



# ARTÍCULO TÉCNICO

## GESTIÓN DE LA CORROSIÓN; PROTECCIÓN CATÓDICA

JULIO 2019 / VERSIÓN 1 / SIKA, S.A.U./BORJA JIMENEZ

DEPARTAMENTO TÉCNICO

BUILDING TRUST



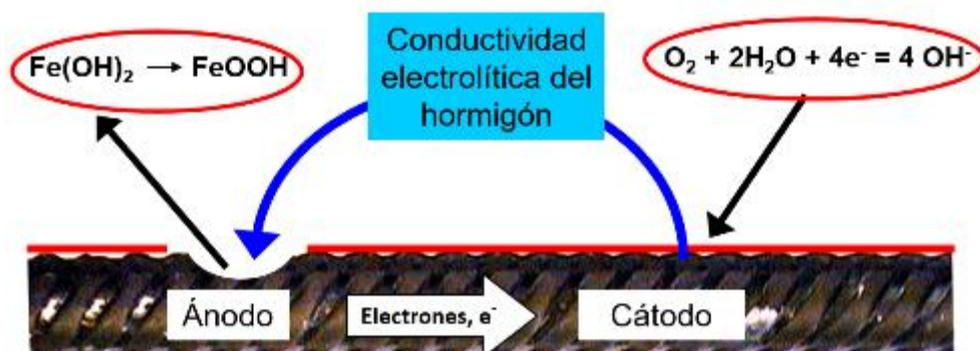
## CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>PROTECCIÓN CATÓDICA</b>	<b>3</b>
2.1	FUNDAMENTOS DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	3
2.2	ÁNODOS EMBEBIDOS: EFECTO ÁNODO INCIPIENTE	4
2.3	SISTEMA HÍBRIDO PARA EL CONTROL DE LA CORROSIÓN	6
<b>3</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>NOTAS LEGALES</b>	<b>8</b>

# 1 INTRODUCCIÓN

Las estructuras de hormigón armado, tanto en edificación como en obra civil, están diseñadas para durar todo el tiempo posible - no es raro que las estructuras de puentes tengan una vida útil de 100 años.

Cuando la dosificación del hormigón es la correcta y el recubrimiento de las armaduras el adecuado, el propio hormigón confiere a las mismas la protección que necesitan frente a los agentes exteriores. Esto se produce, a grandes rasgos, durante la fase de hidratación del cemento, en la cual se genera cal hidratada, responsable de crear un ambiente altamente alcalino. Por lo tanto, las barras de acero se encuentran, de origen, con un ambiente pasivo que las protege.



Sin embargo, ya sea debido al proceso de carbonatación, en el que el hormigón pierde su alto nivel alcalino, o bien debido a la presencia de cloruros, las armaduras de acero pierden su condición pasiva, comenzando el proceso de corrosión. Estos aspectos son el resultado, por ejemplo, de ejecutar la estructura con unos recubrimientos inferiores a los necesarios según el ambiente de exposición, a la mala compactación o falta de curado del propio hormigón, etc.

La corrosión del acero en el hormigón se produce de la misma manera que la corrosión de un metal en soluciones electrolíticas: siempre se produce en la zona anódica.

Para conseguir que se inicie el proceso electroquímico, es necesaria la confluencia de varios factores:

- Pérdida de la capa pasiva (ya sea por la carbonatación del hormigón o la presencia de cloruros),
- humedad en los poros (electrolito),
- y oxígeno en la posición de las armaduras.

## 2 PROTECCIÓN CATÓDICA

La protección catódica de las estructuras de hormigón armado se rige por una norma EN ISO 12696. A continuación trataremos las opciones que ofrece la protección catódica, mediante los métodos que, según nuestra experiencia, se obtienen mejores y más eficientes resultados.

### 2.1 FUNDAMENTOS DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA

La protección catódica de las barras de acero se basa en la disposición de un elemento metal menos noble que el acero, mediante su conexión eléctrica a las barras en el interior del hormigón. De esta forma, las armaduras se encontrarán protegidas frente a la corrosión siempre y cuando exista una corriente electroquímica entre la zona anódica (la cual se sacrificará en favor del acero) y la armadura de acero (la cual actúa como cátodo).

