

## EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL HORMIGÓN DE 7 PUENTES UBICADOS EN EL BAJO SAN JOSÉ, SOBRE LA RUTA PROVINCIAL N° 51 (Buenos Aires)

C. Priano <sup>(1)</sup>; P. Maiza <sup>(2,3)</sup>; L. Señas <sup>(1)</sup> y S. Marfil <sup>(2,4)</sup>

(1) Docente Dpto. de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur.  
Av. Alem 1253. (8000). Bahía Blanca. República Argentina - TE 291-4595103 int. 3223.

(2) Docente Dpto. de Geología. Universidad Nacional del Sur

(3) Investigador Principal CONICET

(4) Investigador Independiente CIC

E-mail (autor de contacto): cpriano@uns.edu.ar

E-mail (alternativo): smarfil@uns.edu.ar

### RESUMEN

*Se evaluó el estado de siete puentes ubicados sobre la ruta provincial N° 51 a 60 Km de la ciudad de Bahía Blanca, en el límite entre los Partidos de Bahía Blanca y Pringles (Prov. de Buenos Aires).*

*Se realizó una evaluación visual y muestreo mientras se estaban haciendo trabajos de remediación y puesta en servicio de la ruta. Se analizó el hormigón que constituye los puentes, se relevaron bases, pilas, vigas, superficie de rodamiento y estribos. Se observó un importante deterioro en estos últimos, pérdida de secciones de acero por corrosión producida por la circulación de agua proveniente de los drenajes, merma en secciones útiles de hormigón debido a la delaminación del recubrimiento, rotura de las placas de pavimento debido a los procesos mecánicos desarrollados por el tránsito.*

*Se realizaron ensayos de densidad, absorción y porcentaje de vacíos; se midieron espesores de recubrimiento y se determinó la profundidad de carbonatación.*

*Se estudió la composición petrográfico-mineralógica de los agregados finos, gruesos y hormigón utilizando estereomicroscopio y microscopía de polarización sobre secciones delgadas. Se evaluó el estado del mortero y el desarrollo de especies de neoformación las que fueron analizadas por difracción de rayos X.*

**Palabras clave:** puentes, hormigón, patologías, microscopía.

### 1. INTRODUCCIÓN

Relevamientos de pavimentos y puentes carreteros de hormigón armado realizados en nuestro país, indican que un importante porcentaje de las patologías que presentan, se deben a fallas de proyecto, ejecución y falta de mantenimiento [1]. Otra causa de deterioro en un número significativo de estructuras, es el desarrollo de procesos de corrosión en sus armaduras [2], inclusive en aquellas emplazadas en ambientes de moderada agresividad, como pueden ser las áreas rurales. La causa principal de este proceso corrosivo se adjudica a la carbonatación, deficiencias en la compactación y/o curado del hormigón, diseños estructurales inadecuados que no permiten el drenaje rápido del agua de lluvia y mínimos espesores de recubrimiento que en algunos casos llegan a adoptar valores negativos [1].

Las estructuras analizadas en el presente trabajo, se encuentran emplazadas en un ambiente rural caracterizado por la ausencia de agresivos químicos al hormigón armado, salvo por la presencia de CO<sub>2</sub> de la atmósfera responsable de los procesos de carbonatación. La acción del CO<sub>2</sub> ocurre aun en pequeñas concentraciones como las que se encuentran en el aire de las áreas rurales, en las que el contenido del CO<sub>2</sub> es del orden del 0,03% por volumen, mientras que en las grandes ciudades dicho valor es del 0,3% [3]. El clima predominante en la región es semiárido templado, con una temperatura media anual de 15° C y con una precipitación media de 700 mm. Si tomamos en consideración la clasificación de exposición dada por el Reglamento de Proyecto CIRSOC 210 [4], se puede ubicar a las estructuras estudiadas en un ambiente tipo A2: ambiente normal, con temperatura moderada y fría, sin congelación, humedad alta y media con ciclos de mojado y seco, precipitación media anual menor que 1000 mm.

