

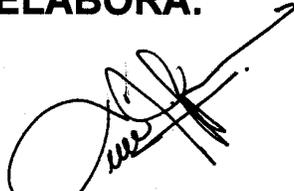
N° de Documento: NRF-017-PEMEX-2001	 COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS
Rev.: 0	
Fecha: 09 de Junio del 2001	
PÁGINA 1 DE 41	SUBCOMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN DE PEMEX REFINACIÓN

PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 2 DE 41
DOCUMENTO NORMATIVO		

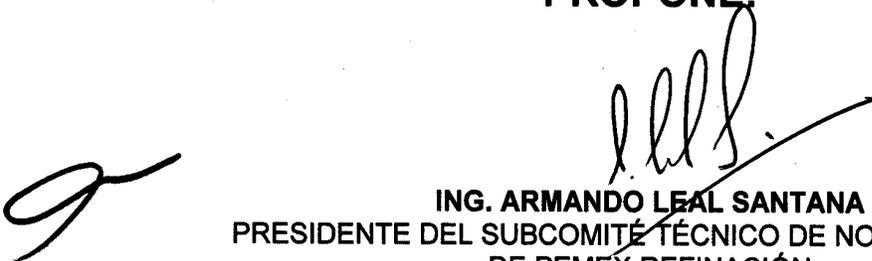
HOJA DE AUTORIZACIÓN

ELABORA:



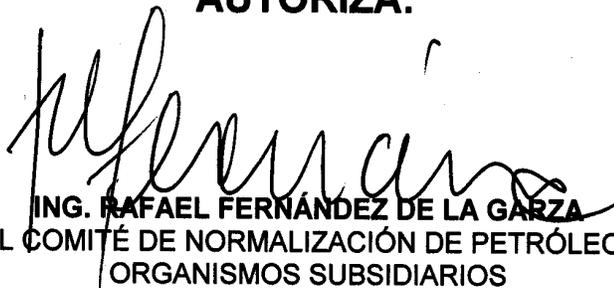
ING. RENÉ J. LONGORIA LOREDO
COORDINADOR DEL GRUPO DE TRABAJO

PROPONE:



ING. ARMANDO LEAL SANTANA
PRESIDENTE DEL SUBCOMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN
DE PEMEX REFINACIÓN

AUTORIZA:



ING. RAFAEL FERNÁNDEZ DE LA GARZA
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y
ORGANISMOS SUBSIDIARIOS

México, D. F., a 09 de Junio del 2001.

 COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
DOCUMENTO NORMATIVO		PÁGINA 3 de 41
FECHA: 09 de Junio del 2001		

CONTENIDO

CAPÍTULO	PÁGINA
0. INTRODUCCIÓN	5
1. OBJETIVO	5
2. ALCANCE	6
3. ACTUALIZACIÓN	6
4. CAMPO DE APLICACIÓN	6
5. REFERENCIAS	6
6. DEFINICIONES	6
7. SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	8
8. DESARROLLO	9
8.1. Métodos de protección catódica para control de la corrosión	9
8.2. Limitaciones de protección catódica externa	20
8.3. Otros factores que afectan la protección catódica	21
8.4. Contención Secundaria	21
8.5. Diseño	22

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
DOCUMENTO NORMATIVO		PÁGINA 4 de 41
FECHA: 09 de Junio del 2001		

8.6. Construcción	30
8.7. Mantenimiento	36
8.8. Documentación y Registros	38
9. RESPONSABILIDADES	40
10. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES	40
11. BIBLIOGRAFÍA	40
12. ANEXOS	41

 COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
DOCUMENTO NORMATIVO		PÁGINA 5 de 41
FECHA: 09 de Junio del 2001		

0. INTRODUCCIÓN

Existen muchas formas de corrosión. Los dos tipos más comunes relacionados con el fondo de un tanque son la general y la puntual. En la corrosión general, se forman miles de celdas microscópicas sobre un área de la superficie del metal, resultando en pérdida de metal. En la corrosión puntual, las celdas individuales son más activas y se pueden identificar distintas áreas anódicas y catódicas. La pérdida del metal en ese caso puede concentrarse dentro de áreas relativamente pequeñas, sin que la corrosión afecte áreas considerables de la superficie.

La composición del metal es importante para determinar que áreas de la superficie se convierten en ánodos o en cátodos. Pueden surgir diferencias de potencial electroquímico entre áreas adyacentes por la distribución desigual de los elementos en la aleación o en los contaminantes, dentro de la estructura del metal. La corrosión también puede originarse por la diferencia entre el metal de la soldadura, las zonas afectadas por calor y el metal base.

Las propiedades físicas y químicas de los electrolitos también influyen en la formación de áreas catódicas sobre la superficie del metal. Por ejemplo, se pueden generar diferencias de potencial entre áreas de una superficie de acero, debido a las diferentes concentraciones de oxígeno. Las áreas con bajas concentraciones de oxígeno se convierten en anódicas y las áreas con altas concentraciones de oxígeno se convierten en catódicas. Esto puede causar corrosión en áreas donde el barro y otros residuos se hallan en contacto con el fondo de acero de un tanque sobre una capa de arena o donde un tanque se coloca sobre dos tipos diferentes de suelo.

Las características del suelo afectan sustancialmente el tipo y velocidad de corrosión de una estructura en contacto con el suelo. Por ejemplo, las sales disueltas influyen en la capacidad de transporte de corriente de los electrolitos del suelo y ayuda a determinar las velocidades de reacción sobre las áreas anódicas y catódicas. El contenido de humedad, el pH, la concentración de oxígeno y otros factores interactúan de manera compleja, influyendo en la corrosión.

En la elaboración de esta norma participaron las siguientes organizaciones:

Confederación Nacional de Cámaras Industriales
Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos
Instituto Mexicano del Petróleo
Pemex Corporativo
Pemex Exploración y Producción
Pemex Gas y Petroquímica Básica
Pemex Petroquímica
Pemex Refinación
C.E.E.M.S.A
COMISA Proyectos y Construcciones S. A.

1. OBJETIVO

Establecer una Norma de Referencia que involucre los criterios, metodologías y requisitos mínimos para aplicarse en el diseño y construcción de los sistemas de protección catódica para tanques de almacenamiento que contengan hidrocarburos.

 COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		DOCUMENTO NORMATIVO
		PÁGINA 6 de 41
FECHA: 09 de Junio del 2001		

2. ALCANCE

El alcance de esta norma, es para el control de corrosión en tanques de almacenamiento que se encuentran en contacto directo con el terreno tanto nuevos como existentes y lo relativo a la protección interior de los mismos, utilizando la técnica de protección catódica.

Los criterios para la aplicación de esta norma se mencionan a continuación:

- a) cuando el producto contenido es corrosivo.
- b) cuando el sistema esté aislado con respecto a otros.
- c) compatibilidad con el sistema de recubrimientos.

3. ACTUALIZACIÓN

Las sugerencias para la revisión de esta Norma de Referencia, deben enviarse al Secretario Técnico de Normalización de Pemex Refinación, quién deberá programar y realizar la actualización de acuerdo a la procedencia de las mismas. Sin embargo, esta Norma se debe revisar y actualizar, al menos, cada 3 años o antes, si las sugerencias o recomendaciones de cambio de cualquiera de las partes involucradas lo ameritan.

4. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma es de observancia obligatoria en las adquisiciones o contrataciones de los bienes y servicios objeto de las mismas y que se lleven acabo en las áreas de Petróleos Mexicanos y sus Organismos Subsidiarios y Empresas Filiales que contemplen en sus instalaciones tanques de almacenamiento.

5. REFERENCIAS

- 5.1. NOM-008-SECRE-1999 "Control de la corrosión exterior en tuberías enterradas y/o sumergidas".
NOM-001-SDE-1999 " Instalaciones eléctricas (utilización)".

6. DEFINICIONES

Para propósitos de esta norma se establecen las definiciones siguientes:

6.1. Ánodo.

Es el electrodo de una pila galvánica o celda electroquímica en el cual ocurre el fenómeno de oxidación (material atacado).

6.2. Ánodo galvánico o de sacrificio.

Elemento emisor de corriente eléctrica con potencial normal de oxidación más electronegativo que el de la estructura por proteger y que al emitir la corriente eléctrica de protección, se consume.

 <p>COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS</p>	<p align="center">PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO</p>	<p align="center">No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0</p>
<p align="center">DOCUMENTO NORMATIVO</p>		<p align="center">PÁGINA 7 de 41</p>
<p>FECHA: 09 de Junio del 2001</p>		

6.3. Cátodo.

Es el electrodo de una pila galvánica o celda electroquímica en el que ocurre la reacción de reducción. En un sistema de protección catódica, es la estructura protegida.

6.4. Corrosión.

Dstrucción del metal por la acción química y/o electroquímica de ciertas sustancias.

6.5. Caja de unión.

Equipo para el monitoreo de diferentes parámetros relativos a la protección catódica de un sistema. La instalación de la caja unión puede ser entre la cama anódica y el rectificador o entre el cable catódico y el rectificador.

6.6. Electrolito.

Conductor iónico de corriente eléctrica directa. Se refiere al subsuelo ó al agua en contacto con una estructura metálica enterrada o sumergida.

6.7. Junta de aislamiento.

Accesorio constituido de un material aislante eléctrico, que se intercala en un sistema de tubería para separar eléctricamente a la estructura por proteger del resto del sistema.

6.8. Malla.

Es un arreglo de ánodos tipo cinta (de mezcla de óxidos metálicos) para un sistema de corriente impresa con una vida de diseño de mínimo 20 años, consistente de ánodos tipo cinta espaciados en forma paralela a una distancia definida por el diseño. Los ánodos son conectados a barras conectoras (normalmente de titanio), distribuidoras de corriente, por medio de soldaduras de baja resistencia, para formar de esta manera una malla.

6.9. Material de relleno.

Mezcla de materiales sólidos que envuelven al ánodo para incrementar su conductividad eléctrica en el terreno donde se alojan.

6.10. Polarización.

Magnitud de la variación de potencial de circuito abierto en un electrodo causado por el paso de corriente eléctrica.

6.11. Protección Catódica.

Procedimiento eléctrico para proteger las estructuras metálicas enterradas ó sumergidas contra la corrosión, el cual consiste en establecer una diferencia de potencial para que convierta a las estructuras metálicas en cátodo, mediante el paso de corriente eléctrica proveniente del sistema de protección seleccionado.

 COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		DOCUMENTO NORMATIVO
		PÁGINA 8 de 41
FECHA: 09 de Junio del 2001		

6.12. Rectificador.

Equipo que convierte corriente alterna a corriente directa controlable y que es utilizado como fuente de emisión de esta corriente, para la protección catódica de una estructura por el método de corriente impresa.

