

EVALUACIÓN DEL DETERIORO EN EL HORMIGÓN DEL CANAL ALIVIADOR “MALDONADO” (Bahía Blanca, Argentina)

L. Señas¹, C. Priano¹, P. Maiza^{2,3} y S. Marfil^{2,4}

1. *Docente del Dpto. de Ing. UNS. Av. Alem 1253. 8000 Bahía Blanca. TE 0291-4595103 int.3223 email: rferracu@criba.edu.ar*

2. *Geología. UNS. San Juan 670. 8000 Bahía Blanca. email: smarfil@uns.edu.ar.*

3. *Investigador Principal CONICET*

4. *Investigador Independiente CIC.*

RESUMEN

El canal aliviador “Maldonado” es una obra realizada a mediados del siglo pasado en hormigón simple, para controlar los desbordes del arroyo que cruza la ciudad de Bahía Blanca (Argentina). Se observaron la rotura y desprendimiento total de losas y la pérdida del suelo de sustentación. Se estudiaron los hormigones originales y los de las reparaciones realizadas a lo largo de 50 años. Se caracterizaron petrográficamente y mecánicamente y se concluyó que no existen reacciones deletéreas ni de comportamiento mecánico del material que sean la causa del comienzo de las roturas. Los problemas de durabilidad se debieron a fallas en el desempeño estructural debidas a la falta de mantenimiento y a las modificaciones del estado de carga no contempladas en el proyecto original.

Palabras claves: Durabilidad, Canal, Hormigón.

ABSTRACT

The Maldonado overflow channel was constructed in the middle of the last century, with not reinforced concrete, to deal with the floods caused by a stream that crosses the city of Bahía Blanca, Argentina. During its service life, some concrete slabs broke and others loose away, the lack of sustentation soil was observed too. The original concrete and the concrete of repair works realized in the last 50 years, were evaluated. They were petrographic and mechanically studied and it was concluded that deleterious reactions or mechanical properties of the material are not responsible for the failures. Durability problems were due to structural failures, because of lack of maintenance work and the modifications in the service conditions not considered in the original project.

Key words: Durability, Channel, Concrete.

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Bahía Blanca está ubicada al SE de la Provincia de Buenos Aires (República Argentina) sobre la costa del Océano Atlántico, a 38°44' de latitud sur y 62°16' de longitud oeste. El arroyo Napostá, que nace en el cordón serrano del sistema de Ventania, atraviesa el sector urbano de manera sinuosa en tres tramos diferentes. El primero con su cauce natural a cielo abierto, el segundo, cuyo curso está entubado y presenta una calle superpuesta que tiene por finalidad agilizar el tránsito, fue diseñado para un caudal máximo de 40 m³/seg. El tercer tramo, también a cielo abierto, se extiende hasta su desembocadura en el mar. (Fig. 1) [1]

