**NORMA Oficial Mexicana NOM-008-SECRE-1999, Control de la corrosión externa en tuberías de acero enterradas y/o sumergidas.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Energía.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-008-SECRE-1999, CONTROL DE LA CORROSION EXTERNA EN TUBERIAS DE ACERO ENTERRADAS Y/O SUMERGIDAS.

La Secretaría de Energía con la participación que le corresponde a la Comisión Reguladora de Energía; con fundamento en los artículos 38 fracción II, 39, 40 fracción XIII, 41 y 47 fracción IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 33 fracción IX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 1o. y 3o. fracción XV de la Ley de la Comisión Reguladora de Energía; 4o., 9o., 14 fracción IV y 16 de la Ley Reglamentaria del artículo 27 constitucional en el ramo del Petróleo; 28, 34 y segundo transitorio del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 7o. y 70 fracción VII del Reglamento de Gas Natural; y 2o. y 31 del Reglamento Interior de la Secretaría de Energía, aprobada por consenso del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Gas Natural y Gas Licuado de Petróleo por Medio de Ductos, en su sexta sesión ordinaria del 17 de noviembre de 1999, y

**CONSIDERANDO**

**Primero.** Que con fecha 12 de noviembre de 1998, el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Gas Natural y Gas Licuado de Petróleo por Medio de Ductos publicó en el **Diario Oficial de la Federación**, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-008-SECRE-1998, Protección catódica de tuberías de acero enterradas y/o sumergidas que conducen gas natural y gas licuado de petróleo;

**Segundo.** Que una vez transcurrido el término de 60 días a que se refiere el artículo 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, para recibir los comentarios que se mencionan en el considerando anterior, el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Gas Natural y Gas Licuado de Petróleo por Medio de Ductos, estudió los comentarios recibidos y, en su caso, modificó el proyecto de norma en cita;

**Tercero.** Que con fecha 24 de diciembre de 1999, en el **Diario Oficial de la Federación** se publicaron las respuestas a los comentarios recibidos al Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM 008-SECRE-1999, Control de la corrosión externa en tuberías de acero enterradas y/o sumergidas;

**Cuarto.** Que de lo expuesto en los considerandos anteriores, se concluye que se ha dado cumplimiento con el procedimiento que señalan los artículos 38, 44, 45, 47 y demás relativos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, por lo que se expide la siguiente: Norma Oficial Mexicana NOM-008-SECRE-1999, Control de la corrosión externa en tuberías de acero enterradas y/o sumergidas.

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-008-SECRE-1999, CONTROL DE LA CORROSION EXTERNA EN TUBERIAS DE ACERO ENTERRADAS Y/O SUMERGIDAS.**

**INDICE**


**0.** Introducción
**1.** Objeto
**2.** Campo de aplicación
**3.** Referencias
**4.** Definiciones
**5.** Control de la corrosión externa en tuberías de acero
- **5.1** Recubrimiento anticorrosivo
- **5.2** Estructura a proteger
  - **5.2.1** Tuberías nuevas
  - **5.2.2** Tuberías existentes
  - **5.2.3** Puenteos eléctricos
- **5.3** Tipos de protección catódica
  - **5.3.1** Anodos galvánicos o de sacrificio
  - **5.3.2** Corriente impresa
- **5.4** Aislamiento eléctrico
- **5.5** Criterios de protección catódica
- **5.6** Perfil de potenciales de polarización
- **5.7** Potencial tubo/suelo máximo permisible
- **5.8** Mediciones de corriente eléctrica
  - **5.8.1** Medición de potenciales tubo/suelo
  - **5.8.2** Medición de resistividad
  - **5.8.3** Medición de corriente eléctrica
- **5.9** Funcionalidad del sistema
  - **5.9.1** Previsiones para el monitoreo
  - **5.9.2** Interferencia con otros sistemas
  - **5.9.3** Cruzamientos
  - **5.9.4** Defectos en el recubrimiento anticorrosivo
- **5.10** Operación, inspección y mantenimiento

**5.10.1** Fuentes de energía eléctrica
**5.10.2** Camas anódicas
**5.10.3** Conexiones eléctricas
**5.10.4** Aislamientos eléctricos
**5.10.5** Recubrimientos
**5.10.6** Levantamiento de potenciales
**5.11** Seguridad
**5.11.1** Medidas generales
**5.11.2** Generación de gases peligrosos
**5.11.3** Instalación en atmósferas peligrosas
**5.11.4** Corto circuitos en instalaciones eléctricas
**5.11.5** Señalización de instalaciones energizadas
**5.12** Documentación
**5.12.1** Historial del sistema de protección catódica
**5.12.2** Interacción con estructuras y sistemas de otras dependencias
**5.13** Registros
**5.13.1** Funcionalidad del sistema de protección catódica
**5.13.2** Modificaciones al sistema original
**5.13.3** Reparación o reemplazo de algún componente del sistema de protección catódica
**5.13.4** Estudios especiales
**6.** Vigilancia
**7.** Concordancia con normas internacionales
**8.** Bibliografía
**9.** Vigencia

**0. Introducción**

Las estructuras metálicas o tuberías de acero enterradas y/o sumergidas están expuestas a los efectos de la corrosión externa como consecuencia del proceso electroquímico, que ocasiona el flujo de iones del metal de la tubería al electrolito que la rodea. Para reducir este efecto, es necesario ejercer un control de los factores que influyen en el proceso de corrosión, donde la adecuada selección del material de la tubería y la aplicación de los recubrimientos son los primeros medios utilizados para evitar dicho daño.

La función del recubrimiento es aislar la superficie metálica de la tubería del electrolito que la rodea. Además del recubrimiento anticorrosivo se debe aplicar protección complementaria a la tubería mediante el uso de protección catódica. La implementación, instalación, operación y mantenimiento adecuado del control de la corrosión externa en tuberías de acero enterradas o sumergidas han demostrado ser una herramienta eficaz que aumenta la confiabilidad de las tuberías destinadas al transporte de fluidos.

**1. Objeto**

El objetivo de esta Norma es establecer los requisitos mínimos para la implementación, instalación, operación, mantenimiento y seguridad para el control de la corrosión externa en tuberías de acero enterradas y/o sumergidas.

**2. Campo de aplicación**

Esta Norma es aplicable en la implementación, instalación, operación, mantenimiento y seguridad para el control de la corrosión externa en tuberías de acero enterradas y/o sumergidas. Esta Norma no es aplicable a las tuberías instaladas en el lecho marino.

Esta Norma establece los requisitos mínimos de seguridad para el control de la corrosión externa en tuberías de acero enterradas y/o sumergidas. No pretende ser un manual técnico y debe aplicarse con un criterio apoyado en prácticas de ingeniería internacionalmente reconocidas.

