UNIVERSIDAD TECNICO FEDERICO SANTA MARIA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE CUPONES EN RED DE ACERO DE EMPRESA DISTRIBUIDORA DE GAS NATURAL PARA CERTIFICAR PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN, EN EL AREA DE PROTECCIÓN CATÓDICA.

Trabajo de titulación para optar al título profesional de Ingeniero de Ejecución en MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Alumno
Oscar Andrés Tapia Miranda

Profesor Guía:
Ingeniero Luis Gutiérrez Meneses

2019

RESUMEN

Keyworks: **PROTECCIÓN CATÓDICA – EMPRESA DISTRIBUIDORA- CUPÓN DE CORROSIÓN – RED DE ACERO – NACE**

En este proyecto se dio una propuesta de mejora para los sistemas de protección catódica implementados en la empresa distribuidora de gas natural GasValpo, esto se conseguirá instalando cupón de corrosión para poder certificar la protección contra la corrosión de las redes de transporte de gas natural de acero enterradas a 10 [bar] de presión.

La propuesta está compuesta por tres capítulos que se darán a conocer a continuación:

- CAPÍTULO N°1 se titula como "ANTECEDENTES GENERALES Y DOCUMENTACIÓN", está compuesto por el diagnóstico del problema, los objetivos generales y específicos del proyecto, también se da a conocer a la empresa distribuidora y sus sistemas de gestión de calidad e integridad de redes, las características de la red de distribución según distribución geográfica y fallas asociadas a la corrosión.

- CAPÍTULO N°2 se titula como "ASPECTOS TÉCNICOS DEL PROYECTO" en este capítulo se dio a conocer las diferentes soluciones a los principales tipos de corrosión de la red de acero según las características del medio y normas internacionales, donde se mostraron soluciones según norma NACE para tuberías enterradas y los requerimientos de protección de la corrosión según la SEC.

- CAPÍTULO N°3 se titula como "DESARROLLO DE LA PROPUESTAS" en este capítulo se desarrolló la propuesta de protección catódica con la instalación, conexión y medición de cupón de corrosión, para la validación de los criterios de medición en conjunto con la evaluación económica correspondiente.

INDICE

RESUMEN
INDICE
ÍNDICE DE FIGURAS
ÍNDICE DE GRAFICOS
ÍNDICE DE TABLAS
SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

INTRODUCCIÓN **1**
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES Y DOCUMENTACIÓN **2**
1.1. DIAGNÓSTICO 3
1.1.1. Aspectos generales del proyecto 3
1.1.2. Objetivos del proyecto 4
1.2. EMPRESA DISTRIBUIDORA 4
1.2.1. Visión, misión y valores 5
1.2.2. Políticas de calidad 6
1.2.3. Política de integridad de redes 7
1.2.4. Ubicación de la empresa 7
1.3. RED DE DISTRIBUCION DE GAS 8
1.3.1. Red primaria de distribución de gas natural 9
1.3.2. Red secundaria de distribución de gas natural 10
1.4. TIPOS DE FALLAS EN RED DE ACERO 10
1.4.1. ¿Que se entiende por corrosión? 11
1.4.2. Oxidación y reducción 11
1.4.3. Tipos de corrosión 15

CAPÍTULO 2: ASPECTOS TÉCNICOS DEL PROYECTO **22**
2.1. ¿QUE ES LA SEC? 23
2.1.1. Valor publico 23
2.1.2. Alcance de norma SEC decreto N°739 para protección catódica 23
2.1.3. Artículo 67 controles de corrosión externa de nuevas instalaciones 23
2.1.4. Artículo 70 controles de corrosión externa de nuevas instalaciones 24
2.2. ¿QUÉ ES LA NACE? 24
2.2.1 Membresía 24
2.2.2. Secciones y áreas 25

2.3. CONTROL DE LA CORROSIÓN EXTERNA EN SISTEMAS DE TUBERÍAS METÁLICAS ENTERRADAS O SUMERGIDAS SEGÚN "NACE SP0169-2013" 25
2.3.1. Control de corrosión externa sección 4 "NACE SP0169-2013" 25
2.4. SISTEMAS DE PROTECCIÓN ANTE LA CORROSIÓN 26
2.4.1. Recubrimientos externos sección 5 "NACE SP0169-2013" 26
2.4.2. La teoría de protección catódica según "NACE Cp1 curso manual" 31
2.4.3. Sistemas de protección catódica 34
2.4.4. Relevamiento de potencial paso a paso según "NACE Cp1 curso manual" 39
2.5. CAÍDA ÓHMICA (IR) EN LAS LECTURAS DE POTENCIAL 47
2.5.1. Caída IR según "NACE Cp1 curso manual" 47
2.6. CUPÓN DE CORROSIÓN SEGÚN "NACE CP1 CURSO MANUAL" 49

CAPÍTULO 3: "DESARROLLO DE LA PROPUESTA" 50
3.1. OBJETIVOS Y ALCANCE DE LA PROPUESTA 51
3.2. PROCESO DE INSTALACIÓN DE CUPÓN DE CORROSIÓN 51
3.4. PLANIFICACIÓN Y VERIFICACIÓN DE DATALOGGER 58
3.4.1. Configuración del DL 58
3.4.2. Instalación y retiro del DL del PC 59
3.4.3. Descarga de datos registrados 59
3.5. ANÁLISIS DE MEDICIÓN DE CUPÓN DE CORROSIÓN 59
3.5. COSTOS ASOCIADOS A LA INSTALACIÓN DE CUPONES 64
3.5.1. Costos de traslado para instalación de cupón 64
3.5.2. HH para la instalación de cupones 65
3.5.3. Costos asociados a la mano de obra para la instalación de cupón de corrosión 66
3.5.3. Costo de cupón de corrosión 67
3.5.4. Costo total de instalación de cupón de corrosión 68

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 69
BIBLIOGRAFÍA 70
ANEXOS 71
ANEXO A: SP0169-2013 CONTROL DE LA CORROSIÓN EXTERNA EN SISTEMAS DE TUBERAS METLICAS ENTERRADAS O SUMERGIDAS (21181-SG) (1) SECCION 6 PAGINA 20. 72

ANEXO B: SP0169-2013 CONTROL DE LA CORROSIÓN EXTERNA EN SISTEMAS DE TUBERAS METLICAS ENTERRADAS O SUMERGIDAS (21181-SG) (1) SECCION 2 DEFINICIONES, ABREVIATURAS Y ACRONIMOS 73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Ubicación de empresa GasValpo	8
Figura 1-2.	Referencial de distribución de gas natural	9
Figura 1-3.	Red de acero de 10”	10
Figura 1-4.	Proceso de oxidación según NACE Cp1 capítulo 2	12
Figura 1-5.	Hidrogeno neutro por reducción según NACE Cp1 capítulo 2	13
Figura 1-6.	Proceso catódico (reacción parcial) según NACE Cp1 capítulo 2	13
Figura 1-7.	Pila de corrosión básica-circuito electroquímico según NACE Cp1 capítulo 2	14
Figura 1-8.	Celda de corrosión básica según NACE Cp1 capítulo 2.	15
Figura 1-9.	Referencia de corrosión uniforme	16
Figura 1-10.	Corrosion por esfuerzo en un clavo	17
Figura 1-11.	Proceso de oxidación en Corrosión intragranular	18
Figura 1-12.	Ejemplo de corrosión por fatiga	18
Figura 1-13.	Representación de corrosión por picadura	19
Figura 2-1.	Instalación de manta termo-contraíbles en tubería de acero	30
Figura 2-2.	Reparación de defecto en recubrimiento en red a la vista con hándicap	31
Figura 2-3.	Celda de corrosión microscópica catódica según “NACE Cp1 curso manual”	32
Figura 2-4.	Protección catódica de una estructura según “NACE Cp1 curso manual”	33
Figura 2-5.	Protección catódica con ánodos galvánicos según “NACE Cp1 curso manual”	34
Figura 2-6.	Ánodos de magnesio ensacados	36
Figura 2-7.	Sistema de ánodo de corriente impresa	37
Figura 2-8.	Esquema de un rectificador de protección catódica	39
Figura 2-9.	Medición de potencial caño-suelo	40

Figura 2-10. Electrodo de referencia de cobre-sulfato de cobre en contacto con la tierra según "NACE Cp1 curso manual" 42
Figura 2-11. (CSE) Sulfato de cobre-cobre saturado en terreno 43
Figura 2-12. Potenciales caño-suelo según "NACE Cp1 curso manual" 45
Figura 2-13. Estación de medición de potencial montada sobre poste o mojón 45
Figura 2-14. Estación de medición de potencial montada a nivel 96
Figura 2-15. Estación de control a nivel de empresa distribuidora 46
Figura 2-16. Caída óhmica en un circuito 48
Figura 2-17. Ejemplos de cupón de corrosión de protección 49
Figura 3-1. Instrumento para detectar posición y estimar profundidad de tubería enterrada 52
Figura 3-2. Aholladora para realizar agujero cerca de tubería 52
Figura 3-3. Excavación realizada cerca de tubería 53
Figura 3-4. Instalación en cupón de corrosión en tubo de pvc de 50 [mm] 53
Figura 3-5. Instalación de cupón de corrosión en agujero cercano al punto de control 54
Figura.3-6. Cupón de corrosión correctamente instalado 54
Figura 3-7. Instalación de punto de control Glen 4 55
Figura 3-8. Cupón instalado con pollo de hormigón 55
Figura 3-9. Referencial de instalación de cupón según Nace Cp1 curso manual capitulo N°8 56
Figura 3-10. Cables para instalación de cupones 56
Figura 3-12. Datalogger UDL 2 58
Figura 3-13. Factura de empresa M.C.MILLER por el cupón de corrosión 67

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 2-1. Gráfico entregado por datalogger 41
Gráfico 3-1. Registro recopilado por data-logger UDL 2 de cupón de corrosión 60
Gráfico 3-3. Ejemplo N°2 de alteraciones de potenciales eléctrico 61
Gráfico 3-4. Alteraciones de potenciales eléctrico Ejemplo N°3, grafico 62

Gráfico 3-5. Ejemplo N°4, zoom grafico registrado por el cupón de corrosión 63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Sistema de recubrimiento externo 1 - Sección 5 "NACE SP0169-2013" 27
Tabla 2-2. Sistema de recubrimiento externo 2 - Sección 5 "NACE SP0169-2013" 28
Tabla 2-3. Sistema de recubrimiento externo 3 - Sección 5 "NACE SP0169-2013" 28
Tabla 2-4. Tabla de características de ánodos de magnesio enancados 36
Tabla 2-5. Tabla electrodos de referencia según NACE SP0169-2013 42
Tabla 3-1. Costos de traslado de personal Redcom 65
Tabla 3-2. Costos HH dispuesta por la empresa Redcom 66
Tabla 3-3. Costos de mano de obra dispuesta por la empresa Redcom 66

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS

AC: Corriente alterna

CSE: Electrodo de referencia de cobre-sulfato de cobre saturado.

DC: Corriente directa

CGS: City Gates (puertas de la ciudad)

HDD: Perforación direccional horizontal.

NACE: Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión

SEC: Superintendencia de Electricidad y Combustibles

SGIR: Sistema de gestión de integridad de redes.

PC: Protección catódica

PE: Polietileno.

B. SIMBOLOGÍA

%: Porcentaje

$: Pesos

INTRODUCCIÓN

La corrosión y la protección catódica son un efecto electroquímico, por lo tanto, en mediciones de corrosión se utilizan elementos eléctricos, debido a esto, se deben manejar conceptos eléctricos, como de química básica y a la vez en la aplicación en terreno, tener el conocimiento de los procedimientos de instalación de componentes del sistema de protección catódica.

Para la empresa distribuidora (GasValpo) es importante certificar que las redes de acero se encuentren protegidas ante la corrosión, esto se declara constantemente ante la SEC guiándose por la norma internacional NACE, por lo tanto, se deben aplicar técnicas de "protección catódica" determinadas por dicha norma y comprobarlas a través de mediciones que cumplan con criterios establecidos. Estos valores son medidos con equipos tipo "Data-logger" para representar potenciales eléctricos y ser comparados con criterios o valores entregados por la "NACE SP0169-2013". En algunos casos, las redes están ubicadas en sectores donde estos potenciales pueden ser afectados por corrientes externas, por ejemplo, cerca de metro tren, torres de alta tensión y/o otras redes de acero protegidas con sistemas de protección catódica, esto último no permite obtener el valor real. Por ello, se propone como mejora la instalación de cupones, los cuales permiten obtener potenciales polarizados (eliminan las corrientes externas) como lo indica la norma NACE, y así certificar que las redes de gas natural están protegidas ante la corrosión.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES Y DOCUMENTACIÓN

1. ANTECEDENTES GENERALES Y DOCUMENTACIÓN

Este capítulo da a conocer conceptos generales de la propuesta, objetivos generales y específicos, historia de empresa distribuidora y sus políticas de calidad e integridad de redes, red de distribución de gas y tipos de fallas.

1.1. DIAGNÓSTICO

En la presente sección se permite entender la idea general de la propuesta, para lo cual se permite delimitar la envergadura del proyecto, además de definir los objetivos generales y específicos con el fin de dar una estructura a la propuesta

1.1.1. Aspectos generales del proyecto

La propuesta de mejora se basa en la instalación de cupones de corrosión para certificar la medición de potenciales eléctricos y poder determinar si las redes de distribución de gas natural no están en corrosión. Se deben considerar aspectos importantes por el cual las redes de gas natural de acero deben protegerse ante la corrosión. Las redes subterráneas aceradas son el activo principal de la empresa distribuidora, cualquier tipo de falla podría eventualmente dejar a toda la comuna sin suministro de gas natural, ya que, mantener un servicio continuo es un punto importante e indispensable. La seguridad de la población es ante todo los mas importante, se debe considerar que los ductos transportan gas natural entre los 10 a 28 [bar] lo que podría resultar en una catástrofe de proporciones.

Es por estos puntos que constantemente se deben realizar propuestas de mejora manteniendo documentación técnica recopilada que asegure la protección de las redes aceradas ante entidad que supervigila a las empresas de energía como la “SEC”. Esta protección, certificación y documentación se basa en la norma internacional de corrosión que es la “ NACE”.

1.1.2. Objetivos del proyecto

En este subcapítulo se establece el norte de la propuesta, que finalmente, permite el desarrollo del estudio técnico y económico en la forma más acotada posible. Para ello se han establecido objetivos de orden general y específicos.

1.1.2.1. Objetivo general del proyecto

Evaluar técnica y económicamente la implementación de cupones en red de acero de empresa distribuidora de gas natural, con la finalidad de la certificación de la protección catódica según normas nacionales e internacionales.

1.1.2.2. Objetivos específicos del proyecto

El presente proyecto verá su objetivo general reflejado en los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar las cañerías de acero, según distribución geográfica y fallas asociadas a la corrosión, con la finalidad de la estandarización frente a normas nacionales e internacional.
- Diferenciar las soluciones a los principales tipos de corrosión de cañerías de acero, según características del medio y normas internacionales (NACE) para certificar la protección contra la corrosión.
- Elaborar una propuesta de protección catódica en base a la instalación de cupón de corrosión, técnica y económicamente de acuerdo a características operacionales e índices económicos, con la finalidad de validar criterios de medición.

1.2. EMPRESA DISTRIBUIDORA

GasValpo S.A. empresa distribuidora de gas por redes más antigua del país, fue creada en el año 1853 en Valparaíso con el fin de suministrar gas. Esto permitió que sectores de Valparaíso existiera el alumbrado público alimentado

por gas, y así entrar en GasValpo S.A. empresa distribuidora de gas por redes más antigua del país, posteriormente logrando entrar en los hogares proporcionando gas para uso de agua caliente, cocina y calefacción.

Actualmente GasValpo S.A. distribuye gas natural a más de 100.000 clientes en residenciales, comerciales e industriales a través de sus 1500 (km) de cañerías en comunas de Quintero, Puchuncavi, Concón, Viña del mar, Valparaíso, Casablanca, Quilpué, Villa Alemana, Quillota, La cruz, La calera, Llay Llay y en la región de O'Higgins a Codelco caletones. También distribuye a las ciudades de la serena, Coquimbo, los andes y Talca a través de su marca Energas.

Entre sus principales clientes están las industrias más importantes de sus zonas de concesión. Esto es fundiciones ventanas, caletones de Codelco, industrias PF en Talca y Chagres de anglo american, además otras importantes empresas e instituciones de servicio público y privado.

Entre sus principales clientes están las industrias más importantes de sus zonas de concesión. Esto es fundiciones ventanas, caletones de Codelco, industrias PF en Talca y Chagres de anglo american, además otras importantes empresas e instituciones de servicio público y privado.

La empresa cuenta con certificaciones internacionales en sus sistemas de gestión en calidad, salud y seguridad ocupacional, y medio ambiente, ISO 92001, OHSAS 18001 e 14001 respectivamente, lo que permite entregar un servicio con altos estándares de calidad y seguridad.

1.2.1. Visión, misión y valores

La visión de GasValpo es ser la mejor empresa proveedora de energía en chile.

La misión de GasValpo es:

- Proveer energía limpia con los más altos estándares de calidad y seguridad, que mejore la calidad de vida de las personas sin afectar el medio ambiente.
- Ser fuente de oportunidades para el desarrollo personal y profesional de nuestros colaboradores.
- Promover la innovación para entregar permanentemente un servicio de excelencia
- Fomentar las relaciones de largo plazo con nuestros clientes, contratistas y proveedores

- Lograr la rentabilidad exigida por nuestros accionistas siendo fieles a los valores y principios éticos de nuestra empresa.
- Desarrollar nuestras actividades preocupándonos de la comunidad y entorno en el cual desarrollamos nuestros negocios.

Los valores que guían el trabajo de las personas que forman parte de GasValpo son la responsabilidad, compromiso e integridad.

