

# Estructuras con protección catódica. Correlación de datos entre el sistema y los electrodos de referencia.

Structures with cathodic protection. Correlation between the system and reference electrodes

José Antonio BECERRA MOSQUERA<sup>\*, a</sup>, Diego CARRO LÓPEZ<sup>b</sup>, Manuel

Francisco HERRADOR BARRIOS<sup>c</sup>, José Enrique PARDO LANDROVE<sup>d</sup>, José Manuel Millán Pérez<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Neto Structure & Heavy Lift Design. Gerente

<sup>b</sup> PhD, MSc Civil Engineering. Universidade da Coruña. Profesor asociado

<sup>c</sup> PhD, MSc Civil Engineering. Universidade da Coruña. Profesor titular

<sup>d</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Xunta de Galicia. Jefe del servicio de conservación y explotación

<sup>e</sup> Licenciado en química. Galaicontrol. Director técnico

## RESUMEN

La protección catódica supone una de las estrategias más potentes para el freno de la corrosión de las armaduras en estructuras de hormigón armado. En un contexto en el que cada vez se reparan más estructuras dañadas por corrosión, es fundamental conocer el desempeño a largo plazo de las estructuras reparadas. El puente de A Illa de Arousa es una estructura de 1980 m de longitud que ha sido reparada utilizando tres técnicas diferenciadas: parcheo, encamisado Fosroc y reparación CPT. Los resultados de seguimiento tras la reparación analizan 9 años de datos e incluyen elementos con electrodos de referencia que se correlacionan con otros que carecen de los mismos.

## ABSTRACT

Cathodic protection is one of the most powerful strategies for corrosion control of reinforcements in reinforced concrete structures. In a context in which more and more corrosion-damaged structures are being repaired, it is essential to know the long-term performance of the repaired structures. The bridge of A Illa de Arousa is a 1980 m long structure that has been repaired using three differentiated techniques: patching, Fosroc jacketing and CPT repair. The follow-up results after repair analyse 9 years of data and include elements with reference electrodes that correlate with others that lack them.

**PALABRAS CLAVE:** corrosión, reparación, protección galvánica, evaluación de estructuras

**KEYWORDS:** corrosion, repair, galvanic protection, structural assessment

## 1. Introducción y contexto

Existe una necesidad relevante en la sociedad de reparar y rehabilitar las infraestructuras que han sido dañadas por la corrosión. En muchos casos se decide apostar por soluciones de protección galvánica en estas reparaciones; que si bien no

son la solución más económica, si permiten alargar enormemente la vida útil de dichas estructuras.

En este estudio se han utilizado datos de seguimiento del puente que une la isla de Arousa

con la costa de Galicia en el NO de España. Es una estructura de hormigón armado, planificada y ejecutada a mediados de los años ochenta que sigue prestando un servicio vital a los habitantes de la Illa de Arousa (año de puesta en servicio: 1985).

El puente tiene 1980 m de largo, y se encuentra dividido en 40 tramos, 38 de los cuales tienen una longitud de 50 m, mientras que los otros 2 terminan con una luz de 40 m. En planta el diseño se definió como una circunferencia de radio 2,5 km. Incluye juntas únicamente en los dos estribos, lado isla y lado tierra.

El tablero es una viga cajón de 2,3 m de canto, con dos proyecciones transversales. El ancho total de la carretera es de 13,00 m, dividido en dos aceras de 1,50 m, dos arcenes de 1,5 m y dos carriles de 3,5 m.

Este puente comenzó a mostrar problemas de corrosión con el paso de sus años de servicio. Tras una de las inspecciones preceptivas se estableció la necesidad de una intervención completa sobre el puente, y en dicho proyecto de reparación se apostó por la utilización de protección galvánica para la estructura. Las principales patologías detectadas fueron: daño por corrosión en la cubierta y pilotes, grietas por cizallamiento y compatibilidad en la cubierta, algunos nidos de grava en pilotes y estribos, corrosión de las placas de apoyo, corrosión debido al drenaje deficiente de la superficie, deterioro de los cojinetes de neopreno y daños en Las cajas de iluminación.