Las armaduras de refuerzo se encuentran separadas del medio ambiente por el hormigón que las contiene, pero además, la solución altamente alcalina (pH>12,5) constituida principalmente por iones (OH) contenida en los poros capilares, forma una película pasiva sobre su superficie que impide el inicio de un proceso corrosivo. La pérdida generalizada de dicha película o despasivación de la armadura, se vincula a la disminución de la alcalinidad del hormigón de recubrimiento, generada por carbonatación o lixiviación del hidróxido de calcio y de los álcalis por circulación de agua. Se dan entonces las condiciones para que se

inicie un proceso de corrosión semejante al que se da en la atmósfera, con la diferencia que en este caso, las armaduras quedan recubiertas por el hormigón que retiene agua en sus poros, prolongando los tiempos de humectación.

En la ciudad de Bahía Blanca y su zona de influencia se han realizado numerosos estudios sobre pavimentos urbanos e interurbanos construidos en diferentes épocas [5]. La mayoría de los agregados utilizados en la región son considerados potencialmente reactivos frente a la reacción álcali-sílice [6-9], aunque las obras afectadas por esta patología son escasas o por lo menos, poco conocidas [10-12].

En el presente trabajo se estudió un sector de la ruta provincial N° 51, a unos 60 km de la ciudad de Bahía Blanca, en la zona denominada “Bajo San José” o “7 puentes”, en el límite entre los Partidos de Bahía Blanca y Coronel Pringles (Prov. de Buenos Aires). Éstos fueron construidos a mediados de 1950 y están emplazados sobre el río Sauce Grande y su valle de inundación. A fines del 2006, se llevó a cabo un relevamiento visual y muestreo del hormigón de los puentes mientras la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires realizaba trabajos de remediación y puesta en servicio de la ruta, tanto del pavimento flexible como de las obras de arte. Se relevaron las pilas, vigas, superficie de rodamiento y estribos de los siete puentes, inclusive uno antiguo de vigas metálicas y estribos de hormigón construido en la década del 30, que se encuentra desactivado a la vera del camino.

## **2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

Se llevó a cabo un relevamiento fotográfico de los puentes estudiados los cuales presentaban un importante deterioro en algunos sectores. Se tomaron muestras de hormigón de diferentes zonas de los puentes y se realizaron determinaciones de densidad, absorción y porcentaje de vacíos según la norma ASTM C642 [13]. Mediante pulverización de fenolftaleína en solución alcohólica al 1%, sobre la superficie del hormigón recientemente expuesta, se midió la profundidad del frente carbonatado. Esta técnica colorimétrica de teñido se caracteriza por dejar incoloro el hormigón que se encuentra carbonatado (aproximadamente  $\text{pH} < 9$ ) y teñirlo de color púrpura al hormigón no carbonatado.

Se determinó la composición petrográfico-mineralógica de los agregados finos y gruesos, poniendo especial énfasis en la presencia de especies deletéreas y minerales de alteración que puedan desarrollar reacciones expansivas en el hormigón. Se estudió el estado del hormigón, la relación agregado mortero, desarrollo de fisuras, presencia de productos de neoformación, en especial en el interior de cavidades de aire accidentalmente atrapado.

Los estudios petrográficos se realizaron con estereomicroscopio y microscopio de polarización petrocalcográfico Olympus BH-2 trinocular, con cámara de video y programas computarizados para el tratamiento de imágenes. Un difractómetro 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).

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Petrografía del Hormigón:**

El agregado grueso es un canto rodado polimíctico en cuya composición predominan las cuarcitas con rocas metamórficas subordinadas. Las cuarcitas están constituidas por cuarzo con extinción ondulante, cementado por cuarzo fino. Entre los granos, es abundante la illita.

El agregado fino es una arena natural de composición similar a la del agregado grueso: cuarcitas y rocas metamórficas, a los que se suman cuarzo, feldespato y escasas rocas graníticas.

