



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

REPORTE DE TRABAJO PROFESIONAL

INSTALACIÓN DE CAMAS ANÓDICAS PROFUNDAS
PARA DUCTOS SUBTERRÁNEOS

ALUMNO: MANUEL BARRÓN RAMOS

NÚMERO DE CUENTA: 400103275

SUPERVISOR: ING. MARIANO GARCÍA DEL GALLEGO

TABLA DE CONTENIDO

1. TABLA DE FIGURAS	3
2. LISTA DE TABLAS	4
3. INTRODUCCION	5
4. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	6
5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA CORROSIÓN	7
6. ACTIVIDADES REALIZADAS	33
6.1 Trazo y caracterización de derechos de vía a cargo de los sectores Salamanca y Venta de Carpio. Particularmente el DDV 153 y el DDV 621.	33
6.2 Instalación de camas anódicas en el DDV 039.....	37
6.2.1 Proceso de Instalación de camas anódicas de corriente impresa de pozo semi profundo.....	39
6.3 Diseño de un dispositivo antivandalismo.	48
Figura 34: Doble Estructura metálica del encofrado.....	48
Figura 35: Instalación de la estructura metálica	48
Figura 36: Solicitud de patente.....	49

TABLA DE FIGURAS

FIGURA 1: CELDA DE CORROSIÓN	9
FIGURA 2: ELECTRODOS DE REFERENCIA COBRE SULFATO DE COBRE	12
FIGURA 3 : DIAGRAMA DE POURBAIX PARA FE.....	14
FIGURA 4 : CELDA DE CORROSIÓN EN TUBERÍAS.....	16
FIGURA 5: PROTECCIÓN CATÓDICA EN UNA ESTRUCTURA	17
FIGURA 6: PROTECCIÓN CATÓDICA CON ÁNODOS GALVÁNICOS.....	23
FIGURA 7 : TÍPICO SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA.....	27
FIGURA 8: ESQUEMA ELÉCTRICO DE UN RECTIFICADOR DE PROTECCIÓN CATÓDICA	29
FIGURA 9: SISTEMA XLI SEEK TECH.....	34
FIGURA 10: EJEMPLO DE CRUZAMIENTO DEL DDV CON LÍNEAS DE ALTA TENSIÓN.....	34
FIGURA 11: EJEMPLO DE REPORTE GENERADO PARA POSTES CATÓDICOS	34
FIGURA 12: DIAGRAMA UNIFILAR DEL DDV 153.....	35
FIGURA 13: A) ESQUEMA DE REGISTRO DE PERFILES TRANSVERSALES. B) EJEMPLO DE REPORTE GENERADO PARA CAMBIOS DE HOMBRO (CRUCES ENTRE DUCTOS).....	35
FIGURA 14: RECOPIACIÓN EN SOFTWARE.....	36
FIGURA 15: DERECHO DE VÍA 153.....	36
FIGURA 16: DERECHO DE VÍA 621.....	37
FIGURA 17: DDV 039.....	38
FIGURA 18: LECTURA DE UN POTENCIAL NATURAL DESPUÉS DE HACER UN DESPUENTE ENTRE EL ISOBUTANO DE 6” Y EL POLIDUCTO DE 16” DE DIÁMETRO.	39
FIGURA 19: ESQUEMA DE UNA CAMA ANÓDICA.....	39
FIGURA 20: EJEMPLO DE SIMULACIÓN DE PROTECCIÓN CATÓDICA DE LAS LÍNEAS DE TRANSPORTE DE GAS EN UN CAMPO DE PRODUCCIÓN.....	40
FIGURA 21: ESTUDIO DE RESISTIVIDAD POR MEDIO DEL MÉTODO SCHLUMBERGER.....	41
FIGURA 22: INTERPRETACIÓN DE LAS COMPOSICIONES DE SUELO POR MEDIO DEL MÉTODO SCHLUMBERGER.	41
FIGURA 23: LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO	42
FIGURA 24: PERFORADORA DE 13 HP	42
FIGURA 25: A) SONDA DE RESISTIVIDAD. B) CÁLCULO DE POSICIÓN DE CADA ÁNODO.	43
FIGURA 26: A) VÁLVULA DE DISTRIBUCIÓN DE COQUE, B) SECCIÓN ACTIVA DEL ENCAMISADO. 43	
FIGURA 27: A) TUBO DE INYECCIÓN DE COQUE, B) ACOPLAMIENTO DE LA VÁLVULA DE DISTRIBUCIÓN.....	44
FIGURA 28: A) COLOCACIÓN DE LOS ÁNODOS EN EL TUBO DE VENTEO, B) SELLO DEL TUBO DE VENTEO EN SU PARTE INFERIOR	45
FIGURA 29: A) TANQUE DE REFLUJO, B) LLENADO DE COQUE EN EL ENCAMISADO.	45
FIGURA 30: ARREGLO DE ENCAMISADO, ÁNODOS Y TUBO DE VENTEO	46
FIGURA 31: SELLADO DE LA PERFORACIÓN DE LA CAMA ANÓDICA.....	46
FIGURA 32: A) CONEXIÓN DE LA CAMA ANÓDICA AL RECTIFICADOR, B) CASETA DE RECTIFICADOR.....	47
FIGURA 33: ENCOFRADO MOSTRANDO EL TUBO DE VENTEO.....	47
FIGURA 34: DOBLE ESTRUCTURA METÁLICA DEL ENCOFRADO	48
FIGURA 35: INSTALACIÓN DE LA ESTRUCTURA METÁLICA.....	48
FIGURA 36: SOLICITUD DE PATENTE	49

1. LISTA DE TABLAS

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DE OXIDACIÓN Y REDUCCIÓN	7
TABLA 2: EJEMPLOS DE OXIDACIÓN Y REDUCCIÓN	7
TABLA 3: VELOCIDAD DE CONSUMO PARA VARIOS METALES (K)	15

2. INTRODUCCION

La corrosión es el deterioro de un metal o sus propiedades debido a la reacción con su medio ambiente. Existen muchas formas de la corrosión, algunas son encontradas con frecuencia en la vida diaria y en nuestro trabajo. Algunos ejemplos de corrosión son: corrosión general, localizada, por picadura, por hendiduras, filiforme, galvánica, intergranular y rozamiento.

Todas las formas de la corrosión, con la excepción de algunas formas de corrosión en alta temperatura, ocurren mediante la acción de celdas electroquímicas. Estas celdas pueden actuar de muchas formas, pero sus principios generales, pueden ser aplicados a la mayoría de los casos. Muchos de los métodos empleados en el control de la corrosión involucran la interrupción intencional de la acción de las celdas electroquímicas responsables.

La Corrosión tiene gran impacto tanto en términos sociales como económicos. En los Estados Unidos, las pérdidas directas debidas a la corrosión son de más de \$276 billones de dólares anuales o el 3.1% del Producto Interno Bruto. Estas pérdidas incluyen productos domésticos tales como automóviles, calentadores de agua, plomería, y de superficies expuestas tales como canales en techos y cañerías de salida de agua. También incluye el costo de la corrosión en la industria, y pérdidas debidas al deterioro de infraestructura pública incluyendo puentes, edificios, sistemas de abastecimiento y desecho de agua y de otras empresas de servicio público. El costo de la corrosión no puede ser eliminado completamente. Aún si la tecnología de control de corrosión pudiera eliminarla totalmente, habría que considerar el costo de las medidas de control en el análisis de reducción de los costos de corrosión. Es por esto que usualmente resulta más económico controlar la corrosión a un cierto límite que eliminarla completamente.

Los altos costos en las diferentes industrias relacionados con la corrosión, se ven representados en los excesivos mantenimiento, reparación y reemplazo; lo que representa pérdida de producción y pérdida de tiempo por paros además de costo económico por estas actividades. También puede ocurrir la contaminación de producto, pérdida de producto, pérdida de eficiencia en el proceso y de energía, accidentes, costos de limpieza de contaminación ambiental, fugas. Problemas que por ende generan efectos negativos en los clientes como la pérdida de confianza del consumidor, pérdida de respaldo, deterioro de la apariencia y aumento en las regulaciones.

En este documento se presentan alternativas para el control de la corrosión así como un fundamento teórico introductorio a éste problema.

3. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

En Corrosión y Protección Ingeniería S.C. se cuenta con personal altamente calificado en el ramo de la investigación científica, a partir de la cual se desarrollan propuestas de solución a los problemas de corrosión, además se cuenta con la asistencia de NACE Internacional en la parte concerniente a la capacitación del personal, la cual Certificar a nuestros ingenieros y técnicos en sistemas de protección catódica, recubrimientos, corrosión interior, proporcionando reconocimiento oficial de validez internacional, cierto es que la empresa actualmente se encuentra en un proceso de certificación a nivel organizacional y de procesos en la norma ISO 9001-2000 con un avance del 80% la cual se tiene programado obtener en su totalidad para el año 2009 y en la cual se tiene programado ingresar ésta nueva línea de negocios así como el personal contemplado para laborar en este proyecto de investigación.

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA CORROSIÓN

La Corrosión como un Proceso Electroquímico

Con la excepción de algunas reacciones de corrosión en alta temperatura, todas las reacciones de corrosión son reacciones electroquímicas ocurriendo en un electrolito. En el ánodo, la oxidación ocurre y átomos del metal son removidos de la estructura metálica, siendo incorporados en el electrolito en forma de iones [1]. Una reacción con oxígeno no es necesaria para que la oxidación ocurra. En la terminología usada en corrosión, la oxidación es simplemente la formación de iones positivos mediante la pérdida de electrones (Tabla 1). Las reacciones que ocurren en el cátodo pueden involucrar muchos compuestos, pero la reducción de hidrógeno ($H^+ + e^- \rightarrow H_2$) y la reducción del agua ($2H_2O + O_2 + 4e^- \rightarrow 4(OH^-)$) son reacciones catódicas muy comunes [1] [2] (Tabla 2).

Tabla 1: Características de Oxidación y Reducción

OXIDACIÓN	REDUCCIÓN
Pérdida de electrones	Ganancia de electrones
Aumento en carga positiva	Aumento en carga negativa
Reducción de carga negativa	Reducción en carga positiva
Ocurre en el ánodo	Ocurre en el cátodo
Los electrones permanecen en el metal	El metal es la fuente de electrones

Tabla 2: Ejemplos de oxidación y reducción

Oxidación	Reducción
$Fe^0 \rightarrow Fe^{++} + 2e^-$	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$
$Fe^0 \rightarrow Fe^{+++} + 3e^-$	$2H_2O + O_2 + 4e^- \rightarrow 4(OH^-)$
$Fe^{++} \rightarrow Fe^{+++} + e^-$	$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

La corrosión requiere un circuito completo

Cuando una reacción anódica ocurre, los electrones permanecen en el metal y, a menos que sean consumidos en reacciones en el cátodo, tenderán a detener la reacción de corrosión. La reacción en el ánodo que resulta en la pérdida de metal

solo puede proceder tan rápido como los electrones son consumidos en el cátodo. La velocidad de cualquier reacción química es disminuida por la formación o crecimiento de una barrera de productos de corrosión [1] [2] [3].

En este caso, los productos de reacción de la reacción de oxidación son electrones que permanecen en el metal e iones metálicos que entran en la solución. Generalmente este tipo de reacción es descrita por:



La acumulación de iones metálicos en el electrolito o bien de electrones en el metal tenderá a reducir la velocidad de reacción. En muchas reacciones de corrosión, los iones metálicos son consumidos por reacción con otras moléculas o compuestos en el electrolito. Estas reacciones reducen el contenido de iones metálicos disueltos y permiten que la oxidación electroquímica proceda o continúe rápidamente. Los iones metálicos producidos por oxidación en el ánodo se combinan con otras sustancias en el electrolito para formar productos de corrosión [1]. La formación de productos de corrosión es una reacción de lado que puede afectar la velocidad de corrosión, pero no está directamente involucrada en las reacciones electroquímicas de oxidación/reducción [2]. Las reacciones catódicas consumen electrones.

