



Pavimentos de hormigón de la ciudad de Bahía Blanca Su comportamiento frente a la RAS

Marfil, S. A.^{1,2} - Maiza, P. J.^{1,3} - Salomón, R.C.J.⁴

Resumen

Se estudiaron pavimentos de hormigón ubicados en diferentes sectores de la ciudad de Bahía Blanca, construidos entre los años 1960 y 1995.

Se evaluó el estado del hormigón, grado de compactación, tipo y grado de fisuramiento, cerramiento de juntas de dilatación, contactos agregado - mortero, desarrollo de productos de neoformación.

Se analizó la composición petrográfico - mineralógica de los agregados finos y gruesos. Los primeros, en todos los casos estudiados, están constituidos por una arena natural con un elevado contenido de vulcanitas, en su mayoría vítreas, escasas rocas graníticas y clastos de cuarzo, feldespato, vidrio volcánico, valvas y minerales opacos. En algunos pavimentos se identificó calcedonia. Los agregados gruesos, en algunas muestras. Son rocas de trituración de composición granítica y/o cuarcítica mientras que en otras son cantos rodados con una alta componente de clastos volcánicos de pastas vítreas y alteradas.

A pesar de la similar composición litológica, algunos hormigones se presentan sanos, mientras que otros tienen un avanzado grado de alteración. En todos los casos en que hay deterioro, se ha producido el fisuramiento con levantamiento de placas, con cerramiento de juntas de dilatación. Los casos más notables son dos estallidos naturales espontáneos que afectaron varios metros cuadrados de carpeta de pavimento.

El análisis por DRX y SEM EDAX de los productos de neoformación permitió identificar abundante ettringita y estructuras ceolíticas. El estudio microscópico muestra texturas del mortero y de los agregados obliteradas, con fracturamiento de sus componentes y presencia de nuevas especies.

De la comparación de los resultados surge que el comportamiento diferencial debería atribuirse al cemento utilizado. Los pavimentos más deteriorados corresponden a los construidos desde 1985 en adelante.

Las remediaciones más usadas en la primera etapa son: abrir la zona elevada, por lo general cortando desde unos cm hasta 2 metros la totalidad de la placa y volver a llenar con hormigón o si el sector afectado es de menor envergadura, extraer la zona elevada y nivelar con pavimento flexible.

Trabajo post-simposio

Entregado: 20 de Julio de 2001 ▪ Aceptado: 05 de Octubre de 2001

1. Profesor Dpto. de Geología. Universidad Nacional del Sur. San Juan
670. 8000 Bahía Blanca. TE. 0291-4595184.
e-mail: smarfil@criba.edu.ar

2. Investigador Adjunto CIC.

3. Investigador Principal CONICET.

4. Técnico Asociado CIC.

1. INTRODUCCIÓN

Si bien la mayoría de los agregados de la zona de Bahía Blanca utilizados para la elaboración de hormigón de cemento portland, son potencialmente reactivos, (Maiza *et al.* 1988; 1997; Marfil *et al.* 1989) no existen demasiados antecedentes en la zona del desarrollo de la reacción álcali - sílice.

Esto se debe a que la mayoría de los cementos normales disponibles en el mercado tienen un contenido en Na_2O equivalente, dentro de los valores establecidos en las normas ($< 0.6\%$). Sin embargo, desde hace 20 años, ingresan a la ciudad, cementos provenientes de otras zonas del país y del exterior, que superan el 1% .

Como agregado fino se utilizan arenas naturales de origen eólico, marino y fluvial. Las dos primeras tienen un elevado contenido de rocas volcánicas vítreas, con sus pastas tanto frescas como alteradas, en algunos casos a minerales del grupo de la montmorillonita. Es abundante la presencia de vidrio fresco. Estos materiales se comportan como deletéreos cuando son ensayados con los métodos convencionales. Entre los principales puede mencionarse el método de ensayo químico, barras de mortero y examen petrográfico. Mientras que las de origen fluvial existentes en la zona de Bahía Blanca, si bien contienen componentes deletéreos, son las más adecuadas para su uso en hormigón. (Marfil 1989).