1.2.2. Políticas de calidad

GasValpo, empresa proveedora de energía, se compromete con la seguridad, salud ocupacional, calidad de sus servicios y con el medio ambiente. Para esto, se mantendrá un sistema integrado de gestión que le permita desarrollar sus actividades en forma controlada, para satisfacer los requisitos de sus clientes y cumplir la normativa aplicable. Esta política se sustenta en base al cumplimiento de estándares de:

- Seguridad y salud ocupacional
- Calidad
- Medio ambiente
- Gestión de riesgos
- Integridad de redes

Por lo tanto se está comprometido con prevenir lesiones y enfermedades relacionadas al trabajo, administrar las operaciones minimizando la probabilidad de ocurrencia de incidentes y sus posibles consecuencias, proveer un servicio seguro y confiable, desarrollar todos los procesos de manera eficiente, cumpliendo con los estándares de calidad definidos por la empresa, a fin de superar las expectativas de los clientes, asegurar que los riesgos que puedan afectar las operaciones, el desarrollo del plan de negocios y cumplimiento de leyes y regulaciones sean identificados, evaluados, administrados, comunicados en forma objetiva y oportuna, mejorar continuamente la eficacia de los sistemas de gestión y el desempeño de la organización, aplicar prácticas de trabajo que eviten o minimicen la generación, emisión o descarga de residuos, con el fin de prevenir la contaminación ambiental, promover iniciativas que mejoren la eficiencia energética de nuestras operaciones.

1.2.3. Política de integridad de redes

El sistema de gestión de integridad de redes (SGIR) de GasValpo tiene por objeto optimizar la operación de las redes de distribución de gas natural, a través de una gestión de riesgo que minimice la probabilidad de ocurrencia de incidentes, y en caso de que estos ocurran, mitigue al máximo sus posibles consecuencias.

De esta manera, se da cumplimiento a uno de nuestros principales objetivos entregando un suministro de gas confiable y seguro a nuestros clientes, respetando a la comunidad y el medio ambiente en el cual desarrollamos nuestras actividades.

Los compromisos son:

- Cumplir con la legislación vigente aplicable a la operación de redes de distribución de gas natural.
- Mantener un sistema de gestión de integridad de redes (SGIR) que permita manejar adecuadamente los riesgos asociados a la distribución de gas natural
- Asignar recursos necesarios para la correcta planificación, operación y difusión del SGIR.
- Asegurar el mejoramiento continuo del SGIR, monitoreando su efectividad y tomando las medidas correctivas que sean necesarias.

1.2.4. Ubicación de la empresa

La empresa se encuentra en un punto estratégico de la región de Valparaíso, para poder abarcar con los tiempos de respuestas correspondientes emergencias como fugas de gas por daños en la red, cualquier tipo de olor a gas tanto interior como exterior de zonas donde existan redes de gas natural y clientes que lo soliciten. También para acudir a las estaciones de medición y regulación para resolver cualquier tipo de problema y/o mantenimiento. La dirección exacta de la empresa es en “Camino internacional N°1420”, esto permite abarcar las redes de distribución de Valparaíso a Villa alemana.

Fuente: Geoogle

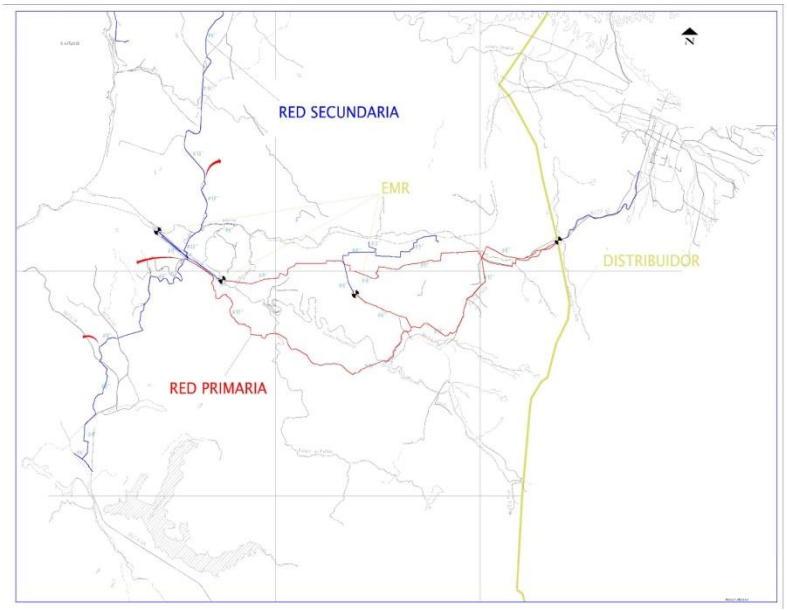
Figura 1-1. Ubicación de empresa GasValpo

1.3. RED DE DISTRIBUCION DE GAS

La red de distribución de gas natural explicado de manera general va de mayor a menor presión, lo que significa que mientras la red esté más cerca de la alimentación el material y el diámetro es seleccionado para mayor presión. Esta se divide en tres tipos de redes, una es la red primaria que como lo dice su nombre es la primera red que viene desde la alimentación, por lo tanto, es la de mayor diámetro y de acero. Esta toma el gas desde el distribuidor a través de estaciones llamadas City Gates (CSG) y las distribuye hacia la red primaria.

Posteriormente viene la red secundaria, esta es la que sigue la red primaria que a través de estaciones de medición y regulación (EMR) disminuye la presión con la que viene la red primaria, esta red también es de acero pero de menor diámetro. La ultima red de distribución es la red terciaria de distribución de gas natural, esta al igual que la red secundaria disminuyen la presión a través de estaciones de medición y regulación (EMR) para distribuir gas a clientes residenciales e industriales, en esta red cambia el material ya que la presión es mucho menor, provocándose una transición de acero a polietileno (PE).

Los sistemas de protección catódica solo aplican a materiales que al estar sumergidos en el electrolito se produzca corrosión, por lo tanto, estos solo aplican para la red primaria y red secundaria de distribución de gas natural.



Fuente: Geoogle

Figura 1-2. Referencial de distribución de gas natural

Para determinar los espesores mínimos para las solicitaciones mecánicas de las cañerías, se encuentran en el "Decreto 280" entregado por el ministerio de economía, fomento y reconstrucción en el año 2009, este mismo estipula en el "Artículo 12°" que en el ámbito de diseño, construcción, instalación, revisión y ensayos de redes de transporte y/o distribución de gas de red a presiones mayores de 10 [bar], se aplicara el código ANSI/ASME B31.8. De los estados unidos de américa.

1.3.1. Red primaria de distribución de gas natural

La red primaria o de alta presión de distribución de gas natural como se explica anteriormente toma el gas natural entregada por el distribuidor, esta viene a una presión de 58 [bar] y es disminuida a 28 [bar], desde este punto las redes son "ACTIVOS" de la empresa por lo tanto están adheridas a los sistemas de protección catódica, los diámetros se encuentran en el umbral de las 10" a 8"

pulgadas. El material es de hierro dúctil de 11.1 [mm] de espesor, estipulado por el "Decreto 280".

Fuente: Fotografía en terreno

Figura 1-3. Red de acero de 10"

1.3.2. Red secundaria de distribución de gas natural

La red secundaria o de media presión de distribución de gas natural viene posteriormente de la red primaria que para disminuir la presión con la que viene de la red primaria, para por estaciones de medición y regulación (EMR), así la presión disminuye desde los 28 [bar] a 10 [bar], don los diámetros varían entre las 8" a 3" con espesor mínimo de 9.5 [mm] y de hierro dúctil.

1.4. TIPOS DE FALLAS EN RED DE ACERO

Al tener redes de gas natural sumergidas se presentan ciertos tipos de fallas que pueden poner en riesgo la vida útil de la red de distribución, para este caso existen riesgo naturales, como bajas o altas temperaturas, movimientos telúricos, la corrosión y los riesgos humanos como incidentes provocados por excavaciones sin coordinar. Estos riesgos están cubiertos con el SGIR (sistema de gestión de integridad de redes) dispuesto por la empresa distribuidora que por el "Decreto 280" debe implementarse como área dentro de la empresa. Pero

lo que compete a la propuesta, el mayor riesgo que presentan las tuberías sumergidas es la corrosión, por lo tanto, es muy importante conocer los tipos de fallas asociados a la corrosión en la red primaria y secundaria.

1.4.1. ¿Que se entiende por corrosión?

Según NACE International define la corrosión como el deterioro de un material, generalmente un metal, resultante de la reacción con el medio. Este deterioro puede provocar pérdidas tanto directas como indirectas.

1.4.1.1. Pérdidas directas

Puede provocar reparaciones o reemplazo de los activos que estén propensos a la corrosión como también el uso de materiales más resistentes a la corrosión y el sobredimensionamiento de piezas en previsión de la perdida de espesor, para el caso de la red primaria y secundaria una perdida directa seria el cambio de algún tramo de la red de acero por posible fuga y/o refuerzo de la red de acero.

1.4.1.2. Perdidas indirectas

Derivadas a los fallos provocados por la corrosión a la falta de producción por paradas no planificadas o la responsabilidad por daños y/o accidentes. Este punto es el más importante ya que cualquier daño provocado a la red primaria o secundaria debido a la alta presión con la que se trabaja podría provocar un daño tanto a la comunidad como al medio ambiente y corte de suministro para la región entera, lo que provocaría gastos por compensación a los clientes afectado

1.4.2. Oxidación y reducción

Para entender el por qué se produce la corrosión se debe conocer el proceso químico que provoca la interacción del acero con el ambiente. La información que se entrega esta en base al curso manual entregado por la NACE (CP1).

1.4.2.1. Electroquímica básica

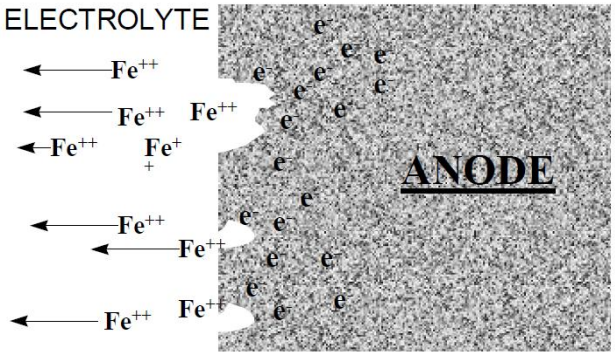
La electroquímica es la rama de la química que estudia la transferencia de cargas eléctricas en las reacciones químicas. Estas reacciones son reacciones electroquímicas. Una parte de la electroquímica estudia las reacciones en semiconductores. Como transistores y diodos. La corrosión y la protección catódica pertenecen a la rama de la electroquímica que se ocupa de la transferencia de cargas en medios líquidos o acuosos.

1.4.2.2. Oxidación

Según NACE curso manual CP1, Se llama oxidación a la perdida de uno o más electrones en un átomo o una molécula, que pasa a ser un ion positivo. Toda vez que un átomo o una molécula ceden electrones, ocurre una reacción de oxidación. El átomo o molécula reducen su carga negativa.

Como ejemplo si en un átomo neutro de hierro (Fe) se oxida puede perder dos o más electrones, produciendo iones de hierro con carga positiva como se muestra en la figura.

$$Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^{-}$$
$$Fe \rightarrow Fe^{+++} + 3e^{-}$$



Fuente: NACE capítulo 1 y 2

Figura 1-4 Proceso de oxidación según NACE Cp1 capítulo 2

El electrodo o el sitio sobre el metal donde se verifica la oxidación, se llama ánodo. Como nota el término oxidación no está relacionado con el oxígeno.

1.4.1.2. Reducción

Se llama reducción a la ganancia de uno o más electrones por parte de un átomo o molécula, que pasa a ser un ion con carga negativa o un elemento neutro. Toda vez que un átomo o molécula gane electrones, ocurre una reacción de reducción. El átomo o molécula aumenta su carga negativa.

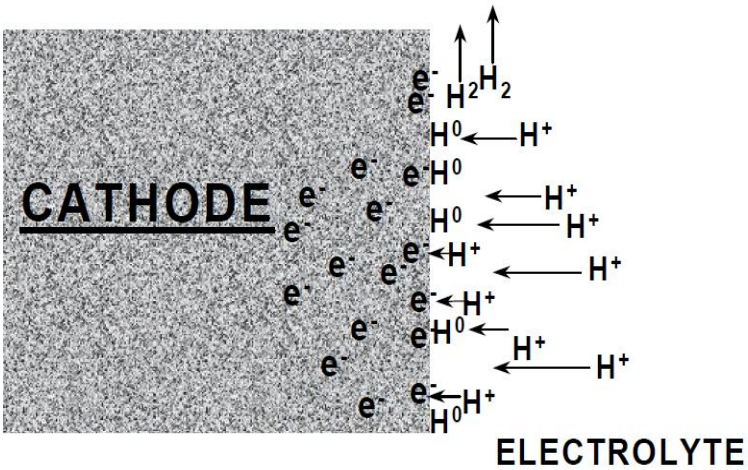
Por ejemplo, cuando se reduce un ion hidrogeno [H+], gana un electrón, produciendo un átomo de hidrogeno neutro.

$$H^+ + e^- \rightarrow H$$

Fuente: NACE capítulo 1 y 2

Figura 1-5. Hidrogeno neutro por reducción según NACE Cp1 capítulo 2

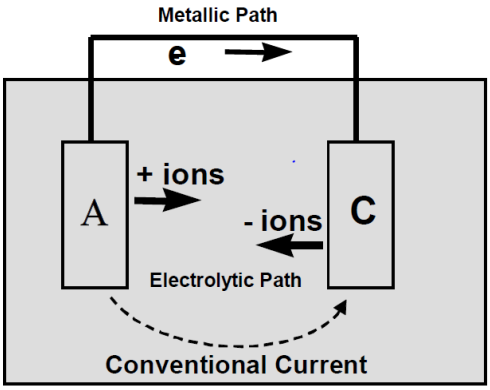
El electrodo o el sitio sobre el metal donde se verifica la reducción se llama cátodo.



Fuente: NACE capítulo 1 y 2

Figura 1-6. Proceso catódico (reacción parcial) según NACE Cp1 capítulo 2

En esta imagen se mostrara un circuito electroquímico para demostrar cómo se presenta una celda de corrosión electroquímica básica. Todas las partes que constituyen dicha celda son analizadas en esta imagen.



Fuente: NACE capítulo 1 y 2

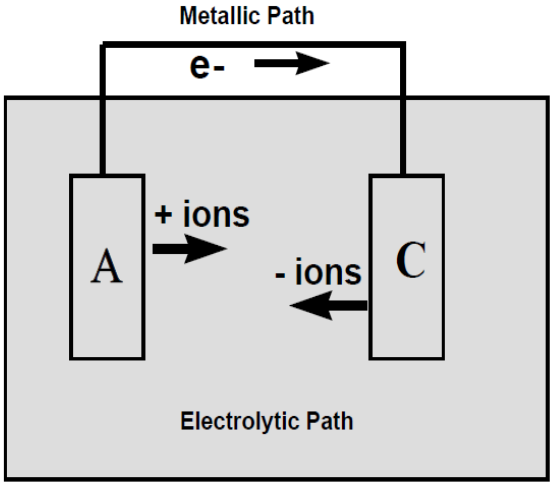
Figura 1-7. Pila de corrosión básica-circuito electroquímico según NACE Cp1 capítulo 2

1.4.1.3. Electrolito

El electrolito es la solución que contiene los compuestos químicos disueltos, que se disocian para formar iones.

1.4.1.4. Celda de corrosión

La corrosión es un proceso electroquímico relacionado con el flujo de electrones y iones. La pérdida de metal (corrosión) ocurre en el ánodo. En el cátodo no se pierde metal (el cátodo está protegido). La corrosión electroquímica se relaciona con la transferencia de electrones a través de las interfaces metal/electrolito. La corrosión tiene lugar dentro de una celda (o pila) de corrosión, que consiste en cuatro partes, como se ilustrara en la siguiente figura.



Fuente: NACE capítulo 1 y 2

Figura 1-8. Celda de corrosión básica según NACE Cp1 capítulo 2.

1.4.3. Tipos de corrosión

La corrosión como proceso electroquímico ocurre de la misma forma, pero existen distintos tipos de corrosión, que se diferencian con la forma que se representa el daño en distintos componentes. La información entregada en esta sección fue de parte de profesor guía Luis Gutiérrez Meneses ingeniero metalúrgico.

1.4.3.1. Corrosión general o uniforme

Este tipo de corrosión corresponde a un ataque parejo en toda la superficie, que produce una pérdida gradual y uniforme de metal a una velocidad medible un constante, cabe señalar que este tipo de corrosión es más fácil de solucionar y detectar y de reparar ya que al estar presente solo en la superficie se sabe el alcance y se puede repara y controlar de manera más oportuna.

Fuente: Fotografía en terreno

Figura 1-9. Referencia de corrosión uniforme

Una velocidad de corrosión, expresada como un adelgazamiento de la pieza, de 0.1 [mm] por año es considerada aceptable. Usualmente la velocidad de corrosión uniforme se duplica cada 10°c de aumento en la temperatura. Los métodos de control de corrosión general o uniforme son mediante.

- Coberturas protectoras
- Inhibidores
- Protección catódica

1.4.3.2. Corrosión localizada

Este tipo de corrosión es en donde la perdida de metal ocurre en áreas discretas o localizadas, esta no permite hacer predicciones, su velocidad es impredecible y mucho mayor a la corrosión uniforme. Esta es la más dañina.

1.4.3.3. Corrosión por esfuerzo

Producida por los esfuerzos externos a la que se es sometido el material, también puede ser causada por esfuerzos internos, producidos por remaches y pernos. La falla se presenta como resultado de la corrosión de esfuerzos aplicados

Una vez que aparece este tipo de corrosión las únicas formas de prevenirlas es bajando los esfuerzos sobre el material, controlando las condiciones ambientales o aplicar una protección catódica.