6.13 Tanque de almacenamiento

Recipiente destinado para el almacenamiento de productos inflamables o combustibles derivados del petróleo

7. SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS:

Fe = Fierro

O₂ = Oxígeno

H₂O = Agua

OH = Radical oxidrilo

E.E.Q. = Equivalente electroquímico (Ley de Faraday)

F.U. = Vida útil material anódico (factor de utilización)

l = Longitud

Ø = Diámetro

° C = Grados centígrados

° F = Grados Fahrenheit

NACE = Asociación Nacional de Ingenieros en Corrosión (National Association Corrosion Engineers).

lb = libras

E = Potencial ó diferencia de potencial eléctrico

I = Intensidad de corriente eléctrica

R = Resistencia

V.C.A = Volts de corriente alterna

mV = milivolts

API = Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute)

 COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
DOCUMENTO NORMATIVO		PÁGINA 9 de 41
FECHA: 09 de Junio del 2001		

ASTM = Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (American Society of Testing and Materials)

NOM = Norma Oficial Mexicana

NMX = Norma Mexicana

PVC = Cloruro de polivinilo

IMP = Instituto Mexicano del Petróleo

IIE = Instituto de Investigaciones Eléctricas

8. DESARROLLO:

La necesidad de protección catódica debe ser determinada para todas las instalaciones de almacenamiento tanto nuevas como existentes. Se analizan los parámetros que deben ser considerados, cuando se determine si un fondo de un tanque de almacenamiento que se encuentra en contacto con el suelo, requiere de protección catódica.

El control de la corrosión mediante protección catódica para tanques de almacenamiento nuevos, los cuales se encuentran en contacto con el suelo, debe ser tomado en cuenta desde el diseño original y debe ser mantenido durante la vida de servicio del sistema, a menos que investigaciones en este campo indiquen que la protección catódica no se requiere.

8.1. Métodos de protección catódica para control de la corrosión.

La protección catódica es un método ampliamente aceptado para el control de la corrosión. La corrosión de tanques de almacenamiento de acero con fondo sobre el suelo, puede reducirse o eliminarse mediante la aplicación apropiada de la protección catódica. La protección catódica es una técnica para prevenir la corrosión que hace que toda la superficie del metal a proteger, actúe como el cátodo de una celda electroquímica. Existen dos sistemas de protección catódica:

a) Ánodos de sacrificio

b) Corriente impresa

8.1.1. Ánodos de sacrificio

Los sistemas de ánodos de sacrificio, utilizan ánodos galvánicos, los cuales están hechos de magnesio ó zinc en forma de barras, se instalan los ánodos enterrados directamente en el suelo rodeados de una mezcla química y empacados en sacos especiales.

Los ánodos están conectados al sistema de forma individual o en grupos. Los ánodos galvánicos están limitados en su corriente de salida por el voltaje del sistema y la resistencia del circuito. Se deben emplear sistemas del tipo de corriente impresa para la protección catódica de estructuras de gran tamaño, descubiertas o con recubrimiento deteriorado.

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 10 de 41
		DOCUMENTO NORMATIVO FECHA: 09 de Junio del 2001

Los sistemas de ánodos de sacrificio de protección catódica, se deben aplicar en tanques de pequeño diámetro.

Para los ánodos galvánicos en instalaciones sobre el suelo, se utilizan comúnmente tres materiales:

- a) Aleaciones de magnesio con alto potencial.
- b) Aleaciones de magnesio estándar (certificación H-1).
- c) Zinc.

Se hallan disponibles en el mercado diferentes pesos, tamaños y configuraciones de ánodos de magnesio y zinc, los cuales pueden venir desnudos o empacados con material de relleno especial. La variedad en pesos, se utiliza para cubrir los distintos requerimientos del diseño, de acuerdo a la corriente de salida y la vida útil del ánodo

Es necesario considerar material de relleno especial, cuando se instalan ánodos en suelos de alta resistividad

El material de relleno consiste en una mezcla de yeso, bentonita y sulfato de sodio, que reduce la resistencia e incrementa el área de contacto del ánodo con el suelo.

El número de ánodos que se requieren para la protección catódica de tanques de almacenamiento sobre el suelo, depende del requerimiento total de corriente y de la corriente de descarga promedio individual de los ánodos en el suelo. Al calcular la colocación de los ánodos, también deben considerarse los factores que influyen en la distribución de la corriente sobre la geometría de la estructura.

Generalmente se obtiene mejor distribución de la corriente y una polarización más uniforme, distribuyendo ánodos uniformemente alrededor del tanque o bajo los tanques de nueva construcción (figura 1).

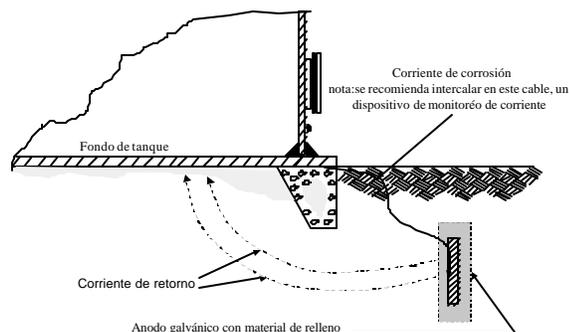


Figura 1- Protección catódica con ánodos de sacrificio

 COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 11 de 41
	DOCUMENTO NORMATIVO FECHA: 09 de Junio del 2001	

8.1.2. Sistemas de corriente impresa

8.1.2.1. Ánodos:

Los ánodos de corriente impresa deben ser de materiales como el grafito; el hierro fundido con alto contenido de silicio; metales platinizados; la magnetita y mezcla de óxidos metálicos, entre otros.

Estos ánodos se instalan desnudos con material de relleno especial (como el grafito pulverizado, con alto contenido de carbón). Están conectados, individualmente ó en grupos, a una terminal positiva o a una fuente de corriente directa, mediante conductores aislados. La estructura se conecta a la terminal negativa, desde una fuente de corriente directa (rectificador) (figura 2).

Para instalaciones en el suelo se prefiere el grafito, el hierro fundido con alto contenido de silicio o mezcla de óxidos metálicos.

Cada material del ánodo tiene una densidad de corriente óptima que da una máxima vida de servicio al ánodo.

Los ánodos pueden ser localizados en camas o distribuidos cerca, abajo o alrededor, de las estructuras que se van a proteger.

Un diseño adecuado para una cama de ánodos debe:

- a) Evitar interferencias físicas con las estructuras existentes, particularmente con los sistemas de tierra física.
- b) Suministrar una corriente uniformemente distribuida.
- c) Evitar interferencias de corrientes parásitas de estructuras adyacentes.

El número de ánodos para un diseño particular de protección catódica, se determina por el requerimiento total de corriente de las estructuras por proteger y por la densidad de corriente óptima del material seleccionado para el ánodo.

Al diseñar la distribución de los ánodos, deben instalarse ánodos adicionales para un flujo más uniforme de la corriente y para permitir un margen en caso de fallas aisladas en la conexión, o por agotamiento de algunos ánodos.

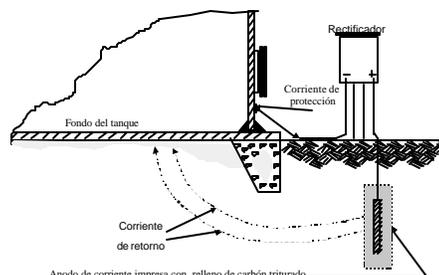


Figura 2.- Protección catódica con corriente impresa

 <p>COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS</p>	<p align="center">PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO</p>	<p align="center">No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0</p>
<p align="center">DOCUMENTO NORMATIVO</p>		<p align="center">PÁGINA 12 de 41</p>
<p>FECHA: 09 de Junio del 2001</p>		

8.1.3. Materiales de los ánodos

8.1.3.1. Ánodos inertes para corriente impresa.

Los ánodos inertes más comúnmente utilizados en los sistemas de protección catódica por corriente impresa son:

a) Ánodo de grafito

El grafito es el material más empleado para la instalación de dispositivos anódicos en tierra, por su gran conductividad y bajo consumo en la mayoría de los suelos.

Uso: en todo tipo de suelo

b) Ánodo de acero al alto silicio

Este tipo de ánodos son más conocidos como de "Ferro-silicio" y se producen en dos aleaciones de acero al alto silicio cuyas características son:

b.1. Ánodo de acero al alto silicio (ferrosilicio).

Uso: Terreno de baja resistividad .

b.2. Ánodo de acero al alto silicio y cromo.

Se fabrican en forma cilíndrica tanto sólidos como tubulares.

Uso: en condiciones de muy baja resistividad y agua salada.

c) Ánodo de mezcla de óxidos metálicos.

Estos ánodos son fabricados de un sustrato de titanio el cual es recubierto con un catalizador de mezcla de óxidos metálicos. Debido a que el sustrato de titanio es protegido en forma natural por una capa oxidante, el ánodo conserva sus dimensiones durante el tiempo de vida del sistema. La conducción de la corriente se lleva a cabo a través del catalizador de mezcla de óxidos metálicos, el cual es altamente conductivo y totalmente oxidante por lo que se pueden lograr corrientes de alta intensidad.

d) Ánodo platinizado.

El platino siendo un buen conductor presenta un consumo prácticamente nulo a cualquier densidad de corriente. Pero debido a su alto costo su uso es muy restringido.

Uso: en forma de recubrimiento sobre otro metal base como la plata o el titanio.

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 13 de 41
		DOCUMENTO NORMATIVO FECHA: 09 de Junio del 2001

8.1.3.2. Ánodos galvánicos (de sacrificio)

Este tipo de ánodos sirven esencialmente como fuente de energía, donde no es posible obtener energía eléctrica con facilidad o en las que no es conveniente o económico instalar líneas de energía para este propósito, los materiales que mas se utilizan como ánodos galvánicos son el magnesio, el aluminio y el zinc.

a) Ánodo de magnesio

Se fabrican en diversos pesos y medidas incluyendo cintas y barras, considerando el criterio del diseñador. El magnesio es el material mas utilizado como ánodo galvánico. estos ánodos deben de cumplir con la norma NMX-K-109-1997 y con el procedimiento ASTM G97 o equivalente.

Uso: principalmente para proteger estructuras enterradas, tanques, condensadores, ductos, entre otros.

b) Ánodo de aluminio.

Se fabrican en diversos pesos y medidas.

Uso: para proteger estructuras sumergidas que operan con altas temperaturas en plataformas marinas.

c) Ánodo de zinc.

Este tipo de ánodos se fabrican con zinc de alta pureza (99.99%) en diversos pesos y medidas con alma de tubo, varilla o patín de solera galvanizada para su instalación.

Usos: en forma de brazaletes para proteger estructuras sumergidas, tuberías de acero desnudas en suelos de baja resistividad, cascos de barcos, entre otros.

8.1.4. Materiales de relleno.

Se utilizan para ampliar el área de los ánodos con el fin de reducir su resistencia de contacto con el suelo.

a) Para ánodos inertes

En estos casos se usa como material de relleno, carbón de coque metalúrgico pulverizado.

b) Para ánodos galvánicos.

En estos casos se usa como material de relleno la composición que a continuación se indica, (Tabla No. 1), pero dependiendo de la resistividad del terreno el porcentaje variará.

 COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS DOCUMENTO NORMATIVO FECHA: 09 de Junio del 2001	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 14 de 41

MATERIAL	PESO EN %
Yeso seco en polvo	75
Bentonita seca en polvo	20
Sulfato de sodio anhidro.	5
Agua para saturar la mezcla.	
Cantidad de relleno por ánodo:	
Peso de ánodo kilogramos (lb)	Cantidad de relleno kilogramos (lb)
7.71 (17)	13.61 (30)
14.51 (32)	15.88 (35)
21.77 (48)	23.58 (52)

8.1.5. Requerimientos de corriente y voltaje.

Para un diseño óptimo, la corriente requerida para la protección catódica debe calcularse utilizando los resultados de pruebas de requerimientos de corriente.

