

# Protección catódica por corriente impresa. Diseño y construcción de un prototipo

## RESUMEN

Los materiales que por su utilización están expuestos a condiciones ambientales aceleran la pérdida de sus propiedades físicas y químicas disminuyendo su vida útil. Este proceso se denomina corrosión, el cual se demanda prevención y control. Una de las posibles soluciones es la protección catódica.

El aspecto económico de la corrosión es uno de los factores por los que muchos investigadores se dedican a estudiarla y prevenirla, ya que las pérdidas económicas provocadas por ésta suman millones de dólares.

### Índice de términos

- Ánodo:** electrodo de una celda de referencia donde ocurre oxidación.  
**Backfill:** material colocado en un agujero para llenar el espacio alrededor de los ánodos; aberturas.  
**Cátodo:** electrodo de una celda electroquímica en el cual la reducción es la principal reacción.  
**Electrodo:** conductor usado para establecer contacto, a través del cual la corriente es transferida desde un electrolito o hacia éste.  
**Electrodo de referencia:** metal puro en contacto con una concentración de solución conocida, de su propio ion, a una temperatura específica, desarrolla un potencial que es característico y reproducible.

**TUTOR INTERNO:** CARLOS AVENDAÑO

**TUTOR EXTERNO:** FERNANDO VELANDIA

**RUTH FANDINO**

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Facultad Tecnológica

**JOHANA PUERTO**

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Facultad Tecnológica

**JAVIER GARCÍA**

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Facultad Tecnológica

*Electrolito:* sustancia química que contiene iones que circulan en un campo eléctrico.

*Protección catódica:* técnica para reducir la velocidad de corrosión en la superficie de un metal, convirtiéndola en el cátodo de una celda electroquímica.

## Introducción

El campo de la investigación en el sector eléctrico crece cada día más, debido a la importancia de éste en la vida cotidiana y al desarrollo o avance tecnológico que se puede alcanzar mediante dicha investigación. Las aplicaciones en que interactúan dos o más ciencias estimulan la investigación. En el fenómeno de la corrosión ocurre esta situación, porque la electricidad y la química dan algunas soluciones, como el caso de la protección catódica.

Entre las medidas tomadas industrialmente para combatir la corrosión se pueden mencionar, entre otras: tratamientos térmicos especiales para homogeneizar soluciones sólidas, como el alivio de tensiones; inhibidores que se adicionan a soluciones corrosivas para disminuir sus efectos, recubrimientos superficiales (pinturas, capas de óxido, recubrimientos metálicos) y protección catódica.

Durante el desarrollo de este proyecto se investigó sobre una de estas técnicas de protección contra la corrosión, y aunque es muy poco común escucharla en la vida cotidiana, es de gran utilidad para la industria.

Este artículo da a conocer, en forma muy general, los principios y aplicaciones de la protección catódica por corriente impresa, analiza la importancia y viabilidad de desarrollo de este tema y describe el diseño y la construcción de un prototipo.

## Definición de protección catódica

La corrosión es el ataque destructivo a un metal o aleación. Es causada por una reacción química o electroquímica en condiciones diversas. La corrosión ha sido definida como "el deterioro indeseable" de un metal, motivado por la interacción con el medio, lo cual afecta las propiedades que se desean preservar. Esto lleva a utilizar técnicas como la protección catódica para controlarla.

Antes de dar una definición formal del concepto de protección catódica es conveniente dar a conocer dos significados clave para una óptima interpretación de dicha definición.

*Celda electroquímica:* sistema que contiene un ánodo y un cátodo inmersos en un electrolito (agua o tierra) para crear un circuito eléctrico. El ánodo y el cátodo pueden ser metales diferentes o áreas disímiles sobre la superficie del mismo metal (figura 1).