Fuente: Datos de la clase del profesor

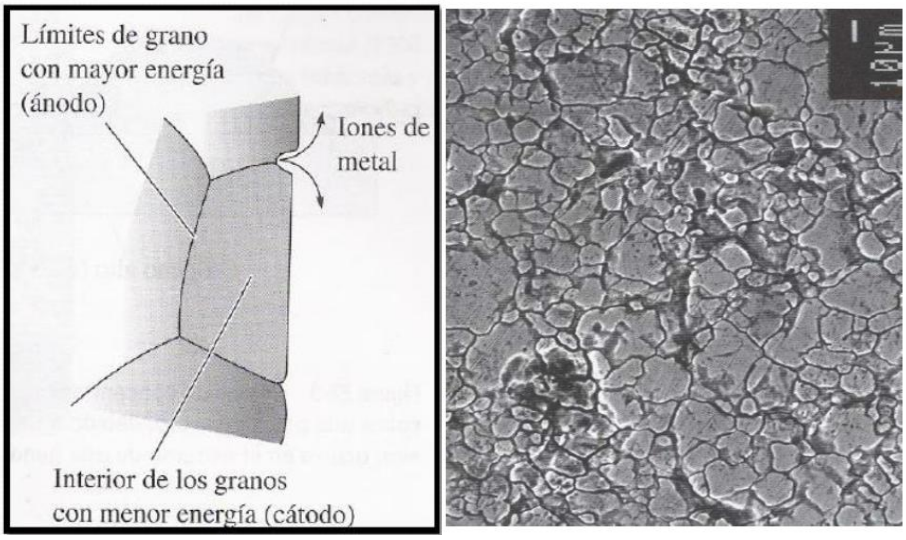
Figura 1-10. Corrosion por esfuerzo en un clavo

Cabe señalar que existen dentro de este mismo tipo de corrosión otro subtitpo como las corrosión por esfuerzo SCC, (stress corrosion cracking).

1.4.3.4. Corrosión intragranular

Las regiones con un tamaño más fino de grano, y que por lo tanto, con una densidad más elevada de límites de grano resultan anódicas en relación con las regiones de grano gruesos del mismo material.

Dado que los límites de grano tienen una gran energía, son anódicos y se corroen.

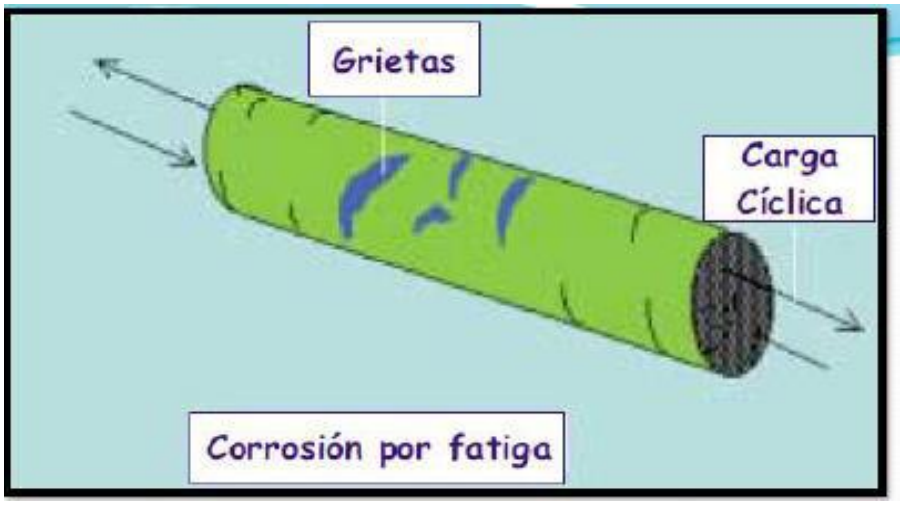


Fuente: Datos de la clase del profesor

Figura 1-11. Proceso de oxidación en Corrosión intragranular

1.4.3.5. Corrosión por fatiga

Perdida de la capacidad de metal para resistir los esfuerzos, rompe la película de óxido produciendo una mayor exposición. Estas fallas se inician o aceleran cuando ocurre la corrosión, este efecto conjunto conduce normalmente a la rotura de las capas pasivas que favorecen la formación y el desarrollo de las grietas.



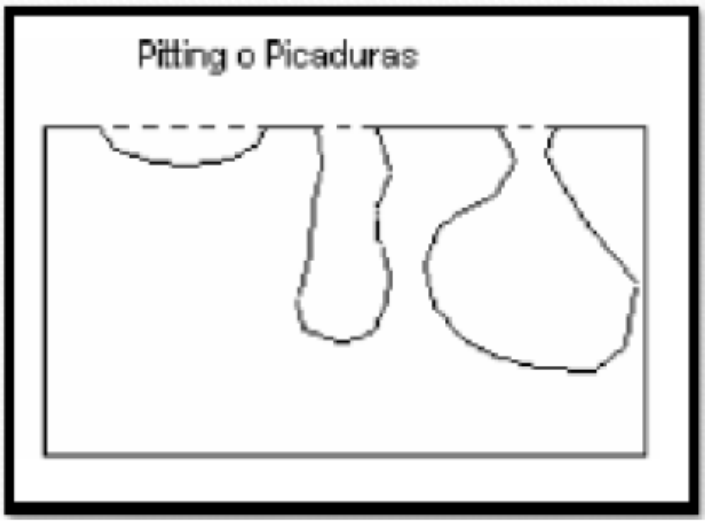
Fuente: Datos de la clase del profesor

Figura 1-12. Ejemplo de corrosión por fatiga

Este tipo de corrosión se puede evitar no generando cambios bruscos de temperatura o de cargas, o presencia de tenciones cíclicas, seleccionar bien el diseño de los elementos críticos y eliminar vibraciones

1.4.3.6. Corrosión por picadura

Se producen agujeros por agentes químicos, se puede encontrar en la superficie de metal y se presenta como túneles pequeños y a escala microscópica.



Fuente: Datos de la clase del profesor

Figura 1-13. Representación de corrosión por picadura

La corrosión ocurre por debajo de una gota de agua sobre una placa de acero, debido a una baja concentración de oxígeno en el agua.

Las picaduras:

- Son huecos que suelen ser de tamaño pequeño y aparecen pegados unos a los otros dando la impresión de poros.
- Causa que equipos fallen pues con poca perdida de material producen perforaciones.
- Cuando los metales están expuestos a fluidos que se mueven a velocidades elevadas sufre del tipo picadura llamada erosión –corrosión.

Fuente: Fotografía propia del alumno

Figura 1-14. Tubería con presencia de corrosión por picadura

Este tipo de corrosión es la que se quiere evitar en la empresa distribuidora ya que como se explicó anteriormente las tuberías al transportar fluidos alta presión se pueden producir corrosión por picadura esto podría provocar eventualmente que la picadura pasara el espesor de la red de acero provocando una fuga de 28 [bar], esto no ocurre debido a los métodos de protección contra la corrosión como lo es la protección catódica (PC) y los recubrimientos que se tiene para la red primaria y secundaria de transporte de gas.

Según una inspección de parte de la empresa distribuidora que se hizo a un tramo de la red primaria, indica que al verificar la existencia de corrosión interna, esta no se encontraba, la conclusión del por qué es debido a los métodos efectivos de protección catódica, recubrimientos y las características del gas natural (GN), ya que este es extremadamente seco, esto ocurre debido a la serie de procesos de filtrado y sabiendo que para el transporte se realiza en un barco en fase liquida llevando el gas natural en fase liquida (GNL), bajándole la temperatura de -160°C, para el cambio de estado (gaseoso a liquido) no se aprecia trazas de humedad. Este cambio de estado es realizado por una planta de regasificación. Por lo tanto, los recursos de protección ante la corrosión deben estar enfocados en la corrosión externa, ya que al momento de tener contacto con el medio y más aún en el electrolito (tierra) el proceso de corrosión se acelera poniendo en riesgo la vida útil de la red de acero. Debido a esto se debe tener un registro constante si los métodos de protección ante la corrosión

externa son eficientes, y es en este punto donde la instalación de cupones de corrosión es vital para certificar estos registros.

CAPÍTULO 2: ASPECTOS TÉCNICOS DEL PROYECTO

2. ASPECTOS TÉCNICOS DEL PROYECTO

En este capítulo se dará a conocer las directrices entregadas por las normativas nacionales e internacionales con respecto a la corrosión y a los métodos de protección contra esta misma, con la finalidad de asegurar la vida útil de los activos de la empresa distribuidora y la seguridad de la población.

2.1. ¿QUE ES LA SEC?

La superintendencia de electricidad y combustible (SEC), es la principal agencia pública responsable de supervigilar el mercado de la distribución y comercialización de energía. Esta nace el 14 de diciembre del año 1904 bajo el mandato del presidente German Riesco.

2.1.1. Valor publico

Movilizar los mercados energéticos hacia estándares más altos, a través del mejoramiento de la normativa y su fiscalización.

2.1.2. Alcance de norma SEC decreto N°739 para protección catódica

Este decreto establece los reglamentos de seguridad para la distribución y expendio de gas. Este se aplica a personas naturales y jurídicas que distribuyan gas, las cuales deben precaver todo hecho que cause o pueda causar daño a las personas o a los bienes debiendo en todo caso cumplir las normas mínimas de seguridad que se establecen en este reglamento.

2.1.3. Artículo 67 controles de corrosión externa de nuevas instalaciones

Para todas las instalaciones de tuberías de acero enterradas o sumergidas deberán protegerse externamente con un recubrimiento adecuado, dúctil, adherente al metal y de resistencia suficiente para soportar el manejo e instalación de la tubería. El tipo de recubrimiento se seleccionara considerando el

grado de protección que se deba proporcionar y las condiciones del terreno circundante.

"En los casos que sea necesario, las tuberías deberán protegerse adicionalmente con un sistema de protección catódica."

2.1.4. Artículo 70 controles de corrosión externa de nuevas instalaciones

La empresa que opera la red de distribución deberá llevar registros de las tuberías protegidas catódicamente, de las instalaciones de las instalaciones de protección catódica, de las pruebas o ensayos, de los estudios efectuados, de los resultados de las inspecciones, de las fugas y de toda la información necesaria para evaluar la eficiencia de las medidas de control de la corrosión, estos registros deberán mantenerse y conservarse por el tiempo que la tubería permanezca en servicio.

2.2. ¿QUÉ ES LA NACE?

"NACE" (Asociación Nacional de ingenieros de corrosión), es la autoridad global de la corrosión, fue establecida en 1943 por once ingenieros de corrosión en la industria de la tubería para transporte de hidrocarburos como la "Asociación de ingenieros de corrosión".

Hoy NACE atiende a más de 36.000 miembros en más de 140 países y es reconocida mundialmente como la autoridad premier de soluciones para el control de corrosión. La organización ofrece entrenamiento técnico y programas de certificación, conferencias, estándares de la industria, reportes, publicaciones, diarios técnicos, relaciones gubernamentales, y más.

2.2.1 Membresía

La membresía de NACE internacional incluye como miembros a ingenieros, inspectores, técnicos, científicos, dueños de empresas, directores ejecutivos, investigadores, maestros, estudiantes y más. La membresía global abarca casi todas las principales industrias incluyendo:

- Aeroespacial
- Química

- Servicios sanitarios
- Agua industrial y potable
- Transportación
- Militar
- Eléctrica (incluyendo equipos y componentes electrónicos)
- Gas (aplicación directa para este proyecto, gas natural)
- Infraestructura
- Marina

2.2.2. Secciones y áreas

NACE Internacional está organizada en cuatro áreas en norte américa y cuatro áreas globales, NACE tiene 142 secciones, incluyendo 33 secciones estudiantiles mundialmente que patrocinan programas locales para promover el intercambio de información y educación sobre la corrosión.

2.3. CONTROL DE LA CORROSIÓN EXTERNA EN SISTEMAS DE TUBERÍAS METÁLICAS ENTERRADAS O SUMERGIDAS SEGÚN "NACE SP0169-2013"

En esta norma, se presentan métodos y prácticas para lograr un control eficaz de la corrosión externa en sistemas de tuberías metálicas enterradas o sumergidas. Estos métodos y prácticas también se aplican a muchas otras estructuras metálicas enterradas o sumergidas.

2.3.1. Control de corrosión externa sección 4 "NACE SP0169-2013"

El control de corrosión externa debe ser una consideración principal durante el diseño de un sistema de tuberías. La selección de materiales y recubrimientos son métodos primarios de control de la corrosión externa, puesto que los recubrimientos perfectos "NO EXISTEN O NO SON FACTIBLES", se debe "UTILIZAR PROTECCIÓN CATÓDICA (PC)" juntos con estos para obtener una protección anticorrosiva extendida.

2.4. SISTEMAS DE PROTECCIÓN ANTE LA CORROSIÓN

Las normas tanto internacional como nacional que supervigilan a la empresa distribuidora de gas natural, lo que tienen en común con respecto al control de la corrosión son la existencia de recubrimiento adecuado y la necesidad de protección catódica, pero la diferencia entre estas es que, la NACE asegura que la protección con recubrimiento externo no es suficiente ya que estos no son "PERFECTOS", por lo tanto, debe tener protección catódica para asegurar la vida útil de la tubería (sección 4 "NACE SP0169-2013"), en cambio, la SEC establece que en los casos que sea necesario las tuberías deberán protegerse adicionalmente con sistema de protección catódica (Artículo 67, decreto N°739), con esto se deduce que la empresa maneja ambos tipos de control de corrosión. Se mostrara con respecto a la norma NACE SP0169-2013" y de "NACE Cp1 curso manual" los tipos de protección ante la corrosión.

2.4.1. Recubrimientos externos sección 5 "NACE SP0169-2013"

Las funciones de los recubrimientos externos son controlar la corrosión mediante aislamiento de la superficie externa de la tubería enterrada o sumergida del ambiente, reducir los requerimientos de corriente de PC y mejorar la distribución de corriente.

2.4.1.1. Sistemas de protección contra daños mecánicos

Se pueden instalar sistemas de protección contra daños mecánicos como las mantas anti roca, una segunda mano de pintura resistente a la abrasión, etc., Si así se requieren las especificaciones del propietario y estos se deben diseñar para eliminar o minimizar los daños al tubo y su recubrimiento sin inhibir los requisitos de PC o interferir en estos.

Se deben tener ciertas consideraciones para determinar si tener recubrimiento contra el daño mecánico sería beneficioso o necesario:

- Tipo de estratificación o relleno
- Método de instalación: perforación direccional horizontal, sumergimiento, etc.

2.4.1.2. Consideraciones para seleccionar un sistema de protección contra el daño mecánico

- Deben ser no tóxicos para el ambiente, no degradables y no deben liberar sustancias químicas toxicas o gases.
- No deben degradarse durante el almacenamiento, la manipulación o la instalación.
- Deben ser química y físicamente compatibles con el recubrimiento del tubo.
- Deben ser resistentes a la degradación causada por electrolitos ácidos o cáusticos.
- Deben conservar las características físicas cuando se instalan y durante la vida útil prevista por el tubo.

Se darán a conocer tablas para sistemas de recubrimiento genérico para tuberías de acero al carbono con requisitos de materiales y prácticas recomendadas para la aplicación para "TUBOS ENTERRADOS Y SUMERGIDOS" (aplicación de campo o en taller).

Tabla 2-1. Sistema de recubrimiento externo 1 - Sección 5 "NACE SP0169-2013"

Sistema de Recubrimientos Externos Genéricos	Referencia
Esmalte de asfalto o alquitrán de hulla y concreto (hormigón)	DNV-RP-F102[15] Estándar NACE RP0602[16] DNV-RP-F106[17] Estándar NACE RP0399[18]
Esmalte de alquitrán de hulla	ANSI/AWWA C 203[19] Estándar NACE RP0602 Boletín NAPCA 13-79-94[20] Estándar NACE RP0399
Cinta de aplicación en frío y en caliente	ANSI/AWWA C 214[21] ANSI/AWWA C 209[22] Boletín NAPCA 15-83-94[23] NACE SP0109[24]
Concreto (hormigón)	ISO 21809-5[25]
Materiales elastoméricos (policloropreno o equivalente)	DNV-RP-F102 DNV-RP-F106
Recubrimientos de aplicación en campo para la reparación y la rehabilitación	DNV-RP-F102 Estándar NACE RP0602 NACE SP0109
Recubrimientos de juntas de campo	ISO 21809-3 AWWA C 216[26] AWWA C209 DIN 30672[27] Estándar NACE RP0402[28] NACE SP0109 Estándar NACE RP0303[29]
Recubrimientos de epoxi adherido por fusión	ANSI/AWWA C 213[30] API RP 5L9[31] CSA Z245.20[32] DNV-RP-F106 Estándar NACE RP0394[33] Estándar NACE RP0402 Boletín NAPCA 12-78-04[34] Boletín NAPCA 17-98[35] ISO 21809-2

Fuente: NACE-SPO 169-2013

Tabla 2-2. Sistema de recubrimiento externo 2 - Sección 5 "NACE SP0169-2013"

Epoxi adherido por fusión y concreto (hormigón)	DNV-RP-F106, utilizado en conjunto con DNV-OS-F101[36]
Epoxi líquido	ANSI/AWWA C 210[37] Estándar NACE RP0105[38] CSA Z245.20
Recubrimiento de mástique	SSPC Paint 33[39]
Polietileno epoxi multicapa	CSA Z245.21[40] NF A49-710[41] DIN 30670
Multicapa (incluido el imprimante FBE) Polietileno (PE) y polipropileno (PP) Anticorrosión	CSA Z245.21 DNV RP-F102 DNV RP-F106 DIN 30670
Recubrimientos de poliolefina	NACE SP0185[42] DIN 30670 ANSI/AWWA C 215[43] ANSI/AWWA C 216 ANSI/AWWA C 225[44] DNV-RP-F102 DNV-RP-F106 Boletín NAPCA 14-83-94[45] ISO 21809-4
Poliuretano	ANSI/AWWA C 222[46] CSA Z245.20 Trabajo en curso por parte de TG 281[47]
Películas prefabricadas	ANSI/AWWA C 214 ANSI/AWWA C 216 ANSI/AWWA C 209
Cera	Estándar NACE RP0375[48] AWWA C 217[49]

Fuente: NACE-SPO 169-2013

Se dará a conocer tabla para sistemas de recubrimientos externo genérico para tubos de hierro dúctil con requisitos de materiales y prácticas recomendadas para la aplicación.

