

# RUTA DE CIRCUNVALACIÓN A LA CIUDAD DE BAHÍA BLANCA. EVALUACIÓN DEL DETERIORO DEL PAVIMENTO DE HORMIGÓN.

C. Priano<sup>1</sup>, S. Marfil<sup>2</sup>, L. Señas<sup>3</sup>

Universidad Nacional del Sur. Av. Alem 1253. 8000 Bahía Blanca.  
TE 0291-4595103 int. 3223 email: cpriano@uns.edu.ar

**Palabras claves:** hormigón, deterioro, petrografía, ras

## RESUMEN

Se estudió el pavimento de hormigón del camino de circunvalación a la ciudad de Bahía Blanca realizado en dos etapas constructivas (entre 1988 y 1993). Se relevó un tramo de aproximadamente 15 km, que presentaba un avanzado deterioro en ciertos sectores, mientras que otros se encontraban en perfecto estado de conservación.

Se calaron testigos a fin de evaluar las posibles causas del deterioro y comparar los hormigones de las dos etapas constructivas. Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión; densidad, absorción y porcentaje de vacíos; y capilaridad.

Se estudió la petrografía del hormigón y de los agregados finos y gruesos, utilizando estereomicroscopio, microscopía de polarización sobre secciones delgadas, DRX, SEM y EDAX.

Se concluyó que la causa del deterioro que presentan algunos tramos del pavimento, es el desarrollo de la reacción álcali-sílice, en un estado incipiente, que no llega a afectar las propiedades mecánicas y físicas del hormigón.

## INTRODUCCIÓN

Las estructuras de hormigón se proyectan para mantener requisitos mínimos de seguridad, estabilidad y funcionalidad, durante un período de tiempo (vida útil), sin costos extraordinarios de mantenimiento o reparación. Sin embargo, si alguno de los diferentes mecanismos de ataques al hormigón (físico, mecánico, químico y/o biológico) se produce, el deterioro irá en aumento hasta sobrepasar un nivel de seguridad o de funcionalidad definidos en el proyecto original, produciéndose la

1. Asistente de Docencia del Dpto. de Ingeniería.
2. Profesor Dpto. de Geología. Investigador Independiente CIC.
3. Profesor Dpto. de Ingeniería.

necesidad de reparar la estructura, gasto que generalmente no se tiene en cuenta en el proyecto. La evidencia de estructuras con una clara disminución de su vida en servicio es cada vez más frecuente, sobre todo en obras modernas.

En los últimos años se observaron, en la zona de Bahía Blanca, pavimentos de hormigón con evidencias de deterioro debido al desarrollo de la reacción álcali-sílice (1), malas prácticas constructivas, elección errónea de materiales y proyectos que no se adecuan a las características del tránsito actual. En todos los casos estudiados, tanto la arena natural como el canto rodado, tenían elevado contenido de vidrio volcánico y vulcanitas con pastas vítreas, tornándolos potencialmente reactivos. Como agregado grueso se había utilizado además, en algunos casos, piedra partida granítica y cuarcita. La primera de comportamiento inocuo y la segunda tiene cuarzo tensionado con elevado ángulo de extinción ondulante, lo que lo torna un agregado de reacción lenta. Esta composición mineralógica es característica de los agregados del litoral Atlántico, al sur de la ciudad de Bahía Blanca. Se asumió que en los pavimentos con evidencias de desarrollo de RAS, el contenido de álcalis de los cementos utilizados debió ser elevado (1)(2).

## MATERIALES Y METODOS

En el presente trabajo se estudió el pavimento de hormigón del camino de circunvalación de la ciudad de Bahía Blanca realizado en dos etapas constructivas: la primera entre los años 1988 y 1990, y la segunda en el año 1993. Se relevó un tramo de aproximadamente 15 km, dividido en cuatro sectores, algunos de los cuales presentaban un avanzado estado de deterioro. En la figura 1 se muestra un bosquejo de los tramos estudiados.