El material más comúnmente empleado para actuar como ánodo de sacrificio es el zinc. El par galvánico formado corresponde con una batería convencional de zinc/aire.

La primera aplicación conocida de esta tecnología de protección data de 1977, en el tablero de un puente en Illinois. Tras años y esfuerzos en investigación y desarrollo se ha llegado a poder ofrecer, para el más sencillo de los sistemas, una eficacia durante una vida útil de más de 20 años.

A día de hoy existen varios sistemas de protección catódica disponibles, y que son los siguientes:

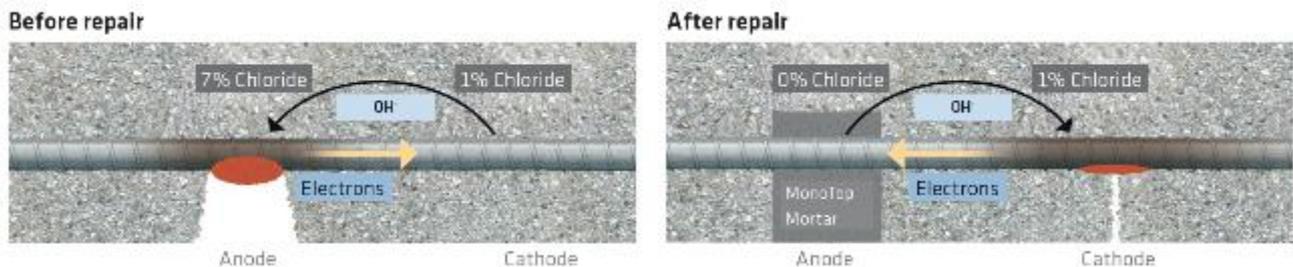
- Ánodos embebidos en áreas de reparaciones efectuadas mediante parcheo.
- Ánodos dispuestos fuera del área de reparaciones efectuadas mediante parcheo.
- Sistema híbrido de ánodos embebidos y corriente impresa.
- Sistemas aplicados en superficie.

A continuación se desarrollan mínimamente los sistemas más interesantes y que ofrecen mejores prestaciones:

## 2.2 ÁNODOS EMBEBIDOS: EFECTO ÁNODO INCIPIENTE

Cuando se utilizan morteros de reparación con el objetivo de reconstruir zonas en las se han producido daños por corrosión de las armaduras debido a la presencia de cloruros, la zona previamente anódica se vuelve catódica debido a la alta alcalinidad del mortero fresco.

Por lo tanto, la zona catódica anterior se vuelve anódica y debido a la presencia de cloruros y humedad, si no se proporciona ningún otro medio de protección / prevención, aparecerá corrosión en el área circundante de la reparación a un ritmo más acelerado de lo ocurrido hasta entonces. Este fenómeno se conoce como efecto ánodo incipiente, o "efecto halo".



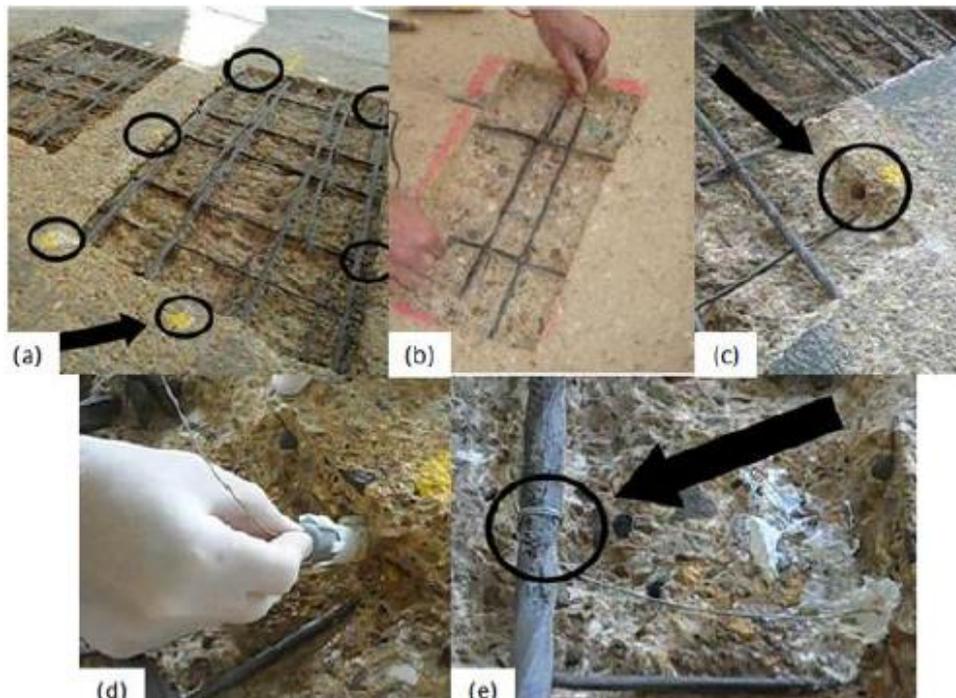
Esta es una de las principales causas de fallo prematuro de las reparaciones efectuadas en hormigón en ambientes con cloruros. Un documento presentado en la conferencia CONREPNET en Ciudad del Cabo, Sudáfrica, en 2008, mostró que el 50% de este tipo de reparaciones exhiben signos de este efecto en los primeros 5 años después de la realización de los trabajos de reparación. En la siguiente imagen se observa un ejemplo del efecto ánodo incipiente en las inmediaciones de una reparación previa.



