

EVALUACIÓN DEL DAÑO POR CORROSIÓN EN PUENTE SOBRE ARROYO CALÁ, EN LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS.

Mg. Ing. María I. Schierloh⁽¹⁾, Ing. Roberto Souchetti⁽¹⁾, Dr. Ing. Viviana C. Rougier⁽¹⁾

(1) Docentes e investigadores del Grupo de Investigación en Rehabilitación de Estructuras (G.I.R.E.). Departamento de Ingeniería Civil, Facultad Regional Concepción del Uruguay (ER), Universidad Tecnológica Nacional.
E-mails: schierlm@frcu.utn.edu.ar, rougierv@frcu.utn.edu.ar

RESUMEN

Una de las principales causas de daño y que puede provocar la falla o fin de la vida de servicio de un puente de hormigón armado, es la corrosión de las armaduras de acero. Diseños no adecuados a la durabilidad esperada, falta de mantenimiento, y aumento de los niveles de contaminación, son determinantes en la ocurrencia de este tipo de patología. Por ello y a los efectos de preservar la integridad estructural, resulta de gran importancia determinar el grado de daño que presenta el acero a causa del proceso corrosivo.

En este trabajo se presentan los resultados de un estudio de corrosión realizado sobre un puente carretero ubicado en la ruta provincial N° 39, provincia de Entre Ríos, en el marco de un convenio firmado con la Vice gobernación. Dicho estudio forma parte de un proyecto de inspección y evaluación de patologías en puentes situados sobre la ruta mencionada precedentemente.

Para determinar el grado de avance del proceso corrosivo, se realizaron ensayos no destructivos tales como medición de potenciales electroquímicos, determinación de la resistividad eléctrica del hormigón y de la velocidad de corrosión de las armaduras. Los resultados de dichos ensayos permitieron elaborar un diagnóstico y una propuesta de reparación.

ABSTRACT

Corrosion of steel reinforcement is one of the main reasons for the damage caused on reinforced concrete bridges and it can even force their failure or shorten their life-service. Inadequate designs to meet expected durability, lack of maintenance and increased pollution levels, are determining factors in the occurrence of this kind of pathology. Thus, in order to preserve structural integrity, it is of outmost importance to determine the degree of damage in steel caused by corrosive processes.

The results of a corrosion research carried out in a highway bridge located in Route 39, Entre Ríos province, and under an agreement signed with the vice-governor, are presented in this work. Such area of research is part of an inspection and assesment project on bridge pathologies. All the bridges under study are located along the aforementioned route.

To determine the degree of progress of the corrosion processes, non-destructive tests as a means to measure the half-cell potential, electrical resistivity of concrete and corrosion rate of steel reinforcements, were performed. The results (findings) of those tests made it possible to prepare a diagnostic and repair proposal.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo es parte de un proyecto instrumentado mediante un Convenio de Colaboración Específico entre la Vicegubernación de la Provincia de Entre Ríos y la Facultad Regional Concepción del Uruguay de la Universidad Tecnológica Nacional, firmado en el mes de octubre del año 2008.

En el marco de dicho convenio y conforme a lo propuesto por la Dirección Provincial de Vialidad, Zonal IX. Se planteó la evaluación de los siguientes puentes, todos ubicados sobre la ruta provincial Nro. 39:

- a) Puente sobre Arroyo Cala – Ruta Nro. 39, km 78,5 (Rocamora)
- b) Puente Alto nivel sobre vías del ferrocarril – Ruta Nro. 39, km 87,5 (Basavilbaso).
- c) Puente sobre Arroyo La Esperanza – Ruta Nro. 39, km 102 (Villa Mantero)
- d) Puente sobre Arroyo Gená – Ruta Nro. 39, km 108 (Villa Mantero)
- e) Puente sobre Río Gualeguaychu – Ruta Nro. 39, km 123 (Herrera).

En este informe se presentan los resultados obtenidos de las inspecciones realizadas en el puente sobre Arroyo Cala.

Para determinar el grado de afectación de las estructuras de hormigón armado por procesos de corrosión, actualmente se aplican ensayos no destructivos como la medición de potenciales electroquímicos de corrosión, de la resistividad eléctrica del hormigón y de la velocidad de corrosión de las armaduras.