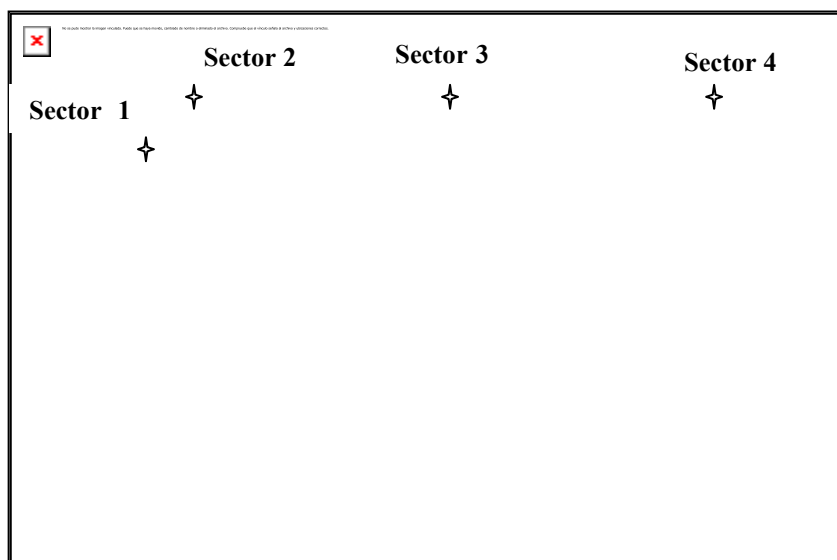


Fig. 1 Sectores de la ruta estudiados.

Se calaron testigos en cada sector, de 10 cm de diámetro y altura variable entre 20,0 y 23,0 cm dependiendo del espesor del pavimento. El sector N° 4 corresponde a la primera etapa constructiva, y los N° 1 y 2 a la segunda. La primera etapa finalizó a la altura del puente que cruza la ruta Provincial N° 01, donde se ubica el sector N° 3. Allí se calaron tres testigos. Uno prácticamente sobre el puente (pavimento de la primera etapa), otro en la bajada de acceso a la ruta provincial y el tercero sobre la ruta de circunvalación. (Estos dos últimos testigos pertenecen al pavimento de la segunda etapa constructiva).

Sobre éstos se realizaron los siguientes ensayos físicos y mecánicos: densidad, absorción y espacios vacíos, según lo establecido en norma ASTM C642-97 (3); resistencia a la compresión según IRAM 1551 (4) y determinación de la capacidad y velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido (IRAM 1871) (5).

Para los estudios petrográficos se utilizó estereomicroscopio y microscopio de polarización Olympus, trinocular, con cámara de video y programas computarizados para el tratamiento de imágenes. Un difractor de rayos X (Rigaku D-Max III - C con radiación de Cu K $\alpha$  y monocromador de grafito, con 35 Kv y 15 mA), y microscopio electrónico de barrido, (JEOL JSM 35 CP equipado con una sonda EDAX).

## RESULTADOS

**Sector 1:** Las placas de hormigón se encuentran fisuradas, en algunos casos con levantamiento en las zonas de contacto. El agregado está constituido por piedra partida granítica y arena natural. Los testigos presentan buen estado hasta los 10 cm, luego se observan huecos por mala compactación, cavidades de aire rellenas parcialmente, exudados blanquecinos y algunos clastos con coronas de reacción. En la Figura 2a se muestra el fisuramiento en forma de mapa que presenta el pavimento.

**Sector 2:** Se observan fisuras características de los fenómenos de retracción. Las juntas de dilatación perdieron el material de relleno. De la observación macroscópica de los testigos puede decirse que el agregado es piedra partida granítica y arena natural. En el hormigón se observan nidos de abeja, abundantes cavidades de aire rellenas parcialmente. No se aprecian fisuras a simple vista.

