

INSPECCIÓN DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA DE DUCTOS TERRESTRES

Procedimiento

Esta Norma sustituye y cancela su revisión anterior

Corresponde a la CONTEC - Subcomisión Autora, orientar respecto a la interpretación del texto de esta Norma. El Órgano de la PETROBRAS usuario de esta Norma es responsable por adoptar y aplicar sus ítems.

Requisito Técnico: Prescripción establecida como la más adecuada y que debe ser utilizada estrictamente en conformidad con esta Norma. La eventual resolución de no seguirla (no conformidad con esta Norma) debe tener fundamentos técnico-gerenciales y debe ser aprobada y registrada por el Órgano de la PETROBRAS usuario de esta Norma. Se caracteriza por los verbos: “deber”, “ser”, “exigir”, “determinar” y otros verbos que expresan imposición.

Práctica Recomendada: Prescripción que se puede utilizar en las condiciones previstas por esta Norma, pero que admite (y advierte sobre) la posibilidad de una alternativa (no expresada en esta Norma) más adecuada para la aplicación específica. La alternativa adoptada debe ser aprobada y registrada por el Órgano de la PETROBRAS usuario de esta Norma. Se caracteriza por los verbos: “recomendar”, “poder”, “sugerir” y “aconsejar” (verbos que no expresan imposición). Se indica por la expresión: **[Práctica Recomendada]**

Copias de los registros de las no conformidades con esta Norma, que puedan contribuir para su perfeccionamiento, deben ser enviadas a la CONTEC - Subcomisión Autora.

Las propuestas para revisión de esta Norma deben ser enviadas a la CONTEC - Subcomisión Autora, indicando su identificación alfanumérica y revisión, el ítem para revisar, la propuesta de redacción y la justificativa técnico-económica. Las propuestas son apreciadas durante los trabajos de alteración de esta Norma.

“PETROLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS es la titular exclusiva de esta Norma, de utilización interna en la compañía, y cualquier reproducción para utilización o divulgación externa, sin previa y expresa autorización de la titular, representa acto ilícito en los términos de la legislación pertinente, a través de la que se imputarán las responsabilidades aplicables. La circulación externa se regulará mediante cláusula propia de Sigilo y Confidencialidad, en los términos del derecho intelectual y propiedad intelectual.”

CONTEC

Comissão de Normalização
Técnica

SC - 15

Protección Catódica

Presentación

Las normas técnicas PETROBRAS son elaboradas por Grupos de Trabajo - GTs (formados por especialistas de la Compañía y de sus Subsidiarias). Las comentan las Unidades de la Compañía y de sus Subsidiarias, son aprobadas por las Subcomisiones Autoras - SCs (formadas por técnicos de una misma especialidad, representando las Unidades de la Compañía y de sus Subsidiarias) y aprobadas por la Núcleo Ejecutivo (formada por los representantes de las Unidades de la Compañía y de sus Subsidiarias). Una Norma Técnica PETROBRAS está sujeta a revisión a cualquier momento por parte de la Subcomisión Autora y debe ser reanalizada a cada 5 años para revalidación, revisión o cancelación. Las Normas Técnicas PETROBRAS son elaboradas en conformidad con la norma PETROBRAS N-1. Para obtener informaciones completas sobre las Normas Técnicas PETROBRAS, ver Catálogo de Normas Técnicas PETROBRAS.

**SUMARIO**

PREFACIO	6
1 OBJETIVO.....	6
2 DOCUMENTOS COMPLEMENTARIOS	6
3 DEFINICIONES	6
3.1 BRS	7
3.2 CA	7
3.3 CC	7
3.4 CORRIENTES DE INTERFERENCIAS DINÁMICAS	7
3.5 CORRIENTES TELÚRICAS	7
3.6 CUPÓN DE PROTECCIÓN CATÓDICA	7
3.7 DISPOSITIVO DE MONITOREO REMOTO - DMR.....	7
3.8 DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN DE JUNTA DE AISLAMIENTO - DPJI	7
3.9 DRENAJE ELÉCTRICO	7
3.10 DRENAJE GALVÁNICO	8
3.11 INSPECCIÓN DE RUTINA.....	8
3.12 INSPECCIÓN ESPECIAL.....	8
3.13 JUNTAS DE AISLAMIENTO ELÉCTRICO TIPO CONVENCIONAL	8
3.14 JUNTAS DE AISLAMIENTO ELÉCTRICO TIPO MONOBLOQUE.....	8
3.15 PUNTOS DE PRUEBA - PP	8
3.16 POTENCIAL DE PROTECCIÓN	8
3.17 POTENCIAL “ENCENDIDO” (ON).....	8
3.18 POTENCIAL “APAGADO” (OFF).....	9
3.19 CAÍDA ÓHMICA DE IR EN EL SUELO	9
3.20 REGISTRO CONTINUO DE POTENCIAL TUBO - SUELO	9
3.21 SEMICELDA O ELECTRODO DE REFERENCIA.....	9
3.22 SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA - SPC	9
3.23 SUPERPROTECCIÓN CATÓDICA.....	9
3.24 TÉCNICAS DE INSPECCIÓN ESPECIAL.....	9
3.24.1 MÉTODO ACVG (“ALTERNATING CURRENT VOLTAGE GRADIENTE SURVEY”)	9
3.24.2 MÉTODO DCVG (“DIRECT CURRENT VOLTAGE GRADIENTE SURVEY”).....	10
3.24.3 MÉTODO DE LA ATENUACIÓN DE CORRIENTE - AC (“CURRENT ATTENUATION SURVEY”).....	10
3.24.4 PASO A PASO - PP (“CIPS - CLOSE INTERVAL POTENTIAL SURVEY”)	10
4 CONDICIONES GENERALES	10
5 CRITERIOS DE PROTECCIÓN CATÓDICA.....	12



5.1	LOS DUCTOS NO SUJETOS A CORRIENTES DE INTERFERENCIAS DINÁMICAS.....	12
5.2	DUCTOS SUJETOS A CORRIENTES DE INTERFERENCIAS DINÁMICAS	13
6	INSPECCIÓN DE RUTINA	13
6.1	GENERAL	13
6.2	LEVANTAMIENTOS DE POTENCIALES DE TUBO - SUELO.....	15
6.2.1	DUCTOS - NO SUJETOS A CORRIENTES DE INTERFERENCIAS DINÁMICAS	15
6.2.1.1	INSPECCIÓN ANUAL	15
6.2.1.2	INSPECCIÓN SEMESTRAL	16
6.2.2	DUCTOS SUJETOS A CORRIENTES DE INTERFERENCIAS DINÁMICAS	16
6.2.2.1	INSPECCIÓN ANUAL	16
6.2.2.2	INSPECCIÓN SEMESTRAL	17
6.3	COMPONENTES DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA	17
6.3.1	RECTIFICADORES	17
6.3.2	DRENAJES ELÉCTRICOS	18
6.3.3	DRENAJES GALVÁNICOS	20
6.3.4	LECHOS DE ÁNODOS GALVÁNICOS E INERTES.....	20
6.3.5	PUNTOS DE PRUEBA	21
6.3.6	JUNTAS DEL AISLAMIENTO ELÉCTRICO Y DPJI	21
6.3.7	DMR.....	22
6.3.8	EXTENSIONES DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA Y MEDIDOR DE CONSUMO.....	22
6.4	PROCEDIMIENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES/FORMULARIOS	22
6.5	ESTRUCTURA MÍNIMA PARA LA EJECUCIÓN DE LAS INSPECCIONES DE RUTINA	23
6.5.1	CALIFICACIÓN DE PERSONAL	23
6.5.2	INSTRUMENTOS Y ACCESORIOS MÍNIMOS RECOMENDADOS	23
6.5.3	CALIBRACIÓN	24
7	INSPECCIÓN ESPECIAL.....	24
7.1	GENERAL	24
7.2	PLAN DE INSPECCIÓN ESPECIAL	25
7.3	PROCEDIMIENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES	26
7.4	PLAN DE LA REHABILITACIÓN	26
8	ACCIONES CORRECTIVAS	27
	ANEXO A - MEDICIONES DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	28
A-1	MEDICIÓN DEL POTENCIAL	28
A-1.1	GENERAL.....	28
A-1.2	MEDICIÓN DEL POTENCIAL "ON"	28
A-1.3	POTENCIAL INSTANTÁNEO "OFF".....	28

A-1.4 CUPÓN DE PROTECCIÓN CATÓDICA.....	29
A-2 LA EFICACIA DE LAS JUNTAS DEL AISLAMIENTO ELÉCTRICO	30
A-2.1 GENERAL.....	30
A-2.2 MEDICIONES DE POTENCIAL TUBO-SUELO.....	30
A-2.3 MEDICIONES DE RESISTENCIA ELÉCTRICA	31
A-2.4 PRUEBA DE CORRIENTE	31
A-2.5 MEDICIONES CON GENERADOR DE AUDIO - FRECUENCIA.....	31
ANEXO B - PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN DE LECHOS DE ÁNODOS INERTES Y GALVÁNICOS.....	32
B-1 PRUEBA DE LAS 2 SEMICELDAS.....	32
B-2 RECOMENDACIONES	32
ANEXO C - SISTEMÁTICA PARA LA DETECCIÓN DE FALLAS EN LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA DURANTE LA OPERACIÓN.....	34
ANEXO D - INTERFERENCIA ELÉCTRICA	36
D-1 GENERAL.....	36
D-2 INTERFERENCIAS POR CORRIENTES CONTINUAS	36
D-2.1 MEDICIONES.....	36
D-2.2 MITIGACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE LA CORROSIÓN POR INTERFERENCIA DE CORRIENTE CONTINUA.....	37
D-3 INTERFERENCIA POR CORRIENTES ALTERNAS	38
D-3.1 GENERAL	38
D-3.2 CÁLCULO DE LA INDUCCIÓN CORRIENTE ALTERNA.....	38
D-3.3 MEDIDAS DE CORRIENTE DE INTERFERENCIA CA.....	38
D-3.4 LIMITES PARA LAS INTERFERENCIAS CA	39
ANEXO E - PROCEDIMIENTO PARA INVESTIGAR LA OCURRENCIA DE CORROSIÓN CON TENSIÓN EN DUCTOS CON IDENTIFICACIÓN DE LOS TRAMOS CON MAYOR SUSCEPTIBILIDAD	41
ANEXO F - CLASIFICACIÓN DE LA CORROSIÓN DEL SUELO	42
F-1 INTRODUCCIÓN	42
F-2 CRITERIOS DE AGRESIVIDAD DEL SUELO	42
F-3 PROCEDIMIENTO DE RECOGIDA DE MUESTRA.....	43

TABLAS

TABLA 1 - LOS CRITERIOS DE PROTECCIÓN CATÓDICA PARA DUCTOS NO SUJETOS A CORRIENTES DE INTERFERENCIAS DINÁMICAS	12
TABLA 2 - PERIODICIDAD DE LA INSPECCIÓN DE RUTINA	14
TABLA 3 - CRITERIOS PARA LA REALIZACIÓN DE LOS REGISTROS ANUALES	16

TABLA 4 - PLAN DE INSPECCIÓN ESPECIAL (VER CAPÍTULO 3).....	25
TABLA C-1 - NATURALEZA DE LAS FALLAS EN SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA	34
TABLA F-1 - ÍNDICES PARCIALES DE LA AGRESIVIDAD DEL SUELO	42
TABLA F-2 - CLASIFICACIÓN DEL SUELO	43

FIGURAS

FIGURA A-1 - DIAGRAMA DE LA POLARIZACIÓN DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA.....	29
FIGURA B-1 - MEDICIÓN DEL POTENCIAL CON 2 SEMICELDAS SOBRE UN LECHO DE ÁNODOS	33
FIGURA B-2 - CURVA DE POTENCIAL VERSUS DISTANCIA SOBRE UNA LECHO DE ÁNODOS	33

/PREFACIO

PREFACIO

Esta Norma es la versión en Español (aprobada en JUN/2006) de la norma PETROBRAS N-2801 REV. A DIC/2005.

1 OBJETIVO

1.1 Esta Norma fija las condiciones mínimas exigibles para la realización de las inspecciones rutinarias y especial de protección catódica de ductos terrestres, conforme definido en la norma PETROBRAS [N-2098](#).

Nota: Ductos submarinos o tramos submarinos de ductos terrestres no son considerados en esta Norma y deben ser inspeccionados de acuerdo con la norma PETROBRAS [N-1487](#). Sin embargo, en el caso de que sean protegidos por un sistema de protección catódica instalado en suelo, los equipos deben ser inspeccionados de acuerdo con esta Norma.