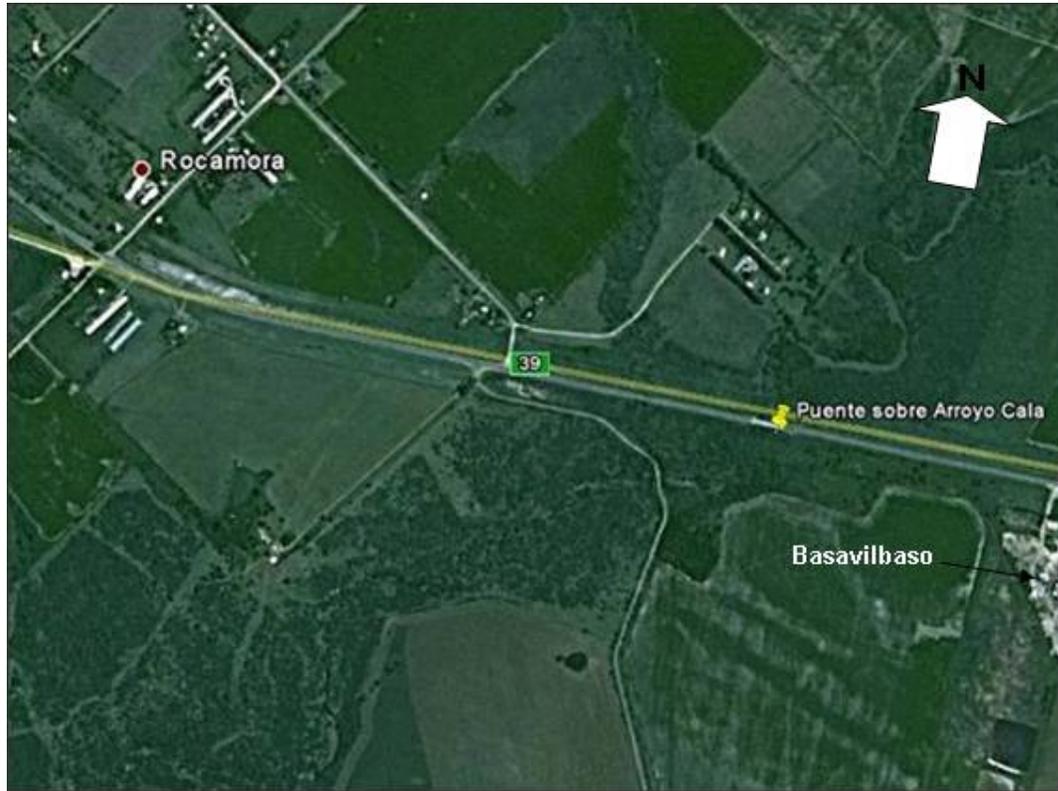
Los resultados obtenidos mediante estas técnicas, analizados conjuntamente con características del hormigón tales como avance del frente de carbonatación en el hormigón, medición con técnicas de ultrasonido, o el contenido de humedad, permiten establecer un nivel de riesgo o de afectación de las estructuras por comparación con criterios aceptados internacionalmente. No obstante, estas evaluaciones representan solo una condición instantánea del proceso de corrosión y deben repetirse en el tiempo a fin de lograr resultados representativos y confiables.

Al respecto, el Comité Europeo Internacional del Hormigón y la Federación Internacional del Pretensado (CEB-FIP 1990)[1], aconseja realizar tareas de inspección de puentes de hormigón armado cada dos a seis años como máximo.

Estas inspecciones y evaluaciones periódicas, de rutina o detallada, realizadas por personal capacitado, son esenciales para decidir los trabajos necesarios para brindar una prestación segura con costos mínimos de mantenimiento, evaluados como un total en el ciclo de vida de la estructura. La sistematización de la información recogida en las inspecciones, es fundamental para decidir el tipo de intervención, evaluar su costo y acordar la ocasión conveniente para su realización.

Los aspectos que se consideraron necesarios en el desarrollo de esta investigación fueron las condiciones generales de orden ambiental y ubicación de los puentes analizados; procedimientos de evaluación; los criterios y normas que determinen la condición de las estructuras; la documentación existente de los puentes; asignar la priorización de trabajos de mantenimiento empleando datos estadísticos; establecer cronogramas de inspecciones; emitir informes sobre todos los puntos anteriores.

El puente en cuestión, se encuentra emplazado en la Provincia de Entre Ríos, a 32° 21'04" de Latitud Sur y 58°57'10" de Latitud Oeste; en la Ruta Provincial N° 39 (progresiva Km 78,5), sobre el Arroyo Calá, vecino a la localidad de Rocamora.



