

# **ESTUDIO DE LAS MANIFESTACIONES DE RAS DETECTADAS EN EL PAVIMENTO DE HORMIGÓN DE LA RUTA NACIONAL Nº 127 Y SU RELACIÓN CON EL DETERIORO DE LA OBRA**

Carlos A. Milanesi <sup>(1)</sup>, Edgardo Souza <sup>(2)</sup>, Silvina Marfil <sup>(3)</sup>, Pedro J. Maiza <sup>(4)</sup>

(1) Cementos Avellaneda S. A. - Defensa 113 Piso 6, Ciudad Autónoma de Buenos Aires,  
TE: (011) 4331-7081 FAX: (011) 4331-1664 – e-mail: cam@cavellaneda.com.ar

**Palabras clave:** Patología, deterioro, pavimento, durabilidad, hormigón, reacción álcali-silice, RAS, álcalis, basalto, fisuras, gel.

## **RESUMEN**

La observación de algunos signos de deterioro en el pavimento de la Ruta Nacional Nº 127, vinculados a la RAS, alertó sobre la necesidad de iniciar una investigación sobre el particular, ante la construcción de la nueva calzada de hormigón de la Ruta Nacional Nº 14, en la que se emplearían agregados de similar petrología.

Luego de una detallada inspección ocular de la obra, se extrajeron testigos, de diversos tramos de la misma, con y sin manifestaciones de RAS, con la finalidad de estudiar las posibles causas del deterioro del pavimento.

Para ello, entre otras determinaciones, se procedió al examen de la microestructura del hormigón y a la determinación de su contenido de álcalis solubles.

En base a los resultados obtenidos, se analiza el mecanismo de deterioro del pavimento, a partir del cual, se concluye que la RAS no constituye la "causa" principal de las patologías detectadas en esta obra, sino el "efecto" de las mismas.

## **INTRODUCCIÓN**

La construcción del pavimento de hormigón de la Ruta Nacional Nº 14, en las provincias de Entre Ríos y Corrientes, impuso la necesidad de evaluar la aptitud de los agregados de la zona de influencia de la obra. Un aspecto de particular interés en estos estudios, lo constituyó la evaluación del estado del pavimento de la Ruta Nacional Nº 127, en la que se emplearon agregados basálticos de la zona, ante la observación de algunos signos de deterioro vinculados a la RAS.

1) Jefe Departamento Asistencia Técnica, Cementos Avellaneda S. A.

2) Jefe División Tecnología, Instituto del Cemento Pórtland Argentino

3) Investigador Independiente CIC, Dpto. de Geología, Universidad Nacional del Sur (Bahía Blanca)

4) Investigador Principal CONICET, Dpto. de Geología, Universidad Nacional del Sur (Bahía Blanca)

En el presente trabajo se incluyen los resultados que surgen de la evaluación integral de los testigos (resistencia a compresión, examen petrográfico, contenido de álcalis solubles) y se analiza el mecanismo de deterioro del pavimento.

## DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

La Ruta Nacional N° 127 se construyó entre los años 1996 y 1997, siendo la primera experiencia en el país en la que se aplicó tecnología de alto rendimiento para la ejecución del pavimento de hormigón <sup>(1)</sup>. Consta de 120,3 km y une las localidades de Federal (Entre Ríos) y Cuatro Bocas, en la provincia de Corrientes.