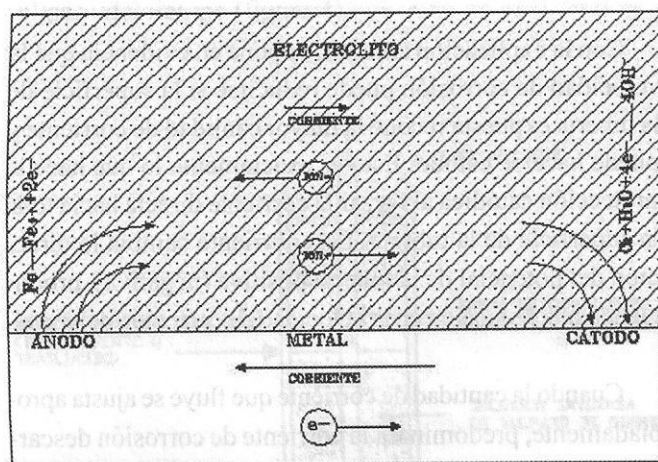


Figura 1. Celda electroquímica<sup>1</sup>.

*Celda de corrosión:* cuando las reacciones electroquímicas están físicamente separadas, el proceso es conocido como celda de corrosión (figura 2).

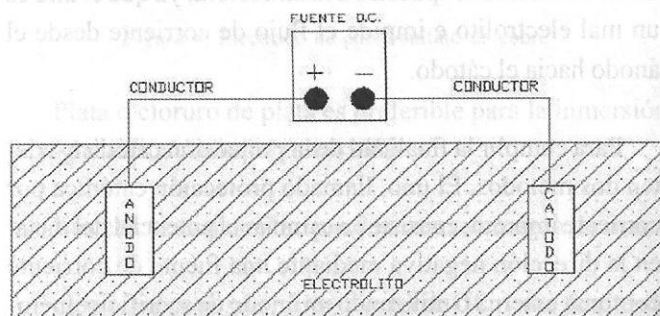


Figura 2. Celda de corrosión.

La protección catódica es una técnica para contrarrestar o reducir la velocidad de corrosión en la superficie de un metal, haciendo que este sea el cátodo de una celda

<sup>1</sup> Peabody's Control of Pipeline Corrosion. Capítulo 1, p. 2.

electroquímica. El sistema requiere cuatro elementos: un ánodo, un cátodo, una corriente eléctrica (camino metálico que conecta el ánodo y el cátodo eléctricamente) y un electrolito.

Las áreas anódicas y catódicas se hallan en la superficie de la tubería. En las áreas anódicas fluye corriente desde la estructura hasta el electrolito circundante (tierra o agua) y la tubería se corroe. En las áreas catódicas, la corriente fluye desde el electrolito hacia la superficie de la tubería y se reduce la velocidad de corrosión.

Con la explicación anterior, se pone en evidencia que la velocidad de corrosión puede reducirse si la superficie de la tubería expuesta recoge la mayor cantidad de corriente y puede hacerse cátodo. Esto es exactamente lo que hace la protección catódica al forzar la corriente directa hacia toda la superficie de la tubería. Esta corriente cambia la dirección del potencial de la tubería positiva (negativa), produciendo una reducción en la velocidad de corrosión del metal.

Cuando la cantidad de corriente que fluye se ajusta apropiadamente, predominará la corriente de corrosión descargada de las áreas anódicas en la tubería, y habrá un flujo de corriente neta hacia la superficie de la estructura a estos puntos. La superficie entera será entonces un cátodo y se reducirá la velocidad de corrosión.

Es preciso aclarar que la protección catódica no funciona en estructuras expuestas a la atmósfera, ya que el aire es un mal electrolito e impide el flujo de corriente desde el ánodo hacia el cátodo.

Para cumplir la finalidad de la protección catódica existen dos métodos. El uno, llamado protección catódica por corriente impresa, consiste en cambiar el potencial del metal en la dirección negativa mediante una fuente de corriente continua externa o utilizando un ánodo de sacrificio, método conocido como ánodos galvánicos o de sacrificio.