El agregado grueso utilizado involucra a rocas de trituración y cantos rodados. Dentro de las rocas se utilizan granitos y cuarcitas. Los primeros tienen un excelente comportamiento en hormigón, mientras la cuarcita es considerada un material de reacción lenta, debido principalmente a la presencia de cuarzo tensionado con un elevado ángulo de extinción ondulante. (Marfil *et al.* 1993)

Si bien estos agregados han sido usados en la mayoría de las obras desde comienzos del siglo y a pesar de ello no se conocían antecedentes de obras con problemas de deterioro debido al desarrollo de la RAS, en los últimos años algunos pavimentos urbanos, con una antigüedad que oscila entre 8 y 14 años, comenzaron a manifestar graves problemas de deterioro, realizándose reparaciones parciales de las zonas afectadas con pavimentos bituminosos o con hormigón. Estas reparaciones son transitorias ya que el proceso de degradación continúa, lo que provoca el achicamiento de las juntas, luego el hinchamiento por la elongación confinada de la placa, una elevación del nivel de rodamiento, fracturamiento en forma de mapa, hasta que se produce el desprendimiento de los fragmentos de la zona afectada. (Marfil *et al.* 2000)

Los pavimentos tanto urbanos como interurbanos construidos con estos agregados presentan diferentes estados de conservación, desde sanos hasta intensamente fisurados con

claras evidencias del desarrollo de la RAS; en algunos casos con marcado fisuramiento y hasta levantamiento de placas. (Marfil *et al.*, en prensa).

En el presente trabajo se realizó un muestreo de pavimentos de hormigón ubicados en diferentes sectores de la ciudad con el objeto de determinar por un lado la composición petrográfico - mineralógica de los agregados y por otro el estado de conservación, manifestación de reacciones deletéreas, presencia de minerales de neoformación. El propósito es establecer si existe una relación entre los pavimentos afectados por la RAS con la composición litológica de los agregados.

No se consideraron pavimentos cuyo deterioro claramente estaba relacionado con otras patologías tales como ataque por sulfato, fatiga de materiales, etc.

2. MATERIALES

Se realizó un muestreo de pavimentos de hormigón en diferentes sectores de la ciudad de Bahía Blanca, elegidas por un lado, en función de los trabajos que se estaban realizando que implicaban la rotura del pavimento y por otro en zonas donde el hormigón estaba siendo reemplazado como consecuencia del deterioro sufrido por el desarrollo de la RAS, manifestado en todos los casos por la elevación de las placas y el fracturamiento en forma de mapa.

Se dividieron en las siguientes áreas:

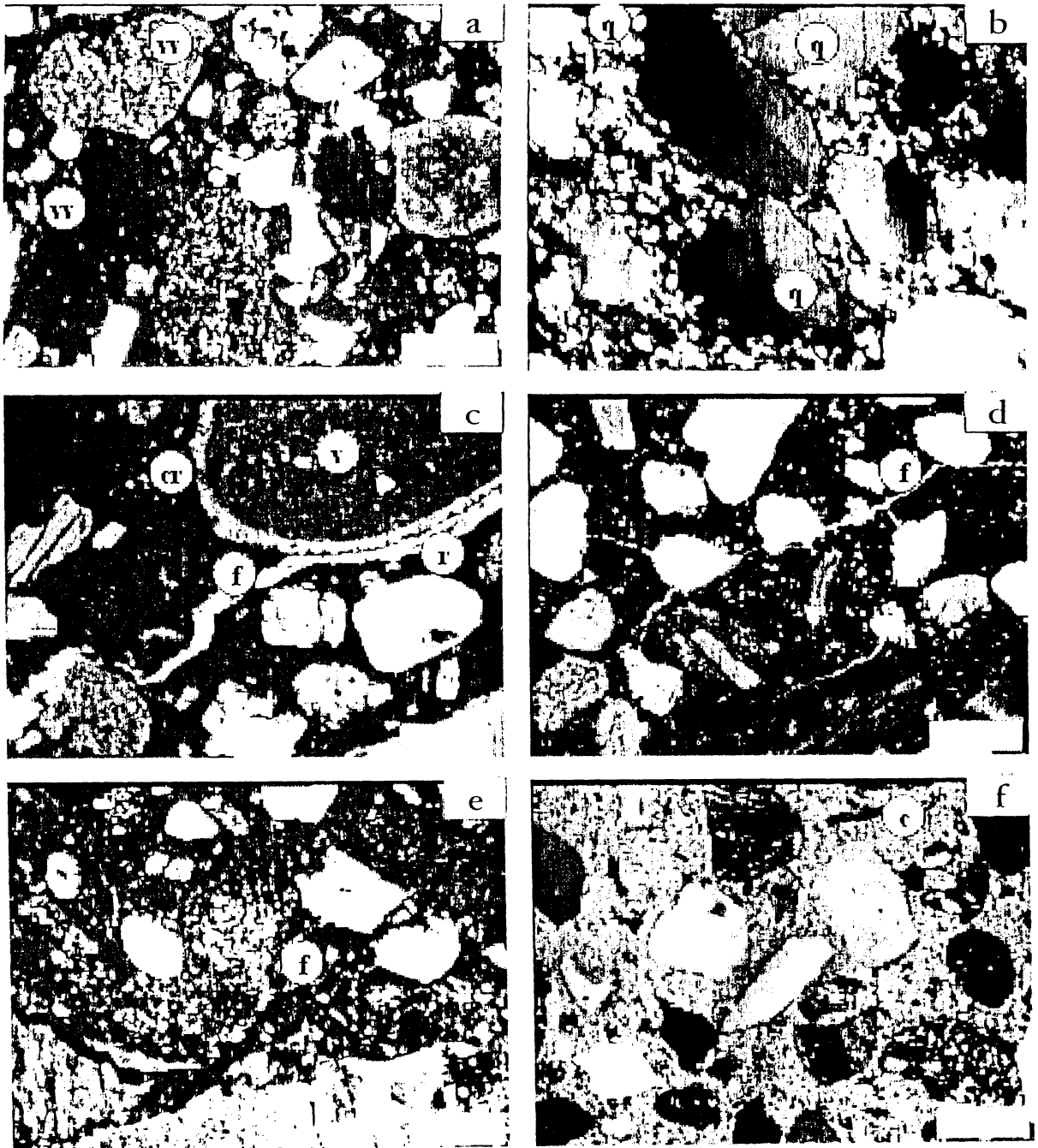
1. Centro: a) Zelarrayán y Casanova. b) Blandenguez 65.
2. Universitario: a) Aguado y Mitre. b) Alem 2000.
3. Pav. CRIBABB. Este pavimento fue estudiado en un trabajo previo (Marfil *et al.* 2000).
4. Sector noroeste: a) Malvinas al 900. b) Catamarca al 500.
5. Av. Colón y Av. Arias.
6. Zona Puerto: - Calle Mascarello.

3. MÉTODOS

El análisis petrográfico se realizó utilizando un sistema microscópico Olympus, con procesador de imágenes integrado con un estereomicroscopio Olympus trinocular SZ-PT; microscopio petrográfico Olympus trinocular BH2-UMA, con cámaras de video Sony 151 AP incorporadas, monitor de alta resolución y procesador de imágenes Image Pro Plus versión 3.1. Los materiales de neoformación fueron determinados con un difractor de rayos X Rigaku, D-max III-C, con radiación de $\text{Cu K}\alpha$ y monocromador de grafito, con 35 Kv y 15 mA computarizado y analizados con un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM 35CP, equipado con sonda EDAX DX 4 de ventana ultradelgada con un rango de análisis elemental desde $Z = 5(\text{B})$ hasta $Z = 92(\text{U})$.