Sin embargo, en ausencia de una prueba de requerimiento de corriente, una densidad aceptable de la corriente es de entre 2 a 3 miliamperios por 0.09 metro cuadrado (un pie cuadrado), en condiciones ambientales normales. (Principios y prevención de la corrosión por Denny A. Jones página 457)

Si se lleva a cabo una prueba para determinar el requerimiento de corriente, ésta sólo puede efectuarse en los tanques que ya se encuentran instalados. Esta prueba se realiza utilizando una cama temporal de ánodos, con una fuente de corriente directa (figura 3).

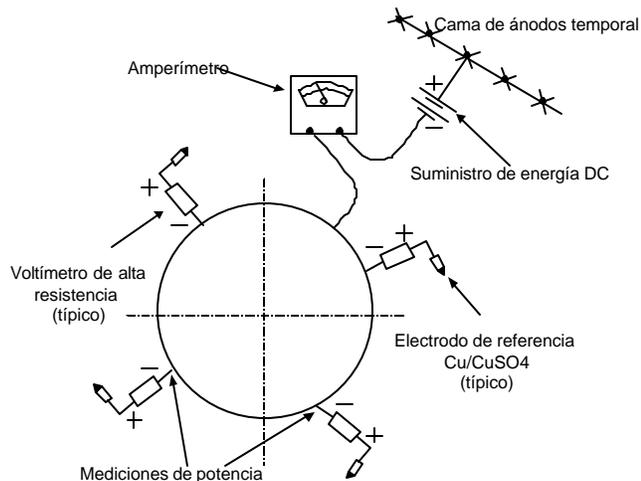


Figura 3.- Configuración para una prueba de requerimiento de corriente

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 15 de 41
		DOCUMENTO NORMATIVO FECHA: 09 de Junio del 2001

La cama temporal se posiciona típicamente en el suelo, cerca del perímetro del tanque. Dependiendo de la corriente requerida, la fuente de energía puede ser desde una batería de 12 voltios, hasta una máquina de soldar de 300 amperios.

La prueba de requerimiento de corriente se lleva a cabo forzando una cantidad conocida de corriente, desde la cama temporal de ánodos a través del suelo y hacia el tanque que se va a proteger. La cantidad de la protección alrededor del tanque y bajo su centro, si es posible, se evalúa utilizando mediciones de potencial. Estas pruebas permiten aproximaciones de la corriente requerida para proteger el tanque. Las pruebas de requerimiento de corriente deberán realizarse con un nivel de líquido adecuado en el tanque (mínimo 75 %), para maximizar el contacto del fondo del tanque, con el material de relleno en el que se asienta.

El voltaje necesario para la cantidad de corriente requerida, depende en gran parte del número y localización de ánodos y de la resistividad del suelo. Dado que la corriente se determina generalmente en las pruebas de requerimiento de corriente o es estimada, el voltaje requerido puede calcularse mediante la ley de Ohm ($E = I \cdot R$), si se conoce la resistencia del circuito.

La resistencia puede ser estimada de varias formas:

- a) Mediante sistemas existentes de corriente impresa, similares al que se va a instalar.
- b) Mediante pruebas de requerimiento de corriente, si la cama de ánodos de prueba es similar.
- c) De las pruebas de resistividad del suelo, se puede calcular la resistencia del ánodo a tierra, utilizando una variación de la ecuación de Dwight (véase el NACE 51011 ó su equivalente). La resistencia del ánodo a tierra es generalmente la parte preponderante de la resistencia total del circuito en un sistema de corriente impresa.

8.1.6. Rectificador

El rectificador de corriente es el equipo que transforma la corriente alterna en directa, este procedimiento es uno de los más empleados para la protección catódica.

Generalmente se alimenta de corriente alterna de baja tensión (110/220/440 V. C. A.) monofásica o trifásica.

En el proyecto se deben indicar las características eléctricas, de construcción, de operación e instalación procurando seleccionar la unidad más simple posible para su aplicación particular.

Es necesario que el rectificador tenga un enfriamiento adecuado, por lo que debe instalarse lejos de cualquier fuente que irradie calor o por donde circulen aire o gases calientes, así como también lejos de fuentes que tengan descargas corrosivas que pudieran atacar a la unidad, especialmente si es enfriado por aire.

El enfriamiento por aceite debe seleccionarse en áreas donde la atmósfera sea muy corrosiva o donde se acumule mucho polvo.

 COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 16 de 41
		DOCUMENTO NORMATIVO
FECHA: 09 de Junio del 2001		

Los rectificadores serán diseñados para su instalación de acuerdo a la clasificación de área según la norma NOM-001-SDE-1999.

El gabinete del rectificador, independientemente del tipo de enfriamiento, debe conectarse a tierra.

El tablero de control del rectificador debe ser de fácil acceso y debe constar fundamentalmente de:

- Terminales de alimentación de corriente alterna.
- Terminales de salida de corriente directa.
- Elementos de protección de picos eléctricos.
- Elementos para registrar las condiciones de operación (amperímetro y voltímetro de corriente directa)
- Elementos para regular las condiciones de operación (taps o potenciómetros).
- Elemento de protección para descargas atmosféricas.

8.1.6.1. Selección del rectificador.

La selección de la capacidad de salida de un rectificador dependerá de los siguientes factores:

- a) Medición o estimación del requerimiento de corriente para la estructura a proteger.
- b) El voltaje necesario para generar el flujo de corriente desde el ánodo hasta la estructura enterrada.
- c) Los rectificadores deben seleccionarse con una sobrecapacidad moderada (generalmente del 10 al 50%), para permitir ajustes durante la vida del sistema de protección catódica y evitar daños por sobrecargas de corriente. Debe tenerse cuidado cuando el exceso de capacidad del rectificador se utiliza en los ánodos. Si se incrementa la corriente de salida de los ánodos por arriba de la capacidad de drenaje especificada por el fabricante, se reducirá sensiblemente su vida útil.

8.1.7. Aislamiento eléctrico

Se deben instalar dispositivos de aislamiento, consistentes en bridas, juntas aislantes prefabricadas, juntas monolíticas o monoblock o α oplamientos, cuando se requiere el aislamiento eléctrico del sistema para facilitar la aplicación del control de corrosión. Estos dispositivos deben seleccionarse para temperatura, presión y aislamiento eléctrico correcto. Los dispositivos de aislamiento no deben instalarse en áreas cerradas, en las que existan normalmente atmósferas explosivas.

La conexión a tierra de los equipos eléctricos es un elemento esencial para la seguridad del personal.

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 17 de 41
		DOCUMENTO NORMATIVO FECHA: 09 de Junio del 2001

El instalar accesorios como medidores electrónicos, motores, mezcladores y alumbrado, también puede imposibilitar un aislamiento efectivo.

Al instalar un sistema de protección catódica en el fondo de un tanque de almacenamiento, debe considerarse que parte de la corriente puede ser adsorbida por un equipo metálico enterrado cerca.

Los dispositivos de protección de descargas atmosféricas, deben estar aislados con respecto al tanque, además de ser del tamaño adecuado. Al instalar dispositivos de aislamiento en áreas bajo la influencia, conocida o probable, de líneas de energía de alta tensión, se deben tomar precauciones para asegurar que el potencial de corriente alterna a través de dichos dispositivos no represente un peligro para el personal.

8.1.8. Protección catódica interna.

El diseño de un sistema de protección catódica interna es complicado, debido a la variación del nivel del medio corrosivo acumulado (normalmente agua). Además, la presencia de lodos y otros contaminantes pueden tener un efecto nocivo en el funcionamiento del sistema de protección catódica.

Hay muchos factores que influyen en el diseño de un sistema de protección catódica interna, como:

- a) Condición y tipo de recubrimiento.
- b) Nivel máximo y mínimo de electrolito en el tanque.
- c) Compatibilidad de líquido almacenado con ánodos y cables.
- d) Intervalos de inspección interna del tanque, que afecta la vida de diseño.

Debido a las múltiples variables asociadas al diseño de los sistemas de protección catódica interna para tanques de almacenamiento de petrolíferos, el uso de éste tipo de sistemas es limitado y no existen prácticas comunes para toda esta industria.

Se recomienda consultar las secciones 4 y 5 de la publicación NACE RP-0575-95 o su equivalente a esas secciones, para el diseño de sistemas similares para fondos de tanques de almacenamiento de hidrocarburos sobre el suelo y el NACE RP-0388-95 o su equivalente, para información sobre el diseño de sistemas de corriente impresa.

8.1.9. Criterios de protección catódica.

Existen tres criterios para conocer cuando se ha logrado una adecuada protección catódica en estructuras de acero o de hierro. Para una descripción más detallada referirse a la última edición de la norma NOM-008-SECRE-1999 "Control de la corrosión exterior en tuberías de acero enterradas y/o sumergidas".

Los siguientes criterios son los parámetros para medir la eficiencia y funcionalidad de los sistemas de protección catódica en tanques de almacenamiento.

 COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 18 de 41
	DOCUMENTO NORMATIVO FECHA: 09 de Junio del 2001	

- a) Un potencial negativo (catódico) de al menos 850 mV, con la corriente de protección catódica aplicada. Este potencial debe ser medido con respecto a un electrodo de referencia de cobre saturado/sulfato de cobre (CSC), en contacto con el electrolito. Para una interpretación válida de la medición de este voltaje, se deben considerar* las caídas de voltaje en zonas distintas a las caídas que se observan entre el fondo del tanque y la frontera del electrolito.

*Por *considerar*, se entiende que para determinar el significado de las caídas de voltaje, se aplican las prácticas aceptadas de la ingeniería, es decir, métodos como:

- a. La medición o cálculo de la caída de voltaje
 - b. La revisión del funcionamiento histórico de los sistemas de protección catódica
 - c. La evaluación de las características físicas y eléctricas del fondo del tanque y su entorno, y
 - d. La determinación de si existe o no, evidencia física de la corrosión
- b) Un mínimo de 100 mV de polarización catódica, medidos entre la superficie metálica del fondo del tanque y un electrodo estable de referencia, en contacto con el electrolito. La formación o caída de esta polarización puede medirse para satisfacer este criterio.
- c) Un potencial de protección de tubo suelo (catódico) de -950 milivolts, cuando el área circundante de la tubería se encuentra en condiciones anaerobias y estén presentes bacterias sulfato-reductoras

8.1.10. Técnicas de medición.

El método estándar para determinar la efectividad de la protección catódica en el fondo de un tanque es la medición del potencial entre el suelo y el tanque. Estas mediciones se realizan utilizando un voltímetro de alta impedancia y un electrodo de referencia, estable y reproducible, en contacto con el electrolito. Estas mediciones se toman normalmente sobre el suelo, en el perímetro del tanque, con el electrodo de referencia, como muestra la figura 4.

Las mediciones sobre el perímetro pueden no representar el potencial entre el tanque y el suelo, en el centro del fondo del tanque. Los métodos de monitoreo de estos potenciales, se discuten más adelante.