Se encuentra ubicado en un ambiente que se clasifica como rural. Estos ambientes se caracterizan por la ausencia de agresivos químicos al hormigón armado, con excepción del CO_2 de la atmósfera que promueve los procesos de carbonatación. Así si tomamos en consideración la clasificación de exposición dada por el Proyecto de Reglamentación CIRSOC 201 [2], se puede indicar que la estructura evaluada se encuentra en un ambiente tipo A3: exteriores expuestos a precipitación media anual mayor o igual a 1000mm y con temperatura media mensual mayor o igual a 25°C durante más de 6 meses. En la Figura 1 se muestra una distribución de estas clases de exposición en la República Argentina.

De acuerdo a la clasificación de la norma IRAM 11603 [3], se puede decir que el puente propuesto se ubica en la zona bioclimática IIb que corresponde a clima cálido con amplitudes térmicas menores que 14°C .

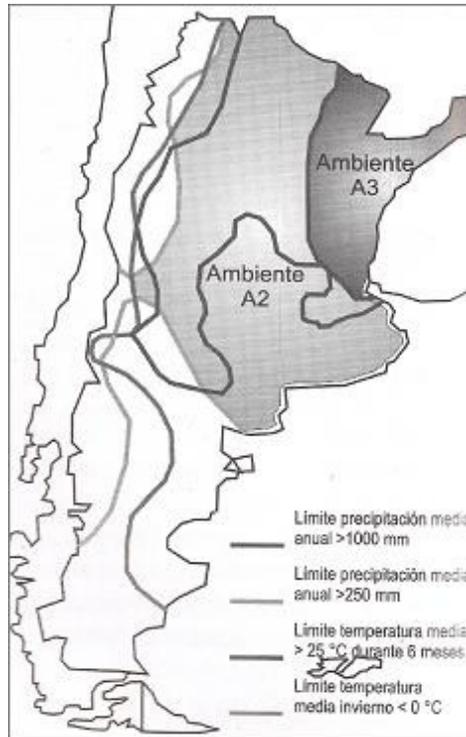


Fig. 1 Ambientes A2 y A3, donde la carbonatación es el proceso de degradación predominante.

2. CONDICIONES GENERALES PROCEDIMENTALES

2.1- Procedimientos de evaluación:

Para la evaluación del puente se plantearon tres etapas bien definidas a saber: **Inspección Preliminar, Inspección detallada y diagnóstico**. Siguiendo los criterios extraídos del manual DURAR de la red CYTED [4] y otros manuales que abordan la temática [5]. Las cuales se describen a continuación:

2.1.1- Inspección preliminar:

La inspección preliminar se realiza en tres fases, lo que finalmente permitirá determinar un pre-diagnostico, del estado de la estructura y la decisión luego, de pasar o no a una inspección detallada.

Estas fases son: **Revisión de Antecedentes, Examen visual, Análisis y ensayos generales**.

2.1.2- Inspección detallada:

En los casos que los resultados de la inspección preliminar lo ameriten se lleva a cabo una evaluación más compleja de la problemática de la estructura del puente, se hace una inspección detallada.

Esta, se divide en tres etapas y al finalizar las mismas se obtiene un diagnostico general del estado de la estructura del puente.

Estas etapas son:

2.1.2.1- Selección de zonas:

Una vez reconocida la estructura del puente (a través de la inspección preliminar), se hace una división de ella en zonas.

En nuestro caso, hemos dividido la composición del puente en dos partes estructurales (**Superestructura** e **Infraestructura**), cada una de las cuales, a su vez, contiene tres elementos diferenciados.

2.1.2.1.1- Superestructura:

Esta constituida por todos los elementos estructurales o constructivos, que forman parte de la obra que permite el tránsito sobre la misma para salvar el obstáculo.

Estos elementos son:

- a) **Tablero:** Es la losa principal del puente.
- b) **Vigas principales:** Son los apoyos donde descarga el tablero.
- c) **Barandas:** Son las protecciones laterales de la superestructura.

2.1.2.1.2- Infraestructura:

Esta formada por todas las estructuras que dan apoyo a la superestructura, transmitiendo las cargas al suelo.

Dentro de la infraestructura, consideramos tres secciones:

- a) **Pilas:** Son los apoyos intermedios de la superestructura.
- b) **Estribos:** Son los apoyos extremos de la superestructura.
- c) **Fundaciones:** Son los que transmiten el esfuerzo al suelo.

2.1.2.2- Selección de análisis, ensayos y mediciones:

Luego de realizar la división de la estructura, se determinó que tipo de análisis, ensayos y mediciones serían llevados a cabo en la inspección detallada.

Para esta etapa, se utilizaron planillas donde para cada elemento de la estructura del puente (baranda, tablero, vigas principales, pilas y estribos), están especificados las posibles afectaciones que puede verse en cada una y por ende, las posibles mediciones y ensayos a realizar.