FIGURA 1: PETROGRAFÍA DE LOS PAVIMENTOS

a: Zelarrayán y Casanova. vv: vulcanitas vítreas. b: Aguado y Mitre. q: cuarzo. c: CRIBABB. r: productos de reacción. cr: coronas de reacción. v: clasto vítreo. f: fisuras. d: Malvinas. e: Catamarca. f: zona puerto, calle Mascarello. c: carbonatación.



4. RESULTADOS

Estereomicroscopía

Se utilizó estereomicroscopio con el objeto de determinar el estado del hormigón, fracturamiento, grado de compacidad, desarrollo de coronas de reacción y/o productos de neoformación para su posterior análisis por SEM - EDAX.

Las muestras 1a y b, 2a y b y 6 presentan buen estado de conservación, no se observaron fracturas ni bordes de reacción, ni se identificaron minerales de neoformación.

Sólo se observó el desarrollo de ettringita en el interior de cavidades de aire accidental del tipo primaria, es decir con desarrollo de cristales en forma de aguja muy finos y largos. En algunos casos se identificó además portlandita.

Las muestras 4a y 5 presentan un leve microfisuramiento con desarrollo de materiales de neoformación, principalmente ettringita.

Las muestras 3 y 4b presentan un avanzado grado de deterioro y serán descritas en detalle a continuación:

Muestra 3 CRIBABB:

El material presenta abundante microfisuramiento, escasa compacidad con desarrollo de procesos expansivos y presencia de productos de neoformación, en especial en el interior de cavidades de aire accidental y fracturas. La mayoría de los clastos presentan bordes de reacción. Se observó un material blanco brillante, blando de hábito fibroso, acicular adjudicado a ettringita y otro también blanco pero opaco, más duro y masivo, adjudicado a ceolita. Ambos productos fueron analizados por DRX y SEM - EDAX.

Muestra 4b. Catamarca 500:

Este pavimento estalló violentamente provocando el levantamiento de las placas de hormigón en la junta de dilatación.

Presenta un fuerte grado de deterioro dado por el intenso fracturamiento que afecta al mortero y a los clastos de los agregados reactivos. Se observó abundante desarrollo de ettringita tanto en el interior de cavidades como sobre la superficie del hormigón. Su presencia fue confirmada por DRX y EDAX. La mayoría de los materiales deletéreos presentan coronas de reacción, en algunos casos tapizados por un material blanquecino. Otros clastos han sufrido un proceso de reacción avanzado que los torna deleznable, desarrollándose importantes procesos de ceolitización y argilización.

Microscopía de polarización:

El estudio de los pavimentos de hormigón sobre secciones delgadas permitió determinar la petrografía de los

agregados finos y gruesos así como el estado de la pasta y la relación agregado - mortero.

Los agregados finos se denominaron arena marina y eólica sin detallar la mineralogía ya que fue publicada en trabajos previos y los agregados gruesos se dividen en: canto rodado (rodados tehuelches), y piedra partida: rocas graníticas y cuarcitas. (*Marfil op cit.*; *Maiza op cit*)

1a. Zelarrayán y Casanova:

El agregado fino es una arena natural (eólica) con elevado contenido de vulcanitas vítreas y vidrio volcánico fresco. El agregado grueso es canto rodado de composición mineralógica similar a la arena. Ambos materiales son de conocida reactividad potencial.

El hormigón se presenta sano, no se observó microfisuramiento, los contactos entre los clastos y la pasta son netos. Algunas cavidades de aire accidental se presentan parcialmente rellenas con carbonato de calcio. Las microfisuras son escasas, muy finas y están vacías. En la figura 1a se muestra las características del hormigón, en el que predominan las vulcanitas vítreas (vv)

1b. Blandenguez 65:

Corresponde a una muestra de un cordón cuneta de hormigón constituida por una arena natural de origen marino, con un alto contenido vítreo tanto vulcanitas como vidrio fresco. Además se identificó calcedonia como componente deletéreo. El agregado grueso es una roca de trituración de composición granítica. El hormigón presenta un buen estado de conservación, no hay evidencias del desarrollo de reacciones deletéreas. Se observaron microfisuras muy pequeñas, vacías, en una pasta sin evidencias de deterioro.