**Sector 3:** En las proximidades de las juntas entre placas se observan fisuras de distintas longitudes y anchos. Agregado: Piedra partida granítica y dos tipos de arena natural. Hormigón: Abundantes cavidades de aire accidental, buena compactación. Se observan fisuras superficiales que se continúan hasta una profundidad de 1 cm. Huecos tapizados de hasta 2,5 cm. Algunos clastos separados parcialmente del mortero.

**Sector 4:** El pavimento se encuentra sano. El agregado es piedra partida granítica y arena natural con abundantes conchillas. Los testigos tienen buen estado

general, con cavidades de aire accidental de hasta 5 mm de diámetro. No se observan fisuras. En la figura 2b se muestra el estado del pavimento y uno de los testigos extraídos.

### Ensayos Físicos y mecánicos:

Los resultados de las determinaciones de densidad, absorción y espacios vacíos, se detallan en la tabla 2 y los de resistencia a la compresión, en la tabla 3.

Tabla 2 – Propiedades Físicas

Testigos		Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Absorción (%)	Espacios Vacíos (%)
Sector 1	1a	2,43	1,2	3,1
	1b	2,52	1,2	3,1
Sector 2	2a	2,46	1,0	2,6
Sector 3	3a	2,46	0,9	2,5
	3b	2,45	1,0	2,6
Sector 4	4a	2,44	0,9	2,5
	4b	2,45	1,1	3,2

Tabla 3 - Resistencia a la Compresión

Testigos		Resist. compresión (Mpa)
Sector 1	1a	38,0
	1b	60,3
Sector 2	2a	59,7
Sector 3	3a	41,6
	3b	44,2
Sector 4	4a	44,0
	4b	53,1

El valor de la resistencia a la compresión, por sí solo, no puede predecir con exactitud el comportamiento a largo plazo del pavimento de hormigón, es necesario estudiar además otras propiedades que evalúen la durabilidad del material. (6)

Esta propiedad, tarda mucho en verse afectada al desarrollarse fenómenos de reacción álcali-sílice. Sin embargo su determinación siempre es recomendable para dar una idea del nivel de seguridad estructural que mantiene la obra. (7)

Para realizar la determinación de la capacidad (C) y la velocidad de succión capilar (S) de agua del hormigón endurecido, se realizó un aserrado del testigo para obtener una muestra de 5 cm de espesor. El corte se hizo midiendo a partir de la superficie de rodamiento. Los resultados se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4: Velocidad y Capacidad de Succión Capilar

Testigos	S (gr/m <sup>2</sup> seg <sup>1/2</sup> )	C (gr/m <sup>2</sup> )
Sector 1	0,94	812
Sector 3	2,42	1894
Sector 4	0,42	531

La velocidad de succión capilar del hormigón, para cada una de las muestras, se calculó como la pendiente de la recta obtenida mediante ajuste por cuadrados mínimos de la serie de puntos correspondientes al intervalo de tiempo comprendido entre 0,1 C y 0,9 C. Las gráficas de cada uno de los testigos se pueden observar en la figura 3.

