



CONSTRUSUR

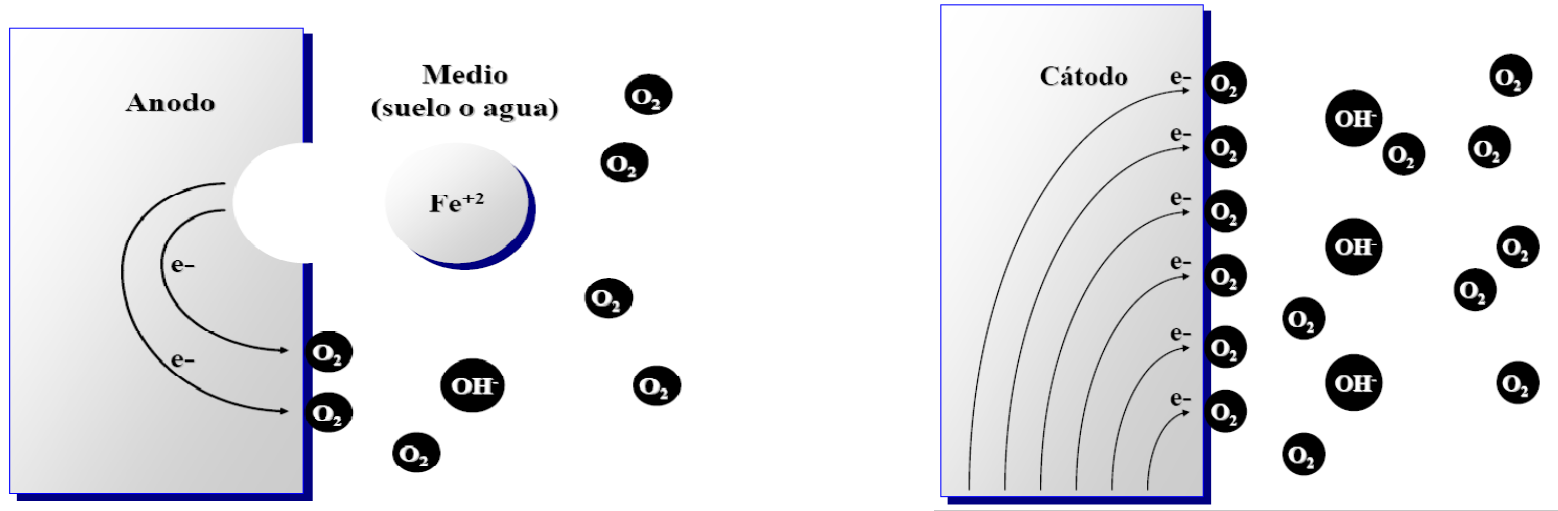
Efectos de la Corrosión

DANIEL HIDALGO

PROTECCIÓN CATÓDICA

PROTECCIÓN CATÓDICA

DEFINICIÓN. MECANISMOS DE CORROSION.



“Se entiende por corrosión, todo proceso electro-químico de degradación por oxidación-reducción de los materiales de construcción de tanques, tuberías y estructuras enterradas, sumergidas o en contacto con un medio conductor. La corrosión está pues, relacionada con una reacción de transferencia de electrones, y por tanto, con el paso de una corriente eléctrica de corrosión entre un ánodo y un cátodo. a través de un medio conductor (agua, suelo).”



PROTECCIÓN CATÓDICA

- ✓ Cuando un metal se está corroyendo tiene multitud de ánodos y cátodos. Cuando se produce un fenómeno de corrosión generalizada, ello es debido a que la pequeña diferencia de potencial de las micro pilas, permite que al formarse óxido sobre el ánodo éste se pasive lo suficiente para pasar a ser catódico frente a otra zona. Al alternarse las situaciones anódicas y catódicas el ataque es prácticamente uniforme.



PROTECCIÓN CATÓDICA

EFFECTOS DE LA CORROSIÓN



PROTECCIÓN CATÓDICA

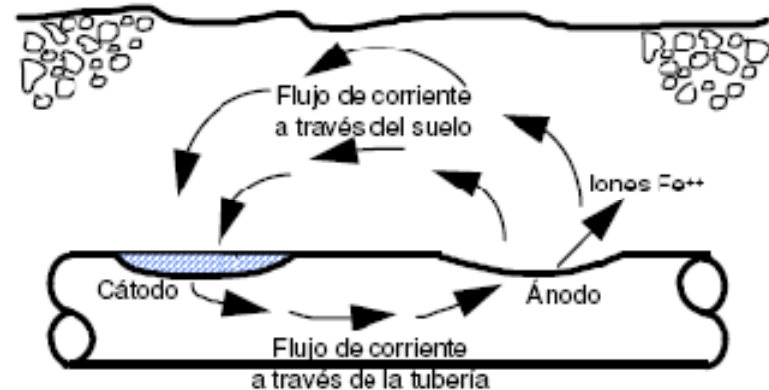
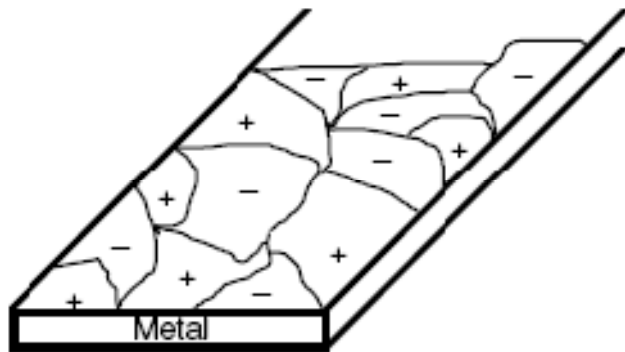
EFFECTOS DE LA CORROSIÓN