Los metales son generalmente buenos conductores de electricidad. A diferencia de un electrolito, lo cuales conducen electricidad mediante el flujo de iones, los metales conducen electricidad mediante el flujo de electrones [1]. Los electrones fluyen en el metal de áreas con más carga negativa (exceso de electrones) hacia áreas con más carga positiva (pocos electrones). Un punto de confusión es la diferencia entre el flujo de la corriente y el flujo de electrones. Cuando la electricidad fue estudiada por primera vez en el siglo XVIII, el mecanismo actual de flujo eléctrico no era conocido. Lo que se sabía era que algo fluía entre un circuito eléctrico (flujo eléctrico en metales y otros conductores sólidos) y un circuito electrolítico (flujo eléctrico a través de electrolitos). Los primeros científicos en este campo, tal como Benjamín Franklin, establecieron una convención para marcar o distinguir potenciales eléctricos y flujo eléctrico [3]. Ellos arbitrariamente asignaron una carga positiva al conductor de carga eléctrica en un metal y, entonces, el flujo de esta carga iba de áreas más positivas hacia áreas más negativas en un circuito. Desafortunadamente estaban equivocados. Al final del siglo XIX, los físicos descubrieron el electrón y encontraron que fue el movimiento del electrón cargado negativamente, el responsable del flujo de electricidad en los metales. Sin embargo, la convención permaneció y el flujo “convencional de corriente” en un circuito eléctrico es aún descrito como el flujo de carga positiva desde las áreas más positivas del circuito hacia las áreas más negativas. Ver Figura 1. El flujo de electrones en el metal va en dirección opuesta [1], [2].

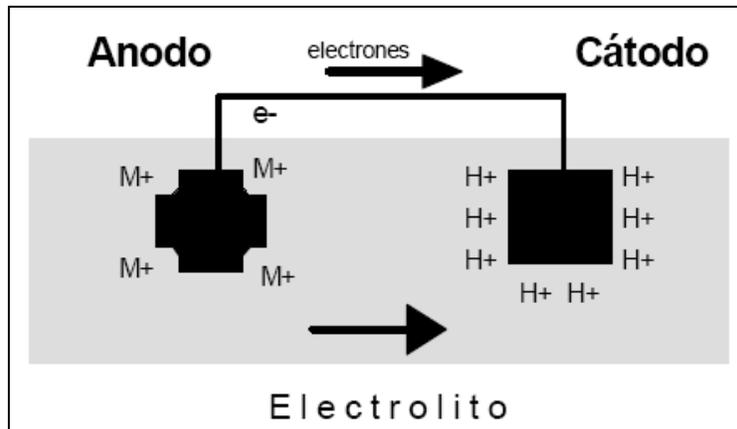


Figura 1: Celda de corrosión

La corriente eléctrica también fluye a través del electrolito para balancear el flujo de electrones en el metal. En este caso, los conductores de la corriente eléctrica son los iones en el electrolito. Los aniones (iones cargados negativamente) fluyen hacia el ánodo y los cationes (iones cargados positivamente) fluyen hacia el cátodo [1]. La reacción completa de corrosión requiere de todos estos componentes para estar presente y activa. Los componentes y características requeridos de una celda electroquímica son:

- **Ánodo:** El ánodo es el sitio de pérdida de metal y donde los electrones son producidos.
- **Cátodo:** El cátodo es el sitio donde los electrones producidos en el ánodo son consumidos.
- **Ruta metálica:** La ruta metálica conduce los electrones de los sitios anódicos a los sitios catódicos.
- **Electrolito:** El electrolito provee los reactantes para la reacción catódica y permite el flujo de iones.

La reacción de corrosión es reducida o eliminada a medida que cualquiera de los procesos anteriormente descritos es disminuido o eliminado.

Potencial

La medición de un potencial eléctrico es una forma de medir diferencias de energía. En corrosión, el ánodo (electrodo negativo) está en un estado de energía más alto que el cátodo (electrodo positivo). Los electrones fluyen de un área de mayor energía a una de menor energía. El flujo de electrones depende de la diferencia de energía existente entre el ánodo y el cátodo [2]. Esta energía puede ser medida como una diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo, siempre que un voltímetro pueda ser colocado entre el ánodo y el cátodo en el circuito eléctrico. Esta diferencia de energía (potencial) es normalmente del orden de unos pocos voltios o menor. La medición de la diferencia de potencial entre acero galvanizado y cobre sumergidos en agua es un ejemplo de tal diferencia de potencial. El potencial del electrodo conectado al cable de prueba común es más negativo que el potencial del electrodo conectado al cable positivo cuando la lectura de potencial es positiva [3]. El potencial del acero galvanizado es más negativo que el de cobre por 0.851 V. En este caso, el potencial en cada metal no fue medido; lo que se midió fue la diferencia de potencial entre ellos. Como en el caso de medir la altura en varios puntos de la tierra, es necesario establecer una altura de referencia a fin de hablar del potencial de electrodos individuales (ánodos y cátodos). En el caso de medir alturas desde la superficie de la tierra, el nivel del mar es la altura de referencia y tiene un valor arbitrario de cero. Un punto dado puede ser referido en términos de pies (ft) por arriba (o por de bajo) del nivel del mar. La diferencia de altura entre dos puntos puede ser determinada substrayendo la altura del punto más alto (con respecto al nivel del mar) de la altura del punto más bajo (también respecto al nivel del mar). El nivel del mar es útil como altura de referencia porque es aproximadamente la misma alrededor de la tierra.

En la medición de potenciales, un electrodo de referencia es frecuentemente empleado. Un electrodo de referencia es construido de tal forma que su potencial sea reproducible. Muchos tipos de electrodos de referencia pueden ser construidos, y cada uno es particularmente útil para un uso específico [3]. Para uso en el laboratorio, al electrodo de referencia de hidrógeno ha sido asignado un potencial de cero. Otros electrodos de referencia que pueden ser usados más convenientemente en laboratorio o en campo pueden ser comparados con el arbitrario potencial de cero del electrodo de hidrógeno. Cuando los potenciales son medidos con respecto a electrodos de referencia que tienen valores diferentes de cero, es necesario indicar cual electrodo de referencia fue usado [2], [1]. En el caso de mediciones de alturas en puntos de la tierra, podemos medir la altura de diversos picos de montaña por arriba del nivel de un lago, y luego encontramos la altura de los picos respecto al nivel del mar, sumando la altura del lago por arriba del nivel del mar a la altura de los picos por arriba del lago [3].

Electrodos de Referencia

Los electrodos de referencia de calomel, palta y cobre son usados frecuentemente bajo condiciones de laboratorio o de campo [1]. Para hacer un electrodo de referencia con un potencial reproducible, un metal es inmerso en un electrolito de una composición química reproducible, en particular, con un contenido específico de iones.

- Electrodo de Referencia de Calomel

Este electrodo de referencia es usado principalmente bajo condiciones de laboratorio. Está compuesto de mercurio como metal y una solución de cloruro de potasio como electrolito con cloruro de mercurio (calomel) como compuesto intermedio. El potencial del electrodo de calomel depende de la concentración del cloruro de potasio empleado; las concentraciones comúnmente empleadas son saturadas, 1 normal y 0.1 normal. El electrolito en el electrodo de referencia y el electrolito en el cual es inmerso el electrodo a ser medido son puestos en contacto mediante un disco de vidrio poroso o un tubo capilar. El electrodo de referencia es normalmente construido de vidrio y no es lo suficientemente duradero para mediciones en campo.

- Electrodo de Referencia Plata-Cloruro de Plata

Este electrodo de referencia es usado bajo condiciones de laboratorio y de campo. El metal es la plata; la plata es recubierta con cloruro de plata. En el “tipo húmedo” del electrodo de plata, una solución de cloruro de potasio es usada como electrolito y el potencial del electrodo de referencia depende de la concentración del cloruro de plata. Una solución 1 normal o bien saturada es comúnmente empleada [3]. El electrolito en el electrodo de referencia y el electrolito en el cual es inmerso el electrodo a ser medido son puestos en contacto mediante un disco de vidrio poroso o un tubo capilar. En el electrodo de plata-cloruro de plata de “tipo seco”, la plata recubierta con cloruro de plata es directamente inmersa en el electrolito que contiene el electrodo a ser medido [2], [1]. Este tipo de electrodo de referencia es más comúnmente usado en agua de mar, donde la concentración de cloruro (el ión importante respecto al potencial de este electrodo de referencia) es razonablemente constante. El electrodo de referencia de cloruro de plata de tipo seco es particularmente fuerte y es ampliamente usado para medir potenciales de metales en agua de mar.

- Electrodo de Referencia de Cobre-Sulfato de Cobre

El electrodo de referencia de cobre-sulfato de cobre es ampliamente usado en medición de potenciales en suelos y en agua fresca. Consiste de una varilla o alambre de cobre inmerso en una solución saturada de sulfato de cobre. El contacto entre el electrolito de sulfato de cobre y el electrolito externo es por medio de un tapón poroso, normalmente hecho de un material cerámico o madera. El electrodo de cobre-sulfato de cobre es particularmente fuerte y barato. Al medir potenciales es importante conocer y registrar el tipo de electrodo de referencia que es usado. Ver Figura 2. En la siguiente imagen, el potencial del zinc es medido usando un electrodo de referencia de cobre sulfato de cobre. En este caso, el zinc es conectado a la Terminal negativa. Una lectura positiva en el voltímetro indica que el potencial del zinc es más negativo que el del electrodo de referencia cobre sulfato de cobre por 1.029 V. El potencial debe ser reportado como -1.029 con respecto al electrodo de referencia de cobre-sulfato de cobre. La información anterior es usualmente registrada como -1.029 V vs Cu/CuSO₄



Figura 2: Electroodos de referencia cobre sulfato de cobre

Las Series Galvánicas

Las series galvánicas son una lista de metales con sus potenciales en orden en un medio ambiente específico. Una serie galvánica es similar a la serie de potencial electromotriz. La serie galvánica puede ser diferente para diferentes medio ambientes. La serie galvánica más comúnmente vista es para metales en agua de mar. Una corta lista de la anterior se tiene a continuación:

Lado Activo (Más Negativo)	Magnesio
	Zinc
	Aleaciones de Aluminio
	Acero al Carbón
	Hierro Colado
	Acero Inox 13%Cr (tipo 410)
	(Activo)
	Acero Inox. 18-8 (tipo 304)
	(Activo)
	Bronce Naval
	Bronce Amarillo
	Cobre
	Aleación Cobre-Níquel 70-30
	Acero Inox 13%Cr (tipo 410)
	(Pasivo)
	Titanio
	Acero Inox. 18-8 (tipo 304)
	(Pasivo)
	Grafito
	Oro
Lado Noble (Más Positivo)	Platino

Si los potenciales de metales son medidos en otro medio ambiente y enlistados en orden de sus potenciales, puede ser desarrollada una serie galvánica para ese medio específico. Pueden darse cambios en las posiciones de varios metales en las series galvánicas para diferentes ambientes [3], [4]. Las series galvánicas son muy útiles para determinar las interacciones entre metales cuando son acoplados. Hay una tendencia general de los metales activos a corroerse más rápidamente que aquellos metales que son menos activos, pero esto solo es solo una tendencia y hay muchas excepciones. Las series galvánicas solo consideran el potencial de corrosión.

Serie fem

La serie de fuerza electromotriz es similar a las series galvánicas ya que se tiene también un listado de potenciales de oxidación en orden respecto a sus valores. Sin embargo, las series galvánicas ordenan los metales de acuerdo a sus potenciales en un solo medio ambiente. La serie fem dan la lista de metales en orden de sus potenciales en soluciones de concentraciones estándar de iones (1 M). La serie fem es también llamada la series estándar de oxido/reducción (redox). Estas son los potenciales E° para metales puros en solución de sus iones a una actividad de 1. La serie fem puede ser usada para determinar si un metal se corroerá en un medio ambiente dado [1], [3]. Un metal con una fem más negativa tenderá a oxidarse, y un metal con una fem más positiva tenderá a reducirse. En el

caso de zinc en agua (el agua reacciona al potencial de hidrógeno), el zinc tiene un potencial más negativo que el hidrógeno y tenderá a corroerse [2]. En el caso de cobre en agua, el cobre tiene una fem más positiva que el hidrógeno y tenderá a ser estable. Es importante recordar que la serie fem es para metales puros en soluciones con actividad estándar. Las reacciones de materiales de ingeniería impuros en otras soluciones pueden y serán diferentes.