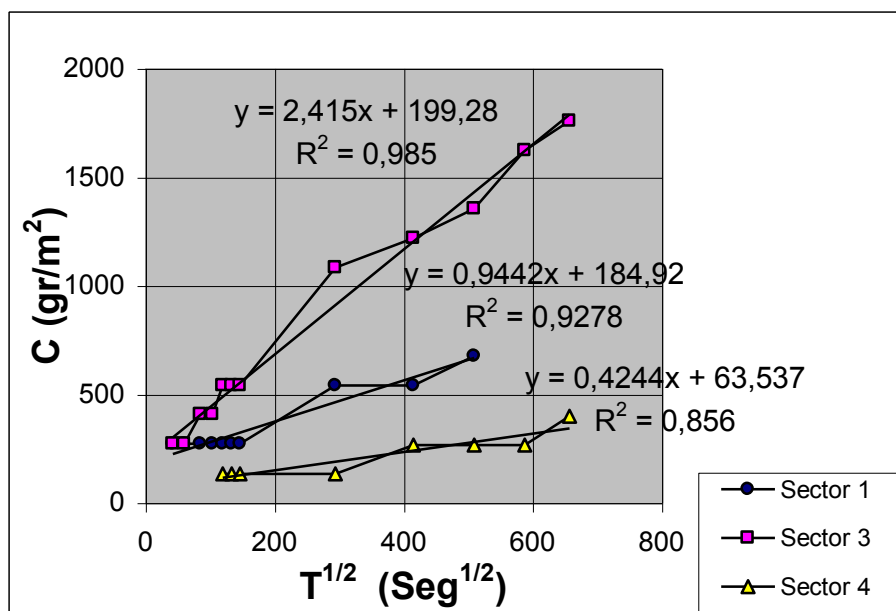


Figura 3. Velocidad de Succión Capilar

El testigo del sector 3 presentaba una fisura en la cara de absorción que podría explicar el elevado valor de velocidad y capacidad de succión capilar en comparación a los otros dos testigos ensayados.

### Estudios petrográficos

#### Observaciones con estereomicroscopio :

**Sector 1:** El hormigón tiene abundantes productos de neoformación. Se observa ettringita en las cavidades de aire accidental. Hay escasas fisuras rellenas con un material blanco el que también abunda en la superficie del hormigón. Se observan clastos de arena con coronas de reacción y material de neoformación. Algunas cavidades se encuentran totalmente colmatadas y hay fisuras que se presentan

selladas con productos de reacción. En la figura 2c se observa clastos con coronas de reacción y material de neoformación en la superficie.

**Sector 2:** El hormigón presenta buen estado de conservación, no se observan microfisuras. Algunas cavidades de aire accidental están tapizadas con ettringita. Es abundante la carbonatación del mortero.

**Sector 3:** Algunos agregados tienen bordes de reacción y un material blanco producto de neoformación, desarrollado en la superficie. El estado general del hormigón es bueno. El agregado grueso predominante es piedra partida granítica. También se observa canto rodado constituido principalmente por rocas volcánicas. Como agregado fino se reconocen dos tipos de arena de diferente composición.

**Sector 4:** El testigo presenta buen estado de conservación. Hay escasos exudados, principalmente en cavidades de aire accidental.

#### **Microscopía de polarización :**

**Sector 1:** El agregado fino es una arena natural constituida por abundantes rocas volcánicas (predominan las básicas sobre las ácidas), con pastas principalmente vítreas tanto frescas como alteradas (desvitrificadas). En menor proporción se identifica cuarzo, rocas graníticas, feldespato, piroxenos, minerales opacos y carbonato de calcio. Es abundante el vidrio volcánico fresco. Se presenta en forma de trizas. El agregado grueso es piedra partida granítica. El hormigón presenta microfisuramiento en la pasta afectando también a algunos clastos del agregado fino. Las fisuras se encuentran rellenas con un material anisótropo. Hay carbonatación del mortero. En la figura 2d se muestra una fisura en 3 direcciones a  $120^\circ$  que afecta tanto a la pasta como a los clastos, típico de la reacción álcali-sílice.

**Sector 2:** El agregado grueso y fino es el mismo que el descrito en el sector 1. Se observa un marcado microfisuramiento que afecta a algunos clastos del agregado fino.

**Sector 3:** En este sector se observan dos hormigones realizados con diferente agregado fino que corresponden a las dos etapas constructivas del camino. El agregado grueso es el mismo. El que corresponde a la segunda etapa, está constituido por una arena similar a la descrita en los testigos anteriores. Hay mucho vidrio volcánico fresco. Se observan microfisuras parcialmente rellenas, lo que evidencia desarrollo de la RAS incipiente. Hay fuerte carbonatación del mortero. El pavimento de la primera etapa tiene una arena natural de composición diferente. Es de origen marino, con predominio de valvas (carbonato de calcio), tosca, cuarzo y rocas graníticas. En menor proporción se identificaron rocas volcánicas. El mortero está sano. Solo se observaron microfisuras muy finas, vacías y que afectan sólo a la pasta. No hay evidencias de desarrollo de reacciones deletéreas. Las cavidades de aire accidental también se encuentran vacías.