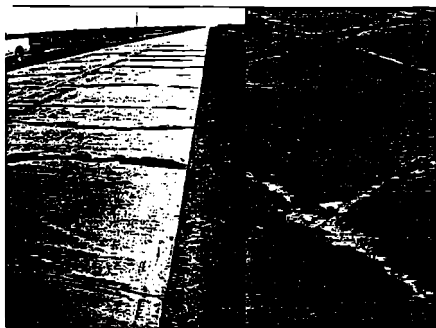
El hormigón se elaboró con un contenido unitario de cemento (CUC) entre 380 y 395 kg/m<sup>3</sup>, agregado grueso basáltico (Curuzú Cuatiá, Corrientes) y arena silíceo natural. Si bien en todos los tramos se utilizó cemento normal (CPN), se proveyeron cementos de distintas procedencias y, por ende, de distintos contenidos de álcalis. La obra se inició en el tramo I, con cemento de bajo álcalis (< 0,6 %, expresado como Na<sub>2</sub>O<sub>eq</sub>), debido a que el basalto fue calificado como potencialmente reactivo. Luego de ejecutados pocos km, y en base a resultados de ensayos de laboratorio, se decidió eliminar las restricciones referidas al contenido de álcalis del cemento. A partir de entonces, se completó el tramo I, ejecutándose el resto de los tramos con cementos con contenidos moderados de álcalis (≈ 0,75 % Na<sub>2</sub>O<sub>eq</sub>). Sólo un sector del tramo IV se construyó con cemento de alto contenido de álcalis (> 1 % Na<sub>2</sub>O<sub>eq</sub>).

A fin de evaluar el estado actual del pavimento y diagnosticar las causas de las patologías detectadas, se realizó una minuciosa inspección ocular de la obra, de acuerdo a la norma IRAM 1874-2 <sup>(2)</sup>, de cual, surgen las siguientes consideraciones:

- ✓ El tramo I presenta un comportamiento muy satisfactorio y no se constataron patologías de ningún tipo (fig. 1).
- ✓ El tramo II muestra sectores con escalonamientos severos, bombeo de losas y fisuras transversales, en casi toda su extensión, que afectan su transitabilidad (fig. 2). No se detectan signos de RAS en la superficie del pavimento.
- ✓ El tramo III se encuentra, en general, en buen estado, con algunos sectores localizados con escalonamientos leves o moderados (fig. 3). En este tramo se constataron signos de RAS localizados, en algunas pocas losas adyacentes.
- ✓ El Tramo IV presenta dos sectores claramente diferenciados. El primero, desde el límite interprovincial (km 291) hasta el km 310, aproximadamente, con un comportamiento satisfactorio y acorde con la vida en servicio de este pavimento (fig. 4). A partir de dicha zona, comienzan a observarse daños localizados en las zonas de juntas, con manifestaciones presumiblemente vinculadas a la RAS. A medida que se avanza hacia el fin del tramo, la patología se torna cada vez más frecuente, incrementando también su severidad, siendo muy importante desde el km 318 al km 321 (Cuatro Bocas) (fig. 5). Si bien existen sectores donde el patrón de fisuración es el típico de la RAS <sup>(3)</sup>, en general, se observa que las fisuras se encuentran asociadas a una fisura previa (atribuible a otras causas) y presentan una orientación diferente a la clásica (fig. 6).



**Fig. 1.** Aspecto general del Tramo I (no se observan deterioros de ningún tipo)



**Fig. 2.** Vista general del Tramo II (detalle de las roturas y escalonamiento de las losas)



**Fig. 3.** Vista general del Tramo III (presenta algunos escalonamientos leves o moderados)



**Fig. 4.** Vista de un sector del Tramo IV (aprox. 20 km) sin signos de RAS



**Fig. 5.** Zona del Tramo IV, próxima a Cuatro Bocas, con signos severos de RAS



**Fig. 6.** Detalle de las fisuras en la zona de juntas (Tramo IV). Se observan fisuras previas que facilitan el ingreso de agua.

## **MATERIALES Y MÉTODOS DE ENSAYO**

Se extrajeron 27 testigos, de 15 cm de diámetro, en zonas con diferentes niveles de daño, intensificando el muestreo en el tramo IV.

Sobre los testigos extraídos se realizó una observación macroscópica previa, para constatar la presencia de defectos y/o signos de reacción. Posteriormente, se obtuvo, mediante aserrado, una rodaja de hormigón de las porciones superior e inferior de los mismos, valorando la resistencia a la compresión sobre la porción central. Los resultados obtenidos se indican en la tabla 1.

Paralelamente, se determinó el contenido de álcalis solubles en el hormigón mediante el método de extracción en agua en ebullición, propuesto por Bérubé y colaboradores <sup>(4)</sup>. Los valores obtenidos se indican en tabla 2.