A su vez, para cada estudio en particular se confeccionaron tablas que se volcaron en planillas.

Los posibles ensayos a realizar tanto para el hormigón, como para la armadura fueron:

- Para la evaluación del hormigón:

- a) Detección de la delaminación del recubrimiento del hormigón
- b) Resistividad eléctrica del hormigón.
- c) Ultrasonido.
- d) Esclerometría.
- e) Profundidad de carbonatación
- f) Detección de fisuras y grietas.

- Para la evaluación de la armadura:

- a) Localización de la armadura y espesor de recubrimiento
- b) Medición de la disminución de la sección.
- c) Medición de potenciales electroquímicos de corrosión.
- d) Medición de la velocidad de corrosión.

2.1.3- Diagnostico:

Establecer el diagnostico patológico para la estructura de un puente, resulta un proceso lógico de análisis e interrelación de todos los hechos, resultados y observaciones realizados en las etapas de inspección.

La información, es apreciada y analizada en forma crítica a partir de diferentes pautas de evaluación establecidas y por la experiencia del evaluador.

Al efectuar estas valoraciones, se pueden presentar varias posibilidades que involucran la presencia o no de corrosión en las armaduras en el hormigón sano o deteriorado.

Si la información estructural, no revela daños de importancia, es deseable examinar la información ambiental, para identificar los tipos de corrosión que puedan desarrollarse en el futuro (análisis de potencialidad corrosiva).

Si la información de las condiciones acerca de la estructura revela corrosión, es necesario identificar el tipo de corrosión existente, el mecanismo de acción y de propagación.

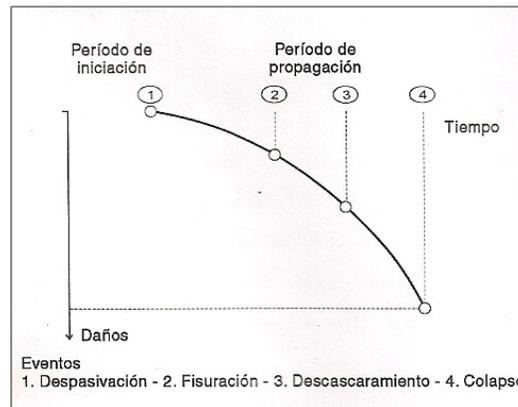


Fig. 2 Tiempo de vida útil en estructuras, antes de reparar. Modelo simplificado de Deterioro del Acero en el hormigón.

Un criterio racional de diseño de estructuras de hormigón armado plantea que las mismas deben ser capaces de resistir las condiciones ambientales previstas, conservando su seguridad, estabilidad y aptitud en servicio durante un período de tiempo preestablecido en la etapa de diseño, pero las especificaciones prescriptas no se ajustan a esta definición, ya que no permiten optimizar la inversión inicial y los costos de mantenimiento. El modelo de deterioro del acero en el hormigón propuesto por Tuutti es una herramienta ampliamente aceptada para asegurar una determinada vida útil. La Fig.2 muestra la performance de una estructura de hormigón con relación a la corrosión de armaduras y los eventos relacionados. En general los puntos 1 y 2 representan eventos relacionados con los estados de servicio de la estructura, el punto 3 se relaciona tanto con los estados de servicio como con los límites y el 4 representa el colapso de la estructura [6].

3. TAREAS DE RELEVAMIENTO PRELIMINARES

3.1- Inspección preliminar:

En función del programa de trabajos previstos inicialmente, se solicitó información a la Dirección Provincial de Vialidad, no habiéndose encontrado documentación de ninguno de los puentes a inspeccionar. Por lo cual, se mantuvieron reuniones posteriores con el Jefe Zonal IX Uruguay de la Dirección de Vialidad Provincial, quien aportó los datos que son de su conocimiento tales como año de ejecución y prácticas constructivas. Vale aclarar que esta etapa no se ha cerrado, y que la búsqueda de información es continua, ya que estas referencias permitirán hacer un análisis de los resultados más ajustado a la realidad.

Se confeccionaron, según lo previsto, Fichas de Antecedentes de la Estructuras, y fichas de descripción del medio.

El puente sobre arroyo Cala localizado en la ruta provincial Nº 39, progresiva al Km 78,5 (Rocamora). Según su destino o uso es un puente carretero, de Hormigón Armado in situ, construido en el año 1978, con una longitud de 58 m, un ancho de calzada de 8,4 m y una altura máxima de 4,7 m. Compuesto por tablero de hormigón armado, con juntas de dilatación tipo tijera, barandas de hormigón; cinco vigas longitudinales, dos pilas y dos estribos. Es el puente de mayor antigüedad y en el cual se pudieron observar diferentes afectaciones.