**2.1** Cuando exista alguna variación entre los requerimientos de esta Norma con respecto a otras publicaciones, los requerimientos de esta Norma prevalecerán y se considerarán obligatorios.

**3. Referencias**

| | |
|---|---|
| NOM-008-SCFI-1993 | Sistema general de unidades de medida. |
| NOM-S-PC-1-1992 | Señales y avisos para protección civil; colores, formas y símbolos a utilizar. |
| NMX-S-14-SCFI-1993 | Aplicación de los colores de seguridad. |
| NOM-Z-13-1977 | Guía para la redacción, estructuración y presentación de las normas oficiales mexicanas. |
| NOM-003-SECRE-1997 | Distribución de gas natural. |

**4. Definiciones**

**4.1 Anodo:** Elemento emisor de corriente eléctrica; es el electrodo de una celda en el cual ocurre el fenómeno de oxidación.

**4.2 Anodo galvánico o de sacrificio:** Metal con potencial de oxidación más electronegativo que el de la tubería por proteger y que al emitir corriente eléctrica de protección, se consume.

**4.3 Aterrizamiento:** Conexión eléctrica, intencional o no, entre un conductor y tierra (suelos y cuerpos de agua).

**4.4 Anodo inerte:** Electrodo auxiliar metálico o no metálico que forma parte del circuito de protección catódica y que se conecta a la terminal positiva de una fuente externa de corriente eléctrica directa.

**4.5 Caída de voltaje:** Cambio de potencial debido al paso de una corriente eléctrica "I" en un circuito de resistencia "R". Esta caída debe ser considerada para una interpretación válida en la medición de potenciales en los sistemas de protección catódica.

**4.6 Cama anódica:** Grupo de ánodos, ya sea inertes o galvánicos que forman parte del sistema de protección catódica.

**4.7 Cátodo:** Electrodo de una celda en el que ocurren las reacciones electroquímicas de reducción en un sistema de protección catódica.

**4.8 Celda solar:** Equipo que transforma la energía solar en energía eléctrica de corriente directa.

**4.9 Corriente de protección catódica:** Corriente eléctrica directa necesaria para obtener los valores del potencial de protección de una estructura metálica enterrada o sumergida en un electrolito.

**4.10 Corriente parásita:** Corriente eléctrica directa o alterna que proviene de otra fuente de energía distinta al circuito previsto y que llega a la tubería a través del electrolito o por contacto directo. Cuando en una tubería metálica entra una corriente eléctrica parásita se produce corrosión en aquellas áreas donde dicha corriente eléctrica abandona la tubería metálica para retornar a su circuito de origen.

**4.11 Corrosión:** Destrucción del metal por la acción electroquímica de ciertas sustancias.

**4.12 Defecto en el recubrimiento:** Discontinuidad en el material anticorrosivo que expone la superficie del metal al medio electrolítico que lo rodea.

**4.13 Densidad de corriente:** Corriente eléctrica directa por unidad de área, expresada usualmente en miliamperios por metro cuadrado o miliamperios por pie cuadrado.

**4.14 Derecho de vía:** Franja de terreno donde se encuentra alojada una tubería enterrada o superficial.

**4.15 Electrodo de referencia:** Media celda electroquímica cuyo potencial es constante. Es un electrodo no polarizable.

**4.16 Electrolito:** Conductor iónico de corriente eléctrica directa. Se refiere al subsuelo o al agua en contacto con una tubería metálica enterrada o sumergida.

**4.17 Estación de registro:** Instalación para medir el potencial de la tubería ya sea natural o de polarización.

**4.18 Estudio técnico:** Documento derivado de la evaluación de variables usando principios de ingeniería.

**4.19 Junta de aislamiento:** Accesorio constituido de un material aislante que se intercala en el sistema de tubería para separar eléctricamente a la tubería a proteger.

**4.20 Interfaces:** Transición a la que se somete la tubería al cambiar de electrolito, pudiendo ser ésta tierra-aire, tierra-concreto-aire, aire-agua, tierra-agua, etc.

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

**4.22 Multímetro:** Instrumento electrónico multifuncional con escalas para medir magnitudes eléctricas.

**4.23 Norma:** Esta Norma.

**4.24 Polarización:** Magnitud de la variación de un circuito abierto en un electrodo causado por el paso de una corriente eléctrica.

**4.25 Potencial crítico:** Voltaje de protección catódica de valor inferior en relación al valor de cualquiera de los criterios de protección catódica.

**4.26 Potencial natural:** Potencial espontáneo (sin impresión de corriente eléctrica directa) que adquiere una estructura metálica al estar en contacto con un electrolito. También denominado potencial de corrosión.

**4.27 Potencial tubo/suelo:** Diferencia de potencial entre una tubería de acero enterrada y/o sumergida protegida catódicamente y un electrodo de referencia en contacto con el electrolito.

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

**4.29 Prueba de requerimiento de corriente:** Aplicación de corriente eléctrica directa a la tubería por proteger catódicamente con el fin de cuantificar la corriente eléctrica de protección y determinar los alcances de protección para cada uno de los puntos de drenaje eléctrico.

**4.30 Puenteo eléctrico:** Conexión eléctrica entre tuberías mediante un conductor eléctrico y terminales fijas, con el fin de integrar en circuitos conocidos las tuberías adyacentes.

**4.31 Punto de drenaje eléctrico:** Sitio en el que se imprime la corriente eléctrica directa de protección a una tubería enterrada y/o sumergida.

**4.32 Recubrimiento anticorrosivo:** Material que se aplica y adhiere a la superficie externa de una tubería metálica para protegerla contra los efectos corrosivos producidos por el medio ambiente.

**4.33 Rectificador:** Equipo que convierte corriente eléctrica alterna en corriente eléctrica directa controlable.

**4.34 Resistividad:** Resistencia eléctrica por unidad de volumen del material. Las mediciones de esta propiedad indican la capacidad relativa de un medio para transportar corriente eléctrica.

**4.35 Señalamiento:** Avisos informativos, preventivos o restrictivos para indicar la presencia del ducto y/o referencia kilométrica del desarrollo del ducto. Es posible que los señalamientos estén dotados de conexiones eléctricas para funcionar como estaciones de registro de potencial.

**4.36 Sistema de protección catódica:** Conjunto de elementos como: ánodos galvánicos o inertes, rectificadores de corriente eléctrica, cables y conexiones que tienen por objeto proteger catódicamente una tubería de acero.

**4.37 Tubería enterrada o sumergida:** Es aquella tubería terrestre que está alojada bajo la superficie del terreno o en el lecho de un cuerpo de agua (pantano, río, laguna, lago, etc.). No se refiere a tuberías instaladas en el lecho marino.

