principales materiales utilizados como agregados en la zona de Bahía Blanca.

Tabla N° 1. Agregados finos: arenas naturales. Características petrográficas

| Composición mineralógica / litológica | Componentes deletéreos | Calificación |
|---|---|--------------|
| Cuarzo, feldespato, clastos líticos de rocas volcánicas, plutónicas y metamórficas, minerales opacos, conchillas. | Vidrio volcánico, pastas vítreas, calcedonia, cuarzo con elevado ángulo de extinción ondulante. | Reactivas |

Se estudiaron 8 yacimientos en 7 de ellos el contenido de vidrio volcánico oscila entre 2 y 14 % en peso, lo que sumado a las pastas vítreas de algunas rocas volcánicas que en algunos casos supera el 20 %, tornan al material potencialmente reactivo. El material de la cantera restante tiene muy alto contenido de cuarzo, rocas graníticas y escasos componentes deletéreos lo que permitió calificarla como inocua.

Tabla N° 2. Agregados gruesos. Características petrográficas

| Agregado | Composición mineralógica / litológica | Componentes deletéreos | Calificación |
|--------------------|---|---|--------------|
| Canto rodado | Cuarzo, feldespato, rocas volcánicas y graníticas, minerales opacos, areniscas silíceas | Sílice micro y criptocristalina, vidrio volcánico, pastas vítreas, calcedonia. | ** |
| Granito triturado | Cuarzo, ortosa, plagioclasa, biotita, muscovita, hornblenda, apatito, titanita, clorita, calcita, caolín. | Escaso cuarzo tensionado de bajo ángulo de extinción ondulante (AEO). | Inocua |
| Cuarcita triturada | Fenoclastos de cuarzo, cuarzo intergranular en mortero, sericita y montmorillonita. | Cuarzo con alto AEO de gran superficie específica y arcillas con capacidad de intercambio catiónico | Reactiva |

** Se estudiaron 4 canteras de canto rodado. 3 fueron calificadas como potencialmente reactivas, con un contenido de componentes deletéreos que supera el 25 % y una inocua.

2. ENSAYOS QUÍMICOS

Los análisis de sílice soluble realizados según la norma ASTM C-289 dieron los resultados que se muestran en la tabla N° 3

Tabla N° 3: Método de ensayo químico.

| | Arena | Canto Rodado | Granito triturado | Cuarcita triturada |
|----------------------------------|--------|--------------|-------------------|--------------------|
| mg de sílice disuelta (mín./máx) | 13/119 | 5/54 | 2/4 | 5/9 |

Las rocas cuarcíticas son consideradas agregados de reacción lenta. Si bien el contenido de sílice disuelta es bajo, provocan expansión en las barras de mortero a largo plazo.

3. ENSAYOS FÍSICOS

Los ensayos físicos de las barras de mortero realizados bajo la norma ASTM C 227, permiten sintetizar las conclusiones en la tabla N° 4.

Tabla N° 4. Ensayos físicos: Métodos de las barras de mortero.

| | Arena | Canto Rodado | Granito triturado | Cuarcita triturada |
|---------------------------|-------------|--------------|-------------------|--------------------|
| % de expansión (mín./máx) | 0.006/0.324 | 0.018/0.411 | 0.014/0.016 | 0.136 |

4. PETROGRAFÍA DE LOS CONCRETOS DE LOS PAVIMENTOS

Se realizaron secciones delgadas de muestras de pavimentos obtenidas durante trabajos de zanjeo que afectaron concretos de edades que oscilan entre 5 y 60/70 años aproximadamente. Fueron estudiados con microscopio de polarización sobre secciones delgadas, se determinó la composición mineralógica y litológica de los agregados, estado de fisuración del mortero y cristalización de especies cristalinas de neoformación. Se estudiaron estaciones de muestreo y se concluyó que los concretos de más de 40 años no muestran evidencias de procesos deletéreos; los que tienen entre 20 y 40 presentan escasas microfisuras que afectan principalmente a la pasta; los de menos de 20 años están muy deteriorados y los muy nuevos están al menos afectados por un microfisuramiento intenso.

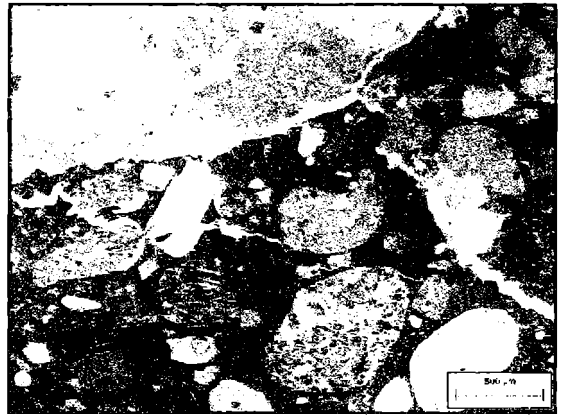
Todos los concretos fueron realizados con agregados finos de composición semejante, como agregado grueso en los últimos 20 años se incorporaron rocas graníticas que resultaron no reactivas.

