

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO



ESTUDIO ESPECIAL DE GRADUACIÓN

**PROTECCIÓN CATÓDICA POR MEDIO DE ÁNODOS DE
SACRIFICIO PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE
COMBUSTIBLES EN UNA ESTACIÓN DE SERVICIO**

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL
JOSÉ FRANCISCO PEDROZA CÁMBARA**

Guatemala, mayo de 2007

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

ESTUDIO ESPECIAL DE GRADUACIÓN

**PROTECCIÓN CATÓDICA POR MEDIO DE ÁNODOS DE
SACRIFICIO PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE
COMBUSTIBLE EN UNA ESTACIÓN DE SERVICIO**

POR

**INGENIERO MECANICO INDUSTRIAL
JOSÉ FRANCISCO PEDROZA CÁMBARA**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN ARTES EN LA MAESTRÍA DE INGENIERÍA DE
MANTENIMIENTO**

Guatemala, mayo de 2007

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PROTECCIÓN CATÓDICA POR MEDIO DE ÁNODOS DE SACRIFICIO PARA
TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES EN UNA ESTACIÓN
DE SERVICIO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, el 15 de marzo de 2007.

Ingeniero Mecánico Industrial José Francisco Pedroza Cámara

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. José Arturo Estrada Martínez
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

ACTO QUE DEDICO A

DIOS

MI ESPOSA Ana Aracely Mazariegos Aguilar

MIS PADRES José Francisco Pedroza Juárez
Ana Lisseth Cámara López

MI ABUELA Idalia Ethelinda López González

MIS HERMANOS Yasmin Lisseth Pedroza Cámara
Pablo Roberto Pedroza Cámara

LAS FAMILIAS Cámara Marroquín, Cámara Morales, Fagianni
Pedroza, Mazariegos Aguilar.

MIS AMIGOS Byrón, Victor, Cesar, Aroldo, Rodolfo, Mario, Checha,
Julio, Paul, Daniel, Leonel, Armando.

Todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron para la realización de este trabajo.

AGRADECIMIENTO A

Dios, por permitir llegar a una de mis metas.

Mi esposa, por estar siempre a mi lado brindándome el amor y el apoyo necesario para salir adelante.

Mis padres, por ser siempre el ejemplo a seguir y enseñarme como poder lograr llegar a esta meta.

Mis hermanos, por su paciencia, amistad y apoyo.

Mi abuela, quien en vida me dio el cariño y los consejos a lo largo de mi vida.

Mis familiares, quienes me han dado fortaleza y ánimo.

Mis amigos, quienes me han permitido conocer y reconocer valores en la vida.

Departamento de Ingeniería y Operaciones, de la Dirección General de Hidrocarburos, del Ministerio de Energía y Minas, por haber facilitado todos los recursos necesarios para la realización del presente trabajo de graduación.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**



TRABAJO DE GRADUACIÓN

**“PROTECCIÓN CATÓDICA POR MEDIO DE ÁNODOS DE SACRIFICIO PARA
TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES EN UNA ESTACIÓN DE
SERVICIO”**

ESTUDIANTE: ING. JOSÉ FRANCISCO PEDROZA

GUATEMALA, MAYO 2007

RESUMEN

Los tanques de almacenamiento para estaciones de servicio son estructuras metálicas que en su mayoría de instalaciones son subterráneas por lo que estas sufren la degradación del metal a través del tiempo comúnmente denominada corrosión por suelos.

Los suelos tienen diferentes agresividades que están en función de una serie de parámetros los cuales también en su momento pueden acelerar el proceso de corrosión, por tal motivo debe existir un método de prevención contra la corrosión que nos garantice que dicha estructura metálica no fallara por un tiempo determinado. Entre los principales métodos para prevenir o desacelerar la corrosión por suelos tenemos la protección catódica por medio de ánodos de sacrificio el cual es el método más utilizado debido a las ventajas económicas que presta.

La protección catódica consiste en colocar un ánodo de sacrificio de un material más activo conectado al tanque de almacenamiento el cual provea constantemente de una corriente eléctrica (miliamperios) la cual proteja la estructura metálica, es decir el tanque de almacenamiento recibe los electrones del ánodo y es este el que se desgasta o corroe a través del tiempo.

La instalación del ánodo de sacrificio puede ser de dos formas pegado a la superficie del tanque o bien por medio de bolsa, los dos son eficientes cumpliendo con los requisitos que cada uno de ellos necesita.

Para conocer el material y la cantidad de ánodos que debemos colocar, se debe realizar un análisis de la resistividad eléctrica del suelo y del potencial, el primero para conocer la agresividad del suelo y el segundo para determinar si nuestra estructura metálica está protegida, dicho valor del potencial debe ser mayor a los 850 milivoltios, debajo de este valor tendremos que recalcular nuestro diseño hasta alcanzarlo.

ÍNDICE

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	VIII
HIPÓTESIS	IX
OBJETIVOS	X
JUSTIFICACIÓN	XI
ALCANCE DEL TRABAJO	XIII

CONTENIDO

CAPÍTULO 1. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE CORROSIÓN

La corrosión.....	1
¿Cómo se produce el fenómeno de la corrosión?	2
Factores afectan la velocidad de la corrosión.....	6
Formas de ataque de la corrosión	7

CAPÍTULO 2. PROTECCIÓN CATÓDICA POR MEDIO DE ÁNODOS DE SACRIFICIO

Conceptos básicos.....	13
Campo de aplicación.....	14

CAPÍTULO 3. MEDICIONES Y PARÁMETROS PARA LA PROTECCIÓN CATÓDICA

Resistividad eléctrica.....	18
Potenciales.....	22

CAPÍTULO 4. INSTALACIÓN DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA POR MEDIO DE ÁNODOS DE SACRIFICIO EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO PARA UNA ESTACIÓN DE SERVICIO

Materiales.....	25
Instalación de la protección catódica.....	26

CAPÍTULO 5. INSPECCIÓN Y CONTROL DE LA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA.

Registro de supervisiones.....	32
--------------------------------	----

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS ECONÓMICO

Descripción de costos de la protección catódica.....	34
Descripción de costos de instalación de tanque de almacenamiento.....	34

CONCLUSIONES	37
---------------------------	----

RECOMENDACIONES	39
------------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA	40
---------------------------	----

ANEXOS

FIGURAS

	Página
Figura 1 Descripción de aumento de la energía en cada proceso _____	1
Figura 2 Componentes del fenómeno de la corrosión en un tanque de almacenamiento enterrado _____	3
Figura 3 Corrosión por picadura _____	9
Figura 4 Corrosión "crevice" o en espacios confinados _____	10
Figura 5 Muestra esquemática de algunos modelos de ánodos galvánicos _____	16
Figura 6 Corte de ánodo de magnesio para suelos _____	17
Figura 7 Medición de resistividad eléctrica de suelos, método de Wenner _____	19
Figura 8 Medición de resistividad eléctrica de suelos, Con una sola barra _____	20
Figura 9 Caja de suelos para medición de resistividad eléctrica _____	21
Figura 10 Medición de potencial de tanque enterrado. _____	23
Figura 11 Error en la medición de potenciales por caída $I \times R$ _____	24
Figura 12 Instalación de protección catódica, con ánodos de sacrificio soldados a las paredes de los tanques _____	28
Figura 13 Instalación de protección catódica, con ánodos de sacrificio con relleno _____	29

CUADROS O TABLAS

Tabla 1 Características más importantes de los ánodos galvánicos _____	15
Tabla No. 2 de valores prácticos de potenciales _____	22

ANEXOS

Normas Internacionales _____ A-1

Valores de Potenciales Normales para Ciertos Materiales _____ A-2

Selección de Materiales para diferentes Medios Corrosivos _____ A-3

Procedimiento del Cálculo de la Resistividad del Suelo

Por el Método de 4 Barras _____ A-4

Procedimiento del Cálculo del Potencial _____ A-5

Soldadura Autofundente Tipo "Cadweld" _____ A-6

GLOSARIO

ÁNODO: Electrodo o parte del metal de una estructura en la cual se produce la reacción de oxidación o corrosión.

ÁNODO GALVÁNICO: Ánodo de sacrificio de un sistema de protección catódica que no emplea fuentes de energía externas.

ASTM (American Society for Testing and Materials): Asociación Americana de normalización de pruebas y ensayos.

CADWELD: Marca registrada de sistema de soldadura aluminotérmica muy usada en sistemas de protección catódica. También conocida como "soldadura autofundente".

CATÓDICA, PROTECCIÓN: Técnica de prevención de la corrosión que se basa en conectar el metal o aleación a proteger a otro metal más activo que se oxidara, manteniendo al primero como cátodo y, en consecuencia, protegido de la corrosión u oxidación en las zonas anódicas.

CÁTODO: Electrodo o parte de la estructura en que se produce la reacción catódica o reducción.

CORROSIÓN: Pérdida de propiedades de un material por acción del medio ambiente. No necesariamente implica la aparición de un producto de corrosión visible sobre la superficie, puede manifestarse como una reducción de resistencia mecánica, por ejemplo.

ELECTROLITO: Medio conductor de la corriente como un suelo húmedo o agua industrial, potable o de mar.

ELECTRODO DE REFERENCIA: dispositivo de medición de potenciales. En suelos se utilizan los electrodos de referencia de cobre/sulfato y en agua de mar se prefieren los de plata/cloruro de plata.

NACE (Nacional Association o Corrosion Engineers): Organismo norteamericano vinculado con la corrosión y su prevención.

OHMIO: unidad de medida de resistencia eléctrica.

PASIVIDAD: Formación de una capa de óxido sobre la superficie de un metal o aleación que la protege de un tanque posterior.

POTENCIAL: Medición del voltaje de una estructura con respecto a un electrodo de referencia. También se mide el potencial de los ánodos de sacrificio como control de calidad.

RELLENO: En inglés "backfill". Material que se coloca alrededor de un ánodo para aumentar la vida útil del mismo y mejorar el drenaje de corriente.

RESISTIVIDAD: o resistencia eléctrica específica. Es la resistencia eléctrica de un volumen determinado de electrolito, sea suelo, agua o medio químico. Se emplea para determinar el nivel de corrosividad del medio. En suelos se mide generalmente por el método Wenner o de las cuatro barras.

VOLTIO: Unidad de medida de voltaje eléctrico.

WENNER: Técnica de medición de la resistividad de suelos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Guatemala la instalación de estaciones de servicio para el manejo y venta al detalle de productos petroleros, ha aumentado considerablemente en los últimos cinco años, en donde dichos combustibles se almacenan en tanques metálicos enterrados los cuales sufren corrosión por suelos.

Actualmente la Ley de Comercialización de Hidrocarburos y su Reglamento rigen y norman este tipo de actividad, requiriéndole al público en general como requisito para la instalación de tanques enterrados en estaciones de servicio, aplicar métodos de prevención contra la corrosión con el objeto de prevenir fugas que contaminen el ambiente, entre los dos métodos más aplicados, encontramos a la protección catódica y al revestimiento de fibra de vidrio.

El 90% de las estaciones de servicio aplican protección catódica por ánodos de sacrificio ya que es un método eficiente y económico, por tal motivo se ha enfocado en este sistema para determinar y establecer cual es el procedimiento adecuado de su instalación para poder reducir o desacelerar el proceso natural de la corrosión que sufre cualquier estructura metálica enterrada y en nuestro caso los tanques de almacenamiento.