**4.38 Turbina generadora:** Equipo de combustión interna que genera corriente eléctrica directa para proporcionar protección catódica a la tubería.

**5. Control de la corrosión externa en tuberías de acero**

La prevención de la corrosión exterior en tuberías de acero enterradas y/o sumergidas se lleva a cabo mediante la aplicación de recubrimientos anticorrosivos y sistemas de protección catódica, con la finalidad de tener las tuberías de acero enterradas o sumergidas en buenas condiciones de operación y seguras.

**5.1 Recubrimiento anticorrosivo.** El tipo de recubrimiento anticorrosivo se debe seleccionar tomando en cuenta las condiciones de operación, la instalación, el manejo y el escenario particular de exposición de la tubería por proteger, así como la compatibilidad con la protección catódica complementaria.

**5.1.1** Durante el manejo y almacenamiento de la tubería recubierta, ésta debe estar protegida para evitar daños físicos.

**5.1.2** Se debe realizar una inspección dieléctrica de acuerdo a las características del recubrimiento anticorrosivo para determinar que no presente poros o imperfecciones. En caso de detectarse imperfecciones se deben eliminar las reparaciones y realizar nuevamente la inspección dieléctrica hasta su aceptación.

**5.1.3** Cuando la tubería enterrada o sumergida quede expuesta a la superficie en la parte de transición, entre el tramo aéreo y el enterrado (interfase suelo-aire), se debe aplicar un recubrimiento anticorrosivo en la parte expuesta que prevenga la corrosión.

**5.2 Estructura a proteger.**

**5.2.1** Tuberías nuevas. Las tuberías nuevas enterradas y/o sumergidas deben ser recubiertas externamente y protegidas catódicamente, salvo que se demuestre mediante un estudio técnico realizado por el área técnica responsable del control de la corrosión externa, que los materiales son resistentes al ataque corrosivo del medio ambiente en el cual son instalados.

**5.2.2** Tuberías existentes. Se deben establecer métodos de evaluación para determinar la necesidad de implementar programas adicionales de control de la corrosión y tomar las acciones correctivas de acuerdo con las condiciones prevalecientes.

Los métodos y acciones mencionados deben incluir, como mínimo, lo siguiente:

**a)** Evaluación:

**1.** Se deben revisar, analizar y evaluar los resultados de la inspección y mantenimiento normales de las tuberías de acero protegidas catódicamente en búsqueda de indicios de corrosión en proceso;

**2.** Los métodos de medición eléctrica más comunes incluyen:

- Potencial tubo/suelo;
- Resistividad del suelo;
- Potencial tubo/suelo por el método de dos electrodos.

**3.** La funcionalidad de un sistema de protección catódica se debe monitorear de acuerdo con lo indicado en los incisos 5.7 y 5.8 de esta Norma.

**b)** Medidas correctivas:

**1.** Si se comprueba la existencia de áreas de corrosión en la tubería, se deben tomar medidas correctivas para inhibirla, como por ejemplo:

- Previsiones convenientes para la operación adecuada y continua del sistema de protección catódica;
- Mejoramiento del recubrimiento anticorrosivo;
- Instalación complementaria de ánodos de sacrificio;
- Utilización de fuentes de corriente impresa;
- Delimitación con aislamientos eléctricos, y
- Control de corrientes eléctricas parásitas.

**5.2.3** Puenteos eléctricos. Cuando en el derecho de vía existen varias tuberías y se requiere protegerlas catódicamente, se deben puentear eléctricamente, siempre que las dependencias, órganos o empresas encargados de los sistemas de tuberías estén de acuerdo y previamente se hayan realizado los estudios correspondientes. La integración de tuberías ya sean nuevas o existentes a otros sistemas de tuberías debe quedar documentada conforme con lo indicado en el inciso 5.12 de esta Norma.

La instalación del puenteo eléctrico se debe realizar de acuerdo a lo indicado en la definición del término puenteo eléctrico en el inciso 4.28 de esta Norma. Se deben proteger las áreas afectadas por las conexiones a cada tubo con un recubrimiento anticorrosivo compatible.

Es recomendable que en los puenteos eléctricos que se ubiquen en las estaciones de registro de potencial se identifiquen los conductores eléctricos de cada una de las tuberías que se integran al sistema de protección catódica.

**5.3 Tipos de protección catódica.** Existen dos tipos de sistemas de protección catódica, los cuales se pueden emplear en forma individual o combinada:

**a)** Anodos galvánicos o de sacrificio, y

**b)** Corriente impresa.

**5.3.1** Anodos galvánicos o de sacrificio. La fuente de corriente eléctrica de este sistema utiliza la diferencia de potencial de oxidación entre el material del ánodo y la tubería. La protección de las tuberías se produce a consecuencia de la corriente eléctrica que drena el ánodo durante su consumo.

En todos los casos, se debe asegurar que la diferencia de potencial disponible del sistema seleccionado sea suficiente para que drene la corriente eléctrica de protección, de acuerdo con lo indicado en el inciso 5.5.

**5.3.2** Corriente impresa. Este sistema consiste en inducir corriente eléctrica directa a una tubería enterrada mediante el empleo de una fuente y una cama de ánodos inertes que pueden ser de hierro, grafito, ferrosilicio, plomo y plata entre otros. La fuente de corriente eléctrica directa se conecta en su polo positivo a una cama de ánodos inertes y el polo negativo a la tubería a proteger.

**5.4 Aislamiento eléctrico.** La tubería de acero a proteger debe quedar eléctricamente aislada de cualquier otro tipo de estructura metálica o de concreto que no esté considerada en la implementación del sistema de protección catódica, tales como soportes de tubería, estructuras de puentes, túneles, pilotes, camisas de acero protectoras, recubrimiento de lastre, entre otros.

**5.4.1** Las juntas aislantes se deben seleccionar considerando factores como su resistencia dieléctrica y mecánica, así como las condiciones de operación de la tubería. Al realizar cualquier instalación de junta aislante se debe comprobar la ausencia de atmósfera combustible.

Las juntas aislantes se deben instalar en los lugares siguientes:

**a)** En cabezales de pozos;

**b)** En el origen de ramales;

**c)** En la entrada y salida de la tubería en estaciones de medición y/o regulación de presión, de compresión y/o bombeo;

**d)** En las uniones de metales diferentes para protección contra la corrosión galvánica;

**e)** En el origen y final del sistema de tuberías que se deseen proteger para prevenir la continuidad eléctrica con otro sistema metálico, y

**f)** En la unión de una tubería recubierta con otra tubería descubierta.

**5.5 Criterios de protección catódica.** Para proteger catódicamente a las tuberías enterradas y/o sumergidas se debe cumplir, como mínimo, con uno de los criterios siguientes:

Para ello se recomienda las técnicas de medición indicadas en el código NACE-TM-0497-1997.