En la fotomicrografía N° 1 se muestra un concreto de un pavimento de más de 60 años, donde se puede observar la composición litológica de los agregados y el estado normal del mortero. En la fotomicrografía N° 2 se observa un concreto de 20 años de edad afectado por la RAS, con reacciones de borde, fracturas rellenas por minerales de neoformación y mortero con su textura

obliterada. Uno de los pavimentos más afectados por la reacción álcali-sílice corresponde a una calle de la ciudad de Bahía Blanca, que produjo un estallido del pavimento con un levantamiento de las placas de más de 80 cm lo que provocó un accidente de tránsito calificado como importante. (Marfil et al., 2001).



Fotomicrografía N° 1



Fotomicrografía N° 2

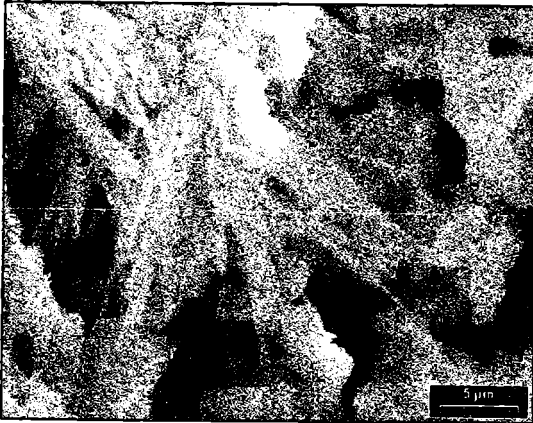
5. ANÁLISIS DE LOS MATERIALES DE NEOFORMACIÓN:

Si bien los productos de reacción se reconocen con facilidad en las secciones delgadas al ser observadas al microscopio, es difícil la concentración de cantidades y pureza necesarias para aplicar otros métodos más determinativos.

Se realizaron estudios por difracción de rayos X de los productos de neoformación, reconociéndose ettringita ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$) (Maiza et al. 1996) y estructuras ceolíticas (tipo colita Na-P, chabacita y clinoptilolita entre otras) (Maiza et al., 1992).

Además se estudió la morfología y composición de estos productos con microscopio electrónico de barrido y EDAX. En las fotomicrografía N° 3 y 4 se observa la morfología de la ettringita y ceolita respectivamente, cuyos análisis por EDAX se muestran en las figuras N° 2 y 3 .

Se realizaron estudios con microsonda electrónica a fin de evaluar la composición química de los productos de neoformación cuantitativamente. Se identificó ettringita en el interior de cavidades de aire accidental y microfisuras y ceolitas en los contactos agregado reactivo-mortero.



Fotomicrografía N° 3 SEM de ettringita.

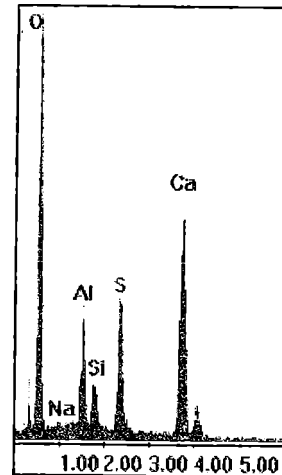


Figura N° 2. EDAX del material observado en la fotomicrografía N° 3



Fotomicrografía N° 4. SEM de zeolita.

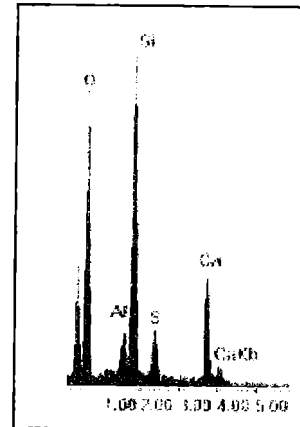


Figura N° 3. EDAX del material de la fotomicrografía N° 4

CONSIDERACIONES

- Los concretos de los pavimentos de la ciudad de Bahía Blanca (Argentina) se realizaron con agregados de composición similar a lo largo del tiempo.
- Se observó que los más antiguos (más de 50 años), no presentan características que permitan adjudicar su deterioro a la RAS. Aquellos realizados hace 20 años (+/- 10) muestran diferente grado de degradación, muchos de ellos claramente afectados por la RAS, fecha coincidente con la entrada de cemento de alto álcali a la región.
- Las reparaciones consisten en seccionar la calle o ruta, extraer desde pocas decenas de cm hasta algunos metros, reemplazándolos por concreto nuevo o la eliminación de las partes afectadas y relleno con pavimento flexible tipo bituminoso. En ambos casos es una reparación transitoria ya que iniciado el proceso RAS no se detendrá.