1.2 Esta Norma se aplica a la inspección de sistemas de protección catódica de ductos terrestres, a partir de la fecha de su edición.

1.3 Esta Norma contiene Requisitos Técnicos y las Prácticas Recomendadas.

2 DOCUMENTOS COMPLEMENTARIOS

Los documentos que constan en la siguiente lista están mencionados en el texto y contienen prescripciones válidas para la presente Norma.

PETROBRAS N-1487	- Inspeção Externa - Duto Submarino;
PETROBRAS N-1493	- Equipamento de Drenagem para Proteção Catódica;
PETROBRAS N-2098	- Inspeção de Dutos Terrestres em Operação;
PETROBRAS N-2608	- Retificadores para Proteção Catódica;
NACE TM-0497	- Measurement Technique Related to Criteria for Cathodic Protection on Underground or Submerged Metallic Piping System.

Nota: Para los documentos referidos en esta Norma y que solamente la versión en Portugués este disponible, el órgano de la PETROBRAS que utiliza esta Norma debe ser consultado para cualquier información para la aplicación específica.

3 DEFINICIONES

Para fines de esta Norma se han adoptado las definiciones indicadas en los ítems 3.1 a 3.24.

3.1 BRS

Bacterias reductoras de sulfato.

3.2 CA

Corriente eléctrica alterna.

3.3 CC

Corriente eléctrica continua.

3.4 Corrientes de Interferencias Dinámicas

Corrientes eléctricas continuas o alternas dispersas en el electrolito, de origen telúrico o de escape de sistemas de tracción ferroviarios o de vías de metro o de líneas de transmisión eléctrica o de otros sistemas de protección catódica, que entran en ciertas áreas del ducto y pueden causar corrosión en el local de la tubería donde dejan tal estructura.

3.5 Corrientes Telúricas

Corrientes de interferencia circulantes en la tubería proveniente de las fluctuaciones geomagnéticas del planeta.

3.6 Cupón de Protección Catódica

Dispositivo constituido por una semicelda permanente de cobre/sulfato de cobre (Cu/CuSO_4) y una muestra metálica representativa del material del ducto con un área de exposición conocida, usada para valorar la eficiencia de la protección catódica aplicada.

3.7 Dispositivo de Monitoreo Remoto - DMR

Dispositivo de monitoreo remoto de los parámetros de protección catódica, tales como: potencial de tubo-suelo, tensión y corriente de rectificadores, tensión de la alimentación de los equipos eléctricos, señal de la abertura de puerta y corriente drenada.

3.8 Dispositivo de Protección de Junta de Aislamiento - DPJI

Dispositivo de protección de la junta de aislamiento eléctrico del tipo convencional o monobloque, contra transmisores de tensión originarios de las descargas atmosféricas o inducciones debidas a cortocircuitos en líneas de transmisión de energía eléctrica.

3.9 Drenaje Eléctrico

Equipo con alimentación CA constituido por un diodo y una clave electrónica cuya función es retornar la corriente de interferencia, a través de un lecho de ánodo o conexión directa, a la fuente de origen.

3.10 Drenaje Galvánico

Equipo constituido por diodo cuya función es retornar a la corriente de interferencia, a través de un lecho de ánodo o conexión directa, a la fuente de origen.

3.11 Inspección de Rutina

Inspección realizada periódicamente para valorar los niveles de potencial de tubo-suelo de protección catódica a que los ductos están sometidos, así como verificar las condiciones operacionales de los componentes básicos de un Sistema de Protección Catódica (SPC) de ductos terrestres.

3.12 Inspección Especial

Inspección complementaria realizada en función de las necesidades de evaluación de la integridad del ducto, relacionadas al sistema de protección anticorrosivo externo (revestimiento y protección catódica) del ducto, realizada por técnicas especiales como, por ejemplo, las presentadas en el ítem 3.24.

3.13 Juntas de Aislamiento Eléctrico Tipo Convencional

Accesorio aislante eléctrico instalado en un par de bridas, entre 2 tramos del ducto, para proporcionar la discontinuidad eléctrica entre tales tramos.

3.14 Juntas de Aislamiento Eléctrico Tipo Monobloque

Accesorio aislante eléctrico prefabricado, instalado entre 2 tramos de ducto, para proporcionar la discontinuidad eléctrica entre tales tramos.

3.15 Puntos de Prueba - PP

Dispositivo destinado a la medición del potencial electroquímico del ducto. Para el efecto de esta Norma se considera como punto de prueba, las cajas de interconexión entre los ductos de la PETROBRAS y de terceros.

3.16 Potencial de Protección

Medición del potencial estructura-electrolito para el cual la cantidad de corrosión es desechable.

3.17 Potencial “Encendido” (ON)

Medida de potencial de tubo-suelo cuando el SPC está operando continuamente, o sea, potencial medido con la caída óhmica IR presente en el suelo.

3.18 Potencial “Apagado” (OFF)

Medida de potencial de estructura-electrolito inmediatamente después de la interrupción de la aplicación de la corriente de protección catódica de todas las fuentes de protección catódica que influyen en el potencial del ducto en el sitio de la medición, o sea, el potencial medido libre de la caída óhmica.

3.19 Caída Óhmica de IR en el Suelo

La caída de tensión en el suelo, debido al paso de la corriente eléctrica, medida entre la semicelda de referencia y la superficie metálica del ducto, de acuerdo con la ley de Ohmio.

3.20 Registro Continuo de Potencial Tubo-Suelo

La medición sigue continuamente en determinado punto, por tiempo definido, usándose un voltímetro-registrador.

3.21 Semicelda o Electrodo de Referencia

Electrodo cuyo potencial a circuito abierto es constante bajo las condiciones similares de la medición, siendo utilizado para medir el potencial de tubo-suelo.

3.22 Sistema de Protección Catódica - SPC

Sistema que consiste de fuente de corriente continua y de ánodo con el propósito de suministrar corriente de amparo anticorrosivo a una estructura metálica enterrada o sumergida.

3.23 Superprotección Catódica

Potenciales excesivamente negativos, causados por altas densidades de corriente junto a una falla del revestimiento del ducto.

3.24 Técnicas de Inspección Especial

3.24.1 Método ACVG (“Alternating Current Voltage Gradiente Survey”)

Técnica de inspección cuantitativa y cualitativa de fallas del revestimiento realizada con un equipo apropiado que localiza puntualmente la falla en el revestimiento, a partir de la superficie del suelo, midiendo la caída óhmica en el suelo proveniente de la señal CA inyectada por un transmisor.

3.24.2 Método DCVG (“Direct Current Voltage Gradiente Survey”)

Técnica de inspección de falla (cuantitativa y cualitativa) aplicada en ductos enterrados, realizada sobre la extensión de dominio del ducto. Esta técnica consta de la inyección de la corriente continua entre el ducto y el suelo con la lectura del gradiente de tensión a lo largo de la extensión a ser inspeccionada del revestimiento del ducto. La instalación de interruptor de corriente en el(los) rectificador(es) más cerca permite la evaluación del comportamiento anódico o catódico del lugar de la prueba.

3.24.3 Método de la Atenuación de Corriente - AC (“Current Attenuation Survey”)

Técnica de inspección cualitativa de revestimiento aplicada en ductos enterrados, realizada sobre la extensión del ducto. Esta técnica consiste en la inyección de corriente alterna entre el ducto y la suelo, con rastreo de la señal a través de un receptor de bobina sensorial para medir la fuerza del campo magnético resultante de la señal CA, localizando el ducto sobre la extensión de dominio y midiendo el valor de la corriente a lo largo del ducto. Un gráfico de la atenuación de la corriente es, entonces, levantado para la evaluación cualitativa del revestimiento.

3.24.4 Paso a Paso - PP (“CIPS - Close Interval Potential Survey”)

Técnica de inspección de SPC aplicada en ductos enterrados y realizada sobre la extensión de dominio del ducto. Esta técnica consiste en la determinación de los potenciales de la protección catódica “ON” y “OFF”, medido en intervalos breves de 1 m a 2 m, con control sincronizado de los rectificadores u otra técnica que tenga en consideración la caída de IR en el suelo.

4 CONDICIONES GENERALES

4.1 Para cada SPC deben estar disponibles los documentos del proyecto básico y de detalle, así como las informaciones del expediente de la operación, la inspección y la manutención.

Nota: En el caso de que tales documentos de proyecto no existan, debe ser elaborada una documentación que relate la situación existente del SPC.

4.2 Debe ser elaborado un procedimiento de ejecución para la actividad de inspección del SPC, el cual debe tener en cuenta, también, lo descrito en los incisos del 4.2.1 al 4.2.4.

4.2.1 Si hay vandalismos en la franja de los ductos.

4.2.2 Si los ductos están sujetos a las fluctuaciones de potencial tubo-suelo debido a las corrientes dinámicas (ver ANEXO D) las áreas de oscilaciones deben ser investigadas y delimitadas.

4.2.3 En el caso de que los ductos compartan la porción de la tubería de terceros, deben ser consultados los usuarios y los procedimientos de acompañamiento de los respectivos SPC.

4.2.4 Si el punto de prueba, rectificador o drenaje posee semicelda permanente de Cu/CuSO₄ con el cupón de protección catódica.

4.3 Los equipos rectificadores, drenajes eléctricos y drenajes galvanizados instalados en áreas con corrientes de interferencia deben ser monitoreados remotamente, con adquisición de datos diarios y alarmas de fallas de las siguientes señales mínimas:

- a) tensión de alimentación (equipos eléctricos);
- b) tensión de salida (equipos eléctricos);
- c) corriente de salida (rectificadores) o drenado (drenajes);
- d) potencial tubo-suelo;
- e) abertura de la puerta de abrigo.

4.4 Las mediciones instantáneas o los registros continuos de potencial tubo-suelo de inspecciones rutinarias o especial deben ser ejecutadas observándose lo que sigue:

- a) deben ser realizados después de una polarización de, por lo menos, 2 semanas de energizar el SPC y después de 3 meses, por lo menos, de aterramiento del ducto;
- b) una semicelda de referencia de Cu/CuSO₄ debe ser usada;

Nota: El electrodo de zinc (Zn) también puede ser usado, pero, preferentemente, debe ser adoptada la semicelda mencionada en la línea b).

- c) la semicelda debe ser conectada al terminal negativo del voltímetro y colocada al nivel del suelo y sobre la generatriz superior del ducto;
- d) las mediciones de potencial de tubo-suelo "ON/OFF" deben estar de acuerdo con lo siguiente:
 - todos los rectificadores que posean, directamente o indirectamente influencias sobre el lugar en medición, deben ser encendidos y apagados simultáneamente, utilizando interruptores llave de corriente que se puedan sincronizar, actuando en los terminales positivo y negativo de cada equipo;
 - el sincronismo de los interruptores debe ser verificado antes del inicio (o el reinicio) de los servicios, a través, por ejemplo, de un registrador de papel colocado en 2 puntos de medición;
 - los rectificadores deben quedarse conectados, sin las interrupciones, durante el período en que las mediciones no estén siendo realizadas;
 - durante el servicio, cuando ocurra cualquier indicación de anomalía en el SPC como, por ejemplo, la salida de la operación de 1 o más rectificadores, debe ser identificada la causa del problema y ejecutada su solución de forma que no haya perjuicio en la calidad de las mediciones;
- e) alternativamente a la línea d), puede ser utilizada la técnica de medición de análisis de onda ("Wave Form Analizar"), ver ítem A-1.3.5.

4.5 Los servicios de inspección de rutina deben ser registrados en planillas de un mismo patrón y emitidos informes confeccionados de acuerdo con el ítem 6.4 de esta Norma. En los servicios de inspección especial deben ser emitidos los informes confeccionados de acuerdo con el ítem 7.3 de esta Norma.

4.6 Para mejor tener un patrón en la sistemática de inspección y tener un control de las instalaciones de protección, es aconsejable identificar y generar un mapa digitalizado de acceso a todos los rectificadores, drenajes y puntos de prueba. **[Práctica Recomendada]**

4.7 Las características de los drenajes eléctricos y rectificadores están contempladas en las normas PETROBRAS [N-1493](#) y [N-2608](#), respectivamente.