Tabla 2-3. Sistema de recubrimiento externo 3 - Sección 5 "NACE SP0169-2013"

Sistema de Recubrimientos Externos Genéricos	**Referencia**
Cinta adhesiva	BS EN 545[50] DIN 30672
Polietileno extruido	BS EN 545 BS EN 14628[51]
Recubrimiento de mortero de cemento reforzado	BS EN 545 DIN 15542[52]
Recubrimiento de juntas de campo	BS EN 545
Recubrimiento de mástique	SSPC Paint 33
Recubrimiento de poliuretano	BS EN 545
Mangas de polietileno (como complemento para el recubrimiento de zinc con capa de acabado)	BS EN 545
Cera	Estándar NACE RP0375
Zinc: todas las variaciones, incluidas la pintura rica en zinc y la aleación de aluminio y zinc con capa de acabado	BS EN 545 DIN 30674-3[53] ISO 8179-1[54] ISO 8179-2

Fuente: NACE-SPO 169-2013

2.4.1.3. Instalación sección 5 “NACE SP0169-2013”

Las juntas, los accesorios y los enlaces deben recubrirse con materiales compatibles con los recubrimientos existentes. Se deben reparar las imperfecciones de recubrimiento identificados durante la prueba y la inspección, y se debe inspeccionar la reparación del recubrimiento.

El fondo de la zanja se debería nivelar y debe estar libre de roca y otros materiales foráneos que puedan dañar el recubrimiento externo o causar apantallamiento eléctrico. En condiciones difíciles se deberá tener en cuenta la importación del material de estratificación selecto, el acolcha miento del tubo o del fondo de la zanja, o el uso de un sistema de protección contra daños mecánicos. Las características deseables de los recubrimientos externos incluyen lo siguiente:

- Aislante eléctrico eficaz
- Barrera antihumedad eficaz
- Aplicación a la tubería mediante un método que no afecte negativamente las propiedades del tubo
- Aplicación al tubo con una cantidad mínima de imperfecciones
- Buena adhesión a la superficie del tubo
- Resistencia al daño durante la manipulación, el almacenamiento y la instalación
- Compatible con protección catódica

Existen factores típicos que se deben considerar para la selección de recubrimiento externo, según las características del medio como:

- Tipo de ambiente y expectativa de vida útil del diseño
- Accesibilidad del sistema de tuberías
- Temperatura del sistema de tuberías
- Ubicación geográfica y física
- Tipo de recubrimiento externo de un tubo existente del sistema
- Métodos de instalación de la tubería
- Posibles esfuerzos del suelo, incluido ciclos térmicos
- Con las tuberías enterradas, sensibilidad al daño mecánico por el impacto de escombros.

Cabe señalar que los recubrimientos pueden reformularse periódicamente, pero esto podría no declararse y los recubrimientos revisados

pueden conservar el mismo nombre. Las pruebas de laboratorio frecuentes por lotes pueden ser beneficiosas para evaluar la calidad de los recubrimientos y detectar los efectos de cualquier reformulación.

2.4.1.4. Recubrimiento externo en red primaria y secundaria

Visto lo anterior con respecto al requerimiento de la norma, la empresa distribuidora estimó en su diseño de tuberías la necesidad de recubrimiento externo contra el daño mecánico y de corrosión, que fueron las mantas o cintas termo-contraíbles ya que es de uso ideal para juntas soldadas y/o accesorios como es el caso de las redes de distribución de gas natural tanto en la red primaria como secundaria.

Estas láminas son de polielefina con estructura molecular reticular y memoria elástica laminada sobre un adhesivo de alto nivel anticorrosivo.

Fuente: Fotografía en terreno

Figura 2-1. Instalación de manta termo-contraíbles en tubería de acero

Lo que compete a la revisión periódica del revestimiento, por protocolo de la empresa distribuidora en caso de excavación donde quede la red a la vista, se debe hacer una inspección visual con personal calificado. En caso de encontrar daño en el revestimiento se debe realizar la reparación de este, y el recubrimiento usado para la reparación es el "Hándicap" o parche de mano que es del mismo material que la cinta termo-contraíble pero con un menor tamaño

que permite reparar el recubrimiento de manera eficiente sin afectar el diseño existente de este.

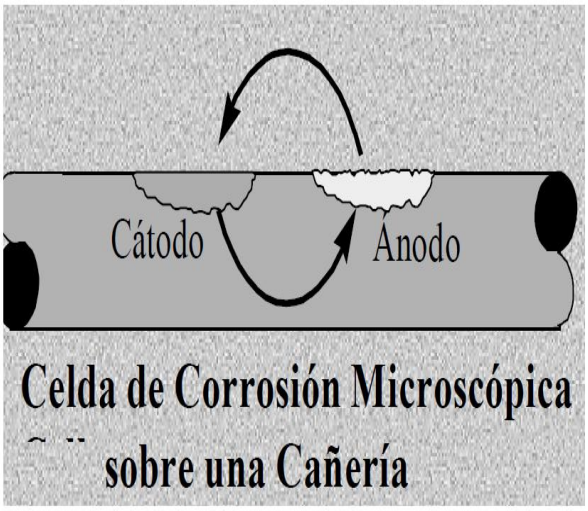
Fuente: Fotografías en terreno

Figura 2-2. Reparación de defecto en recubrimiento en red a la vista con hándicap

En la imagen anterior se aprecia la reparación del recubrimiento externo con hándicap, esto ocurre en una inspección diaria donde se informó de excavación con red a la vista. Al llegar al lugar se verifico que la red no tuviera daño externo, al verificar pequeños piquetes en el recubrimiento (daño provocado por caída de roca y/o daño de terceros) se aplicó el método de reparación con hándicap.

2.4.2. La teoría de protección catódica según "NACE Cp1 curso manual"

Sobre una superficie que se corroe, existen cientos de pilas de corrosión locales, o microscópicas. La figura 2-3 muestra una de estas pilas sobre la superficie de una cañería. Existe una diferencia de potencial entre los ánodos y cátodos de estas celdas; esta diferencia es la que produce la corriente de corrosión

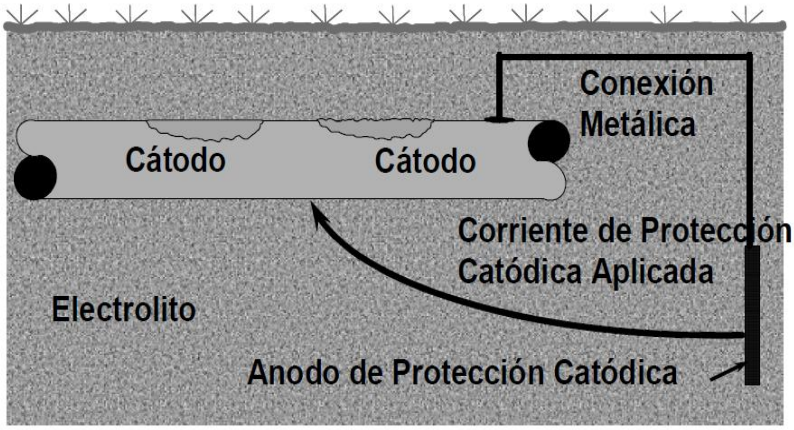


Fuente: NACE 169-2013 capítulo 1 curso manual

Figura 2-3. Celda de corrosión microscópica catódica según "NACE Cp1 curso manual"

En teoría la protección catódica implica reducir a cero la diferencia de potencial entre ánodos y cátodos localizados sobre una superficie metálica, reduciendo a cero la corriente de corrosión. Esto se puede lograr generando una corriente que ingrese a la estructura desde un ánodo externo, polarizando los sitios catódicos en dirección electronegativa. A medida que los potenciales de las zonas catódicas se polarizan acercándose a los de las zonas anódicas, se reduce la corriente de corrosión. Cuando los potenciales de todas las zonas catódicas alcanzan el potencial a circuito abierto de la zona anódica más activa, desaparece la diferencia de potencial entre ánodos y cátodos localizados y se detiene la corrosión.

En realidad la protección catódica no elimina la corrosión. Lo que hace es transferirla de la estructura a proteger, al ánodo (s) de protección catódica. Así, la estructura se convierte en el cátodo de una celda de corrosión artificial. La corrosión del metal se detiene una vez que la corriente de protección catódica iguala o excede la corriente de corrosión. Esto se ilustra en la siguiente figura.



Fuente: NACE 169-2013 capítulo 1 curso manual

Figura 2-4. Protección catódica de una estructura según "NACE Cp1 curso manual"

La corriente de protección catódica abandona el ánodo de protección catódica, ingresa al electrolito y pasa en forma de iones a través del electrolito hasta la superficie metálica. En el punto donde esta corriente abandona el ánodo de protección catódica, tiene lugar una reacción anódica. En el punto donde esta misma corriente ingresa a la superficie protegida, tiene lugar una reacción catódica. Luego la corriente circula hacia la conexión metálica y regresa al ánodo. Ya que estamos hablando de flujo convencional de corriente.

2.4.2.1. Estructuras que pueden protegerse con protección catódica

La mayor parte de las estructuras inmersa en un electrolito puede ser protegida con protección catódica. Algunos ejemplos de estructuras a las que generalmente se aplica protección catódica son:

- Cañerías enterradas o sumergidas de acero, hierro, aluminio y cañerías de hormigón pretensado (PCCP)
- Tanques y cañerías enterradas
- Interiores de tanques de agua
- Cascos de barcos
- Muelles
- Calzada de puentes
- Interiores de almacenamiento de agua caliente.

Existen dos métodos para suministrar protección catódica a una estructura

- Sistemas de ánodos galvánicos
- Sistemas de corriente impresa

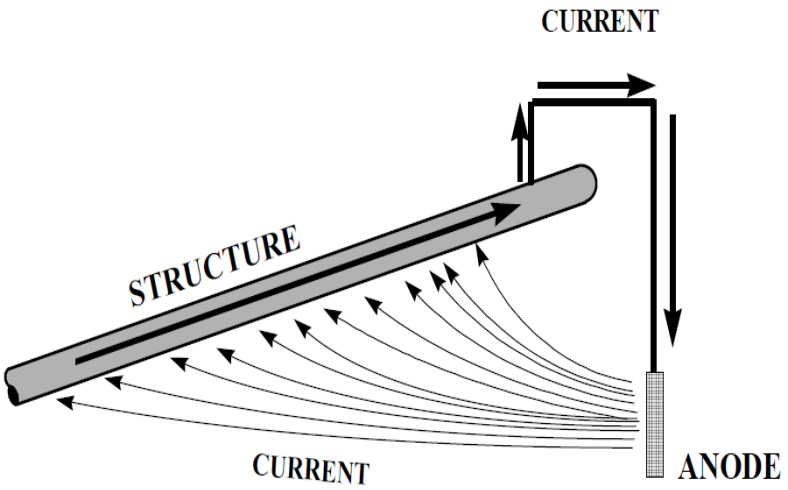
2.4.3. Sistemas de protección catódica

Este enfoque del control de corrosión, utilizando una corriente eléctrica, se limita a los metales expuestos a un electrolito como suelo, agua y concreto. No funciona en la atmosfera.

Frecuentemente, la protección catódica se utiliza junto con otros métodos de control de corrosión, como revestimiento (se vio en el capítulo anterior) y aislación eléctrica.

2.4.3.1. Sistemas de ánodos galvánicos

La protección catódica galvánica (o de sacrificio) hace uso práctico de la corrosión de metales diversos. Es importante recordar que debe existir una diferencia de potencial, o potencial impulsor entre un ánodo galvánico y la estructura a proteger. El ánodo galvánico se conecta a la estructura directamente o a través de una estación de medición, para poder monitorearlo.



Fuente: NACE 169-2013 capítulo 1 curso manual

Figura 2-5. Protección catódica con ánodos galvánicos según "NACE Cp1 curso manual"

Estos metales se utilizan comúnmente como ánodos galvánicos:

- Aluminio
- Magnesio
- Zinc

La aplicación de sistema de ánodos galvánicos, en algunas condiciones en las que se utiliza son:

- Cuando se requiere una corriente relativamente pequeña
- Normalmente restringido a los electrolitos de baja resistividad
- Válvulas enterradas con revestimiento incompleto o malo
- Secciones aisladas donde el revestimiento es dañado
- Para suministrar protección catódica a estructuras cercanas a otras estructuras enterradas, donde se hace difícil instalar un sistema por corriente impresa sin generar un problema de interferencia por corientes vagabundas. Los ánodos galvánicos pueden resultar una opción económica en estas condiciones.

Sus ventajas son:

- No necesita de fuente externa de energía
- Pocos requerimientos de mantenimiento
- Debido a que el drenaje de corriente es bajo, hay poca o ninguna probabilidad de interferencia por corrientes vagabundas
- Fáciles de instalar
- Suministran una distribución de corriente uniforme
- Costos mínimos de derechos de paso

Las limitaciones son:

- Poco drenaje de corriente y potencial de salida bajo
- Por lo general para estructuras mal revestidas se requieren más ánodos
- Pueden ser no efectivos en medios de alta resistividad
- El costo por ampere es más elevado que los sistemas por corriente impresa, debido a la menor eficiencia (auto-consumo)
- Puede resultar difícil o muy costoso reponer ánodos gastados.

La empresa distribuidora ocupa sistema de ánodos galvánico del tipo de magnesio ensacado.

Fuente: Fotografía en terreno

Figura 2-6. Ánodos de magnesio ensacados

Hay dos tipos los pre empaquetados y los desnudos, para este caso se ocupan los pre empaquetados ya que estos son diseñados para el caso que vallan enterrados de los cuales existen dos aleaciones los AZ-53 y los HP, la primera tiene un potencial, en circuito libre, de -1.55 V y la segunda de -1.75 V con respecto a un electrodo de referencia de Cu/CuSo4 (se verá en el siguiente capítulo).

Tabla 2-4. Tabla de características de ánodos de magnesio enancados

Composición química	AZ63 1.55 V	HP 1.75 V
Aluminio (Al)	5.3 - 6.7 %	0.01 % máx
Zinc (Zn)	2.5 - 3.5 %	-
Cobre (Cu)	0.08 %máx	0.02 % máx
Silicio (Si)	0.3 % máx	-
Manganeso (Mn)	0.25 % min	0.5 - 1.3 %
Hierro (Fe)	0.005 % máx	0.03 % máx
Niquel (Ni)	0.003 % máx	0.001 % máx
Plomo (Pb)	0.3 % máx	-
Otras impurezas cada una	0.05 % máx	-
Magnesio (Mg)	Resto	Resto
Capacidad (Amp hr/kg)	1230	1230

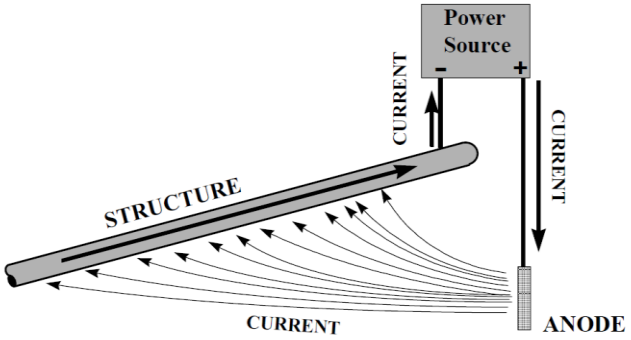
Fuente: NACE 169-2013 capítulo 1 curso manual

Para el caso de las redes de empresa distribuidora se usan de los dos tipos marcados en rojo el AZ63 1.55 V Y HP 1.75V de magnesio [Mn].

La instalación es normalmente a 1 [m] de profundidad en posición horizontal y a 1-1.5 [m] de la estructura a proteger, antes de cubrirlos con tierra natural extraída, primero se rocían con agua para conseguir que se humedezcan y empiece el proceso de inmediato al enterrarlos, la conexión a las tuberías es directamente soldando el cable del ánodo a una teja de acero, este cable que lleva el ánodo lo puede traer si se solicita al proveedor.

2.4.3.2. Sistema de ánodo por corriente impresa

Un sistema por corriente impresa consiste en una fuente externa de energía y ánodos. La fuente externa hace que la corriente circule desde el ánodo hacia la estructura a través del electrolito. Los ánodos que se utilizan en un sistema por corriente impresa generalmente están hechos de un material relativamente inerte.



Fuente: NACE 169-2013 capítulo 1 curso manual

Figura 2-7. Sistema de ánodo de corriente impresa

Algunos de los materiales que se ocupan como ánodos de corriente impresa incluyen:

- Grafito (carbón)
- Hierro con alto contenido de silicio y cromo
- Aluminio
- Magnetita
- Titanio revestido con mixed metal oxide

- Polímero conductor
- Hierro de rezago
- Plomo/plata

La fuente de energía de un sistema de corriente impresa genera corriente continua (DC). Algunas de las fuentes que se usan en sistemas por corriente impresa son:

- Rectificadores
- Paneles solares
- Moto generadores
- Generadores eólicos
- Generadores termoeléctricos

Si hay corriente alterna (AC) disponible a un precio razonable, los rectificadores tienen claras ventajas económicas y operativas sobre las otras posibles fuentes.

Algunas aplicaciones de protección catódica por corriente impresa:

- Para grandes requerimientos de corriente, en especial estructuras desnudas o mal revestidas.
- Paras cualquier resistividad del electrolito
- Para proteger en forma económica estructuras en las que se han gastado los ánodos galvánicos.
- Para superar problemas de interferencia catódica o por corrientes vagabundas
- Para proteger grandes cajas de intercambiadores de calor, calentadores de crudo, y otros recipientes.
- En interiores de tanques de almacenamiento de agua.