(a)



(b)

Fig. 3 Vista Superior del puente (a). Vista de fisuras en la losa del tablero superior (b).



Fig. 4 Vista lateral, donde se puede observar los desagües.



(a)



(b)

Fig. 5 Vista del estribo este, que se encuentra descalzado (a) y detalle del estado de las juntas entre losa de aproximación y tablero (b).



(a)



(b)

Fig. 6 Vista inferior del puente entre pilas uno y dos (a). Y Vista de fisuras en el tablero superior con procesos visibles de lixiviación. En vigas se observaron hierros afectados por corrosión (b).



Fig. 7 Exposición de lo áridos, en la parte inferior de las pilas, por la lixiviación de la pasta de cemento.



(a)



(b)

Fig. 8 Armadura expuestas y con procesos corrosivos en viga sobre estribos (a). Y Armaduras expuestas y con procesos corrosivos, en parte inferior de losa de tablero (b).

4. CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1- Inspección detallada:

Debido a la falta de antecedentes técnicos sobre la obra, en esta etapa se realizó un relevamiento geométrico de todas las partes del puente. Luego de reconocida la estructura se efectuó una selección de las zonas para examen visual detallado y se procedió a la elaboración del plan de muestreo.

Se seleccionaron las técnicas y zonas de ensayos y mediciones en el hormigón, armaduras y en el medio ambiente circundante.

Inicialmente se realizó una detección de la delaminación del recubrimiento de hormigón, localización de la armadura mediante un detector electromagnético. Se realizaron ensayos de esclerometría y ultrasonido para verificar el estado del hormigón, profundidad y dirección de fisuras, sobre vigas longitudinales y pilas. Se midió el espesor de la capa de hormigón carbonatado en el estribo este, utilizando la técnica colorimétrica (con solución indicadora de pH). Se hicieron, además, mediciones de los potenciales electroquímicos de corrosión (E_{CORR}), parámetro que indica el estado de avance de la corrosión en la armadura (pasivo o activo). Así mismo se extrajeron muestras de agua del arroyo para ser analizados en el laboratorio.

4.2- Barandas:

El sistema constructivo, es de hormigón armado, separado en cuatro tramos. Se encuentran fijadas a un pequeño voladizo, unido al tablero central. No se observan problemas de impacto sobre las barandas, ni problemas de fisuración. Se obtuvo una resistencia superficial promedio de promedio de 51,2 MPa.

No se registraron problemas de fallas constructivas (oquedades, falta de recubrimientos, etc) en estos elementos. Tampoco se detectaron manchas de óxido ni armaduras expuestas.

Los resultados obtenidos mostraron que en las zonas auscultadas, el hormigón no se encontraba carbonatado al momento de realizar el ensayo; como se puede observar en la Fig. 9.



Fig. 9 Vista del primer punto descubierto rociado con solución indicadora.

No se realizaron mediciones para verificar el estado de las armaduras, ya que exteriormente no se observaron signos manifiestos de procesos corrosivos en sus armaduras (caracterizados por manchas de óxido, delaminación y/o desprendimientos del hormigón del recubrimiento).

4.3 - Tablero:

Otro control realizado fue el del estado de conservación de la estructura del tablero del puente construido de hormigón armado in situ.

Se encuentra apoyado en cinco vigas longitudinales y tiene dos voladizos, donde apoyan las barandas.

La superficie de rodamiento, presenta múltiples problemas de fisuras llegando al desprendimiento del hormigón en algunos sectores (Fig.3 y 10). Las formas y distribución de dichas fisuras hacen pensar en la posibilidad de que sean originadas por la Reacción álcalis agregados (RAS), aunque en el caso de agregados de reacción lenta, para asegurarlo habría que estudiarlo sobre testigos.



Fig. 10 Vista del tablero del puente, con signos de desprendimientos del hormigón y múltiples fisuras del tablero del puente.

Se hicieron estudios de carbonatación, en varios puntos de la superficie superior e inferior, dando resultados negativos en el momento de realizar las pruebas.

Las múltiples fisuras observadas, algunas de ellas con espesores mayores a 3 mm en la cara superior del tablero, favorecen los procesos de lixiviación, visibles en la cara inferior. Donde se observó el mapeo y midieron espesores de 0,1 mm en promedio (Fig. 11).

Los estudios hechos con esclerómetro, dieron una resistencia superficial promedio de 48,7 MPa.