CONCLUSIONES

- Si bien los agregados utilizados para concreto en la zona de Bahía Blanca contienen componentes reactivos, tales como vidrio volcánico, calcedonia, sílice criptocrystalina y algunos agregados gruesos también, el desarrollo de la RAS se atribuye a la utilización de cementos de alto álcalis.
- La petrografía del agregado es de fundamental importancia antes de la elaboración del concreto a fin de decidir sobre el cemento a utilizar. De ello dependerá la vida útil de la obra.

REFERENCIAS

- ASTM C-227. 1981. Standard test method for potential alkali reactivity of cement – aggregate combinations (Mortar – bar method). p. 148-153.
- ASTM C-289. 1981. Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates. (Chemical method). p. 193-197.
- ASTM C-295. 1979. Standard practice for petrographic examination of aggregate in concrete.
- Batic, O., Milanesi, C., Maiza, P. and Marfil, S. 2000. Secondary ettringite formation in concrete subjected to different curing conditions. *Cement and Concrete Research*. Vol 30. N° 9. p. 1407-1412
- Berubé Marc-Andre et Fournier Benoit, 1986. Les produits de la réaction alcalis-silice dans le béton: Etude de cas de la région de Québec. *Canadian Mineralogist*. p. 271-288.
- Capra, B. and Bournazel, J. 2001. Modeling of induced mechanical effects of alkali-aggregate reactions. *Cement and Concrete Research*. Vo. 28 N° 2. p. 251-260.
- Cole, W., Lancucki, C. and Sandy, M. 1981. Products formed in an aged concrete. *Cement and Concrete Research*. Vol. 11. 443-454.
- Comisión de estudio de la reacción álcali-agregado. 1968. Investigación de la reactividad potencial con los álcalis de los cementos de los áridos utilizados normalmente en las obras del gran Buenos Aires y en una parte del litoral argentino. VI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Memoria IV. Doc. 58. 273-280.
- Dent – Glasser, L. and Kataoka N. 1981. The chemistry of alkali-aggregate reaction. *Cement and Concrete Research*. Vol. 11. 1-9.
- Gifford, P. and Gillot, J. 1996. Alkali-silica reaction (ASR) and alkali-carbonate in activated blast furnace slag cement (ABFSC) concrete. *Cement and Concrete Research*. Vol. 26 N° 1. 21-26.
- Maiza, P., Marfil, S., Sota, J. y Batic, O. 1988. Comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de reactividad potencial alcalina en áridos finos utilizados en Bahía Blanca y Punta Alta, Prov. de Buenos Aires. Segundas Jornadas Geológicas Bonaerenses. Bahía Blanca. Actas. 697-709.
- Maiza, P., Marfil, S. and Batic, O. 1992. Identification of zeolites in concretes affected by ASR. Effect of different aggregates. Ninth International Conference. Vol. 2. 630-637. London.
- Maiza, P., Marfil, S. y Batic, O. 1996. Ettringita cristalizada en hormigones de cemento portland. IV Jornadas Geológicas Bonaerenses. Vol. 1: 273-280. Junín. Noviembre de 1995
- Maiza, P. y Marfil, S. 1997. Principales yacimientos de arena, canto rodado y piedra partida, utilizados en la construcción en la zona de Bahía Blanca, Prov. de Buenos Aires. Primer Seminario de Tecnología del Hormigón en la Vivienda del Mercosur. Memorias. Santa Fe. 253-264.
- Maiza, P. y Marfil, S. 2000. Petrografía del hormigón endurecido. Estudio de un pavimento con patologías. *Revista Hormigón*. N° 35. 11-22.
- Marfil, S. y Maiza, P. 1993. Los agregados gruesos utilizados en la zona de Bahía Blanca (Prov. de Bs. As.), en relación con la reacción álcali agregado. Congreso Internacional de Ingeniería Estructural y Tecnología del Hormigón. Córdoba. Memorias. I, 1-10.
- Marfil, S. y Maiza, P. 1994. Ceolita Na-P desarrollada a partir de montmorillonita, incorporada en morteros. II Reunión de Mineralogía y Metalogenia. Publicación del Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata. Actas. N° 3. 215-224.
- Marfil, S., Maiza, P., Batic, O. y Sota, J. 1995. La sílice disuelta como parámetro para calificar agregados en forma preliminar frente a la reactividad alcalina potencial. XII Reunión de la AATH. Memorias. La Plata. 173-178.
- Marfil, S. y Maiza, P. 2000. Pavimento de hormigón deteriorado por la reacción álcali - sílice, en un complejo edilicio de la ciudad de Bahía Blanca. Congreso de Ingeniería 2000. Vol. 2. 44-50. Buenos Aires.
- Marfil, S., Maiza, P. and Salomón, R. 2001. 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.