PROTECCIÓN CATÓDICA

- **MODELO DE CORROSIÓN EN TUBERÍA DE ACERO**

Una tubería de acero vista al microscopio presenta una configuración similar a la figura, es decir, granulada. Cada uno de estos “granos”, de acuerdo al proceso de fabricación y calidad del material, se comporta como un electrodo con una tendencia ánódica o catódica específica

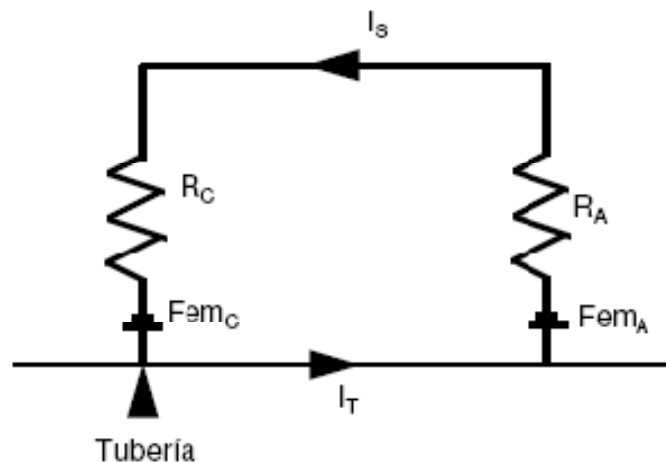


Para que se conforme una pila o se cierre el circuito entre estos polos, es necesario un cable o medio electrolítico que transporte los electrones. Para el caso de la tubería enterrada este medio de transporte de electrones lo conforma el suelo y la tubería misma.



PROTECCIÓN CATÓDICA

La zona con tendencia anódica cede electrones y la zona de tendencia catódica los recibe. El equivalente eléctrico de este circuito o celda de corrosión lo observamos en la siguiente figura:



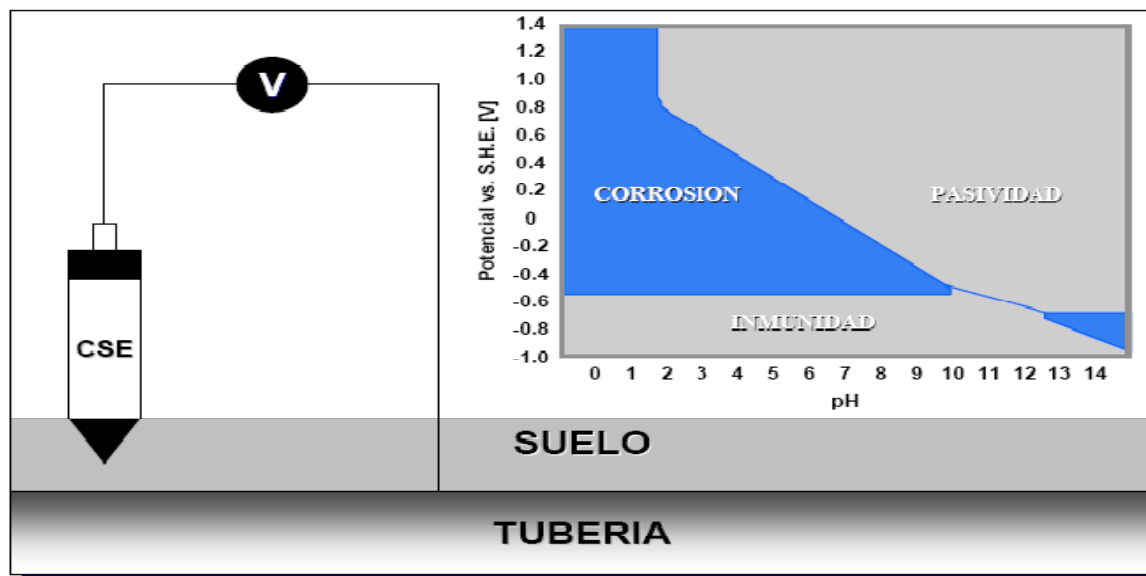
En el interfase entre el metal y el suelo existe una fuerza electromotriz (FEM), también llamado potencial de referencia. Cuando la corriente fluye, la fuerza electromotriz cambia de tal manera que las proximidades entre el metal y el suelo pueden ser representada por una resistencia en serie con una fuente de FEM. Estos dos circuitos juntos representan una celda de corrosión en la cual Fem_C es el potencial del cátodo, R_C la resistencia del cátodo, Fem_A es el potencial del ánodo, R_A es la resistencia del ánodo y finalmente I es la corriente a través del circuito.



PROTECCIÓN CATÓDICA


NECESIDAD DE PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

Son muchas las técnicas empleadas para la protección contra la corrosión, ya que se adaptan a la complejidad de las reacciones que intervienen en tales procesos. En general, existen dos técnicas básicas que permiten el control de la corrosión: una basada en un control químico (control del pH), o bien otra basada en un control eléctrico (control del Eh), como puede deducirse de los diagramas de Pourbaix.