**Sector 4:** El agregado fino está constituido principalmente por valvas carbonáticas, cuarzo, tosca, rocas graníticas, cuarcitas y en menor proporción vulcanitas básicas y

ácidas, feldspatos, minerales opacos y piroxenos. El agregado grueso es piedra partida granítica. El hormigón presenta excelente estado de conservación, no se observaron fracturas ni productos de reacción.

### **Difractometría de rayos X y microscopía electrónica de barrido (SEM-EDAX):**

DRX permitió confirmar la presencia de portlandita, ettringita y calcita en la superficie del hormigón y en el interior de cavidades de aire accidental. En la figura 2e se muestra la ettringita vista con SEM. El análisis por EDAX determinó S, Al, O y Ca. En la figura 2f se muestra el material de neoformación desarrollado en una zona de contacto agregado reactivo-mortero. La composición química del material analizada por EDAX es: Si, Al, O, Ca, K, y Na.

### **CONCLUSIONES**

- El hormigón correspondiente a la primera etapa constructiva (sector 4 y parte del 3), se encuentra en excelente estado de conservación. No se observaron evidencias de desarrollo de reacciones deletéreas.
- El hormigón de la segunda etapa (sectores 1, 2 y parte del 3), presenta evidencias del desarrollo de la RAS.
- El desarrollo de la reacción se califica como avanzado en el sector 1, moderado en el sector 2 e incipiente en la parte afectada del sector 3.
- Se identificaron productos de neoformación y se observaron coronas de reacción en clastos reactivos, principalmente de rocas volcánicas vítreas.
- El desarrollo de reacciones deletéreas en el hormigón de la etapa 2 se atribuye a la composición petrográfico-mineralógica del agregado fino (abundante vidrio volcánico y pastas vítreas de las rocas volcánicas).
- Si bien las propiedades físicas y mecánicas no se vieron afectadas en ningún caso, las placas del sector 1 debieron ser reemplazadas debido al elevado grado de deterioro.

### **REFERENCIAS**

- (1) Maiza, P.J. y Marfil, S.A., "Examen Petrográfico aplicado al estudio del hormigón de una ruta interurbana con evidencias de deterioro". Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, N° 17 pp 75-79 (2002)
- (2) Maiza, P.J. y Marfil, S.A., "Petrografía del hormigón endurecido: estudio de un pavimento con patologías". Revista "Hormigón", N° 35 pp 11-21 (2000)
- (3) ASTM C642-97 "Standard Test Method for Density, Absorption and Voids in Hardened Concrete". (1997)
- (4) IRAM 1551 "Hormigón de cemento Pórtland. Extracción, preparación y ensayo de testigos de hormigón endurecido" (2000)
- (5) IRAM 1871 "Hormigón. Método de ensayo para determinar la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido". (2004)
- (6) Mohr, P., Hansen, W., Jensen, E. and Pane, I. "Transport properties of concrete pavements with excellent long-term in-service performance". Cement and Concrete Research. 30 pp 1903-1910 (2000)

- (7) Alaejos, P., Bermúdez, M.A., Soriano, J. y Lanza, V. "Metodología para el estudio del deterioro del hormigón ocasionado por la reacción álcali-sílice". Memorias Simposio *fib*, Vol.1 pp 187-194. (2005)