La condición estructural del puente era buena, sin embargo, hubo algunos problemas de durabilidad. Eso era previsible considerando el tiempo transcurrido desde la construcción y la agresividad del medio marino. Este ambiente saturado con iones de cloruro (Cl-) produjo corrosión del refuerzo en algunas áreas. Aunque este ataque no afecta la seguridad estructural, hay grandes áreas visibles dañadas que afectan la estética del puente.

Dentro del campo de la reparación de hormigón, el tratamiento más tradicional consiste en aplicar reparaciones localizadas y que afectan únicamente a dichas zonas. Esta técnica se aplicó con resultados satisfactorios. Sin embargo, dada la agresividad del ambiente, se decidió utilizar también métodos de protección catódica junto con la reparación de parches localizados [1].

La reparación tradicional en la que se trabaja sobre los fenómenos de corrosión de manera localizada recupera la capacidad estructural del elemento dado que repone la armadura y se recuperan asimismo los recubrimientos necesarios para proteger a largo plazo a esta armadura. Sin embargo, este enfoque tiene dos problemas [2–4]. En primer lugar, existe un fenómeno conocido como ánodo inducido, en el cual la zona reparada al tener un hormigón de mejor calidad y una armadura totalmente sana, presenta una diferencia de potencial respecto a la zona sin afección[5,6]. En segundo lugar, en el caso de que la estructura haya sufrido afección por cloruros, aunque se realice una reparación concienzuda, esos cloruros permanecen en el hormigón, por lo que no hay posibilidad de recuperación completa. En cuanto el tiempo vaya pasando, se producirá una migración de cloruros del hormigón antiguo al mortero de reparación, y en cuanto estos cloruros afecten a la armadura, comenzará una corrosión por picaduras de gran intensidad [7].

Ante esta situación -que era la que existía en el puente de A Illa- la mejor opción es apostar por una reparación basada en la protección galvánica. En este caso se estableció la utilización de ánodos de sacrificio de cinc (Figura 1), los cuales sufrirán los efectos de la corrosión en lugar de la armadura, tanto la original como la sustituida. De este modo, se extiende la capacidad protectora muy superior a la aportada únicamente por el mortero de reparación.



Figura 1. Ejemplo de ánodo de sacrificio

## 2. Reparación del puente

La motivación del proyecto de reparación fue lograr las reparaciones estructurales que permitirían extender la vida útil del puente. La intervención se divide en dos partes: la reparación de la cubierta y la reparación de las pilas. La división se realiza no solo por la diferencia en los tipos de elementos, sino también por los diferentes grados de agresión que tienen las áreas afectadas y los tratamientos necesarios para realizarse.

La desinfección llevada a cabo en las áreas dañadas se realizó con dos métodos, uno manualmente con un martillo de trituración y el otro con una máquina de hidro-demolición, que resultó ser el método más efectivo, ambos produjeron una calidad y limpieza aceptables de la demolición (Figura 2).

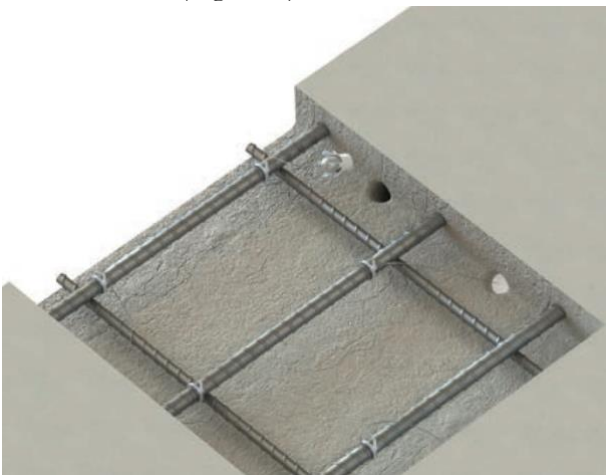


Figura 2. Demolición del tablero dañado.

El sistema de reparación aplicado fue uno de protección catódica de la estructura de acero. El tipo de protección catódica seleccionada fue sacrificar ánodos de zinc. Este metal, gracias a su menor potencial galvánico, atrae a los agentes agresivos (cloruros y oxígeno). Además, este metal presenta otra característica útil, cuando se oxida no sufre un aumento significativo en el volumen

Una de las decisiones tomadas al comienzo de la reparación, dado el volumen de trabajo que se tuvo que enfrentar, fue utilizar varios productos y patentes en el mercado a tiempo. Esta permitido evaluar la eficiencia y aplicabilidad de cada uno de los productos.