PROTECCIÓN CATÓDICA

TABLE 1

<u>METAL</u>	<u>Potentials</u> <u>VOLTS*</u>	
Commercially pure magnesium	-1.75	
Magnesium alloy (6% Al, 3% Zn, 0.15% Mn)	-1.6	
Zinc	-1.1	
Aluminum alloy (5% zinc)	-1.05	
Commercially pure aluminum	-0.8	
Mild steel (clean and shiny)	-0.5 to -0.8	
Mild steel (rusted)	-0.2 to -0.5	
Cast iron (not graphitized)	-0.5	
Lead	-0.5	
Mild steel in concrete	-0.2	
Copper, brass, bronze	-0.2	
High silicon cast iron	-0.2	
Mill scale on steel	-0.2	
Carbon, graphite, coke	+0.3	

PROTECCIÓN CATÓDICA

El diagrama de Pourbaix refleja el comportamiento del hierro frente a la corrosión, en función de su potencial respecto al electrodo normal de hidrógeno y su pH.

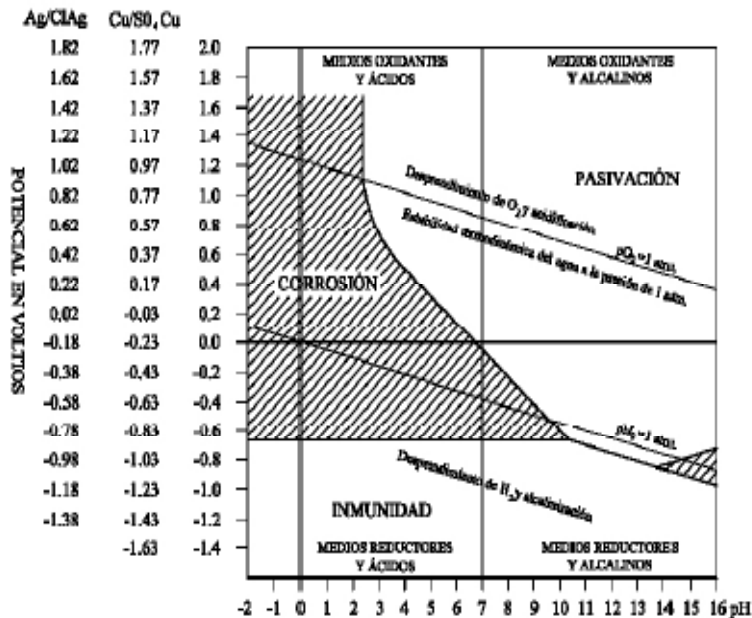


DIAGRAMA DE POURBAIX

Este diagrama representa las circunstancias teóricas de corrosión, de pasivación y de inmunidad del hierro en presencia de una solución acuosa de 25 EC. El examen de este diagrama muestra la posibilidad de proteger al hierro por los tres métodos siguientes:

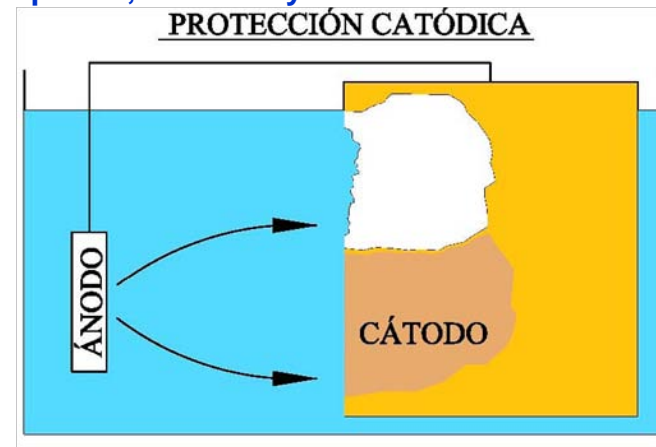
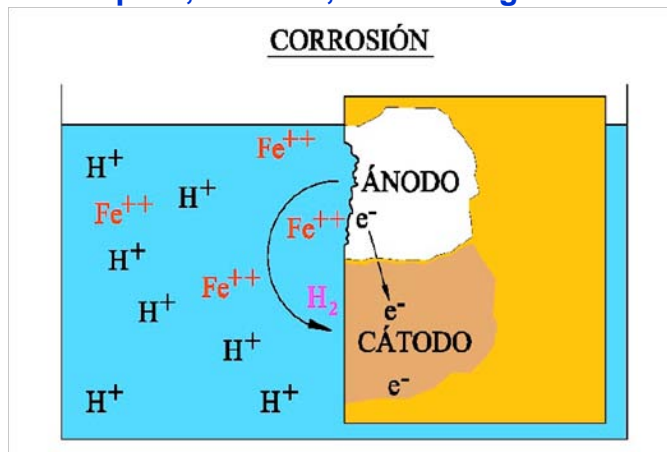
- Elevar el potencial hasta situarse en la zona de pasivación mediante la protección anódica.
- Alcalinizar el medio hasta superar el pH frontera entre la zona de corrosión y la de pasivación.
- Rebajar el potencial para situarse en la zona de inmunidad mediante la protección catódica.



PROTECCIÓN CATÓDICA

PROTECCIÓN CATODICA PARA CONTROL DE CORROSIÓN

La protección catódica se define como “el método de reducir o eliminar la corrosión de un metal, haciendo que, la superficie de este, funcione completamente como cátodo cuando se encuentra sumergido o enterrado en un electrólito”. Esto se logra haciendo que el potencial eléctrico del metal a proteger se vuelva más electronegativo mediante la aplicación de una corriente directa o la unión de un material de sacrificio (comúnmente magnesio, aluminio o zinc). Normalmente, el método es aplicable a estructuras de hierro y acero pero, también, se usa en grado limitado en plomo, aluminio y otros metales.