Se pretende analizar el fenómeno de la corrosión conocer las características y condiciones de los suelos para aplicar eficientemente un sistema de protección catódica y con ello alargar la vida útil de estas estructuras metálicas y prevenir la contaminación ambiental por fugas.

HIPÓTESIS

No todas las empresas realizan adecuadamente la instalación de la protección catódica por medio de ánodos de sacrificio en los tanques de almacenamiento de las estaciones de servicio, debido a ello el sistema no desacelera o frena considerablemente el proceso de corrosión por suelos o bien no prolonga la vida útil de los tanques según lo esperado.

OBJETIVOS

Objetivo General

Conocer el sistema de protección catódica y establecer su correcta aplicación para poder obtener los mejores resultados de reducción o desaceleración de la corrosión por suelos que sufren los tanques de almacenamiento en una estación de servicio

Objetivos Específicos

1. Especificar los tipos de protección catódica existen para proteger los tanques de almacenamiento de la corrosión por suelos en una estación de servicio.
2. Definir el procedimiento de instalación de la protección catódica para tanques de almacenamiento de combustible en una estación de servicio.
3. Identificar los principales factores técnicos o parámetros a tomar en cuenta para la adecuada instalación de la protección catódica en los tanques de almacenamiento.
4. Determinar los materiales y los equipos necesarios para la instalación de la protección catódica en los tanques de almacenamiento de una estación de servicio para la venta al público Categoría "A".
5. Conocer cual es el beneficio económico de instalar un sistema de protección catódica en los tanques de almacenamiento en la estación de servicio.

JUSTIFICACIÓN

La contaminación ambiental es uno de los puntos de mayor importancia que debe ser tomado en cuenta en la elaboración y ejecución de cualquier proyecto y la instalación de una estación de servicio no esta exento de ello. El manejo y almacenamiento de combustibles es sumamente delicado debido a la magnitud tan elevada que tiene de contaminar si no se toman las consideraciones adecuadas, agregándole a ello que la utilización de combustibles fósiles en la economía guatemalteca es indispensable ya que es uno de los engranajes que la mueven, por lo que se deben tener instalaciones seguras y que sean lo mas amigables al ambiente.

En una estación de servicio uno de los puntos que puede generar contaminación al ambiente es la falla de los tanques de almacenamiento debido a corrosión por suelos, ya que por norma los tanques deben ser instalados de forma subterránea, es ahí donde se puede aplicar la protección catódica que es uno de los sistemas más utilizados actualmente para desacelerar el fenómeno natural de la corrosión, ayudando a evitar que los tanques sometidos a corrosión por suelos falle en algún momento dado en su operación y genere fugas de combustible las cuales se pueden filtrar en el subsuelo y contaminar las aguas subterráneas de manera incalculable, en donde la contaminación de los mantos freáticos pueden causar desastres y hasta la muerte de las personas.

Actualmente la implementación de la protección catódica es obligatoria para cada una de las estaciones de servicio que se desee instalar dentro del territorio nacional, pero se necesita saber específicamente cuales son los fundamentos y procedimientos bajo los cuales se norma la instalación de la protección catódica en los tanques de almacenamiento para poder con ello lograr dos cosas, una alargar la vida útil de un tanque de almacenamiento lo que nos ahorraría recursos en poder utilizar una estructura por más tiempo y no ocasionar gastos en reemplazos prematuros y la otra evitar fugas y contaminación en el subsuelo.

Es de notar que no solo se protege el medio ambiente con la instalación de la protección catódica en los tanques de almacenamiento, sino que la serie de costos invertidos son recuperados, debido a que al aumentar el periodo de vida útil en los tanques hasta dos veces de su vida normal, nos ahorrará recursos de reemplazo mas la ganancia que se genera por la venta de combustible utilizando la misma estructura.

ALCANCE DEL TRABAJO

El análisis de la instalación de la protección catódica únicamente se realizara en los tanques de almacenamiento para las estaciones de servicio, no obstante existen otras estructuras de igual importancia como la tubería de trasiegos, pero actualmente la tubería galvanizada se esta sustituyendo por tubería a base de polímeros los cuales tienen una vida útil mayor debido a que son mucho más resistentes a la corrosión por suelos y la misma no necesita ninguna protección catódica.

Se analizara la protección catódica por medio de ánodos de sacrificio para los tanques de almacenamiento, debido a que es el método mas económico, pero también existen otros como lo son la protección catódica por corriente impresa y el revestimiento de fibra de vidrio, estos son métodos inclusive más eficientes pero con costos más elevados.

El objetivo del presente trabajo es verificar la correcta instalación de la protección catódica por medio de ánodos de sacrificio, estableciendo el procedimiento que nos indique cuales son los factores más importantes a considerar para llevar acabo el adecuado diseño que nos provea la protección necesaria para prolongar y asegurar la vida útil de operación de un tanque de almacenamiento de productos petroleros.

CAPÍTULO 1. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE CORROSIÓN

La corrosión

Los metales se encuentran en la naturaleza bajo la forma de compuestos estables, como óxidos, sales, etc. Así por ejemplo, el hierro permanece bajo la forma de óxido de hierro durante millones de años, porque esa es la forma más estable, de menor energía, menos reactiva. El hombre ha encontrado la manera de utilizar estos metales para sus fines, extrayéndolos de la naturaleza, purificándolos, asociándolos con otros elementos para mejorar sus propiedades y dándoles una forma apropiada para su utilización práctica. Este es el campo de la metalurgia.

La siguiente figura ilustra como a través de estos procesos, se va transformando aquel compuesto natural estable en objetos metálicos útiles al hombre; cada uno de los procesos utilizados requiere el aporte de energía y el objeto final, que tiene la forma y las propiedades deseadas, dureza, brillo, color, elasticidad, resistencia mecánica, etc, posee un nivel de energía mucho mayor que el compuesto natural del cual proviene.

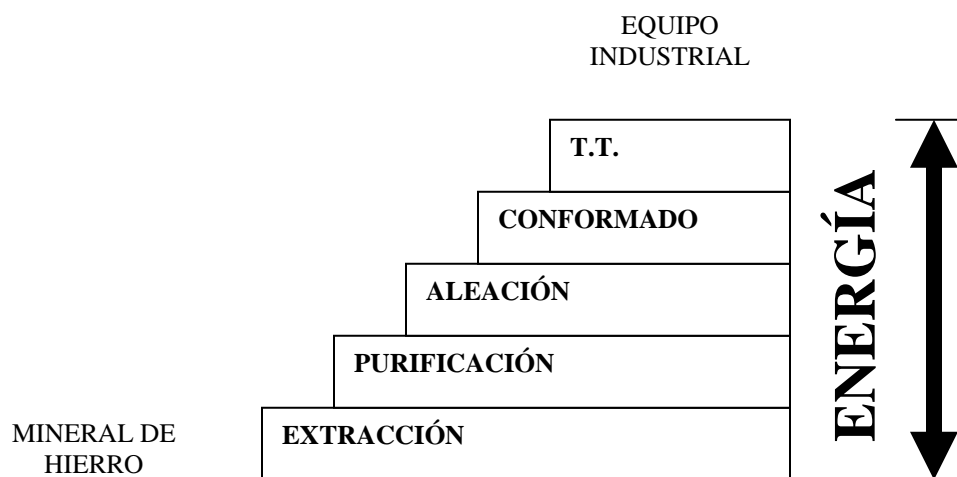


Figura No. 1 Descripción del aumento de la energía en cada uno de los procesos para generar un estructura metálica útil

Esta mayor carga energética hace que el producto final sea mucho más inestable que el compuesto original y, en consecuencia tiende a regresar a aquella forma de baja energía en donde se encontraba. Esta tendencia de un metal a volver a su estado natural es el fenómeno que conocemos como corrosión.

En pocas palabras decimos entonces que el hombre utiliza una serie de procesos metalúrgicos para convertir un compuesto natural en un objeto metálico apto para sus fines y la corrosión tiende a revertir el proceso debido al exceso de energía agregado al metal, que lo hace inestable.

Corrosión = Metalurgia al revés

No obstante, debemos dar una definición más completa de este fenómeno:

Corrosión = Deterioro de un material por acción del medio

A pesar de que existe este fenómeno que tiende a degradar nuestros objetos metálicos para llevarlos al estado de óxidos o sales disueltas, sabemos que se emplean los metales y aleaciones metálicas en forma generalizada en todos los aspectos de la vida humana, en el hogar en la industria, en los servicios, en los transportes, etc. Esto se debe fundamentalmente a que la velocidad de la corrosión puede ser suficientemente baja como para no afectarnos significativamente.

¿Cómo se produce el fenómeno de la corrosión?

Siempre que se produce un fenómeno de corrosión de un metal o aleación metálica sumergida en un medio húmedo, sea este el suelo, agua de río, agua de mar, medio industrial, etc, es posible identificar varios componentes del proceso corrosivo; la siguiente figura nos muestra un tanque de almacenamiento enterrado en el cual se señalan los componentes de la corrosión:

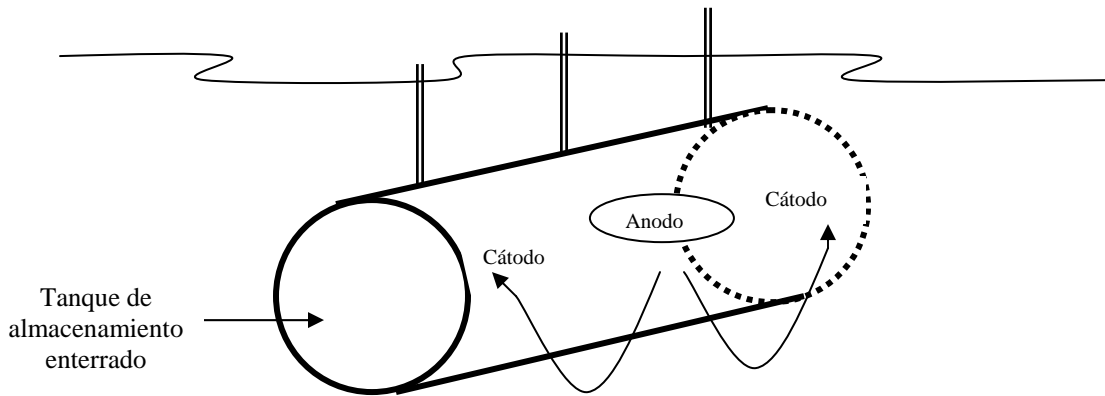


Figura No. 2 Componentes del fenómeno de la corrosión en un tanque de almacenamiento enterrado.

A continuación daremos una definición de cada una de los componentes de la corrosión:

Ánodo o zona anódica:

Sitio donde se produce la salida de una corriente eléctrica desde el metal hacia el suelo. Esta es la zona donde el metal sufre corrosión.

Cátodo o zona catódica:

Sitio al cual llega la corriente proveniente del suelo.

Medio corrosivo:

En este caso a tratar, el medio corrosivo será el suelo húmedo que ataca el metal.

Conductor eléctrico:

La corriente que sale de la zona anódica y circula por el medio corrosivo para penetrar en la estructura por la zona catódica, debe cerrar el circuito, en este caso a través del tanque de almacenamiento que actúa como conductor eléctrico.

El paso de una corriente eléctrica desde el metal hacia el suelo (zona anódica) o desde el suelo hacia el metal (zona catódica) produce reacciones que debemos conocer para poder familiarizarnos con el fenómeno de la corrosión y entender cuales son los mecanismos utilizados para prevenirlo.