### 2.1. Reparación del tablero

Las reparaciones estructurales más importantes en el tablero fueron de mayor magnitud en áreas cercanas a los soportes de las pilas. Se detectó que muchos problemas de corrosión existentes habían sido causados por defectos en la colocación del hormigón. Además, en el proyecto del puente se estableció el uso de plástico continuo a lo largo de las barras de refuerzo. Este tipo de espaciador para barras de refuerzo era una novedad en ese momento y favorecía sustancialmente la entrada de agentes agresivos de manera más directa y rápida (Figura 3). La reparación del tablero fue por lotes y los parches incluyeron los correspondientes ánodos de sacrificio.



Figura 3. Zonas afectadas bajo tablero.

## 2.2. Reparación de las pilas

El área de las pilas es la que se ve más afectada por la marea y zona de salpicadura. Por lo tanto, sufrió un grado mucho mayor de corrosión. En el proyecto se indicó la necesidad de protección catódica con un enfoque diferente. Después de la inspección, se observó claramente la necesidad de una reparación global en lugar de la reparación por lotes como se realizó en el tablero.

La reparación de las pilas se estructuró en tres grandes grupos en los cuales se aplicaron tecnologías diferenciadas.

En primer lugar, una de las pilas -que se utilizó como referencia- se reparó mediante una actuación convencional y sin protección catódica. Esto permite comparar el deterioro del puente sin protección catódica.

La segunda metodología fue la aplicación del sistema Fosroc de reparación convencional con sistema de protección catódica. Este sistema consiste en colocar algunas chaquetas de malla de fibra de vidrio que incluyen baterías de zinc para rellenar el hueco con un mortero de gran fluidez. Este material además permite que la corriente fluya entre la malla de zinc y el refuerzo (Figura 4). Este sistema se utilizó en un grupo limitado de pilas debido a las dificultades de los trabajos en las áreas golpeadas por el mar. Todos los circuitos para el refuerzo y los ánodos de zinc se condujeron al tablero y se instalaron cajas eléctricas protegidas en las que medir.



Figura 4. Reparación mediante tecnología Fosroc.

En último lugar, la técnica más utilizada en esta reparación fue la de reparación convencional combinada con sistema de protección catódica con el sistema híbrido, denominada CPT. El funcionamiento de esta técnica se fundamenta en la introducción de ánodos de sacrificio en pequeños agujeros en la estructura y todo ello se aloja incrustado en un mortero de activación. La disposición de los ánodos de sacrificio se realizó a partir de una rejilla diferente para cada pila. Esta estaba diseñada y ajustada de acuerdo con el daño detectado y la ubicación en relación con las diferentes zonas: mareas, salpicaduras, etc. Estos ánodos se conectan a través de un cable de titanio que cierra el circuito contra las barras de acero de refuerzo, que a su vez están conectados en una caja de conexión dentro del tablero para su posterior supervisión.





**Figura 5. Reparación de las pilas con técnica CPT. Incluye detalle del ánodo de sacrificio colocado.**

La red de ánodos y cableado permite la aplicación de corriente impresa por un corto período de tiempo. Esto se realizó inicialmente después de los trabajos de reparación, sin embargo, también se puede aplicar después de un período de tiempo desde la intervención con un efecto similar. Lo que se busca es producir la re-alkalinización de la estructura, con la consiguiente prevención del ataque de cloruro. Este tratamiento retrasado sería posible simplemente usando baterías externas y durante un período muy corto de aplicación, entre 1 y 2 semanas. Posteriormente, el sistema se desconecta de la batería, comenzando su funcionamiento como ánodos de sacrificio convencionales. El nuevo equilibrio electroquímico comienza con el acero en una situación sustancialmente mejorada desde su punto inicial debido al proceso de re-alkalinización y la técnica previa de extracción de cloruro.