**a)** Un potencial tubo/suelo (catódico) mínimo de -850 milivolts, medido respecto de un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre saturado (Cu/CuSO4), en contacto con el electrolito. La determinación de este voltaje se debe hacer con la corriente eléctrica de protección aplicada;

**b)** Un potencial de protección tubo/suelo (catódico) de -950 milivolts, cuando el área circundante de la tubería se encuentre en condiciones anaerobias y estén presentes bacterias sulfato-reductoras;

Para una interpretación válida se debe efectuar la corrección a que haya lugar debido a la caída de voltaje originada durante la medición;

**c)** Un cambio de potencial de polarización mínimo de -100 milivolts, medido entre la superficie de la tubería y un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre saturado (Cu/CuSO4) en contacto con el electrolito.

Este cambio de potencial de polarización se debe determinar interrumpiendo la corriente eléctrica de protección y midiendo el abatimiento de la polarización. Al interrumpir la corriente eléctrica ocurre un cambio inmediato de potencial. La lectura del potencial después del cambio inmediato se debe usar como base de la lectura a partir de la cual se mide el abatimiento de la polarización.

Los periodos de suspensión de corriente eléctrica de protección durante los cuales se puede realizar dicha medición están en el rango de 0.1 a 3.0 segundos.

**5.6 Perfil de potenciales de polarización.** Una vez instalado el sistema de protección catódica se debe verificar el nivel de protección a lo largo de la trayectoria de la tubería. Los valores de potencial obtenidos deben cumplir, como mínimo, con alguno de los criterios indicados en el inciso 5.5 de esta Norma. Con la información anterior se debe elaborar el perfil inicial de potenciales de polarización y mediante su análisis e interpretación se deben realizar los ajustes operacionales a que haya lugar en el sistema seleccionado.

Se deben establecer pruebas de rutina para verificar el comportamiento del sistema de protección catódica, tales como medición y registro de la demanda de corriente eléctrica de protección, resistencia del circuito, condiciones operativas de la fuente de corriente eléctrica directa y perfiles de potenciales de polarización. Lo anterior, con la finalidad de identificar fácilmente los valores de subprotección o sobreprotección en el ducto, así como contar con elementos de juicio técnicos para llevar a cabo pruebas y/o estudios adicionales.

El análisis e interpretación de los resultados de las pruebas antes mencionadas se deben efectuar de manera integral para efectos comparativos, con el objeto de determinar la tendencia de los parámetros monitoreados. Esta información se debe integrar en un expediente sobre la funcionalidad del sistema.

**5.7 Potencial tubo/suelo máximo permisible.** Este valor se fijará de acuerdo a las características particulares del recubrimiento anticorrosivo existente en la tubería. No debe exceder al potencial de desprendimiento catódico o a valores de potencial más negativos que originen problemas colaterales. Como recomendación general, el valor máximo de potencial no deberá exceder de -2.5 volts en condición de encendido con respecto de un electrodo de referencia o, -1.1 volts en la condición de apagado instantáneo; ambos potenciales referidos a un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre saturado (Cu/CuSO4), con el electrolito circundante de la tubería a proteger o protegida catódicamente.

Lo anterior, para reducir los efectos adversos tanto en el recubrimiento dieléctrico como en el ducto debido a una sobreprotección originada por el sistema de protección catódica.

**5.8 Mediciones de corriente eléctrica.** Durante las etapas de implementación, pruebas de campo, construcción, puesta en operación y seguimiento de la efectividad de los sistemas de protección catódica de tuberías enterradas y/o sumergidas, se deben realizar estudios que involucren la medición de variables eléctricas tales como: potencial tubo/suelo (natural y de polarización), resistividad, resistencia y corriente. En esta sección de la Norma se describen los aspectos generales relacionados con la medición de estos parámetros.

**5.8.1** Medición de potenciales tubo/suelo. Para la protección catódica de tuberías metálicas enterradas y/o sumergidas en un electrolito, es necesario conocer la diferencia de potencial adquirida en la interfase tubo/suelo, tanto en ausencia de corriente eléctrica de protección (potenciales naturales o de corrosión), como en la impresión de corriente eléctrica (potenciales de polarización). Para efectuar la medición de esta diferencia de potencial se requiere utilizar una celda o electrodo de referencia. En el caso de tuberías de acero enterradas o sumergidas enterradas, se debe utilizar la celda de cobre/sulfato de cobre saturado (Cu/CuSO4).

En los casos donde se utilicen electrodos de referencia diferentes al de cobre/sulfato de cobre saturado (Cu/CuSO4) se debe tomar en cuenta el potencial equivalente.

Entre los electrodos de referencia más usados encontramos los potenciales equivalentes siguientes:

**a)** KCl saturado (calomel) con un valor mínimo de potencial equivalente de: -0.78 volts.

**b)** Plata/ cloruro de plata con un valor mínimo de potencial equivalente de: -0.80 volts.

Se debe verificar cuando menos una vez al año el adecuado funcionamiento de los electrodos de referencia.

Los voltímetros utilizados en la medición de la diferencia de potencial tubo/suelo deben tener una alta impedancia de entrada. Se recomiendan impedancias de entrada no menores a 10 Mega Ohms.

Cuando se requiera conocer de manera continua la diferencia de potencial tubo/suelo, se debe utilizar un registrador de potencial mecánico o electrónico con rango y resistencia de entrada adecuados.

**5.8.2** Medición de resistividad. e deben realizar mediciones de la resistividad del suelo, para ser usadas como apoyo en la implementación del sistema de protección catódica.

La tabla 1 proporciona datos indicativos de los efectos de corrosividad del suelo referidos a la resistividad del mismo.

**TABLA 1**

Relación entre la resistividad y corrosividad del terreno

| Resistividad del suelo (ohms/cm) | Corrosividad del suelo |
|---|---|
| 0-1,000 | Altamente corrosivo |
| 1,000-5,000 | Corrosivo |
| 5,000-10,000 | Poco corrosivo |
| 10,000-en adelante | Muy poco corrosivo |

**5.8.3** Medición de corriente eléctrica. Durante las diferentes etapas en la implementación de un sistema de protección catódica para un sistema de tubería se deben efectuar, con la periodicidad indicada en los programas de operación y mantenimiento de la empresa, las mediciones siguientes:

**a)** Corriente eléctrica alterna de alimentación al rectificador;

**b)** Corriente eléctrica directa en la tubería protegida;

**c)** Corriente eléctrica directa de salida del rectificador, y

**d)** Corriente eléctrica directa que drena cada ánodo y la que drena la cama anódica.

Para realizar las mediciones de corriente eléctrica directa se deben utilizar los instrumentos de medición calibrados. La medición de corriente eléctrica en sistemas de ánodos galvánicos se debe realizar utilizando un amperímetro de alta ganancia.