Fig. 11 Vista de la lixiviación, en la cara inferior del tablero del puente.

En la cara inferior del tablero se detectaron problemas de falta de recubrimiento, lo que deja a la armadura principal y a la secundaria, expuestas al medio ambiente (Fig.12).



Fig. 12 Vista de la cara inferior del tablero del puente, donde se observan la falta de recubrimiento.

En cuanto a las juntas existen solamente dos en los extremos del tablero.

Estas juntas, están inconclusas faltando la terminación en la parte del tablero del puente.

En la parte de la losa de aproximación, posee sólo un perfil metálico (Fig.5 (b)).

4.3- Vigas principales:

El sistema constructivo, es de hormigón armado in-situ.

Consta de cinco vigas longitudinales, apoyadas en dos estribos extremos y dos pilas interiores.

Posee dos vigas transversales por tramo, y una en cada estribo (Fig. 13 y 14).

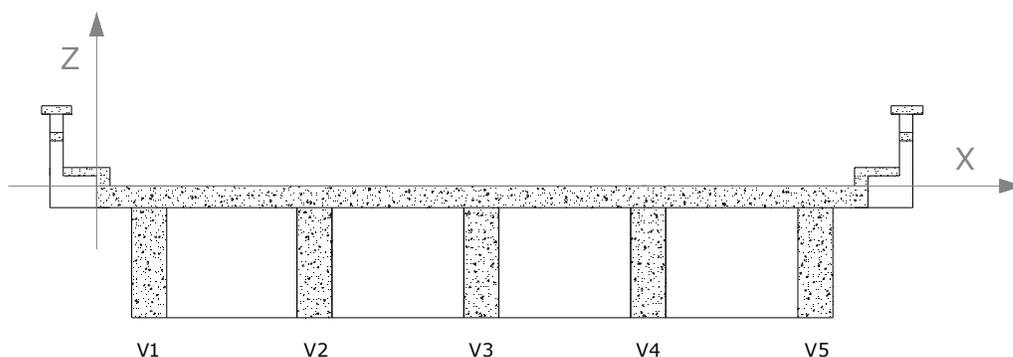


Fig. 13 Croquis esquemático del corte del puente, mostrando las cinco vigas.



Fig. 14 Vista de las vigas longitudinales.

Todas las pruebas de carbonatación, incluidas las que se hicieron en grandes oquedades de las vigas, dieron resultados negativos al momento de realizar los ensayos.

Se observaron fisuras, en toda la longitud de las vigas, a distancias iguales o mayores a un metro entre si, con espesores que varían de 0,075 mm a 0,1 mm.

Las pruebas con esclerómetro, dieron una resistencia superficial promedio de 51,0 MPa.

Existen múltiples problemas de fallas constructivas en toda la longitud de las vigas.

Se observaron oquedades, que dejan a las armaduras principales expuestas al medio ambiente (Fig. 15). También se verificó la presencia de hierros usados como separadores sin recubrimiento. Estos hierros, con procesos de corrosión evidentes, están en contacto con las armaduras principales, pudiendo afectarlas.



(a)



(b)

Fig. 15 Vista de oquedades superficiales por deficiencia en el detalle o posicionamiento de la armadura y barras de acero dejados como separadores (ventanas a la corrosión)(a). Oquedad en la cara inferior de una viga principal donde se ve el hierro expuesto al medio ambiente (b).

4.4- Patología de pilas y cabezales:

Consta de dos estribos extremos y dos pilas interiores de hormigón armado in situ (Fig. 16).

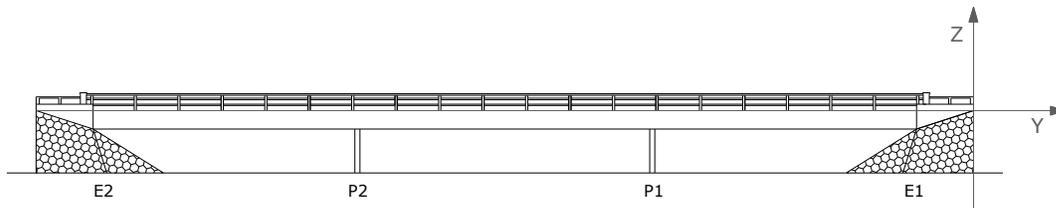


Fig. 16 Croquis de la vista lateral del puente donde se nombran los estribos y pilas.

Los cabezales poseen un recubrimiento inclinado de hormigón armado como sistema de protección.

Las pruebas de carbonatación hechas tanto en las vigas de borde sobre los estribos, como en el resto de las pilas dieron resultados negativos (Fig.17).