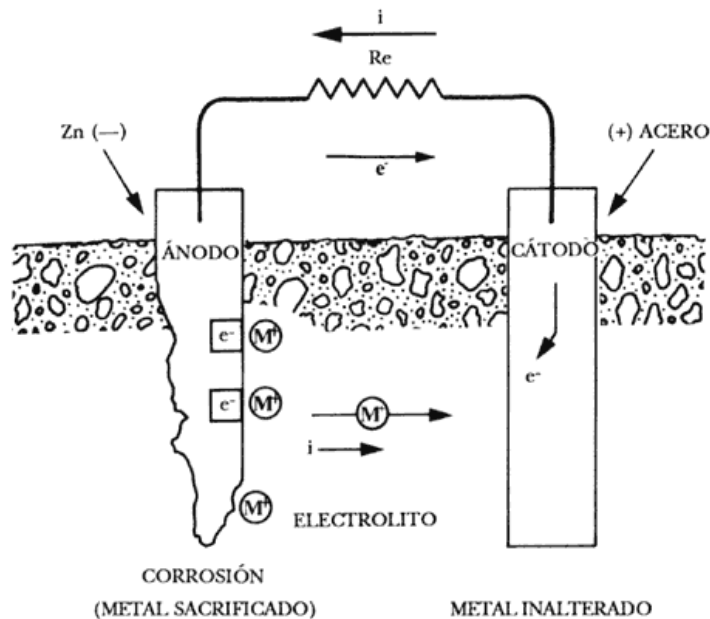
Podemos decir que la corriente que circulaba por el metal y salía del antiguo ánodo al electrólito, se ve ahora forzada, por la presencia del ánodo de la protección catódica, a seguir por el conductor, desapareciendo este antiguo ánodo que ahora actúa catódicamente.



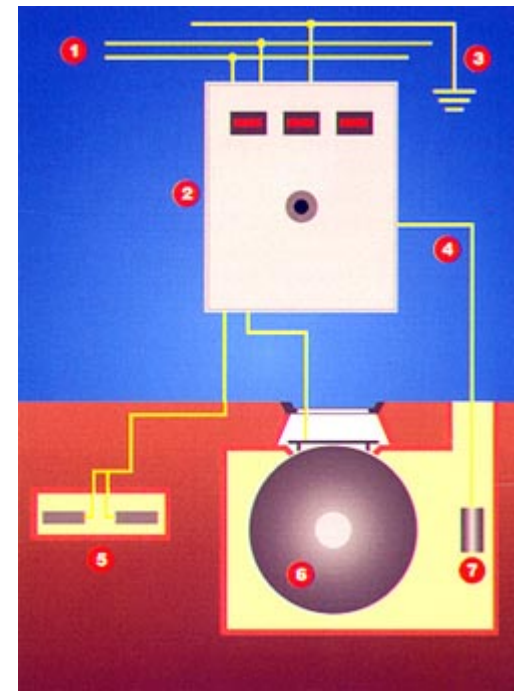
PROTECCIÓN CATÓDICA

TIPOS DE PROTECCIÓN CATODICA

POR ANODOS DE SACRIFICIO

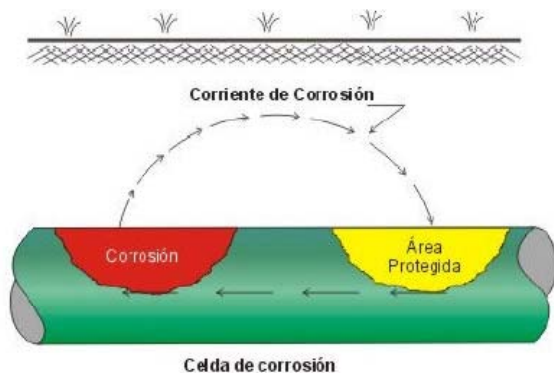


POR CORRIENTE IMPRESA



PROTECCIÓN CATÓDICA

PROTECCIÓN CATÓDICA CON ÁNODOS GALVÁNICOS



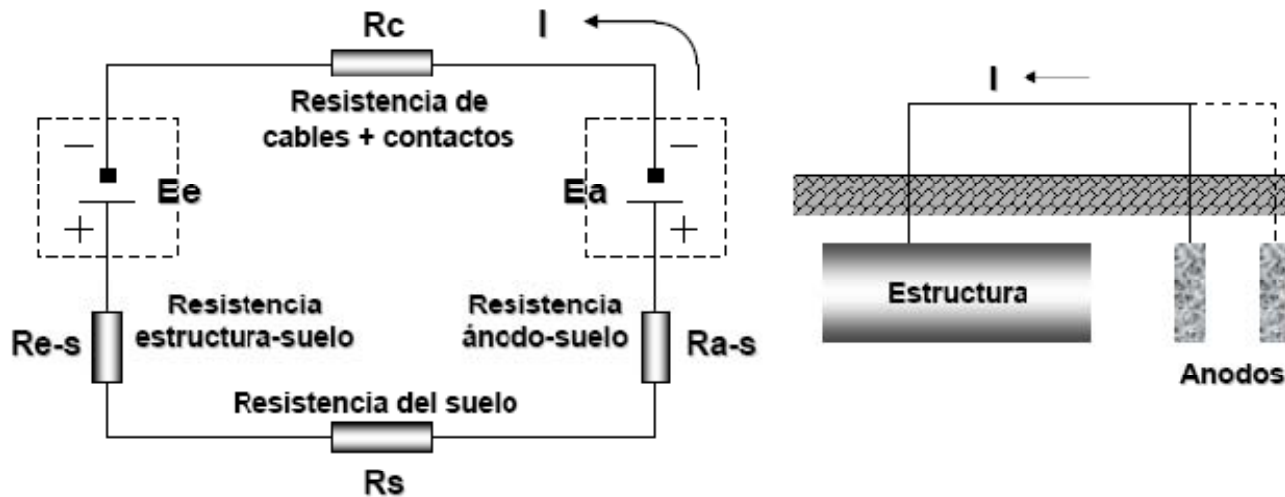
La protección por ánodos de sacrificio o galvanicos se basa en el acoplamiento galvanico de dos metales en el mismo medio. Cuando se produce la conexión eléctrica, la corriente fluye desde el metal de potencia mas negativo (Ánodo) a el de potencial mas positivo (Cátodo) con una intensidad que depende de la diferencia de potencial entre ambos metales, de la resistividad del medio y de la dimensión, forma y disposición de los ánodos y la estructura.