### Sistema de ánodos galvánicos

La aplicación de ánodos galvánicos o de sacrificio en la protección catódica está basada en las diferencias de las reacciones electroquímicas de los metales. Consiste sim-

plemente en el acople a una estructura metálica de un metal más activo. Así se produce una celda galvánica en la cual el metal activo trabaja como ánodo y provee un flujo de electrones hacia la estructura (cátodo). Así se protege el cátodo y el ánodo se va deteriorando progresivamente; por esto se conoce como ánodo de sacrificio.

### Sistema de corriente impresa

Los sistemas de protección catódica por corriente impresa se basan en la inyección de corriente desde una fuente de poder externa o una fuente AC mediante un rectificador (técnica más comúnmente usada), un generador o una batería. Esto desarrolla una celda electroquímica, pues la estructura a proteger se conecta al negativo de la fuente. Para completar el circuito eléctrico se conecta el positivo a un electrodo auxiliar (ánodo), situado a cierta distancia de la estructura que se desea proteger. De esta forma se protege al, actuar como cátodo en la celda formada y recibir la corriente desde la tierra (figura 3).

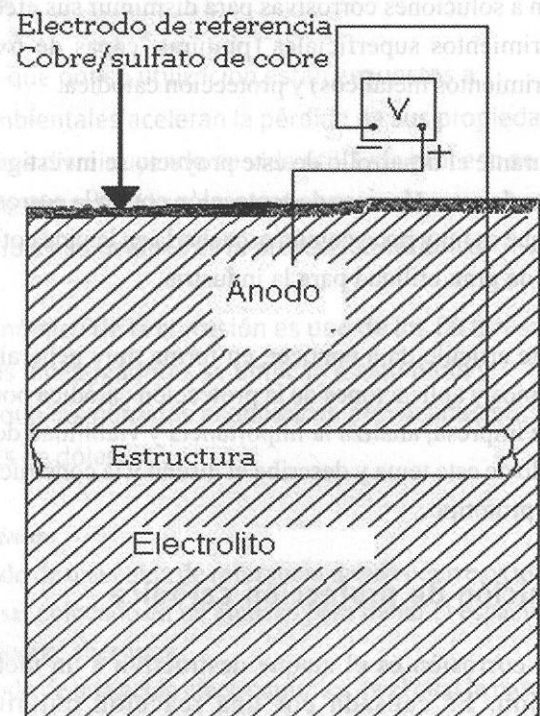


Figura 3. Sistema de corriente impresa<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Peabody's Control of Pipeline Corrosion, Capítulo 1, p. 5.



*Criterios de diseño*

- La proyección de un sistema de protección catódica requiere la investigación de características referentes a la estructura que se va a proteger y al medio, como:
- Resistividad del suelo: este fenómeno depende de los ingredientes naturales, la cantidad de sales disueltas en la tierra y la cantidad de humedad que contienen.
- Material de la estructura.
- Especificaciones y propiedades del revestimiento protector (si existe).
- Características de construcción y dimensiones geométricas.
- Influencia del medio ambiente (el contenido de humedad, la resistividad, el pH, la polución y los cambios climáticos deben ser incluidos en tal estudio).
- Efecto de protección catódica en otras estructuras.

*Componentes del sistema*

*Tipos de ánodos.* Normalmente la característica más importante de un material de ánodo es la relación entre la velocidad de disipación y la corriente.

Las principales características de algunos materiales empleados como ánodos en sistemas de protección catódica por corriente impresa son grafito, chatarra de hierro, ferro-silicio.

*Backfill.* Sustancia química utilizada para rodear los ánodos, aislándolos del electrolito nativo y aumentando su vida útil. El elemento más usado es el carbón de coque.

*Electrodo de referencia.* Usado para medir los potenciales de otros electrodos. Las propiedades de un buen electrodo de referencia son: fácil uso y mantenimiento, estabilidad del potencial con el tiempo, pequeñas variaciones de potencial y que no se polarice ni se contamine fácilmente.