5 CRITERIOS DE PROTECCIÓN CATÓDICA

5.1 Los Ductos no Sujetos a Corrientes de Interferencias Dinámicas

5.1.1 El potencial tubo-suelo polarizado "OFF" igual o más negativo que los valores descritos en la TABLA 1.

TABLA 1 - LOS CRITERIOS DE PROTECCIÓN CATÓDICA PARA DUCTOS NO SUJETOS A CORRIENTES DE INTERFERENCIAS DINÁMICAS

Electrolito	Semicelda	Valor
Suelo y agua dulce sin BRS	Cu/CuSO ₄	-0,85 Vcc
	Zn	+0,25 Vcc
Suelo y agua dulce con BRS	Cu/ CuSO ₄	-0,95 Vcc
	Zn	+0,15 Vcc

5.1.2 En lugares donde el criterio del ítem 5.1.1 no sea posible ser obtenido, se puede adoptar como criterio alternativo, una diferencia igual o superior a 100 mVcc entre el potencial tubo-suelo polarizado "OFF" y el valor despolarizado o natural, se exceptúan las siguientes limitaciones:

- a) tal criterio sólo debe ser adoptado en levantamientos del tipo paso a paso;
- b) este criterio de 100 mVcc no debe ser usado en suelos con presencia de bacterias reductoras de sulfato en la superficie, ductos conectados o con componentes de metales disímiles.

5.1.3 Tratando de evitarse la superprotección del ducto, es recomendado que el potencial tubo-suelo polarizado "OFF" no sea más negativo que -1,20 Vcc (Cu/CuSO₄). **[Práctica Recomendada]**

5.1.4 En los tramos de ductos instalados en suelos con resistividad eléctrica (ρ) mayor que 10 000 Ω cm, pueden ser considerados los siguientes criterios de protección (potenciales "OFF" - Cu/CuSO₄):

- a) 10 000 Ω cm < ρ ≤ 100 000 Ω cm: -0,75 Vcc;
- b) 100 000 Ω cm: -0,65 Vcc.

5.1.5 La forma de realización de las mediciones potencial está presentada en el ANEXO A.

5.2 Ductos Sujetos a Corrientes de Interferencias Dinámicas

5.2.1 En este caso, donde la caída óhmica en el suelo es de evaluación difícil, se recomienda que el criterio de protección sea el de potencial de tubo-suelo polarizado "ON" igual o más negativo que $-0,85 \text{ Vcc}$ (Cu/CuSO_4), evaluado con el registro continuo de potencial. **[Práctica Recomendada]**

5.2.2 Si el rectificador, drenaje o punto de prueba poseen semicelda permanente de Cu/CuSO_4 con cupón de protección catódica, el potencial cupón-suelo "OFF" debe estar de acuerdo con los criterios del ítem 5.1.

6 INSPECCIÓN DE RUTINA

6.1 General

6.1.1 Un plan de inspección de rutina debe ser implementado y mantenido, con el objetivo de establecer prácticas destinadas a garantizar que los sistemas funcionan dentro de los criterios de protección establecidos en esta Norma, posibilitando la toma de decisiones en tiempo hábil que evite la corrosión externa del ducto. El plan tiene como objetivo:

- a) inspeccionar las instalaciones de SPC;
- b) detectar puntos de deficiencia del potencial de protección catódica;
- c) registrar las inconformidades encontradas;
- d) recomendar las acciones correctivas.

6.1.2 La periodicidad de inspección frecuente debe ser conforme la TABLA 2, con el objetivo de atender los siguientes componentes de un SPC de ductos terrestres:

- a) rectificadores manuales o automáticos y refrigerados a aire o a aceite y sus respectivas extensiones de alimentación eléctrica, medidor de consumo de energía y refugios;
- b) drenajes eléctricos y sus respectivas extensiones de alimentación eléctrica, medidor de consumo de energía y refugios;
- c) drenajes galvanizadas;
- d) lechos de ánodos galvanizados o inertes;
- e) puntos de prueba;
- f) juntas de aislamiento eléctrico y dispositivos de protección respectivos;
- g) dispositivos de monitoreo remoto de potencial tubo-suelo.



TABLA 2 - PERIODICIDAD DE LA INSPECCIÓN DE RUTINA

Ítem de la Inspección	Periodicidad				
	Semanalmente	Quincenalmente	Trimestralmente	Semestral	Anual
1. Potencial Tubo-Suelo					
Ductos no sujetos a corrientes de interferencias dinámicas.				X (Ver ítem 6.2.1.2)	X (Ver ítem 6.2.1.1)
Ductos sujetos a corrientes de interferencias dinámicas.				X (Ver ítem 6.2.2.2)	X (Ver ítem 6.2.2.1)
2. Rectificadores					
Ductos no sujetos a corrientes de interferencias dinámicas.		X (Ver ítem 6.3.1.1)	X (Ver ítem 6.3.1.2)		X (Ver ítem 6.3.1.4)
Ductos sujetos a corrientes de interferencias dinámicas.	X (Ver ítem 6.3.1.3)		X (Ver ítem 6.3.1.2)		X (Ver ítem 6.3.1.4)
3. Drenajes Eléctricos	X (Ver ítem 6.3.2.2)		X (Ver ítem 6.3.2.1)		X (Ver ítem 6.3.2.3)
4. Drenajes Galvánicos	X (Ver ítem 6.3.3.2)		X (Ver ítem 6.3.3.1)		X (Ver ítem 6.3.3.3)
5. Lechos de ánodos inertes y Galvánicos					X (Ver ítem 6.3.4)
6. Puntos de Prueba					X (Ver ítem 6.3.5)
7. Juntas Aislantes y DPJI			X (Ver ítem 6.3.6.1)		X (Ver ítem 6.3.6.2)
8. Dispositivo de Monitoreo Remoto (DMR)			X (Ver ítem 6.3.7)		
9. Extensiones de Alimentación Eléctrica y Medidor de Consumo					X (Ver ítem 6.3.8)

6.1.3 Se recomienda la inspección de rectificadores, drenajes eléctricos, drenajes galvánicos, juntas aislantes, DPJI, pararrayos de las extensiones de alimentación eléctrica y DMR después de lluvias con gran incidencia de rayos en la región. **[Práctica Recomendada]**

6.1.4 En la ejecución de las mediciones instantáneas o registros continuos de tubo-suelo, debe ser observado lo siguiente:

- la semicelda debe ser colocada sobre el generador superior de cada ducto de la extensión, debiéndose mantener como referencia la misma posición de las mediciones previas;
- las mediciones de potencial tubo-suelo "ON/OFF" deben ser realizadas con el ciclo "enciende - apaga" de los rectificadores de como máximo 12 segundos "ON" por 3 segundos "OFF";
- todos los registros continuos de potencial "ON" deben ser realizados en días típicos de movimiento del sistema ferroviario/de metro y abarcar los horarios de mayor tráfico de los trenes o metros;

- d) cuando sea observado potencial fuera de los criterios establecidos en esta Norma, debe ser investigada la causa de la anomalía, con el objetivo de proceder a las rectificaciones necesarias para mantener o adecuar la condición de protección catódica de los ductos.

6.1.5 En las mediciones de corriente de salida de los rectificadores o drenajes ($I_{SAÍDA}$), cuándo se use el “shunt” del equipo, debe ser usado un voltímetro calibrado y adoptada la siguiente regla:

$$I_{SAÍDA} = \frac{\Delta V \cdot I_N}{V_N}$$

Dónde:

ΔV = la caída de tensión medida en los terminales del “shunt”, en mV;

I_N = corriente nominal del “shunt”, en A;

V_N = caída de tensión nominal del “shunt”, en mV.

6.1.6 Mensualmente, debe ser calculada la disponibilidad operacional (D) de cada rectificador, considerando las horas de operación efectiva (leídas en el horímetro) y el tiempo transcurrido entre las inspecciones, de acuerdo con la fórmula abajo, incorporándolo a los informes mencionado en el ítem 6.4 de esta Norma:

$$D (\%) = \frac{\text{horas de operación entre inspecciones (h)}}{\text{tiempo transcurrido entre inspecciones (h)}} \cdot 100$$

Nota: Se recomienda una disponibilidad operacional, de como mínimo 95 %. **[Práctica Recomendada]**

6.1.7 Los resultados encontrados en los análisis de potenciales de tubo-suelo y en las inspecciones de los componentes del SPC deben ser presentados en un informe, de acuerdo con el ítem 6.4.

6.1.8 El ANEXO C presenta un esquema típico recomendado para la detección de defectos en SPC por corriente impresa.

6.2 Levantamientos de Potenciales de Tubo-Suelo

6.2.1 Ductos - No Sujetos a Corrientes de Interferencias Dinámicas

6.2.1.1 Inspección Anual

Debe ser realizado un análisis de potencial de tubo-suelo “ON/OFF” en cada punto de prueba (inclusive en tubo-camisa y en ambos lados de las juntas del aislamiento eléctrico) rectificador y válvula de bloqueo, así como en otros puntos en que haya acceso, directamente o indirectamente, al metal de la tubería.

Nota: El objetivo de la medición del potencial en tubo-camisa y en el lado aislado de las juntas de aislamiento eléctrico es la evaluación del aislamiento eléctrico con el ducto.

6.2.1.2 Inspección Semestral

- a) debe ser realizado un análisis parcial de potenciales de tubos-suelos "ON" en ambos lados de las juntas de aislamiento eléctrico y rectificador, comparándolos con el último análisis de potencial "ON/OFF";
- b) en el caso de que en los lugares medidos se perciba valor con diferencia superior a 20 % entre los potenciales respectivos "ON", es también recomendada, una medición del potencial "OFF" en tal lugar. **[Práctica Recomendada]**

6.2.2 Ductos Sujetos a Corrientes de Interferencias Dinámicas

6.2.2.1 Inspección Anual

Debe ser realizado un análisis de la intensidad y la extensión de las interferencias a través de la consulta a los informes de inspección y realización de los registros continuos de potenciales de tubo-suelo "ON". Los registros continuos de potenciales "ON" deben ser realizados en cada punto de prueba, rectificador, equipo de drenaje eléctrico, drenaje galvánico y válvula de bloqueo, observándose el ítem 6.1.4 línea c) y de acuerdo con los criterios de TABLA 3.

TABLA 3 - CRITERIOS PARA LA REALIZACIÓN DE LOS REGISTROS ANUALES

Tiempo de Registro	Variación del Potencial Tubo-Suelo (Ver Nota 1)
Durante 1 hora	Entre 50 mV y 400 mV
Durante 4 horas	Más grande que 400 mV
Durante 24 horas	Con picos de potencial de -0,85 V (ver Nota 7)

- Notas:
- 1) La variación del potencial debe ser medida en relación con el valor predominante, o sea, el valor de mayor incidencia obtenido en un mismo registro continuo.
 - 2) Los registros de potencial de tubo-suelo "ON" durante, por lo menos, 24 horas, deben ser realizados, por lo menos, 1 vez durante la vida operacional del ducto, en cada punto de prueba, rectificador, equipo de drenaje eléctrico, drenaje galvánico y válvula de bloqueo.
 - 3) En los drenajes eléctricos y galvánicos, ejecutar también los registros continuos de la corriente drenada y del potencial tubo (+)/rail (-).
 - 4) En los puntos de prueba con el cupón de protección catódica, debe ser levantado también el potencial "ON/OFF" cupón-suelo y la intensidad y el sentido de la corriente eléctrica entre el cupón y el ducto.
 - 5) El profesional de protección catódica puede aumentar el tiempo del registro y/o disminuir el período entre las inspecciones en el caso de que encuentre las variaciones significativas en el levantamiento.

- 6) Ductos con variación de potenciales inferiores a 50 mV pueden ser tratados como no sujetos a corrientes de interferencia, ítem 6.2.1.
- 7) En los lugares donde ocurran picos del potencial de - 0,85 V, escogidos de acuerdo con los registros continuos de potenciales "ON", el registro continuo de potencial tubo-suelo debe ser de 24 horas.

6.2.2.2 Inspección Semestral

En los lugares donde ocurran los picos de potencial de - 0,85 V, seleccionados de acuerdo con los registros continuos de potenciales "ON" obtenidos en la última inspección anual, debe ser realizado un registro continuo del potencial tubo-suelo de 24 horas.