2a. Aguado y Mitre :

El agregado fino es una arena natural eólica (similar a la 1a). El agregado grueso está constituido por una roca de trituración de composición cuarcítica, de conocida reactividad potencial. Tiene cuarzo (q) tensionado con extinción ondulante y cuarzo fino entre los granos de mayor tamaño. (Figura 1b). El hormigón se presenta sano.

2b. Alem 2000:

La arena es de origen marino. El agregado grueso es un canto rodado, similar al descrito en las muestras anteriores. El pavimento se presenta en excelente estado de conservación y corresponde al pavimento más antiguo muestreado. Se calcula una edad aproximada de 40 años.

No hay fisuras, se observaron bordes de reacción en algunos contactos de agregados reactivos con el mortero tipo disolución y algunas microfisuras muy finas y vacías.

3. CRIBABB. (Marfil et. al op cit. 2000):

El agregado fino es una arena marina. Como componentes deletéreos presentan elevado contenido de vulcanitas vítreas generalmente con procesos de alteración avanzados (desvitrificación con la formación de arcillas del tipo montmorillonita), es importante también la presencia de vidrio volcánico fresco en clastos aislados. El resto del agregado lo constituyen clastos de cuarzo (con extinción ondulante), feldespato, valvas de moluscos, fragmentos de rocas graníticas y vulcanitas frescas.

En el agregado grueso predominan las cuarcitas, (los agregados de cuarzo microcristalino presentan fuerte extinción ondulante) y rocas graníticas. En menor proporción se identificaron esquistos y vulcanitas básicas con pastas vítreas, en general desvitrificadas.

El mortero se presenta con abundante microfisuramiento. Afecta a la pasta y a los clastos del agregado grueso y fino, generalmente asociado a las vulcanitas vítreas. Estas presentan un estado de alteración avanzado, principalmente desvitrificación, con desarrollo de coronas de reacción y fenómenos de borde tales como contactos de caries. Las fisuras y las cavidades de aire accidental se encuentran rellenas con ettringita y/o ceolitas. En la figura 1c se muestra el microfisuramiento que presenta el hormigón con desarrollo de productos de reacción (r) en el interior de las fisuras (f) y el desarrollo de coronas de reacción (cr) en un clasto vítreo (v).

Este pavimento tiene 14 años de antigüedad.

4. Sector noroeste:

4a. Malvinas al 900:

El agregado fino es una arena de origen marino, semejante a las ya descritas. El agregado grueso es una roca de trituración de composición granítica. Se observó microfisuramiento en forma de mapa de la pasta, las fisuras se presentan rellenas con un material anisótropo. Hay ettringita abundante en el interior de cavidades de aire accidental. Se considera que el pavimento tiene un desarrollo de la RAS incipiente. En la figura 1d se observa el fino microfisuramiento (f) que presenta la pasta.

4b. Catamarca al 500:

La arena utilizada es de origen eólico, constituida en forma predominante por rocas volcánicas en su mayoría básicas y vítreas. El vidrio se presenta tanto fresco como alterado a minerales arcillosos del tipo montmorillonita. Otro componente deletéreo son las trizas de vidrio fresco que constituyen aproximadamente el 8 % en peso de la arena.

El agregado grueso es una roca triturada de composición granítica, calificada apta para su uso en hormigón.

El mortero se presenta fisurado, las fracturas afectan a la pasta y a los agregados deletéreos. En la figura 1e se

muestra el fisuramiento (f) que presenta el hormigón, las fracturas son anchas y afectan también a los clastos de los agregados gruesos y finos.

5. Av. Colón y Av. Arias:

El agregado fino es una arena eólica con un elevado componente vítreo y el agregado grueso una roca de trituración cuarcítica. Se observó abundante microfisuramiento del mortero y ettringita en el interior de cavidades de aire accidental. Hay carbonatación en la pasta. Las fisuras se encuentran rellenas con un material anisótropo de baja birrefringencia adjudicado a ettringita y/o ceolitas.