De las 40 pilas reparadas, se colocaron electrodos de referencia de MnO<sub>2</sub> embebidos en el hormigón en las pilas 1, 4, 9, 14, 18, 21, 25, 32 y 37. La primera se corresponde a la zona reparada con tecnología tradicional, la 21 y 25 con tecnología Fosroc, y el resto con la técnica CPT.

### 3. Seguimiento de la efectividad de la reparación

#### 3.1 Seguimiento de la instalación

Para la evolución y seguimiento de la efectividad del sistema se utilizará como referencia la norma UNE-EN ISO 12696:2017 [8], así como su versión previa del 2012 para el análisis temprano de las primeras medidas.

Atendiendo a la normativa, se comprueba que bien el potencial de desconexión instantánea se sitúa en un valor inferior a -720 mV respecto a Ag/AgCl/0,5; o bien la caída de potencial durante un máximo de 24 h es de al menos 100 mV a partir del corte.

Todas las medidas realizadas hasta el momento en las pilas con protección catódica cumplen con al menos uno de los anteriores criterios marcados por la normativa.

Como criterio adicional, se ha incluido el criterio de la ASTM C876-09 [9]. Si bien este es un criterio cualitativo; en el que en función de los valores del potencial de corrosión se puede afirmar que es probable, casi seguro o muy improbable que el acero se encuentre o no en un estado activo de corrosión; nos puede dar una idea de la eficiencia de uno u otro sistema. Observando las siguientes gráficas, podemos ver como los valores de potencial en una de las pilas del sistema CPT enseguida se sitúan por debajo del valor que indica la normativa como de baja probabilidad de corrosión. Por el contrario, una de las pilas reparadas con el sistema Fosroc, toma más tiempo para alcanzar estos valores.

Si bien estos valores no indican el que un sistema funcione mejor o peor que el otro, dado que ambos cumplen plenamente con las pautas marcadas por la normativa vigente en Europa, si nos está marcando una tendencia con respecto a los valores de potencial de corrosión que indican la restitución del estado de pasividad del acero por parte del sistema CPT en un tiempo inferior al que necesitaría el sistema Fosroc.

En las siguientes gráficas se representa la tendencia de los potenciales de corrosión para las tres variantes estudiadas: Una pila con reparación por parcheo, una pila con reparación con el sistema CPT y una pila con el sistema Fosroc.

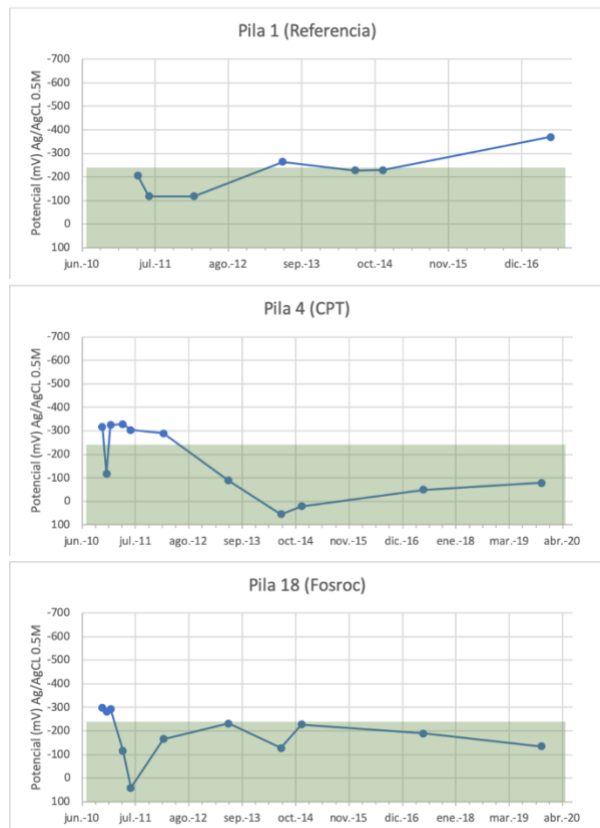


Figura 6. Valores de potencial de corrosión en los diversos sistemas instalados.