Diagramas de Pourbaix

Los diagramas de Pourbaix son empleados para predecir la estabilidad de metales y productos de corrosión en medios con pH variable. Ver Figura 3. El pH es la relativa acidez o alcalinidad de una solución [4]. Un pH de 7 es el valor neutro, uno menor a 7 es ácido, y uno mayor a 7 es alcalino.

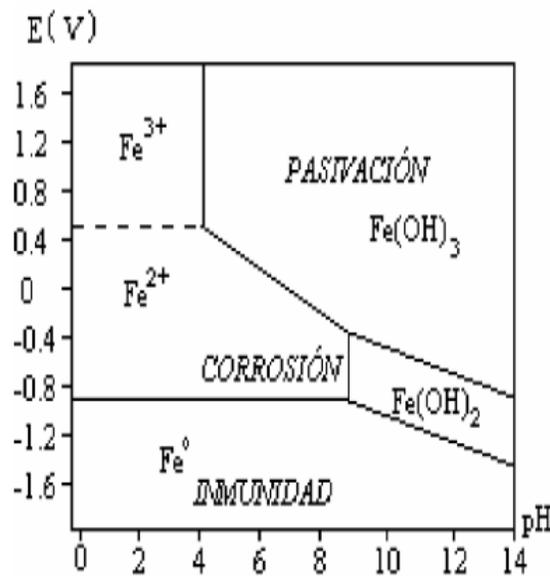


Figura 3 : Diagrama de pourbaix para Fe

Las áreas donde el metal se muestra (Fe en este caso), indican la estabilidad del hierro bajo esas condiciones de pH y potencial. Donde los iones son estables (en este caso Fe^{2+} y Fe^{3+}), se espera que el hierro se corroa fácilmente [4]. En condiciones donde se forman productos de la corrosión (en este caso $Fe(OH)_2$, $Fe(OH)_3$ y $H(FeO_2^-)$ - reacciones para formar esos compuestos o iones son posibles, pero en algunos casos, los productos de corrosión pueden cubrir totalmente la superficie metálica e inhibir la corrosión.

Los diagramas de Pourbaix son muy útiles para predecir si la corrosión puede o no ocurrir bajo ciertas condiciones de pH y potencial, para estimar la composición de

los productos de corrosión, y para predecir que cambios en pH y potencial pueden incrementar, reducir o eliminar la corrosión.

Cinética de la Corrosión

La cinética es el estudio de la velocidad. Aplicada a corrosión, la cinética determina las velocidades de los procesos químicos responsables de la corrosión. Así como el flujo de corriente (electrones, en realidad) es muy fácil de medir, normalmente medimos las velocidades de reacciones electroquímicas responsables de la corrosión midiendo el flujo de corriente [3], [4]. La cantidad de corriente fluyendo sobre un período de tiempo puede ser usada para calcular la cantidad de pérdida de material.

Velocidad de Corrosión

Ley de Faraday

La Ley de Faraday relaciona el peso de metal perdido en una celda de corrosión, con el tiempo y la corriente. Esta ley tiene la siguiente expresión:

$$W_t = KIT = \text{kg}$$

Donde:

W_t = peso perdido [kg]

K = equivalente electroquímica [kg/A-año]

I = Corriente [A]

T = Tiempo [años]

Tabla 3: Velocidad de consumo para varios metales (k)

Metal	K [kg/A-año]	K [libra/A-año]
Carbón	1.3	2.86
Aluminio	3	6.5
Magnesio	4	8.8
Hierro/Acero	9.1	20.1
Hierro	0.5	1
Silicio/Cromo		
Níquel	9.6	21.2
Cobre	20.8	45.8
(Monovalente)		
Zinc	10.7	23.6
Estaño	19.4	42.8
Plomo	33.9	74.7

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 atmósfera [4]. Frecuentemente, la protección catódica se utiliza junto con otros métodos de control de corrosión, como recubrimientos y aislamiento eléctrico. Sobre una superficie que se corroe, existen cientos de pilas de corrosión locales, o microscópicas. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de celda microscópica sobre la superficie de una tubería. Existe una diferencia de potencial entre los ánodos y cátodos de estas celdas; esta diferencia de potencial es la que produce la corriente de corrosión.

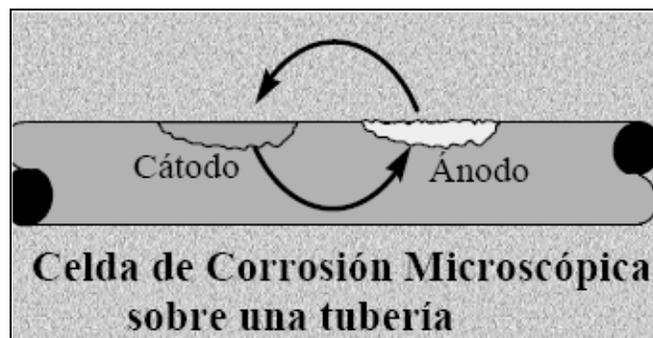


Figura 4 : celda de corrosión en tuberías.

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 [2], [3]. 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 [4]. 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. Ver Figura 5.

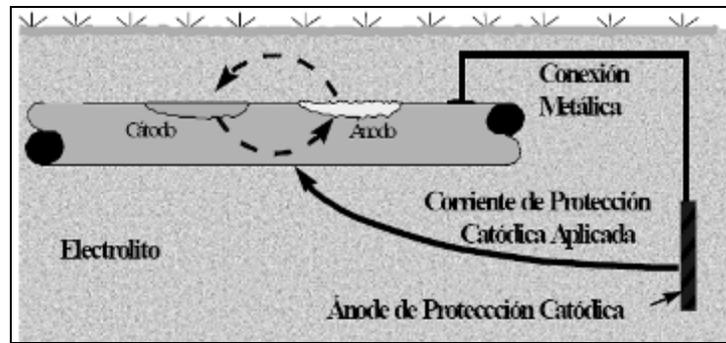


Figura 5: Protección catódica en una estructura

La corriente de protección catódica abandona el ánodo, 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 [2], [4]. 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. Todo esto en términos de flujo convencional de corriente.

Definición de protección catódica

La protección catódica es la polarización catódica de todas las zonas con potenciales nobles (cátodos) hasta el potencial más activo sobre la superficie metálica. La protección catódica se alcanza convirtiendo la estructura en el cátodo de un circuito de corriente continua [2], [3]. Se ajusta la circulación de corriente para asegurar que el potencial polarizado es al menos tan activo como el del sitio anódico más activo de la estructura.

Polarización

La polarización es la modificación del potencial a circuito abierto de un electrodo, como resultado del pasaje de corriente. Hay dos tipos principales de polarización:

- Polarización por Concentración – relacionada con la cantidad de determinados iones cercanos a la superficie de un ánodo o un cátodo.
- Polarización de Activación – relacionada con la energía requerida por la reacción de oxidación o reducción.

A medida que la corriente circula a lo largo de un período de tiempo, hay polarización tanto en el ánodo como en el cátodo. La polarización disminuye la

diferencia de potencial entre las superficies anódica y catódica, causando una reducción en la corriente de corrosión y en la velocidad de corrosión [1], [2], [3].

La despolarización tiene efectos contrarios a los de la polarización. Algunos agentes despolarizadores son oxígeno disuelto, actividad microbiológica y circulación de agua. Cuando existe un balance entre los efectos polarizadores y despolarizadores, se alcanza el equilibrio. La diferencia de potencial y la corriente de corrosión entre el ánodo y el cátodo, alcanza un estado estacionario. La velocidad de corrosión es una función de esta corriente final.

Estructuras Enterradas o Sumergidas

En la mayoría de los programas de control de corrosión, los recubrimientos constituyen la estrategia principal. Desafortunadamente, los recubrimientos no son perfectos, e incluso se acelera la corrosión en las fallas (holidays) del recubrimiento. Justamente, en estos casos se utiliza la protección catódica para evitar la corrosión en estos holidays [2]. El recubrimiento también es importante en la ingeniería de protección catódica. Si bien es posible proteger una estructura desnuda, también es cierto que en una estructura recubierta sólo hay que proteger el metal expuesto en los holidays. Esto reduce drásticamente el tamaño y costo de los sistemas de protección catódica. La inspección del recubrimiento es importante porque lo ideal es instalar la estructura con el recubrimiento en las mejores condiciones posibles; de esta forma, el sistema de protección catódica funcionará tal y como ha sido diseñado.

Tipos de Recubrimiento para Estructuras Enterradas

- **Exposición a la Luz Solar:** Por lo general, los recubrimientos diseñados para estructuras enterradas no tienen una buena resistencia a la luz ultravioleta. En consecuencia, debe evitarse almacenar ductos recubiertos al sol por períodos prolongados.
- **Barnices o Esmaltes Bituminosos:** Estos recubrimientos están compuestos por una base de alquitrán o asfalto natural, reforzado con fibra de vidrio y una envoltura de fieltro que suministran una mayor fuerza mecánica y resistencia a impactos. El exterior de la estructura se envuelve en papel kraft para protegerla durante el envío y la instalación. Estos recubrimientos se usan desde principios del siglo pasado, pero cada vez son menos frecuentes debido a su toxicidad y los problemas ambientales que acarrear. Las estructuras recubiertas con barnices bituminosos deben manejarse con cuidado para no dañar el recubrimiento.

- Poliolefinas y Polietileno Extruido: Estos sistemas de recubrimiento consisten en poliolefinas o polietileno extruidos sobre un adhesivo de base butílica o asfáltica. Tienen alta resistencia a los impactos y a la aparición de holidays a lo largo del tiempo.
- Cintas: La mayor parte de estos sistemas se aplican en frío. Consisten en un “primer”, una capa interna de un elemento anticorrosivo sellador, con una capa exterior de protección mecánica, generalmente polietileno o polibutileno. También hay varios sistemas multi-capas disponibles. Hay que embalarlos y manejarlos con cuidado para evitar daños, y son proclives al despegue (disbonding) si la cinta no fue lo suficientemente tensada.
- Epoxi Fundido (FBE ó Fusion Bonded Epoxi): Estos recubrimientos consisten en una resina en polvo rociada sobre un ducto a 400-500°F (204°C a 260°C). El espesor típico es de 12 a 15 mm (0.304 mm a 0.381 mm). Ofrecen una buena adhesión al acero y resisten bien los daños por impacto o abrasión. Las temperaturas de operación varían entre los -40°F a 140°F (-40°C a 60°C). A largo plazo (10 a 15 años), la absorción de humedad puede ser un problema, por lo que los requerimientos de protección catódica pueden aumentar con el tiempo.
- Resinas Líquidas de Dos Componentes: Estos recubrimientos consisten en una resina líquida, generalmente un epoxy, y un agente de curado. Estos dos componentes se rocían sobre el ducto en una proporción recomendada por el fabricante, generalmente en una o dos capas para obtener un espesor final de entre 12 y 16 mm (0.304 mm a 0.406 mm). Estos recubrimientos también son resistentes a los daños por impactos y abrasión.
- Uniones Soldadas y Otros Revestimientos de Campo: Las juntas soldadas y otros accesorios deben revestirse en campo. Para este procedimiento se usan distintos materiales, incluyendo mantas termo-contraíbles, cintas de aplicación en frío o caliente, resinas líquidas de dos componentes, masillas bituminosas y epoxi fundido. El recubrimiento seleccionado debe ser compatible con el recubrimiento adyacente y tan durable como el que ya tiene la propia estructura. Deben tomarse varias precauciones para garantizar la aplicación de un recubrimiento en campo. Entre ellas se encuentran:

- **Preparación de Superficie:** Es esencial para que el recubrimiento se adhiera correctamente al metal. Cada tipo de recubrimiento tiene requisitos específicos a seguir para la preparación de la superficie. Para cualquier recubrimiento, la superficie debe estar limpia y seca. Muchas veces esto puede lograrse con herramientas mecánicas pero en algunos casos se requiere el uso de sopleteado con abrasivos y solventes. Algunos recubrimientos requieren un imprimador (primer) sobre la superficie preparada antes de aplicar el recubrimiento. La aplicación del “primer” debe efectuarse según las especificaciones del fabricante y dejarse secar hasta alcanzar la consistencia especificada antes de aplicar el recubrimiento externo.
- **Aplicación:** Los recubrimientos pueden aplicarse en frío o en caliente. Los más comunes hoy en día para el trabajo de campo son los epoxis líquidos, las mantas termocontraíbles y distintos tipos de cinta. Todos deben aplicarse según los requerimientos del fabricante.