6.3 Componentes del Sistema de Protección Catódica

6.3.1 Rectificadores

6.3.1.1 Quincenalmente, en los rectificadores sin monitoreo remoto, de ductos no sujetos a corrientes de interferencias dinámicas, debe ser realizada la anotación/inspección/medición de los incisos listados abajo:

- a) fecha y horario de la inspección;
- b) local e identificación del rectificador;
- c) características: tipo (manual - automático), refrigeración (a aire o a aceite), fabricante, mes/año de fabricación, alimentación eléctrica (la tensión, la frecuencia y el número de fases) y la tensión y corriente nominal;
- d) estado general de conservación (la pintura, limpieza interna y externa, corrosión y aterramiento de la carrocería del equipo);
- e) funcionamiento de los voltímetros y amperímetro (comparación con multímetro digital);
- f) estado de los disyuntores, los fusibles y supresores de transistores, sustituyéndose cuando necesario;
- g) tensión de entrada;
- h) tensión y corriente de salida;
- i) la resistencia del circuito externo para el rectificador, calculada con la razón entre la tensión y la corriente de la salida del equipo;
- j) tubo-suelo con el rectificador encendido y apagado;
- k) señal del horímetro;
- l) ajustes de los "taps" grueso y fino.

6.3.1.2 Trimestralmente, en los rectificadores con monitoreo remoto, de ductos sujetos o no a corrientes de interferencias dinámicas, deben ser realizadas las anotaciones/inspecciones/mediciones citadas en el ítem 6.3.1.1.

6.3.1.3 Semanalmente, en los rectificadores sin monitoreo remoto, de ductos sujetos a corrientes de interferencias dinámicas, deben ser realizadas las anotaciones/inspecciones/mediciones citadas en el ítem 6.3.1.1.

6.3.1.4 Anualmente, debe ser realizada en todos los rectificadores la inspección de los artículos listados en el ítem 6.3.1.1 y más:

- a) estado de los cables y componentes internos, sustituyendo donde necesario;
- b) estado de la colocación del ratificador, respectivo al poste de acero (y su plomo), abrazaderas, tuercas y tornillos;
- c) el funcionamiento de las puertas, engrasando los pinos de las bisagras, si es necesario;
- d) estado físico de los contactos eléctricos (incluyéndose el terminal de aterramiento de la carrocería del equipo) reapretando los tornillos y conexiones, limpiando y lubricando donde necesario;
- e) en los rectificadores refrigerados a aceite, recoger muestras de aceite para análisis de rigidez dieléctrica (la tensión mínima de 1,5 kv, 60 hertz, durante, por lo menos, 1 minuto), verificar si la cantidad de humedad y los contaminantes está conforme a la especificación del fabricante del aceite refrigerante; si alguna de estas pruebas falla, cambiar todo el aceite;
- f) semiceldas permanentes de Cu/CuSO_4 :
 - medir el potencial "ON" del ducto con la semicelda permanente y una portátil, comparando los valores;
 - medición, con una semicelda portátil, del potencial "ON" del ducto en los lugares monitoreados, con el objetivo de compararlos con la señal recibida remotamente;
- g) medición de la diferencia de potencial CA entre el neutro de la concesionaria y el sistema de aterramiento del equipo, la cual debe ser igual o inferior a 6 Vca; en caso de que esto no ocurra, debe ser reducida la resistencia del aterramiento del equipo y/o de la concesionaria;
- h) estado del acceso (autopistas, puentes, cercas, puertas etc.);
- i) condiciones del terreno (señales de erosión, aterramiento etc.) en la región de instalación del refugio, incluyendo la extensión de dominio;
- j) estado físico de las cuerdas de aterramiento de las partes móviles del refugio;
- k) estado físico de la acera externa, zapatas y cintas de hormigón;
- l) estado de la galvanización y/o pintura de la estructura metálica y los puntos de corrosión eventuales;
- m) estado de las paredes y techo de concreto o mampostería y pintura;
- n) el funcionamiento de la puerta del refugio, y si fuera necesario, engrasar los pinos de las bisagras;
- o) el estado físico y las condiciones de la colocación de las tejas, incluyendo las presillas;
- p) nivelación del piso dentro del refugio, el grosor y el estado de la grava o cementado;
- q) pozo de aterramiento eléctrico, incluyendo la tapa y las conexiones de las barras;
- r) la medición de la resistencia del aterramiento eléctrico del equipo, la cual deber ser inferior a 10Ω ;
- s) condiciones físicas y de limpieza de la caja de paso, incluyendo la tapa metálica y la entrada y salida de electroductos y cables eléctricos, tapándose con masa de sellado, si es necesario;
- t) estado general de la corrosión del equipo, electroductos, poste de fijación y caja de interconexión;
- u) estado general del refugio.

6.3.2 Drenajes Eléctricos

6.3.2.1 Trimestralmente, debe ser realizada la anotación/inspección/medición de los ítems listados a continuación:

- a) fecha y horario de la inspección;
- b) lugar e identificación del drenaje;
- c) característica: el tipo, fabricante, mes/año de la fabricación, alimentación eléctrica (la tensión, la frecuencia y el número de fases) y corriente nominal;
- d) estado general de conservación (la pintura, limpieza interna y externa, corrosión y aterramiento de la carrocería del equipo);
- e) condiciones de los voltímetros y amperímetro;
- f) estado de los disyuntores, los fusibles y transistores, sustituyéndose donde sea necesario;
- g) estado general del refugio;
- h) tensión de entrada;
- i) corriente drenada;
- j) potencial de tubo-suelo y tubo (+)/rail (-);
- k) condiciones del diodo;
- l) indicación del horímetro.

6.3.2.2 Semanalmente, los drenajes eléctricos cuyo monitoreo remoto esté fuera de operación, deben ser realizadas las anotaciones/inspecciones/mediciones citadas en el ítem 6.3.2.1.

6.3.2.3 Anualmente, debe ser repetida la inspección de los ítems listados en el ítem 6.3.2.1 y más:

- a) características y condiciones del diodo;
- b) el estado de los cables y componentes internos, sustituyendo si es necesario;
- c) estado de la fijación del equipo, respectivo al poste de acero (y su plomada), abrazaderas, tuercas y tornillos;
- d) la operación de las puertas, engrasando los pinos de las bisagras, si es necesario;
- e) estado físico de los contactos eléctricos (incluyéndose el terminal del aterramiento de la carrocería equipo) reapretándose los tornillos y conexiones, limpiando y lubricando si es necesario;
- f) semiceldas permanentes de Cu/CuSO₄ [ver línea f) en el ítem 6.3.1.4 de esta Norma];
- g) medición de la diferencia del potencial CA entre el neutro de la concesionaria y el sistema de aterramiento del equipo, la cual debe ser igual o inferior a 6 Vca; en el caso de que esto no ocurra, debe ser reducida la resistencia del aterramiento del equipo y/o de la concesionaria;
- h) estado del acceso (autopistas, puentes, cercas, porterías etc.);
- i) las condiciones del terreno (señales de erosión, aterramientos etc.) en la región de la instalación del refugio, incluyendo la extensión de dominio;
- j) estado físico de las cuerdas del aterramiento de las partes móviles del refugio;
- k) estado físico de la acera externa, zapatas y faja de hormigón;
- l) estado de las paredes y la techo de hormigón o mampostería y pintura;
- m) funcionamiento de la puerta del refugio y si es necesario, engrasar los pinos de las bisagras;
- n) el estado físico y las condiciones de la colocación de las tejas, incluyendo las grapas;
- o) la nivelación del piso dentro del refugio, el grosor y el estado de rocallas o cementado;
- p) pozo de aterramiento eléctrico, incluyendo la tapa, y las conexiones de las barras;
- q) medición de la resistencia del aterramiento eléctrico del equipo, la cual debe ser inferior a 10 Ω ;

- r) condiciones físicas y de limpieza de la caja de paso, incluyendo la tapa física metálica y la entrada y salida de electroductos y cables eléctricos, calafeteándose con la masa de sellado si es necesario;
- s) estado general de la corrosión del equipo, electroductos, poste de cableado y caja de interconexión;
- t) estado general del refugio.

6.3.3 Drenajes Galvánicos

6.3.3.1 Trimestralmente, debe ser realizada la anotación/inspección/medición de los ítems relatados a continuación:

- a) fecha y lugar de la inspección;
- b) local e identificación del drenaje;
- c) características y condiciones del diodo;
- d) condiciones de la caja de interconexión ducto/ánodos;
- e) corriente drenada;
- f) potencial tubo-suelo y tubo-rail.

6.3.3.2 Semanalmente, los drenajes galvánicos cuyo monitoreo remoto esté fuera de operación, deben ser realizadas las anotaciones/inspecciones/mediciones citadas en el ítem 6.3.3.1.

6.3.3.3 Anualmente, debe ser repetida la inspección de los ítems listados en el ítem 6.3.3.1 y más:

- a) verificar si todos los ánodos están eléctricamente activos, de acuerdo con el ANEXO B, cuando aplicable;
- b) semiceldas permanentes de Cu/CuSO₄ [ver inciso 6.3.1.4 línea f) de esta Norma];
- c) condiciones de acceso.

6.3.4 Lechos de Ánodos Galvánicos e Inertes

Anualmente, debe ser realizada la anotación/inspección/medición de los ítems debajo listados:

- a) fecha y horario de la inspección;
- b) local e identificador del rectificador;
- c) condiciones físicas de la colocación de los marcos de concreto y la placa de identificación de la extensión del lecho;
- d) condiciones del terreno (señales de erosión, desbarrancado, aterramiento, cables expuestos etc.) en la extensión del lecho, desde ductos hasta el último ánodo;
- e) existencia de edificaciones y plantaciones no permitidas en la extensión del lecho de ánodo;
- f) se recomienda realizar una inspección en el lecho de ánodos, a través del procedimiento presentado en el ANEXO B o utilizando un transmisor/receptor de alta frecuencia (equipo de atenuación de la corriente); **[Práctica Recomendada]**

- g) análisis de variación de la resistencia del lecho de ánodos inertes, a partir de los resultados indicados en el ítem 6.3.1.1 línea i) con el objetivo de mantenimientos futuras del lecho.

6.3.5 Puntos de Prueba

Anualmente, debe ser realizada la anotación/inspección/medición de los ítems detallados debajo:

- a) fecha y horario de la inspección;
- b) lugar e identificación del sitio de la prueba;
- c) tipo:
 - simple, en tubo-camisa o en una junta aislante;
 - aéreo o enterrado;
 - en caja de aluminio o en barra de hormigón etc.;
- d) condiciones de acceso, elaborándose o actualizándose el mapa de acceso;
- e) las condiciones físicas, cuerda de plumada y fijación de la barra, electroducto;
- f) estado de pintura e identificación;
- g) estado físico de la caja, placa de "Celeron", terminales de medición y cables eléctricos y, si es necesario, identificar cables, reparar, sustituir, limpiar y lubricar;
- h) medición potencial del tubo-suelo "ON" (inclusive, en ambos lados de las juntas aislantes y tubo-camisas) "OFF", (cuando aplicable) con el objetivo de identificar si hay cortocircuito, cables rotos, daños en la instalación o oxidación de los bornes terminales y los tornillos;
- i) verificación del funcionamiento de la semicelda permanente de Cu/CuSO₄ con el cupón de protección catódica, cuando se aplique;
- j) estado de la limpieza general.

6.3.6 Juntas del Aislamiento Eléctrico y DPJI

6.3.6.1 Trimestralmente, debe ser realizada la anotación/inspección/medición de los ítems ionados abajo:

- a) fecha y horario de la inspección;
- b) lugar y tipo de la junta (convencional o monobloque);
- c) funcionamiento de los ánodos de zinc, cuando aplicable midiendo sus potenciales con relación al suelo;
- d) estado del supresor de transistores, sustituyéndolos, si es necesario;
- e) la medición de los potenciales del tubo-suelo "ON" en ambos lados, con los ánodos de zinc desconectados, cuando se aplique.

6.3.6.2 Anualmente, debe ser repetida la inspección de los ítems listados en el ítem 6.3.6.1 y más:

- a) aspecto de reconocimiento físico (arrugamientos, mordeduras, mordiscos, chamuscados, arañazos, rajaduras y la falta de material en las regiones cubiertas con material aislante);
- b) estado de la pintura;
- c) pruebas de la verificación de la eficiencia (ver Capítulo A-2 del ANEXO A).
[Práctica Recomendada]

6.3.7 DMR

Trimestralmente, debe ser realizada la anotación/inspección/medición de los ítems relacionados abajo:

- a) fecha y horario de la inspección;
- b) lugar e identificación del DMR;
- c) medición, con una semicelda portátil, del potencial en los lugares monitorizados, tratando de compararlos con la señal recibida remotamente;
- d) la verificación del estado de la semicelda, transductor y cables eléctricos, sustituyendo done necesario;
- e) potencial tubo-suelo o tensión y corriente de salida, tensión de entrada (rectificador) y la corriente drenada, con el objetivo de compararlos con la señal recibida remotamente.