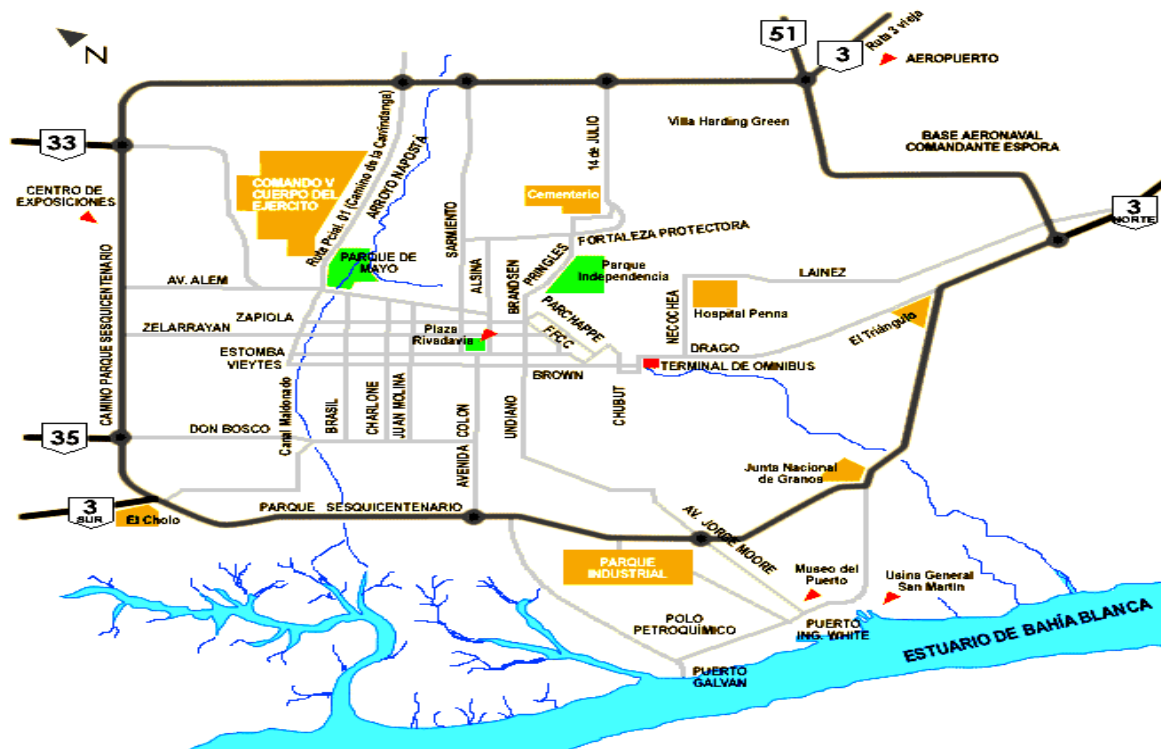


Fig. 1

Antiguamente, el arroyo Napostá presentaba un brazo natural derivador, el arroyo Maldonado, que se hacía cargo del caudal excedente cuando se superaba la capacidad máxima del cauce principal. Poco a poco el Maldonado comenzó a cegarse debido a diversas causas y finalmente fue abruptamente cerrado. La medida fue desastrosa en sus consecuencias ya que al ser privado el Napostá de su derivador natural, cada lluvia registrada en las Sierras generaba inundaciones a lo largo de su recorrido por la ciudad. [2]

Luego de las trágicas inundaciones de 1944 y 1949 la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Buenos Aires decide la canalización del arroyo Maldonado siguiendo el cauce fluvial primitivo con la finalidad de aliviar al Napostá en épocas de fuertes crecidas. El canal fue diseñado para transportar un caudal máximo de $260 \text{ m}^3/\text{seg.}$ a una velocidad de 22 km/h. Su trayecto de 6 km de longitud es de sección trapecial, con una revancha de 70 cm y revestido con losas de hormigón simple. La regulación del caudal de agua que puede escurrir por el arroyo Napostá se logra mediante un vertedero que deriva el sobrante hacia el canal aliviador Maldonado. La obra fue terminada en 1950 y recién en 1955 pudo prestar sus servicios a pleno ya que se produjo un período de lluvias excepcionales sin consecuencias de inundaciones para la ciudad. Desde entonces ha sufrido temporales con lluvias que han superado los registros históricos. A comienzos del año 2004 se ha encarado un trabajo de recuperación del canal. La superficie total dañada (a lo largo de todo el canal) es de unos once mil metros cuadrados, cerca de 400 losas, estimándose que para su reparación es necesario un consumo de mil setecientos metros cúbicos de hormigón. [3]

2. RELEVAMIENTO EN OBRA Y MUESTREO

Un relevamiento llevado a cabo antes de comenzar las tareas de reparación permitió definir el deterioro de las losas laterales y de fondo en el sector denominado partidor, antes del vertedero que posibilita la evacuación del caudal en exceso hacia el canal aliviador Maldonado.