Otros métodos para el control de la corrosión en estructuras enteradas

- **Selección de Materiales:** La corrosión tiene lugar como resultado de una diferencia de potencial entre dos componentes de un sistema. Debe haber un ánodo y un cátodo. Si se construye una estructura compleja con materiales cercanos en la serie galvánica, se reduce la posibilidad de que existan diferencias de potencial; en cambio, utilizar materiales muy separados en la serie galvánica (como acero y cobre) puede crear una celda de corrosión. Cuando las consideraciones mecánicas lo permiten, se debe elegir siempre materiales que no tengan o tengan la menor cantidad posible de diferencia de potencial entre sí con respecto a un electrolito común [3], [1], [4]. Los materiales no-metálicos también representan un papel importante en el control de la corrosión.

Procedimientos de Inspección

1. Inspección Inicial

Es necesario inspeccionar la preparación de superficie para asegurar que se cumplan las especificaciones. Las condiciones ambientales como temperatura, humedad y punto de rocío deben compararse con las especificaciones del

fabricante ó consultor, para asegurar que la superficie se prepara y se aplica el recubrimiento en una atmósfera adecuada para que aquel funcione correctamente.

2. Inspecciones de Mantenimiento

Si bien el Inspector de Recubrimientos Certificado por NACE (Asociación nacional de ingenieros de corrosión) [4], [3] es el que debe realizar inspecciones detalladas, puede utilizarse al personal de protección catódica para realizar una inspección visual del recubrimiento. Esto puede hacerse a simple vista, buscando signos de despegue (disbonding), daños, grietas, fisuras, y cualquier otro tipo de deterioro. El propósito de esta inspección es determinar la condición del recubrimiento para establecer si es necesario reacondicionarlo. Si se encuentra una porción de recubrimiento en malas condiciones, puede llegar a ser necesario desenterrar más tubería para ver hasta dónde llega el deterioro.

3. Aislamiento Eléctrico

Los elementos de aislación eléctrica pueden usarse para separar diferentes metales u otros componentes anódicos y catódicos en una celda de corrosión. Insertando un material dieléctrico se interrumpe el camino electrónico de la pila, aislando el ánodo del cátodo. La aislación eléctrica es una parte importante del trabajo de protección catódica.

4. Control Ambiental

En los medios acuosos pueden introducirse diversos químicos al agua o a la corriente de cualquier fluido, para reducir la corrosividad con respecto al metal expuesto. Se utilizan procedimientos similares en estructuras que transportan gases o líquidos corrosivos. Se ha aplicado el control ambiental a las instalaciones enterradas, pero el éxito ha sido limitado. El uso efectivo del control ambiental se reduce básicamente a líquidos en espacios limitados como ductos, calderas y tanques.

5. Inhibidores

Los inhibidores se añaden a los líquidos para cambiar sus características o para formar películas protectoras sobre la superficie metálica. Algunos inhibidores forman películas sobre las zonas anódicas o catódicas sobre la superficie metálica [2]. Otros, como los que se usan en los sistemas de agua potable, depositan una película protectora sobre toda la superficie metálica [2, [3], [4]. El oxígeno, que representa un papel importante en las reacciones de corrosión, puede controlarse

mediante el agregado de secuestrantes de oxígeno. Esto es de especial importancia en el tratamiento de agua en calderas.

6. Ajuste del pH

El pH del agua modifica la capacidad de precipitar una incrustación protectora. El control de pH se usa para producir un agua que no sea agresiva a los ductos y recipientes metálicos con los que está en contacto.

7. Mantenimiento del Control Ambiental

Los inhibidores y cualquier otro tipo de control ambiental deben aplicarse en las dosis apropiadas y mantenerse en forma adecuada. La corrosión podrá evitarse dependiendo de la concentración de químicos en el líquido, por lo que deben efectuarse ensayos y controles químicos en forma regular.

Estructuras que pueden protegerse con protección catódica

La mayor parte de las estructuras inmersas en un electrolito pueden ser protegidas con protección catódica. Algunos ejemplos de estructuras a las que generalmente se aplica protección catódica son:

- Estructuras enterradas o sumergidas de acero, hierro, aluminio y estructuras de hormigón pretensado (PCCP).
- Tanques y estructuras enterradas
- Fondos externos (tanto primarios como secundarios) de tanques de almacenamiento a nivel
- Interiores de tanques de agua
- Cascos de barco
- Tanques de balasto
- Muelles
- Pilotes de fundación en tierra y en agua
- Calzadas de puentes
- Interiores de tanques de almacenamiento de agua caliente
- Cajas y placas de tubos de intercambiadores de calor
- Superficies internas de calentadores de crudo
- Acero en hormigón reforzado
- Cables de teléfono y cables eléctricos forrados con plomo o acero

Existe la posibilidad de sobreproteger algunos materiales como alambre de pretensado, plomo y aluminio. En aceros de alta resistencia, una corriente de protección catódica elevada puede generar fragilización por hidrógeno; en metales anfóteros, como aluminio o plomo, puede incluso acelerar la corrosión [3], [4]. Existen dos métodos para suministrar protección catódica a una estructura y son: sistema de ánodos galvánicos y sistema de corriente impresa [3], [4].

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 [1], [2]. El ánodo galvánico se conecta a la estructura directamente o a través de una estación de medición, para poder monitorearlo [3]. Ver Figura 6. En la siguiente figura se muestra un típico sistema de protección catódica con ánodos galvánicos. El aluminio, magnesio y zinc son usados comúnmente como ánodos galvánicos

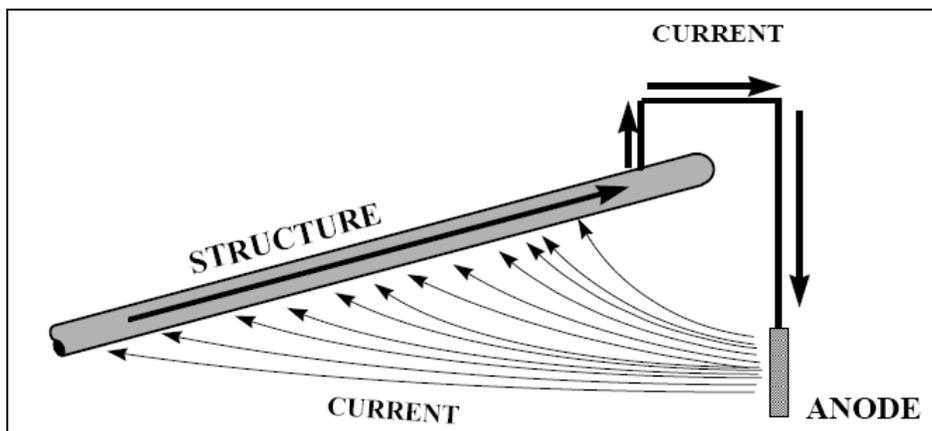


Figura 6: Protección catódica con ánodos galvánicos.

Aplicación de los Sistemas de Ánodos Galvánicos

Algunas de las condiciones en las que se utilizan sistemas de ánodos galvánicos son:

- Cuando se requiere una corriente relativamente pequeña.
- Normalmente restringido a electrolitos de baja resistividad.
- Para suministrar protección catódica a una porción determinada de la estructura.

Algunos operadores instalan un ánodo galvánico en cada uno de los puntos donde se repara una pérdida, en lugar de instalar un sistema de protección catódica completo. Estos casos pueden darse en sistemas de metal desnudo o pobremente recubierto, en los que la protección catódica completa sería poco práctica desde el punto de vista del costo [1], [4], [3].

Cuando se requiere corriente adicional en áreas problemáticas. Algunas estructuras con sistemas de protección catódica por corriente impresa, pueden tener algunos puntos en que se necesitan pequeñas cantidades de corriente adicional, que pueden suministrarse con ánodos galvánicos. Algunos ejemplos:

- Válvulas enterradas con recubrimiento incompleto o malo
- Encamisados en corto que no pueden ser eliminados
- Secciones aisladas en las que el recubrimiento está dañado
- Zonas en las que la pantalla eléctrica (electrical shielding) impide la distribución efectiva de corriente desde sistemas de corriente impresa lejanos
- En casos de interferencia catódica, si las condiciones lo permiten, pueden instalarse ánodos galvánicos en el punto de descarga de la línea ajena para revertir la corriente de interferencia
- 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 corrientes vagabundas. Los ánodos galvánicos pueden resultar una opción económica en estas condiciones.
- Los ánodos galvánicos son muy usados para proteger la superficie interna de cajas de intercambiadores de calor y otros recipientes. También se usan dentro de recipientes para tratamiento del crudo, dependiendo de la calidad del recubrimiento interno y de la composición química y temperatura de los fluidos.
- En estructuras off-shore se pueden usar grandes ánodos galvánicos para proteger los componentes sumergidos.

Ventajas de los Ánodos Galvánicos

- No se necesita una 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.

- En la mayoría de los casos, es fácil agregar más ánodos.
- Suministran una distribución de corriente uniforme.
- Costos mínimos de derechos de paso

Limitaciones de los Ánodos Galvánicos

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

Componentes de los Sistemas Galvánicos

1. Ánodos

- **Magnesio:** Los ánodos de magnesio están disponibles en dos tipos de aleación: una de alto potencial, con un potencial de corrosión nominal de – 1.75 V con respecto a un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre, y una aleación de bajo potencial con un potencial de corrosión nominal de – 1.55 V con respecto a un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre. Generalmente, el magnesio se usa en suelos y agua dulce.
- **Zinc:** Los ánodos de zinc también vienen en dos versiones, una para uso en suelos y otra para aplicaciones marítimas. El zinc puede ser susceptible de una corrosión intergranular muy rápida a temperaturas mayores que 120°F (49°C). A temperaturas mayores que 130°F (54°C), especialmente en presencia de carbonatos, el zinc puede pasivarse, y el potencial de la película pasiva puede ser más noble que el del acero, resultando en la corrosión de este último.
- **Aluminio:** Los ánodos de aluminio se usan principalmente en aplicaciones marítimas y existen diversas aleaciones; las más comunes son las aleaciones con mercurio e indio. La aleación con indio tiene un potencial de corrosión ligeramente mayor, pero es menos eficiente que la aleación con mercurio. Es preferible usar aluminio en las aplicaciones marítimas porque tiene una velocidad de consumo mucho menor que la del zinc o el magnesio. Los ánodos de aluminio no se usan en agua dulce, salvo como

ánodos de corriente impresa. No se utilizan en aplicaciones enterradas. En las estructuras de hormigón reforzado se utiliza una aleación de aluminio, zinc e indio como ánodo galvánico [3]. Los ánodos de aluminio se usan mucho en recipientes que contienen salmueras. Sin embargo, a temperaturas mayores que 120° F (49° C), puede reducirse el drenaje de corriente [4].

Eficiencia de los ánodos galvánicos

La eficiencia de un ánodo galvánico depende de la aleación y del medio en el que se instala. El consumo de cualquier metal es directamente proporcional a la cantidad de corriente que drena desde su superficie. En los ánodos galvánicos, parte de esta corriente es corriente de protección catódica, y parte causada por las celdas de corrosión localizadas sobre su superficie [2], [3]. La eficiencia del ánodo es el cociente entre el metal que se consume produciendo corriente de protección catódica y la cantidad total de metal consumido. Para el magnesio, la eficiencia anódica generalmente es de alrededor del 50%.

Especificaciones para Sistemas de Ánodos Galvánicos

Tamaño y Formas

Los ánodos galvánicos se fabrican en diversos tamaños y formas. Para aplicaciones marinas, con frecuencia los ánodos de aluminio tienen el tamaño adecuado a la estructura. Los extremos de estos ánodos vienen equipados con apéndices soldables para conectarlos eléctricamente a la estructura [2].

En suelos, el tamaño y forma de los ánodos depende más bien de la resistividad del suelo, el requerimiento de corriente y otras condiciones, que no se relacionan con el tamaño de la estructura. Estos ánodos están equipados con un cable aislado para realizar la conexión eléctrica [1]. De esta forma, la separación entre el ánodo y la estructura la determina el operador. Otro componente requerido para la aplicación en suelos es el relleno químico (backfill).