6.3.8 Extensiones de Alimentación Eléctrica y Medidor de Consumo

Se recomienda que, anualmente, sea realizada la notificación/inspección/medición de los ítems listados a continuación: **[Práctica Recomendada]**

- a) fecha y horario de la inspección;
- b) local e identificación del equipo eléctrico;
- c) estado físico del aterramiento eléctrico;
- d) estado físico del medidor de energía y las conexiones respectivas;
- e) medición de la tensión de entrada y salida del medidor de energía.

6.4 Procedimientos para la Elaboración de Informes/Formularios

6.4.1 Los informes de inspección deben ser emitidos trimestral, semestral y anualmente, de acuerdo con el tipo de la inspección realizada observándose que:

- a) los resultados deben ser registrados en planillas específicas y consolidados en los informes;
- b) todas las anomalías relevantes para el buen funcionamiento del SPC deben ser inmediatamente registradas y reportadas al organismo responsable de la solución del problema.

6.4.2 Los informes deben contener, por lo menos, lo descrito en los ítems 6.4.2.1 al 6.4.2.10.

6.4.2.1 Introducción.

6.4.2.2 Objetivo del informe.

6.4.2.3 Alcance de los servicios (acápites de inspección).

6.4.2.4 Datos del ducto, como identificación, inicio de la operación, diámetro nominal, temperatura de operación, tipo de revestimiento y extensión.

6.4.2.5 Los resultados obtenidos en los análisis del potencial del tubo-suelo y en las inspecciones de los componentes del sistema, se observa lo que sigue, en el caso de análisis de potenciales:

- a) en el caso de ductos no sujetos a corrientes de interferencias dinámicas, el informe debe contener, por lo menos, una tabla con los valores obtenidos y un gráfico con los valores del potencial "ON/OFF", asociados al kilometraje de la extensión, observándose que, en la línea de cada rectificador, debe ser informada su tensión y la corriente de salida;
- b) en el caso de los ductos sujetos a las corrientes de interferencias dinámicas, el informe debe presentar todos los registros ejecutados y debe contener, por lo menos, una tabla con los valores máximo, mínimo y predominante, identificados por el local respectivo kilometraje del segmento, observar lo siguiente:
 - en la línea de cada rectificador: informar la tensión corriente de salida y si está en la condición manual o automática;
 - en la línea de cada drenaje: los valores máximo, mínimo y predominante de la respectiva corriente drenada y del potencial tubo (+)/rail (-).

6.4.2.6 Índice de disponibilidad operacional (D) de cada rectificador.

6.4.2.7 Anotación de los problemas detectados que puedan comprometer el desempeño del sistema.

6.4.2.8 Conclusiones sobre el funcionamiento de los componentes y/o potenciales de protección catódica.

6.4.2.9 Recomendaciones para la solución de los problemas encontrados.

6.4.2.10 Documentos de referencia.

6.4.3 Los formularios y los informes deben ser archivados de forma organizada, a fin de permitir la elaboración de un expediente del SPC y un rastreo adecuado de la información.

6.5 Estructura Mínima para la Ejecución de las Inspecciones de Rutina

6.5.1 Calificación de Personal

Los técnicos responsables de las inspecciones del SPC deben ser calificados, poseer el certificado de realización de curso sobre protección catódica de ductos terrestres, promovido por la PETROBRAS o entidad reconocida, y tener, preferentemente, formación en electrotécnica.

6.5.2 Instrumentos y Accesorios Mínimos Recomendados

- a) 2 multímetros digitales, con registros para valores máximo, mínimo y predominante, con resistencia interna no inferior a 10 M Ω /V;

- b) 2 registradores de potenciales, con resistencia interna no inferior a 10 m Ω/V y escalas que varíen de 2 V a 20 V, en el caso de ductos sujetos a corrientes de interferencias dinámicas;
- c) 2 semiceldas de Cu/CuSO₄;
- d) 1 amperímetro-alcate para corriente alternativa y continua, con la escala, también, en mili amperes.

6.5.3 Calibración

6.5.3.1 Los instrumentos de medición deben ser calibrados en laboratorio reconocido, con periodicidad máxima 2 años.

6.5.3.2 Anualmente, las semiceldas portátiles deben ser calibradas en laboratorios reconocidos o de acuerdo con el procedimiento de la norma NACE TM-0497.

Nota: La semicelda patrón utilizada, en el procedimiento de la norma NACE TM-0497 debe ser evaluada en laboratorio acreditado, con períodos máximos de 2 años o, alternativamente, ser sustituida por una nueva.

7 INSPECCIÓN ESPECIAL

7.1 General

7.1.1 Un plan de la inspección especial debe ser implementado, con el objetivo de realizar un análisis detallado de las condiciones del SPC (inclusive el revestimiento), registrar las inconformidades y recomendar las acciones correctivas.

7.1.2 El plan inspección especial (ver ítem 7.2) debe ser aplicado a través de todo el ducto o en tramo específico y utiliza una u otras técnicas inspección especial descritas abajo:

- a) potencial paso a paso (CIPS): análisis del perfil de los potenciales "ON/OFF";

Nota: La técnica descrita en la línea a) no es recomendada para ductos sujetos a corrientes de interferencia dinámica.

- b) DCVG;
- c) AC;
- d) ACVG.

7.1.3 La realización de la inspección especial debe tener en consideración el historial de corrosión externa del ducto, el nivel de potencial de protección catódica, presencia de corriente de interferencia, tipo de revestimiento, historial de daños por terceros y acción del medio sobre el ducto.

7.1.4 La inspección de potencial paso a paso “ON/OFF” debe realizada de acuerdo con lo siguiente:

- a) el análisis debe ser conducido de forma que espacio entre el posicionamiento de un punto medido para el punto siguiente sea de como máximo, 1,5 m, observándose que, en las juntas del aislamiento eléctrico, las mediciones deben ser realizadas en los lados protegido y aislado;
- b) la caída óhmica que ocurre en la pared metálica del ducto, debido a la corriente que va a la tubería, debe ser considerada en todos los puntos de prueba, de manera que permita la corrección de los potenciales “ON/OFF”.

7.2 Plan de Inspección Especial

7.2.1 Debe ser implementado en caso de que suceda, por lo menos, una de las condiciones descritas en la TABLA 4.

TABLA 4 - PLAN DE INSPECCIÓN ESPECIAL (VER CAPÍTULO 3)

Condiciones	Plazo (ver Nota 1)	Acción (Ver Nota 2)	
		Sin Interferencia	Con Interferencia
a) cuando el resultado de la inspección con “pig” instrumentado presente evolución del proceso corrosivo externo, comparado con la inspección anterior con “pig”, con pérdida de grosor superior para 50 %, o con el aumento superior a 50 % del número de los puntos de corrosión;	2 años	PP + AC / ACVG o DCVG	AC / ACGV o DCVG
b) cuando el resultado de la inspección con “pig” instrumentado presente evolución del proceso corrosivo externo, comparado con la inspección anterior con “pig”, con pérdida de grosor entre 50 % y 20 % o con el aumento entre 50 % y 2 % del número de los puntos de corrosión;	5 años a 10 años	PP + AC / ACVG o DCVG	AC / ACGV o DCVG
c) presencia de potenciales tubo-suelo fuera de los criterios de protección establecidos en el Capítulo 5 de esta Norma;	2 años		
d) ducto, calentado, con el aislamiento térmico de espuma de poliuretano y con historial de fallas; o revestimiento faja de polietileno con historial de desplazamiento;	5 años	CA / ACGV o DCGV	
e) historial de los daños ya causados al revestimiento del ducto por máquinas, sin las acciones correctivas adoptadas;	2 años	PP + CA / ACGV o DCVG	CA / ACVG o DCVG
f) historial del movimiento del suelo con deformación del ducto y sin las acciones correctivas consumadas.	30 días	Ver ANEXO E	

- Notas:
- 1) Período máximo para la realización de la inspección especial.
 - 2) Ver ítem 3.24 (técnicas especiales de inspección) para las descripciones de las siglas.
 - 3) El informe de inspección para “pig” diseñado para ser usado en la TABLA 4 debe ser evaluado analogía en el área.

7.2.2 En los ductos no enmarcados en la TABLA 4, se recomienda aplicar el plan de inspección especial, con la periodicidad de 10 años. **[Práctica Recomendada]**

7.3 Procedimientos para la Elaboración de Informes

Al final de los trabajos, debe ser elaborado un informe por ducto, que contenga los resultados obtenidos en los servicios, presentando, como mínimo, los tópicos citados en los ítems 7.3.1 al 7.3.10.

7.3.1 Introducción.

7.3.2 Objetivo del informe.

7.3.3 Alcance de los servicios.

7.3.4 Datos de la tubería, como por ejemplo, inicio de la operación, diámetro nominal, grosor de la pared del ducto, tipo de revestimiento y su espesura, extensión, accidentes geográficos que atraviesa (áreas urbanas, rurales y de protección ambiental, ríos, lagos y las autopistas, por lo menos) etc.

7.3.5 La descripción detallada de las técnicas, los métodos y los procedimientos de inspección usados.

7.3.6 Criterios adoptados con respecto a normas y/o literatura técnica especializada.

7.3.7 Resultados obtenidos.

7.3.8 Conclusiones en cuanto al estado del sistema anticorrosivo (protección catódica y revestimiento).

7.3.9 Recomendaciones para la solución de los problemas encontrados.

7.3.10 Referencias sobre documentos y diseños de la contratante y de la contratada y de bibliografía usada.

7.4 Plan de la Rehabilitación

7.4.1 Un plan de la rehabilitación del sistema de protección de anticorrosivo debe ser elaborado para efectuar las acciones correctivas recomendadas por el plan especial de la inspección. Este plan debe contemplar:

a) refuerzo de SPC;

- b) reparo o sustitución del revestimiento;
- c) reparo o sustitución de tramos del ducto, cuándo complementados con el análisis estructural del ducto.

7.4.2 Las acciones correctivas deben ser implementadas, lo más breve posible y evaluadas periódicamente, para sopesar su eficacia, dentro del plan de inspección periódica.

8 ACCIONES CORRECTIVAS

8.1 La adecuación del SPC debe ser ejecutada cuando ocurra deficiencia de protección. Esta adecuación incluye el reajuste o refuerzo del sistema de forma local, con la instalación de lechos de ánodos (continuos o no), o de forma amplia con la instalación de nuevos conjuntos rectificadores y lechos de ánodos.

8.2 El control de las corrientes de interferencia debe ser hecho estudiando toda la región afectada, consultar mapas con los puntos de ductos y fuentes interferentes, instalando equipos rectificadores y de drenaje eléctrico adecuadamente colocados en los puntos del retorno de esas corrientes. Los equipos rectificadores y drenaje eléctrico dañados deben ser reparados inmediatamente. La reparación de las fallas en el revestimiento en regiones de entrada y salida de la corriente de interferencia puede reducir tales interferencias.

8.3 La capa debe ser reparada cuando encuadrada en, por lo menos, una de las situaciones abajo:

- a) poseer fallas ubicadas en tramos con deficiencia de protección catódica y confirmadas después de una inspección visual en la zanja;
- b) las fallas que sean clasificadas como severas según el informe de la inspección del revestimiento con las técnicas especiales;
- c) si fueran detectadas fallas en el aislamiento térmico de los ductos calentados.

8.4 La forma de reparación del revestimiento debe tener en cuenta el revestimiento existente, la temperatura de operación del ducto, tipo de suelo y preparación de la superficie.

8.5 De haber detección de corrosión bajo tensión, debe ser hecho un análisis del defecto del ducto, complementado con las técnicas específicas, para definición de cambio o reparo del tramo del ducto.

8.6 Un programa de mantenimiento debe ser empleado para asegurar que el SPC y el revestimiento permanezcan eficaces durante la vida del ducto. Acciones preventivas y correctivas deben ser tomadas donde las inspecciones rutinarias y especial indiquen que la protección no está dentro de los criterios establecidos.

ANEXO A - MEDICIONES DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA

A-1 MEDICIÓN DEL POTENCIAL

A-1.1 General

A-1.1.1 La eficacia de la protección catódica debe ser evaluada a través de mediciones de potencial del ducto en la interfaz ducto-suelo en relación con el electrodo de referencia.