Con el objetivo de evitar el efecto ánodo incipiente, los ánodos de sacrificio se colocan en el parche (o en sus proximidades). En la siguiente imagen se observa una reparación en la que se han dispuesto los ánodos en el propio parche.



Esta solución presenta un inconveniente que limita su empleo, ya que los ánodos colocados en las áreas de parcheo requieren estar embebidos en un mortero con una alta resistividad, lo que, por lo general, suele estar reñido con el resto de propiedades de los morteros. Sin embargo, disponiendo los ánodos en el perímetro del parche, pero fuera de la zona a rellenar con mortero posteriormente, pueden ser reparados con morteros de reparación de la calidad que la estructura requiera en cada caso, ya que únicamente el taladro en el que se embebe el ánodo deberá rellenarse con un mortero de alta resistividad. En la siguiente imagen se aprecia el proceso de colocación de los ánodos, observándose la disposición de los ánodos en el perímetro de la reparación, y fuera de la planta del parche.



Esta tecnología fue lanzada hace más de 25 años. Sergi [12] ha demostrado, a partir de varios experimentos de campo, la durabilidad a largo plazo de estos ánodos con una buena correlación entre la vida útil estimada (a partir del

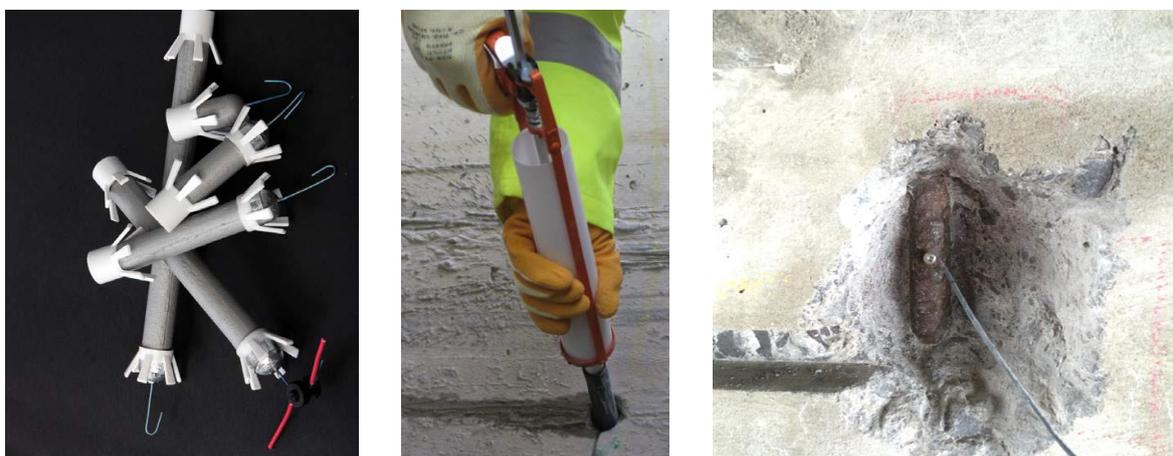
consumo de ánodos) y las mediciones efectuadas tras 10 años, en las que se obtuvo la medida de la cantidad restante de zinc en el mismo.

