



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIOS DE POTENCIAL DE PROTECCIÓN
CATÓDICA A INTERVALOS CORTOS Y GRADIENTES
DE VOLTAJE DE CORRIENTE DIRECTA EN UN
GASODUCTO DE 48 PULGADAS**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Javier Godoy Simón

ASESORA DE INFORME

Ing. Miriam Graciela Mendoza Cano



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

	No. de página
ÍNDICE	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO PROFESIONAL	3
1.1 Antecedentes de la organización	3
1.2 Filosofía organizacional	3
1.3 Visión organizacional	4
1.4 Misión organizacional	5
1.4.1 Mercado	5
1.4.2 Servicios e investigación	5
1.4.3 Gente y organización	5
1.4.4 Comunicación	6
1.5 Situación de la empresa en México y Latinoamérica	6
1.6 El rol en la empresa	6
1.7 Organigrama	7
CAPÍTULO 2. DESARROLLO DEL PROYECTO	9
2.1 Conceptos básicos	9
2.2 Definición del problema	10
2.3 Objetivo del proyecto	11
2.4 Metodología	12
2.4.1 Detección de la tubería	13
2.4.2 Interrupción de rectificadores de protección catódica	15
2.4.3 Levantamiento de potenciales paso a paso (CIS)	16
2.4.4 Inspección del estado de recubrimiento (DCVG)	20
2.4.5 Clasificación de las fallas en el recubrimiento	23
2.5 Seguridad y salud en el trabajo	25
CAPÍTULO 3. RESULTADOS DEL PROYECTO	27
3.1 Interrupción de rectificadores de protección catódica del Sistema y ajenos que tienen influencia en la tubería	27
3.2 Levantamiento de potenciales a intervalos cortos (CIS)	29
3.3 Inspección de gradientes de voltaje de corriente directa (DCVG)	31
3.4 Resistividades	38
3.4.1 Método de Cuatro Puntas de Wenner	39
3.4.2 Resultados de las resistividades	41

3.5 Medición de pH	43
3.5.1 Resultados pH	44
3.5.2 Gráficos combinados de resistividad 1.2-2.4 m de Profundidad y pH	46
CONCLUSIONES	49
Principales resultados del proyecto	49
Recomendaciones	52
BIBLIOGRAFÍA	54
GLOSARIO	56
ANEXO A	59

INTRODUCCIÓN

El presente informe de actividades profesionales reporta una descripción de las actividades realizadas durante la ejecución de un proyecto de ingeniería de la empresa mexicana Corrosión y Protección titulado “Estudios de potencial de protección catódica a intervalos cortos y gradientes de voltaje de corriente directa en un gasoducto de 48 pulgadas”, desde la posición de asesor del ingeniero responsable de dicho proyecto.

Este proyecto es relevante dado que la corrosión exterior es una de las amenazas más serias para la integridad de los ductos de acero enterrados. Por ello, se han creado programas que incluyen distintas técnicas de estudio y metodologías que permiten identificar aquellas zonas susceptibles a este fenómeno o ya bien, zonas donde se ha presentado.

La integridad de un ducto se define como la condición física del ducto mediante la cual es posible determinar el grado de seguridad y confiabilidad en su operación con respecto a la población y al medio ambiente.

Un programa de control de corrosión externa incluye la recopilación de datos tales como: condiciones del recubrimiento mecánico¹, tipo de recubrimiento mecánico, pH del suelo, resistividad del suelo, potenciales ducto-suelo, pruebas bacteriológicas y datos recabados durante las inspecciones directas al ducto donde se sospecha que existe actividad corrosiva. De esta forma, un programa de control de corrosión externa bien implementado, permite detectar de manera anticipada las zonas del ducto que presentan mayor riesgo de falla por corrosión. En consecuencia, permite tomar decisiones oportunas de mantenimiento preventivo que eviten daños a la población y al medio ambiente.

Entre las distintas técnicas de estudio que brindan información relevante acerca de los distintos aspectos que permiten determinar la integridad de un ducto, están los estudios de Levantamiento de potenciales a intervalos cortos (CIS, Close Interval Survey) y el Gradiente de voltaje de corriente directa (DCVG, Direct Current

¹ Se refiere generalmente en la industria de transporte de hidrocarburos, como el recubrimiento anticorrosivo usado en las tuberías.