A-1.1.2 La técnica elegida puede ser seleccionada sobre la base de las condiciones locales en el campo, teniendo en cuenta el tipo y calidad del revestimiento, la resistividad del suelo y la presencia de corrientes de interferencia, corrientes telúricas y otros.

- Notas:
- 1) Donde la corriente esté fluyendo a través del suelo y existe caída óhmica (caída IR) en el suelo y en el revestimiento. De este modo, el potencial medido con el electrodo de referencia en la superficie del suelo incluye una contribución de la caída IR. Existen técnicas complementarios que pueden ser utilizadas para dar una evaluación más precisa de la eficacia de la protección catódica.
 - 2) Donde solamente las corrientes que fluyen en el suelo son las del SPC del propio ducto, los potenciales medidos en la superficie del suelo son generalmente más negativos que el potencial en la interfaz del ducto.

A-1.2 Medición del Potencial “ON”

A-1.2.1 Las mediciones del potencial “ON” son realizadas mientras el SPC esté operando continuamente. Para minimizar la caída IR, el electrodo de referencia debe ser colocado lo más cerca posible del ducto.

A-1.2.2 Los valores obtenidos contienen varias caídas IR desconocidas que varían con el tiempo y la posición del electrodo. La lectura puede no reflejar el potencial de la interfaz del ducto.

A-1.3 Potencial Instantáneo “OFF”

A-1.3.1 La caída IR causada por la corriente de protección catódica puede ser eliminada a través del uso de la técnica del potencial “OFF” instantáneo. Los valores obtenidos son llamados de potencial “OFF” instantáneo. Para ductos enterrados, el potencial medido en relación con el electrodo de referencia debe ser medido, generalmente, hasta 1 segundo después que la corriente de protección sea apagada. Si la despolarización ocurre rápido, el potencial “OFF” debe ser determinado usando un procesador de datos de alta velocidad.

A-1.3.2 El potencial “OFF” instantáneo puede ser medido por un instrumento de respuesta rápida. La proporción de los períodos encendidos y apagados debe ser definida para que no ocurra despolarización.

A-1.3.3 Para una medición eficaz del potencial “OFF” instantáneo, todas las fuentes de la corriente de protección catódica para el ducto deben ser apagadas simultáneamente. La FIGURA A-1 muestra el típico perfil del potencial durante una medición de potencial “ON/OFF” y como el componente de la caída IR del potencial medido causado por la corriente de protección catódica fluyendo en el suelo puede ser removido para dar el potencial polarizado más preciso.

Nota: Es reconocido que otras fuentes directas de corriente, corrientes telúricas y corrientes de interferencia influyen en la medición dando resultados que no son los verdaderos potenciales de polarización.

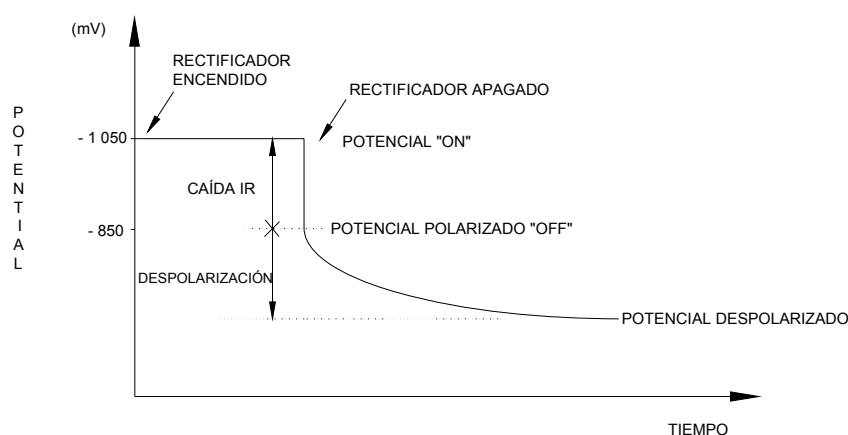


FIGURA A-1 - DIAGRAMA DE LA POLARIZACIÓN DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA

A-1.3.4 Técnicas alternativas de medición de potencial “OFF” pueden ser consideradas si se confirma su precisión y su eficacia.

A-1.3.5 Opcionalmente al ítem 7.1.4, puede ser empleado un analizador de forma de onda (“Wave Form Analyzer”) asociado a llaves electrónicas no sincronizadas conectadas a los rectificadores, que proporciona los potenciales “ON” y “OFF” por medio de lectura en los puntos de la prueba.

A-1.4 Cupón de Protección Catódica

A-1.4.1 La evaluación del potencial libre de la caída IR del ducto en un local específico puede ser realizada a través de la medición del potencial “OFF” instantáneo en cupones de prueba localizados en la adyacencia y misma profundidad del ducto. La medición del potencial “OFF” puede ser realizada inmediatamente después del cupón de prueba sea desconectado del ducto y sin la interrupción del origen de la fuente de corriente de protección.

A-1.4.2 Los cupones pueden ser hechos de capas materiales y revestimientos similares al material y revestimiento del ducto que está siendo probado, excepto para un área definida que es dejada desnuda. Los cupones son conectados al ducto a través de una conexión en un punto de prueba, que puede ser, temporalmente, desconectados.

- Notas:
- 1) Puede ser admitido que el cupón metálico adopta un potencial, con relación al suelo adyacente, que es similar al potencial del ducto en una falla del revestimiento de la misma dimensión. **[Práctica Recomendada]**
 - 2) A pesar de no haber corriente fluyendo directamente para el cupón cuando este cupón sea desconectado del ducto, todavía hay corriente fluyendo en el suelo en las cercanías del ducto y del cupón. Entonces, con el electrodo de referencia ubicado en la superficie del suelo puede haber una contribución importante de caída IR en el suelo en la medida del potencial del cupón. La medición del potencial "OFF" instantáneo en el cupón es más precisa en el caso de que sea realizada con relación a un electrodo de referencia permanente enterrado al lado del cupón de prueba o construido en un conjunto único (sonda de polarización). La caída IR residual portátil puede ser minimizada a través de la colocación de un electrodo de referencia portátil en un tubo en el suelo que tenga una de las extremidades cerca del cupón y el otro extremo en la superficie.

A-2 LA EFICACIA DE LAS JUNTAS DEL AISLAMIENTO ELÉCTRICO

A-2.1 General

A-2.1.1 Fallas en la junta de aislamiento pueden ser atribuidas a uno de los siguientes factores:

- a) defecto en la propia junta de aislamiento o en algún componente de la brida de aislamiento;
- b) conexión conductora externa entre ambos lados de la junta de aislamiento, como, por ejemplo, soportes de tubos, otros ductos, o sistema de aterramiento local;
- c) degradación o falta de revestimiento donde el ducto esté transportando un fluido eléctricamente conductivo.

A-2.1.2 Las mediciones que pueden ser realizadas para determinar la eficacia de una junta aislante tipo monobloque o convencional, son descritos en los ítems A-2.2 hasta el A-2.5. Donde existan dudas, para mayor seguridad en las mediciones puede ser utilizada la combinación de 2 o más de los métodos descritos.

A-2.2 Mediciones de Potencial Tubo-Suelo

El potencial tubo-suelo debe ser medido sobre ambos lados de la junta de aislamiento, manteniéndose una semicelda fija en uno de los lados. En el caso de que haya una diferencia significativa de potencial, la junta de aislamiento/brida de aislamiento está siendo eficiente. Una junta de aislamiento parcialmente defectuosa puede no ser identificada fácilmente, ya que los potenciales en ambos lados de la junta todavía pueden ser diferentes. Como una guía general, una diferencia de potencial menor que 100 mV puede ser considerada como no concluyente.

A-2.3 Mediciones de Resistencia Eléctrica

En el caso de las juntas del aislamiento eléctrico tipo convencional (bridas) instaladas, debe ser verificado el aislamiento en cada tornillo/cartucho aislante usando un ohmímetro u otro instrumento equivalente. El valor aceptable de aislamiento debe ser superior a 2 000 Ω .

Nota: En el caso de las juntas de aislamiento eléctrico tipo monobloque, la interpretación de los resultados de la medición de la resistencia eléctrica de las juntas de aislamiento puede ser difícil. Esto puede ocurrir porque la resistencia por el circuito externo (en el caso del ducto para la suelo) o a la resistencia por el circuito interno (en caso que el ducto contenga un fluido conductivo - electrolito), están ambas en paralelo con la resistencia de la junta de aislamiento. La resistencia equivalente medida puede, entonces, ser una combinación de esas 3 hipótesis, y un valor bajo de la resistencia eventualmente encontrado no siempre es una señal confiable de que la junta está defectuosa.

A-2.4 Prueba de Corriente

Cuando sea usada prueba de corriente para verificar la integridad de una junta de aislamiento, esta debe ser realizada a través de una fuente CC externa en la cuál es aplicada una corriente en uno de los dos lados de la junta de aislamiento. Si el potencial en el otro lado de la junta de aislamiento no cambia, o cambia el valor la dirección opuesta (debido a un efecto de interferencia) la junta de aislamiento puede ser considerada eficaz.

A-2.5 Mediciones con Generador de Audio - Frecuencia

Mediciones con generador de audio - frecuencia deben ser conducidas por la introducción de una frecuencia de audio apropiada de un generador de frecuencia al lado de la junta de aislamiento, por ejemplo, para un localizador de ducto convencional, y rastreando la señal en el lado opuesto de la junta aislamiento.

/ANEXO B

ANEXO B - PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN DE LECHOS DE ÁNODOS INERTES Y GALVÁNICOS

B-1 PRUEBA DE LAS 2 SEMICELDAS

Esta prueba es realizada usando 2 semiceldas de cobre-sulfato de cobre iguales y del mismo fabricante de acuerdo con los ítems del B-1.7 al B-1.1 y la FIGURA B-1.

B-1.1 Colocar la primera semicelda (la semicelda fija) al mínimo de 50 m de distancia de lechos de ánodos.

B-1.2 Colocar la segunda (semicelda móvil) antes del primer ánodo y a una distancia correspondiente al espacio entre ánodos.

B-1.3 Despegándose la semicelda móvil a lo largo de la línea que une a los ánodos, medir el potencial entre las semiceldas en intervalos correspondientes a la mitad del espacio entre ánodos y sobre cada uno de los ánodos. Las mediciones deben avanzar más allá del final del lecho, en una distancia igual al espacio entre ánodos.

B-1.4 Confeccionar un diseño en escala, para cada lecho investigado, conteniendo los ductos, el rectificador, los ánodos y los puntos donde fueron hechas las mediciones, ser incluyéndose los valores respectivos y la polaridad adoptada.

B-1.5 Para cada lecho investigado, construir una curva (potencial x distancia) con las mediciones realizadas y verificar que los picos observados en esa curva coinciden con la posición real de los ánodos (ver FIGURA B-2).

B-1.6 Si sobre algún ánodo no fuera observado un pico de potencial, quiere decir que debe estar fuera de operación.

B-1.7 Verificar la razón del problema, midiéndose también la corriente drenada por el ánodo (después de descubrir su cable), reponiendo el ánodo en operación o sustituyéndolo. Todo cuidado deber ser tomado en la operación de desaterramiento del cable, para no dañarlo.

B-2 RECOMENDACIONES

B-2.1 En el caso de lecho inerte, encender el rectificador temporalmente en la mayor corriente de salida posible (no superior a la nominal) buscándose no demorar mucho en el servicio, con el objetivo de evitar la súper protección del ducto.

B-2.2 Alternativamente, con el auxilio de un amperímetro alicate, se puede realizar la inspección del lecho a través de la medición de la corriente drenada por cada ánodo, comparando con resultados de inspecciones anteriores.

B-2.3 Los resultados de las mediciones realizadas y diseños confeccionados, fechas de los servicios, problemas detectados y soluciones adoptadas deben ser incluidos en el informe citado en el ítem 6.4 de esta Norma.