Este es un sistema simple pero efectivo para tratar el efecto del ánodo incipiente incluso en presencia de alto contenido de cloruros.

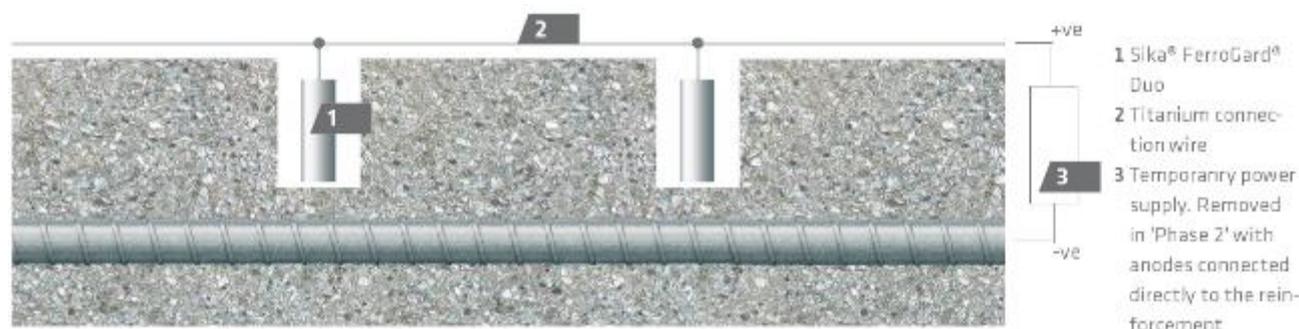
### 2.3 SISTEMA HÍBRIDO PARA EL CONTROL DE LA CORROSIÓN

Esta tecnología proporciona una protección durable frente a la corrosión, así como medible y cuantificable a lo largo de la vida útil del sistema de ánodos diseñado para cada estructura. En este sistema, los ánodos pueden ser colocados en grandes áreas de hormigón, proporcionando una alternativa fiable y sin los inconvenientes que los sistemas de protección catódica mediante corriente impresa o los sistemas aplicados en superficie.

Se trata de un sistema híbrido, el cual recoge las ventajas de los sistemas de corriente impresa, pero con unos costes de mantenimiento muy inferiores. Durante un periodo de tiempo inicial, (normalmente una o dos semanas dependiendo de la corriente empleada), se aplica una corriente al sistema de ánodos, utilizando una fuente de alimentación. Con esta corriente inicial se detiene el proceso de corrosión ocasionada por la degradación del medio en el que se encuentra la armadura.



Tras la fase inicial, los ánodos se mantienen conectados al acero, lo que consigue y mantiene una situación de acero pasivo durante los años de vida de los ánodos. En esta fase se retira la fuente de alimentación una vez se comprueba que los circuitos de ánodos mantienen la intensidad suficiente, lo que abarata tanto la instalación como el mantenimiento del sistema durante la vida útil de la estructura.



Este sistema proporciona protección a largo plazo contra la corrosión con un mínimo mantenimiento y costes:

- No requiere conexión a largo plazo de fuentes de alimentación, lo que supone una ventaja en estructuras en las que el acceso es un inconveniente.
- Puede estar dirigido a áreas específicas o sobre una estructura completa - asegurando la protección con un ajuste económico para cada caso.
- Puede emplearse en estructuras de hormigón pretensadas ya que no causa fragilización por hidrógeno.

La durabilidad del sistema viene determinada por la cantidad de zinc de los ánodos y la velocidad de estos para corroerse en cada estructura y ambiente. Conociendo la densidad de los metales y la carga eléctrica suministrada a los ánodos puede obtenerse el consumo de los ánodos, y con ello, su vida útil. Por lo general, el diseño de estos sistemas se lleva a cabo para mantener la protección de la estructura en periodos de 20 a 50 años.