En cada uno de los componentes durante el proceso de la corrosión suceden reacciones tanto en el lado anódico como en el lado catódico, las cuales son las siguientes:

En la zona anódica del metal se oxida siguiendo la siguiente reacción:

REACCION ANODICA GENÉRICA



Los electrones que quedan libres o disponibles de la reacción anódica se trasladan hasta la zona catódica, en el cual son consumidos en las reacciones catódicas, y las más comunes son las siguientes:

REACCIONES CATÓDICAS MÁS COMUNES

REACCION DEL OXIGENO



REACCIÓN DEL HIDRÓGENO:



Analizando cada una de ellas vemos que en la reacción del oxígeno tiene lugar cuando en el medio húmedo hay oxígeno disuelto; en combinación de agua y oxígeno reacciona con los electrones que quedaron disponibles de la reacción anódica o reacción de corrosión para dar como resultado la formación de iones oxhidrilo. Recordando que estos iones son los causantes principales de la alcalinidad de un medio, podemos decir que esta reacción catódica de reducción de oxígeno aumenta la alcalinidad del medio corrosivo.

La reacción del hidrógeno también consume electrones provenientes de la reacción anódica o de corrosión, pero en este caso el resultado es la formación de burbujas de hidrógeno gaseoso. La presencia de iones de hidrógeno en un medio húmedo es común en los medios ácidos. Recordemos que la acidez de un medio está dada por la presencia de estos iones hidrógeno. A medida que son consumidos por la reacción catódica del hidrógeno el medio pierde carácter ácido.

Es importante destacar que si no hubiera reacción catódica capaz de consumir los electrones que se generan en la reacción anódica el fenómeno se detendría, porque de acuerdo con las leyes básicas de la electricidad no se puede acumular electrones. Por eso algunos métodos de prevención de la corrosión se basan en neutralizar las posibles reacciones catódicas que complementan la reacción de corrosión consumiendo los electrones que aquella libera.

Hasta ahora hemos hablado de la tendencia de un metal o aleación metálica a volver a su estado de forma natural, la cual conocemos como corrosión, pero no hemos dicho nada acerca de la velocidad a la cual ocurre. El tiempo que se requiere para que ocurra

la oxidación completa de un metal o aleación depende de varios factores, entre los cuales podemos mencionar:

- La humedad del suelo o medio corrosivo.
- Su contenido Salino.
- Los gases presentes en el medio.
- La composición del metal o aleación.
- Las tensiones residuales que pudieran quedar en el tanque de almacenamiento, producto del proceso de fabricación.
- Las tensiones mecánicas a las que esta sometido el tanque de almacenamiento por su uso.

En general podemos afirmar que la velocidad de un proceso de corrosión dependerá tanto de las características del material como de las condiciones del medio en el que se encuentra.

factores que afectan la velocidad de la corrosión

En términos generales podemos afirmar que toda discontinuidad o irregularidad que exista en el tanque de almacenamiento o en el medio corrosivo constituirá un factor acelerador de la corrosión. A continuación veremos algunos de los factores aceleradores de la corrosión.

a) discontinuidad en el Metal.

Una mancha de oxido presente en un tanque de almacenamiento se comporta como factor acelerador de la corrosión. En este caso el hierro a descendido la escalera de la figura No. 1 para transformarse en oxido de hierro de menor energía y en consecuencia, más estable.

Este óxido se comporta como catódico frente al hierro no oxidado, formando una pila o par bimetalico que acelera el fenómeno de la corrosión. Es importante destacar que la corrosión ocurrirá de todos modos, con o sin la presencia de las manchas de óxido, el efecto de estas es acelerar el proceso.

Otro caso típico es cuando utilizamos diferentes metales dentro de una misma instalación, por ejemplo para la tubería de gas de una casa, la tubería principal es de acero y la tubería de entrada a la casa es de cobre, este último es un metal más noble que el acero normal y en consecuencia se formará también una pila galvánica en la cual el ánodo o zona de corrosión será la tubería de acero y el cátodo lo constituirá la tubería de cobre, nuevamente debemos recordar que no es indispensable la presencia de los dos metales o aleaciones diferentes para que se produzca la corrosión. Esto es solo un factor acelerador del proceso, su importancia es que puede multiplicar la velocidad de corrosión enormemente.

b) **Discontinuidad en el medio corrosivo.**

Supongamos que se instalara un tanque pero el terreno tiene partes más húmedas dentro de una misma área, la zona con más agua será más anódica que la zona más seca, formándose también una pila aceleradora de la corrosión, solo que en este caso la causa es una discontinuidad en el medio corrosivo.

Formas de ataque de la corrosión

Ahora explicaremos las diferentes formas en que se presenta la corrosión en las estructuras metálicas:

Corrosión Uniforme

En este tipo de corrosión el metal se disuelve uniformemente en toda su superficie. La estructura pierde una capa de metal cuyo espesor estará determinado por la velocidad con que se produce el ataque y el tiempo de exposición al medio agresivo. Esta es una forma bastante rara de corrosión y con frecuencia lo que parece una corrosión uniforme en realidad presenta zonas de ataque localizado en forma de picaduras. Se considera que la corrosión uniforme en realidad se inicia como un ataque localizado en ciertos puntos o áreas de la superficie; una vez oxidados, estos sitios se convierten en catódicos invirtiéndose el fenómeno y así el proceso continua hasta alcanzar un aspecto uniforme.

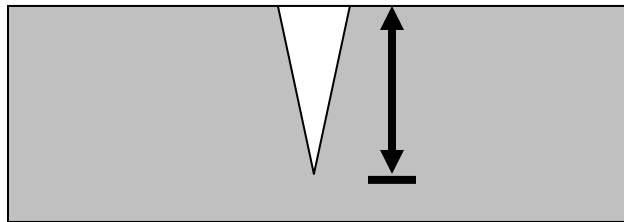
Algunas normas de construcción de recipientes metálicos establecen lo que se conoce como "corrosión allowance" (corrosión permitida) que no es otra cosa que un espesor adicional de pared metálica que se coloca para que la corrosión la consuma durante un tiempo determinado y mientras tanto la estructura pueda seguir en operación porque la pared tiene espesor suficiente para resistir las condiciones de esfuerzo mecánico. Este criterio parte de dos premisas: la corrosión es uniforme y no podemos hacer nada para evitar que ocurra. Los casos reales en que ambas condiciones se cumplen son muy pocos

Corrosión localizada

Esta es una forma mucho mas peligrosa de la corrosión porque ataca un área pequeña y el ataque avanza en profundidad pudiendo llegar a perforar completamente la pared de la estructura. Podemos diferenciar dos tipos característicos de corrosión localizada:

a) Picadura (“pitting”).

El ataque se manifiesta en forma de orificio. Puede presentarse en cualquier parte de la estructura.



Una picadura se caracteriza porque el Área superficial es pequeña pero la Profundidad del ataque es importante

Figura No. 3: Corrosión por picadura

b) Corrosión en grietas (“crevice”).

Veamos un caso tipo de corrosión en grietas o espacios confinados; se trata de un tornillo o perno con su arandela que sujeta dos planchas metálicas entre si. Entre la arandela y la plancha hay un “espacio confinado” en el cual puede penetrar liquido pero la concentración de oxígeno es menor que en la parte exterior de la grieta. Se forma entonces una celda o pila de aireación diferencial que produce un ataque acelerado bajo la arandela (precisamente en donde no es posible detectarlo!). Para que se produzca este tipo de ataque deben darse ciertas condiciones: existencia de un espacio confinado o grieta, presencia de un medio corrosivo y diferencia en la concentración de algún agente agresivo dentro y fuera del espacio confinado, principalmente oxígeno.

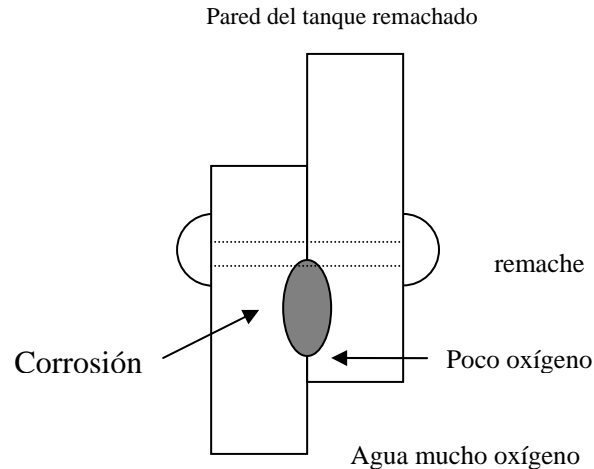


Figura No. 4: Corrosión "crevice" o en espacios confinados.

La corrosión localizada afecta principalmente a las aleaciones que se "pasivan", esto es, que por acción de un medio oxidante se recubren de una capa de oxígeno que las protege de ataques ulteriores. En esta categoría entran los aceros inoxidable (capa de óxido de cromo) y las aleaciones de aluminio (capa de óxido de aluminio). Cuando una de estas aleaciones pasivas se expone a un medio que contiene cloruros- por ejemplo agua de mar- que son destructores de la capa pasiva, el tipo de ataque que se produce es por picadura o ataque localizado.

Corrosión combinada con otros fenómenos.

En muchas ocasiones se produce un efecto conjunto de corrosión con otro tipo de ataque a la estructura; por ejemplo:

A. Esfuerzos mecánicos.

Un material sometido a un medio corrosivo y a un esfuerzo mecánico en forma simultánea, puede sufrir daños en un tiempo muy corto. El esfuerzo mecánico puede ser continuo o discontinuo. La combinación de corrosión y esfuerzos

mecánicos continuos produce un fenómeno acelerado conocido como corrosión bajo tensiones. Si la tensión se aplica en forma cíclica, por ejemplo las dilataciones y contracciones que sufre un equipo sometido a calentamientos y enfriamientos sucesivos, el fenómeno se denomina corrosión fatiga o corrosión por fatiga. Es importante destacar que aun cuando estos fenómenos se dan en forma simultanea, cada uno de ellos se trata en forma separada porque se trata de procesos diferentes.

B. Erosión.

En este caso la corrosión va acompañada de una acción superficial de erosión; un ejemplo de ello es el de las bombas que envían petróleo con arena desde el fondo de un pozo productor hacia la superficie: el efecto corrosivo de algunos componentes del petróleo se suma al afecto erosivo de la arena que lo acompaña. También se observa este fenómeno en pozos de agua con arena y en reactores catalíticos de refinerías, en donde los catalizadores generalmente óxidos metálicos muy duros producen erosión simultáneamente con la corrosión.

Una característica interesante de este tipo de ataque es que la erosión va eliminando los productos de corrosión, lo que dificulta determinar los agentes corrosivos que causan el ataque. Además, los productos de corrosión pueden actuar brindando una protección parcial contra la corrosión ulterior del metal pero la erosión los elimina. Los procesos de corrosión-erosión se presentan preferentemente donde la mezcla corrosiva choca con una pared metálica, como ocurre en codos de tuberías, sitios donde cambia el diámetro de una tubería, etc. Y una forma de minimizar su efecto destructivo es precisamente evitar, a nivel de diseño, el uso de codos en 90 grados, cambios bruscos de dirección del fluido, reducciones, etc.

Corrosión por bacterias.