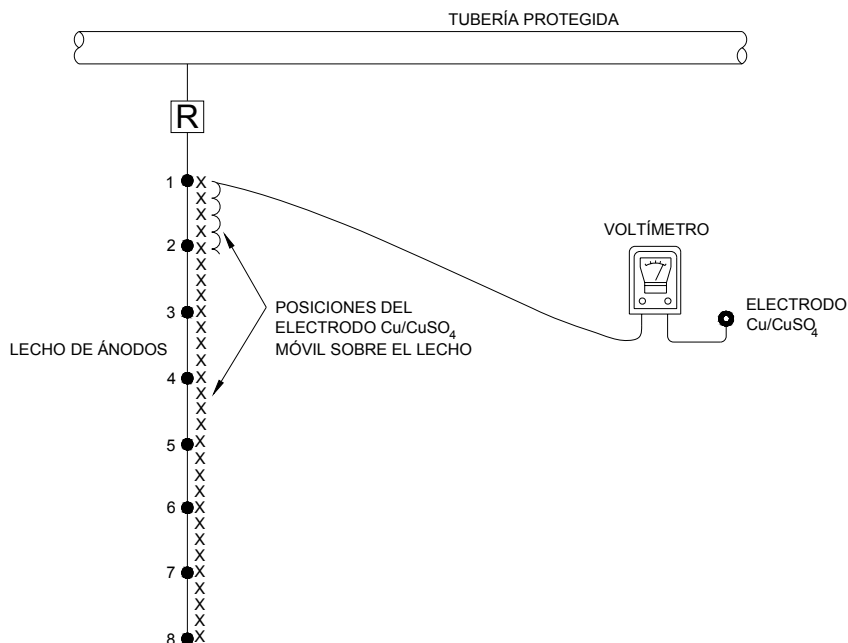


FIGURA B-1 - MEDICIÓN DEL POTENCIAL CON 2 SEMICELDAS SOBRE UN LECHO DE ÁNODOS

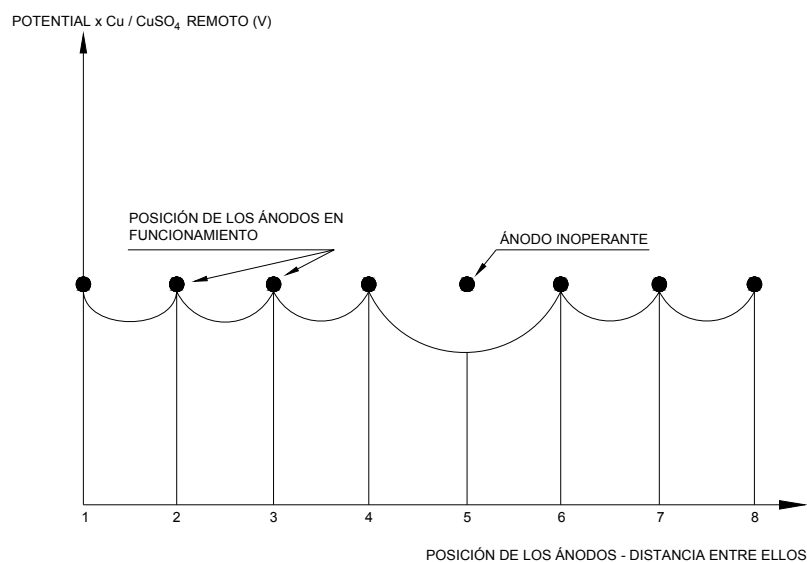


FIGURA B-2 - CURVA DE POTENCIAL VERSUS DISTANCIA SOBRE UNA LECHO DE ÁNODOS



ANEXO C - SISTEMÁTICA PARA LA DETECCIÓN DE FALLAS EN LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA DURANTE LA OPERACIÓN

En el caso de que sean observados valores anormales de potencial y corriente en el SPC por corriente impresa, la comparación con valores anteriores puede indicar la naturaleza de la falla como se muestra en la TABLA C-1.

TABLA C-1 - NATURALEZA DE LAS FALLAS EN SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA

Observación	Indicación
Potencial tubo-suelo tornándose más positivo cuando SPC es encendido.	1) Indica conexiones invertidas en los terminales de la salida del rectificador. Es una falla muy seria que puede resultar en daño grave para el ducto en un período de tiempo relativamente breve.
Voltaje de salida del rectificador muy bajo y corriente cero.	1) Falla del fusible CA o desarme del disyuntor; 2) Falla en el suministro de la alimentación del rectificador; 3) Falla en el transformador-rectificador.
Voltaje de salida del rectificador normal y con corriente baja, pero no es cero.	1) Deterioro de los ánodos o del lecho de ánodos; 2) Resecado del suelo alrededor del lecho de ánodos; 3) La acumulación gas producido de forma electrolítica en torno a los ánodos (el gas bloqueador); 4) Desconexión individual de ánodos del lecho.
Voltaje de salida del rectificador normal y corriente cero.	1) Interrupción del cable de interconexión (principal) de los ánodos o del ducto; 2) Falla en del fusible CC o del amperímetro del rectificador; 3) Falla completa del lecho de ánodos.
Voltaje de salida del rectificador cero y corriente cero.	1) Falla de los fusibles CC.
Voltaje de salida del rectificador alta y corriente alta.	1) Rectificador con la tensión ajustada muy alta.
Voltaje de salida del rectificador normal y corriente normal, pero el potencial tubo-suelo insuficientemente negativo.	1) Quiebra de la continuidad eléctrica, o aumento de la resistencia entre el punto de la conexión al ducto y el punto de prueba, debido a la ineficiencia de la conexión del cable; 2) Gran aumento de la aireación del suelo cerca o en el sitio de la medición atribuible a la aridez o aumento del drenaje del suelo local;

(CONTINUACIÓN)

(CONCLUSIÓN)

TABLA C-1 - NATURALEZA DE LAS FALLAS EN SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA

Observación	Indicación
	3) Falla en el dispositivo de aislamiento, como, por ejemplo, tener un corto circuito en juntas de aislamiento en la extremidad del ducto protegido; 4) Efecto de blindaje de la protección catódica o insuficiencia de la protección catódica atribuible al lanzamiento de un nuevo ducto; 5) Falla de SPC en una sección adyacente al ducto o en un ducto secundario conectado al ducto principal; 6) Deterioro o daño en el revestimiento del ducto; 7) Adición o aumento del ducto enterrado, incluyendo el contacto con otras estructuras metálicas; 8) Interacción con el SPC en la adyacencia o la cercanía del ducto; 9) Efectos de corriente de interferencia en el ducto.
El voltaje de salida del rectificador normal y corriente normal, pero potencial tubo-suelo excesivamente negativo.	1) Quiebra de la continuidad eléctrica del ducto en una posición más adelante del punto en medición; 2) Otro ducto de la extensión desconectado o desligado del ducto que está siendo protegido o haya recibido protección adicional a través de un nuevo SPC; 3) Efectos de la corriente de interferencia en el ducto.
El voltaje de salida del rectificador normal y corriente normal, pero potenciales de tubo-suelo fluctuantes.	1) Presencia de corrientes de interferencia en el suelo, como, por ejemplo, sistema de tracción CC o efectos telúrico/geomagnéticos.

/ANEXO D

ANEXO D - INTERFERENCIA ELÉCTRICA

D-1 GENERAL

La corrosión causada por corriente de interferencia en ductos metálicos enterrados se diferencia de otros tipos de corrosión, por el hecho de que la corriente que causa la corrosión viene de una fuente de terceros para el ducto. Normalmente, la corriente de interferencia de una fuente de terceros, no eléctricamente conectada con el ducto y drenado por este ducto para el suelo. Los efectos perjudiciales de las corrientes de interferencia ocurren en locales donde las corrientes son descargadas del ducto afectado para el suelo. Las interferencias eléctricas pueden ser en la corriente continua o corriente alterna.

D-1.1 Los tipos de interferencia por corriente continua son:

- a) fuentes de corrientes constantes, tales como: las de rectificadores de protección catódica;
- b) fuentes de corrientes fluctuantes, como: corrientes continuas de sistemas ferroviarios electrificados y sistemas de transporte, sistemas de cargamento de minas de carbón y bombas, máquinas de soldar y línea de transmisión CC.

D-1.2 Los tipos de interferencia por corrientes alternas son:

- a) interferencia temporal causada por la corriente de falta de líneas de transmisión (LT) y de trenes CA;
- b) la interferencia causada por el acoplamiento inductivo o conductivo entre el ducto y LT de alta tensión CA o sistemas ferroviarios electrificados;
- c) corrientes telúricas.

D-2 INTERFERENCIAS POR CORRIENTES CONTINUAS

D-2.1 Mediciones

D-2.1.1 Para un estudio detallado, las áreas donde hay sospecha de corrientes de interferencia, pueden ser ejecutadas una de las siguientes mediciones individuales o combinadas:

- a) potencial ducto-suelo con instrumentos registradores e indicadores;
- b) densidad de corriente en los cupones;
- c) flujo de corriente en el ducto con instrumentos registradores e indicadores;
- d) variaciones en la corriente de salida de la fuente sospechosa de corriente de interferencia y correlacionar con las medidas obtenidas de arriba.

D-2.1.2 Las mediciones pueden ser realizadas por un período de 24 horas o en un período en el cuál es típico para el fenómeno de la interferencia sospechada que está siendo investigado de modo que se pueda correlacionar los niveles de interferencia con el tiempo.

D-2.1.3 Deben ser medidas las interferencias con otros ductos enterrados o instalaciones después de que el SPC sea energizado. Las mediciones de interferencia deben ser conducidas conforme descrito a continuación:

- a) para medir el potencial tubo-suelo, tanto en el ducto bajo interferencia como en el ducto interferente, mientras las fuentes relevantes de corriente de protección catódica que pueden interferir sean interrumpidas simultáneamente;
- b) medir el potencial del tubo-suelo en el otro ducto o instalación mientras SPC sea energizado.

D-2.1.4 La variación media del potencial en cualquier parte del otro ducto o del efecto de instalación bajo el efecto de interferencia no puede causar potenciales fuera del criterio dado en el ítem 5.3. En el caso de que el efecto de interferencia resulte que el criterio de protección catódica no sea alcanzado deben ser tomadas las acciones correctivas para eliminar la interferencia.

D-2.2 Mitigación de los Problemas de la Corrosión por Interferencia de Corriente Continua

D-2.2.1 Los métodos más comunes a ser considerados en la solución de los problemas de interferencia en los ductos u otras instalaciones enterradas incluyen:

- a) prevención en cuanto a la entrada o a la limitación del flujo de corriente interferencia a través del ducto enterrado;
- b) un conductor metálico conectado al lado de retorno (negativo) de la fuente de corriente de interferencia;
- c) neutralización del efecto de corriente de interferencia a través de la elevación del nivel de protección catódica;
- d) remoción o recolocación de la fuente de corriente de interferencia.

D-2.2.2 Métodos específicos a ser considerados individualmente o combinados son:

- a) proyecto e instalación de conexiones metálicas con un resistor en el circuito de conexión entre los ductos afectados u otras instalaciones; la conexión metálica conduce la corriente de interferencia de un ducto interferido para otro ducto o para la fuente interferente;
- b) dispositivos de control unidireccional, tales como: diodos o llaves reserva corriente;
- c) revestimiento del ducto desnudo en donde la corriente de interferencia entrar en el ducto;
- d) aplicación de corriente de protección catódica adicional en la zona del ducto afectado donde la corriente de interferencia esté siendo descargada;
- e) ajuste de la corriente de salida de los rectificadores de protección catódica mutuamente interferidos;
- f) reducción o eliminación de la entrada de la corriente de interferencia la recolocación de los lechos de ánodos;
- g) localización apropiada de las juntas de aislamiento en el ducto afectado (ver Nota);
- h) mejora del revestimiento protector en la estructura interferente;
- i) instalación de blindaje aislante entre el ducto y la estructura interferente.

Nota: Al mismo tiempo en que las juntas de aislamiento instaladas reducen la magnitud de la corriente de interferencia, las juntas también pueden crear otros lugares de entrada y descarga de la corriente. Para garantizar la no-existencia de una condición de interferencia pueden ser realizadas pruebas en la región de la junta de aislamiento.

D-3 INTERFERENCIA POR CORRIENTES ALTERNAS

D-3.1 General

La magnitud de la interferencia de alta tensión CA, permanente o temporal, en un ducto, tales como: LT y ferrocarriles electrificados, depende principalmente de:

- a) longitud del tramo de paralelismo;
- b) distancia del ducto;
- c) nivel de tensión CA de la LT;
- d) nivel de corriente CA;
- e) calidad del revestimiento del ducto.

Notas: 1) Los efectos de la interferencia por corrientes alternas en ductos enterrados pueden exigir medidas de seguridad.
2) Los efectos posibles relacionados con la interferencia por corrientes alternas incluyen choques eléctricos, daños en el revestimiento, corrosión acelerada y daños en la junta aislante.