Voltage Gradient Survey); así como la resistividad de suelo, el pH, el análisis de bacterias existentes en el medio, como son las Bacterias productoras de Ácido y las Sulfato reductoras.

El estudio CIS tiene como finalidad identificar el nivel de la protección catódica en toda la trayectoria del ducto mediante la medición de potenciales ducto/suelo en intervalos cortos. El estudio DCVG es una técnica para localizar el epicentro de fallas en el recubrimiento de ductos enterrados y dimensionarlas de acuerdo al nivel de afectación sobre el sistema de protección catódica; asimismo, permite determinar la presencia de algún defecto y el comportamiento corrosivo del mismo. Estas dos técnicas se complementan para determinar un diagnóstico más acertado.²

La resistividad del suelo es la propiedad que tiene éste, para conducir electricidad, es conocida además como la resistencia específica del terreno. En su medición, se promedian los efectos de las diferentes capas que componen el terreno bajo estudio, ya que éstos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición, obteniéndose lo que se denomina "Resistividad Aparente" que, para el interés de este trabajo, será conocida simplemente como "Resistividad del Terreno". Para poder determinar la problemática de la tubería expuesta en zonas con resistividades que son propicias para la corrosión.

Los objetivos del estudio que se reporta en este informe son:

- Determinar los niveles de protección catódica a lo largo de la tubería.
- Ubicar y dimensionar las fallas del recubrimiento en la tubería.

Los resultados en conjunto de los estudios CIS, DCVG, pH y resistividad del suelo y bacteriológicos tienen como objetivo identificar sitios con actividad corrosiva o con mayor probabilidad de que dicha actividad se presente, además de identificar los sitios donde se debe inspeccionar el ducto de manera directa.

² Para consultar estudios similares: en Colombia, véase Reyes L.F. y Torres J.A. (2016); en Perú, véase Gómez, J, J: (2010)

CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO PROFESIONAL

1.1 Antecedentes de la organización

La empresa a la que se refiere este documento es una empresa de ingeniería en control de corrosión, la cual fue fundada con el objetivo principal de brindar a la sociedad y a la industria los conocimientos adquiridos y generados durante la trayectoria de un grupo de investigadores de máximo nivel con reconocimiento nacional e internacional. La visión de la empresa ayuda a definir la problemática nacional relacionada con la seguridad e integridad de las instalaciones y ductos de transporte de hidrocarburos, así como sus implicaciones en problemas ambientales, ecológicos y riesgos en pérdidas de vidas humanas. En el 2003 la empresa tomó el giro de dedicarse y fortalecer la protección hacia la vida humana, el ambiente y la conservación de los ecosistemas por medio de la expansión del grupo de trabajo, basándose en talentosos ingenieros respaldados por programas de capacitación.

Esta empresa nace cuando se vislumbran grandes retos para el control de corrosión en México. En ese tiempo dicha disciplina era una actividad emergente, aún era necesaria una gran labor de sensibilización entre los clientes para que se dejara de ver a la corrosión como un problema insuperable, sino como un fenómeno administrable, controlable, en el cual la ciencia y la tecnología reducen considerablemente las pérdidas por corrosión al negocio, evitan accidentes, daños al medio ambiente y la interrupción de procesos productivos.

Hoy en día, uno de los principales objetivos de esta organización es el cuidado, la seguridad y el crecimiento de las personas que conviven en ella, tomando principal atención en la capacitación, actualización y desarrollo continuos, así como en el bienestar y ambiente de trabajo integral con apoyo de valores fundamentales.

1.2 Filosofía organizacional

La filosofía organizacional de la empresa (figura 1) se basa en los siguientes valores: integridad, puntualidad, iniciativa personal y creatividad.

Figura 1
Filosofía organizacional



Fuente: Corrosión y Protección. 2014. Corrosión y Protección. [En línea] 2014. http://www.corrosionyproteccion.com/quienessomos.html#qs_filosofia.

1.3 Visión organizacional

- Ser un líder innovador en la ingeniería de integridad de infraestructura en América.
- Ser una fuente de desarrollo integral de sus miembros y sus familias.

- Ser un grupo empresarial modelo para el desarrollo del país, logrando un fuerte sentido de pertenencia y compromiso de los miembros hacia la organización y viceversa.