Cuando se habla de “corrosión por bacterias” debe tomarse en consideración que las bacterias no atacan directamente el metal sino que se trata de fenómenos complejos los cuales intervienen los procesos alimenticios de estos microorganismos; por ejemplo, las bacterias sulfato-reductoras (desulfovidrio desulfuricans) que se identifican por la sigla SRB, se alimentan de sulfatos orgánicos y producen como desecho sulfuros que pueden afectar a algunos metales y aleaciones., como características típica de estos ataques debemos destacar la aparición de un producto de corrosión consistente en una capa de sulfuro de hierro de color negro.

Las bacterias sulfato-reductoras se desarrollan cuando el medio es pobre en oxígeno (condición anaeróbica); con frecuencia un depósito de suciedad o barro hace que el contenido de oxígeno bajo el mismo sea suficientemente reducido como para permitir el desarrollo de estas bacterias. Se produce entonces un ataque ocasionado por dos factores que actúan en forma conjunta: el desarrollo de SRB y la existencia de una celda o pila de aireación diferencial.

CAPÍTULO 2. PROTECCIÓN CATÓDICA POR MEDIO DE ÁNODOS DE SACRIFICIO

Ya se ha explicado brevemente el principio de la corrosión y las diferentes formas en que puede afectar a un tanque de almacenamiento, a continuación se analizará el concepto de la protección catódica en su aplicación con ánodos galvánicos.

Conceptos básicos:

Hemos visto que cuando se conecta un metal más activo a otro más noble a través de un conductor eléctrico se forma una pila en la cual el primero sufre una aceleración de la corrosión (ánodo) en tanto que en el segundo disminuye la intensidad del ataque (cátodo). Es posible, mediante un diseño adecuado, lograr que en el cátodo cese completamente el ataque corrosivo. A que se debe este fenómeno? A las pequeñas pilas de corrosión que se forman sobre la superficie le estamos oponiendo una gran pila exterior; si tomamos en cuenta que la corriente de corrosión es del orden de los microamperios, la presencia de un ánodo galvanico o de sacrificio impulsara una corriente del orden de los miliamperios (1.000 veces mayor) hacia la estructura.

La protección alcanzada por la estructura que hemos hecho catódica puede ser parcial o total según el diseño que se haya realizado; si hay suficiente corriente llegando a la estructura de modo que toda ella sea catódica, habremos frenado en forma completa el proceso corrosivo. No obstante, aun cuando no se alcance la protección completa de la estructura, la aplicación de la protección catódica contribuirá a disminuir la intensidad del fenómeno corrosivo.

Campo de aplicación.

Cuando se habla de protección catódica se piensa inmediatamente en tuberías enterradas; no obstante, esta técnica tiene un campo enorme de aplicaciones. Entre las estructuras que pueden protegerse con esta técnica mencionaremos las siguientes:

- Tuberías enterradas.
- Tuberías sumergidas
- Fondos de tanques de almacenamiento apoyados en suelos corrosivos.
- **Tanques de estaciones de servicio (bombas de gasolina) enterrados.**
- Interior de tanques de almacenamiento de agua industrial o potable.
- Barcos.
- Gabarras.
- Lanchas de transporte de personal en el Lago de Maracaibo.
- Pilotes metálicos de muelles y duques de alba.
- Tablaestacas metálicas de muelles y canales.
- Pozos petroleros.
- Pozos de agua.
- Plataformas marinas o lacustres.
- Intercambiadores de calor.
- Enfriadores.
- Cajas de Condensadores.
- Puente de acero.
- Pilotes y puentes de concreto reforzado.
- Cables enterrados de energía y/o comunicaciones.
- Calentadores de agua domestico.

Como podemos observar de la lista anterior, prácticamente toda estructura metálica enterrada o sumergida en un medio conductor puede ser protegida con esta técnica.

Los ánodos de sacrificio tienen un campo limitado de aplicación dado que las pilas que forman con los aceros de las estructuras industriales son relativamente pequeñas y esto limita su capacidad de drenar corriente de protección. A pesar de sus limitaciones se emplean en el interior de tanques de agua, en tramos enterrados cortos (cruces de carreteras, por ejemplo), tuberías de pequeño diámetro entre otras. En estructuras grandes, se han empleado ánodos de aluminio en plataformas costa afuera y en muelles con excelentes resultados. También para proteger tuberías sumergidas en el fondo del mar, tanto con aleaciones de aluminio con cinc, si bien esta última ha tenido mayor aceptación porque resiste mejor los ataques por bacterias anaeróbicas, comúnmente encontradas en el barro del fondo. Veamos algunos tipos y modelos de ánodos galvanicos. La siguiente Tabla resume las características más importantes de las aleaciones anódicas de mayor utilización.

Tabla No. 1 Características más importantes de los ánodos galvánicos.

<i>ALEACIÓN</i>	<i>CINC</i>	<i>MAGNESIO</i>	<i>ALUMINIO</i>
EFICIENCIA (%)	95	50 A 65	95
RENDIMIENTO PRÁCTICO (A x H/Kg)	778	1102	2817
POTENCIAL DE TRABAJO (V)	- 1,1	-1,45 A -1,7	-1,1

En esta tabla podemos observar que las aleaciones de cinc y aluminio poseen una eficiencia muy elevada; la eficiencia esta originada en la cantidad de material anódico que se consume por auto-corrosión del ánodo. En cambio el magnesio tiene baja eficiencia pero presenta el más alto valor de potencial de trabajo. El aluminio no puede utilizarse en suelos porque se recubre de una capa de oxido que lo inactiva (fenómeno conocido como "pasivacion") pero en agua de mar los cloruros rompen dicha capa y los reactiva. En agua de mar las aleaciones de aluminio no tienen competencia; si observamos los valores indicados en la tabla anterior, vemos que el rendimiento

práctico de estas aleaciones de aluminio es casi cuatro veces que las de cinc. Esto significa que por cada kilogramo de material anódico de aluminio obtenemos mucho más corriente por unidad de tiempo que por un kilogramo de magnesio o de cinc. También implica que para un barco, por ejemplo, se puede lograr protección con menor cantidad y peso de ánodos de aluminio que si utilizáramos magnesio o cinc.

Para nuestra investigación visualizaremos un esquema de un modelo de ánodos de sacrificio para un tanque de almacenamiento:

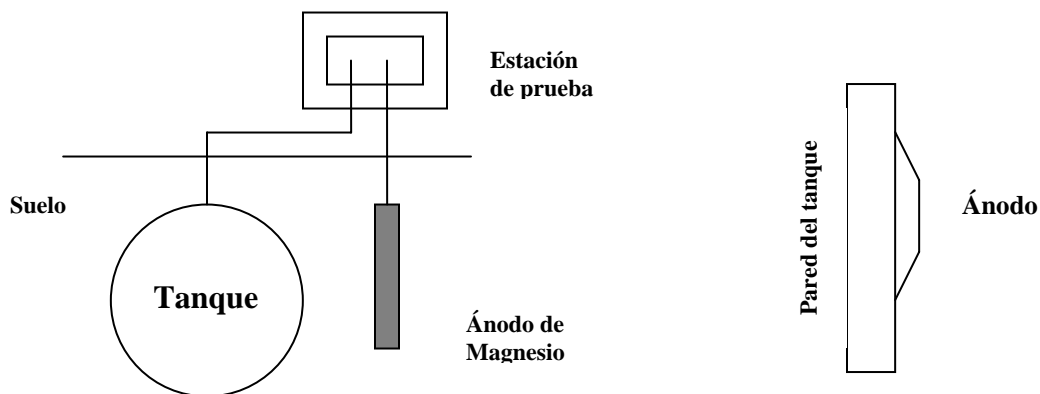


Figura No. 5: Muestra esquemática de algunos modelos de ánodos galvánicos

En suelos los ánodos se instalan rodeados de un relleno electrolítico que consta de los siguientes materiales:

Bentonita: arcilla de la familia de las "montmorillonitas", capaz de absorber agua y mantener el medio que rodea al ánodo húmedo. Al hacerlo se hincha ayudando a reducir las bolsas de aire que pudieran haber quedado durante la excavación.

Yeso: sulfato de calcio, una sal iónica que mejora la conductividad del suelo.

Sulfato de sodio: otra sal iónica de más alto costo pero que mejora en mucho las Características del suelo.

El relleno o "backfill" de un ánodo galvanico puede tener los dos primero compuestos solamente o puede incluir los tres, dependiendo de las características del terreno donde se utilice. En cuanto a tamaños, los ánodos vienen normalmente en dos tamaños típicos para uso en suelos: 17 libras y 32 libras, pero tambien existen otros tamaños disponibles comercialmente.

La siguiente figura muestra un corte de un ánodo de magnesio usado en suelos.

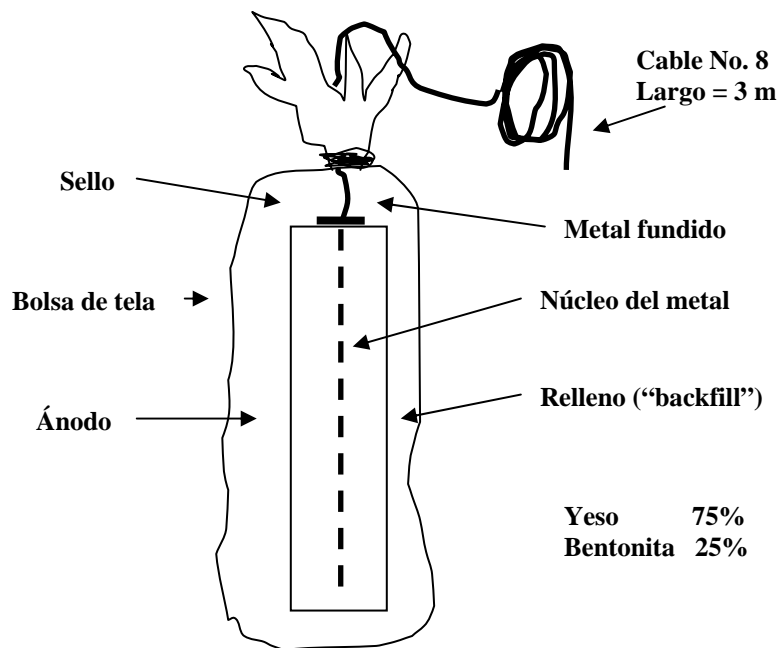


Figura No. 6: Corte de ánodo de magnesio para suelos.

CAPÍTULO 3. MEDICIONES Y PARÁMETROS PARA LA PROTECCIÓN CATÓDICA

Para poder establecer los diferentes valores que debemos de tomar en cuenta para el diseño de la protección catódica a aplicar en un tanque o parque de tanques enterrados debemos considerar los siguientes parámetros y mediciones, los cuales se mencionan a continuación:

Resistividad eléctrica

La resistividad eléctrica es el parámetro mas importante para conocer el nivel de corrosión de un suelo. Un medio muy conductor permitirá el paso de la corriente de corrosión pero también facilitara la circulación de la corriente protectora que drenen los ánodos de un sistema de protección catódica.

La resistividad es la resistencia eléctrica de un volumen determinado de medio corrosivo; un agua de mar por ejemplo, tiene una resistividad promedio que oscila entre 20 y 30 ohmios-cm., en tanto que un suelo puede tener entre 500 (suelos muy conductores) y varios miles de ohmios-cm. (suelos muy poco conductores). Un concreto seco puede alcanzar resistividades que varían entre 400.000 y 1.000.000 de ohmios-cm.