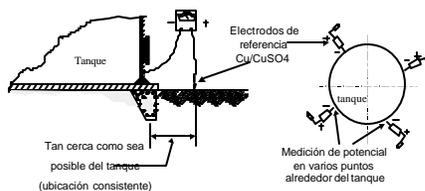


Figura 4- Esquema de medición de potencial

 COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 19 de 41
		DOCUMENTO NORMATIVO FECHA: 09 de Junio del 2001

Las mediciones del potencial entre el tanque y el suelo, generalmente se toman aplicando corriente; sin embargo, debe efectuarse una corrección por caídas de potencial (IR) en el suelo.

Las correcciones para la caída del potencial (IR) en el suelo, son a menudo necesarias para las mediciones tomadas en el perímetro del tanque, aún cuando el electrodo de referencia se coloque junto al tanque. Esto es particularmente cierto cuando los ánodos están distribuidos cerca del tanque, ya que el perímetro del tanque puede estar dentro del gradiente del campo eléctrico de los ánodos.

El valor de la caída de potencial (IR) y los métodos para su corrección, deben estar determinados por las prácticas aceptadas de ingeniería. Un método común es el de interrumpir el flujo de la corriente de los rectificadores, usando la técnica del "paro instantáneo". Una vez determinada, la caída de tensión (IR), ésta se puede utilizar en pruebas futuras, en el mismo lugar y en condiciones similares.

Debe considerarse el monitoreo del potencial entre la estructura y el suelo bajo el tanque, utilizando un electrodo de referencia instalado permanentemente o insertando un electrodo de referencia por debajo del tanque, a través de un tubo perforado (figura 5).

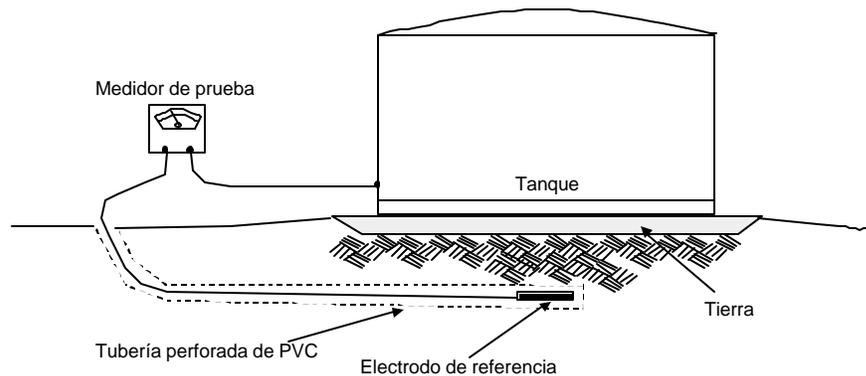


Figura 5.- Tubería perforada para el electrodo de referencia

El área del fondo del tanque en contacto con el suelo, puede variar con el nivel de líquido contenido en el tanque. Debido a que esta condición puede originar variaciones del potencial entre el tanque y suelo, el nivel del tanque debe considerarse en la inspección de campo. Para mayores detalles, consultar la publicación NACE 10A190 o su equivalente.

 COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 20 de 41
		DOCUMENTO NORMATIVO
FECHA: 09 de Junio del 2001		

8.1.11. Alternativas para electrodos de referencia.

El electrodo estándar de referencia es el de cobre saturado/sulfato de cobre el cual puede ser sustituido por los electrodos que se listan en la tabla 2, con su voltaje equivalente de - 0.85 V.

Tabla 2. Electrodo de referencia

Electrodos de referencia	V o l t a j e
Calomel Saturado KCl	- 0.78
Plata/Cloruro de plata (usado en agua de mar)	- 0.80
Z i n c	+ 0.25

8.2. Limitaciones de protección catódica externa.

La protección catódica es un medio efectivo para el control de corrosión sólo si es posible el paso de corriente eléctrica entre ánodo y cátodo en el fondo del tanque. Muchos factores pueden también reducir o eliminar el flujo de corriente eléctrica y pueden limitar la efectividad de la protección catódica en algunos casos ó imposibilitar este uso en otros casos.

Tales factores incluyen:

- a) Bases de concreto, asfalto o arena aceitosa.
- b) Un recubrimiento impermeable entre el fondo del tanque y los ánodos, como en un sistema de contención secundaria.
- c) Suelos de alta resistencia o cimientos rocosos.
- d) Fondos de tanques viejos, que se dejan en su lugar original cuando se instalan los nuevos.

Estos factores y otros adicionales se discutirán más adelante. Es importante hacer notar que la protección catódica externa no tiene efecto en la corrosión interna.

Los siguientes puntos deberán ser investigados y tomados en cuenta en la evaluación de inspección y en los datos estadísticos de corrosión:

- a) Inspección de tanques recomendada por API, estándar 653 o su equivalente.
- b) Registros de las tasas promedio de corrosión.
- c) Problemas de corrosión en tanques cercanos.
- d) Problemas de corrosión en tanques de construcción similar.
- e) Problemas de corrosión por corrientes parásitas.
- f) Diseño y funcionamiento de sistemas anteriores de protección contra corrosión.
- g) Mediciones de potencial entre el suelo y estructuras.

 COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
DOCUMENTO NORMATIVO		PÁGINA 21 de 41
FECHA: 09 de Junio del 2001		

Los siguientes aspectos deberán investigarse y determinarse al evaluarse las necesidades de protección catódica para tanques:

- a) Estructuras metálicas enterradas en las cercanías.
- b) Sistemas cercanos de protección catódica.

Si esta evaluación indica que existe corrosión externa o es probable, debe utilizarse la protección catódica u otras medidas de control de corrosión. Si la corrosión interna es un problema conocido, el uso de un recubrimiento debe ser considerado. En ciertos casos, puede ser aplicable utilizar la protección catódica interna conjuntamente con un recubrimiento.

8.3. Otros factores que afectan la protección catódica

El contenido de un tanque de almacenamiento puede influir en la corrosión del fondo del tanque. La corrosión puede acelerarse sobre la superficie externa del fondo de un tanque calentado a temperaturas elevadas, si el área de contacto es húmeda. Los tanques de almacenamiento que contienen productos calientes pueden requerir un incremento en la densidad de corriente para lograr una protección adecuada sobre la superficie externa del fondo.

Sin embargo, los operarios de los tanques deberán estar conscientes que si penetra agua en el aislamiento de un tanque, la resistividad del aislamiento puede disminuir, desarrollando una condición más corrosiva. Para esta situación, la instalación de sistemas de protección catódica deberán ser considerados.

8.3.1. Reemplazo de fondos de tanques.

El reemplazo del fondo de un tanque es una práctica comúnmente aceptada. El que se retire o no el fondo anterior, tendrá un gran impacto en los tipos de sistemas de protección catódica factibles para el control de la corrosión del nuevo fondo.

8.4. Contención Secundaria.

Hay una variedad de métodos disponibles para contención secundaria. Estos incluyen, pero no es limitativo, los siguientes:

- a) Uso de impermeabilizantes de arcilla en diques de tanques.
- b) Diseño de fondos de tanques duales.
- c) Membranas impermeabilizantes no metálicas.

El uso de contención secundaria reducirá el riesgo ambiental en caso de una fuga. Sin embargo, el uso de ciertas técnicas de contención secundaria, pueden impedir el uso de protección catódica y en algunos casos pueden acelerar la corrosión del fondo de un tanque.

Un ejemplo de un sistema de contención secundaria de doble fondo, sería la instalación de un nuevo fondo de acero sobre un fondo de acero existente que ha sido reparado. Si el agua u otro electrolito se introduce dentro del anillo entre ellos, puede formarse una celda galvánica, la cual puede causar que el nuevo fondo del tanque sufra corrosión acelerada.

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 22 de 41
		DOCUMENTO NORMATIVO FECHA: 09 de Junio del 2001

Para aplicar protección catódica a un nuevo fondo de tanque los ánodos deben ser instalados entre el viejo y nuevo fondo si la arena u otras sustancias que son conductoras o que puedan llegar a estar húmedas se usan como material de relleno.

Si un sistema de contención secundaria a base de revestimiento con membrana impermeable se encuentra colocado o se ha instalado en un área con diques antes de la construcción de un nuevo tanque, la posibilidad de la protección catódica es muy reducida.

La mayoría de los sistemas de protección catódica se vuelven ineficaces, debido a que el revestimiento actúa como una barrera para el flujo de corriente eléctrica necesaria para la protección. Otra consecuencia de contención secundaria incluye el uso de un revestimiento impermeable que puede entrapar líquidos corrosivos, resultando una corrosión más severa del fondo del tanque.

Existen ventajas y desventajas en usar revestimientos en contención secundaria. Para una discusión adicional del efecto de las barreras secundarias en los sistemas de protección catódica, véase el apartado: "Influencia en el diseño del reemplazo del fondo, del revestimiento y de los sistemas secundarios de contención."

Los recubrimientos a base de gruesas capas laminadas y resistentes a la corrosión, se instalan en tanques principalmente para prevenir la corrosión interna y frecuentemente, se usan como una alternativa al reemplazo del fondo de acero. Siempre que existan condiciones corrosivas debajo del tanque el recubrimiento podría fallar, debido a un inadecuado soporte estructural, por no estar diseñado para soportar cargas. El uso de laminados de capas gruesas u otro tipo de recubrimiento interno, no debe ser suficiente justificación para eliminar la necesidad de la protección catódica externa de fondos de tanques.

8.5. Diseño

8.5.1. Diseño de sistemas de protección catódica.

Los sistemas de protección catódica se diseñan e instalan para prevenir la corrosión del fondo de un tanque, cumpliendo los requerimientos de alguno de los criterios listados en el apartado 8.1.9 "Criterios para sistemas de protección catódica". Para obtener los resultados esperados, el sistema de protección catódica debe diseñarse adecuadamente, después de estudiar los siguientes aspectos:

- a)** Diseño, especificaciones y prácticas de ingeniería.
- b)** Procedimientos de operación.
- c)** Requerimientos de seguridad, ambientales y de áreas peligrosas.
- d)** Pruebas de campo.

En general, el diseño deberá permitir una protección adecuada contra la corrosión, minimizando los costos de operación, mantenimiento e instalación. Los principales objetivos del diseño de sistemas de protección catódica para fondo de tanques son:

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 23 de 41
		DOCUMENTO NORMATIVO FECHA: 09 de Junio del 2001

- a) Entregar y distribuir suficiente corriente al fondo del tanque, para asegurar que se cumplan los criterios de protección.
- b) Proveer una vida de diseño al sistema de ánodos y otros equipos, de acuerdo a la vida de diseño del tanque, o proveer el reemplazo periódico de los ánodos y el mantenimiento del equipo.
- c) Proveer márgenes adecuados para los cambios previsibles por aumento en los requerimientos de corriente con el tiempo.
- d) Colocar los ánodos, cables, rectificadores y estaciones de prueba en lugares donde sea mínima la posibilidad de que sufran daños físicos.
- e) Minimizar las corrientes de interferencia con las estructuras vecinas.
- f) Proveer suficientes puntos de monitoreo, con el fin de que se puedan tomar mediciones para determinar el cumplimiento del criterio de protección sobre toda la superficie del fondo del tanque.