### 3.2 Correlación entre datos de seguimiento y vida útil

En las pilas reparadas con el sistema CPT se han estado midiendo a lo largo de los años las corrientes que están pasando del zinc al acero a través del sistema. Esta medida, transformada en función de las leyes de Faraday de la electrolisis, puede ayudarnos a estimar cuál es la capacidad útil de reactivo (zinc) que tiene cada una de las pilas y cuál es la reserva de corriente o material remanente para atender a futuras inclemencias.

La capacidad de carga de cada uno de los ánodos Duoguard 500 instalada puede estimarse de la siguiente forma:

Capacidad teórica: 760 Ah/kg

Masa disponible: 200 g

Eficiencia: 85%

Rango de uso: 85%

Carga disponible: 110 Ah

El sistema se ha dimensionado para una durabilidad de 50 años; considerando los factores de eficiencia y rango de uso indicados. Todos los valores tomados en las pilas reparadas con el sistema CPT indican que la vida útil prevista para el sistema es superior a 50 años. Estos valores de vida útil residual se encuentran, hoy en día, por encima de los 65 años en todos los casos (lo que supone una vida útil total de unos 75 años en el peor de los casos); situándose muchos de ellos por encima de los 100 años de vida útil residual.

## 4. Conclusiones

El análisis de los datos medidos en el seguimiento tras la reparación del puente de A illa de Arousa permiten sacar varias conclusiones:

- La reparación está funcionando correctamente en su misión de de protección de las zonas reparadas
- Los elementos que se han reparado sin aplicar protección catódica empiezan a dar muestra de agotamiento. Es posible que en muy pocos años su estado sea equivalente al encontrado antes de la reparación
- Ambos sistemas de protección catódica funcionan convenientemente
- El sistema CPT alcanza valores de potencial de corrosión menores en un menor tiempo

### Agradecimientos

Agradecimientos a la Xunta de Galicia. Su determinación y apuesta por la revisión y

conservación de estructuras ha sido determinante para la realización de un proyecto de reparación tan ambicioso, y nos ha permitido a lo largo de los años ampliar nuestro conocimiento de los sistemas instalados.

### **Referencias**

- [1] J. León González, F. Prieto Aguilera, Rehabilitación del puente de acceso a la isla de arosa, in: ACHE (Ed.), V Congr. ACHE, Barcelona, 2011. <http://e-ache.com/modules/smartsection/item.php?itemid=126>.
- [2] C. Christodoulou, G.K. Glass, J. Webb, V. Ngala, S. Beamish, P. Gilbert, Evaluation of galvanic technologies available for bridge structures, in: Struct. Faults Repair, 12th Int. Conf., Edinburgh, UK, 2008. <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/handle/2134/10972>.
- [3] C. Christodoulou, C.I. Goodier, S.A. Austin, G.K. Glass, J. Webb, K. Wilson, M. Jawed, V. Ngala, A new arrangement of galvanic anodes for the repair of reinforced concrete structures, *Constr. Build. Mater.* 50 (2014) 300–307. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.09.062.
- [4] M.D. Pritzl, H. Tabatabai, A. Ghorbanpoor, Laboratory evaluation of select methods of corrosion control and repair in reinforced concrete bridges, *Int. J. Corros.* 2014 (2014) 1–11. doi:10.1155/2014/175094.
- [5] C. Christodoulou, C. Goodier, S. Austin, J. Webb, G.K. Glass, Diagnosing the cause of incipient anodes in repaired reinforced concrete structures, *Corros. Sci.* 69 (2013) 123–129. doi:10.1016/j.corsci.2012.11.032.
- [6] E. Loziquez, J.F. Barthélémy, V. Bouteiller, T. Desbois, Contribution of Sacrificial Anode in reinforced concrete patch repair: Results of numerical simulations, *Constr. Build. Mater.* 178 (2018) 405–417. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.05.063.
- [7] C. Andrade, M. Prieto, P. Tanner, F. Tavares, R. D’Andrea, Testing and modelling chloride penetration into concrete, *Constr. Build. Mater.* 39 (2013) 9–18. doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.08.012.
- [8] Aenor, UNE-EN ISO 12696 Protección catódica del acero en el hormigón, Spain, 2017. doi:10.1039/c0cp01060j.
- [9] ASTM International, C876-09 Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, *Astm.* (2009) 1–6. doi:10.1520/C0876-09.2.