En algunos sectores se observaron fisuras aisladas, mientras que en otros se han producido desprendimientos de losas desplazadas en su plano, falta de material sellador en las juntas de dilatación y rellenas con sedimentos finos y/o vegetación, pérdida del suelo de sustentación y hasta pérdida total de losas. El estado de deterioro del canal se puede apreciar en las siguientes fotografías tomadas antes de comenzar las tareas de reparación (Octubre 2004).



Se muestrearon tres diferentes tipos de losas indicadas como :

Losa de fondo (CR): Hormigón original constituido por canto rodado con el que fue realizado el canal en el año 1950.

Losa de fondo (PP): Hormigón de reparaciones posteriores del fondo del canal, constituido por piedra partida.

Losa lateral (CR): Hormigón de reparaciones posteriores de los laterales del canal, constituido por canto rodado.

Las losas de fondo del partidor tenían diferentes dimensiones debido a las reparaciones parciales que ha tenido el canal a lo largo del tiempo. La original presentaba un espesor de 30 cm, mientras que en las losas de reparaciones, dicho valor disminuía hasta 16 cm. La losa lateral (CR) tenía forma trapezoidal con un ancho medio de 5,60 m, altura 6 m y espesor de 22 cm.

No se observó armadura alguna ni pasadores entre los diferentes paños. Todas las juntas de dilatación originalmente de 3 a 4 cm, presentaban acumulación de suelo vegetal con pérdida total del material sellador. Se observaron desprendimientos de numerosos paños de losas que dejaban ver con claridad la pérdida de suelo de sustentación. Dicha socavación generaba pequeños tramos de losas en voladizos.

3. METODOS DE ENSAYO

3.1. Estudios petrográficos

Se tomaron muestras de las losas afectadas para realizar estudios petrográficos a fin de determinar la presencia de productos de reacción que pudieran ser motivo del deterioro de las placas [4]

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. Para identificar los materiales de neoformación se utilizó un difractor Rigaku D-max III C con radiación de Cu K alfa y monocromador. Con 35 Kv y 15 mA. [5]

3.2. Ensayos de compresión

De las muestras de losa obtenidas "in situ", se calaron testigos pasantes de forma cilíndrica de 10 cm de diámetro y una altura correspondiente al espesor del elemento en estudio. La extracción, preparación y ensayo a compresión de los testigos se realizó siguiendo las especificaciones indicadas en la norma IRAM 1551 [6], teniendo en cuenta que en las condiciones de servicio el hormigón se encontraba humedecido.

4. RESULTADOS

4.1. Observaciones con estereomicroscopio

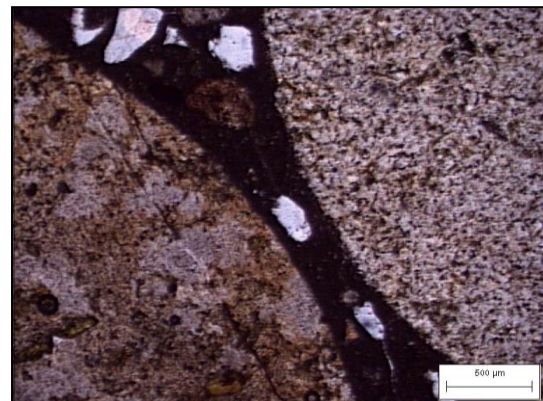
Losa fondo (CR): Se observa buen estado de conservación. No hay fracturas importantes. Es abundante la presencia de ettringita en el interior de cavidades de aire accidental. La superficie se presenta parcialmente carbonatada y es relativamente abundante el hidróxido de calcio. Se observó un material color pardo claro de muy buena cristalinidad identificado por difracción de rayos X como carbonato de calcio.

Losa lateral (CR): Es un hormigón pobre, muy poroso y con abundante desarrollo de ettringita y carbonato de calcio. El agregado grueso es canto rodado.

Losa fondo (PP): Es un hormigón bien compacto pero con una distribución muy heterogénea del agregado grueso (piedra partida). La arena es de naturaleza cuarzosa.