Posteriormente, se procedió al examen de secciones pulidas de hormigón mediante lupa binocular y se confeccionaron cortes delgados para el análisis petrográfico mediante el empleo del microscopio óptico de polarización (MOP). Las determinaciones realizadas se resumen en las figuras 9 a 12.

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### Ensayos Físicos y Mecánicos

La resistencia a compresión de los testigos sin signos de deterioro permite calificar a este hormigón como de excelente calidad, siendo esto coherente con el contenido de cemento empleado. Por su parte, si bien los testigos con signos de RAS presentan una reducción resistente del orden del 35 %, los valores registrados son satisfactorios para un pavimento. Esta reducción es atribuida al efecto de la RAS, por cuanto el testigo 6, extraído de un sector sin manifestaciones de reacción, pero dentro de la zona con RAS, posee un nivel resistente similar al de las muestras pertenecientes a los tramos "sanos".

### Examen Petrográfico

En todos los casos evaluados, el examen de la microestructura del hormigón permitió confirmar las presunciones iniciales inferidas a partir de la inspección ocular del pavimento.

Tabla 1. Resistencia a compresión de testigos

Testigo	Tramo	Resistencia a compresión (MPa)	Signos de RAS
14 B	I	57,0	No
13 B	II	63,2	No
12 B	III	59,8	No
1	IV	38,1	Sí
4	IV	42,5	Leves
6	IV	59,2	No
10	IV	38,6	Sí

En efecto, en el caso de los testigos extraídos de las zonas donde se observan signos superficiales de RAS (fig. 7), el examen petrográfico reveló la existencia de numerosas manifestaciones típicas de la reacción. En general, las fisuras se encuentran rellenas por gel y atraviesan el agregado grueso y el mortero (fig. 9 y 11). Además, es habitual identificar poros colmatados por depósitos de geles o etringita.

En las figuras 8, 10 y 12, se resumen las observaciones realizadas en los testigos extraídos de las zonas sanas. En estos casos, las pocas fisuras detectadas se encuentran vacías y sólo afectan al mortero, por lo que son atribuidas a otras razones (contracción térmica o por secado). No se detectan manifestaciones deletéreas de RAS, las interfases se presentan sanas, con buena adherencia, sin presencia de bordes de reacción o geles y los poros se encuentran vacíos.

## Contenido de Álcalis Solubles en el Hormigón

Del análisis de la tabla 2, se realizan las siguientes consideraciones:

- ✓ En primer lugar, los valores hallados son altamente variables (desde 1,86 a 3,77 kg de  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}/\text{m}^3$ ), lo cual, confirma las presunciones iniciales referentes al uso cementos de diversa procedencia y distintos contenidos de álcalis.
- ✓ Mientras el valor promedio del contenido de álcalis del hormigón de los tramos I, II y III es igual a 2,5 kg de  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}/\text{m}^3$ , el valor correspondiente al tramo IV es del orden de 3,2 kg de  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}/\text{m}^3$ , lo cual, explica, en líneas generales, porqué las manifestaciones de RAS están concentradas en este tramo.

Bérubé y colaboradores <sup>(4)</sup> han demostrado que, con el tiempo, sólo el 60 % del contenido total de álcalis del cemento pasa a la solución de poros del hormigón. Teniendo en cuenta esto y haciendo algunas hipótesis referentes al CUC del hormigón y al contenido de álcalis de los cementos empleados, es posible estimar el contenido de álcalis solubles del hormigón, conociendo el aporte de álcalis de los agregados. Con fines comparativos, en la columna "e" de tabla 3, se resumen los valores informados en la tabla 2, agrupados en función del nivel de álcalis detectado. Las diferencias halladas, en promedio, resultan inferiores al 5 %, lo cual, indicaría que el aporte de álcalis de los agregados al hormigón, si existe, es poco significativo.

## CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en estos estudios y de la información bibliográfica disponible, es posible realizar las siguientes consideraciones:

- ✓ Sobre un total de 120 km de ruta, sólo un sector, de aproximadamente 10 km de longitud (tramo IV), presentó manifestaciones deletéreas vinculadas a la RAS. También se detectaron signos de RAS localizados en algunas losas del tramo III.
- ✓ El examen petrográfico de los testigos de hormigón extraídos de los sectores con signos de RAS confirmó la existencia de diversos signos de reacción, asociados a la reactividad alcalina del basalto (fisuras y bordes de reacción en el agregado grueso, geles, etc.).



Fig. 7. Vista de un testigo con manifestaciones de RAS (tramo IV)

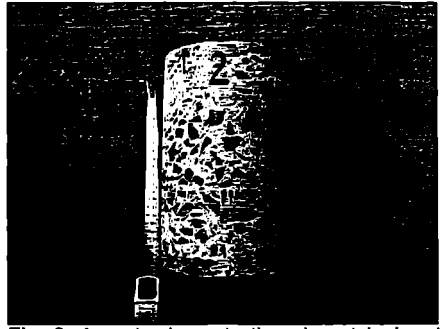


Fig. 8. Aspecto de un testigo sin patologías de ningún tipo (tramo IV).



Fig. 9. Microfisura (mf) que cruza el agregado grueso (ab) y mortero. Depósito de gel en un poro (pg). Borde de reacción en interfase (l).

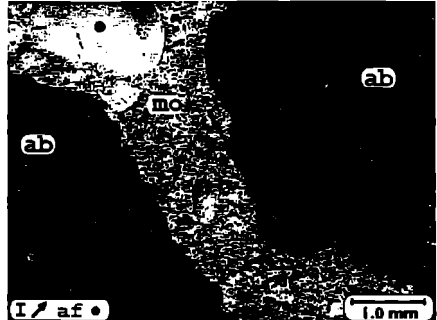


Fig. 10. Se observan interfases (l) sanas, con buena adherencia entre el mortero (mo) y el agregado basáltico (ab).



Fig. 11. Con MOP se observa una microfisura rellena con gel (mfg) que recorre un agregado grueso (ab) y atraviesa un clasto fino (af)



Fig. 12. Observación con MOP de un corte delgado de un testigo sin RAS

**Tabla 2. Contenido de álcalis solubles en el hormigón**

Testigo	Tramo	RAS	Álcalis solubles en agua (kg Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> /m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>		
			Zona evaluada	Valor de ensayo	
				Individual	Promedio <sup>(2)</sup>
T <sub>1h-1</sub>	I	No	Global	2,73	2,73
T <sub>2h-1</sub>	II	No	Global	2,61	2,61
T <sub>3h-1</sub>	III	No	Global	2,55	2,55
T <sub>3c-2</sub>		No	Superior	1,86	1,86
			Inferior	1,86	
T <sub>3c-3</sub>		Sí	Superior	3,49	2,72
			Inferior	1,94	
T <sub>4h-1</sub>		IV	No	Global	3,32
T <sub>4h-2</sub>	Sí		Global	3,68	3,68
T <sub>4c-3</sub>	No		Superior	1,99	2,12
			Inferior	2,24	
T <sub>4c-4</sub>	No		Superior	3,85	3,77
			Inferior	3,68	
T <sub>4c-5</sub>	Sí		Superior	2,98	2,47
			Inferior	1,95	

1) Aportados por todos los componentes del hormigón (hot water method)  
 2) Valor promedio = (Superior + Inferior)/2

**Tabla 3. Contenido de álcalis del hormigón: "medidos" vs. "estimados"**

Contenido de cemento del hormigón (kg/m <sup>3</sup> ) (a)	Álcalis (Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> )			
	Cemento <sup>(1)</sup> (%) (b)	Estimados		Medidos
		Total <sup>(2)</sup> (kg/m <sup>3</sup> ) (c)	Soluble <sup>(2)</sup> (kg/m <sup>3</sup> ) (d)	Soluble <sup>(4)</sup> (kg/m <sup>3</sup> ) (e)
385	1,00	3,85	2,9	3,1
	0,75	2,89	2,3	2,1
	0,55	2,12	1,8	1,5