Es necesario decidir sobre el tamaño de los ánodos que darán la corriente eléctrica requerida. Muchos fabricantes publican la corriente eléctrica de su gama de productos estándar a una determinada resistividad del agua que normalmente es de 25 a 30 Ohm-cm, pero muchas veces es necesario diseñar ánodos para aplicaciones específicas y también puede requerirse la utilización de los ánodos en aguas con otra resistividad. Por tanto, se necesita calcular la corriente individual.



PROTECCIÓN CATÓDICA

CALCULO DE LA CORRIENTE EQUIVALENTE



Planteando el balance eléctrico del circuito, obtenemos la corriente en función de la diferencia de potencial y de las resistencias.

$$I = \frac{E_e - E_a}{R_{a-s} + R_{e-s} + R_s + R_c}$$

En general, R_s y R_c son muy pequeñas. Conservativamente, podemos considerar $E_e \approx E_p$ (protección).

$$I \cong \frac{E_p - E_a}{R_{a-s} + R_{e-s}}$$



PROTECCIÓN CATÓDICA

En la selección de un ánodo de sacrificio determinado para la protección de un componente, es necesario considerar los siguientes parámetros:

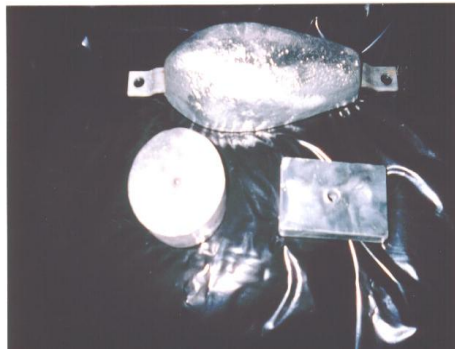
- ⦿ Potencial de reposo (E_a) o potencial natural del ánodo
- ⦿ Potencial de protección de la estructura (E_e)
- ⦿ Capacidad (Q) o carga eléctrica por unidad de masa
- ⦿ Densidad de corriente (J) o corriente por unidad de área
- ⦿ Rendimiento (α) o eficiencia
- ⦿ Factor de utilización (U)
- ⦿ Vida útil (L)

Los más importantes desde el punto de vista del diseño son los potenciales de reposo y protección (fuerza impulsora), la densidad de corriente (“output”), la vida útil (función de la vida requerida en la estructura) y el factor de utilización (dependiente de la geometría). La geometría del ánodo se selecciona normalmente en función de parámetros operativos.



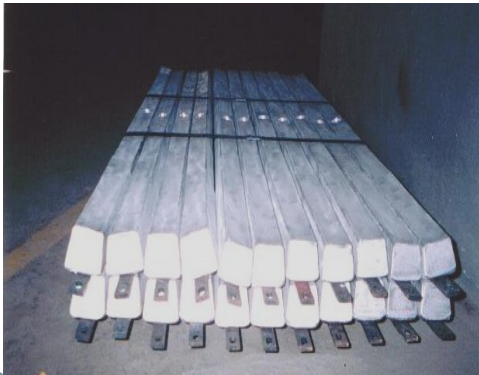
PROTECCIÓN CATÓDICA

ANODOS DE SACRIFICIO. APLICACIONES



PROTECCIÓN CATÓDICA

ANODOS DE SACRIFICIO. APLICACIONES



PROTECCIÓN CATÓDICA

El requerimiento fundamental de un ánodo de sacrificio es proveer suficiente corriente de protección a una estructura en forma económica y estable durante su vida útil. Para ello, es necesario considerar los siguientes puntos a la hora de seleccionar un ánodo determinado:

☞ **El material del ánodo debe proveer una diferencia de potencial suficiente para polarizar la estructura al potencial requerido. Esto implica que el potencial de operación del ánodo debe ser más negativo que el potencial de corrosión de la estructura.**

☞ **El material del ánodo debe mantener más o menos constante su potencial de operación en un rango determinado de corrientes requeridas. En consecuencia, el ánodo no debe polarizarse fácilmente cuando drena corriente.**

☞ **El material del ánodo debe poseer una capacidad alta y reproducible en operación, es decir, debe drenar corrientes altas por cada hora de funcionamiento y por cada kilogramo empleado. Un ánodo de estas características no debe pasivarse y debe corroerse uniformemente sin fragmentarse.**