1.4 Misión organizacional

Esta empresa establece su misión en cuatro rubros: mercado, servicios e investigación, gente y organización y comunicación. (Figura 1). A continuación se describe la misión para cada uno de los rubros mencionados (Corrosión y Protección, 2014)

1.4.1 Mercado

- Alcanzar las metas de ventas por áreas y grupos de trabajo llevando a cabo exitosamente los proyectos actuales.
- Incrementar ventas en áreas altamente rentables.
- Vender nuevas soluciones a organizaciones sólidas y confiables.
- Abrir nuevos segmentos en el mercado y continuar la expansión en el extranjero.
- Buscar constantemente proyectos en temas estratégicos altamente rentables, siendo una organización basada en innovación.

1.4.2 Servicios e investigación

- Desarrollar soluciones en base a la investigación orientada a requerimientos futuros.
- Posicionarse como desarrolladores de soluciones integrales para el desarrollo social.
- Aplicar modelos de interacción gobierno, iniciativa privada e instituciones educativas.

1.4.3 Gente y organización

- Énfasis en la capacitación de la gente para seguir siendo los mejores en nuestra área.

- Responder a los retos de un crecimiento fuerte y enfocarse en el desarrollo organizacional.
- Ser la empresa líder en desarrollo integral de sus miembros y un lugar altamente atractivo para trabajar creando conciencia del entorno en cada actividad realizada.

1.4.4 Comunicación

- Perfeccionamiento de los procesos de comunicación interna.
- Definir y comunicar una imagen corporativa fuerte a nuestros grupos objetivo.
- Utilizar procesos de comunicación para llegar a conocer mejor las posibilidades del mercado y las necesidades de nuestros clientes.

1.5 Situación de la empresa en México y Latinoamérica

La empresa ha logrado posicionarse en México como una de las empresas más importantes de control de corrosión y servicios de ingeniería especializados en la preservación de la integridad de ductos de transportes de hidrocarburos y de instalaciones de la industria energética. Hoy en día es la empresa líder en Latinoamérica en ingeniería de administración de integridad y control de corrosión de infraestructura y ductos. Ha participado en más de 120 proyectos mayores de ingeniería especializada al servicio de instituciones de renombre del sector energético, manufacturero, turístico, de telecomunicaciones y transportes a nivel nacional e internacional. Cuenta con oficinas en Morelos, CDMX, Houston, Guatemala, Honduras y Ecuador. Es representante y licenciataria de NACE Internacional en México, máxima autoridad en control de corrosión en el mundo. (Corrosión y Protección, 2014)

1.6 El rol en la empresa

A continuación, se describen las funciones que se realizaron como asesor de quien funge como gerente de proyecto:

- Recomendaciones en el adecuado diseño metodológico del proyecto.
- Contribuir en la interpretación de los resultados y en la identificación y solución de los problemas que se presentan durante el desarrollo del proyecto.

- Participación en la elaboración y revisión del informe; así como la evaluación del informe del proyecto, en relación al cumplimiento de los objetivos del mismo, así como de los tiempos establecidos para cada actividad.

La realización de las funciones anteriores como asesor, se basaron en la experiencia adquirida durante el tiempo que trabajé en esta empresa desarrollando proyectos similares.

1.7 Organigrama

La empresa tiene una estructura organizacional matricial lo cual le permite a los recursos de la empresa desenvolverse en diferentes tipos de proyectos, con alcances y actividades muy particulares en cada uno de ellos, adquiriendo una experiencia multidisciplinaria muy valiosa al involucrarse con distintas áreas de especialidad. En la figura 2, se presenta el organigrama de la empresa.

CAPÍTULO 2. DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1 Conceptos básicos

En este apartado se presentan las definiciones de los principales conceptos de este trabajo, no obstante que al final del mismo se presenta un glosario.³

La corrosión es la reacción electroquímica de un metal con su ambiente, resultando en un deterioro gradual y progresivo del metal y sus propiedades. Esta especificación se refiere a la corrosión como una acción electroquímica.⁴

La protección catódica es un procedimiento eléctrico para proteger las estructuras metálicas enterradas o sumergidas contra la corrosión exterior, el cual consiste en establecer una diferencia de potencial para que convierta a las estructuras en cátodo, mediante el paso de corriente eléctrica directa proveniente del sistema de protección seleccionado. (Ojeda, 2016).