**5.9 Funcionalidad del sistema.** Para que un sistema de protección catódica sea efectivo debe proporcionar una corriente eléctrica suficiente y una distribución uniforme al sistema de tubería a proteger, evitando interferencias, corto circuitos en encamisados metálicos y daños en los aislamientos eléctricos así como en el recubrimiento anticorrosivo.

Todos los sistemas de tubería de acero deben contar con un sistema de protección catódica permanente en un plazo no mayor a un año posterior a la terminación de su construcción. En suelos altamente corrosivos (0 a 2000 ohms/cm, presencia de agentes promotores de la corrosión, etc.), se debe instalar un sistema de protección catódica provisional con ánodos galvánicos en forma simultánea a la construcción del sistema de tubería. Este sistema provisional de protección catódica se debe sustituir, antes de un año después de terminada la construcción, por el sistema de protección catódica definitivo.

**5.9.1** Previsiones para el monitoreo. Para determinar la eficacia del sistema de protección catódica, la tubería debe contar con estaciones de registro eléctrico para la medición de potenciales tubo/suelo. Cuando la tubería esté instalada a campo traviesa, dichas estaciones deben instalarse cada kilómetro sobre el derecho de vía de la tubería y en todos los cruzamientos con estructuras metálicas enterradas, carreteras, vías de ferrocarril y ríos, en caso de ser posible.

Cuando la tubería esté instalada en zonas urbanas, las estaciones de registro eléctrico se pueden instalar en banquetas, registros de válvulas o acometidas, en caso de ser posible.

Cuando las estaciones de registro eléctrico de protección catódica no se puedan colocar de acuerdo a lo establecido en el párrafo anterior debido a impedimentos físicos o geográficos, la estación de registro correspondiente se debe instalar en el sitio accesible más cercano. La ubicación real de estos sitios se debe documentar y guardar en archivo para futuras referencias.

Las estaciones deben contar con puntas de prueba, a efecto que faciliten la medición de la corriente eléctrica del sistema de protección catódica en cada uno de los puntos donde se aplique el sistema de protección seleccionado, previendo las conexiones para la medición de la corriente eléctrica drenada por cada ánodo y la total de la cama anódica. Las mediciones se realizarán como mínimo una vez al año.

**5.9.2** Interferencias con otros sistemas. Cuando se vaya a instalar un sistema de protección catódica de una tubería nueva se debe notificar a todas las compañías que tengan estructuras metálicas enterradas y/o sumergidas cerca del área en donde se vaya a alojar la tubería por proteger, con la finalidad de predecir cualquier problema de interferencia. La notificación debe contener, como mínimo, la información siguiente:

**a)** La trayectoria que sigue el tendido de la tubería;

**b)** La indicación de rutas de las tuberías a proteger y de cualquier estructura que se vaya a unir a la tubería para reducir alguna interferencia;

**c)** El empleo de ánodos galvánicos o corriente impresa;

**d)** La posición de la cama o ánodos;

**e)** Las corrientes eléctricas esperadas, y

**f)** La fecha de puesta en operación del sistema.

El personal encargado de la protección catódica debe estar atento para detectar indicios de interferencia con una fuente generadora de corriente eléctrica vecina. En áreas donde se sospeche la presencia de corrientes eléctricas parásitas se deben efectuar los estudios correspondientes, dentro de los que se encuentran:

**a)** La medición de potencial tubo/suelo;

**b)** La medición del flujo de corriente eléctrica en la tubería interferida, y

**c)**La medición de las variaciones en la corriente eléctrica de salida de la corriente eléctrica de interferencia.

Los indicios más comunes de interferencia con una fuente vecina son:

**a)** Cambios de potencial tubo/suelo;

**b)** Cambios de magnitud o dirección de la corriente eléctrica;

**c)** Defectos en el recubrimiento, y

**d)** Daños locales por corrosión en el ducto.

Para mitigar los efectos mutuos entre las líneas de transmisión eléctrica y las tuberías de acero enterradas, la separación entre la pata de la torre o sistema de tierras de la estructura de la línea de transmisión eléctrica y el ducto debe ser mayor de 15 metros para líneas de transmisión eléctrica de 400 kilovolts, y mayor de 10 metros para líneas de transmisión eléctrica de 230 kilovolts y menores.

Cuando no sea posible lograr las distancias mínimas recomendadas, se debe realizar un estudio del caso particular para reforzar el recubrimiento de la tubería donde sea necesario y, por ningún motivo, la distancia debe ser menor a 3 metros respecto de la pata de la línea de transmisión eléctrica.

Se deben realizar estudios para evaluar los efectos que pudieran causar las descargas eléctricas de alto voltaje, corrientes eléctricas inducidas, cruces y paralelismo con torres de transmisión eléctrica y otras estructuras. Se deben realizar estudios y las correcciones necesarias para resolver los problemas de interferencia eléctrica.

**5.9.3** Cruzamientos. Se debe conocer el funcionamiento del sistema de protección catódica en los puntos de cruzamiento como son: calles, carreteras, vías de ferrocarril y ríos, debido a que en estos lugares, si tienen camisa metálica, se pueden propiciar aterrizamientos que provocarían una reducción en la efectividad del sistema de protección catódica.

Cuando existan cruzamientos y/o paralelismos con otras tuberías se debe verificar la interacción entre ambos sistemas mediante mediciones de potencial tubo/suelo y establecer las medidas correctivas para minimizar los efectos de la interacción.

**5.9.4** Defectos en el recubrimiento anticorrosivo. Debido a que el recubrimiento anticorrosivo de la tubería está expuesto a daños y deterioros por factores tales como: absorción de humedad, esfuerzos del terreno y desprendimiento catódico, se deben realizar investigaciones tendentes a identificar, cuantificar y valorar los defectos del recubrimiento dieléctrico y sus efectos en la demanda de corriente eléctrica del sistema de protección catódica seleccionado, estableciendo la conveniencia de repararlos y/o administrar la protección catódica en esas áreas desnudas de la tubería.

Cualquier tramo de la tubería que quede desnudo o expuesto al medio ambiente, debe ser examinado en búsqueda de evidencias de corrosión externa, y dependiendo del estado del recubrimiento dieléctrico, se tomen las acciones correctivas mencionadas en el inciso 5.2.2 b) que garanticen la integridad de la tubería.