6. Zona Puerto: - Calle Mascarello:

El agregado fino lo constituye una arena de origen marino con abundantes vulcanitas vítreas, vidrio fresco y calcedonia como componentes deletéreos. El agregado grueso es de composición cuarcítica constituido por cuarzo con extinción ondulante con una matrix de cuarzo fino.

El mortero se presenta sano, no se observó microfisuramiento ni productos de neoformación. No hay evidencias del desarrollo de reacciones deletéreas, aunque hay abundante carbonatación (c) en la pasta como se muestra en la figura 1f.

Difractometría de rayos X

Este método sólo fue aplicado a las muestras CRIBABB y calle Catamarca ya que en el resto no pudo separarse suficiente material de neoformación para ser analizado por esta técnica.

CRIBABB: El material fibroso se identificó como ettringita asociada con portlandita. El resto del difractograma corresponden a cuarzo y feldespato del agregado.

No se pudo separar la cantidad necesaria, con pureza y cristalinidad adecuadas, del producto masivo de neoformación para aplicar esta técnica.

Catamarca 500: El material del interior de las fracturas, coronas de reacción y superficies de los agregados reactivos fue analizado por DRX. Se identificó una ceolita del grupo clinoptilolita - heulandita ($\text{KNa}_2\text{Ca}_2(\text{Si}_{29}\text{Al}_7)\text{O}_{72}\cdot 24\text{H}_2\text{O}$), (ICDD 39-1383) como producto de reacción. Este material presenta la reflexión de máxima intensidad en 8.9 \AA y es fácilmente diferenciable de la ettringita ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$), que tiene la reflexión característica en 9.7 \AA como se observa en la figura 4b. **Este último se desarrolla principalmente en el interior de cavidades de aire accidental y en la superficie del hormigón deteriorado**

Microscopía electrónica de barrido - EDAX

Se analizaron los productos de neoformación identificados por DRX a fin de observar la morfología y composición química de los productos de reacción.

Tanto las muestras de CRIBABB como de calle Catamarca presentan las mismas características:

1. **Material fibroso:** El análisis de EDAX permitió confirmar que se trata de ettringita ya que aparecen claras las reflexiones características de los elementos que constituyen a este mineral (S, O, Ca y Al).
2. **Material blanco masivo:** Corresponde al producto de reacción formado a partir de los agregados deletéreos que desarrollan coronas de reacción. No fue posible visualizar formas cristalinas, aunque morfológicamente corresponde a un mineral de hábito acicular y/o tabular, semejante al que presentan los alúminosilicatos de Ca, Na y K (ceolitas). Analizado por EDAX se identificó Si, O, Al y Ca por lo que fue adjudicado a ceolita. Determinada por DRX se concluyó que es clinoptilolita.

5. CONSIDERACIONES

- De la comparación de los pavimentos estudiados es posible notar que en todos los casos analizados el agregado fino utilizado una arena natural, de origen eólico o marino aunque de similar composición. Ambas presentan un alto contenido de especies deletéreas tales como vulcanitas vítreas con sus pastas alteradas, generalmente argilizadas y vidrio volcánico fresco. Fueron calificadas en trabajos previos por los métodos de ensayos convencionales (barras de mortero, método químico, examen petrográfico) como potencialmente reactivas.
- Los agregados gruesos utilizados son: cantos rodados y piedra partida. El canto rodado contiene un elevado porcentaje de vulcanitas básicas vítreas, calificados como deletéreos. La piedra partida utilizada es granito (inocuo) y cuarcita, calificada como reactiva. (de reacción lenta), por los métodos de ensayo convencionales.
- Tanto los pavimentos sanos como los que se encuentran seriamente afectados por la RAS fueron construidos con agregados deletéreos de composición petrográfico-mineralógica similar.
- Sin embargo los pavimentos antiguos (de más de 20 años de edad), se encuentran sanos, no muestran indicios de alteración, mientras que en los pavimentos construidos a partir de 1984, se han encontrado problemas frecuentes por el desarrollo de la RAS.
- Si bien no existirían registros que permitan conocer los materiales usados de la consulta sobre los cementos empleados surge que los pavimentos deteriorados fueron construidos con cementos de alto álcali.
- A pesar que se han efectuado distintos tipos de análisis, se concluyó que no es posible determinar el