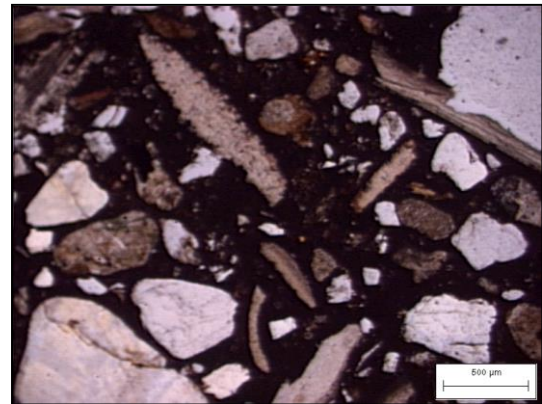
4.2. Microscopía de polarización

Losa fondo (CR): El agregado fino está constituido por una arena natural de origen marino, con abundantes conchillas, clastos de rocas volcánicas, vidrio fresco, cuarzo, rocas graníticas y feldespato. El hormigón se presenta sano, el estado de conservación es muy bueno, sólo se observaron microfisuras muy finas y vacías que no afectan a los clastos del agregado. Hay cavidades de aire



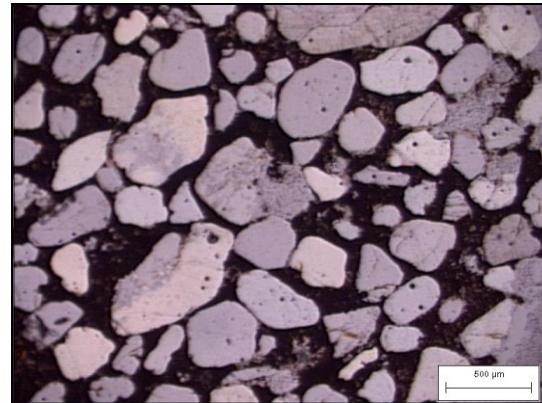
accidental rellenas con ettringita. Los contactos agregado-mortero son netos. No se observaron fenómenos de reacción. En la composición del agregado grueso (canto rodado), predominan las vulcanitas. En la fotomicrografía se muestra el contacto neto entre dos clastos de rocas volcánicas y la pasta. (Luz paralela).

Losa lateral (CR): El estado de conservación es bueno, es abundante la carbonatación del mortero. Son similares las características petrográficas a las descritas en el hormigón losa fondo (CR). El agregado fino es una arena natural de origen marino, con abundantes clastos de valvas, rocas volcánicas y vidrio volcánico fresco. En menor proporción se identificó cuarzo, feldespato, fragmentos de rocas graníticas y calcedonia. En la fotomicrografía se observa



el hormigón con luz paralela donde es posible observar el buen estado de conservación y el contenido abundante de componentes líticos y valvas.

Losa fondo (PP): El agregado grueso es piedra partida constituida por rocas graníticas. El agregado fino es una arena natural de origen marino. En su composición predomina el cuarzo, feldespato y fragmentos de rocas graníticas. Se identificaron escasos clastos de rocas volcánicas y vidrio volcánico fresco. El estado de conservación es muy bueno. El contacto agregado pasta es neto. No se observan fisuras. En algunos sectores se observó escaso microfisuramiento en la pasta, aunque las fisuras están vacías. No se observaron productos de reacción ni indicios de desarrollo de reacciones deletéreas tipo RAS. Las cavidades de aire atrapado se encuentran en general vacías, aunque en algunas se observó la presencia de carbonato de calcio. En la fotomicrografía se muestra una vista general del hormigón con luz paralela.



4.3. Descripción cualitativa de los testigos

Losa de fondo (CR): el agregado grueso (canto rodado) presentaba una buena distribución granulométrica y un tamaño máximo nominal de 25 mm. El hormigón no mostraba oquedades ni deficiencias que pudieran atribuirse al método de colocación.