Fig. 17 Ensayos de carbonatación en las vigas de borde sobre los estribos.

En la pila P1, se observaron fisuras verticales.

La más importante, con espesor de 0,4 mm, 3 metros de longitud, habiéndose determinado una profundidad promedio de 167,3 mm. Se constataron fisuras que podemos considerar como normales, aunque deberá controlarse la abertura de las mismas periódicamente.

Esas fisuras con andamio vertical en algunas de las pilas, ubicadas en las caras (pantallas) perpendiculares al eje del puente, comienzan en el plano de unión con el cabezal (Fig.18).



Fig. 18 Fisura longitudinal en una pila del puente.

Los tabiques de hormigón que conforman las pilas trabajan bajo un sistema tensional vertical, por lo que las fisuras de pequeña abertura de tendencia vertical no son de relevancia.

Los estudios hechos con el esclerómetro, dieron una resistencia superficial promedio, de 57,6 MPa.

En los estribos se observaron problemas de erosión, lo cual produjo deterioro de la protección del estribo E1 (Fig. 5(a)).

4.5 - Análisis del agua de contacto:

El arroyo, presenta olores nauseabundos, signos de problemas de contaminación.

Los análisis de laboratorio dieron los siguientes resultados:

*Residuos sólidos (total de sales solubles) = 700 p.p.m.

*Sulfatos = 80 p.p.m.

*Cloruros = 78 p.p.m.

*Ph = 7

El contenido máximo de ión cloruro (Cl⁻) en el hormigón endurecido establecido por el Proyecto CIRSOC 201 [7] en su Tabla 2.6, se muestra a continuación.

Hormigón	Condición de exposición en servicio	Contenidos máximos de ión cloruro (Cl) en el hormigón endurecido (IRAM 1 857)
		% en masa del cemento
Sin armar	Cualquier condición	1,20
Armado, con curado normal	Medio ambiente con cloruros	0,15
	Medio ambiente sin cloruros	0,30
Armado, con curado a vapor	Cualquier condición	0,10
Pretensado	Cualquier condición	0,06

En este caso se obtuvo 0,022% suponiendo un contenido de cemento de 350 kg/m³, lo que permite estimar que esta dentro del máximo permitido.

Para el sulfato, se establece el siguiente grado de exposición:

< 150 p.p.m.....leve

150 a 1500 p.p.m.....moderado

1500 a 10000 p.p.m.....severa

> 10000 p.p.m.....muy severa.

En este caso, el grado de exposición se puede clasificar como leve.

Los valores Límites de sustancias agresivas en aguas de contacto dados por el Proyecto CIRSOC 201 [7] en su Tabla 2.3, se muestra a continuación.

Estos valores son válidos para clima moderados, con temperaturas medias anuales iguales o menores que 25°C y aguas estacionarias o que se mueven lentamente (velocidad igual o menor que 0,8 m/seg.), como en este caso particular.

Grado de ataque	Sulfatos solubles (SO ₄ ²⁻) (1)	Magnesio (Mg ²⁺) (2)	pH (3)	Disolución de cal por ataque con ácido carbónico (CO ₃ ²⁻) (4)	Amonio (NH ₄ ⁺) (5)
	mg/litro	mg/litro	-----	mg/litro	mg/litro
Moderado	150 a 1.500	300 a 1.000	6,5 a 5,5	15 a 40	15 a 30
Fuerte	1.500 a 10.000	1.000 a 3.000	5,5 a 4,5	40 a 100	30 a 60
Muy fuerte	Mayor de 10.000	Mayor de 3.000	Menor de 4,5	Mayor de 100	Mayor de 60

(1); (2) y (3) Se determinarán con el método especificado en la norma IRAM que se redactará al efecto
(4) y (5) Se determinarán con el método especificado en la norma IRAM 1 708. (Se encuentra en etapa de redacción el método para determinación de amonio).

5. PROPUESTAS DE REPARACIÓN

En base a los resultados obtenidos se proponen las siguientes tareas de reparación detalladas a continuación:

- Demoler y reconstruir las defensas de pantalla de ambos estribos. Rellenando y recomponiendo los taludes erosionados.
- Colocar perfil en juntas de tablero.
- Reparar el hormigón del fondo de tablero.
- Desobstruir desagües, prolongarlos y darles terminación.
- Colocar señalización en acceso y demarcación en calzada.
- Colocar barandas vehiculares.
- Reforzar y reparar zonas oxidadas.
- Limpieza general.

6. CONCLUSIONES

No se obtuvo información del período de ejecución, ni de antecedentes en general.