Relleno Químico (Backfill)

El relleno químico que se usa con los ánodos galvánicos consiste en un 75% de yeso (CaSO_4), 20% de bentonita y 5% de sulfato de sodio [2],[4]. El relleno químico que rodea a los ánodos de magnesio y zinc, provee un medio uniforme que reduce el auto-consumo del ánodo. La composición química del relleno hace que el ánodo funcione en forma más eficiente, ya que reduce su polarización [3]. Además, el relleno se hincha al humedecerse, ajustándose al suelo a su

alrededor, reduciendo así la resistencia del ánodo a la tierra. Los ánodos galvánicos pueden comprarse desnudos o pre-empacados con su relleno químico. Si no están pre-empacados con un relleno químico especial, este relleno debe colocarse durante la instalación.

Conexión a las Estructuras

Los ánodos galvánicos deben tener una conexión directa con la estructura a través de un conductor metálico. Esto se logra de una de las siguientes maneras:

- Usando alambre de cobre aislado, suministrado por el fabricante y soldado o conectado de alguna otra manera a la estructura.
- igual que en el punto anterior, pero a través de una estación de medición instalada entre ánodo y estructura. Esta estación puede incluir una resistencia variable para controlar la corriente o un shunt para medir el drenaje de corriente.
- Con brazaletes que rodeen el ducto, conectados mediante una apéndice (normalmente un cable forrado) soldado al ducto.
- Mediante una varilla de acero o una planchuela inserta en el ánodo, que es luego soldada a la estructura.

Sistemas 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. Ver Figura 7.

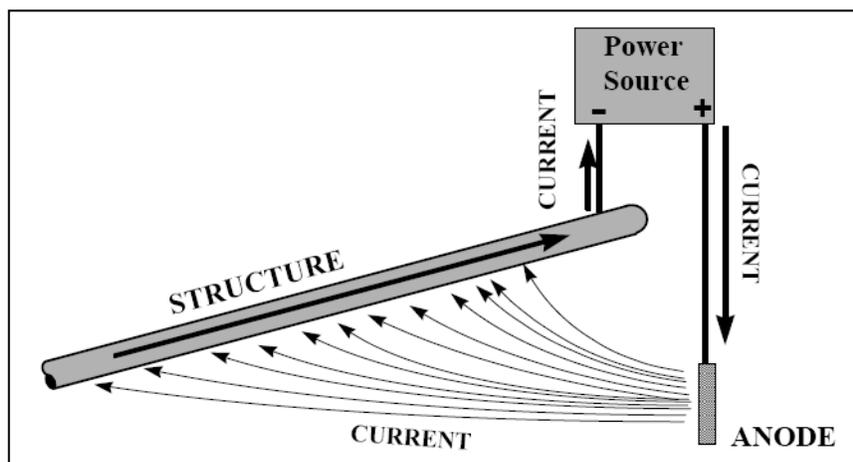


Figura 7 : Típico sistema de protección catódica por corriente impresa

Ánodos

Los materiales que se usan como ánodos de corriente impresa incluyen:

- Grafito (carbón)
- Hierro con alto contenido de silicio y cromo
- Niobio y titanio revestidos con platino
- Aluminio
- Magnetita
- Titanio revestido con óxidos metálicos varios
- Polímero conductor
- Hierro de rezago
- Plomo/Plata

Fuentes de Energía

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

- Rectificadores
- Paneles solares (fotovoltaicas)
- Motogeneradores
- Generadores Eólicos
- Generadores Termoeléctricos

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

Rectificadores

Lo que comúnmente se llama rectificador, es en realidad un transformador-rectificador. Contiene un transformador, algún medio de ajustar el voltaje, un rectificador para cambiar AC a DC, y diversos controles y otros componentes, dependiendo del uso. A continuación, en la Figura 8 se muestra el esquema eléctrico típico de un rectificador:

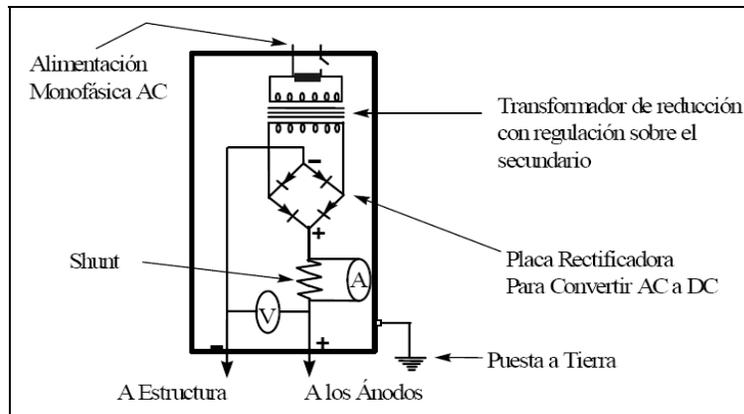


Figura 8: Esquema eléctrico de un rectificador de protección catódica

Básicamente, hay tres tipos de rectificadores:

1. Voltaje constante: el voltaje DC en los terminales se mantiene constante para cualquier drenaje de corriente, hasta el máximo de corriente que permite el rectificador.
2. Corriente constante: el drenaje de corriente se mantiene constante para un amplio rango de resistencias de circuito, hasta el voltaje máximo permitido por el rectificador.
3. Potencial constante: el drenaje de corriente y voltaje varían para mantener un potencial determinado en la estructura.

Si hay energía AC disponible y es económica, los rectificadores tienen claras ventajas económicas y operativas sobre otras fuentes de energía.

Aplicaciones de Protección Catódica por Corriente Impresa

Algunos usos comunes de los sistemas por corriente impresa son:

- Para grandes requerimientos de corriente, en especial para estructuras desnudas o mal recubiertas.
- Para 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

- Para fondos externos (primarios y secundarios) de tanques de almacenamiento a nivel
- Para tanques de almacenamiento enterrados
- Para componentes sumergidos de estructuras off-shore
- Para pilotes de fundación y tablestacados, tanto enterrados como en agua

Ventajas de los Sistemas por Corriente Impresa

- 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 recubiertas.
- Efectivos en medios de alta resistividad.
- Menor consumo anódico que en los sistemas de ánodos galvánicos.

Limitaciones de los Sistemas por Corriente Impresa

- 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 daños al recubrimiento y fragilización por hidrógeno.

Tipos de ánodos para corriente impresa

- Grafito

Los ánodos de grafito, instalados con un relleno de carbón, funcionan muy bien. El grafito también tiene un excelente rendimiento en presencia de cloruros, como el agua de mar. Cuando sobre la superficie del ánodo de grafito evoluciona oxígeno, el grafito se oxida para formar dióxido de carbono. Con condiciones severas de pH y elevadas concentraciones de sulfatos, puede aumentar su velocidad de consumo. Los ánodos de grafito funcionan bien en suelos relativamente secos.

- Hierro con alto contenido de silicio

El hierro con alto contenido de silicio común consiste en una matriz muy dura, con copos de grafito en los bordes de grano. El grafito debilita la aleación. Agregando cromo, los grafitos libres se unen formando carburos, fortaleciendo la aleación. Los ánodos de hierro-silicio-cromo son frágiles comparados con los de grafito, pero la dureza de la aleación hace al ánodo más resistente a la abrasión y la erosión. Si se los instala con rellenos de carbón, los ánodos funcionan en forma

similar a los de grafito. Si se los instala sin backfill y si la reacción anódica predominante es la evolución de oxígeno, estos ánodos rinden mejor que los de grafito. En suelos secos, la película de dióxido de silicio que se forma en la superficie introduce una elevada resistencia, y baja su rendimiento.

- Platino

Los dos ánodos platinados más comunes son los que tienen sustratos de titanio y niobio. Estos ánodos fueron desarrollados principalmente para aplicaciones en agua de mar y otros medios con presencia de cloruros, dado que ambos sustratos forman capas protectoras de óxidos, dieléctricas, cuando son anódicos en presencia de cloruros. Los ánodos platinados son susceptibles de fallas prematuras debidas a reacciones con algunos iones complejantes, especialmente en aplicaciones de procesos. Los ánodos platinados son económicos solamente cuando se utilizan elevadas densidades de corriente, como en agua de mar, en la que los cloruros pueden migrar rápidamente hacia el ánodo, y los productos de corrosión, alejarse de éste rápidamente. Si la reacción anódica predominante es la evolución de oxígeno, se necesitan voltajes iniciales más elevados. Por lo tanto, desde el punto de vista del costo, tanto del ánodo como de la fuente de energía, generalmente no son económicos para aplicaciones bajo tierra.

- Aluminio

Los ánodos de aluminio se usan principalmente en tanques de almacenamiento de agua a temperatura ambiente. Debido a su elevada velocidad de consumo, su vida útil es de aproximadamente un año. De todas formas, las heladas invernales hacen necesario el reemplazo anual, por lo que esta vida útil, si bien corta, es tolerable. Los ánodos de aluminio también se utilizan en estas aplicaciones porque los productos de corrosión son incoloros y no tóxicos.

- Magnetita

La magnetita es una forma de óxido de hierro. Estos ánodos se usan en agua de mar, aguas pantanosas, agua dulce y alta resistividad.

- Ánodo de óxidos metálicos

Los ánodos de mixed metal oxide (también llamados ADS, ánodos de dimensión estable, en inglés DSA dimensionally stable anode) consisten en recubrimientos activados en forma electrocatalítica sobre un sustrato de titanio. El recubrimiento de óxidos metálicos es altamente conductor y sufre una pérdida de peso extremadamente baja. Estos ánodos son muy resistentes al ataque de ácidos,

incluso a pH menores que 1; vienen en forma de barras, tubos o mallas y se usan en agua dulce, agua salada y bajo tierra, como así también en hormigón.

- Polímero conductor

Este es un ánodo flexible en forma de cable; se usa bajo tierra y también para proteger el acero dentro del hormigón. Para aplicaciones bajo tierra, el ánodo viene en un tubo de tela que contiene un relleno de carbón.

Metal de rezago

Si bien no es muy común debido a su elevada velocidad de consumo, el hierro de rezago o el acero pueden utilizarse como ánodos. Se han usado pilotes de acero abandonados y tramos de ducto viejo como ánodos.

Plomo-plata

Este material sólo se utiliza en presencia de cloruros. Su aplicación más común es en agua de mar.

Backfill (Relleno)

En aplicaciones enterradas, los ánodos de corriente impresa llevan casi siempre un relleno de carbón. Este relleno o backfill sirve para tres cosas:

- Reduce la resistencia ánodo-a-tierra.
- Aumenta la capacidad de drenaje de corriente del ánodo, aumentando su superficie.
- Reduce el consumo del ánodo, ya que el backfill es conductor y, si está bien compactado, pasa a formar parte del ánodo y se consume junto con éste.

Criterios de protección catódica recomendados por NACE para hierro y acero enterrados o sumergidos

Normas:

RP0169 Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems (Control de Corrosión Externa en Sistemas de Estructuras Metálicas Enterradas o Sumergidas)

RP0285 Corrosion Control of Underground Storage Tank Systems by Cathodic Protection (Control de Corrosión con Protección Catódica en Tanques de Almacenamiento Enterrados)

Hay tres criterios aplicables: dos relacionados con un potencial estructura-suelo de -850mV con respecto a un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre (CSE), y otro, con un desplazamiento en la polarización de 100 mV .

Estos tres criterios son:

- 1.- Un potencial negativo (catódico) de al menos 850 milivolts con la protección catódica aplicada. Este potencial se mide con respecto a un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre en contacto con el electrolito. Para poder interpretar correctamente esta medición, deben tenerse en cuenta las otras caídas de potencial, además de la que tiene lugar en la interface estructura-electrolito.
- 2.- Un potencial polarizado negativo de al menos 850 mV con respecto al electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre.
- 3.- Un mínimo de 100 mV de polarización catódica entre la superficie de la estructura y un electrodo de referencia estable en contacto con el electrolito. La formación o desaparición de la polarización puede medirse para alcanzar este criterio.

6. ACTIVIDADES REALIZADAS

6.1 Trazo y caracterización de derechos de vía a cargo de los sectores Salamanca y Venta de Carpio. Particularmente el DDV 153 y el DDV 621.