Losa de fondo (PP): el hormigón mostraba poca cantidad de agregado grueso con una distribución granulométrica uniforme y tamaño máximo nominal de 25 mm. No se observaron huecos accidentales.

Losa lateral (CR): el hormigón tenía un agregado grueso de buena distribución granulométrica y tamaño máximo nominal de 19 mm. El agregado fino presentaba conchillas de diversos tamaños. El material dejaba ver abundante porosidad y huecos que podría pensarse proviene de una deficiente compactación.

4.4. Resistencia a compresión

Se calaron cinco testigos de cada una de las losas estudiadas, las cuales fueron ensayadas a compresión obteniéndose los resultados indicados en la Tabla 1.

Losa	Tipo de Agregado	TMN (mm)	Testigo	Resistencia (Mpa)	Resistencia promedio (Mpa)
Losa de fondo (CR)	Canto Rodado	25	1	60,3	55,0
			2	53,8	
			3	58,9	
			4	52,7	
			5	49,4	
Losa de fondo (PP)	Piedra Partida	25	1	30,5	29,8
			2	29,2	
			3	31,8	
			4	27,5	
			5	29,8	
Losa Lateral (CR)	Canto Rodado	19	1	21,0	21,7
			2	22,5	
			3	20,7	
			4	24,1	
			5	20,4	

Tabla 1

5. CONSIDERACIONES

- Cabe destacar la falta total de mantenimiento por parte de las autoridades, hecho que se ha repetido a lo largo de la historia del canal como lo evidencian las fotos de distintas épocas. En ellas se aprecia la altura de la vegetación crecida dentro del mismo canal y los depósitos sedimentarios, los cuales provienen de las corrientes de agua superficial que ingresan por los laterales y de los conductos de desagües pluviales que descargan en distintos puntos del canal, reduciendo la sección del mismo.



Fotografías correspondientes a los años 1968 (izq.) y 1970 (der.)

- Se asume que la falta de estanqueidad, debida a la pérdida del material sellador entre las juntas de dilatación, produjo el ingreso del agua del canal hacia el subsuelo de base y, en posibles ciclos de humedecimiento y secado, se arrastró el suelo de

sustentación hacia la superficie, ocasionando la pérdida del mismo y la consecuente socavación en las losas de fondo. Otro factor que influyó en el socavamiento inferior de las losas, principalmente del piso, es el nivel freático, el que a lo largo del canal se halla por sobre el nivel de la obra. Este fenómeno se observó en la mayoría de las juntas abiertas y las fracturas donde surge el agua. Como consecuencia de esta falta de sustentación, se produjeron desprendimientos en el sentido de la corriente de agua que desplazó totalmente algunos paños, quedando el suelo de base a la vista, con fuga parcial del mismo en algunos sectores y socavación por debajo de las losas aún en buen estado de servicio.

- Cuando una circulación torrencial, con gran velocidad y poca profundidad del agua, se transforma bruscamente en una circulación fluvial de baja velocidad y mayor profundidad, se produce un fenómeno denominado resalto. Las causas de formación están ligadas a una incompatibilidad de las condiciones límites aguas arriba, donde se impone una circulación torrencial, y aguas abajo donde se impone una circulación fluvial. Esta alteración brusca en un movimiento permanente va acompañado de una gran agitación, de una turbulencia continua y de formación de espuma [7].

En la fotografía tomada en 1957, se puede apreciar con claridad este fenómeno. La zona de resalto donde se produce mucha turbulencia, coincide con el sector de losas de fondo dañadas. La energía de disipación es perfectamente soportada por el hormigón sano, pero habría que plantearse la posibilidad que en esa zona existiera una falla previa que dejara el suelo de sustentación libre. De esta manera, al producirse un resalto y generarse una zona de agitación y remolinos, se arrastraría el suelo de base hacia la superficie socavando las losas de fondo aún en buen estado de funcionamiento. Este proceso dejaría a una losa sin armar estructuralmente en voladizo, la cual volvería a romper repitiendo los ciclos de socavación.