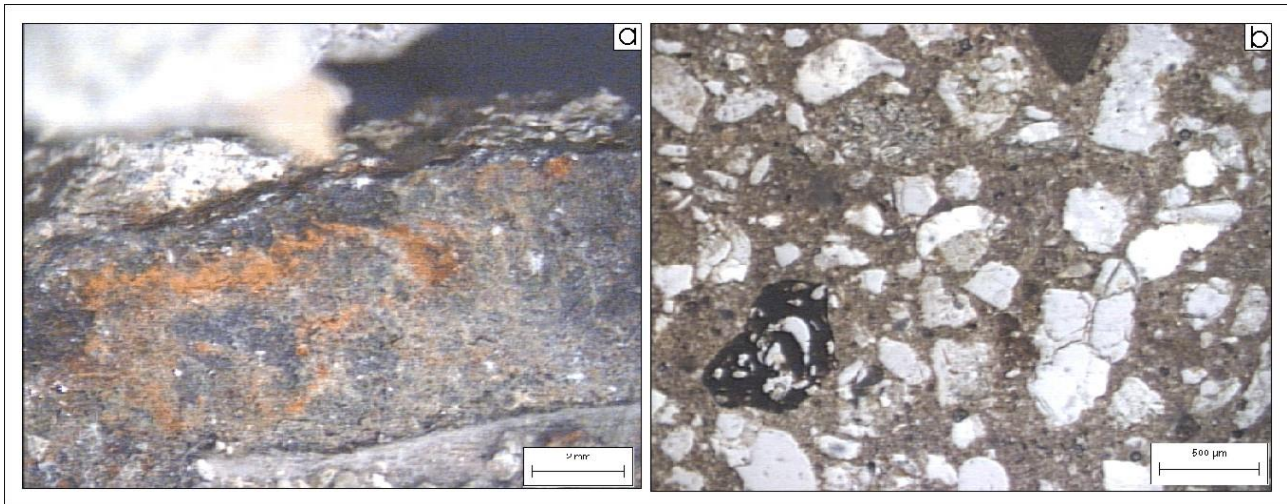
Con estereomicroscopio se observó que el hormigón de la carpeta de rodamiento se encuentra en muy buen estado de conservación. Las cavidades de aire accidental están generalmente vacías. No hay productos de reacción ni ettringita. No se observan fisuras.

En la zona de estribos se observó leve corrosión en las zonas de contacto con la armadura, (figura 1a, el resto del hormigón está en buen estado. Se observó un material blanquecino adherido a algunos clastos del agregado grueso adjudicado a portlandita.

El hormigón de la zona de pilares está muy lavado, dejando el agregado a la vista en las zonas de las alcantarillas. Esto provocó el deterioro de los pilares. Allí el mortero presenta pobre compacidad, es prácticamente deleznable. Se observan fenómenos de corrosión en las zonas de contacto con la armadura. No se determinaron productos de neoformación.

La mayoría de las cavidades de aire accidental están vacías aunque algunas están parcialmente rellenas con portlandita y ettringita.

Con microscopio de polarización, sobre secciones delgadas, no se observaron fisuras ni fenómenos de reacción. Los contactos agregado – mortero son netos. En la figura 1b se muestra una vista general de la composición petrográfica-mineralógica de los agregados y el estado del hormigón.



**Figura 1.** Petrografía del hormigón.

#### **Difractometría de rayos X:**

Se analizó el material separado de una zona de pilares en contacto con la armadura. Se identificaron las principales reflexiones de hematita ( $Fe_2O_3$ ) junto con cuarzo, feldespato e illita correspondiente al material del agregado.