Corrosión y protección maneja dentro de sus productos el trazo y caracterización de derechos de vía (DDV), lo cual representa información requerida para la realización segura y confiable de acciones de mantenimiento y operacionales para el transporte de hidrocarburos por ductos.

Para realizar el trazo y caracterización de los derechos de vía en los sectores de Salamanca y Venta de Carpio fue necesario realizar un recorrido físico a lo largo de cada DDV. Éste recorrido tiene como objetivo hacer un registro de la trayectoria de cada ducto. En la descripción de la trayectoria también se incluye la profundidad del ducto respecto al nivel del suelo o al nivel del agua. El registro de éstas características se hace por medio de un equipo GPS de precisión submétrica junto con un equipo detector de tuberías Spectrum XLI SEEK TECH. Ver Figura 9.

Estos tres criterios son:

- 1.- Un potencial negativo (catódico) de al menos 850 milivolts con la protección catódica aplicada. Este potencial se mide con respecto a un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre en contacto con el electrolito. Para poder interpretar correctamente esta medición, deben tenerse en cuenta las otras caídas de potencial, además de la que tiene lugar en la interface estructura-electrolito.
- 2.- Un potencial polarizado negativo de al menos 850 mV con respecto al electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre.
- 3.- Un mínimo de 100 mV de polarización catódica entre la superficie de la estructura y un electrodo de referencia estable en contacto con el electrolito. La formación o desaparición de la polarización puede medirse para alcanzar este criterio.

6. ACTIVIDADES REALIZADAS

6.1 Trazo y caracterización de derechos de vía a cargo de los sectores Salamanca y Venta de Carpio. Particularmente el DDV 153 y el DDV 621.

Corrosión y protección maneja dentro de sus productos el trazo y caracterización de derechos de vía (DDV), lo cual representa información requerida para la realización segura y confiable de acciones de mantenimiento y operacionales para el transporte de hidrocarburos por ductos.

Para realizar el trazo y caracterización de los derechos de vía en los sectores de Salamanca y Venta de Carpio fue necesario realizar un recorrido físico a lo largo de cada DDV. Éste recorrido tiene como objetivo hacer un registro de la trayectoria de cada ducto. En la descripción de la trayectoria también se incluye la profundidad del ducto respecto al nivel del suelo o al nivel del agua. El registro de éstas características se hace por medio de un equipo GPS de precisión submétrica junto con un equipo detector de tuberías Spectrum XLI SEEK TECH. Ver Figura 9.



Figura 9: Sistema XLI SEEK TECH

Otro objetivo de los recorridos físicos es el levantamiento de evidencia fotográfica y videográfica de las condiciones y características de instalaciones superficiales, rectificadores de protección catódica, cruces de cuerpos con agua, vías de comunicación, cruces de líneas de alto voltaje, pasos aéreos y postes de protección catódica. Ver Figura 10 y 11.



Figura 10: Ejemplo de cruzamiento del DDV con líneas de alta tensión

TRAZO Y CARACTERIZACIÓN DE DERECHOS DE VÍA A CARGO DE LOS SECTORES SALAMANCA Y VENTA DE

PALMILLAS - PEDRO ESCOBEDO (DDV 110A)

Sector: SALAMANCA

Instalación: POSTE

Zona: 10

Este: 123123

Norte: 456456

Elevación: 1.80

Progresiva conocida: 200 m

Progresiva medida: 99.5555 m

Figura 11: Ejemplo de reporte generado para postes catódicos

Una vez obtenida la información de campo se valida dicha información con registros proporcionados por PEMEX. Uno de estos registros es el diagrama unifilar de cada DDV. Ver Figura 12.

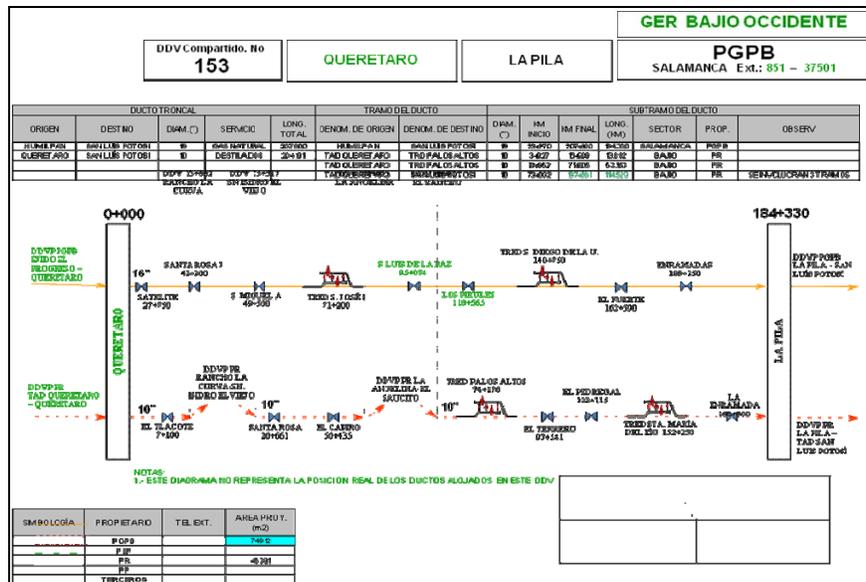


Figura 12: Diagrama unifilar del DDV 153

También se elaboran planos de secciones transversales correspondientes a cada kilómetro o cruceamiento del DDV. Ver Figura 13a y 13b.

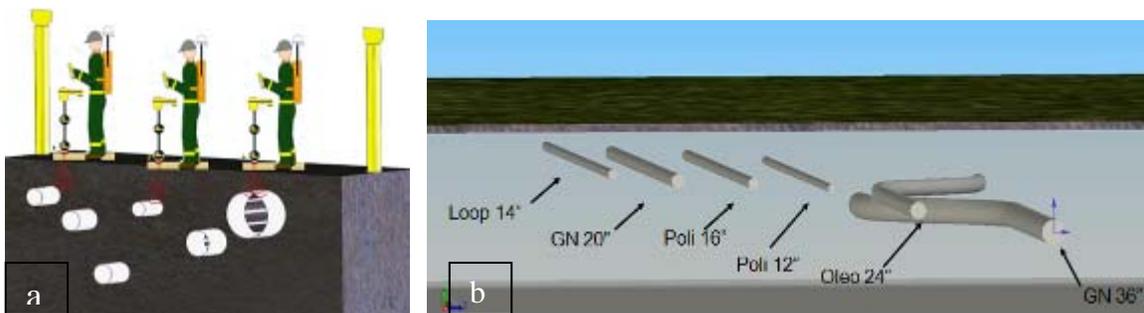


Figura 13: a) Esquema de registro de perfiles transversales. b) Ejemplo de reporte generado para cambios de hombro (cruces entre ductos)

Toda esta información se recopila en modo electrónico con un software llamado Falcon's View. Ver Figura 14. Este software permite visualizar la ubicación en la que se encuentran los diferentes elementos y hallazgos en el DDV.

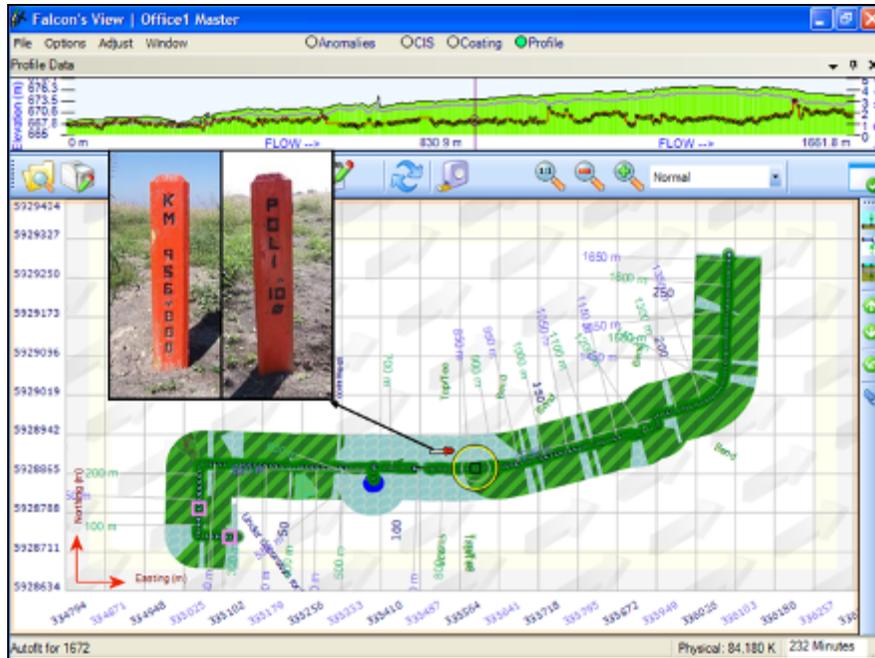


Figura 14: Recopilación en software

Para el DDV compartido 153 hice un recorrido de 184 km de longitud desde Huimilpan Querétaro hasta La Pila San Luis Potosí. Ver Figura 15. Éste DDV compartido contiene 2 ductos: un gasoducto de 16" de diámetro perteneciente a PEMEX Gas y Producción Básica (PGPB) y otro de 10" de diámetro que transporta destilados perteneciente a PEMEX Refinación (PR). El ducto que tomé como principal es el gasoducto de 16" puesto que el recorrido fue solicitado por PGPB.

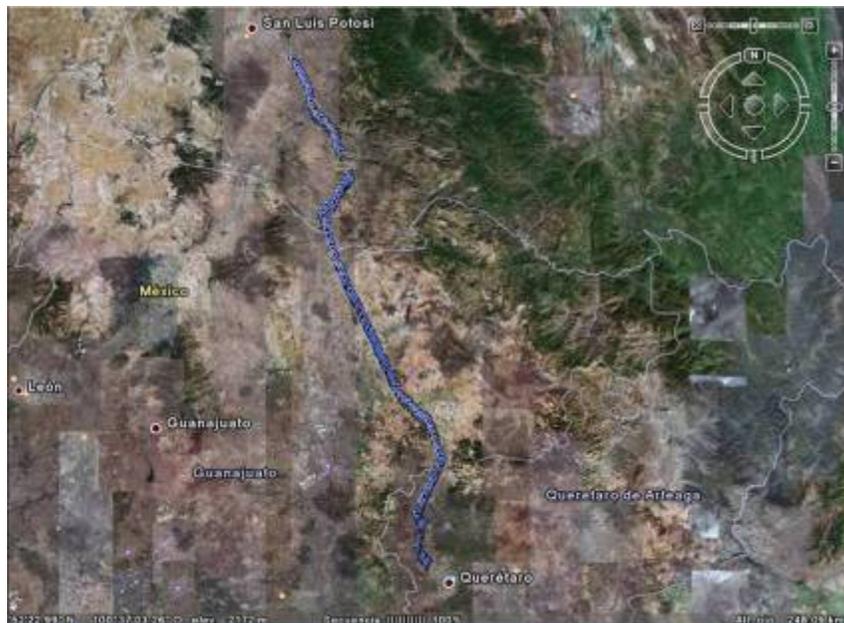


Figura 15: Derecho de vía 153

Para el DDV 621 se hizo un recorrido de 65 km de longitud. Ver Figura 16. Este ducto es de 24" de diámetro y en el momento en que realicé el trazo de de éste DDV, era una instalación nueva, la cual no estaba en funcionamiento. Este ducto parte de una derivación en el DDV 153 en el punto llamado el Sauz y tiene como destino el parque industrial Querétaro 2000.