*Clases de electrodos*

Cobre/sulfato de cobre (CSE). Es la referencia más común usada para corrosión subterránea. Una vara de alambre de cobre electrolítico se usa como electrodo, un tubo de material aislante traslúcido, que se llena con una solución de sulfato de cobre saturada, una punta porosa (madera o cerámica) que permite el contacto entre la solución y la superficie de la tierra. Es muy importante mantener la concentración deseada de la solución en el electrodo de referencia para asegurar que tiene un potencial estable con el paso del tiempo (figura 4).

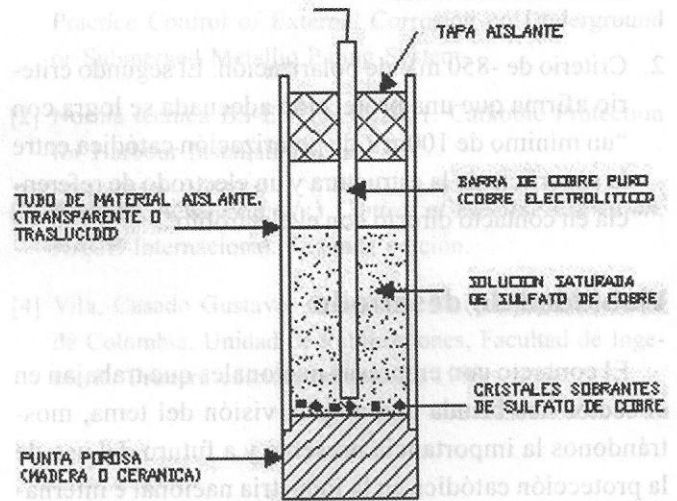


Figura 4. Electrodo de cobre/sulfato de cobre<sup>3</sup>

Plata o cloruro de plata es preferible para la inmersión en agua salina a temperaturas altas.

Los electrodos de zinc pueden usarse en agua de mar.

*Otros componentes:* fuente externa DC o una fuente alterna con un rectificador, capaz de suministrar la corriente necesaria para el sistema; los cables de conexión, que permiten el paso de corriente de protección.

<sup>3</sup> Peabody's Control of Pipeline Corrosion. Capítulo 16, p. 302.

### Criterios de protección según norma NACE

El adecuado funcionamiento de la protección catódica depende directamente de una óptima interpretación de las normas y criterios técnicos establecidos. A continuación se mencionan algunos de los criterios más usados en la industria para garantizar una adecuada protección.

1. Criterio de -850 mV con protección catódica aplicada. Este criterio declara que una protección adecuada se logra con un potencial negativo (catódico) de al menos 850 milivoltios con protección catódica aplicada. Este potencial se mide con respecto a un electrodo de referencia, cobre/sulfato de cobre saturado en contacto con el electrolito.
2. Criterio de -850 mV de polarización. El segundo criterio afirma que una protección adecuada se logra con "un mínimo de 100mV de polarización catódica entre la superficie de la estructura y un electrodo de referencia en contacto directo con el electrolito".

### Viabilidad de desarrollo

El contacto con empresas nacionales que trabajan en el sector nos brinda una amplia visión del tema, mostrándonos la importancia presente y a futuro del uso de la protección catódica en la industria nacional e internacional. Además consideramos que es importante plantear nuevas alternativas laborales a los estudiantes de tecnología en electricidad. Las aplicaciones típicas de protección catódica son vistas en los servicios de mantenimiento preventivo, correctivo, en diferentes estructuras e instalaciones, como oleoductos, poliductos, plataformas marinas, tanques, termoeléctricas, plantas industriales, entre otras.

En Colombia todos los gasoductos, tanques de almacenamiento de crudo, troncales de gas y petróleo se encuentran protegidas catódicamente. Es el caso de Promigás, la empresa privada más grande en Colombia, que cuenta con alrededor de 16.000 km de estructura protegida catódicamente; Ecopetrol, más de 10.000 km y Centragás, aproximadamente 650 km. En Bogotá D.C., y sus alrededores se desarrollan proyectos de protección catódica, como el caso de las líneas de gas natural.