#### **Del relevamiento realizado se constataron las siguientes situaciones:**

- Muros de vuelta totalmente separados de estribos sin poder contener al terraplén: las alas de los estribos estaban constituidas por tablestacas de hormigón unidas únicamente, en su parte superior, por una viga de vinculación o encadenado. En varios sectores se encontró la armadura de estos encadenados cortada, dejando al muro de vuelta totalmente separado del estribo (figura 2a).
- Merma en secciones útiles de hormigón: se observó agrietamiento, fisuras paralelas a la dirección de las armaduras, delaminación y desprendimientos del hormigón de recubrimiento debido a las tensiones de tracción generadas por el mayor volumen ocupado por los productos de corrosión de la armadura. Una disminución en el radio efectivo de la armadura del orden de 0,1 mm con la consiguiente producción de óxidos de hierro, origina fisuras con aberturas de 0,2 mm en la superficie del hormigón. Los desprendimientos se inician cuando las fisuras alcanzan aberturas del orden de 1mm [14].
- Espesores de recubrimiento mínimos: en algunas zonas donde el hormigón de recubrimiento se había desprendido totalmente, se pudieron medir los correspondientes espesores, los cuales resultaron muy variables entre los diferentes sectores estudiados. El máximo espesor medido fue de 30 mm y el mínimo de 10 mm. Si se tiene en cuenta que el mínimo recomendado por el reglamento CIRSOC vigente, para las condiciones de exposición y tipo de elemento estructural considerado es de 25 mm, se puede concluir que en varias secciones dicho espesor no es alcanzado. Esta situación genera una condición riesgosa para las armaduras de refuerzo, ya que es el recubrimiento del hormigón el que le provee una barrera física contra la penetración de agentes agresivos desde el exterior.
- Corrosión de las armaduras de refuerzo en vigas, losas de tablero y pilas: en algunos sectores, se observó un avanzado estado de corrosión de las armaduras. (figura 2b). Para que el proceso de corrosión pueda iniciarse debe, necesariamente, despasivarse la película que protege el acero, hecho vinculado con la pérdida de la alcalinidad del hormigón de recubrimiento. En el presente estudio, de acuerdo a la clasificación de ambiente, los factores determinantes de la disminución del pH son la carbonatación del

hormigón en presencia de humedad excesiva y lixiviación de los compuestos cálcicos. El CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera y ciertos productos de hidratación del cemento disueltos en la solución de poros del hormigón, reaccionan químicamente disminuyendo el pH a valores por debajo de 9. La carbonatación comienza en la superficie del hormigón y su velocidad de avance depende de varios parámetros, siendo el contenido de humedad de los poros del hormigón el que más influye. Alternancias de humedad-secado favorecen el avance del frente carbonatado y una vez alcanzada la armadura pierde su pasividad y comienza el proceso de corrosión. En concordancia con algunos sectores humedecidos por agua de lluvia liberada por los drenajes ubicados en las vigas exteriores, se observó una reducción de las secciones útiles de acero debido a la corrosión (figuras 2c).

- Las vigas interiores, que no tenían sistema de drenaje y por lo tanto no sufrieron procesos de mojado y secado, se encontraron en buenas condiciones.
- Diseño estructural inadecuado de los drenajes: éstos no facilitan la rápida evacuación del agua de lluvia, y permiten que circule por la superficie del hormigón (figura 2d).
- Postes de hormigón de las barandas vehiculares y peatonales: las armaduras presentan un estado avanzado de corrosión, el que se puede apreciar en la figura 2e.

Los resultados de los ensayos de determinación de densidad, absorción y porcentajes de vacíos y las profundidades de carbonatación medidas por técnica de teñido con fenolftaleína se detallan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Densidad, absorción, porcentajes de vacíos y profundidad de carbonatación.

Zonas de muestreo	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Absorción (%)	Porcentaje de vacíos (%)	Prof. Carbonat. (mm)
Puente 3 Tablero	2,24	9,6	20,1	11
Puente 2 Estribo	2,23	10,7	21,8	10
Puente 4 pila	2,30	11,7	23,9	22
Puente 5 pila	2,32	13,1	27,0	31
Puente viejo Estribo	2,42	7,8	17,4	5

La compacidad del hormigón es el factor más importante que gobierna la capacidad de resistir la penetración del agua que transporta un agente agresivo. El criterio de evaluación establece que si el porcentaje de porosidad es menor al 10% la calidad del hormigón es alta, entre 10% y 15% es buena y finalmente si es mayor a 15% la calidad es baja. Los elevados valores de porosidad presentados por los hormigones estudiados, facilitan el ingreso de humedad y oxígeno hasta las barras de acero, favoreciendo el proceso de carbonatación que acelera la despasivación de la película protectora de las armaduras.