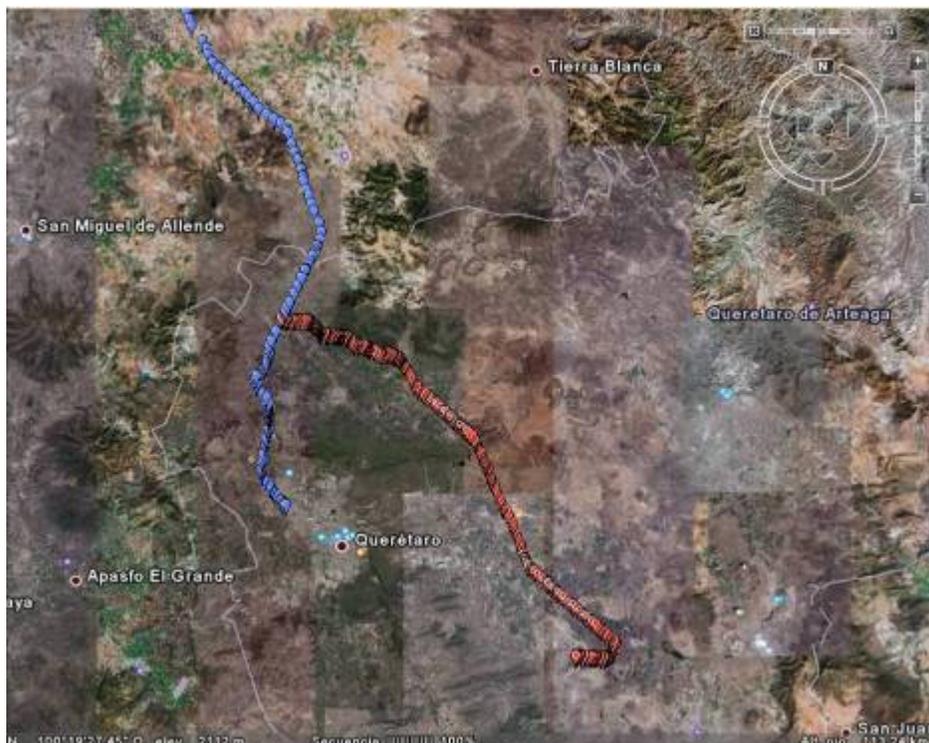


Figura 16: Derecho de vía 621.

6.2 Instalación de camas anódicas en el DDV 039.

Otra actividad que realicé en la empresa fue la instalación de 10 camas anódicas para el control de la corrosión del DDV 039 de 70km. El fundamento teórico se encuentra referenciado en el anexo.

El DDV 039 cuenta con 70 km de longitud, y contiene 3 ductos que inician en la refinería de Salina Cruz Oaxaca. 1.- Ducto de isobutano de 6" de diámetro, 2.- Poliducto de destilados 16" de diámetro, 3.- Ducto de amoniaco 10" de diámetro. Ver Figura 17.



Figura 17: DDV 039

El ducto principal a proteger fue el isobutano de 6" de diámetro. Para realizar ésta tarea fue necesario conocer el DDV a través de un recorrido de trazo y caracterización en el que fueron incluidas las tareas de localización de ductos fuera de operación y todas las conexiones eléctricas entre ductos.

La energía de protección catódica es directamente proporcional a la cantidad de área de estructura que se quiere proteger expuesta dentro de un electrolito. Es por esto que las conexiones eléctricas, también llamadas puentes, que hacían enlace con los ductos fuera de operación provocaban un incremento considerable en la necesidad de protección catódica. Una vez localizadas fueron eliminadas. Ver Figura 18.

Concluidas las tareas de desconexión y reconocimiento de las condiciones de corrosión en que se encontraba el DDV 039 la siguiente tarea fue instalar camas anódicas de corriente impresa. Esto se realizó para los 10 rectificadores de protección catódica (RPC) que se encontraban ya instalados. La instalación de las camas anódicas obedece al procedimiento del cual presento a continuación una

explicación. La elaboración de éste procedimiento como estándar de la empresa también formó parte de las actividades que realicé.



Figura 18: Lectura de un potencial natural después de hacer un despunteo entre el isobutano de 6” y el poliducto de 16” de diámetro.

6.2.1 Proceso de Instalación de camas anódicas de corriente impresa de pozo semi profundo.

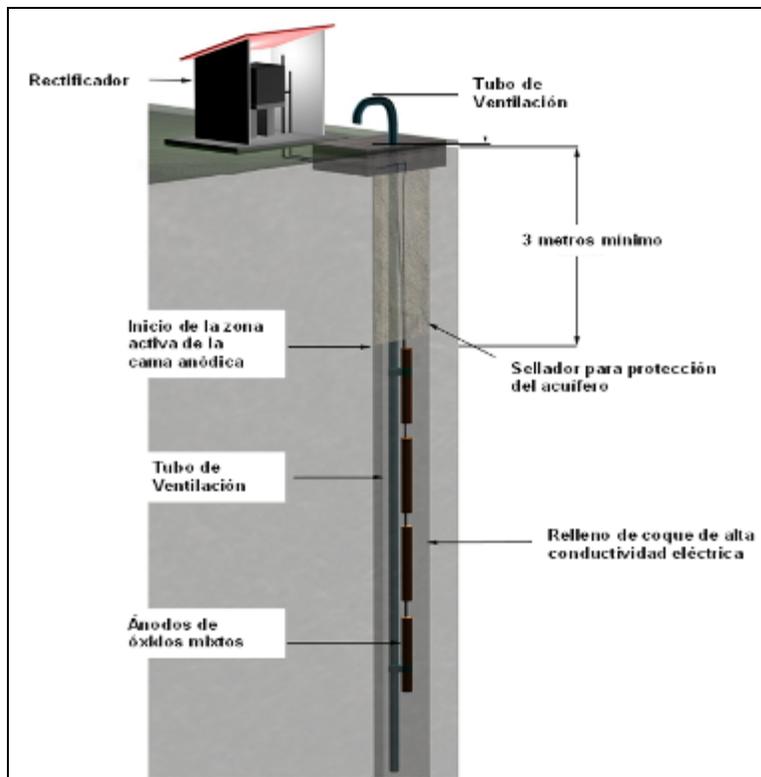


Figura 19: Esquema de una cama anódica

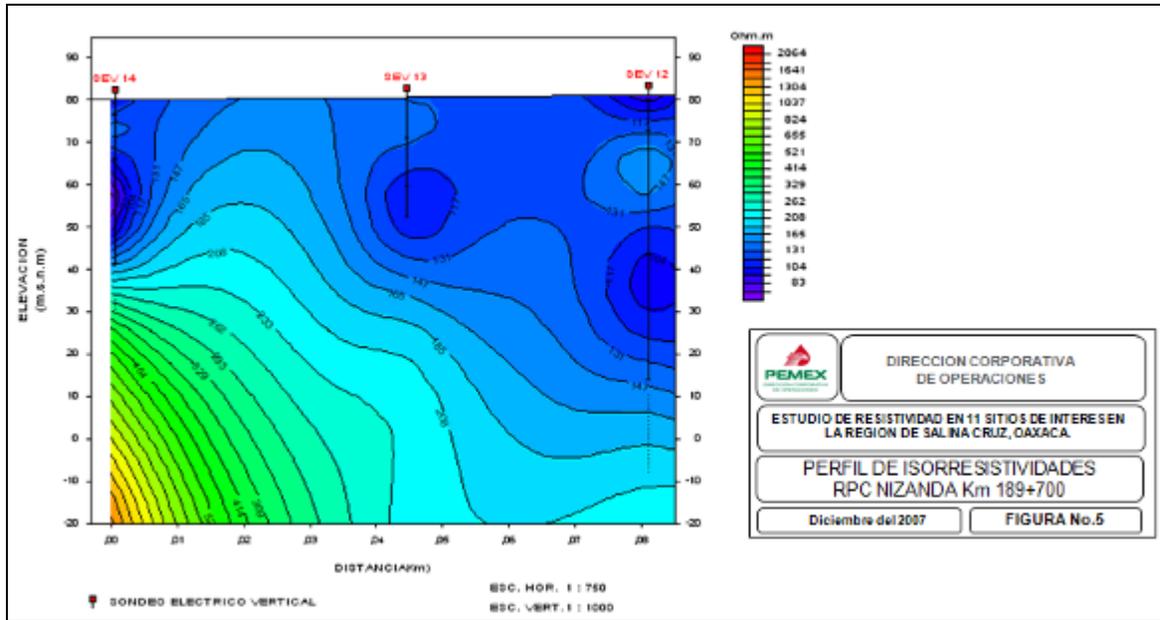


Figura 21: Estudio de resistividad por medio del método Schlumberger

Este estudio indica los probables tipos de suelo que se encontrarán en los lugares de perforación sugerido. Esto es posible comparando las resistividades de distintos suelos con las resistividades obtenidas por el método schlumberger para las profundidades de interés. Este método es de particular utilidad cuando las profundidades de estudio son grandes.

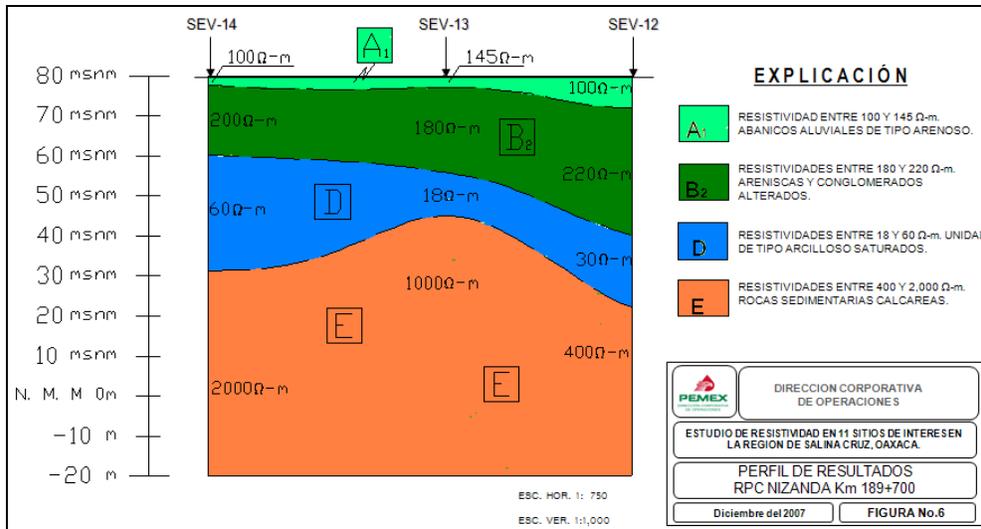


Figura 22: Interpretación de las composiciones de suelo por medio del método schlumberger.

En el punto de perforación se realiza una limpieza de la zona de trabajo preparándola para maniobras de los equipos de instalación, materiales y piletas de recuperación de lodos. En la siguiente figura muestra la perforación a la profundidad de diseño. Ver Figura 23.



Figura 23: Limpieza del área de trabajo

Esta es una actividad no realizada por la empresa. Las simulaciones en conjunto con las mediciones de las resistividades indicaron la instalación de 10 camas anódicas de pozo semiprofundo. Estas perforaciones se realizaron con una profundidad de 30m. Los equipos utilizados fueron estructuras hechizas con motores de combustión de 13 hp. Ver Figura 24.



Figura 24: Perforadora de 13 hp

Con el equipo de medición de resistividades se obtiene un perfil de resistividad a lo largo del pozo, mediante el cual se calcula la profundidad a la que debe operar

cada ánodo. Las posiciones de los ánodos es preferible ubicarlas a partir de 3m de profundidad y lo más distantes entre sí. Ver Figura 25. Esto normalmente es modificado por las variaciones de resistividad que el suelo presenta en un perfil vertical. Debido a esto los ánodos se ubican en las zonas de menor resistividad.



Figura 25: a) Sonda de resistividad. b) Cálculo de posición de cada ánodo.

Se prepara el tubo de encamisado de PVC de la instalación comenzando por su parte activa, la cual deberá contar en su parte inferior con una válvula de distribución de coque. Ver Figura 26. En la parte activa, el diseño del tubo de encamisado es ranurado para lograr continuidad eléctrica entre los ánodos y el medio. Los tubos de la parte no activa del encamisado no tienen perforaciones. Las uniones entre estos tubos son aseguradas con cemento de contacto y con por lo menos 3 remaches a 120 grados.



Figura 26: a) Válvula de distribución de coque, b) Sección activa del encamisado.

Dentro del encamisado se deberá instalar un tubo de inyección de coque el cual está acoplado a la válvula en la parte inferior de la estructura. Para esto es posible utilizar un tubo de acero o de polietileno de alta densidad. Ver Figura 27.