Cuando se detecten daños en el recubrimiento anticorrosivo que sean de una magnitud que justifique su reposición, se deben aplicar recubrimientos anticorrosivos compatibles con el existente.

**5.10 Operación, inspección y mantenimiento.** Con el propósito de mantener la integridad de los sistemas de tuberías enterrados y/o sumergidos, la entidad encargada del sistema de protección catódica debe establecer, instrumentar y cumplir con los programas de inspección y mantenimiento periódico de los elementos que conforman los sistemas de protección catódica.

**5.10.1** Fuentes de energía eléctrica. Cuando el sistema de protección es a base de corriente impresa con rectificador, las fuentes de energía eléctrica se deben inspeccionar cuando menos seis veces cada año calendario a intevalos que no excedan de dos meses y medio. Para tal efecto, se deben llevar registros de las condiciones de operación, así como cualquier ajuste operacional en el voltaje y/o corriente eléctrica de salida. En caso de que una fuente de corriente eléctrica falle, se deben realizar las medidas correctivas necesarias en conformidad con los códigos, reglamentos, normas y leyes aplicables.

La frecuencia de revisión de sistemas de protección catódica automáticos, fotovoltaicos, turbo generadores y supervisados a control remoto, se deberá realizar cuando menos una vez al año.

En caso de ocurrir cambios positivos de potencial se debe tomar acción inmediata, particularmente en los puntos de impresión de corriente eléctrica, ya que esto pudiera indicar una polaridad invertida en la fuente externa de corriente eléctrica directa.

**5.10.2** Camas anódicas. Los dispositivos anódicos, por lo general, son instalados en forma permanente y no requieren de mantenimiento. Estos dispositivos deben ser revisados y reemplazados cuando se presente una falla o concluya la vida útil. Se debe verificar la corriente eléctrica de salida de los ánodos y la corriente eléctrica total de la cama anódica, a fin de determinar si la cama anódica está funcionando correctamente. Cuando se requiera, los ánodos de la cama anódica se deben humectar con la adición de agua limpia.

**5.10.3** Conexiones eléctricas. Todas las conexiones eléctricas e interruptores de corriente eléctrica se deben revisar como mínimo una vez al año y, en caso de existir alguna anomalía, se debe eliminar o corregir.

**5.10.4** Aislamientos eléctricos. Los dispositivos de aislamiento eléctrico se deben verificar cuando menos una vez al año y reemplazar en caso de falla.

**5.10.5** Recubrimientos. Se deben realizar inspecciones cuando menos cada seis meses del recubrimiento dieléctrico en todos los tramos de las tuberías que se encuentren en la superficie y en áreas expuestas. Cuando el recubrimiento se encuentre deteriorado se debe reemplazar o reparar.

**5.10.6** Levantamiento de potenciales. Se deben efectuar mediciones de potenciales tubo/suelo a lo largo de la trayectoria de la tubería, a intervalos máximos de seis meses para zonas a campo traviesa y cada tres meses en zonas urbanas. Esta periodicidad puede ser modificada para condiciones particulares del sistema de protección catódica o para zonas críticas en las que una falla del sistema resulte en una condición de riesgo para la seguridad de la población, así como para áreas en donde se hayan identificado y probado la existencia de potenciales de subprotección y que se requiera evaluar la efectividad de las medidas correctivas mencionadas en el inciso 5.2.2 b) aplicadas o en caso que se presente algún fenómeno de interacción eléctrica con sistemas ajenos al seleccionado.

**5.11 Seguridad.** Esta sección indica aspectos mínimos de seguridad que se deben considerar en los sistemas de protección catódica de tuberías enterradas y/o sumergidas.

Los sistemas de protección catódica durante sus distintas etapas involucran el uso de equipo energizado, dispositivos de aislamiento eléctrico, puenteos eléctricos y mediciones de parámetros eléctricos los cuales pueden provocar daños al personal operativo por descargas eléctricas. Por ello estos trabajos se deben ejecutar por personal calificado y con experiencia en materia de obras e instalaciones eléctricas y de acuerdo a lo que establecen los reglamentos, códigos, normas y leyes aplicables.

El personal que realice actividades de protección catódica debe utilizar la ropa y equipo de protección personal apropiados para el manejo de equipo energizado.

El encargado del sistema de protección catódica deberá dar por escrito las instrucciones de trabajo al personal que realice los trabajos referentes a la protección catódica en donde se indiquen las labores encomendadas, los implementos y equipos de seguridad aplicables así como el equipo y herramientas idóneas para el desempeño de las funciones.

Cuando se requiera realizar una revisión o reparación en el sistema de protección catódica que involucre un riesgo, el encargado de la protección catódica debe expedir la autorización para la realización del trabajo respectivo.

**5.11.1** Medidas generales. Las medidas de seguridad aplicables al equipo, instalación y mantenimiento de los sistemas de protección catódica, deben considerar que se tiene la posibilidad de descargas eléctricas, cortocircuito, producción de chispas debidas a arcos eléctricos que puedan originar riesgos de incendio, toxicidad debida a la generación de cloro en camas anódicas, voltajes y corrientes eléctricas inducidas por líneas de transmisión eléctrica o sistemas de tierra localizados en las proximidades de los ductos protegidos catódicamente, así como a condiciones meteorológicas, por lo que se deberán tomar las medidas de seguridad siguientes:

**a)** Cuando se instalen dispositivos de aislamiento eléctrico en áreas donde se anticipe una atmósfera combustible, se debe evitar la formación de arco eléctrico conectando a tierra las instalaciones;

**b)** Los rectificadores utilizados en los sistemas de protección catódica deben ser de doble devanado y conectados a tierra;

**c)** Las terminales energizadas deben estar aisladas para prevenir un contacto accidental por parte del personal operativo, y

**d)** Para reducir el riesgo de daño a las personas por el gradiente de voltaje en la superficie del suelo circundante de las camas anódicas, se deben tomar las precauciones siguientes:

**1.** Enterrar, a 90 centímetros como mínimo, los ánodos y el material de relleno que constituyen la cama anódica, y

**2.** Aislar totalmente y proteger de daños mecánicos los cables eléctricos de interconexión.

Cuando exista la posibilidad de que se desarrollen voltajes inducidos que pudieran causar un arco eléctrico en las juntas de aislamiento, se deben utilizar celdas electrolíticas de puesta a tierra, celdas de polarización u otros dispositivos adecuados para canalizar la energía a tierra.

**5.11.2** Generación de gases peligrosos. En sistemas de protección catódica en los que se instalen ánodos en pozo profundo se deben incluir venteos para evitar la acumulación de gases de hidrógeno y cloro producto del desprendimiento, debido a que pueden ser una condición de riesgo de explosión o intoxicación.