Las ventajas de los sistemas por corriente impresa son:

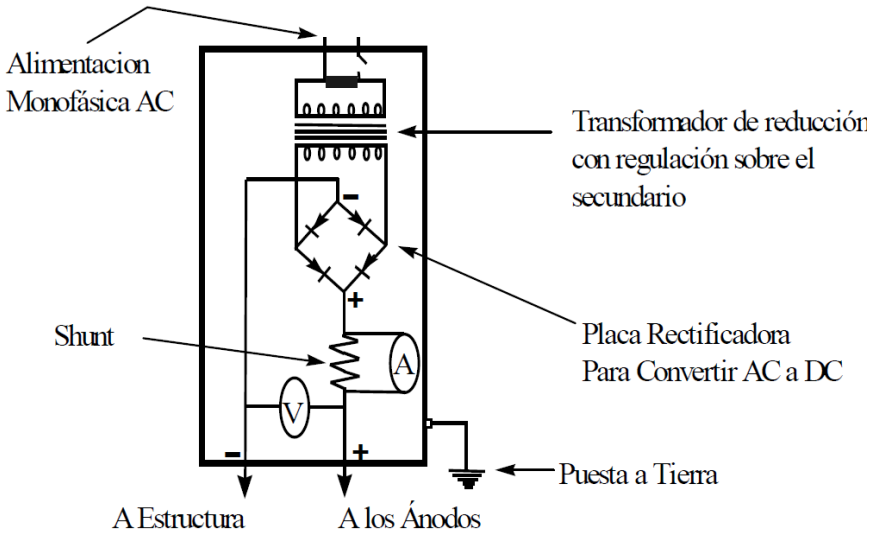
- Flexibles, con la capacidad de operar con un amplio rango de tensiones y corrientes de salida.
- Con una única instalación, satisfacen elevados requerimientos de corriente.
- Efectivos para proteger estructuras desnudas o mal revestidas.
- Efectivos en medios de alta resistividad
- Menor consumo anódico que en los sistemas de ánodos galvánicos

Las limitaciones para los sistemas por corriente impresa son:

- Mayor costo de inspección y mantenimiento que los ánodos galvánicos
- Requieren una fuente externa de energía
- Tienen un costo constante de suministro de energía
- Riesgo de producir interferencia por corrientes vagabundas
- Pueden causar sobreprotección, que resulte en:

1- Daños al revestimiento
2- Fragilización por hidrogeno

A modo de ejemplo se mostrara una imagen representativa de un rectificador que sirve como fuente externa de alimentación para sistema de protección catódica por corriente impresa.



Fuente: NACE 169-2013 capítulo 1 curso manual

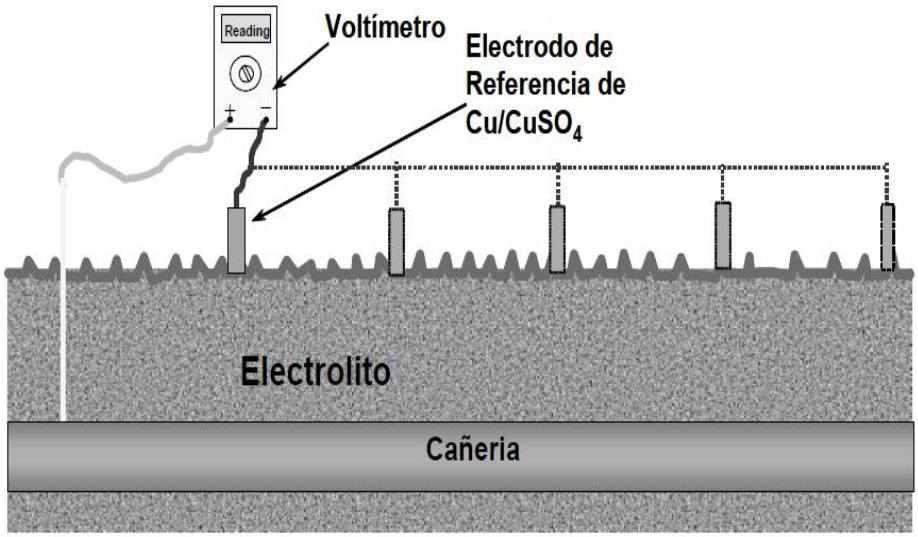
Figura 2-8. Esquema de un rectificador de protección catódica

2.4.4. Relevamiento de potencial paso a paso según "NACE Cp1 curso manual"

Para determinar variaciones en los niveles de protección catódica, puede resultar útil una serie de potenciales estructura-electrolito medidos sobre la parte superior de una cañería. Para determinar si la protección catódica es

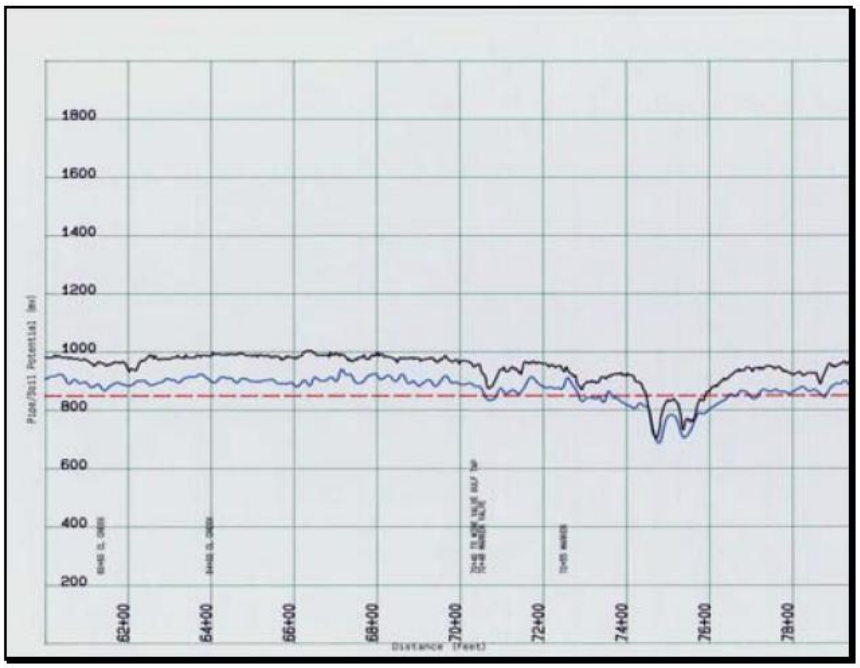
adecuada en todos los puntos a lo largo de una determinada estructura se confecciona un perfil de potenciales, conectando el electrodo de referencia (CSE) al terminal negativo del instrumento. Los potenciales caño suelo se recogen en forma continua. Generalmente esto se realiza utilizando un colector de datos (datalogger) y una bobina de alambre con un equipo que posibilita la medición de distancias. Se utilizan dos electrodos de referencia, en el extremo de bastones cortos, uno en cada mano. El cable se conecta a la estación de medición y el operario camina sobre el caño, haciendo contacto entre los electrodos y el suelo a intervalos cortos. El operario registra accesorios y accidentes a nivel a medida que avanza, para poder luego reconocer a que puntos corresponden las mediciones. Una vez completado el relevamiento, los datos se bajan a una computadora y se imprimen generalmente en gráfico.

El relevamiento se realiza sobre la traza del caño, por lo que se debe asignarse otro operario para localizar y establecer la línea y suministrar asistencia. Al medir varias cañerías unidas entre sí, los datos del relevamiento pueden representar en realidad un promedio de todas las cañerías.



Fuente: NACE 169-2013 capítulo 1 curso manual

Figura 2-9. Medición de potencial caño-suelo

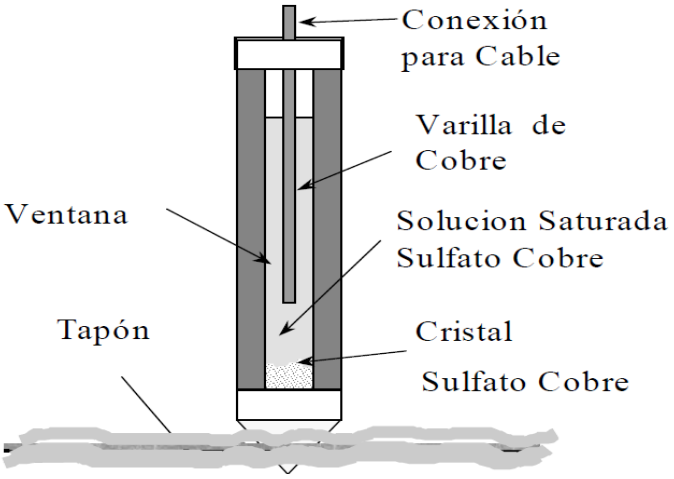


Fuente: NACE 169-2013 capítulo 1 curso manual

Gráfico 2-1. Gráfico entregado por datalogger

2.4.4.1. Electrodo de referencia (CSE) según "NACE Cp1 curso manual"

Los electrodos de referencia de cobre-sulfato de cobre (CSE) son los más usados para medir potenciales de estructuras enterradas y estructuras expuestas a aguas dulces. El electrodo está compuesto de una barra de cobre, inmersa en una solución saturada de sulfato de cobre, dentro de un cilindro no-conductor con un tapón poroso, los iones cobre de la solución saturada evitan que la barra de cobre se corroa y estabiliza el electrodo de referencia. Este electrodo es portátil.



Fuente: NACE 169-2013 capítulo 1 curso manual

Figura 2-10. Electrodo de referencia de cobre-sulfato de cobre en contacto con la tierra según "NACE Cp1 curso manual"

El electrodo de referencia permite poder medir la diferencia de potencial entre la estructura (tubería) y electrolito, con respecto al electrodo de referencia en contacto con el electrolito.

La norma establece una tabla donde muestra electrodos de referencia comunes con sus potenciales y coeficientes de temperaturas.

Tabla 2-5. Tabla electrodos de referencia según NACE SP0169-2013

Referencia Electrodo	Electrolito Solución	Potencial a 25 °C [77 °F] (V/SHE)	Potencial a 25 °C [77 °F] (V/CSE)	Temperatura Coeficiente mV/°C (mV/°F)	Uso Típico
$Cu/CuSO_4$ (CSE)	Sat. $CuSO_4$	+0.316 [76]	0	0.9 (0.5)[76]	suelos, agua dulce
$Ag/AgCl^{(A)}$ (SSC)	0,6 M NaCl (3 ½%)	+0.256 [77]	–0.06	– 0.33 (0.18)[77]	agua salada, salobre[(B)]
$Ag/AgCl^{(C)}$ (SSC)	Sat. KCl	+0.222 [78]	–0.094	– 0.70 (0.39)[78]	---
$Ag/AgCl^{(C)}$ (SSC)	0,1 N KCl	+0.288 [79]	–0.028	– 0.43 (0.24)[79]	---
Sat. Calomelano (SCE)	Sat. KCl	+0.244 [10]	–0.072	– 0.70 (0.39) [10]	agua, laboratorio
Zn (ZRE)	Solución salina Solución	–0.79 ± 0.1[55]	–1.1 ± 0.1[55]	---	agua salada
Zn (ZRE)	Suelo	–0.80 ± 0.1[55]	–1.1 ± 0.1[55]	---	enterrado

[(A)]Unión sólida.
[(B)]El potencial se vuelve más electropositivo con el aumento de la resistencia. Consulte el nomograma para conocer la corrección en aguas con resistividad variable en NACE SP0176,[10] o consulte la referencia 77.
[(C)]Unión líquida.

Fuente: NACE 169-2013 capítulo 1 curso manual

Como se aprecia en la tabla es muy importante mantener a la temperatura adecuada los electrodos de referencia ya que si no es así podría haber una diferencia en las mediciones y estas van a ser más significativas a más temperatura.

Para el caso de la empresa el electrodo de referencia usado es el sulfato de cobre-cobre saturado (CSE).

Fuente: Fotografía en terreno

Figura 2-11. (CSE) Sulfato de cobre-cobre saturado en terreno

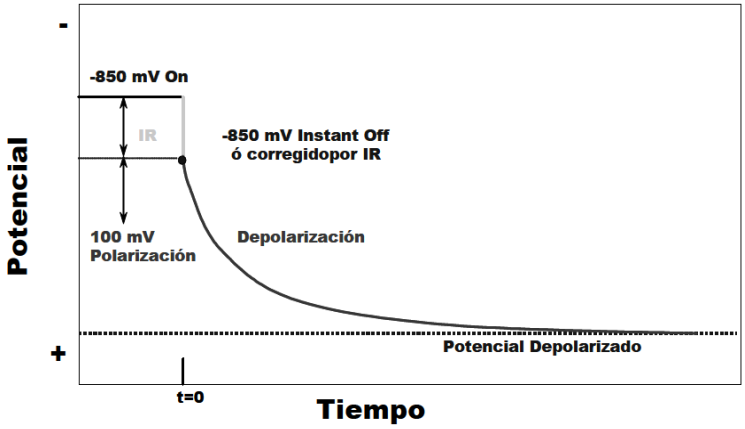
Como ejemplo si se miden -850 [mV] CSE medidos a 37.8°C (100 F) se corregirán a -838 [mV] (11,5 [mV] menos negativo que la lectura), ahora si se miden los mismos -850 [mV] pero a 4.4°C (40°F) se corregirán a -868.5 [mV] (18.5 [mV] más negativo que la lectura real).

2.4.4.2. Criterios y otras consideraciones para la protección catódica sección 6 "NACE SP0169-2013"

En esta sección se enumera los criterios para PC que indican si se logró la PC adecuada de sistema de tubería metálica.

En la sección 6.2.1 establece los criterios para las tuberías de acero y hierro fundido dúctil o gris sumergidas o enterradas.

- Se puede utilizar criterios documentados a través de pruebas empíricas para indicar la eficacia de los controles de corrosión en sistemas de tuberías específicos en esos sistemas o en otros con las mismas características.
- Un mínimo de 100 [mv] de polarización catódica. Se debe medir la formación o pérdida de la polarización para satisfacer este criterio.
- Un potencial estructura electrolito de -850 [mv] o más negativo, medido con respecto a un electrodo de referencia de sulfato de cobre-cobre saturado (CSE). Este potencial puede ser una medición "DIRECTA" de potencial medidor con la corriente aplicada requiere la consideración de las caídas de voltaje significativas a través de la tierra y los conductores metálicos.
- Midiendo o calculado las caídas de voltaje para establecer si se logró un potencial de -850 [mv] o más negativo en la interface estructura-electrolito.
- Se considerara un valor de sobre voltaje a un potencial polarizado más negativo que -1200 [mv] con respecto a un electrodo de referencia (CSE), a menos que los resultados de los ensayos anteriores indiquen que no se produjo corrosión perceptible en el ambiente particular.
- Para certificar la protección ante la corrosión, bastará con solo cumplir solo "UNO" de los criterios estipulados por la NACE.



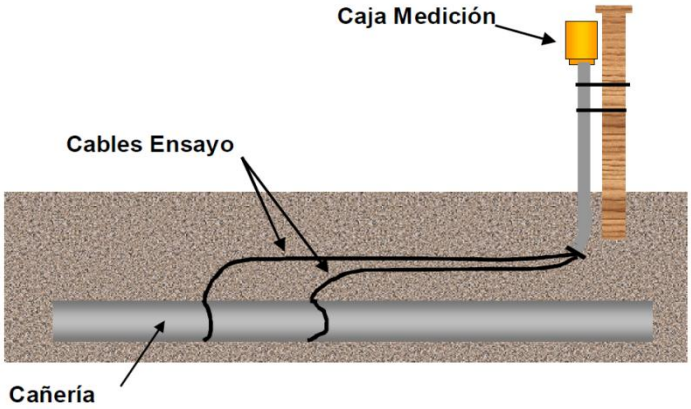
Fuente: NACE 169-2013 capítulo 1 curso manual

Figura 2-12. Potenciales caño-suelo según "NACE Cp1 curso manual"

2.4.4.3. Estaciones de medición de potencial según "NACE Cp1 curso manual"

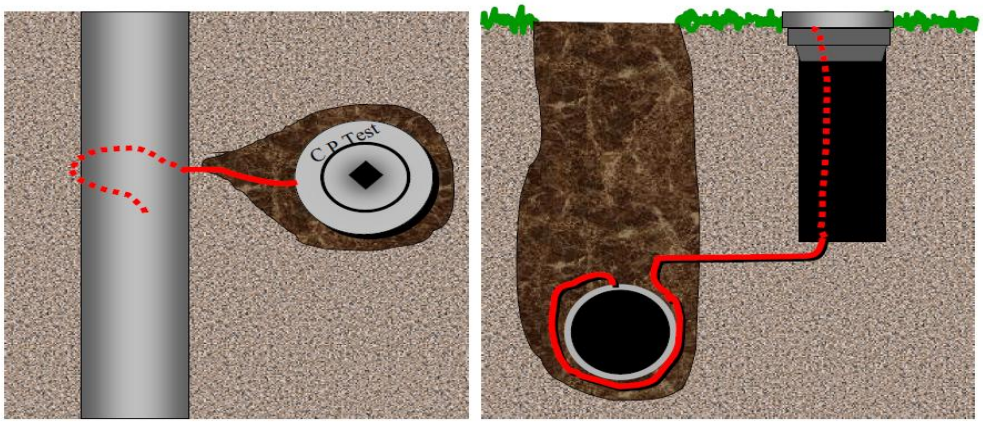
Las estaciones de medición de potencial se usan para monitorear la efectividad de la protección catódica los efectos de corrientes vagabundas y en cañerías sin protección o parcialmente protegidas, para localizar áreas de corrosión activa.

Estas estaciones constan generalmente de dos cables aislados No 12 AWG, vinculadas con soldadura exotérmica al caño. La estación de medición debe montarse en un poste o puede ser montada a nivel.



Fuente: NACE 169-2013 capítulo 1 curso manual

Figura 2-13. Estación de medición de potencial montada sobre poste o mojón



Fuente: NACE 169-2013 capítulo 1 curso manual

Figura 2-14. Estación de medición de potencial montada a nivel

Las estaciones de medición montadas sobre poste o mojón (Poste de piedra o cualquier señal clavada en el suelo), son preferibles a las montadas a nivel, porque hay menos posibilidades de que las primeras se pierdan, sin embargo, en muchos sistemas de distribución es difícil usar estaciones de medición montadas sobre poste debido a las restricciones físicas y a la falta de espacio disponible para colocar postes.

En el caso de empresa distribuidora las estaciones de medición en la mayoría de los casos se encuentran en la vía pública o carreteras lo que puede provocar que sea manipulada por algún tercero o simplemente por estar en medio de la acera y perturbar la vía pública, por lo tanto se usan las estaciones de medición a nivel.