La medición en suelos se efectúa por el método de Wenner o de las cuatro barras y ha sido regulada por ASTM (American Society For Testing And Materials, USA) en la norma G57-78 "Standard Method for field measurement of soil resistivity using the Wenner four electrode method" (Método normalizado para la medición de campo de la resistividad de suelos utilizando el método de Wenner de los cuatro electrodos). A continuación se muestra la forma en que se realiza esta medición en campo:

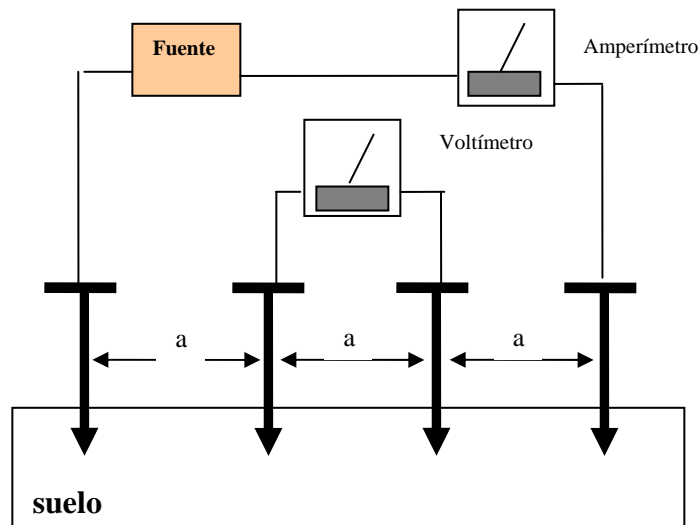


Figura No. 7. Medición de resistividad eléctrica de suelos, método de Wenner

Estos instrumentos cuentan con cuatro puntos de conexión para cables que van directamente a las cuatro barras y la toma de medición se simplifica.

Lo que realmente se está midiendo al separar las barras una distancia "a" es efectuar una medición de la resistividad promedio en una capa de terreno de profundidad "a" esto quiere decir que al aumentar la separación entre las barras estamos aumentando la profundidad de la capa "a" la cual le estamos midiendo la resistividad eléctrica promedio.

La profundidad a la que se deben clavar las barras no es un factor crítico, es suficiente con clavar las barras hasta que se sostengan firmes en el terreno. Llegándose a medir con esta técnica y con los instrumentos normales que se emplean en el campo de la protección catódica profundidades de hasta unos 15 (quince) metros aproximadamente (esto depende del instrumento utilizado) pero, en general, se puede medir dentro de una capa en la cual se instalan normalmente los tanques de almacenamiento.

El valor máximo de la resistividad eléctrica del suelo que se puede medir depende de la instrumentación con que se cuente, sin embargo, esto no es indispensable porque todo

terreno por encima de 40.000 o 50.000 ohmios-cm. ya es considerado muy poco corrosivo y no es necesario precisar el valor de resistividad eléctrica mas allá de este rango.

Cuando no hay terreno suficiente para clavar las cuatro barras se ha desarrollado una técnica de medición diferente basada en el uso de una sola barra. La siguiente figura muestra un esquema de esta medición. La barra consta de una punta conductora separada de la barra, también conductora, por un elemento aislante. La punta se entierra a la profundidad a la que se desea medir la resistividad y drena corriente hacia el cuerpo de la barra a través del suelo. El instrumento es un puesto de resistencias.

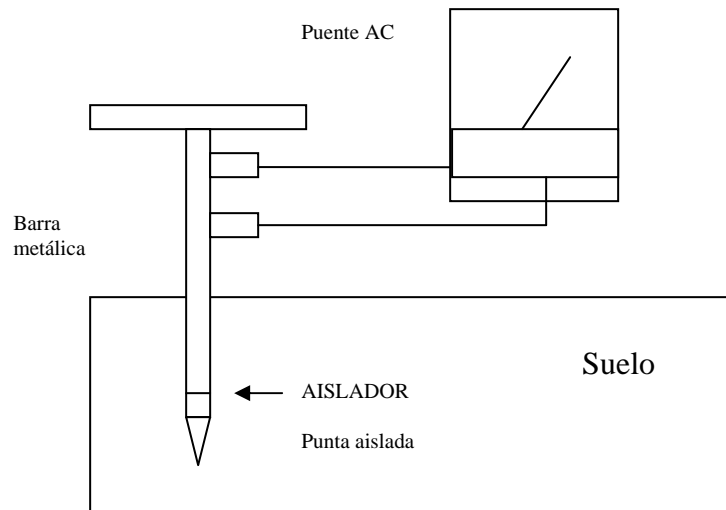


Figura No.8. Medición de resistividad eléctrica de suelos, Con una sola barra

La diferencia entre este método y el método de Wenner es que el primero mide la resistividad eléctrica puntual a la profundidad a la cual se clava la punta de la barra en tanto que el segundo mide la resistividad promedio de una capa de terreno de profundidad igual a la separación entre barras. Por ello no deben compararse los valores de resistividad eléctrica medidos con estas dos técnicas.

Un factor de gran importancia para el cálculo correcto de la resistividad del terreno es cuando la medición se realiza en tiempo seco y luego llueve, ya que el agua disuelve las sales presentes en el suelo. Hay suelos que tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvias dan valores de resistividad eléctrica similares, pero otros dan valores radicalmente diferentes. Para conocer el valor de la resistividad en tiempo de lluvias se utiliza la caja de suelos.

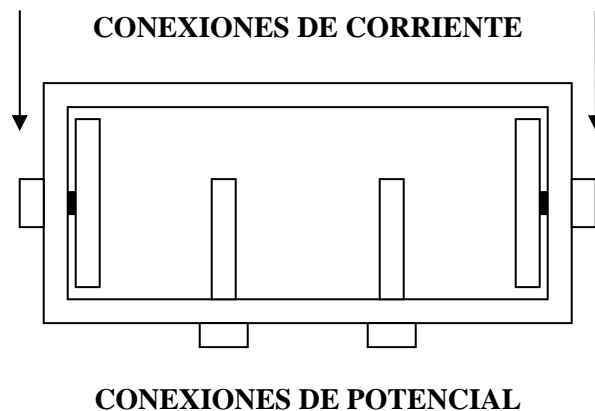


Figura No. 9. Caja de suelos para medición, de resistividad eléctrica

El procedimiento a seguir es el siguiente: a) Se quita una capa de suelo de aproximadamente 30cm para eliminar la vegetación. B) Se tamiza la muestra para eliminar piedras, raíces, etc. C) Se coloca la muestra en la caja de suelos hasta llenarla completamente. D) Se mide. E) Se satura con agua destilada hasta que quede agua sobre el suelo. La caja de suelos también sirve para medir la resistividad del coque utilizado como relleno.

El material de las barras no es un factor crítico, hay barras de acero al carbono, de acero inoxidable, de cobre. Se pueden fabricar con cuatro barras o cabillas de construcción de 3/8", es recomendable utilizar un material duro y resistente a los golpes, que no se deforme.

Potenciales.

Este concepto es de gran importancia, implica que toda tanque enterrado tendrá un potencial eléctrico que llamaremos potencial natural, por el solo hecho de estar en contacto con un medio conductor.

Al aplicar protección catódica enviando corriente eléctrica desde un conjunto de ánodos hacia la estructura, estamos provocando un cambio en el potencial eléctrico de la misma. El potencial ira cambiando hasta alcanzar un valor estable que llamaremos potencial de protección. El proceso de cambio del potencial desde el potencial natural hasta el potencial de protección es lo que se conoce como polarizacion de la estructura. Veamos algunos valores prácticos de potenciales:

Tabla No. 2 de valores prácticos de potenciales

<i>Potenciales Naturales de aceros en suelos y aguas</i>	<i>400 a 600</i>	<i>milivoltios</i>
<i>Potencial mínimo de protección de aceros</i>	<i>850</i>	<i>milivoltios</i>
<i>Potencial mínimo de protección de aceros en suelos y aguas</i>		
<i>Cuando hay bacterias sulfato-reductoras</i>	<i>950</i>	<i>milivoltios</i>

NOTAS: 1. Todos los potenciales de la tabla son medidos con referencia al electrodo de cobre/sulfato de cobre (Cu/CuSO₄).

2. Los criterios de protección corresponden a la Norma NACE RP-0169-3.

Medición del potencial

Toda medición es una comparación entre un valor desconocido y un valor conocido. Así por ejemplo, para medir longitud de un objeto se compara con la longitud conocida de una regla. Para medir el potencial eléctrico de una estructura en contacto con un medio corrosivo determinado se compara dicho valor con el potencial de un electrodo o

celda de referencia en contacto con el mismo medio. Los electrodos de referencia mas utilizados son los siguientes:

ELECTRODO DE REFERENCIA

USOS

Cobre / sulfato de cobre

Plata / cloruro de plata

Molibdeno / oxido de molibdeno

suelos – aguas dulces

agua de mar

acero en concreto

La siguiente figura muestra en forma esquemática el procedimiento de medición de potencial de un tanque enterrado utilizando el electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre.

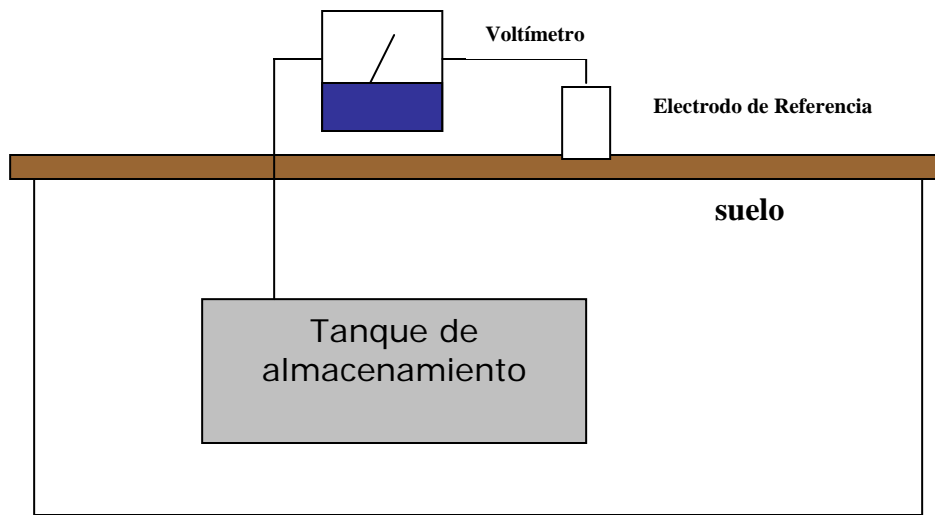


Figura No. 10 Medición de potencial de tanque enterrado.

Cuando se efectúa una medición de potencial de una estructura se pueden cometer errores; la siguiente figura muestra un error típico: el instrumento indica un valor de diferencia de potencial y podemos interpretar que este valor corresponde a la comparación entre el potencial del tanque/suelo y el potencial del electrodo/suelo cuando en realidad se está incluyendo un factor adicional que es la caída de voltaje que sufre la corriente del sistema de protección catódica al pasar por el suelo.