Existen muchos factores a considerar en el diseño de ambos sistemas, interior y exterior, de protección catódica. Los sistemas de protección catódica sólo deben ser diseñados por personas con experiencia comprobada en esta práctica.

En lo posible, el diseño deberá basarse en componentes estandarizados, suministrados por proveedores especializados en la producción de elementos para sistemas de protección catódica.

8.5.2. Influencia en el diseño del reemplazo del fondo, del revestimiento y de los sistemas secundarios de contención

8.5.2.1. Barreras para la protección catódica.

La protección catódica se logra al dirigir el flujo de corriente desde un ánodo a un cátodo, resultando en la protección del cátodo. Cualquier elemento que actúe como barrera para el flujo de corriente impedirá la protección catódica. Los sistemas secundarios de contención y el reemplazo del fondo pueden ocasionar tal efecto, si no se consideran adecuadamente.

8.5.3. Consideraciones cuando se utiliza contención secundaria en un área con diques.

8.5.3.1. Recubrimiento de membrana impermeable.

Es un método utilizado para suministrar una contención secundaria, recubriendo el área entera del dique con una membrana impermeable (figura 6). Una membrana existente debajo de un tanque o proponer una para un tanque nuevo puede tener un impacto significativo sobre las alternativas y el diseño de un sistema de protección catódica.

En cada caso, los ánodos deben ser colocados entre la membrana y el fondo del tanque para que funcione la protección catódica.

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 24 de 41
	DOCUMENTO NORMATIVO FECHA: 09 de Junio del 2001	

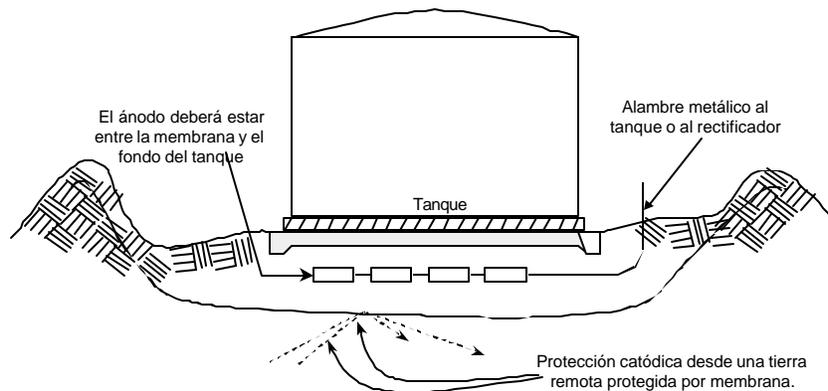


Figura 6.- Membrana impermeable abajo del tanque de almacenamiento

Sin embargo, si se instala debajo del tanque una capa de arcilla bentonítica como contención secundaria, la experiencia ha demostrado que no afectará significativamente la operación de un sistema de protección catódica convencional.

8.5.3.1.1. Tanques existentes, múltiples o individuales, con sistema de membrana entre diques.

Para instalar un sistema de protección catódica en un tanque existente, con membrana impermeable por debajo del tanque y entre las paredes del dique, una opción es horadar por debajo del tanque a un ángulo muy pequeño e instalar los ánodos. Para obtener una adecuada protección catódica, se requerirá un sistema de corriente impresa. Esto sólo será posible, si existe suficiente profundidad entre el fondo del tanque y la membrana, para no comprometer la integridad de ésta. Al presente, se tiene poca experiencia con este tipo de sistemas.

8.5.3.1.2. Tanques nuevos, múltiples o individuales, con sistema de membrana entre diques.

Los tanques nuevos con membrana impermeable por debajo, pueden equiparse con una red de ánodos de barra poco profundos o con ánodos tipo cinta, los cuales pueden ser colocados entre la membrana y el fondo del tanque durante la construcción. Tal arreglo podría ser un sistema de corriente impresa o un sistema galvánico; sin embargo, puede utilizarse un forro de arcilla geosintética e instalarse un sistema de protección catódica convencional.

 COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 25 de 41
		DOCUMENTO NORMATIVO
FECHA: 09 de Junio del 2001		

8.5.4. Reemplazo o reparación de fondos de tanques de acero.

El reemplazo o reparación de fondos de tanques de acero es una práctica común, ya que las paredes de los tanques generalmente duran más que el fondo.

Los recubrimientos se aplican frecuentemente en tanques para protección de la corrosión interior y exterior.

La instalación de un nuevo fondo en los tanques de acero, es también una práctica muy común. En el método de reparación por cambio de fondo, es muy importante determinar si se debe o no instalar un sistema de protección catódica.

Si un fondo de tanque se protege con protección catódica o si se planea protección catódica para el nuevo fondo, el fondo viejo deberá ser retirado totalmente. Si este no se retira, el fondo viejo formará un escudo que recolectará la corriente catódica a través del suelo y bloqueará la protección catódica del fondo nuevo.

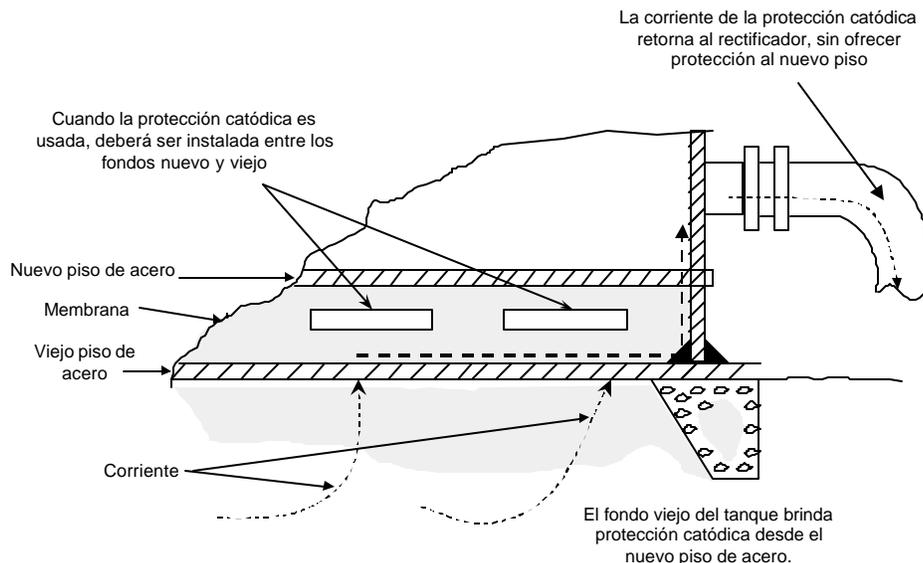


Figura. 7.- Nuevo fondo de acero encima del viejo fondo

A menos que la protección catódica sea instalada entre los dos fondos de acero o el fondo viejo sea retirado, aislado eléctricamente o cubierto con un material no conductor (Figura 7), una celda galvánica puede resultar entre el nuevo y viejo fondo.

La experiencia en la industria nos muestra, que si el electrólito conductor existe entre ambos fondos, el flujo de corriente y la pérdida del metal será desde el nuevo fondo, resultando fallas prematuras en éste.

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
DOCUMENTO NORMATIVO		PÁGINA 26 de 41
FECHA: 09 de Junio del 2001		

8.5.5. Efectos de membrana impermeable de sistemas de contención secundaria.

La instalación de membranas impermeables de contención secundaria entre el viejo y el nuevo fondo es una alternativa práctica. Existen algunas ventajas y desventajas en este método:

8.5.5.1. Ventajas:

Existen varias ventajas en instalar un sistema de contención secundaria:

- a) Se provee de un medio de contención y detección de fugas y se previene la contaminación del suelo, en caso de fuga.
- b) Se elimina el flujo de corriente entre el fondo nuevo y el fondo viejo, reduciendo así la pérdida acelerada de metal del fondo nuevo, por efecto de la corrosión galvánica.
- c) Se puede reducir la entrada de agua del manto acuífero subyacente al espacio entre fondos. En este caso, es crítica la integridad del sello entre el tanque y la membrana.

8.5.5.2. Desventajas:

Un sistema de contención secundaria podría ser desventajoso, desde el punto de vista de corrosión por las razones siguientes:

- a) Se hace prácticamente imposible agregar protección catódica en el futuro.
- b) La membrana actúa como receptáculo de agua y otros electrolitos que podrían humedecer la arena entre el nuevo y viejo fondo, acelerando la corrosión.
- c) Se podrían entrapar hidrocarburos, requiriéndose en este caso precauciones especiales para efectuar trabajos en caliente.

Para conservar las ventajas y eliminar o reducir los efectos adversos de una membrana en el fondo viejo, se debe instalar un sistema de protección catódica en el espacio entre el nuevo y viejo fondo.

Tal sistema podría consistir en una red de ánodos tipo cinta en camas, enterradas en la arena entre ambos fondos. El cableado de conexión pasa a través de la membrana y de un mamparo sellado (en la parte del fondo viejo), para ser conectado al tanque, directamente o a través de un tablero de medición.

Este tipo de sistema deberá ser instalado cuando se reemplace el fondo. Si ocurre un desgaste inesperado de ánodos, éstos no se podrán reemplazar fácilmente. Las ventajas de este sistema incluyen lo siguiente:

- a) Se reduce la necesidad de instalar sistemas de protección catódica a futuro.

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 27 de 41
		DOCUMENTO NORMATIVO FECHA: 09 de Junio del 2001

- b) La membrana actúa como una barrera para el flujo de corriente, protegiendo el fondo viejo y dirigiendo todo el flujo de corriente hacia el nuevo fondo.
- c) Mientras la arena permanezca seca, la velocidad de corrosión y el flujo de corriente serán reducidos, como resultado de la alta resistividad de la arena.
- d) Si la arena se humedece, la corrosión tiende a incrementarse; pero la resistividad de la arena se reduce mucho más, por lo que fluye más corriente, incrementando la protección catódica.
- e) El costo de los ánodos es una pequeña fracción del costo total.

8.5.6. Protección catódica externa

En el diseño de un sistema de protección catódica, se deberán considerar los siguientes aspectos:

- a) Reconocer las condiciones peligrosas preexistentes en el lugar propuesto para la instalación, seleccionar y especificar los materiales y observar las prácticas de instalación que aseguren la correcta operación de un sistema de protección catódica.
- b) Especificar los materiales y prácticas de instalación en apego a los códigos y normas aplicables, tales como las del NOM-008-SECRE-1999 prácticas recomendadas por NACE o sus equivalentes
- c) Seleccionar y especificar los materiales y prácticas de instalación, que aseguren la operación confiable de los sistemas de protección catódica durante toda su vida útil.
- d) Seleccionar un diseño para minimizar la excesiva protección de corrientes o gradientes de potencial que pueden tener efectos nocivos en los tanques, tuberías, recubrimientos o estructuras metálicas enterradas en las cercanías.
- e) Proveer lo necesario para el monitoreo de la operación del sistema de protección catódica.

La información útil para el diseño puede ser dividida en tres categorías:

- a) Prácticas y especificaciones.
- b) Condiciones del lugar.
- c) Mediciones en campo, datos de pruebas de requerimientos de corriente.