Fuente: NACE 169-2013 capítulo 1 curso manual

Figura 2-15. Estación de control a nivel de empresa distribuidora

Las estaciones de prueba de control de corrosión están ubicados en puntos estratégicos como:

- Instalaciones de camisas de refuerzo de tubo
- Cruces de estructuras metálicas
- Estaciones de válvulas
- Instalaciones de ánodos galvánicos
- Cruces de carreteras
- Áreas de corriente parasitas
- Instalaciones de corriente impresa

2.5. CAÍDA ÓHMICA (IR) EN LAS LECTURAS DE POTENCIAL

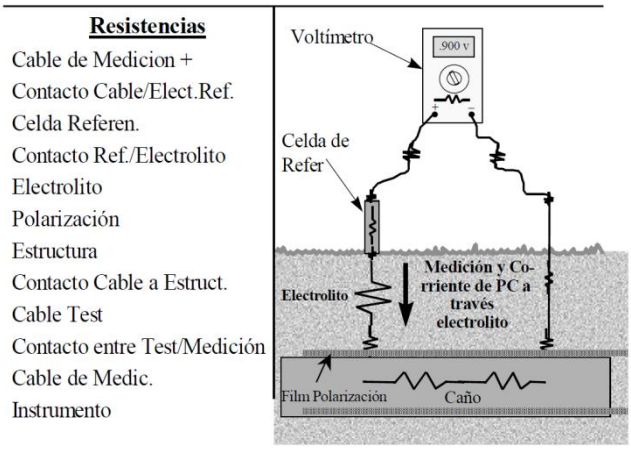
Una de las responsabilidades más importantes es la precisión de los datos. Sin datos precisos, los responsables del programa de control de corrosión en su compañía no sabrán con exactitud cuan protegida están sus estructuras.

"Conocer las caídas óhmicas al medir el potencial es fundamental para obtener datos precisos".

2.5.1. Caída IR según "NACE Cp1 curso manual"

Como la PC es un fenómeno de polarización, para determinar el nivel de protección de una estructura es necesario determinar su nivel de polarización. El potencial polarizado puede definirse como el potencial a través de la estructura-electrolito; esta es la suma del potencial de corrosión y la polarización catódica.

Por lo tanto el potencial que nos interesa es el potencial polarizado a través de la interface estructura-electrolito. Sin embargo, siempre que se mide un potencial, el resultado es la sumatoria de todas las caídas de potencial en el circuito.



Fuente: NACE 169-2013 capítulo 1 curso manual

Figura 2-16. Caída óhmica en un circuito

Para que el potencial medido represente el potencial polarizado a través de la interface estructura-electrolito. Todas las otras caídas óhmicas deben ser despreciables. Como el voltaje (o caída óhmica) es el producto de la corriente por la resistencia, el voltaje disminuye cuando disminuyen la corriente o la resistencia. Cuando hablamos de corriente, generalmente nos referimos a la corriente de protección catódica aplicada; sin embargo, puede ocurrir que la corriente de medición (corriente necesaria para hacer funcionar el instrumento de medición) o las corrientes vagabundas sean significativas. La corriente de circuito es pequeña si la resistencia del instrumento es grande. Esta es una de las razones por la que los instrumentos de medición que se utilizan para medir potenciales tienen resistencias de millones de ohm.

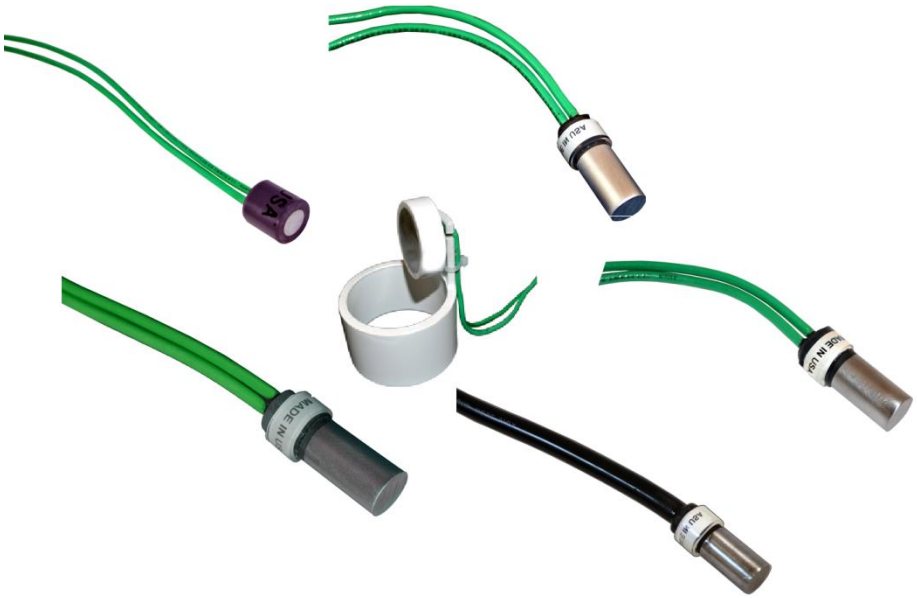
Solo bajo las siguientes condiciones, las caídas óhmicas en el circuito de medición son insignificantes:

- Pasos metálicos; cuando son cortos en longitud y/o la sección transversal al pasaje de corriente es grande.
- Contacto entre pila de referencia y electrolito-cuando hay gran cantidad de humedad y/o la superficie de contacto es grande.
- Puntos de conexión; cuando los contactos metal/metal son buenos.
- Circuito interno del instrumento de medición; cuando se utiliza un instrumento de medición con una elevada resistencia de entrada (10 megohms)
- Electrolito; cuando resistividad y/o densidad de corriente protección catódica son bajas.

Todas las caídas óhmicas qué son de un circuito de medición son controlables, excepto las del electrolito, sin embargo esta puede aproximarse a cero colocando un electrodo de referencia (cupón de corrosión) cerca de la estructura y puede reducirse a cero interrumpiendo el flujo de corriente.

2.6. CUPÓN DE CORROSIÓN SEGÚN "NACE CP1 CURSO MANUAL"

Los cupones se usan con frecuencia para verificar la efectividad de la protección catódica. Están hechos del mismo metal que la estructura y conectados a ella eléctricamente. Se pesan antes de la instalación y luego en forma periódica, para determinar si han perdido peso, y que esto evidenciaría la corrosión. Algunas estaciones de medición están equipadas con un cupón, de forma tal que las mediciones de potencial estructura-suelo puedan hacerse básicamente "sin caída IR", algunas de estas estaciones de medición incluyen un electrodo de referencia permanente y otras tienen un tubo por el cual bajar el electrodo de referencia



Fuente:Geoogle

Figura 2-17. Ejemplos de cupón de corrosión de protección

CAPÍTULO 3: "DESARROLLO DE LA PROPUESTA"

3. "DESARROLLO DE LA PROPUESTA"

En este capítulo se dará a conocer la elaboración de la propuesta de mejora de protección catódica, ya que, en los capítulos anteriores se describió el activo a proteger ante la corrosión y las diferentes formas de protección ante esta misma, la propuesta analiza la parte técnica y económica en base a los costos de insumos e instalación de los cupones de corrosión con la finalidad de validar los criterios exigidos por la norma internacional NACE.

3.1. OBJETIVOS Y ALCANCE DE LA PROPUESTA

El objetivo es generar un instructivo de instalación, conexión y medición del cupón de corrosión para poder guiar de manera eficiente esta actividad, y así poder tener registros de polarización y potencial natural en los distintos circuitos de las redes de acero de empresa distribuidora de gas natural.

Con esto se podrá obtener claridad en los criterios de protección regulados por la NACE, es decir, obtener valores libres de IR.

El alcance en la instalación de cupones de corrosión abarca el total de los circuitos, sean protegidos por cualquiera de los sistemas de protección catódica tanto por corriente impresa o ánodos galvánicos o de sacrificio.

3.2. PROCESO DE INSTALACIÓN DE CUPÓN DE CORROSIÓN

El cupón de corrosión será instalado en un punto definido estratégicamente, que nos entregara información relevante a la hora de evaluar el nivel de corrosión que se puede llegar a alcanzar en distintas zonas afectadas por corriente de interferencia, zonas donde se suponen defectos en el revestimiento de un tramo de cañería desnuda y poder determinar su tasa de corrosión, además obtener registros de polarización.

El cupón se instalará en cercanía a algún punto de control y así evitar realizar nuevas soldaduras de cableado a la línea.

Al situarse en un punto de control se detectara la posición y la profundidad con el equipo PCM Metrotech.

Fuente: Fotografía en terreno

Figura 3-1. Instrumento para detectar posición y estimar profundidad de tubería enterrada

Paso 1: Se debe realizar un agujero al costado de la tubería con una maquina especial para realizar agujeros de manera correcta y rápida, esta es la Aholladora, este agujero tendrá una profundidad similar a la tubería detectada.

Fuente: Fotografía en terreno

Figura 3-2. Aholladora para realizar agujero cerca de tubería

Fuente: Fotografía en terreno

Figura 3-3. Excavación realizada cerca de tubería

Paso 2: Se ingresara por el agujero el cupón de corrosión además de un tubo de PVC de 50 [mm], que alojara la celda de referencia de cobre cada vez que se instale el equipo datalogger que registra los potenciales polarizados.

Fuente: Fotografía en terreno

Figura 3-4. Instalación en cupón de corrosión en tubo de pvc de 50 [mm]

Fuente: Fotografía en terreno

Figura 3-5. Instalación de cupón de corrosión en agujero cercano al punto de control

Fuente: Fotografía en terreno

Figura.3-6. Cupón de corrosión correctamente instalado

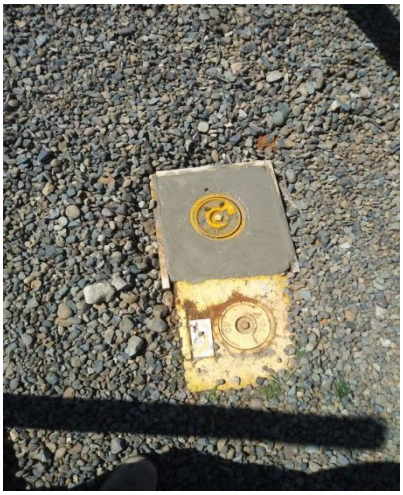
Como nota, los cables negros vienen desde el punto de control y son de la tubería a analizar ante la corrosión.

Paso 3: Se debe llenar el agujero con material similar al electrolito en cuestión y se instala sobre el cupón de corrosión un punto de control Glen 4.

Fuente: Fotografía en terreno

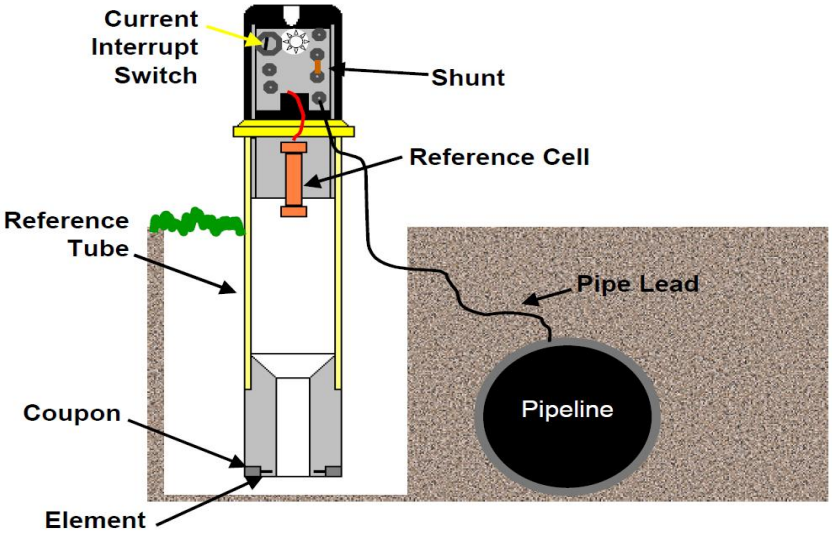
Figura 3-7. Instalación de punto de control Glen 4

Paso 4: Se deben realizar dos pozos de hormigón, tanto para el Glen 4, como para el tubo de PVC.



Fuente: Fotografía en terreno

Figura 3-8. Cupón instalado con pollo de hormigón



Fuente: NACE –capítulo 1curso manual

Figura 3-9. Referencial de instalación de cupón según Nace Cp1 curso manual capitulo N°8

3.3. Proceso de conexión de cupón de corrosión

La conexión debe realizarse en el Glen 4, este consiste en vincular eléctricamente el cable de la tubería con uno de los cables del cupón.

Fuente: Fotografía en terreno

Figura 3-10. Cables para instalación de cupones

En la imagen anterior se aprecian ambos cables, tanto los dos del cupón de corrosión (amarillos) y el cable de la tubería proveniente del punto de control (negro).

Antes de realizar la conexión se debe dejar el cupón sin conectar durante 24 [hr] para obtener el valor del potencial natural.

En definitiva el Glen 4, situara los dos cables del cupón, el cable de la tubería y el cable que se conectara la celda de referencia de cobre (CSE).

Fuente: Fotografia en terreno

Figura 3-11. Conexión de cupón de corrosión en Glen 4

En esta imagen se puede apreciar la forma correcta de conexión de cupón de corrosión en Glen 4, donde los colores corresponden a:

Rojo: Celda de referencia

Amarillo: Cupón de corrosión

Negro: Tubería

3.4. PLANIFICACIÓN Y VERIFICACIÓN DE DATALOGGER

La planificación consiste en instalar datalogger UDL 2 en los circuitos que existan cupones de corrosión, esta instalación se hará en el circuito que se esté estudiando.

Fuente: NACE –capítulo 1curso manual

Figura 3-12. Datalogger UDL 2

Previa a la utilización de DL (datalogger) se debe verificar la vigencia de su calibración. El equipo no debe ser utilizado si la calibración ha vencido, también se revisa la carga de las baterías internas de DL, la cual de ser insuficiente debe cambiarse el DL por otro con carga adecuada.

Las celdas de referencia (CSE) deben tener su mantención vigente para la medición

3.4.1. Configuración del DL

La configuración de DL se realizara a través del software, una vez realizada la coordinación para el levantamiento de potenciales con dataloggers. Antes de abrir el software para realizar la configuración es necesario conectar el DL mediante cable al puerto USB del computador, una vez conectado el DL se procede a configurar el tipo de variable a registrar.

El DL se programará para medir con una frecuencia de 5 segundos, por cada hora que mida se desconectara durante una hora, para medir potenciales polarizados durante un minuto.

3.4.2. Instalación y retiro del DL del PC

El datalogger se debe instalar de la siguiente manera

- Cable rojo: celda de referencia (CSE)
- Cable negro o azul: Tubería
- Cable amarillo: cupón de corrosión }

Cuando se realice el retiro de los datalogger desde el punto de control, es necesario registrar la fecha y hora de retiro de estos.

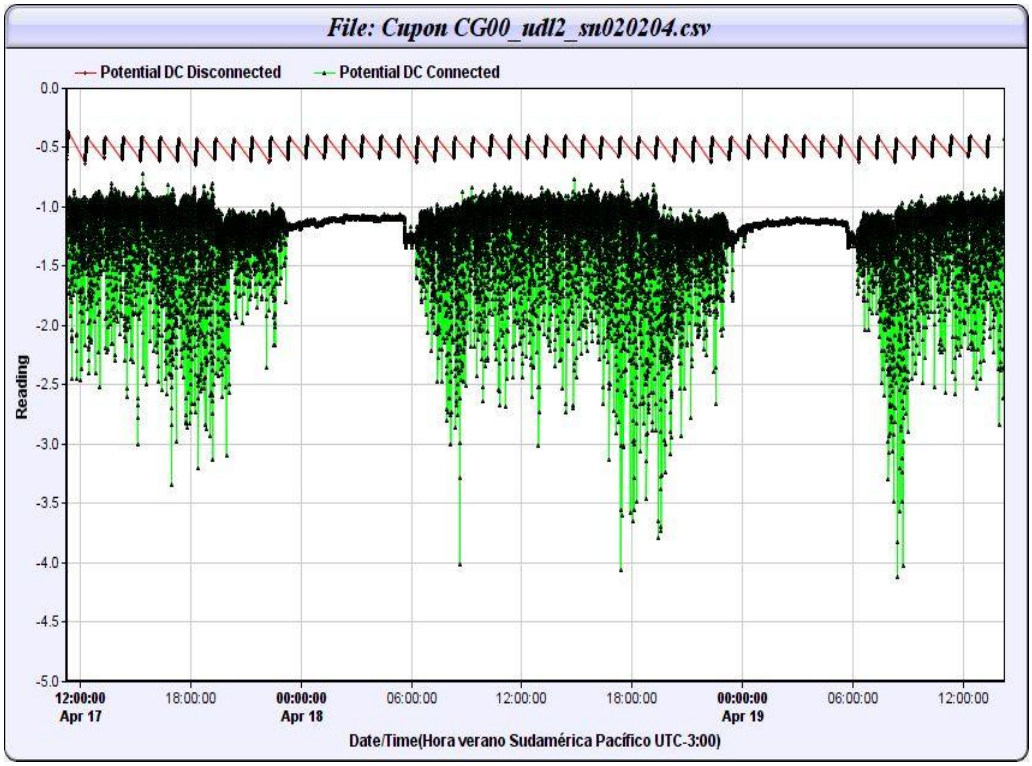
3.4.3. Descarga de datos registrados

Se lleva a cabo a través del software del DL, este debe ejecutarse previo a la conexión del DL al computador y una vez establecida la comunicación con el DL deben descargarse los datos de la variable estudiada con hora y fecha registrada.

3.5. ANÁLISIS DE MEDICIÓN DE CUPÓN DE CORROSIÓN

En esta sección se darán a conocer los resultados obtenidos midiendo potenciales eléctricos con cupón de corrosión.

Como se explicó anteriormente la descarga de los datos se realiza a través de un software que es especial del DL (data-logger), en este se puede visualizar las mediciones con caída IR y sin caída IR, a continuación se mostrara algunos ejemplos de registro de datos de potenciales recopilados del cupón de corrosión.