- Cuando comenzó a funcionar el embalse Dique Paso Piedras (1965), que permite proveer agua potable a la ciudad, se dejó de bombear agua del acuífero para consumo de la población. Se produjo un consecuente levantamiento de los niveles freáticos por sobre el nivel de la obra, por lo que las condiciones originales del proyecto del canal se vieron modificadas.

Como consecuencia, las losas de hormigón simple están sometidas a un estado de carga nuevo para el cual no fueron diseñadas. Esta nueva sollicitación genera un estado de tensiones en la cara superior de las losas que son sometidas a tracción y no existe ninguna armadura para tomar dicho esfuerzo. Evidentemente el hormigón comienza a fisurarse, permitiendo la salida hacia el exterior del agua de la capa freática y se inicia otro ciclo de arrastre de suelo de base, con la consecuente socavación de las losas. Este fenómeno de afloración de agua de la napa se observó en la mayoría de las juntas abiertas y fisuras durante períodos de poco caudal de agua en el canal.

6. CONCLUSIONES

La resistencia a la compresión del hormigón indica que el material, mecánicamente tenía las posibilidades de un buen comportamiento en el tiempo. Los estudios petrográficos no detectaron la presencia de productos de neoformación ni indicios de desarrollo de reacciones deletéreas que pudieran ser una de las causas de la rotura de las losas. El hormigón de mayor edad presentó un mejor desempeño que el utilizado en las sucesivas reparaciones.

El deterioro del hormigón correspondiente al Canal Maldonado se debió a las siguientes causas:

- La pérdida del material sellador de juntas permitió el ingreso del agua del canal al subsuelo de base y en posteriores ciclos de humedecimiento y secado se produjo la fuga de dicho suelo hacia la superficie, socavando las losas de fondo. Esta situación se podría haber evitado realizando un programa de mantenimiento continuo en el canal.
- La modificación en el estado de sollicitación debida a la supresión generada por la elevación del nivel freático, sometió a las losas a estados de tensión no previstos en el diseño original. La falta de armadura en el hormigón de las losas, dio origen a un estado de fisuración. Una posible solución sería la colocación de drenes que vincularan el subsuelo con el exterior para aliviar la supresión de la capa freática. Se deberían colocar filtros construidos con piedra para permitir el libre paso del agua hacia el exterior y así evitar el arrastre de suelos finos.
- Las condiciones de resalto en el tramo afectado colaboraron con la fuga del suelo de base de losas aledañas sin fallas, repitiendo ciclos de socavación que lavaban y arrastraban nuevo terreno de sustentación. Si el hormigón se encuentra sin fallas, esta situación no sería causa de deterioro.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Sur, CIC y Conicet y la colaboración de los Sres. Rodolfo Salomón (Departamento de Geología, UNS-CIC), Diego Smith (Laboratorio de Estudio y Ensayo de Materiales, UNS) y Coronel (R.E.) Enrique Recchi, y al Archivo fotográfico del diario "La Nueva Provincia".

8. REFERENCIAS

- [1] Biondolo, M y otros. (1994). "Geografía de Bahía Blanca"-
- [2] Recchi, Enrique. "Bahía Blanca, 175 años de historia en historias"
- [3] Archivo Diario "La Nueva Provincia".
- [4] St. John, Donald A.; Alan W. Poole and Ian Sims (1998). Concrete Petrography. A handbook of investigative techniques. Ed. Arnold. London.
- [5] ICDD. 1993. Mineral Powder diffraction file. International Centre for diffraction data. Databook.
- [4] Instituto Racionalización Argentino de Medidas -1551."Hormigón de cemento Pórtland. Extracción, preparación y ensayo de testigos de hormigón endurecido" (2000).
- [7] Murga, N. "Hidráulica General", Departamento Ingeniería, UNS.