8.5.7. Registros y antecedentes:

Se debe considerar la siguiente información, correspondiente a registros y antecedentes.

- a) Planos del lugar, geometría de los cátodos, estructura a proteger y disposición del sistema de protección catódica.

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
DOCUMENTO NORMATIVO		PÁGINA 28 de 41
FECHA: 09 de Junio del 2001		

- b) Fechas de construcción.
- c) Información de diseño de los tanques.
- d) Suministro de energía.
- e) Recubrimientos.
- f) Tableros de medición para el control de la corrosión.
- g) Aislamientos eléctricos.
- h) Uniones eléctricas.
- i) Circuitos de corriente eléctrica.
- j) Clasificación y delimitaciones de las áreas eléctricas.
- k) Antigüedad de operación de sistemas de protección catódica existentes.
- l) Geometría y disposición de los sistemas de tierra.

8.5.8. Condiciones del lugar:

Se deben considerar los siguientes factores, relacionados con las condiciones del sitio, para el diseño de sistemas de protección catódica:

- a) Sistemas de protección catódica existentes y propuestos.
- b) Posibles fuentes de interferencia.
- c) Condiciones ambientales especiales.
- d) Profundidad del manto rocoso.
- e) Profundidad del manto freático.
- f) Estructuras metálicas cercanas enterradas (incluyendo localización, propiedad y prácticas del control de la corrosión.
- g) Accesibilidad a la estructura.
- h) Disponibilidad de energía.
- i) Factibilidad de aislamiento eléctrico de estructuras cercanas.
- j) Sistemas de contención secundaria.
- k) Áreas con drenaje pluvial deficiente.

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
DOCUMENTO NORMATIVO		PÁGINA 29 de 41
FECHA: 09 de Junio del 2001		

8.5.9. Mediciones en campo, datos de pruebas de corrosión y experiencia operativa.

La información siguiente es necesaria para realizar un buen diseño del sistema de protección catódica

- a) Requerimientos de corriente para cumplir los criterios aplicables de protección.
- b) Resistividad eléctrica del electrolito (suelo).
- c) Continuidad eléctrica del sistema.
- d) Aislamiento eléctrico del sistema.
- e) Integridad del recubrimiento.
- f) Historia de fugas en estructuras similares del área.
- g) Desviaciones de las especificaciones de construcción.
- h) Existencia de corrientes parásitas o de interferencias.

8.5.10. Consideraciones que influyen en la selección del tipo de sistema de protección catódica.

Los factores siguientes tienen influencia en la selección del sistema de protección catódica:

- a) Tamaño y número de tanques que se protegerán.
- b) Requerimientos de corriente.
- c) Condiciones del suelo, tales como: resistividad, composición química, ventilación y pH.
- d) Posibilidad de interferencia en la protección catódica por estructuras adyacentes.
- e) Ampliación o desarrollo a futuro del sistema de tanques de almacenamiento.
- f) Costo de instalación, operación y mantenimiento del sistema de protección catódica.
- g) Existencia o propuesta de sistemas de contención secundaria.

Entre las opciones disponibles para la protección de uno o más tanques, se incluyen:

- a) Ánodos instalados a poca profundidad, alrededor de la periferia del tanque.
- b) Ánodos instalados directamente debajo del tanque, antes de su construcción, que es lo más recomendable.

 COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS DOCUMENTO NORMATIVO FECHA: 09 de Junio del 2001	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 30 de 41

- c) Horadar bajo el tanque en un pequeño ángulo para que los ánodos de sacrificio puedan distribuirse bajo el mismo para dar una adecuada protección.
- d) Uso de un sistema por corriente impresa con cama de ánodos a profundidad.

8.6. Construcción

8.6.1. Instalación de sistemas de protección catódica.

La instalación de los sistemas de protección catódica deberá ser supervisada por personal con experiencia comprobada en instalaciones similares, para asegurar que se realice en estricto apego a los planos y especificaciones. Sólo podrán autorizarse excepciones con la aprobación del propietario, operador ó del personal calificado autorizado.

8.6.2. Sistema de ánodos de sacrificio.

Los empaques de los ánodos deberán inspeccionarse para asegurar la integridad de su contenido y mantenerse secos durante su almacenamiento. Si los ánodos empacados individualmente se suministran en envases herméticos, éstos deberán retirarse antes de su instalación. La continuidad eléctrica entre el ánodo y su cable metálico, deberá probarse sin dañar la integridad del empaque. Los ánodos galvánicos empacados deberán rellenarse con tierra del lugar compactada. La figura 8 muestra la instalación típica de un ánodo galvánico.

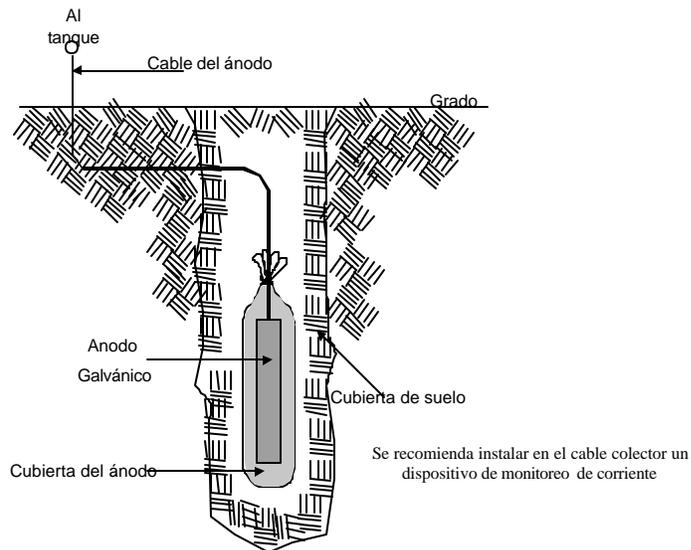


Figura 8.- Instalación típica de un ánodo galvánico

Los ánodos deberán colocarse al centro del agujero y empacarse con el material de relleno especial, cuando se suministran por separado de dicho material, y deberá compactarse con tierra natural el resto de la excavación. Cuando vienen preempacados, simplemente se colocan al centro del agujero y se rellenan con tierra natural.

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 31 de 41
		DOCUMENTO NORMATIVO FECHA: 09 de Junio del 2001

Cuando se utilizan ánodos galvánicos para proteger las superficies internas de los fondos de los tanques, éstos deben ser asegurados o soldados al fondo del tanque. La conexión puede ser recubierta, teniendo cuidado de no recubrir o pintar el ánodo; estos son instalados sin relleno y se debe dejar un espacio entre el ánodo y el fondo del tanque con el objeto que exista electrolito entre el ánodo y cátodo.

Durante el relleno de los ánodos con material especial, deberá cuidarse que no se dañen los alambres y conexiones. Los cables no deben estar tensos para prevenir esfuerzos. Los ánodos no deben sujetarse por los cables al transportarse o colocarse en zanjas o agujeros.

8.6.3. Sistemas de corriente impresa.

Los ánodos de corriente impresa deben inspeccionarse para evitar defectos, verificar la conformidad con las especificaciones de material, tamaño y longitud de los cables y que si se utiliza un contenedor para el ánodo, éste sea seguro.

Se debe tener cuidado para evitar grietas o daños a los ánodos durante su manejo e instalación. Los ánodos fracturados no deben emplearse. Los cables deben inspeccionarse cuidadosamente para evitar cualquier defecto de aislamiento. Debe tomarse todas las precauciones para evitar daños de aislamiento en los cables.

Los ánodos de corriente impresa pueden enterrarse verticalmente, horizontalmente, en ángulo ó en fosas profundas. Los ánodos de corriente impresa son comúnmente instalados en rellenos carbonosos, que deben cumplir con la especificación 8.1.4 inciso a).

Si el relleno se instala adecuadamente, de manera que no se forme vacío alrededor del ánodo, la mayor parte de la corriente que alcanza éste, es conducida al relleno por contacto eléctrico. Esto promueve el consumo del relleno, en lugar del ánodo y alarga substancialmente la vida de este último.

Los rellenos carbonosos también tienden a reducir la resistencia total del circuito reduciendo la resistencia de contacto entre el suelo y el ánodo.

Los principales aspectos a observar en la instalación de ánodos de corriente impresa son:

- a) El relleno carbonoso debe instalarse correctamente debido a que un relleno insuficiente puede significar una elevada resistencia y acortar la vida del ánodo. El ánodo debe centrarse dentro del bloque carbonoso. Si el ánodo entra en contacto con el suelo, pueden ocurrir fallas prematuras.
- b) Debe protegerse y aislarse cuidadosamente la conexión entre el cable y el ánodo, por ser el punto más débil del ánodo y muy propenso a fallas por entrada de humedad a través de la más pequeña fractura.
- c) Los ánodos y sus cables deben instalarse a una profundidad suficiente para protegerlos contra cualquier daño por accidente. Debe recordarse que el cable del ánodo puede cortarse por corrosión si existe la más pequeña fractura en su aislamiento.

 COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS DOCUMENTO NORMATIVO FECHA: 09 de Junio del 2001	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 32 de 41

d) Deben instalarse señalamientos visibles sobre la tierra, para indicar la localización de los ánodos o camas anódicas.

8.6.4. Instalación de camas de ánodos poco profundas.

La figura 9 muestra un ejemplo de una instalación de camas de ánodos poco profundas.

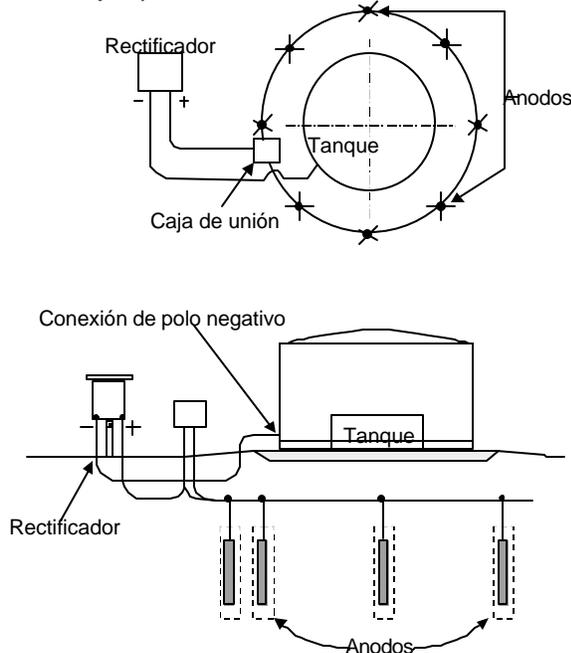


Figura 9.- Instalación típica de camas de ánodos poco profundas

Para una instalación vertical típica de los ánodos, se excava una fosa de 20 a 30 centímetros de diámetro por 3 a 6 metros de profundidad, aproximadamente. Cuando se dispone de barrenas, éstas pueden utilizarse, si el terreno y el derecho de vía lo permiten. El ánodo se centra en la fosa y el material de relleno debe compactarse cuidadosamente. Muchos ánodos vienen en sacos de 20 centímetros de diámetro nominal, empacados con material de relleno compactado. Algunas veces es necesario instalar ánodos horizontales donde las rocas se encuentran a poca profundidad o donde la resistividad del suelo se incrementa marcadamente con la profundidad.