### Diseño y construcción de un prototipo

Para cumplir el objetivo de verificar el funcionamiento de la protección catódica por corriente impresa, el primer paso en el diseño del prototipo fue construir una probeta de vidrio de 90 por 40 cm con base de madera. Se dividió en dos partes: la primera contiene una estructura sujeta a las mismas condiciones del terreno (sin protección); la segunda simula la existencia de una celda de corrosión. Los elementos específicamente usados fueron:

- Una estructura de hierro de 68 cm de largo y un diámetro de 2.2 cm.
- Una cama de ánodos compuesta por una pieza de hierro, y un backfill de carbón de coque y grafito.
- Electrolito: el suelo de cultivo utilizado lo conforman esencialmente cuatro componentes: arena, cal, arcilla y materia orgánica en proporciones muy variables.
- Conectores: alambre 16 AWG.
- Para simular condiciones corrosivas en el medio, se combinó el contenido del electrolito con sal de cocina (cloruro de sodio) y agua para disminuir la resistividad del terreno, aumentando así la corrosión.

Luego de aproximadamente siete meses de trabajar en el experimento, se observó principalmente la variación de tensión en la estructura con protección catódica aplicada, lo cual muestra el proceso de ésta para cumplir los criterios de protección estipulados en la norma NACE.

Se realizaron dos experimentos, que mostraron resultados más didácticos. Uno tiene las mismas características de la probeta al trabajar materiales iguales (láminas de aluminio que simulaban la presencia de una celda de corrosión, y finalmente el proceso de aplicación de un sistema de protección catódica por corriente impresa); el otro muestra el proceso de protección en materiales diferentes, en el que cada material tiene un potencial de corrosión diferente en un ambiente dado. Cuando estos metales se acoplan eléctricamente, el metal con el potencial de corrosión más positivo es catódicamente polarizado, reduciendo su corrosión, mientras el miembro más negativo de la pareja es anódicamente polarizado, aumentando su corrosión.

## Conclusiones

- Todo sistema de protección catódica requiere cuatro elementos: un ánodo, un cátodo, una corriente eléctrica (camino metálico que conecta el ánodo y el cátodo eléctricamente) y un electrolito. No es posible proteger catódicamente sin la presencia de uno de estos elementos.
- La protección catódica no funciona en estructuras expuestas a la atmósfera, ya que el aire es un mal electrolito e impide el flujo de corriente desde el ánodo hacia el cátodo.
- La finalidad de la protección catódica no es eliminar el deterioro de una estructura con signos de corrosión, sino contrarrestarlo.
- La adecuada protección de una estructura varía dependiendo del medio al cual se encuentra expuesta y a las características físico-químicas de su material de constitución. Por ello, los criterios de protección son diferentes en cada proyecto.
- La protección catódica industrial tiene un amplio campo de acción debido a que empresas tan importantes en el

país como Ecopetrol, Promigás, Centragás, Gas Natural necesitarán siempre este tipo de protección en sus estructuras.

- El trabajo realizado se debe tomar como una base para que otros profesionales contribuyan a su investigación y ampliación para enriquecer los conocimientos en este campo tan importante.

## Referencias

- [1] Norma Nace (International the Corrosion Society) RPO169-2002, Item 21001, Standard Recommended Practice Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping System.
- [2] Norma técnica BS-EN 13174:2001. Cathodic Protection for Harbour Installations.
- [3] Peabody, A.W. *Peabody's Control of Pipeline Corrosion*. NACE Internacional. Segunda edición.
- [4] Vila, Casado Gustavo. *Corrosión*. Universidad Nacional de Colombia. Unidad de Publicaciones, Facultad de Ingeniería. Primera edición, octubre de 1993.