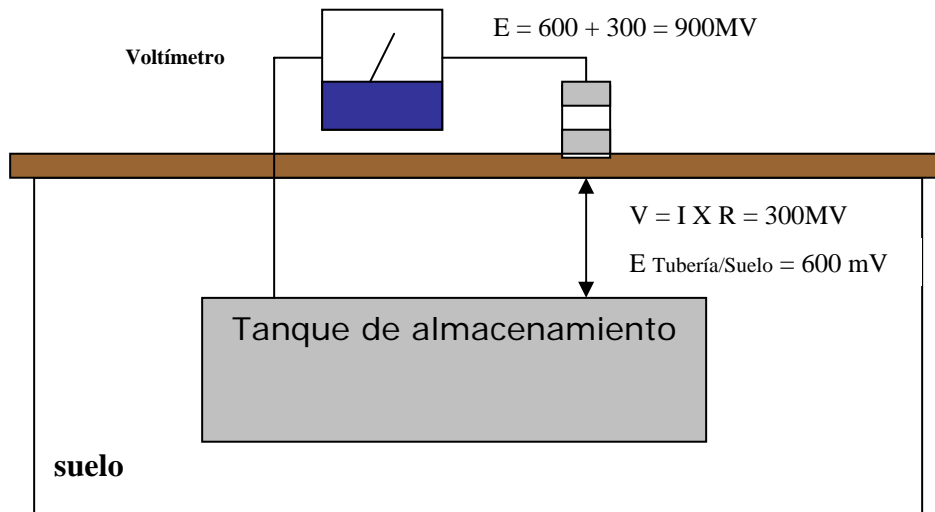


Figura No. 11. Error en la medición de potenciales por caída $I \times R$

Si recordamos la ley de OHM: voltaje = corriente X resistencia

La caída de voltaje producida en el suelo es función de la corriente (I) proveniente del rectificador, multiplicada por la resistencia del medio (R). Este factor se vuelve importante cuando los suelos tienen alta resistencia y también cuando la distancia que debe recorrer la corriente es muy larga. Para reducir este error es conveniente colocar el electrodo de referencia lo más cerca posible de la estructura.

CAPÍTULO 4 INSTALACIÓN DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA POR MEDIO DE ÁNODOS DE SACRIFICIO EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO PARA UNA ESTACIÓN DE SERVICIO

En Guatemala los mercados de distribución de gasolina y productos para vehículos se ha ido diversificando cada vez más, por lo que esto ha dado una variedad de materiales, instalaciones y sistemas de protección que son particulares para cada tipo de estructura, adicionalmente, debido a que cada vez son más las regulaciones ambientales, se están empleando los tanques de doble pared, un tanque interior dentro de otro tanque exterior y en otros casos sistemas que controlan y detectan cualquier fuga que se genere en la operación.

Ahora se hablara directamente de los tanques de almacenamiento que son utilizados en las estaciones de servicio dentro de la republica de Guatemala:

Materiales:

Los tanques se fabrican básicamente de acero al carbono

El uso de tanques de acero enterrados surge en función de dos objetivos principales, reducir el riesgo de incendios por derrames y lograr un mayor aprovechamiento del espacio superficial. Los tanques de acero están expuestos a corrosión por suelos conductores y en consecuencia deben protegerse; para ello se utiliza la protección catódica.

Instalación de la Protección Catódica

La protección catódica puede ser de dos tipos:

- 1) a base de ánodos galvanicos o de sacrificio, ya sea soldados a la pared exterior del tanque o bien en sacos de algodón con relleno –“backfill”- apropiado.
- 2) Sistema por corriente impresa.

La selección de uno u otro sistema dependerá de varios factores pero estos son los principales:

- Cantidad de tanques a proteger: para pocos tanques (1 a 3) puede ser más económico el uso de ánodos de sacrificio, mientras que un numero mayor puede requerir corriente impresa
- Normas y regulaciones locales: cada país tiene disposiciones diferentes, sobre todo en lo referente a protección ambiental y esto definirá que sistema puede ser mas confiable para cada tipo y tamaño de estación de servicio.
- Disponibilidad de personal para mantenimiento. Se debe de contar con personal con conocimiento en protección catódica para su inspección y mantenimiento periódico.

En Guatemala el 100% de las instalaciones de protección catódica en los tanques de almacenamiento en estaciones de servicio se realiza por medio de ánodos de sacrificio debido a que es más económico por la cantidad de tanques promedio de necesita una estación de servicio para operar, por tal motivo nos enfocaremos en este tipo de sistema y no en el de corriente impresa.

El sistema de protección catódica por medio de ánodos galvánicos puede instalarse de dos formas:

1) Ánodos soldados a las paredes de los tanques.

Este sistema es ampliamente utilizado y para facilitar el flujo de corriente de los ánodos se mezcla en suelo con bentonita – arcilla que retiene humedad y facilita la conducción eléctrica, pero esto también incrementa los costos del sistema. Si bien la protección de los tanques puede ser efectiva, mientras mayor sea el número de tanques de la estación de servicio, más costosa e ineficiente resulta la instalación, por otra parte este sistema no protege las tuberías de diferentes servicios conectadas a los mismos tanques (tuberías de carga de combustible, tuberías que llevan el combustible a los dispensadores, tuberías de venteo, tuberías que interconectan tanques).

A nivel internacional el STI (Steel Tank Institute-USA) recomienda como norma la protección de los tanques de acero enterrados el uso de ánodos de sacrificio soldado a las paredes, debido a que ellos están concentrados únicamente a la protección de los tanques, por ello recomiendan la colocación de acoples de nylon aislantes entre los tanques y las tuberías de los diferentes servicios y esto asegura una eficiente protección de los primeros pero deja a las segundas sin ninguna protección, o debe considerarse aplicar un sistema aparte para proteger la red de tuberías.

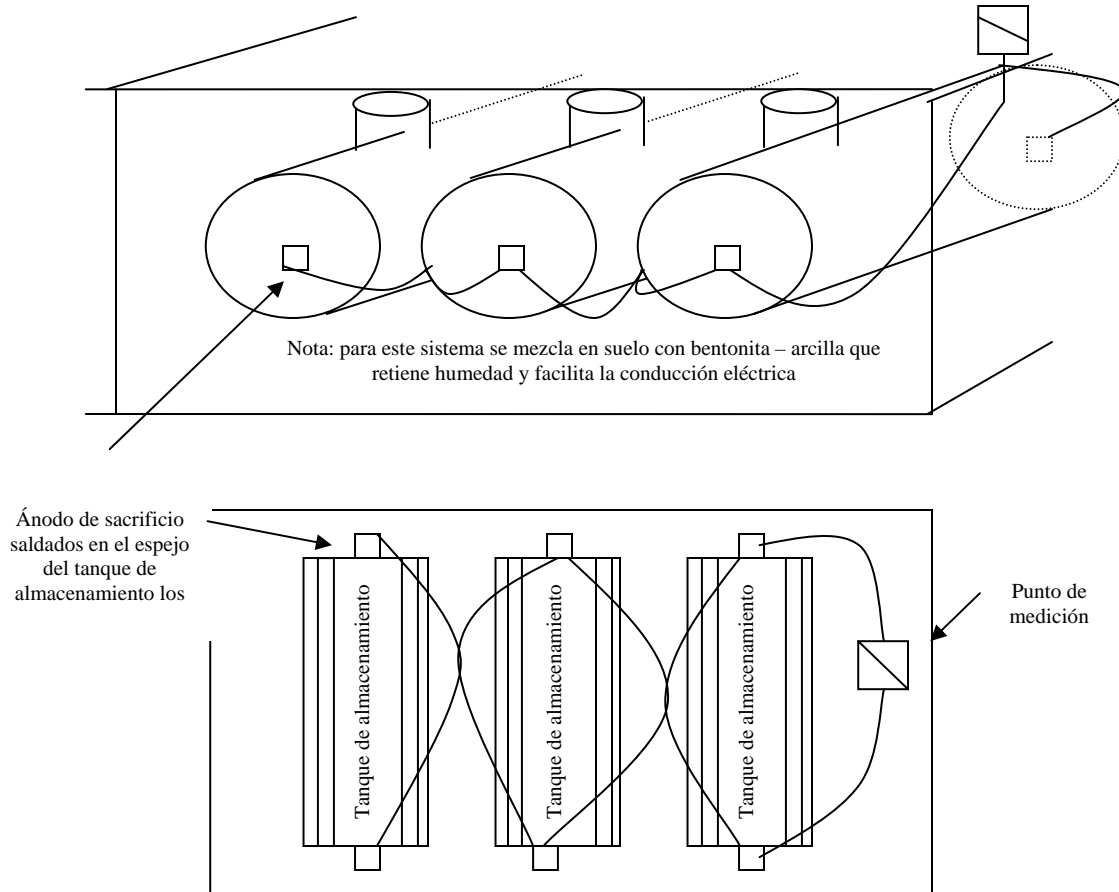


Figura No. 12: Instalación de protección catódica, con ánodos de sacrificio soldados a las paredes de los tanques.

2) Ánodos con relleno

Estos ánodos se instalan a una distancia media de 3 a 5 metros de la estructura a proteger, lo que permite una mejor distribución de la corriente protectora que con los ánodos soldados. Se recomienda que al alejar el ánodo del tanque de almacenamiento se logra una mayor cobertura de la corriente protectora, aquí no se requiere un acondicionamiento masivo del suelo de relleno por tanto los ánodos tienen su propio relleno, lo que resulta más económico, un diseño apropiado que contemple la ubicación de algunos ánodos acerca de las tuberías, permitirá extender la protección a todas las estructuras de acero enterradas en la estación de servicio.

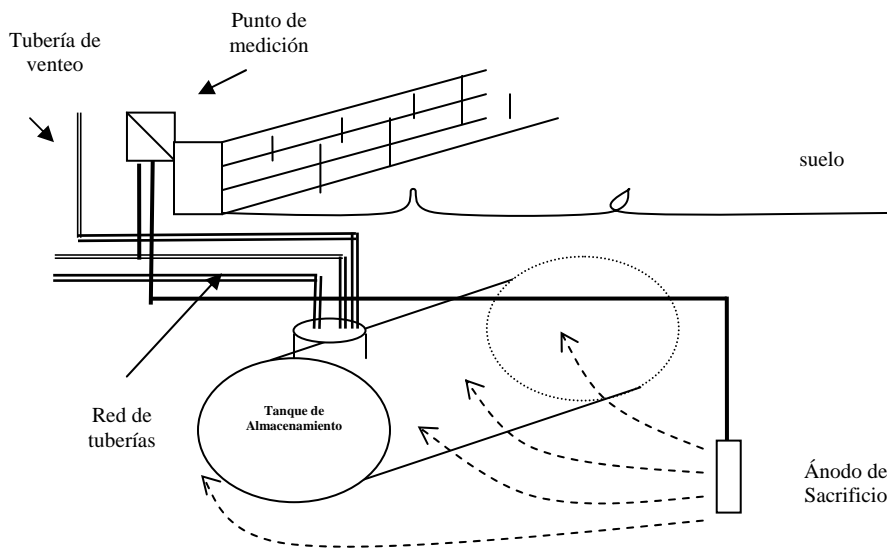


Figura No. 13: Instalación de protección catódica, con ánodos de sacrificio con relleno

Cualquiera que sea el sistema de protección seleccionado, debe establecerse un programa de inspección periódica que asegure el mantenimiento de buenos niveles de protección y para ello se debe contar con el personal capacitado, el instrumental y los recursos necesarios.

CAPITULO 5 INSPECCIÓN Y CONTROL DE LA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA

Dentro de las actividades de supervisión de un sistema de protección catódica, es indispensable contar con personal capacitado para realizarlo, ya que el inspector quien tiene que estar debidamente capacitado y de preferencia certificada para realizar dicha labor, debe de cumplir varias funciones, entre ellas tenemos:

- inspección de los proyectos antes de su ejecución, para verificar que se están tomando todos los aspectos relacionados con corrosión, inspección y mantenimiento.
- Inspección de obras, para asegurar que se cumplen las especificaciones del proyecto.
- Inspección y mantenimiento de equipos y estructuras en servicio, para establecer el estado de las mismas y prevenir fallas, anticipando soluciones.