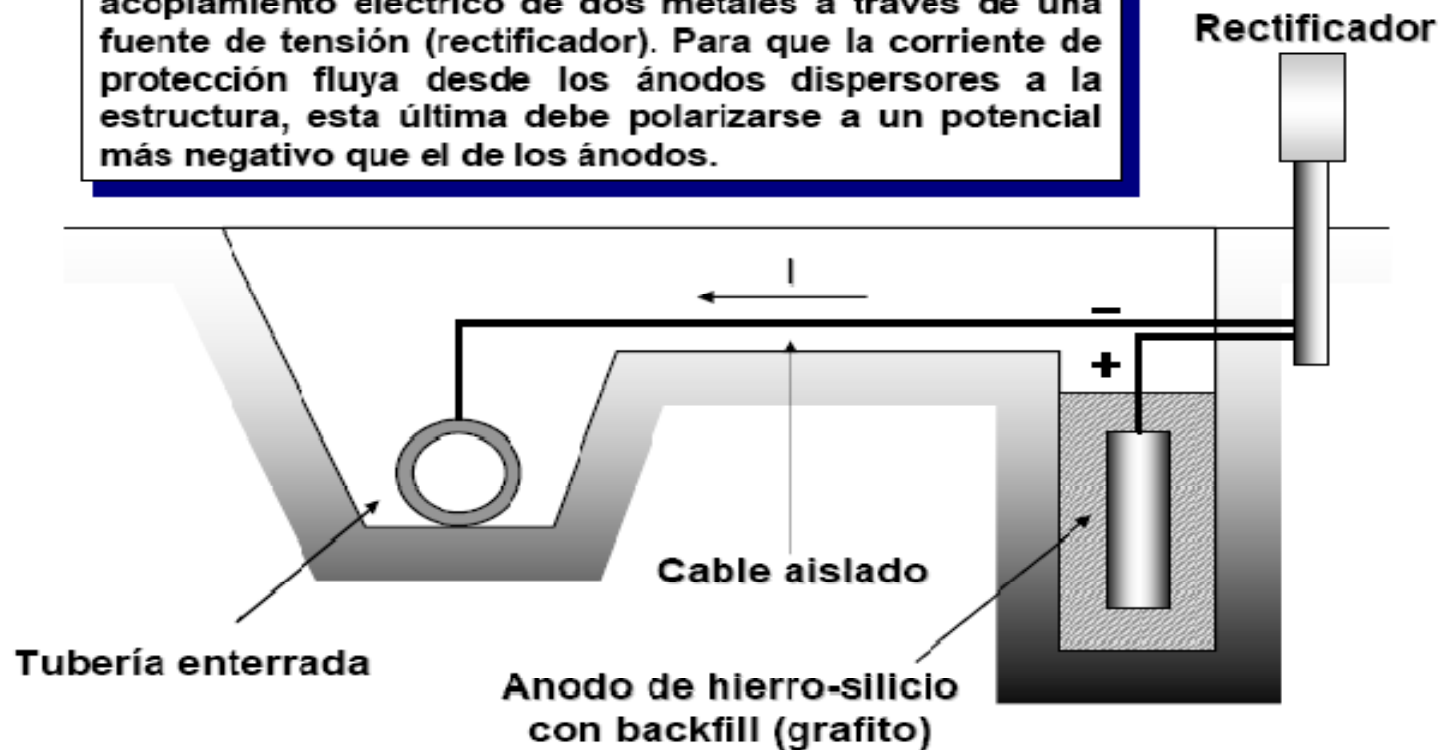
☞ **La manufactura del ánodo debe ser económica y factible, evitando cualquier tratamiento posterior al salir de fábrica (esto incluye la adición de algún backfill para aumentar la capacidad o la necesidad de efectuar un tratamiento térmico para mejorar las propiedades mecánicas).**



PROTECCIÓN CATÓDICA

PROTECCION CATODICA POR CORRIENTE IMPRESA

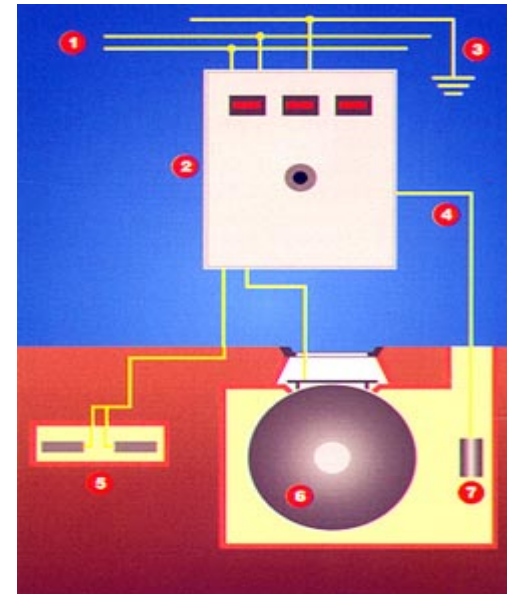
La protección por corriente impresa se basa en el acoplamiento eléctrico de dos metales a través de una fuente de tensión (rectificador). Para que la corriente de protección fluya desde los ánodos dispersores a la estructura, esta última debe polarizarse a un potencial más negativo que el de los ánodos.



PROTECCIÓN CATÓDICA

Este procedimiento consiste en unir eléctricamente la estructura que se trata de proteger con el polo negativo de una fuente de alimentación de corriente continua (pura o rectificada) y el positivo con un electrodo auxiliar que cierra el circuito. Los electrodos auxiliares se hacen de chatarra de hierro, aleación de ferrosilicio, grafito, titanio platinado, etc. Es completamente indispensable la existencia del electrolito (medio agresivo) que completa el conjunto para que se realice el proceso electrolítico.