Se excava una zanja a la profundidad adecuada y se coloca una columna horizontal de rellenos carbonoso, generalmente de sección cuadrada. El ánodo es colocado horizontalmente en el centro de esta columna. En algunos casos, para mejorar la distribución de corriente en el centro del fondo del tanque, se instalan ánodos en fosas barrenadas con un ángulo, por debajo del perímetro del fondo del tanque. Los ánodos encapsulados pueden ser benéficos para tales instalaciones, para asegurar que el ánodo permanezca centrado en el relleno carbonoso.

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
DOCUMENTO NORMATIVO		PÁGINA 33 de 41
FECHA: 09 de Junio del 2001		

8.6.5. Instalación de rectificadores.

Deben instalarse protecciones adicionales a rectificadores u otras fuentes de energía para minimizar la posibilidad de daños o vandalismos.

Los rectificadores y el cableado asociado, deberán cumplir con la NOM-008-SECRE-1999. Deberá suministrarse un interruptor de desconexión externa con cableado de corriente alterna. La cubierta del rectificador debe estar debidamente aterrizada.

Las conexiones del cableado al rectificador deben ser mecánicamente seguras y buenas conductoras eléctricas. **“Antes de energizar, deberá verificarse que la terminal negativa del cable esté conectada a la estructura por proteger y que la terminal positiva esté conectada a los ánodos, así como el rectificador debe estar ajustado en la mínima salida”.**

Se prefiere una conexión de polvo de soldadura por aluminotermia, para conectar la terminal negativa del rectificador a la estructura por proteger; sin embargo se puede sustituir por conexiones mecánicas adecuadas, si fuera necesario. Todas las conexiones positivas de los cables y sus empalmes deben protegerse cuidadosamente contra el agua y cubrirse con aislamiento eléctrico. Si se utilizan conexiones metálicas, no deben enterrarse.

8.6.6. Instalación del cableado.

Todo el cableado subterráneo, conectado a la terminal positiva de un rectificador, tiene un potencial positivo, con respecto al suelo.

Si no se halla totalmente aislado, el cableado puede descargar corriente (actuar como un ánodo), lo que resultará en corrosión del cableado y en una rápida falla de la instalación de protección catódica.

Por lo tanto, todos los cables del ánodo, los cables principales y cualquier empalme del cableado debe ser cuidadosamente inspeccionado antes de enterrarse. El aislamiento de los mismos, deberá ser del tipo, polietileno negro de alto peso molecular (HMWPE) (high molecular weight polyethylene).

Los cables pueden instalarse manualmente y/o con equipo tomando las precauciones adecuadas. El material de relleno debe estar libre de piedras con bordes afilados o de otros materiales que pudieran dañar el aislamiento del cableado. En áreas sujetas a excavaciones frecuentes o donde el aislamiento del cableado esté propenso a los roedores, deberá considerarse instalar el cableado en conductos rígidos.

En el cable principal alimentador no se aceptan empalmes subterráneos, solo en la conexión entre el cable de alimentación (terminal positiva) y las camas de ánodos.

Las conexiones entre el cableado principal y las terminales del ánodo, deben ser mecánicamente seguras y buenas conductoras eléctricas. Debe dejarse suficiente holgura para evitar tensiones o deformaciones en el cableado. Debe sellarse todas las conexiones, para evitar la penetración de la humedad y asegurar el aislamiento eléctrico con respecto al ambiente.

 COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 34 de 41
		DOCUMENTO NORMATIVO
FECHA: 09 de Junio del 2001		

8.6.7. Tableros de control para pruebas de corrosión, conexiones y uniones.

El cableado de la estructura y el de pruebas, deberá estar limpio, seco y libre de materiales extraños en los puntos de conexión.

Las conexiones del cableado de prueba a la estructura deben instalarse de manera que permanezcan mecánicamente seguras y con buena conductividad eléctrica. Un método preferido, desde el punto de vista eléctrico, es el utilizar una conexión de polvo de soldadura por aluminotermia. Sin embargo, en este método durante su aplicación se deben tomar las medidas de seguridad correspondientes en áreas donde pueda existir una atmósfera explosiva durante el proceso de fijación.

Se debe poner atención a la manera de instalar los cables de prueba para las pruebas de control de corrosión, para evitar afectar los esfuerzos físicos de la estructura, en los puntos de sujeción.

Todos los accesorios de los cables de prueba y todos los cables desnudos deberán ser recubiertos con un material eléctricamente aislante. El cableado de prueba debe ser identificado permanentemente, de cualquier forma. Debe dejarse suficiente holgura para evitar tensión en los cables. Se deben evitar daños a los aisladores y, si ocurrieran, deben ser reparados adecuadamente.

Uno de los problemas inherentes al monitoreo de los sistemas de protección catódica en el fondo de tanques, es la dificultad de colocar un electrodo portátil de referencia en la cercanía del tanque, bajo la superficie. Para la construcción de tanques nuevos el problema de medir el potencial del suelo al tanque en el centro, puede ser resuelto instalando cualquiera de los siguientes:

- a) Electrodo de referencia permanentes y cableado por debajo del asiento del tanque por todo su perímetro, donde pueda terminarse en un tablero de control para utilizarlo en pruebas futuras (figura 10).

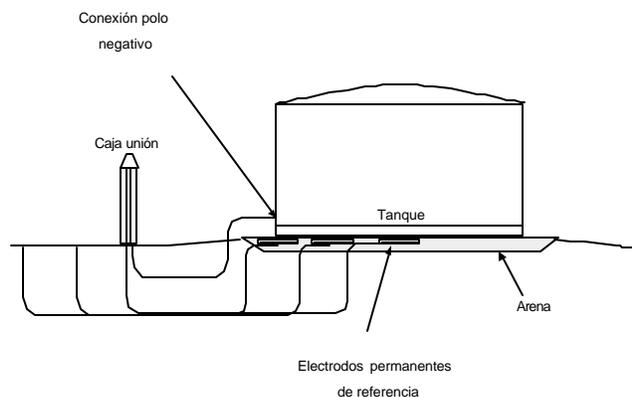


Figura 10.- Tablero de control y electrodo de referencia permanente

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 35 de 41
		DOCUMENTO NORMATIVO FECHA: 09 de Junio del 2001

b) Un tubo perforado de cloruro de polivinilo (PVC) o de plástico de fibra reforzada, para utilizarse al perfilar el potencial entre el tanque y el suelo, desde el perímetro hasta el centro.

Cuando se especifica un electrodo de referencia permanente (figura 11), su instalación deberá efectuarse bajo los procedimientos recomendados por el fabricante.

Si se programa el reemplazo ó la reparación del fondo de un tanque, se debe considerar la instalación de uno ó más electrodos de referencia permanente bajo el tanque. La instalación de electrodos permanentes de referencia en los tanques existentes no programados para reparación, puede realizarse utilizando un chorro de agua ó un procedimiento mecánico. Se puede barrenar un agujero desde el perímetro del tanque hacia el centro del tanque, para instalar un tubo perforado de PVC ó de plástico de fibra reforzada, por debajo del tanque existente (figura 5).

El tubo perforado es utilizado e instalado a manera de suministrar continuidad de corriente eléctrica en toda su longitud, entre el suelo exterior al tubo y el electrodo dentro del tubo. Un electrodo de referencia, de cobre/sulfato de cobre, puede insertarse dentro del tubo, utilizando una cinta no metálica de electricista o un tubo de PVC de pequeño diámetro, para obtener un perfil del potencial entre el suelo y el tanque, a través del fondo. Si se utiliza un dispositivo metálico para insertar el electrodo de referencia, este debe ser extraído antes de tomar las lecturas.

PRECAUCIÓN: Debe tenerse cuidado al emplear técnicas de chorro de agua para evitar socavaciones en los cimientos del tanque. Se debe controlar cuidadosamente los medios mecánicos de inserción del tubo, para evitar daños en el fondo del tanque.

Es común poner en contacto el tanque con un cuchillo o piqueta, al tomar las medidas del potencial entre el tanque y el suelo. Esta acción repetida, puede causar fallas tempranas en la pintura del tanque. Esto se puede evitar instalando testigos permanentes de prueba, terminales a tierra, o piezas cortas de cable o tubo, que también permiten identificar rápidamente los lugares normales de monitoreo.

Si se requieren dispositivos de aislamiento, se debe realizar una inspección y efectuar mediciones eléctricas para asegurar que el aislamiento eléctrico es efectivo y cubre los requerimientos de protección catódica.

Los dispositivos eléctricos aislados del sistema de almacenamiento de líquidos, para los fines de la protección catódica, deben contar con tierra segura, de acuerdo con los códigos eléctricos aplicables.

8.6.8. Corrientes de Interferencia.

La instalación de un sistema nuevo de protección catódica de corriente impresa puede causar interferencias con estructuras vecinas.

La interferencia es una descarga indeseable de corriente, causada por la aplicación de corriente eléctrica desde una superficie ajena. La interferencia proviene normalmente de una fuente de corriente directa, aunque la corriente alterna también puede causar problemas.

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
DOCUMENTO NORMATIVO		PÁGINA 36 de 41
FECHA: 09 de Junio del 2001		

Para mayor información al respecto se puede consultar la publicación NACE RP-0169-96 o equivalente.

8.6.9. Detección de corriente de interferencia.

Durante las mediciones de control de corrosión, el personal debe estar atento a las observaciones físicas o eléctricas que podrían indicar interferencia de fuentes vecinas.

Esto incluye:

- a) Un cambio negativo del potencial entre la estructura y el suelo, sobre la estructura afectada, en un punto donde ingresa la corriente de la fuente extraña de corriente directa.
- b) Un cambio positivo del potencial entre la estructura y el suelo, sobre la estructura afectada, en un punto donde la corriente se puede descargar desde la estructura afectada.
- c) Corrosión puntual localizada, en áreas cercanas o inmediatamente adyacentes a una estructura extraña.

8.7. Mantenimiento

8.7.1. Operación y Mantenimiento de Sistemas de Protección Catódica.

Las mediciones eléctricas y las inspecciones son necesarias para determinar que la protección se ha establecido de acuerdo al criterio aplicable y que cada parte del sistema de protección catódica esta operando adecuadamente. Las condiciones que afectan la protección están sujetas a cambio con el tiempo. Pueden requerirse cambios en el sistema de protección catódica para mantener la protección. Son necesarias mediciones periódicas e inspección para detectar cambios en la operación del sistema de protección catódica.

Pueden existir condiciones, donde la experiencia operacional indique que las pruebas e inspecciones deben ser efectuadas con mayor frecuencia, que lo que aquí se recomienda.

Debe tenerse cuidado al seleccionar la localización, número y tipo de medición de corriente usada para determinar la adecuada protección catódica. Si los tanques están vacíos, hay posibilidad que grandes áreas del fondo no estén en contacto con el subsuelo. Las medidas del potencial en este caso pueden ser poco confiables.

8.7.2. Seguridad.

Todo el sistema de corriente impresa debe ser diseñado pensando en la seguridad. Se debe tener cuidado de asegurar que todos los cables estén protegidos para evitar daños y la posibilidad de un arco eléctrico.