Estas funciones implican la responsabilidad de que el inspector es responsable de que las estructuras a su cargo permanezcan operando continuamente sin fallar.

La responsabilidad del inspector de campo no se limita a que todo funcione bien, también hay una responsabilidad para la comunidad:

- si hay fugas de gas puede ocurrir una explosión que afecte a mucha gente y propiedades cercanas.
- Si ocurre una fuga de un tanque que almacena combustibles puede afectar la salud de los trabajadores y comunas aledañas.

Todo esto debe tomarse en cuenta al asignar las funciones del inspector de los sistemas de protección catódica en estaciones de servicio.

El inspector para realizar sus funciones necesita herramientas e instrumentos, los cuales deben estar calibrados y en buenas condiciones para efectuar operaciones precisas.

A la hora de realizar una inspección a un sistema de protección catódica, debe generarse un informe de lo realizado, dicho informe debe estructurarse de la siguiente manera:

1. Índice.
2. Introducción: Describe el objetivo del informe (porque se hizo) quien pidió que se hiciera el informe y que contiene el informe.
3. Antecedentes: resume la información necesaria sobre los equipos involucrados, características técnicas, sirve para entender el sistema.
4. descripción del problema: indica que ocurrió, como se presento la falla y los daños que ocasionó.
5. Conclusiones: Resume los pasos seguidos y los resultados encontrados.
6. Recomendaciones: Resume que hay que hacer para solucionar el problema y para prevenir que se repita en el futuro.
7. Anexos. Incluirá registro de inspección antes, durante y después de la falla, fotografía y cualquier otro documento que soporte el informe.

A continuación se detalla el formato a llenar, derivado de la inspección periódica que se debe de realizar para verificar el buen funcionamiento del sistema de protección catódica por ánodos de sacrificio en tanques de almacenamiento:

REGISTRO PARA SUPERVISIONES PERIÓDICAS DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA

FECHA: ___/___/___		INSTALACIÓN: _____	
INFORMACIÓN DEL TÉCNICO EN PROTECCIÓN CATÓDICA:			
Nombre y Apellido _____		Teléfono: _____	
Dirección: _____			
Indique cual de las siguientes situaciones se aplica:			
<ul style="list-style-type: none">• Inspección requerida a los 6 meses de instalada la protección catódica.• Inspección requerida cada 3 años a partir de la inspección anterior.• Inspección requerida a los 6 meses de cualquier actividad de reparación. Indique el tipo de reparación y la fecha:			
Método de inspección de la protección catódica utilizado (marque uno)			
<input type="checkbox"/>	Ensayo de polarización de 100 mV		
<input type="checkbox"/>	Ensayo de -850 mV. Circule 1 ó 2		
	1) Potencial polarizado (“off instantaneo”)		
	2) Potencial con la protección catódica aplicada, corrigiendo el error IR		
<input type="checkbox"/>	Otro método aceptable (describirlo) _____		
<small>Todo potencial debe estar arriba de 850 mV para pasar la prueba</small>			
Esta trabajando apropiadamente el sistema de protección catódica		SI	NO
FIRMA _____		FECHA _____	
Si la respuesta es “NO” , indicando que su sistema de protección catódica no esta trabajando, deberá contar con un experto en protección catódica para que investigue y arregle el problema.			

Además suministre un diagrama esquemático de los tanques, para saber donde están ubicados y saber en donde se esta ubicado cada punto de prueba de la protección catódica y su valor de potencial obtenido.

CAPITULO 6. ANALISIS ECONOMICO

Al aplicar la protección catódica como sistema de prevención contra la corrosión en nuestros tanques de almacenamiento, será necesario generar un costo, por tal motivo se mostrara cuales son los resultados obtenidos al aplicar dicho método.

Hay que dejar claro que la vida útil del tanque va estar en función del nivel corrosivo del suelo, por tal motivo la intención es duplicar la vida útil en cualesquiera que sean las condiciones a las que estará sujeto el tanque de almacenamiento. Por lo que se tomara un dato promedio de vida de los tanques para realizar este ejercicio.

Datos de importancia

Entre los datos importantes a mencionar son los siguientes:

- Se utilizara una tasa de interés igual a la tasa de inflación anual la cual es de 6.4 %, según lo reportado por el Banco de Guatemala.
- La vida útil de los tanques será de 20 años.
- Al final de la vida útil de los tanques los valores de recuperación será de cero.

Descripción de costos:

Entre los costos que tomaremos en cuenta son todos aquellos que intervienen directa e indirectamente para la instalación de un tanque así como la misma protección catódica, a continuación se detallan los siguientes costos:

Costos de la protección catódica:

Tipo de instalación del sistema de protección catódica: Con relleno

Instalación: Q. 2,500.00

Mantenimiento: Q1500 c/5 años

Contempla la instalación de 2 ánodos de sacrificio de magnesio de 18 kilogramos c/u.

Vida útil aproximada del sistema: 20 años

Costo instalación de tanques:

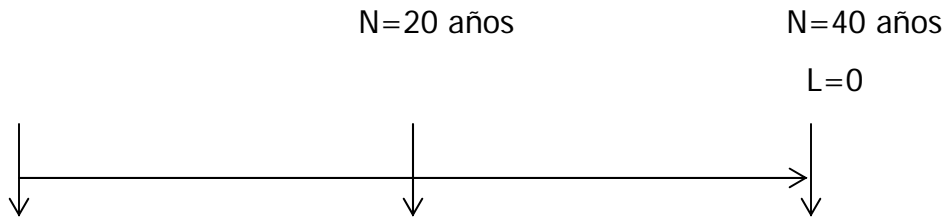
Capacidad del tanque: 4,000 galones

Costo tanque:	Q.26,000.00
Costo instalación del tanque:	Q. 5,000.00
Costo calibración del tanque:	Q. 2,000.00
Costo Instalación accesorios:	Q. 5,000.00
Costo instalación de la tierra física:	Q. 1,200.00
Costo Certificado de funcionalidad del tanque:	<u>Q. 1,500.00</u>
	Q.40,700.00

Vida promedio del tanque: 20 años

Análisis sin protección catódica (A1):

Tomando una tasa de inflación del 6.4% anual



$P1 = Q.40,700$

$P2 = Q.140,743$

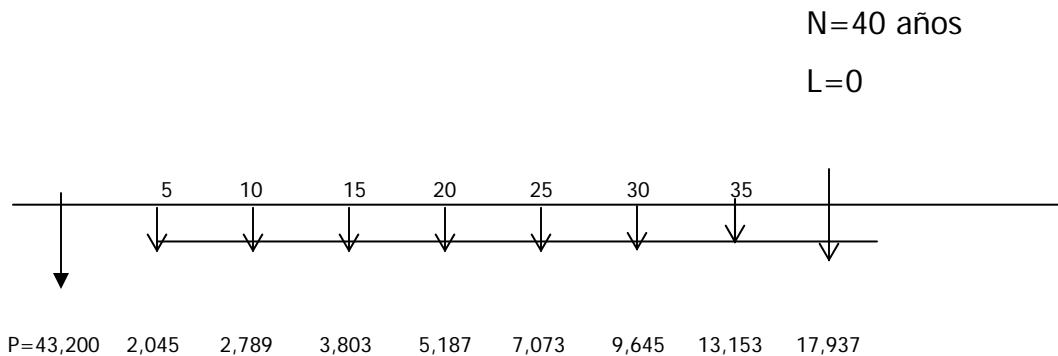
$VpA1 =$ Inversión inicial + Reemplazo de tanque

$VpA1 = Q.40,700 + Q.140,743[1/(1+0.064)^{20}]$

$VpA1 = Q.81,400$

Análisis con protección catódica (A2):

Tomando en cuenta una tasa de inflación de 6.4%



$VpA2 =$ Inversión inicial + Mantenimiento

$VpA2 = Q.43,200 + Q.12,000$

$VpA2 = Q.55,000$

Lo que se puede observar es que si aplicamos la protección catódica en los tanques de almacenamiento, tomando en cuenta un mantenimiento adecuado, podremos con una pequeña inversión duplicar la vida útil del tanque, evitando el reemplazo normal cada 20 años.

Para la llevar acabo la instalación de la protección catódica únicamente debemos incrementar en un 6% de la instalación total del tanque.

CONCLUSIONES

1. La corrosión es un proceso natural, el cual puede ser químico o electroquímico con el fin de degradar un material (por lo general metálico) a su estado original, ya que los metales se encuentran en un estado de equilibrio con baja energía y es el hombre a través de los procesos metalúrgicos que los extrae y los transforma en estructuras útiles pero con altos niveles de energía, por tal razón la corrosión se le denomina metalurgia al revés.
2. El tipo de protección catódica más utilizado para proteger los tanques de almacenamiento en las estaciones de servicio en Guatemala es el sistema de ánodos de sacrificio, en donde los ánodos pueden ser instalados ya sea soldados a las paredes de los tanques o con relleno, dichos sistemas son los más utilizados debido a que es más económico, pero esto es debido también a que es ideal para la instalación de 1 a 3 tanques, el cual es el número de tanque promedio que se instala en las estaciones de servicio a nivel de la república.
3. Los principales parámetros para determinar el diseño y la instalación de un sistema de protección catódica por medio de ánodos de sacrificio son la resistividad del suelo y el potencial. En donde la resistividad eléctrica es el más importante ya que nos da a conocer la agresividad del suelo en donde enterraremos los tanques y el potencial nos indicará si nuestra estructura está protegida contra la corrosión.

4. Cuando utilizamos ánodos con relleno, dicho relleno debe de ser 25% bentonita y 75% yeso, introducidos en una bolsa de tela, con ello aseguraremos la buena conductividad y flujo constante de corriente proporcional del ánodo hacia nuestra estructura.

5. Para la instalación de un sistema de protección catódica por medio de ánodos de sacrificio, los ánodos para suelos pueden ser de magnesio, Zinc y para agua de mar el Aluminio, considerando que cada uno de ellos tiene una eficiencia, rendimiento de trabajo y potencial de trabajo diferente, así también la pureza del metal y el tamaño del ánodo nos brinda una vida útil mayor para dicho sistema.

6. La implementación del sistema de protección catódica en los tanques de almacenamiento puede duplicar su vida útil, lo que representa un ahorro en gastos de reemplazos, instalación de equipos y todo aquello que compete la instalación de un tanque, costando dicha protección durante la vida total del proyecto un 25% de la inversión total de la instalación del tanque.

RECOMENDACIONES

1. Para la instalación de ánodos de sacrificio soldados a la pared de los tanques se debe de instalar otro sistema de protección para la tubería ya que está casi queda desprotegida en este tipo de instalación, recordando que se debe de mezclar en el suelo donde se instalaran los tanques de almacenamiento bentonita y arcilla para retener la humedad y mejorar la conductividad eléctrica.
2. Se debe de supervisar cada tres años como máximo el sistema de protección catódica, para verificar su funcionamiento y si realmente está protegiendo los tanques de almacenamiento y en su defecto corregir el problema.
3. El personal que realizará el control e inspección del funcionamiento del sistema de protección catódica tiene que ser capacitado y certificado, debido a la responsabilidad y efectos colaterales que se pueden generar por dictaminar erróneamente, debido a la gran capacidad de contaminación ambiental que tienen los combustibles principalmente los derivados del petróleo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ley de Comercialización de Hidrocarburos, Decreto Número 109-97
2. Reglamento de la Ley de Comercialización de Hidrocarburos, Acuerdo Gubernativo Número 522-99.
3. Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, No. De Documento NRF-017-PEMEX-2001.
4. Protección Catodica – L. Applegate – McGraw Hill.
5. Programa de Capacitación, Inspector de Oleoductos y Gasolineras, Ministerio de Energía y Minas, Ing. Jorge H. Goldin S., 2002.