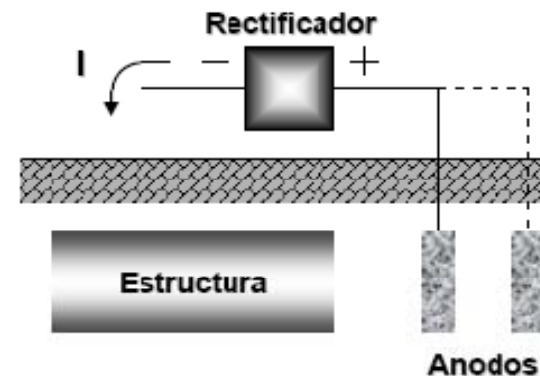
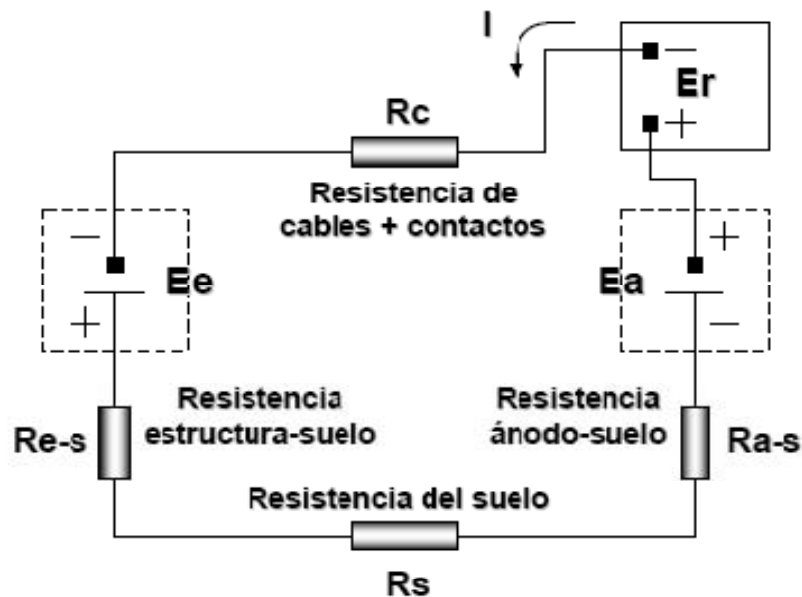
Este sistema de protección catódica tiene la característica de que utiliza como ánodo dispersor de la corriente (electrodo auxiliar) materiales metálicos que en mayor o menor grado se consumen con el paso de la corriente. Sin embargo, el intercambio necesario de corriente con el electrolito tiene lugar a través de reacciones electroquímicas, las cuales dependen tanto del material anódico, como del ambiente que rodea al mismo e incluso de la densidad de corriente que éste suministra.



1. Alimentación eléctrica 110 v. 60 hz.
2. Unidad central y de control de potencia.
3. Puesta a tierra.
4. Cable apantallado.
5. Lecho de ánodos.
6. Tanques y tuberías a proteger.
7. Sonda de referencia.



PROTECCIÓN CATÓDICA



La corriente en función de la diferencia de potencial y de las resistencias se obtiene del circuito. Asumiendo que R_s y R_c son muy pequeñas y que $E_e \approx E_p$, obtenemos la corriente simplificada.

$$I = \frac{E_r - (E_e + E_a)}{R_{a-s} + R_{e-s} + R_s + R_c}$$

$$I \cong \frac{E_r - (E_p + E_a)}{R_{a-s} + R_{e-s}}$$



PROTECCIÓN CATÓDICA

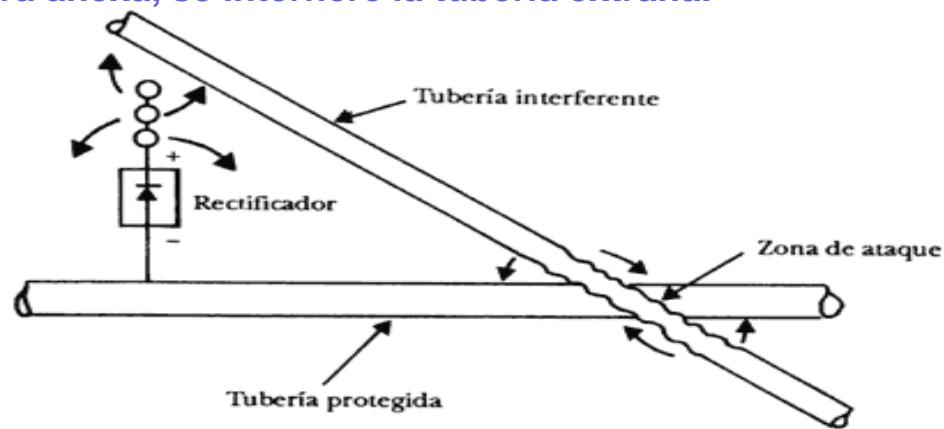
LIMITACIÓN DE LA ANALOGÍA ELÉCTRICA.

- 1.- El uso de una simple resistencia, implica que la densidad de corriente en todos los puntos de los electrodos sea constante. Además, un circuito equivalente y simple no da una idea de la geometría del sistema.
- 2.- En el sistema, todos los factores dependen del tiempo, por ejemplo; la polarización (curva de corriente-potencial) puede cambiar durante el flujo de corriente.
- 3.- Al simplificar el circuito se ha supuesto un valor de cero para la resistencia del electrólito, sin embargo, es posible hacer una aproximación que permita representar en el circuito una resistencia exacta del electrólito.
- 4.- Los efectos de factores, como son: la temperatura, el flujo del líquido, la concentración del oxígeno, la acción bacteriológica, etc., no se incorporan directamente, aunque pueden ser tomados en cuenta en cierto grado al seleccionar el valor apropiado de los potenciales de los electrodos, así como también, las resistencias de polarización si se conocen las constantes apropiadas.
- 5.- La polarización no es lineal y por lo tanto, no se puede representar con exactitud mediante una resistencia óhmica. De lo anterior, se puede ver que la teoría de la protección catódica es muy simple, pero existen numerosos factores que no pueden fácilmente ser tomados en consideración y además, los métodos, la técnica y el criterio son a menudo de cierta naturaleza empírica.