Los rectificadores y cajas de conexiones, deben cumplir convenientemente los requerimientos para el lugar específico y ambiente en donde estén instalados. La

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 37 de 41
		DOCUMENTO NORMATIVO FECHA: 09 de Junio del 2001

localización será determinada por las necesidades propias del área a proteger y de acuerdo a los criterios de protección catódica de la NOM 008-SECRE -1999.

El tanque debe estar perfectamente aterrizado.

Una guía adicional que regula arcos debidos a electricidad estática, presencia de corriente o alumbrado se puede obtener en API RP Z003, "Protección contra fuentes de ignición que provienen de estática, alumbrado y presencia de corriente" o su equivalente.

8.7.3. Reconocimiento de la Protección Catódica.

Antes de energizar un sistema de protección catódica, debe hacerse una medida del potencial natural entre la estructura y el suelo. Inmediatamente después que cualquier sistema de protección catódica es energizado o reparado, un reconocimiento es necesario para determinar que esta operando apropiadamente. Un reconocimiento inicial para verificar que se esta aplicando un criterio satisfactorio, debe hacerse después de que se efectúe una adecuada polarización.

Al estabilizarse el potencial estructura-suelo debe verificarse con un interruptor de corriente, la desconexión y conexión del sistema, midiendo con esto la polarización de la estructura , debiendo revisarse también los siguientes puntos:

- a) Corriente en el ánodo.
- b) Potencial natural estructura-suelo.
- c) Potencial de estructura a estructura.
- d) Aislamiento tubería-tanque, si están protegidos separadamente.
- e) Potencial estructura-suelo puesto en estructuras adyacentes.
- f) Continuidad de la estructura, si está protegida como una estructura sola.
- g) Rectificador corriente directa voltios, corriente directa amperios y eficiencia.
- h) Potencial estructura-suelo.

Se recomienda una inspección mensual a la protección catódica, para asegurar la eficiencia. La medida de la corriente eléctrica usada en la inspección puede incluir una o más de las medidas listadas anteriormente.

La inspección y prueba de los sistemas de protección catódica, debe hacerse para garantizar su conveniente operación y mantenimiento. La evidencia de un funcionamiento inconveniente puede ser el drenaje apropiado de corriente, el consumo normal de energía es la señal que indica operación normal o un estado satisfactorio. Una buena comparación entre la operación del rectificador mensualmente y durante el reconocimiento anual nos indicará las condiciones de operación del sistema, por consumo adicional de energía o bien al estar fuera el sistema, no existirá consumo de corriente.

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
		PÁGINA 38 de 41
		DOCUMENTO NORMATIVO FECHA: 09 de Junio del 2001

La efectividad de los dispositivos de aislamiento, la continuidad en las uniones y aisladores, pueden ser evaluados durante los periodos de inspección. Este puede ser complementado por inspecciones en campo o por evaluación de datos de pruebas de corrosión.

La parte inferior de los tanques podría ser examinada para evidenciar la corrosión siempre que el acceso sea posible. Esto puede ser durante las reparaciones o modificaciones o en conjunto con inspecciones requeridas por API Estándar 653 o su equivalente. Los exámenes de la corrosión en la parte de abajo del tanque puede ser hechas con cupones recortados o por métodos no destructivos como inspección ultrasónica o por pérdida de flujo electromagnético.

Es necesario preparar un registro de los sitios de medición, así como las condiciones de los mismos.

- a) Reparar, reemplazar o ajustar los componentes del sistema de protección catódica.
- b) Determinar si es necesaria una protección adicional.
- c) Revisar la continuidad de las uniones del sistema (cátodo-ánodo-electrolito).
- d) Eliminación de contactos metálicos accidentales con otras estructuras metálicas no consideradas en el diseño.
- e) Reparar defectos de dispositivos de aislamiento.

Dependiendo de la necesidad de protección catódica es conveniente recordar que en el diseño de este sistema debe ser tomado en cuenta lo siguiente:

- a) Diseño y localización de dispositivos aislantes, prueba de plomo, otras pruebas rápidas y detalladas, pueden tomarse otras medidas especiales de control de corrosión.
- b) Resultado de pruebas de la corriente requerida, donde se hicieron y los procedimientos utilizados.
- c) El potencial natural estructura-suelo antes de aplicarse corriente.
- d) El resultado de las pruebas de resistividad del suelo en el sitio donde se hicieron y los procedimientos usados.
- e) El nombre del responsable de la inspección.

8.8 DOCUMENTACION Y REGISTROS.

8.8.1 Sistema de aseguramiento de calidad.

Las compañías fabricantes de rectificadores, ánodos de magnesio, ánodos utilizados en sistemas de corriente impresa y cables deben contar con un sistema de aseguramiento de calidad y procedimientos administrativos y operativos establecidos, de acuerdo a las normas mexicanas NMX-CC que están citadas en la bibliografía, o equivalentes. Los

SI LOS SELLOS DE ESTE DOCUMENTO NO ESTAN EN ORIGINAL, NO ES DOCUMENTO CONTROLADO

 PEMEX COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
DOCUMENTO NORMATIVO		PÁGINA 39 de 41
FECHA: 09 de Junio del 2001		

manuales deben estar a disposición de Petróleos Mexicanos u Organismos Subsidiarios cuando éstos los soliciten.

8.8.2 Rastreabilidad.

El sistema de aseguramiento de calidad particular de cada fabricante debe incluir un procedimiento específico de rastreabilidad del producto, desde la identificación de la materia prima hasta el producto final, incluyendo todas y cada una de las etapas de fabricación.

Los registros de este procedimiento de rastreabilidad, deben entregarse al inspector de Pemex en todas las órdenes de compra.

8.8.3 Certificación.

Los fabricantes de rectificadores, ánodos de sacrificio, ánodos utilizados en los sistemas de corriente impresa, cables, accesorios y equipos, deben entregar a Petróleos Mexicanos u Organismos Subsidiarios, los certificados de cumplimiento de calidad y rendimiento correspondientes avalados por el IMP, IIE o por un laboratorio acreditado con experiencia en este tipo de pruebas, estableciendo que las materias primas, y productos terminados han sido fabricados, muestreados, probados e inspeccionados de acuerdo a esta norma y demás especificaciones de referencia.

8.8.4 Documentos y Registros.

El fabricante debe entregar al comprador la documentación o registros citados a continuación, antes, durante la fabricación y junto con el producto terminado:

8.8.5 Antes

- Certificado de calidad de la materia prima utilizada para la elaboración de ánodos de sacrificio y/o de corriente impresa, así como de otros materiales y equipos.
- Protocolo de pruebas de los productos suministrados.
- Procedimiento de los métodos de inspección.
- Procedimiento de rastreabilidad.
- Procedimiento análisis químicos y de rendimiento pruebas ASTM-G97-88 (1995) y NMX-K-109-97.
- Procedimientos de caracterización.
- Certificados de aprobación de pruebas de caracterización y eficiencia.
- Certificado de los instrumentos empleados en las inspecciones o pruebas.
- Certificados de calificación del personal que realiza las pruebas.
- Resultados de las aplicaciones de campo que se hayan tenido en medios similares.
- Los Organismos Subsidiarios deben proveer la información operativa requerida al Proveedor, para que éste tenga la posibilidad de diseñar un efectivo sistema de protección catódica.

 COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
DOCUMENTO NORMATIVO		PÁGINA 40 de 41
FECHA: 09 de Junio del 2001		

8.8.6 Durante

- Reconocimiento de la experiencia del personal que realiza las pruebas ASTM G97-88 (1995) y NMX-K-109-97
- Certificados de calibración de los instrumentos empleados en la inspección o pruebas.
- Establecer entre ambas partes, un programa y período de evaluación.
- Contar con los dispositivos disponibles de monitoreo de evaluación de la corrosión, e instalados en el sistema de los tanques de interés.

8.8.7 Después

- Registros del comportamiento de el sistema de protección catódica de manera integral.
- Registro del perfil de potenciales .
- Registros retrospectivos y comparativos de la eficiencia actual y el anterior del rendimiento del sistema de protección catódica.

9. RESPONSABILIDADES

9.1. De las áreas de seguridad de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios

Que se observe el cumplimiento de esta norma en el ámbito de competencia de Petróleos Mexicanos.

9.2. De los grupos de trabajo de normalización

Actualizar por lo menos cada 3 años la norma de referencia ó cuando sea requerido.

10. CONCORDANCIA CON NORMAS MEXICANAS O INTERNACIONALES

Esta Norma de Referencia, no concuerda y no tiene ninguna relación con Normas Nacionales e Internacionales, debido a que no existe Normatividad aplicable con el alcance publicado en la materia.

11. BIBLIOGRAFIA

Protección catódica para tanques de almacenamiento instalados sobre el terreno "Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks" API práctica recomendada 651 Segunda edición, Diciembre 1997

Protección contra fuentes de ignición que provienen de estática, de alumbrado y presencia de corriente API RP Z003.

 COMITÉ DE NORMALIZACIÓN DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS	PROTECCIÓN CATÓDICA EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	No. de Documento NRF-017-PEMEX-2001 Rev.: 0
DOCUMENTO NORMATIVO		PÁGINA 41 de 41
FECHA: 09 de Junio del 2001		

Inspección , reparación, modificación y reconstrucción de tanques de almacenamiento, API Estándar 653 Primera edición, enero 1991 “ Tank inspection, repair, alteration, and reconstruction API Standard 653 First edition, January 1991”

Instalación de sistemas para protección catódica
Norma No. 3.413.01 de Petróleos Mexicanos.
Normas para construcción de obras.

Norma para proyecto de obras “Sistemas de protección catódica”, No. 2.413.01.

Norma NMX-K-109-1977 “Ánodos de magnesio empleados en protección catódica”

Principios y prevención de la corrosión por Denny A. Jones .

Estándar ASTM G 97-88 (1995) Método de prueba estándar para muestra y evaluación de laboratorio de ánodos de sacrificio de magnesio para aplicaciones bajo tierra. “ Standard test method for laboratory evaluation of magnesium sacrificial anode test specimens for underground applications”

NACE RP-0575-95 Sistemas de protección catódica interna en recipientes para tratamiento de aceite, apartado no. 21015 “ Internal cathodic protection systems in oil treating vessels item no. 21015”

NACE RP-0388-95 Protección catódica de corriente impresa de superficies internas sumergidas en tanques de acero para almacenamiento de agua, apartado no. 21040 “Impressed current cathodic protection of internal submerged surfaces of steel water storage tanks, item no. 21040”

NACE 10A 190 Técnicas de medición relativas a criterios de protección catódica para sistemas de tubería de acero enterrados. “ Measurement techniques related to criteria for cathodic protection of underground submerged steel piping systems”.

NACE RP-0572-95 Prácticas de estándares recomendados para el diseño, instalación, operación y mantenimiento de corriente impresa en encamados profundos. “Standard recommended practice, design, installation, operation, and maintenance of impressed current deep groundbeds”

NACE RP-0169-96 Prácticas de estándares recomendados para el control de la corrosión externa de sistemas de tubería metálica sumergida ó enterrada. “ Standard recommended practice, control of external corrosion on underground or submerged metallic piping systems”

12. ANEXOS

No aplicable.