El menor valor de porosidad y absorción, corresponde a la muestra del hormigón del puente antiguo, más de 70 años de edad, el cual se encuentra fuera de servicio. (figura 2f)

#### 4. CONCLUSIONES

1. El deterioro observado en el hormigón estudiado es atribuido a fallas en el diseño y ejecución de la obra.
2. Un error de proyecto es la vinculación incorrecta del tablestacado del muro de vuelta al estribo, que permitió que aquel cediera ante la presión del terraplén. El reemplazo de las alas deterioradas fue diseñado para trabajar en forma independiente de los estribos.
3. Un inadecuado diseño de los drenajes permitió que algunas zonas se encontraran sometidas a ciclos de humedecimiento-secado con circulación de agua de lluvia por la superficie de vigas y pilas de hormigón. Esto provocó la corrosión de las armaduras de refuerzo y la consecuente fisuración, delaminación y desprendimiento del hormigón de recubrimiento.

4. El deterioro por corrosión se observó en todas las vigas externas en las que se ubicaron los drenajes mientras que las vigas internas se encontraron en buenas condiciones.
5. Los hormigones evidenciaron una notable porosidad, lo que facilita el ingreso de oxígeno y humedad acelerando el proceso de corrosión de las armaduras despasivadas en un proceso previo de carbonatación.
6. No se observaron reacciones expansivas atribuibles a la composición petrográfico-mineralógica de los agregados y/o cemento.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur, a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Bs. As., al CONICET, a la UNS y a la Dirección Provincial de Vialidad por el apoyo brindado y al Sr. Rodolfo Salomón por la colaboración en la compaginación de las fotografías.

## REFERENCIAS

1. Traversa L., Giovambattista A., Di Maio A. y Esperjesi L. "Performance of concrete structures in Argentine environments", Proceedings Symposium "Structures for the Future. The Search for Quality", IABSE, Río de Janeiro, Brasil. pág. 224-230. (1999)
2. Di Maio A., Sota J. y Traversa L. "Patología de estructuras de hormigón. Análisis de algunos casos más relevantes ocurridos en la Argentina en los últimos años". Proc. III Congreso Iberoamericano de Patología de la Construcción y V Congreso Iberoamericano de Control de Calidad. La Habana, Cuba, 1999.
3. Neville, A. "Tecnología del concreto". Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (1984)
4. "Reglamento CIRSOC 201, Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón", Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles, Argentina. 2002 (en discusión pública).
5. Marfil, S. A.; P. J. Maiza y R. C. J. Salomón. Pavimentos de hormigón de la ciudad de Bahía Blanca. Su comportamiento frente a la RAS. Revista de la Asociación de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. N° 16. 146-152. (2001)
6. Maiza P. J.; S. A. Marfil; J. D. Sota y O. R. Batic. 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 (1988)
7. Maiza P. J. y S. A. Marfil. 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. (1997).
8. Marfil S. A. 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. Universidad Nacional del Sur. (1989).
9. Marfil S. A. y P. J. Maiza. 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. (1993)
10. Marfil, S. A. y P. J. Maiza. 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. (2000).
11. Marfil S. A. and P. J. Maiza. Deteriorated pavements due to the alkali - silica reaction. A petrographic study of three cases in Argentina. Cement and Concrete Research. Ed. Elsevier. USA. Vol 31. N° 7. pp. 1017-1021. (2001).
12. Maiza, P. J. y S. A. Marfil Examen petrográfico aplicado al estudio del hormigón de una ruta interurbana con evidencias de deterioro. Revista de la Asociación de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. N° 17. 75-79. (2002).
13. ASTM C642-97. "Standard Test Method for Density, Absorption and Voids in Hardened Concrete".
14. L. Traversa. "Corrosión de armaduras en atmósferas rurales, urbanas, marinas e industriales". Durabilidad del hormigón estructural. AATH. Pág. 217-257. (2001)



**Figura 2.** a: Muro de vuelta. b: losa de tablero. c: viga en correspondencia con un drenaje. d. diseño inadecuado de drenajes. e: corrosión en soporte de baranda vehicular. f: puente antiguo, fuera de servicio.