PROTECCIÓN CATÓDICA

En la ubicación de los ánodos o del lecho anódico es muy importante conocer la posición de posibles estructuras que pudieran estar presentes en las vecindades, con objeto de evitar fenómenos de interferencia que puedan provocar ataques graves de corrosión. Por ejemplo, si se debe proteger una tubería que cruza a otra, disponiendo los ánodos como se indica en la figura anexa, se interfiere la tubería extraña.



Ésta, de hecho, representa el "camino" preferible (de menor resistencia) para la corriente suministrada por los ánodos. Aquella zona de la tubería extraña que recibe la corriente queda protegida catódicamente, mientras que en aquella de la cual sale la corriente, hay corrosión. Como la mayoría de la tuberías enterradas, está además protegida con algún tipo de recubrimiento aislante, la corriente está relacionada con algún defecto del recubrimiento, por lo cual la densidad de corriente local puede resultar muy elevada y por ahí producir un ataque particularmente severo.



PROTECCIÓN CATÓDICA

Las estaciones de protección catódica deben instalarse considerando fundamentalmente el tipo de componente a proteger. En el caso de tanques enterrados o tuberías cortas, las estaciones se conectan directamente a una fuente de tensión local (que consiste normalmente en un generador). En el caso de largas tuberías, es necesario tener en cuenta la disponibilidad de accesos a la red pública ya que hay costos considerables involucrados en la conexión de rectificadores a la red. En la elección del lugar de instalación intervienen las siguientes variables:

- ☉ Disponibilidad de conexión a la red
- ☉ Resistividad del suelo (debe ser lo más baja posible)
- ☉ Distancia con respecto a otras estructuras enterradas (interferencia)
- ☉ Predisposición del dueño de la propiedad
- ☉ Acceso fluido a vehículos

Todas las unidades de la estación de protección deben protegerse de la intemperie y de posibles daños mecánicos utilizando cajas robustas y bien aisladas. Debe proveerse ventilación adecuada para la disipación de calor y deben considerarse todas las medidas requeridas por norma para evitar el riesgo de electrocución.



PROTECCIÓN CATÓDICA

APLICACIONES

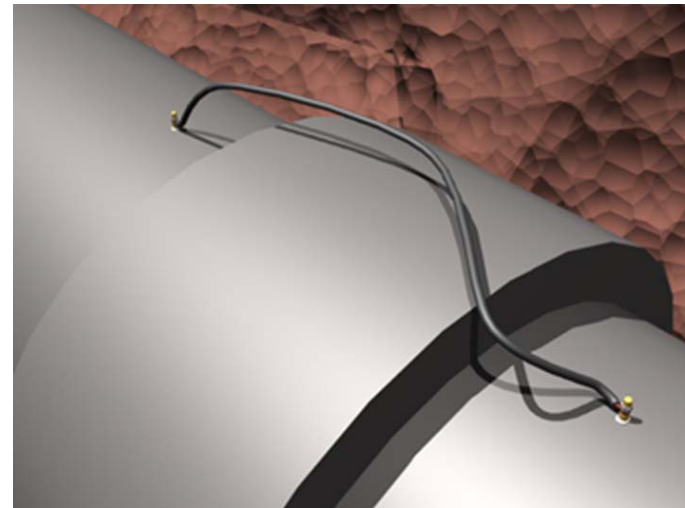
- Exterior de tanques enterrados o sumergidos de cualquier producto como gas, agua, combustibles, productos químicos, etc.
- Exterior de tuberías enterradas o sumergidas, que vehiculen cualquier tipo de fluido o producto sólido, líquido o gaseoso.
- Fondo exterior de tanques apoyados en el suelo o el agua que contengan cualquier producto.
- Exterior de estructuras metálicas de sustentación enterradas o sumergidas. Entre éstas estarían pantalanes, muelles, plataformas flotantes, fijas, petrolíferas, torres, etc.
- Exterior de barcos y construcciones metálicas relacionados con la navegación, como boyas, diques flotantes, etc, parcialmente sumergidos, tanto para agua marina como dulce.



PROTECCIÓN CATÓDICA

APLICACIONES

- Interior de tanques y tuberías metálicas que contengan o vehiculen un producto conductor, como el agua marina, dulce, fría o caliente, para todo tipo de aplicaciones industriales y domésticas. Algunos ejemplos pueden ser el interior de calderas, acumuladores, tanques de reserva de agua, parte baja de tanques de combustible, cubas, decantadores, etc.
- .-Elementos enterrados o sumergidos que componen una red eléctrica: cables armados, sistemas de puesta a tierra, etc..



PROTECCIÓN CATÓDICA

.-.-Estructuras de hormigón armado con ataque por corrosión exterior, tanto enterradas, sumergidas o aéreas, como en puentes, muelles, edificios, etc.



PROTECCIÓN CATÓDICA

.-Estructuras de hormigón armado con ataque por corrosión exterior, tanto enterradas, sumergidas o aéreas, como en puentes, muelles, edificios, etc.