### 3 CONCLUSIONES

- A día de hoy, el sistema más efectivo para evitar el efecto de ánodo incipiente es el que consiste en disponer ánodos de sacrificio en el interior de la reparación, si bien su colocación en el perímetro de los parches (fuera de los mismos en planta) permite no interferir con la calidad de los mortero de reparación y protección a emplear en las siguientes fases.
- El sistema híbrido de protección catódica permite controlar el avance de la corrosión, y diseñar sistemas de protección de la estructura frente a la corrosión en periodos de 20 a 50 años, siendo el que ofrece mejores prestaciones para ese periodo de tiempo con unos costes de instalación y mantenimiento más asequibles que otros sistemas.

### 4 BIBLIOGRAFÍA

- [1] C.L. Page, G. Sergi, Developments in cathodic protection applied to reinforced concrete, J. Mater. Civ. Eng. 1 (2000) 8-15.
- [2] S. Qian, J. Zhang, D. Qu D, Theoretical and experimental study of microcell and macrocell corrosion in patch repairs of concrete structures, Cem. Concr. Compos. 28 (2006) 685 – 695.
- [3] L. Bertolini, B. Elsener, P. Pedferri, R. Polder, Corrosion of steel in concrete, prevention, diagnosis, repair, Wiley-VCH, Germany, 2004.

Artículo Técnico

GESTIÓN DE LA CORROSIÓN: PROTECCIÓN CATÓDICA

Julio 2019

- [4] C.L. Page, K.W.J. Treadaway, Aspects of the electrochemistry of steel in concrete, Nature 297, (1982) 109-115.
- [5] C Christodoulou. Diagnosing the Cause of Incipient Anodes in Repaired Reinforced Concrete Structures Loughborough University, School of Civil and Building Engineering, Loughborough, U.K.
- [6] J. Tritthart – Transport of a surface applied corrosion inhibitor in cement paste and in concrete – Cement and Concrete Research – November 2002.
- [7] SAMARIS (Sustainable and Advanced MAterials for Road InfraStructure), European project carried from 2003 to 2005.
- [8] Rukshani Heiyantuduwa, Performance of a Penetrating Corrosion Inhibitor in Controlling Carbonation-induced Corrosion in Reinforced Concrete, University of Cape Town, South Africa.
- [9] Taché Guy, CEBTP, France, report No 2393.6.100, dated August 2000.
- [10] Christodoulou Christian et all, Assessing the long-term durability of silanes on reinforced concrete structure, presented at ICDC conference in June 2012, Norway.
- [12] Rodum Eva et all, The Norwegian Public Roads Administration, Trondheim, Norway, effect of different surface treatment products after 10 years of field exposure, presented at ICDC conference in June 2012, Norway.
- [13] Sergi George et all, Vector Corrosion Technologies, Performance of zinc sacrificial anodes for long-term control of reinforcement corrosion, Paper No. 10122 published at NACE International 2010.
- [14] Holmes Steve et all, CPT, The Response of Protective Current to Environmental Conditions During Hybrid Anode Concrete Repair Treatments.
- [15] Gerardo G. Clemeña et all, Evaluation of anodes for galvanic cathodic prevention of steel corrosion in prestressed concrete piles in marine environments in Virginia. Virginia Transportation Research Council. July 1999

## 5 NOTAS LEGALES

Las informaciones contenidas en este documento están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil, de acuerdo con las recomendaciones de Sika. La información se aplica únicamente a la (s) aplicación (es) y al (los) producto (s) a los que se hace expresamente referencia. En caso de cambios en los parámetros de la aplicación, como por ejemplo cambios en los soportes, etc., o en caso de una aplicación diferente, consulte el Servicio Técnico de Sika previamente a la utilización de los productos Sika. La información aquí contenida no exonera al usuario de ensayar los productos para la aplicación y la finalidad deseadas. Los pedidos son aceptados en conformidad con los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos, copias de las cuales se mandarán a quién las solicite.

**Sika, S.A.U.**  
 Refurbishment  
 C/ Aragoneses, 17  
 28108, Alcobendas  
 España  
[www.sika.es](http://www.sika.es)

**Documento realizado por:**  
 Borja Jiménez Salado  
 Teléfono: 91 675 23 75  
 Fax: 91 662 31 97  
 Mail: [jimenez.borja@es.sika.com](mailto:jimenez.borja@es.sika.com)