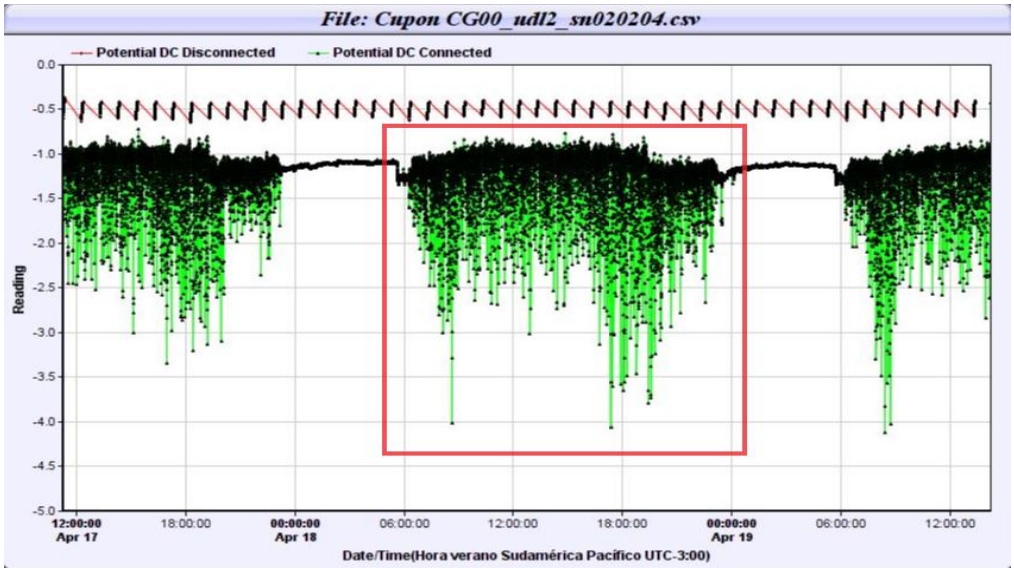


Fuente: Software data-loggen- UDC-2

Gráfico 3-1. Registro recopilado por data-logger UDL 2 de cupón de corrosión

Este grafico muestra la tendencia de los potenciales eléctricos con respecto al tiempo, El grafico es de una medición en un punto de control cerca de la red de transporte MERVAL (Metro tren) donde se aprecia claramente los horarios donde los potenciales son más afectados por corrientes parasitas.

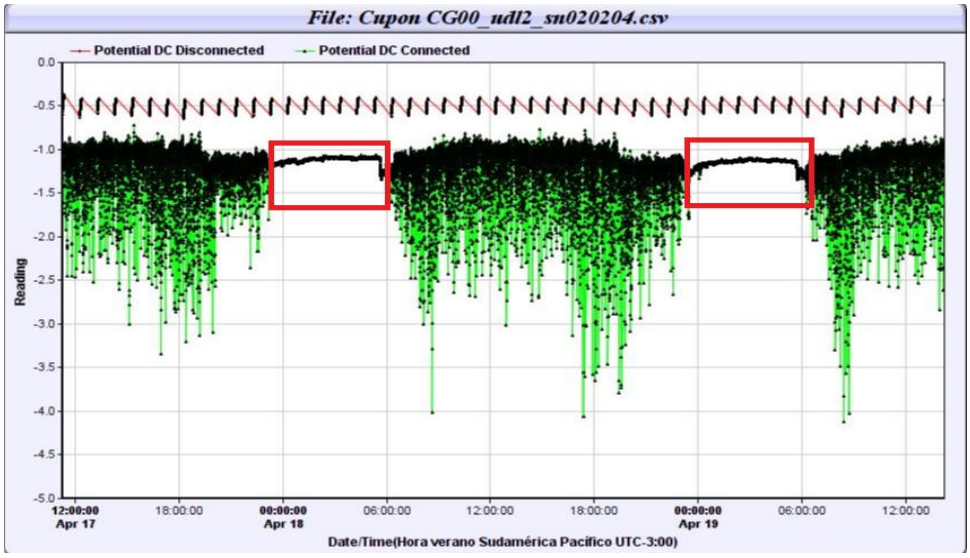
En este caso el primer grafico de color verde es el grafico donde muestra la medición sin cupón de corrosión donde se aprecian valores de potenciales extremadamente negativos a ciertas horas del día.
Desde las 06:00 [am] en adelante hasta las 00:00 [pm] muestra una clara alteración a las mediciones de potenciales. Esto lleva al análisis que durante ese horario es donde el metro tren está en funcionamiento.



Fuente: Software data-loggen- UDC-2

Gráfico 3-2. Ejemplo N°1 de alteraciones de potenciales eléctricos

En esta sección del gráfico se puede deducir que en los horarios con mayor flujo de viajes es donde se tiene el valor pico de potencial, el grafico muestra entre 11:00 [am] y a las 15:00 [pm] aproximadamente, un potencial de -4000 [mv], donde claramente muestra una sobreprotección, recordando que sobre -1200 [mv] se estima que la cañería esta sobreprotegida.



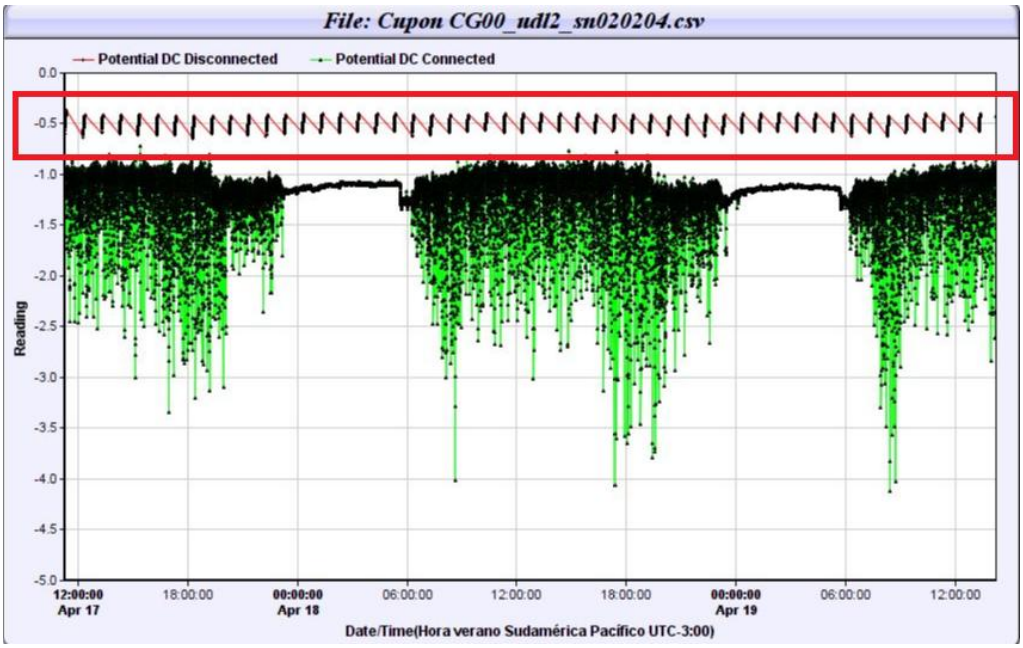
Fuente: Software data-loggen- UDC-2

Gráfico 3-3. Ejemplo N°2 de alteraciones de potenciales eléctrico

En otra sección del mismo gráfico se aprecia que los potenciales se mantienen aproximadamente constantes, con esto, se puede analizar que en los horarios donde el metro tren no está en funcionamiento, que son, desde 00:00 [pm] hasta las 06:00[am] los potenciales son de -1100 [mv] aproximadamente constantes, y en este caso se considera que la red estaría protegida ante la corrosión, ya que, los valores anteriores no están libres de las perturbaciones de las corrientes parasitas que afectan en la mediciones de potencial.

En la imagen se pueden apreciar dos gráficos, de uno ya se dio a conocer que es un valor sin la integración de cupón de corrosión (grafico de color verde) donde se analizaron los valores de potencial eléctricos entregados por el Datalogger, y se concluyó qu

El otro gráfico que se puede apreciar es uno que está sobre el gráfico de color verde que muestra los valores de potenciales eléctricos, pero, con la integración de cupón de corrosión para poder eliminar la caída IR.



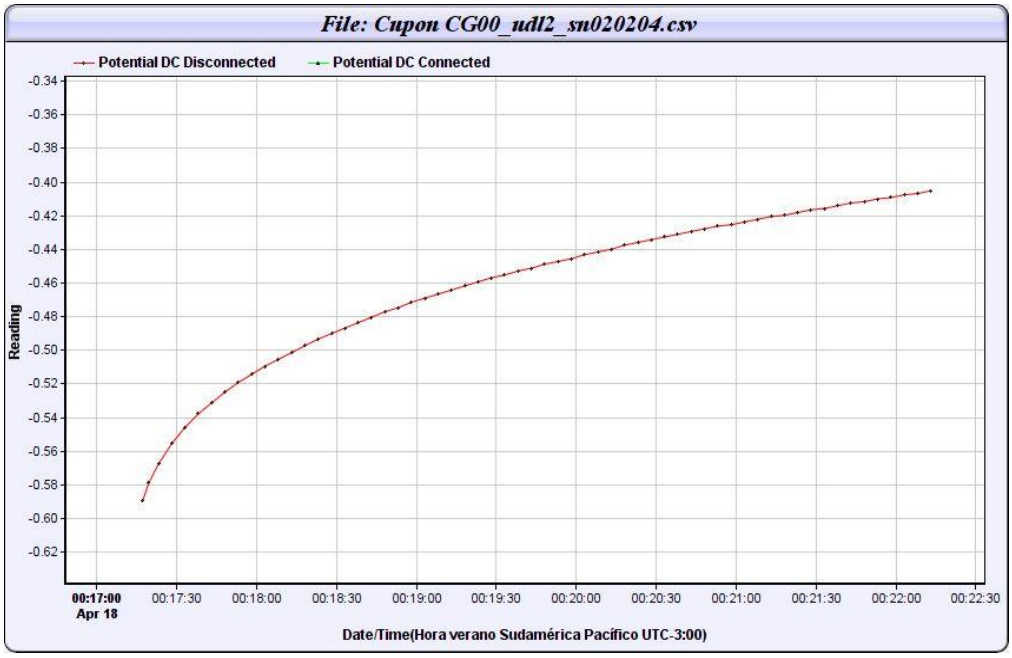
Fuente: Software data-loggen- UDC-2

Gráfico. 3-4. Alteraciones de potenciales eléctrico Ejemplo N°3, grafico

En este gráfico se puede apreciar la diferencia de potencial logrando discriminar la caída IR de las mediciones de potencial, ya que muestra valores

polarizados y despolarizados (perdida de polarización) del cupón, registrando valores entre los -450 [mv] y -700[mv] por lo que no se cumpliría la certificación ante la corrosión la tubería. La tarea de polarización y despolarización del cupón la cumple el datalogger, esto quiere decir que cada 20 minutos mantiene el cupón sin energía y por una hora con energía.

Pero no es el único criterio a tomar en cuenta ya que hay un segundo que indica que cuando se despolaricé la tubería esta debe caer a un valor mayor a -100 [mv] para cumplir con este criterio, esto se consigue, analizando el grafico haciendo un zoom en el software para poder apreciar el comportamiento de la curva de medición.



Fuente: Software data-loggen- UDC-2

Gráfico 3-5. Ejemplo N°4, zoom grafico registrado por el cupón de corrosión

Al realizar el zoom se puede apreciar que cuando se despolariza el cupón de corrosión cae de -550 [mv] a -410 [mv], donde si se analiza la diferencia es de -140 [mv] por lo tanto cumple con el segundo criterio estipulado por la NACE.

Cabe señalar que para certificar la protección de la red de transporte de gas natural, solo basta con que se cumpla un criterio de los tres que existen para

certificar la protección de la tubería de acero ante la corrosión, que para este caso cumple con "**Un mínimo de 100 [mv] de polarización catódica**".

3.5. COSTOS ASOCIADOS A LA INSTALACIÓN DE CUPONES

La instalación de los cupones sería realizada por la empresa contratista "Redcom" que entrega sus costos asociados a los procedimientos a realizar para instalar los cupones, esto se evaluara caso a caso ya que no en todos los puntos de control se darán las mismas condiciones para trabajar, como ejemplo. En algunos casos se deberá romper calzada y en otros no (costos de mano de obra), ubicación del trabajo, ya que, dependiendo el lugar, se agrega el valor del transporte (costos de traslado) y la instalación misma del cupón de corrosión (costos HH por jornada laboral).

3.5.1. Costos de traslado para instalación de cupón

Empresa distribuidora (GasValpo) dispone de empresas contratistas para realizar trabajos dentro de la empresa, por lo tanto, el contratista dispuesto para tareas de mantención o de instalación es Redcom, esta ya es conocida por la empresa y se tienen valores de costos conocidos, para la instalación de cupón de corrosión el supervisor de protección catódica cumplirá la tarea de supervisar la instalación de dichos cupones.

Se sabe que la red primaria y secundaria poseen en total 64 puntos de control por lo que se instalaran 64 cupones de corrosión.

Los puntos de instalación abarcan tanto la red primaria como secundaria, debido a esto, conociendo la distribución geográfica de la red se sabe que los puntos de control donde se realizaran las instalaciones de cupones abarcan los sectores de Valparaíso, Quintero, Casablanca, Quillota, con esta información se dispone de parte de la empresa contratista un valor para cada zona dispuesta en el siguiente gráfico.

					NETO	Valor DÍA
Item		Descripción			Unit $	Total $
1	1	**SECTOR: QUILPÚE, Villa Alemana, Peñablanca, Viña del Mar, Valparaíso, Concón.** Faena: Instalación de CUPONES DE CORROSIÓN			$ 50.000	$ 50.000
2	1	**SECTOR: QUINTERO, Ventanas, Valle Alegre, Puente Colmo** Faena: Instalación de CUPONES DE CORROSIÓN			$ 50.000	$ 50.000
3	1	**SECTOR: CASABLANCA, Tapihue, Orozco, Lo Vásquez** Faena: Instalación de CUPONES DE CORROSIÓN			$ 70.000	$ 70.000
4	1	**SECTOR: QUILLOTA, LA CALERA, Llay-Llay** Faena: Instalación de CUPONES DE CORROSIÓN			$ 70.000	$ 70.000
		Total Neto		$ 0		$ 0

Fuente: Factura empresa Redcom

Tabla 3-1. Costos de traslado de personal Redcom

Gracias a la tabla 3-1, se puede estimar el valor de traslado diario para la instalación de cupón de corrosión. Realizar un procedimiento diario de instalación para poder abarcar la mayor cantidad de puntos de control en cada zona, es indispensable para distribuir mejor los costos, ya que, realizar dos viajes a distintos sectores podría aumentar los valores y demostraría una mala organización del personal a cargo del proyecto.

Con esto se concluye que en los sectores como Quilata, La calera, Llay – Llay, Casablanca, Tapirujé, Lo Orozco, Lo Vásquez donde el costo de traslado es mayor se debería instalar la mayor cantidad de cupones de corrosión para disminuir el valor de los costos de traslado.

3.5.2. HH para la instalación de cupones

Los valores asociados a la mano de obra dispuesta por la empresa Redcom para la instalación de cupones, establece un valor determinado para realizar esta actividad dispuesta en la siguiente tabla.

Tabla 3-2 Costos HH dispuesta por la empresa Redcom

Item	Cantidad	Descripción	Unit UF	Total UF
1	2	**MANO DE OBRA (Hora Hombre) : 2 Trabajadores** Valor día Jornal según listado Faena: Instalación de CUPONES DE CORROSIÓN	1,455	2,910
		Total Neto		2,910

Fuente: Factura empresa Redcom

Con esto se concluye que el valor de mano de obra para la instalación de cada cupón son de 2,910 UF, teniendo en cuenta que el valor unitario de la UF es de $27.200, entonces el total sería de $78.880 por cada cupón instalado.

3.5.3. Costos asociados a la mano de obra para la instalación de cupón de corrosión

El costo de mano de obra esta seccionado en tres tipos, en mano de obra y trabajo adicionales para cupones, Salto, Materiales e insumos, por lo tanto, cada una de estas condiciones de trabajo tiene ciertas características y valores asociados, estos se mostraran en la siguiente tabla.

Tabla 3-3 Costos de mano de obra dispuesta por la empresa Redcom

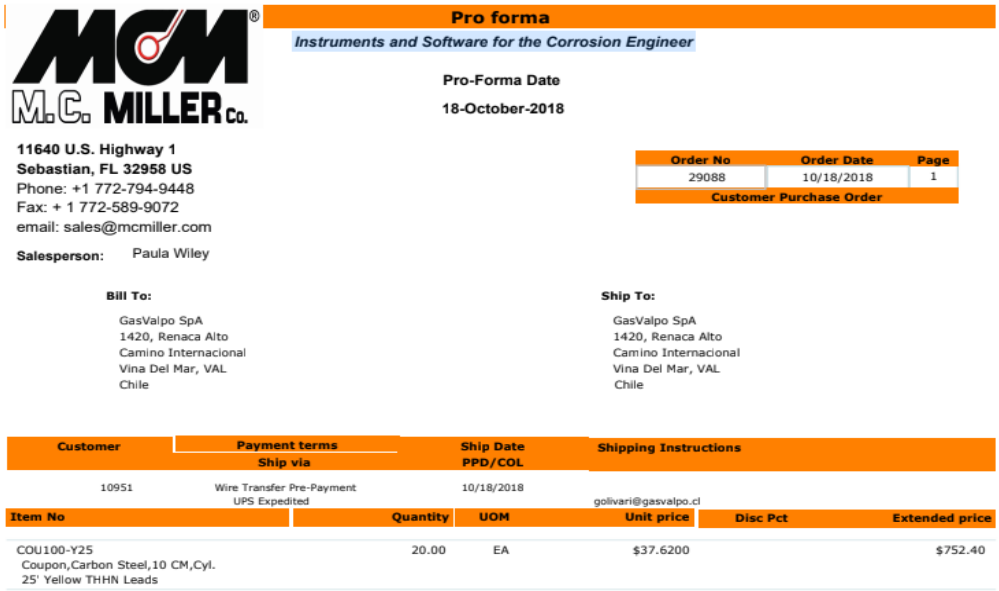
Item		Descripción	Unit $	Total $
1	1	**MANO DE OBRA y TRABAJOS ADICIONALES para CUPONES** 4 Puntos Sector Sopraval - Los Molles Reparaciones de Monolitco y Señalética Cortes de Señalética de Fierro Retirar y Reinstalar Glen 4. Reposición	$ 45.000	$ 45.000
2	1	**SALTO** Ruptura de Hormigón con demoledor y Generador Retiro de Glen 4 tipo Torpedo Instalación de Nuevo Glen 4 Reposición de Hormigón	$ 95.500	$ 95.500
3	1	**Materiales e Insumos** Cemento. Hormigón Pobre Pintura Amarillo Rey Agua, Madera, Clavos Brochas, Aguarras	$ 62.500	$ 62.500

Fuente: Factura empresa Redcom

Como lo muestra la figura se aprecia que dependiendo las condiciones del terreno donde se instalara el cupón de corrosión aumentara o disminuirá el costo total de instalación ya que, si en un punto se debe realizar ruptura de hormigón, este se debe hacer con demoledor y generador lo que aumentaría el costo total de instalación en $95.000 más materiales e insumos, por lo tanto, es importante que el supervisor determine y organice de manera óptima las tareas a realizar de parte de la empresa contratista.