(1) Contenido de álcalis del cemento determinados según ASTM C 114 (solubles en ácido)  
 (2) Álcalis aportados por el cemento al hormigón = (a) x (b)/100 (solubles en ácido).  
 (3) Valor estimado de los álcalis solubles del hormigón, aportados por el cemento y los agregados = 0,6 x (c) + 0,54 kg Na<sub>2</sub>O<sub>eq</sub>/m<sup>3</sup>  
 (4) Valor promedio de álcalis solubles determinados en los testigos de hormigón

- ✓ El agregado fino no muestra signos de RAS, con excepción de algunos granos de calcedonia o chert, que, si bien presentan algunos vestigios de reacción, no producen daños en la microestructura del hormigón.

- ✓ En los testigos extraídos de las zonas que no presentan manifestaciones de RAS a nivel superficial (tramos I, II y III), tampoco se detectaron evidencias de reacción deletérea a nivel microestructural, opinión que fue compartida por los dos laboratorios que intervinieron en el estudio (LEMIT, UNS).
- ✓ Los agregados presentan características mineralógicas y estructurales similares en todas las muestras evaluadas, por lo cual, no existen razones de peso para esperar diferencias significativas en su reactividad alcalina potencial.
- ✓ En los sectores donde se constató la existencia de manifestaciones deletéreas de RAS, se verifica la existencia simultánea de los siguientes factores:
  - Presencia de un agregado reactivo (basalto).
  - Elevado contenido de álcalis en el hormigón, ya sea, por el uso de un elevado contenido de cemento (de alto álcalis), o debido a la migración de álcalis, generada por la existencia de fisuras previas, en todo el espesor.
  - Excesiva disponibilidad de agua (vinculada a la existencia de un cuadro de fisuración previa y a la falta de un sistema adecuado de drenaje).
- ✓ La ausencia de signos deletéreos de reacción en gran parte del Tramo IV, donde también se registraron elevados valores de álcalis en el hormigón, se atribuye a la baja permeabilidad de éste ( $f'_c = 60$  MPa), la cual, dificulta el ingreso de agua hacia los sitios de reacción, inhibiendo la RAS.
- ✓ La ausencia de RAS deletérea en la mayor parte de la obra, se debe al bajo contenido de álcalis del hormigón. Esto es particularmente significativo en el tramo II, donde se constató la presencia abundante de agua que ingresa por fisuras y roturas previas de las losas, y se acumula bajo el pavimento.
- ✓ Dado que no existe una diferencia significativa entre los valores "medidos" del contenido de álcalis del hormigón (testigos) y los valores "probables" (inferidos a través del contenido de cemento de la mezcla, del contenido de álcalis de los materiales componentes, etc.), es posible concluir que el aporte de álcalis de los agregados a la solución de poros del hormigón, si existe, es poco significativa.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Ing. Javier Chasco, de la firma Chediack S. A., por haber permitido la publicación de los resultados de los estudios realizados en la UNS de Bahía Blanca. Al Ing. Eduardo Chavarrí, de la misma firma, por las gestiones que hicieron posible la extracción de parte de los testigos y por sus valiosos comentarios. Se agradece también a la Dirección Nacional de Vialidad y especialmente al Jefe de Distrito Entre Ríos, Ing. Ariel Arias, por permitir la extracción de muestras de la obra.

## REFERENCIAS

- 1) Dalimier M., Fernández Luco L., "Equipos de Alta Performance para la Pavimentación de Hormigón", Memorias, XII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Buenos Aires (1997)
- 2) IRAM 1874-2, Agregados para Hormigones – Evaluación de Estructuras en Servicio – Parte 2: Reacción Alkali-Sílice, IRAM (2004), 12 pp.
- 3) Stark David, "Handbook for the Identification of Alkali-Silica Reactivity in Highway Structures" SHRP - C - 315 Washington, DC, (1991)
- 4) Bérubé M. A., Frenette J., Rivest M., Vézina D., "Measurement of the Alkali Content of Concrete Using Hot-Water Extraction", Cement, Concrete, and Aggregates, Vol. 24, N° 1, (2002), pp. 28-36