Las afectaciones observadas, de diferentes índoles, que ameritaron continuar con las inspecciones detalladas fueron:

- a) Filtraciones. Las filtraciones de agua a través de grietas o fisuras en el interior de la masa de hormigón, provocando escurrimiento de hidróxido de calcio disuelto y otros componentes.
- b) Deterioro por desgaste o abrasión. El desgaste por tráfico vehicular y los impactos causan deterioro en la losa del puente. En la losa el desgaste se presenta con grietas y daños en las juntas de dilatación.
- c) Corrosión en la armadura. El incremento en el volumen del acero expuesto corroído ocasiona un aumento en la presión interna de la masa del hormigón, dando por resultado desprendimiento de los recubrimientos.
- d) El aire y la humedad son causantes primariamente de oxidación y posteriormente de corrosión en el acero, especialmente en climas cálidos (IIb).
- e) La posibilidad de presencia de agregados reactivos y alta alcalinidad en la pasta del cemento. El resquebrajamiento y debilidad del hormigón en la estructura resulta de estas combinaciones, especialmente cuando se encuentra expuesto a los elementos intemperantes.
- f) Fatiga y concentración de fuerzas. La mayoría de las fisuras son producto de fatiga o deficiencia de detalles constructivos, que se producen como resultado de una gran concentración de esfuerzos.

En particular de los trabajos realizados en el Puente sobre Arroyo Calá, se pudo concluir que:

- Las resistencias superficiales determinadas en los diferentes elementos fueron uniformes y elevadas.
- No se detectaron problemas de carbonatación.
- En el 75% de los elementos analizados se detectaron problemas de corrosión de armaduras causadas, en principio, por la suma de diferentes factores, tales como defectos constructivos (escaso o inexistente recubrimiento, coqueras, etc.), filtraciones y acumulación de agua. Comparándolos con el diagrama de Vida Útil dado por Tutti (1982) (Fig.2), se puede concluir que el proceso de corrosión está en período de propagación.

De esta manera será factible recomendar la implementación de algunas de las múltiples medidas preventivas disponibles en el mercado, tales como el empleo de inhibidores de corrosión y/o de recubrimientos específicos.

Diversos trabajos de investigación han demostrado que el uso de PRF o materiales compuestos representa una solución efectiva en la rehabilitación de estructuras dañadas por corrosión [8]. Este concepto de reparación fue motivado por la observación de que los PRFs son químicamente inertes a los agentes que usualmente inducen corrosión y podrían mitigar entonces los problemas convencionales de las armaduras de acero.

También resulta necesario a los efectos de garantizar la seguridad de las estructuras de hormigón armado, cuyas armaduras han sido severamente corroídas, no sólo reparar el daño, sino también evaluar la resistencia de los elementos de hormigón armado de acuerdo con el grado de corrosión de las barras de acero [9].

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Vicegobernación de la provincia de Entre Ríos, en particular al Vicegobernador y Presidente de la Honorable Cámara de Senadores de Entre Ríos Dr. José Eduardo Lauritto, a la Dirección Provincial de Vialidad, a la Zonal IX Uruguay de la DPV y a las autoridades de la Facultad Regional Concepción del Uruguay, de la Universidad Tecnológica Nacional, por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

8. REFERENCIAS

- [1] Código Modelo CEB-FIP (Comité Euro-Internacional del Hormigón - Federación Internacional del Pretensado). Última versión 1990.
- [2] 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 trámite de aprobación).
- [3] IRAM 11603 - Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina.
- [4] Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado, Red temática XV.B "DURAR" (Durabilidad de la armadura) – CYTED.
- [5] CONTECVET, Manual de evaluación de estructuras afectadas por corrosión de la armadura, Geocisa – Instituto Eduardo Torroja.
- [6] Carrasco M.F., Defagot C.A., Ulibarrie N.O., Miretti R.E., Grether R.O., Segovia M.D., Marcipar A., Vida en Servicio de las estructuras de hormigón armado en la Región Centro-Este Argentina, Hormigón Vol 44, pags 15-28 (2007).
- [7] 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 trámite de aprobación).
- [8] Sobhy Masoud, Khaled Soudki, Evaluation of Corrosion Activity in FRP Repaired RC Beams. Cement & Concrete Composites Vol 28, pags. 969-977 (2006).
- [9] Lee H., Kage T., Noguchi T., Tomosawa F., An experimental study on the retrofitting effects of reinforced concrete columns damaged by rebar corrosion strengthened with carbon fiber sheets, Cement and Concrete Research Vol. 33, pags. 563-570 (2003).