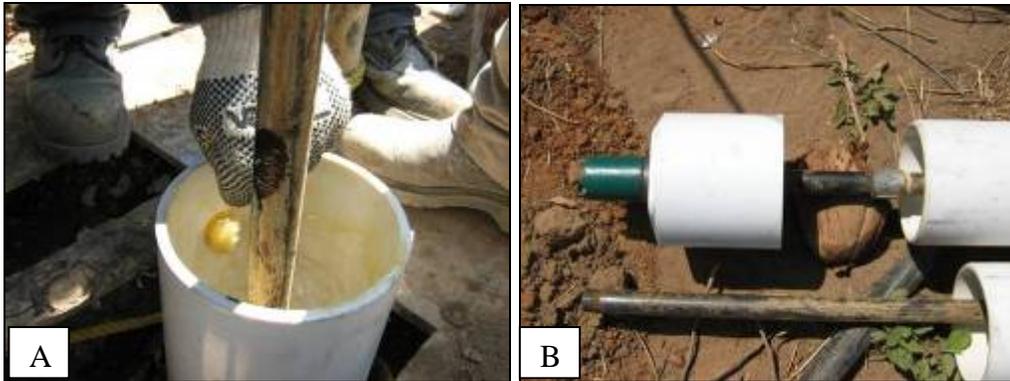


Figura 27: a) Tubo de inyección de coque, b) acoplamiento de la válvula de distribución

Todos los tubos que conforman el venteo son acoplados con cemento de contacto únicamente, el extremo inferior debe quedar sellado. Este tubo comprende de secciones ranuradas en su parte activa y no ranuradas en su parte no activa análogamente al encamisado. La función del tubo de venteo es permitir el desahogo de gases, para lo cual es necesario que no permita el ingreso de coque. Esto es posible ya que las ranuras con las que cuenta en su parte activa tienen un tamaño que no rebasa la granulometría del coque.

Los ánodos son fijados al tubo de venteo en una disposición la cual fue calculada previamente. En este arreglo del tubo de venteo con los ánodos son incluidos los centradores. Ver Figura 28. Éstos están colocados de manera que los ánodos mantengan una posición adecuada para operar dentro de la estructura y para mantener su integridad. Cuando el arreglo está completo, éste es posicionado dentro del encamisado quedando únicamente por encima de éste los cables de los ánodos y el extremo superior del tubo de venteo. Hecho esto la instalación está preparada para la inyección del coque.

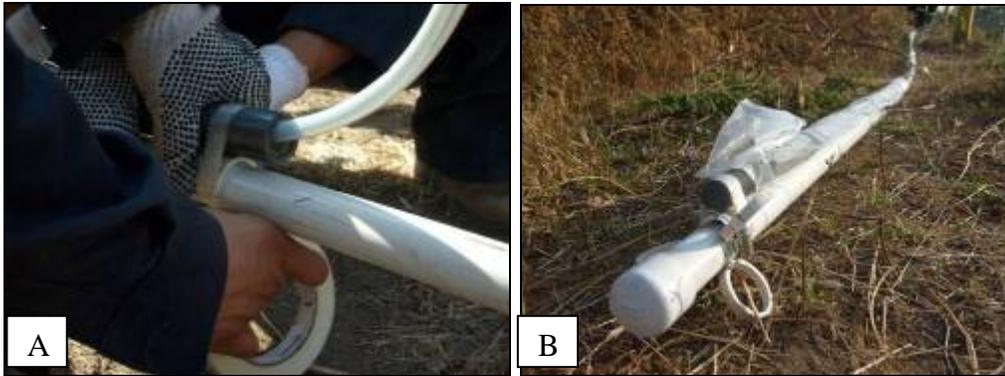


Figura 28: a) Colocación de los ánodos en el tubo de venteo, b) Sello del tubo de venteo en su parte inferior

En un tanque de aproximadamente un metro cúbico de capacidad se prepara una mezcla de coque con agua, la cual deberá tener una densidad recomendada de 74 libras sobre pie cúbico. Ver Figura 29. Debido a la rápida precipitación del coque es necesario generar un refluo dentro del tanque y así mantener homogénea la mezcla. Este refluo se logra usando una bomba hidráulica centrífuga de acuerdo a la capacidad de diseño.

Simultáneamente, con la misma bomba se realiza la inyección del coque por medio del tubo de inyección desde la parte inferior de la estructura a todo el espacio comprendido entre el encamisado y la pared del pozo.

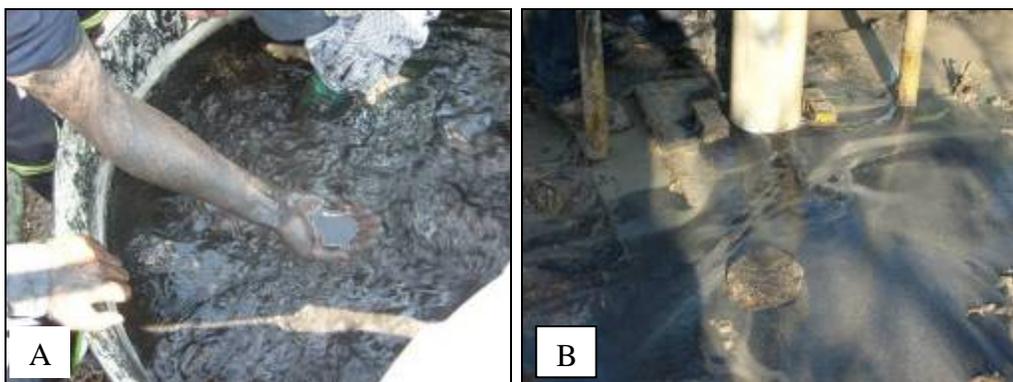


Figura 29: a) Tanque de refluo, b) Llenado de coque en el encamisado.

Cuando el diseño de la cama anódica lo requiere, se usan en el interior y exterior del encamisado dos calidades distintas de coque. Si es el caso, los tubos de encamisado usados para la parte activa de la cama cuentan adicionalmente con una barrera, normalmente una película de aluminio, que bloquea las ranuras. Una

vez que el exterior del encamisado está lleno de coque, el tubo de inyección es desacoplado de la válvula, levantándolo 30cm y por medio del mismo se inyecta coque de calidad distinta desde la parte inferior de la estructura hasta llenarla. En seguida se retira el tubo de inyección. Ver Figura 30.



Figura 30: Arreglo de encamisado, ánodos y tubo de venteo



Figura 31: Sellado de la perforación de la cama anódica

Después de 24 horas se verifican los valores de drenaje de corriente de cada ánodo y de la cama completa. También se coloca en la parte superior del espacio anular entre el encamisado y la pared del pozo un sello, el cual está constituido a base de bentonita en piedra. Esto cumple con los reglamentos de protección del medio ambiente para evitar la contaminación de los mantos acuíferos inferiores. Ver figura 31.



Figura 32: a) Conexión de la cama anódica al rectificador, b) Caseta de rectificador

Debido a que una parte de la estructura queda expuesta sobre el nivel del suelo, ésta es vulnerable a vandalismo o robo, para contrarrestarlo, todos los elementos son contenidos en un registro de concreto. Ver Figura 33. La conexión de la cama al rectificador también es encofrada en toda su trayectoria. Ver Figura 32. El proceso es finalizado con la puesta en marcha del sistema y la limpieza completa del área de trabajo.



Figura 33: Encofrado mostrando el tubo de venteo

6.3 Diseño de un dispositivo antivandalismo.

Para esta tarea elaboré un diseño de encofrado para las terminaciones de las camas anódicas. El cual está constituido de elementos que han sido patentados.

Este dispositivo es un encofrado para la parte no enterrada de la cama anódica vertical. Existe el problema del vandalismo que básicamente destruye instalaciones y equipos pero también se puede presentar una situación de vandalismo para fines de robo. Normalmente lo que resulta interesante de sustraer es el cobre contenido en los equipos y los cables. Normalmente las terminaciones de las camas anódicas están enterradas sin protección. En algunos casos se construye un encofrado como el que se presenta en la figura 33. En éste caso se es posible instalar una caja de shunts los cuales permiten monitorear la corriente drenada por cada ánodo. Sin embargo en éste tipo de instalación es necesario abrir una tapa de concreto cada 5 años aproximadamente. La necesidad de abrir ésta tapa entorpece el monitoreo de las camas de un DDV extenso y expone las ubicaciones de las camas.

La invención es básicamente un encofrado mas fuerte y con la posibilidad de medir la corriente de cada ánodo desde el exterior. En la Figura 34 se muestra una terminación simulada de cama anódica seguida por la estructura de metal que constituirá el refuerzo para el concreto.



Figura 344: Doble Estructura metálica del encofrado



Figura 355: Instalación de la estructura metálica

La Figura 35 muestra la preparación para cimentar el encofrado sobre y alrededor de la cama anódica. Para medir la corriente de cada ánodo se necesita un amperímetro de gancho común. La Figura 36 muestra la la solicitud de patente.

ANEXO OTROS INVENTORES

Nombre: Lorenzo Martínez Martínez de la Escalera

Nacionalidad: Mexicana

Domicilio, calle, numero, colonia y código postal: Hegel 132 Colonia Polanco, Delegación

Miguel Hidalgo, C.P. 11490

Población, Estado y País: México, D.F.

Teléfono (calve):

Nombre: Jorge Joaquín Canto Ibáñez

Nacionalidad: Mexicana

Domicilio, calle, numero, colonia y código postal: Costa de Marfil48. Chimali, Tlalpan CP.

14370

Población, Estado y País: México, D.F

Teléfono (calve): (55) 56030390

Nombre: Hernán Rivera Ramos

Nacionalidad: Mexicana

Domicilio, calle, numero, colonia y código postal: Calle maíz 131 casa 27, colonia Xaltocan,

Delegación Xochirnilco, cp. 16090

Población, Estado y País: México, D.E Teléfono (calve): (55) 56533533

Nombre: Arturo Godoy Simón

Nacionalidad: Mexicana

Domicilio, calle, numero, colonia y código postal: Ingenieros Petroleros 72 colonia Jardines de Churubusco, Delegación Ixtapalapa, c.P. 09410

Población, Estado y País: México, D.F. Teléfono (calve): (55) 5522712640

Nombre: Manuel Barrón Ramos

Nacionalidad: Mexicana

Domicilio, calle, numero, colonia y código postal: Decima oriente 20, colonia Isidro Fabela, Delegación Tlalpan, C.P14030

Población, Estado y País: México, D.F. Teléfono (calve): (55) 56655032

7. CONCLUSIONES

Considero necesario incluir en el programa de ingeniería la protección catódica en un sentido teórico y por supuesto con mayor importancia en un sentido práctico para complementar la formación de las nuevas generaciones de ingenieros. La falta de éstas experiencias da como resultado la dificultad de obtener una estadística mexicana de costos e inversión en control de la corrosión en la industria, ya que es aún un tópico que no se ha puesto en práctica en la industria de manera generalizada, con excepción de los barcos y recientemente en la ingeniería civil.

La mala aplicación de la protección catódica también puede tener consecuencias económicas legales y de seguridad enormes, puesto que si bien la protección catódica controla la corrosión la mala aplicación afecta las estructuras que se quieren proteger o las contiguas causando daños a una velocidad y magnitud que prácticamente es seguro que deriva en la destrucción o completo consumo del metal.

En el tiempo que he tenido la oportunidad de laborar con la empresa Corrosión y Protección he logrado comprobar y poner en práctica conocimientos relacionados con mi carrera específicamente con el tema de la corrosión y la protección catódica. Los proyectos que he realizado me han permitido adquirir cierta experiencia en el desarrollo de un proyecto desde su concepción teórica hasta la terminación de la obra. Derivado de la necesidad de resolver los obstáculos propios de las tareas de la empresa he extendido mis conocimientos de ingeniería durante el trabajo de campo y también en el aula. Así mismo ha sido gratificante haber contribuido a la mejora de las instalaciones de las camas anódicas de esta empresa.

8. Bibliografía

1. - PEABODY'S
CONTROL OF PIPELINE CORROSION
Segunda edición,
Editado por Ronald L. Bianchetti
NACE International The Corrosion Society 2001
2. - CORROSION AND ITS CONTROL
AN INTRODUCTION TO THE SUBJECT
H. VAN Droffelaar and J.T.N Atkinson
NACE INTERNATIONAL 1995
3. - CP1 CATHODIC PROTECTION TESTER
NACE international training and certification
NACE 2008
4. - CP2 CATHODIC PROTECTION TECHNICIAN
NACE international training and certification
NACE 2008