contenido de elementos alcalinos del cemento usado en los pavimentos estudiados ya que éstos participan en la composición de los minerales de las rocas involucradas en los agregados, en sus minerales de alteración y en el agua utilizada. Además debido a la capacidad de intercambio catiónico de los productos de alteración y neoformación, enmascaran los resultados finales.

- Desde que se han iniciado estos estudios en el año 1998, las placas más deterioradas por la RAS (pavimento CRIBABB y calle Catamarca), fueron reemplazadas en los años 1999 y 2000 respectivamente. Actualmente éstas presentan claras evidencias de que la reacción continúa, en algunos casos con importante intensidad, llegando a fracturarse, levantarse y aún desprenderse parte del material. Así mismo en las placas vecinas donde el proceso era incipiente ya puede calificarse de avanzado.
- En el presente estudio se eligieron pavimentos con claras manifestaciones de reacción y se tomaron, para comparación, otros sanos, en sectores donde por la realización de obras debieron ser levantados. En un futuro se prevé ampliar el muestreo para tratar estadísticamente los resultados obtenidos y de este modo evaluar el grado de desarrollo de la RAS en la zona de Bahía Blanca.

6. CONCLUSIONES

1. Los pavimentos situados en el sector universitario, centro y puerto se encuentran sanos, mientras que los situados en la zona NO presentan indicios de degradación en las muestras de Av. Colón y Arias y calle Malvinas y un grado avanzado de deterioro los de la calle Catamarca y el hormigón del pavimento del CRIBABB.
2. Pavimentos construidos con los mismos agregados deletéreos presentan un comportamiento diferente. Los más antiguos situados en los sectores más céntricos de la ciudad y el barrio universitario son los que mejor estado de conservación presentan.
3. En todos los casos estudiados, el deterioro se debe al desarrollo de la reacción álcali - sílice.
4. Los materiales utilizados como agregados finos son deletéreos. Las especies reactivas son: vulcanitas vítreas frescas y alteradas y vidrio volcánico fresco.
5. Los cantos rodados y la roca cuarcítica que constituyen el agregado grueso, son potencialmente reactivos mientras que la piedra granítica es inocua.
6. Los productos de reacción desarrollados son ceolitas del grupo de la clinoptilolita - heulandita y ettringita.

7. El desarrollo de la reacción se atribuye a la utilización de cementos con alto contenido de álcalis.
8. Se recomienda el control del cemento antes de la realización de obras de hormigón si en las mismas serán usados los agregados disponibles en la zona de Bahía Blanca, o en su defecto deben realizarse los estudios necesarios para usar inhibidores de la RAS.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Sur y a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Bs. As. y al CONICET por el apoyo brindado.

8. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

MAIZA P. J.; S. A. MARFIL; J. D. SOTA Y O. R. BATIC, 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. J. Y S. A. MARFIL, 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.

MARFIL, S. A., 1989.

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 de la Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. 1989.

MARFIL S. A. Y P. J. MAIZA, 1989.

Análisis multivariado (Componentes principales) aplicado al estudio de la composición de agregados finos utilizados en la zona de Bahía Blanca.

Asociación Argentina de Tecnología del hormigón. Novena Reunión Técnica. Buenos Aires. II. 277-284.

MARFIL S. A. Y P. J. MAIZA, 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. A. Y P. J. MAIZA, 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. A.; P. J. MAIZA AND R. C. SALOMÓN.

Burst in a concrete urban pavement due to ASR development (Bahía Blanca - Argentina).

Pavement Engineering. USA. (en prensa).