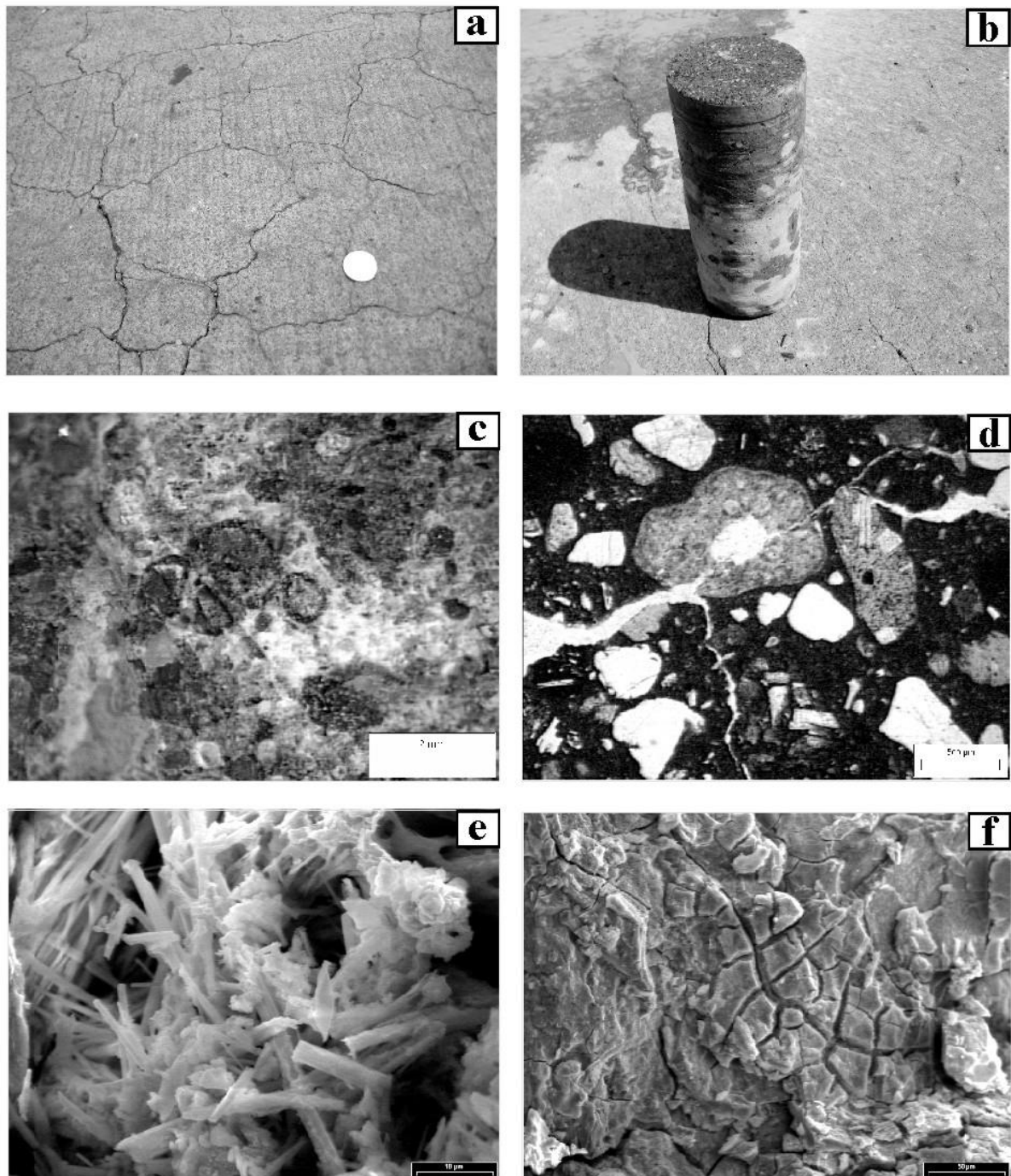


Figura 2: **a)** Pavimento con fisuramiento en forma de mapa. **b)** Testigo extraído en sector 4. **c)** Clastos con coronas de reacción y material de neoformación en la superficie del hormigón (visto con estereomicroscopio). **d)** Fisura en tres direcciones a  $120^\circ$  que afecta a la pasta y clastos del agregado. (Visto con microscopio de polarización con luz paralela). **e)** Cristales de ettringita vistos con SEM. **f)** SEM del material desarrollado en la zona de contacto agregado reactivo-mortero.