3.5.3. Costo de cupón de corrosión

La empresa M.C.MILLER distribuye instrumentos y software para el ingeniero de corrosión, y también es la encargada de suministrar producto de protección catódica para la empresa distribuidora (GasValpo), como datalogger, electrodos de referencia, voltímetros, etc.



MCM M.C. MILLER Co.

Pro forma

Instruments and Software for the Corrosion Engineer

Pro-Forma Date
18-October-2018

11640 U.S. Highway 1
Sebastian, FL 32958 US
Phone: +1 772-794-9448
Fax: + 1 772-589-9072
email: sales@mcmiller.com

Salesperson: Paula Wiley

Order No	Order Date	Page
29088	10/18/2018	1
Customer Purchase Order		

Bill To:
GasValpo SpA
1420, Renaca Alto
Camino Internacional
Vina Del Mar, VAL
Chile

Ship To:
GasValpo SpA
1420, Renaca Alto
Camino Internacional
Vina Del Mar, VAL
Chile

Customer	Payment terms / Ship via	Ship Date / PPD/COL	Shipping Instructions
10951	Wire Transfer Pre-Payment UPS Expedited	10/18/2018	golivari@gasvalpo.cl

Item No	Quantity	UOM	Unit price	Disc Pct	Extended price
COU100-Y25 Coupon,Carbon Steel,10 CM,Cyl. 25' Yellow THHN Leads	20.00	EA	$37.6200		$752.40

Fuente: Datos de empresa MCM (MILLER)

Figura 3-13. Factura de empresa M.C.MILLER por el cupón de corrosión

Para el caso de este proyecto se consultó el precio de cupón de corrosión con la empresa M.C.MILLER su valor es de 37,6200 dólares que en pesos chilenos es de $26.045, se sabe que serán 64 cupones los que se

instalaran en la red primaria y segundaria, por lo tanto, el valor total de 64 cupones es de $1.666.880 para el proyecto completo.

3.5.4. Costo total de instalación de cupón de corrosión

Se instalaran 64 cupones de corrosión en total, teniendo este dato se puede concluir un valor total por cada cupón ya que se conocen los distintos valores para cada caso que se puede presentar en terreno al momento de realizar el procedimiento de instalación y el valor unitario del cupón de corrosión, Para conocer el valor se determinara tanto para los costos HH, Mano de obra y de traslado el peor de los casos y así poder tener los costos totales aproximados y saber cuánto seria el capital necesario para realizar el proyecto.

Se supondrá el caso de instalación de cupón de corrosión que se realice en un punto de control ubicado en quinteros y que conlleve ruptura de hormigón con demoledor, como se conocen los valores se concluye lo siguiente

- Ruptura de hormigón con demoledor: $95.000
- Retirar e reinstalar Glen 4: $45.000
- Reposición de hormigón: $95.000
- Materiales e insumos: $65.000
- Instalación de cupón: $78.880
- Traslado a Quinteros: $ 70.000
- Cupón de corrosión: $26.045

Por lo tanto, el costo de instalación de cupón de corrosión es de $474.925, con los valores dispuestos por la empresa Redcom y el precio unitario de cupón de corrosión, con esto, se concluye que el valor total del proyecto por los 64 cupones instalados sería de un valor de $30.395.200.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para las empresas distribuidoras de energía es de vital importancia poder cumplir con las normativas internacionales existentes y así también cumplir con los requerimientos establecidos por las entidades que supervigilan a estas como es la SEC, ya que al tener una no conformidad con algunos de los requerimientos las empresas de estas características corren el riesgo de perder la concesión y así la empresa dejaría de existir como distribuidora de energía.

Es en este punto donde la propuesta tiene cabida ya que la SEC (superintendencia de electricidad y combustible) exige que se certifique que las redes de distribución de gas a alta presión (sobre 10 [bar]) de acero estén protegidas ante la corrosión, para poder certificar esto se debe obtener mediciones de potencial libre de IR (eliminar la caída IR), por lo tanto, instalando cupones de corrosión en todos los puntos de control existentes en la redes de acero se podría discriminar la caída IR y obtener los valores reales de potenciales, cumpliendo con los criterios establecidos por la empresa NACE y así poder certificar la protección de las redes contra la corrosión.

- Para conocer el alcance del proyecto y las posibles consecuencias de la corrosión en el "CAPITULO N°1 – antecedentes generales y documentación" se da a conocer la distribución geográfica de la red de acero, tanto de la red primaria y red segundaria y también los tipos de corrosión y daños que provocan en los activos.
- Para entender los requerimientos normativos tanto de NACE y de la SEC en el "CAPITULO N°2 – aspectos técnicos del proyecto" se dan a conocer los métodos de protección contra la corrosión y criterios establecidos por la NACE y los requerimientos de protección establecidos por la SEC
- Para realizar la instalación de cupón de corrosión en el "CAPITULO N°3 – desarrollo de la propuesta" se conoce el procedimiento de instalación, recopilación de datos, e interpretación de la medición de cupón de corrosión y a la vez establecer los costos asociados al proyecto.

Como se conoce la importancia de la certificación contra la corrosión, se puede concluir que la realización de esta propuesta es de vital importancia, ya que el requerimiento es directamente de la SEC, por lo tanto, es una inversión necesaria para cumplir con los requerimientos y así mantener la concesión como empresa distribuidora de gas natural.

BIBLIOGRAFÍA

SP0169-2013 Control de la corrosión externa en sistemas de tuberas metlicas enterradas o sumergidas (21181-SG) (1). Aprobado en Abril de 2019, última revisión el 04-10-2013.

CP 1 - Course Manual / NACE Internacional, 2000 echo el 01/01/02

NACE equips society to protect people, assets and the environment from the adverse effects of corrosion. https://www.nace.org/home.aspx

M.C. Miller – Trusted by Corrosion Engineers Worldwide [www.mcmiller.com/stainless-steel-cylindrical-coupon-with-twin-thhn-wires-cou350]

Superintendencia de electricidad y combustible http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,1&_dad=portal&_schema=PORTAL

ASME B31.8 http://gasorienteboliviano.com/docs/ASME%20B31.8.pdf

ANEXOS

ANEXO A: SP0169-2013 CONTROL DE LA CORROSIÓN EXTERNA EN SISTEMAS DE TUBERAS METLICAS ENTERRADAS O SUMERGIDAS (21181-SG) (1) SECCION 6 PAGINA 20.

Sección 6: Criterios y Otras Consideraciones para la Protección Catódica

6.1 Introducción

6.1.1 En esta sección, se enumeran los criterios para PC que indican si se logró la PC adecuada de un sistema de tubería metálica (consultar también la sección 1, párrafos 1.2 y 1.4). Se puede lograr una PC adecuada a diversos niveles de polarización catódica, según las condiciones ambientales. Por lo tanto, es posible que un único criterio para evaluar la eficacia de la PC no sea satisfactorio en todas las condiciones o en todas las ubicaciones a lo largo de una estructura. El uso de cualquier método, incluida una combinación de métodos o criterios para lograr un control adecuado de la corrosión, es responsabilidad del usuario y debe basarse en la experiencia de este y en las condiciones únicas que influyen en los sistemas de tuberías. Para determinar si se logró el control adecuado de la corrosión, se deben tener en cuenta las condiciones y los factores enumerados en el párrafo 6.2.1.3.1.2, Condiciones especiales (6.2.1.4), y Consideraciones pertinentes (6.3), independientemente de qué métodos o criterios se utilicen. Un punto de referencia que se suele utilizar para el control de la corrosión externa eficaz es (una reducción en la velocidad de corrosión a) 0,025 mm anuales (1 milésima de pulgada por año) o menos.

6.1.2 Al seleccionar los métodos o criterios para una tubería específica, las siguientes son responsabilidades del usuario:

6.1.2.1 Determinar el nivel de control de la corrosión necesario y suficiente para abordar las condiciones específicas.

6.1.2.2 Incluir un medio para evaluar la eficacia de ese método o criterio, ya sea que se utilice por separado o en combinación.

6.1.2.3 Documentar la eficacia de la PC u otras medidas de control de corrosión externa (consultar la sección 11). En ausencia de dicha documentación, se deberá aplicar por lo menos uno de los criterios indicados en el párrafo 6.2.

6.2 Criterios

6.2.1 Criterios para las tuberías de acero y hierro fundido dúctil o gris

6.2.1.1 Se pueden utilizar criterios documentados a través de pruebas empíricas para indicar la eficacia de los controles de corrosión en sistemas de tuberías específicos en esos sistemas o en otros con las mismas características.

6.2.1.2 Un mínimo de 100 mV de polarización catódica. Se debe medir la formación o la pérdida de la polarización para satisfacer este criterio.[8, 62]

6.2.1.3 Un potencial estructura-a-electrolito de –850 mV o más negativo, medido con respecto a un electrodo de referencia de sulfato de cobre-cobre saturado (CSE). Este potencial puede ser una medición directa del potencial polarizado o un potencial medido con la corriente aplicada. La interpretación de una medición de potencial medido con la corriente aplicada requiere la consideración de las caídas de voltaje significativas a través de la tierra y los conductores metálicos.

6.2.1.3.1 La consideración se entiende como la aplicación de buenas prácticas de ingeniería por cualquiera de las siguientes opciones:

6.2.1.3.1.1 Midiendo o calculando las caídas de voltaje para establecer si se logró un potencial de –850 mV o más negativo en la interfase estructura-a-electrolito;

6.2.1.3.1.2 Realizando una evaluación técnica del sistema, incluyendo los siguientes datos o la siguiente información, por separado o en combinación, que el usuario considere necesarios y suficientes para la situación:

6.2.1.3.1.2.1 Revisión del desempeño histórico del sistema de PC, como el tipo de PC, la coherencia con el tiempo de los potenciales en los puntos de prueba individual a lo largo de la línea, la coherencia de la corriente de PC con el tiempo, la cantidad de años con PC, las actividades correctivas de PC, la coherencia del CIS con el tiempo y el historial de fugas relacionadas con la corrosión externa. (Nota: El historial de fugas no debe utilizarse como único medio para determinar los niveles adecuados de PC). Al revisar el rendimiento histórico del sistema de PC, también se deben tener en cuenta las características físicas y los resultados de los exámenes directos y el ambiente.

ANEXO B: SP0169-2013 CONTROL DE LA CORROSIÓN EXTERNA EN SISTEMAS DE TUBERAS METLICAS ENTERRADAS O SUMERGIDAS (21181-SG) (1) SECCION 2 DEFINICIONES, ABREVIATURAS Y ACRONIMOS

Sección 2: Definiciones,[1] Abreviaturas y Acrónimos

Definiciones:

Abreviaturas y acrónimos:

AC: corriente alterna (del inglés Alternating current)

Ácidos débiles: ácidos que se disocian solo parcialmente para formar iones de hidrógeno (H^+) en concentraciones moderadas.[11]

AGA:[2] Asociación Americana de Gas (del inglés American Gas Association)

Aislamiento eléctrico: la condición de estar eléctricamente separado de otras estructuras metálicas o del ambiente.

---

[1] Las definiciones que se indican en esta sección reflejan el uso común entre el personal practicante del control de la corrosión y se aplican específicamente a la forma en que se utilizan los términos en este estándar. En muchos casos, en aras de la brevedad y la utilidad práctica, las definiciones científicas se abrevian o se reformulan.
[2] American Gas Association (AGA), 400 North Capitol St. NW, Suite 400, Washington, DC 20001.

Camisa de refuerzo de tubería en cortocircuito: camisa de refuerzo que está en contacto metálico directo con el tubo portador.

Camisa de refuerzo: tubería metálica (por lo general, de acero) que se instala para contener un tubo o una tubería.

Cátodo: el electrodo de una celda electroquímica en el que la reducción es la reacción principal. (Flujo de electrones hacia el cátodo en el circuito externo).

CGA:[8] Asociación Canadiense de Gas (del inglés Canadian Gas Association)

CIS: inspección (de potencia) a intervalos cortos (del inglés Close interval [potential] survey)

Conductor: material adecuado para transportar una corriente eléctrica. Puede ser sin revestir o aislado.

Correlación: (1) relación causal, complementaria, paralela o recíproca, por ejemplo, por tener características correspondientes. (2) (como se utiliza en la sección 9) medición simultánea de dos parámetros dinámicos (que varían con el tiempo), p. ej., voltaje y corriente, que se presenta en una gráfica de X-Y para determinar la relación relativa entre los dos parámetros y si, con el tiempo, las fluctuaciones surgen a causa de una o más fuentes de corriente parásita.

Corriente de línea larga: corriente a través del suelo entre un área anódica y una catódica, y que vuelve a lo largo de una estructura metálica enterrada. (Generalmente, se utiliza solo donde las áreas están separadas por una distancia considerable y donde la corriente surge como resultado de la acción de celdas de concentración)

Corriente de línea: la corriente directa que fluye en una tubería.

Corriente impresa: corriente eléctrica suministrada por un dispositivo que utiliza una fuente de energía externa al sistema de electrodos. (Un ejemplo es la corriente directa para la protección catódica)

Corriente parásita: corriente que fluye a través de caminos diferentes de los del circuito previsto.

Corriente telúrica: corriente en el suelo que se produce como consecuencia de fluctuaciones geomagnéticas.

Corrosión influenciada microbiológicamente (MIC): Corrosión afectada por la presencia o actividad o ambos, de microorganismos.

Corrosión por corrientes parásitas: corrosión que producen las corrientes parásitas.

Corrosión: el deterioro de un material, generalmente un metal, que surge de una reacción química o electroquímica con el ambiente.

Criterio de protección catódica: estándar para la evaluación de la eficacia de un sistema de protección catódica.

CSA:[9] Canadian Standards Association International.

CSE: electrodo de referencia de cobre-sulfato de cobre saturado y (del inglés Saturated copper-copper sulfate reference electrode)

Curva beta: gráfica de la corriente parásita dinámica (fluctuante) o el voltaje proporcional relacionado (ordenado) en comparación con los potenciales estructura-a-electrolito correspondientes en una ubicación seleccionada en la estructura afectada (abscisa). A los efectos de este estándar, "curva beta" se define como una correlación entre el potencial tubería-a-suelo de la tubería afectada y el potencial de circuito abierto entre la tubería afectada y la fuente de la corriente parásita.

DC: corriente directa (del inglés Direct current)

DCVG: gradiente de voltaje de corriente directa (del inglés Direct current voltage gradient)

ILI: inspección en línea (del inglés In-line inspection)

Inspección eléctrica: cualquier técnica que conste de mediciones eléctricas coordinadas para proporcionar una base de deducción con respecto a una condición electroquímica en particular relacionada con la corrosión o el control de la corrosión.

Inspección en línea: la inspección de una tubería mediante un instrumento o una herramienta electrónica que recorre el interior de la tubería.

Interferencia: cualquier perturbación eléctrica sobre una estructura metálica como resultado de una corriente parásita.

Interruptor de corriente invertida: dispositivo que impide la inversión de corriente directa a través de un conductor metálico.

ISO:[14] Organización Internacional para la Normalización (del inglés International Organization for Standardization)

JWWA:[16] Asociación Japonesa de Obras Sanitarias (del inglés Japan Water Works Association)

Lecho de ánodos: uno o más ánodos instalados (enterrados o sumergidos) con el propósito de suministrar protección catódica. En general, se conoce como "cama de ánodos".

Metal anfótero: metal vulnerable a la corrosión tanto en ambientes ácidos como alcalinos.

MIC: corrosión influenciada microbiológicamente (del inglés Microbiologically influenced corrosion)

MIG: arco de metal protegido por gas inerte (del inglés Metal inert-gas shielded arc) (proceso de soldadura)

mV: milivoltios

NAPCA:[16] Asociación Estadounidense de Aplicadores de Recubrimiento de Tuberías (del inglés National Association of Pipe Coating Applicators)

NEC: código eléctrico nacional (del inglés National Electrical Code) (EE. UU.)

NEMA:[17] Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (del inglés National Electrical Manufacturers Association) (EE. UU.)

NFPA:[18] Asociación Nacional de Protección contra Incendios (del inglés National Fire Protection Association) (EE. UU.)

NIST:[19] Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (del inglés National Institute of Standards and Technology) (EE. UU.)

No adherido: que no está unido a la superficie por una reacción química o por medios mecánicos.

NRC:[20] Consejo Nacional de Investigaciones (del inglés National Research Council) (Canadá)

NSF:[21] NSF International

Oxidación: (1) pérdida de electrones en un componente de una reacción química; (2) corrosión de un material expuesto a un gas oxidante a temperaturas elevadas.

PC: protección catódica (del inglés Cathodic protection)

PE: polietileno