ANEXOS

A-1 NORMAS INTERNACIONALES

API (“AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE”)

API RP 1615: Installation of underground petroleum product storage system

API RP 1632: Cathodic protection of underground petroleum storage tanks and piping systems.

NECE (“NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS”)

RP 0169: “Control of external corrosion on submerged metallic piping system”

RP 0285: “Control of external corrosion on metallic buried, partially buried, and submerged liquid storage systems cathodic protection of underground petroleum storage tanks and piping systems”

NFPA (“NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION”)

NFPA 30: “Flammable and combustible liquids code”

NFPA 30A: “Automotive and marine service station code”

OSHA (“OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH ADMINISTRATION”)

OSHA 29 CFR 1910.106: “Flammable and combustible liquids”

OSHA 29 CFR 1910.120: “Hazardous waste operations and emergency response and excavating”

OSHA 29 CFR 1910.134: “Occupation safety and health standards”

OSHA 29 CFR 1926 subpart P.

PEI (“PETROLEUM EQUIPMENT INSTITUTE”)

PEI/RP 100: “Recommended practice for installation of underground liquid storage systems”

STI (“STEEL TANK INSTITUTE”)

STI F841: “Standard for dual wall underground steel storage tanks”

STI F894: “ACT – 100® Specification for external corrosion protection of FRP composite steel USTs”

STI F922: “Permatank® specification”

STI PP4: “PP4 Permacell plus installation instructions”

STI R821: “sti-P3® installation instruction”

STI R892: “Recommended practice for corrosion protection of underground piping network associated with liquid storage and dispensing systems”

STI R913: “ACT-100® installation instruction”

STI R923: “Permatank® installation instructions”

STI P3: “sti-P3® specifications and manual for external corrosion protection of underground steel storage tanks”

UL (“UNDERWRITER’S LABORATORIES”)

UL 58: “Standard for steel underground tanks for flammable and combustible liquids”

UL 87: “Standard for powered-operated dispensing device for petroleum products and combustible liquids”

UL 567: “Standard for pipe connectors for flammable and combustible liquids and LP Gas”

UL 842: “Standard for valves for flammable fluids”

UL 971: “UL listed non-metal pipe”

UL 1238: “Control equipment for use with flammable liquid dispensing devices”

UL 1746: “Standard for corrosion protection systems for underground storage tanks”

A-2 VALORES DE POTENCIALES NORMALES PARA CIERTOS MATERIALES

ELEMENTO QUÍMICO	SÍMBOLO	POTENCIAL (VOLTIOS)
POTASIO	K	-2.922
CALCIO	Ca	-2.870
SODIO	Na	-2.712
MAGNESIO	Mg	-2.340
BERILIO	Be	-1.700
ALUMINIO	Al	-1.670
MANGANESO	Mn	-1.050
CINC	Zn	-0.762
CROMO	Cr	-0.710
GALIO	Ga	-0.520
HIERRO	Fe	-0.440
CADMIO	Cd	-0.402
INDIO	In	-0.340
TALIO	Tl	-0.336
COBALTO	Co	-0.277
NÍQUEL	Ni	-0.250
ESTAÑO	Sn	-0.136
PLOMO	Pb	-0.126
HIDRÓGENO	H ₂	0.00
COBRE	Cu ⁺⁺	0.345
COBRE	Cu ⁺	0.522
MERCURIO	Hg ⁺⁺	0.854
PLATINO	Pt	1.200
ORO	Au ⁺⁺⁺	1.420
ORO	Au ⁺	1.680

A-3 SELECCIÓN DE MATERIALES PARA DIFERENTES MEDIOS CORROSIVOS

MEDIO CORROSIVO	MATERIALES
ÁCIDO CLORHÍDRICO CALIENTE	HASTELOY
ÁCIDO FLUORHÍDRICO	MONEL
ÁCIDO NÍTRICO	ACEROS INOXIDABLES
ÁCIDO NÍTRICO CALIENTE	TITANIO
ÁCIDO SULFÚRICO DILUIDO	PLOMO O REVESTIMIENTO DE CAUCHO
ÁCIDO SULFÚRICO CONCENTRADO	ACERO AL CARBONO NORMAL
AGUA DE MAR O AGUA SALOBRE	BRONCES
AGUA DESTILADA	ESTAÑO
AMONÍACO EN SOLUCIÓN	ACEROS INOXIDABLES
ATMOSFERAS NO CONTAMINANTES	ALEACIONES DE ALUMINIO
COLORO HÚMEDO	TITANIO
EROSIÓN – CORROSIÓN	FUNDICIONES CON SILICIO
SODA CÁUSTICA	ALEACIONES DE NÍQUEL

A-4 PROCEDIMIENTO DEL CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO POR EL MÉTODO DE 4 BARRAS

Equipos: Nilsso 400, Metrawatt o similar
Herramientas: 4 barras, 4 cables, 1 martillo, 1 cinta métrica de 20 metros

Procedimiento:

- 1) Se revisa el terreno seleccionado, verificar que no existan tuberías, cables ni estructuras cercanas, también no deben de haber torres de alta tensión a menos de 200 metros.
- 2) Se instalan las barras en una línea recta, con una separación entre cada dos barras consecutivas de 1 metro. Las barras se clavan hasta que queden firmes en el terreno.
- 3) Se conectan los cables, un extremo a la barra y el otro al instrumento. Tener cuidado con los bornes de conexión, hay uno específico para cada barra, siempre que sea posible utilice cables de diferentes colores para evitar errores de conexión.
- 4) Se efectúa la medición.
- 5) Se repite el procedimiento separando las barras 2 metros entre sí.
- 6) Se repite el procedimiento separando las barras 3 metros entre sí.
- 7) Se repite el procedimiento separando las barras 4 metros entre sí.
- 8) Se toma nota de los valores de resistencia indicados por el instrumento para cada caso.
- 9) Se calcula la resistividad utilizando la formula siguiente:

$$\text{Resistividad (ohmios-cm)} = \text{resistencia}_{(\text{ohmios})} \cdot (2)(3,1416)(\text{separación entre barras})_{(\text{cm})}$$

Interpretación de resultados	Resistividad	Agresividad del suelo
	0 a 5000	Altamente corrosivo
	5000 a 10000	Corrosivo
	> 10000	Poco corrosivo

A-5 PROCEDIMIENTO DEL CÁLCULO DEL POTENCIAL

Equipos: Tester o Multímetro

Herramientas: Electrodo de referencia, cables, navaja y punzón

Procedimiento:

1. Se llena el electrodo de referencia con cristales de sulfato de cobre hasta una altura aproximada de 1/3 del total. Se completa con agua, sin llenar totalmente. Se agita.
2. Se ubica el punto donde se apoyara el electrodo en el suelo se limpia la vegetación y piedras si es necesario se excava ligeramente. Debe estar lo mas cerca posible de la estructura a medir. En caso de que este muy seco se moja con agua, y apoye el electrodo en el suelo.
3. Se conecta el borne positivo con el cable rojo al electrodo de referencia y el borne negativo con el cable negro a la estructura, asegúrese de limpiar bien la superficie o el cable para hacer buen contacto.
4. Se enciende el tester o multímetro y se coloca en la escala de milivoltios (mV).
5. Se anota el valor indicado.
6. Al terminar su sesión de mediciones vacíe la solución de sulfato de cobre del electrodo y sumerja la punta cerámica en agua, déjela sumergida hasta su siguiente sesión de mediciones.

Interpretación de resultados	Potencial	Estructura
	Igual o mayor a 850 mV	Protegida
Menor a 850 mV	No protegida	

A-6 SOLDADURA AUTOFUNDENTE TIPO "CADWELD"

Introducción:

La soldadura autofundente o tipo "cadweld" es un sistema de unión entre dos metales o aleaciones que se emplean para conectar:

- Cable con cable
- Cable con pared metálica de un tanque.
- Cable con pared metálica de una tubería.
- Cable con barra de aterramiento.

Estas son solamente las aplicaciones mas importantes dentro del campo de la protección catódica; sin embargo se puede utilizar para otras aplicaciones.

Partes de la soldadura:

Molde: es de grafito, resistente al calor.

Cartucho: la mezcla de polvos reactivos viene en un pequeño recipiente plástico con tapa.

Encendedor: en forma de pistola, genera chispa y se emplea para encender los polvos reactivos.

Disco metálico: se utiliza para tapar el orificio interior del molde; encima de este disco se colocan los polvos reactivos.

Alicate: herramienta necesari para sostener algunos tipos de moldes.

Cadena: algunos moldes disponen de una cadena para facilitar su sujeción a la estructura a ser soldada. Muy util para soldar cables a tuberías de poco diámetro, a fin de evitar que el molde se caiga o deslice durante el proceso de soldadura.

Ejecución de la soldadura:

Para llevar acabo la soldadura correctamente debemos realizar los siguientes pasos:

Limpieza y preparación de las partes a soldar.

Cables: se quita la cubierta plástica exterior del cable con una navaja o pelacables. Se cepillan los hilos de cobre con un cepillo de alambre de bronce hasta que adquieran un brillo metálico intenso. Esto es indispensable para eliminar la capa de resina que cubre los hilos de cobre, de lo contrario la soldadura no quedara bien.

Tanque: eliminar la capa de revestimiento con navaja, cepillo de alambre manual o mecánico, solvente o cualquier método o combinación apropiada de ellos.

Siempre hay que verificar que no existan gases inflamables por medio de un explosímetro, ya que se puede generar alguna chispa durante la preparación de las superficies previo a soldarlas.

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA AUTOFUNDENTE TIPO "CADWELD"

8. Se conectan las partes a soldar dentro de la cámara de soldadura del molde.
9. Se abre la tapa superior del molde.
10. Se tapa el orificio interior con el disco metálico.
11. Se echan los polvos reactivos (cartucho) sobre el disco metálico.
12. Se cierra la tapa superior del molde.
13. Se coloca la punta del encendedor en la abertura de la tapa.
14. Se aprieta el disparador del encendedor hasta que las chispas enciendan los polvos reactivos.
15. Se espera a que la reacción termine.
16. Se retira el molde. A veces es necesario golpear suavemente el molde en forma paralela a la superficie donde está apoyada para que se desprenda.
17. Se verifica la calidad de la soldadura golpeándola con un martillo en forma paralela sobre la superficie (unión cable-tanque) o bien halando fuertemente ambos cables, la soldadura debe permanecer inalterada.
18. Se espera a que se enfríe el molde y se limpia con la herramienta apropiada. Esto permite que el molde dure mucho tiempo y permita la realización de muchas soldaduras.

Como medidas de seguridad en la ejecución de la soldadura el operador deberá utilizar guantes de protección térmica, anteojos oscuros de seguridad y zapatos de seguridad. Antes de soldar se verificará con un explosímetro que las condiciones ambientales son apropiadas.