**5.11.3** Instalación en atmósferas peligrosas. La naturaleza eléctrica de los sistemas de protección catódica representa el riesgo de una fuente de ignición en atmósferas peligrosas (combustibles y/o explosivas), por lo que su instalación en esas áreas debe satisfacer la clasificación eléctrica de áreas conforme a la NOM-001-SEMP-1994.

**5.11.4** Corto circuitos en instalaciones eléctricas. El cortocircuito de juntas aislantes constituye un riesgo potencial, por lo que, en caso de ser posible, dichas juntas se deben instalar fuera de áreas peligrosas. Cuando no sea posible, se deben adoptar medidas para evitar chispas o arcos eléctricos, como:

**a)** Conexiones de resistencia colocadas en gabinetes a prueba de fuego;

**b)** Arrestador de flama encapsulado;

**c)** Electrodos de zinc conectados a tierra en cada lado de la junta aislante, o

**d)** Una celda de polarización conectada a través de la junta aislante o a tierra.

Las superficies de la junta aislante deben estar encapsuladas para prevenir corto circuitos causados por herramientas.

**5.11.4.1** Desconexión, separación o ruptura de la tubería protegida. La tubería protegida catódicamente tiene una corriente eléctrica fluyendo a través de ella, cualquier desconexión, separación o ruptura de la tubería interrumpe el flujo de corriente eléctrica, lo que puede provocar la generación de un arco eléctrico dependiendo de la magnitud de la corriente eléctrica.

El transformador-rectificador que protege una sección de la tubería en la que se realizará una modificación, mantenimiento o reparación debe ser apagado y se debe instalar una conexión temporal. Es esencial que la conexión esté puenteada a cada uno de los lados de la separación y que permanezca conectada hasta que se termine el trabajo y la continuidad eléctrica sea restaurada o hasta que el área quede libre de gas y sin riesgo.

**5.11.4.2** Equipo eléctrico. El equipo eléctrico instalado en un área de proceso debe ser a prueba de fuego y estar certificado para su uso en el área, con base en la NOM-001-SEMP-1994. En el área de proceso se deben utilizar interruptores de doble polo para asegurar que ambos polos estén aislados durante el mantenimiento. Cada cable que transporte corriente eléctrica de protección catódica se debe instalar de manera que no se pueda realizar la desconexión dentro del área de riesgo sin suspender la energía al sistema de protección catódica. Los cables deben estar protegidos mecánicamente para prevenir su ruptura.

**5.11.4.3** Instrumentos de prueba. Cuando se efectúen mediciones eléctricas para el control de la protección catódica en atmósferas peligrosas, el equipo utilizado debe ser intrínsecamente seguro, y antes de realizar los trabajos el área debe ser evaluada y declarada libre de una atmósfera peligrosa.

**5.11.5** Señalización de instalaciones energizadas. En los lugares donde se instalen fuentes de corriente eléctrica para la protección catódica se deben colocar señalamientos de advertencia visibles de acuerdo a la NOM-001-SEMP-1994.

**5.12 Documentación.**

**5.12.1** Historial del sistema de protección catódica. La entidad, órgano o empresa responsable del sistema de protección catódica debe contar con la documentación que respalde todas las acciones realizadas desde la implementación, operación y mantenimiento del sistema. Esta documentación debe estar bajo resguardo y disponible para la autoridad competente que la requiera. La información debe contener como mínimo lo siguiente:

**a)** Implementación:

- Objetivo del sistema de protección catódica;
- Especificaciones del recubrimiento dieléctrico así como de su instalación;
- Ubicación y especificaciones de dispositivos de aislamiento eléctrico;
- Pruebas previas a la implementación:
  - **1)** Localización de la tubería (plano, referencias geográficas, accesos, etc.);
  - **2)** Estudios de resistividades del suelo;
  - **3)** Resultados de pruebas de requerimiento de corriente eléctrica, ubicación y características de camas anódicas provisionales, condiciones de operación de la fuente de corriente eléctrica directa provisional, resistencia del circuito, perfil de potenciales naturales y de polarización, potencial máximo en el punto de impresión de corriente, y
  - **4)** Ubicación de estructuras metálicas ajenas a la tubería a proteger;
- Memoria técnica del sistema de protección catódica (tiempo de vida, criterios, ubicación de camas anódicas, número, dimensiones y tipo de los ánodos utilizados, densidad de corriente eléctrica, resistencia total de circuito, por ciento de área desnuda a proteger, especificación de materiales y equipo, cálculos, recomendaciones, prácticas de ingeniería, normas, códigos, reglamentos y regulaciones observadas durante la implementación);
- Resultados de pruebas de interacción con otros sistemas eléctricos ajenos al sistema de protección catódica (líneas de alta tensión, sistemas de tierras, estructuras metálicas vecinas protegidas o no catódicamente y dependencias involucradas);

**b)** Instalación:

- Planos y diagramas del sistema de protección catódica tal y como fue instalado. (Arreglos constructivos de la cama anódica, de la fuente externa de corriente eléctrica directa, conexiones eléctricas cable-ducto, ducto-estación de registro de potencial, puenteos eléctricos entre ductos);
- Permisos internos y externos;
- Afectaciones a otras estructuras y/o sistemas de protección catódica a terceros;
- Modificaciones constructivas, adecuaciones, y
- Resultados de las pruebas durante la puesta en operación del sistema de protección catódica y ajustes de campo.

En el caso de tuberías existentes se debe presentar la información que asegure que el ducto se encuentra protegido catódicamente y que no presenta interacción con otros sistemas eléctricos adyacentes a su trayectoria. Así mismo se debe establecer un método permanente para completar la información documental requerida para ductos nuevos.

**5.12.2** Interacción con estructuras y sistemas de otras dependencias. Es esencial que durante la planeación, instalación, prueba, puesta en marcha y operación de un sistema de protección catódica se notifiquen dichas acciones a las entidades que tengan a su cargo sistemas de tubería de acero enterradas, cables u otras estructuras (ductos de agua, cableado telefónico, líneas de fibra óptica y líneas de alta tensión), próximas a la instalación. Dicha notificación se debe realizar con una anticipación mínima de un mes y por escrito.

Lo anterior, con el propósito de asegurar que el sistema sea instalado de tal manera que la interacción de la protección catódica con sistemas y estructuras vecinas sea mínima.

**5.13 Registros.** Los registros de control de la corrosión deben documentar en forma clara, concisa y metódica la información relacionada a la operación, mantenimiento y efectividad del sistema de protección catódica.