D-3.2 Cálculo de la Inducción Corriente Alterna

D-3.2.1 La interferencia por corriente alterna puede ser simulada en una computadora, teniendo en cuenta los datos del ducto afectado, tales como: la resistencia del revestimiento, diámetro, ruta, ubicación de las juntas aislantes. Si el dispositivo de aislamiento es instalado de modo que el ducto esté eléctricamente continuo con la malla de aterramiento de una planta, la resistencia al tierra de la malla debe ser estimada o entonces la malla de suelo debe formar parte del estudio.

D-3.2.2 Los datos a ser considerados para los sistemas de tracción el CA son alta tensión interferente, corriente de operación, esquema de las torres de alta tensión y la posición de los cables, ruta incluyendo la posición de los transformadores, la frecuencia y características de la LT de alta tensión.

D-3.3 Medidas de Corriente de Interferencia CA

D-3.3.1 Para determinar el riesgo de la corrosión por CA, cupones pueden ser instalados donde la intensidad de corriente CA llegue a su máximo. Los cupones deben ser enterrados con la misma profundidad que el ducto y tener equipamiento apropiado para las mediciones de corriente. Los cupones adicionales pueden ser instalados para ser removidos e inspeccionados visualmente.

D-3.3.2 La densidad de la corriente dentro de un defecto en el revestimiento es el principal factor determinante para una evaluación del riesgo de corrosión por CA. En el caso de suelo de baja resistividad, poder ocurrir alta densidad de corriente CA.

Nota: Si la densidad de corriente CA en una superficie con un área desnuda de 100 mm² (el ejemplo: probador de prueba externa) sea mayor de 30 A/m² hay un riesgo mayor de ocurrencia de corrosión. En determinadas condiciones, la corrosión CA puede ocurrir con densidad de corriente CA menor que 30 A/m² en áreas de 100 mm² de una superficie desnuda. El riesgo de corrosión está principalmente relacionado con el nivel de la densidad de la corriente CA comparada con el nivel de densidad de la corriente de protección catódica. Si la densidad de corriente CA sea muy alta, la corrosión puede no ser evitada por la protección catódica.

D-3.3.3 En las secciones donde el voltaje CA sea mayor que 10 V o donde los voltajes a lo largo del ducto muestren variaciones para valores más bajos, indicando posible descarga de corriente CA, deben ser realizadas mediciones adicionales en el local.

D-3.3.4 Ninguna técnica de medición simple o criterio para la evaluación del riesgo de corrosión CA es reconocida para valorar corrosión CA.

D-3.3.5 Las mediciones más específicas incluyen:

- a) potencial tubo-suelo;
- b) la densidad de corriente; y
- c) relación entre las densidades de corriente (densidad de corriente CA/densidad de corriente CC).

D-3.4 Limites para las Interferencias CA

D-3.4.1 Las tensiones de paso y de toque máximas deben ser limitadas de acuerdo con límites de seguridad establecidos en las normas de seguridad y mantenidos en todos los locales donde una persona pueda tocar el ducto o un componente del ducto.

D-3.4.2 Medidas protección en contra la corrosión CA pueden ser conseguidas a través de las siguientes medidas:

- a) reducción voltaje CA inducido;
- b) incremento del nivel de protección catódica tal que la parte positiva de la corriente CA pueda ser despreciada.

D-3.4.3 Para reducir las tensiones de paso y de toque, deben ser considerados los siguientes métodos:

- a) reducción del voltaje CA inducido a través del aterramiento del todo el sistema;
- b) instalación de mallas de suelo en áreas que tengan trabajadores en actividad;
- c) instalación de cables de aterramiento paralelos al ducto.

D-3.4.4 Para reducir el voltaje CA, pueden ser considerados los métodos descritos en los ítems de D-3.4.4.1 al D-3.4.4.3.

D-3.4.4.1 Instalar el aterramiento del ducto con dispositivos de desacople de forma de dejar la corriente CA fluir y no dejando la corriente CC fluir. Una simulación en computadora puede ser pedida para optimizar el número, la ubicación y resistencia al suelo de sistemas de aterramiento.

D-3.4.4.2 Instalar aterramiento con amplificadores de control de potencial con el propósito de imprimir una corriente en el ducto, compensando o reduciendo la tensión inducida. Este método puede ser aplicado si la reducción tensión inducida no puede ser obtenida por el aterramiento simple. La ubicación de los amplificadores de compensación debe ser proyectada cuidadosamente.

D-3.4.4.3 Añadir sistemas de aterramiento para proveer la ecualización de los potenciales en áreas específicas. Estos sistemas de aterramiento pueden ser contruidos usando una variedad y electrodos (acero galvanizado, zinc, magnesio, etc.). Algunos sistemas de aterramiento pueden tener un efecto desfavorable en la eficiencia de protección catódica. Para evitar este efecto, los sistemas de aterramiento pueden ser conectados al ducto a través de dispositivos apropiados, por ejemplo: centelladores, elementos de desacople CC y otros.

D-3.4.5 El aumento del nivel del voltaje CC para alcanzar a un potencial más negativo puede reducir la tasa de corrosión CA. Los potenciales del tubo-suelo no pueden ser más negativos que los valores presentados en el Capítulo 5 de esta Norma.

/ANEXO E

ANEXO E - PROCEDIMIENTO PARA INVESTIGAR LA OCURRENCIA DE CORROSIÓN CON TENSIÓN EN DUCTOS CON IDENTIFICACIÓN DE LOS TRAMOS CON MAYOR SUSCEPTIBILIDAD

E-1 Para ductos instalados en áreas sujetas al movimiento del suelo, que puedan someter al ducto a esfuerzos de compresión y a tracción, observar los criterios a continuación:

- a) hacer un levantamiento geológico-geotécnico en la región de la extensión de servicio, de acuerdo con las inspecciones sistemática y estacional para observar cualquier ocurrencia que pueda poner la integridad del ducto en el riesgo, con el objetivo de registrar y clasificar los puntos en niveles de riesgo;
- b) realizar las inspecciones específicas en los puntos clasificados como sensibles, determinando el emplazamiento "in situ" del trazado del ducto, incluyendo el nivel plani-altimétrico y nivel de aterramiento; estas inspecciones deben identificar en los ductos alas de deformación y tramos sometidos a esfuerzos tracción y compresión;
- c) en los puntos clasificados como sensibles, donde ocurra deformación del ducto, inspeccionar el revestimiento para identificar puntos de falla del revestimiento.

E-2 Para ductos con revestimientos de cinta de polietileno, seleccionar para investigar la ocurrencia de CST todos los tramos en que ocurrieron desplazamientos en el revestimiento y deformación plástica en el ducto. Dar la atención especial a los primeros 30 km de ductos enterrados después de la estación de los compresores.

E-3 En los lugares de falla de revestimiento con presencia de electrolito, hacer una medición del pH y concentración de BRS de la solución retenida entre el revestimiento y el ducto y recoger para análisis el producto de corrosión.

E-4 En los lugares donde ocurra contacto directo tubo-suelo, aplicar la técnica de clasificación de corrosión del suelo presentado en el ANEXO F.

E-5 Retirar el revestimiento con un chorro de agua y chorro abrasivo en todo el lugar que hubo desplazamiento del revestimiento, hacer inspección no destructiva por partículas magnéticas.

E-6 Cuando detectada la existencia de trincas, considerar la sustitución del tramo bajo tensión.

E-7 Realizar análisis de interacción de suelo-ducto para evaluar las condiciones de seguridad estructural del ducto.

/ANEXO F

ANEXO F - CLASIFICACIÓN DE LA CORROSIÓN DEL SUELO

F-1 INTRODUCCIÓN

F-1.1 La agresividad del suelo a los metales engloba 2 tipos: la agresividad específica y la agresividad relativa. La primera se vincula al amplio elenco de propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, mientras que la segunda se presenta dependiente de los factores externos, capaces de modificar el proceso de corrosión, como la presencia de corrientes de fuga, macro pila de corrosión etc.

F-1.2 La clasificación de corrosión del suelo tiene aplicación principalmente en estructuras de pequeño porte (tanques de puestos del servicio y tanques de almacenamiento) o cuando la evaluación de la falla ocurrida en determinado equipo, aquí se incluye ductos, donde esta corrosión puede haber tenido un papel fundamental en la ocurrencia en le modo de la falla.

F-2 CRITERIOS DE AGRESIVIDAD DEL SUELO

F-2.1 Uno de los criterios más completos, de la evaluación de la agresividad del suelo es el de "Trabanelli" donde los índices parciales de la agresividad son atribuidos a cada parámetro con el objetivo de definir la agresividad mundial para el módulo de la suma. El criterio de "Trabanelli" modificado usa la concentración de BRS (NMP/g) en lugar del valor del potencial redox, para suelos oxidantes esta sustitución no es recomendada. Debe utilizarse apenas uno de estos índices o los 2 en conjunto.

F-2.2 En la TABLA F-1 son presentados los índices parciales de la agresividad del suelo según "Trabanelli" modificado.

TABLA F-1 - ÍNDICES PARCIALES DE LA AGRESIVIDAD DEL SUELO

Parámetros del Suelo	Índice Parcial	Parámetros del Suelo	Índice Parcial
Resistividad (Ohm.cm)		Clorato (mg/kg)	
> 12 000	0	< 100	0
12 000 a 5 000	-1	100 a 1 000	-1
5 000 a 2 000	-2	> 1 000	-4
< 2 000	-4		
BRS (NMP/g)		Sulfato (mg/kg)	
< 2 x 10	+2	Ausente	0
2 X 10 a 103	0	< 0,5	-2
> 103 a 6 x 104	-2	> 0,5	-4
> 6 x 104	-4	-	-

(CONTINUACIÓN)

(CONCLUSIÓN)**TABLA F-1 - ÍNDICES PARCIALES DE LA AGRESIVIDAD DEL SUELO**

Parámetros del Suelo	Índice parcial	Parámetros del Suelo	Índice Parcial
Ph		Sulfato (mg/kg)	
> 5	0	< 200	0
< 5	-1	200 a 300	-1
-	-	> 300	-2
Humedad (%)			
< 20	0		
>20	-1		

F-2.3 En el criterio de “Trabanelli” original, los índices parciales atribuidos pueden ser observados entre paréntesis, en términos de extensión potencial redox (EPH). Como por ejemplo:

- a) > + 400 mV (+2);
- b) 400 mV para 200 mV (0);
- c) 200 mV para 0 mV (-2);
- d) < 0mV (-4).

F-2.4 Con los índices parciales, debe ser calculado el índice total de agresividad del suelo. El suelo es clasificado conforme a la TABLA F-2.

TABLA F-2 - CLASIFICACIÓN DEL SUELO

Clasificación del Suelo	Índice Total de Agresividad
No agresivo	0
Ligeramente agresivo	-1 a -7
Agresivo	-8 a -10
Muy agresivo	< -10

F-3 PROCEDIMIENTO DE RECOGIDA DE MUESTRA

F-3.1 Debe ser colectadas muestras del suelo envuelve el ducto, exactamente en el sitio donde ocurrió la falla. En el lugar definido, la perforación debe ser hecha. Las muestras deben ser recogidas inmediatamente del interior de la masa de suelo compactada en el trado, a través del material estéril:

- a) espátulas;
- b) matraces de cristal de 125 ml (para análisis microbiológico);
- c) sacos plásticos de 500 g (para el análisis químico).

F-3.2 En los frascos, el la suelo debe ser compactada, llenando todo el volumen para garantizar mejor anaerobiosis, evitando el contacto con las manos y la exposición prolongada al aire. Los frascos deben ser identificados, tapados y sellados con cinta de ¹⁾TEFLON®.

F-3.3 Los frascos así sellados deben ser mantenidos en ambientes, preferentemente, refrigerados por un tiempo menor posible hasta la realización de los análisis microbiológicos.

F-3.4 Los sacos de plástico deben ser llenados, lacrados e identificados. Posteriormente, deben ser mantenidos en un ambiente, preferentemente, refrigerado por un tiempo menor posible hasta la realización de los análisis químicos.

¹⁾ TEFLÓN® es marca registrada de la Du Pont para resinas, filmes, cintas y fibras de Politetrafluoretileno (PTFE), siendo un ejemplo adecuado de un producto comercialmente disponible. Esa información es dada para facilitar a los usuarios en la utilización de esta Norma y no significa una recomendación del producto citado por parte de la PETROBRAS. Es posible que se utilice el producto comprobadamente equivalente, siempre que conduzca a resultado igual.

ÍNDICE DE REVISIONES

[illegible]