**5.13.1** Funcionalidad del sistema de protección catódica. Se debe registrar la fecha de puesta en servicio del sistema de protección catódica, los levantamientos de potencial, inspecciones y pruebas realizadas para comprobar que no existen interferencias y asegurar que los aislamientos, recubrimientos y encamisados se encuentran funcionando satisfactoriamente.

Los registros del sistema de protección catódica se deben conservar durante el tiempo que las instalaciones permanezcan en servicio.

**5.13.2** Modificaciones al sistema original. Todas las modificaciones que se efectúen al sistema de protección catódica original deben registrarse anotando la fecha y modificación realizada, de manera que forme parte de la documentación conforme con lo indicado en los puntos 5.13 y 5.13.1 de esta Norma, anexando memorias y planos de ingeniería en caso de rehabilitaciones mayores como cambio de capacidad del rectificador y cambio de ubicación de la cama anódica, entre otras.

**5.13.3** Reparación o reemplazo de algún componente del sistema de protección catódica. Se deben registrar las reparaciones o reemplazos cuando las inspecciones y pruebas periódicas realizadas indiquen que la protección no es efectiva. Dichas pruebas pueden ser, entre otras:

**a)** Reparación, reemplazo o ajuste de componentes del sistema de protección catódica;

**b)** Aplicación del recubrimiento en las áreas desnudas;

**c)** Interferencia de cualquier estructura metálica en contacto con la tubería y su localización;

**d)** Reposición de los dispositivos de aislamiento dañados;

**e)** Acciones para corregir corto circuitos en tuberías encamisadas, y

**f)** Pruebas de interferencia con estructuras cercanas.

**5.13.4** Estudios especiales. Se deben registrar todos los resultados obtenidos de investigaciones especiales como son, entre otros: estudios de levantamiento de potenciales a intervalos cortos, inspección del recubrimiento dieléctrico mediante gradiente de voltaje de corriente eléctrica directa, así como cualquier otra investigación referente a la efectividad del sistema de protección catódica. Esta información debe formar parte del historial de la protección catódica del ducto.

**6. Vigilancia**

La Secretaría de Energía, por conducto de la Comisión Reguladora de Energía, es la autoridad competente para vigilar, verificar y hacer cumplir las disposiciones contenidas en esta Norma.

En conformidad con lo previsto en el artículo 73 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Secretaría de Energía, por conducto de la Comisión Reguladora de Energía, establecerá los procedimientos para la evaluación de la conformidad del control de la corrosión externa en tuberías de acero enterradas y/o sumergidas.

**7. Concordancia con normas internacionales**

La presente Norma no coincide con ninguna norma internacional; sin embargo, para su elaboración se tomaron como base los códigos y estándares siguientes:

**1.** NACE RPO169, “Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems”, 1992.

**2.** British Standard BS 7361 Cathodic Protection, Part 1 “Code of Practice for Land and Marine Applications”, 1991.

**3.** ASME B31.8 “Gas Transmission and Distribution Piping Systems”, 1995.

**4.** Department of Transportation “Pipeline Safety Regulations Part 192”, 1995.

**8. Bibliografía**

**8.1** RPO169, “Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Systems”, NACE Standard Recommended Practice. Houston, Texas, April, 1992.

**8.2** Cathodic Protection, Part 1, Code of Practice for Land and Marine Applications. British Standard. Englewood, Colorado 1991.

**8.3** Pipeline Safety Regulations, Part 192, Department of Transportation. U.S. December 7, 1995.

**8.4** Gas Transmission and Distribution Piping Systems, ASME B31.8. New York, N.Y. December 7, 1995.

**8.5** Norma Pemex No. 2.413.01. Sistemas de Protección Catódica, 1990.

**8.6** Norma Pemex No. 3.135.01. Instalación de Sistemas de Protección Catódica, 1974.

**8.7** Norma Pemex No. 07.3.13. Requisitos Mínimos de Seguridad para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento e Inspección de Tuberías de Transporte. Septiembre 1994.

**8.8** Peabody, A.W., Control of Pipeline Corrosion. Houston, TX. NACE, 1967.

**8.9** ASTM Standard G-8-72, Test for Cathodic Disbonding of Pipeline Coatings, 1990.

**8.10** DOT Part. 192, Transportation of Natural and Other Gas By Pipeline; Annual Reports, Incident Reports and Safety Related Condition Reports. Parts. 192-459, 192-483, 192-485, 192-487 y 192-489, 1995.

**8.11** RPO572, “Design, Installation, Operation and Maintenance of Impressed Current Deep Groundbeds”, NACE Standard Recommended Practice. Houston, Texas, 1992.

**8.12** RPO285, “Control of External Corrosion on Metallic Buried, Partially Buried, or Submerged Liquid Storage Systems”, NACE Standard Recommended Practice. Houston, Texas, 1992.

**8.13** RPO286, “The Electrical Insulation of Cathodically Protected Pipelines”, NACE Standard Recommended Practice. Houston, Texas, 1992.

**8.14** RPO188, “Discontinuity (Holiday) Testing of Protective Coatings”, NACE Standard Recommended Practice. Houston, Texas, 1992.

**8.15** TPC 11, “A Guide to the Organization of Underground Corrosion Control Coordinating Committees”, 1992.

**8.16** NACE Publication 10A190, “Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodic Protection of Underground or Submerged Steel Piping Systems (as defined in NACE Standard RP0169-92)”, 1992.

**8.17** NACE Publication 10B189, “Direct Current (DC) Operated Rail Transit and Mine Railroad Stray Current Mitigation”, 1992.

**8.18** NACE Item No. 54277, “Specialized Surveys for Burried Pipelines”, 1992.

**8.19** NACE item No. 54276, “Cathodic Protection Monitoring on Buried Pipelines”, 1992.

**8.20** SHREIR, L.L. Corrosion (2 vols.). London, Newnes-Butterworth, 1976.

**8.21** MORGAN, J.H. Cathodic Protection. 2nd. ed., National Association of Corrosion Engineers, 1987.

**8.22** JACQUET, B. and MOORE, W.B.R. Effects of Earth Currents on Buried Pipelines and Cables. CIGRE Study Committee No. 36. Paris, August 1986.

**8.23** PARKE, M.E. and PEATTIE, E.G. Pipeline Corrosion and Cathodic Protection. 3rd.ed., Gulf Publishing, 1984.

**9. Vigencia**

Esta Norma Oficial Mexicana entrará en vigor a los 60 días naturales después de la fecha de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

Atentamente

Sufragio Efectivo. No Reelección.

México, D.F., a 10 de enero de 2000.- El Presidente de la Comisión Reguladora de Energía y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Gas Natural y Gas Licuado de Petróleo por medio de Ductos, **Héctor Olea**.- Rúbrica.