La integridad de un ducto⁵ se define como la condición física del ducto mediante la cual es posible determinar el grado de seguridad y confiabilidad en su operación con respecto a la población y al medio ambiente. (Cárdenas, 2007)

Los estudios CIS se utilizan para evaluar la efectividad del sistema de protección catódica de un ducto enterrado o sumergido y se llevan a cabo como parte integral de su mantenimiento y proporcionan conocimiento y la información necesaria para mantener la integridad del ducto. Además de la información sobre la ubicación a lo largo del ducto donde ha ocurrido o puede estar ocurriendo una pérdida externa de metal, proporciona también información valiosa para identificar la causa probable de la corrosión externa para desarrollar planes de mediano y largo plazo para su mitigación efectiva. (Kowalski, A., 2014).

³ Véase Revie, R. W. (2011)

⁴ Para mayor información, véase Academia Nacional de Ingeniería Uruguay (2014) y Sosa (2013)

⁵ Para mayor información véase De la Cruz (2011), Gutiérrez (2010) y Yasksetig-Castillo (2011)

El estudio del Gradiente de voltaje de corriente directa (DCVG, Direct Current Voltage Gradient Survey) es una técnica para localizar el epicentro de fallas en el recubrimiento de ductos enterrados y dimensionarlas de acuerdo al nivel de afectación sobre el sistema de protección catódica. (M.C. Miller Co., Inc., S.f.) y (Holtsbaum, 2016: 117-118).

La resistividad del suelo es la propiedad que tiene éste, para conducir electricidad, es conocida además como la resistencia específica del terreno. En su medición, se promedian los efectos de las diferentes capas que componen el terreno bajo estudio, ya que éstos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición, obteniéndose lo que se denomina "Resistividad Aparente" que, para el interés de este trabajo, será conocida simplemente como "Resistividad del Terreno". Para poder determinar la problemática de la tubería expuesta en zonas con resistividades que son propicias para la corrosión. (Holtsbaum, 2016: 293-309)

2.2 Definición del problema

La corrosión exterior es una de las amenazas más serias para la integridad de los ductos de acero enterrados. Por ello, se han creado programas que incluyen distintas técnicas de estudio y metodologías que permiten identificar aquellas zonas susceptibles a este fenómeno o ya bien, zonas donde se ha presentado.

Para realizar un análisis de corrosión externa es necesario un programa de control de corrosión externa que incluya la recopilación de datos tales como: condiciones del recubrimiento mecánico, tipo de recubrimiento mecánico, pH del suelo, resistividad del suelo, potenciales ducto-suelo, pruebas bacteriológicas y datos recabados durante las inspecciones directas al ducto donde se sospecha que existe actividad corrosiva. De esta forma, un programa de control de corrosión externa bien implementado, permite detectar de manera anticipada las zonas del ducto que presentan mayor riesgo de falla por corrosión. En consecuencia, permite tomar decisiones oportunas de mantenimiento preventivo que eviten daños a la población y al medio ambiente.

Entre las distintas técnicas de estudio que brindan información relevante acerca de los distintos aspectos que permiten determinar la integridad de un ducto, están los estudios CIS (Levantamiento de potenciales a intervalos cortos) y el DCVG (Gradiente de voltaje de corriente directa), resistividad de suelo, pH, análisis de bacterias existentes en el medio como son las Bacterias productoras de Ácido y las Sulfato reductoras.

El estudio CIS tiene como finalidad identificar el nivel de la protección catódica en toda la trayectoria del ducto mediante la medición de potenciales ducto/suelo en intervalos cortos.

El estudio DCVG es una técnica para localizar el epicentro de fallas en el recubrimiento de ductos enterrados y dimensionarlas de acuerdo al nivel de afectación sobre el sistema de protección catódica.

El estudio de resistividad del suelo es la propiedad que tiene éste, para conducir electricidad, es conocida además como la resistencia específica del terreno. En su medición, se promedian los efectos de las diferentes capas que componen el terreno bajo estudio, ya que éstos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición, obteniéndose lo que se denomina "Resistividad Aparente" que, para el interés de este trabajo, será conocida simplemente como "Resistividad del Terreno". Para poder determinar la problemática de la tubería expuesta en zonas con resistividades que son propicias para la corrosión.

2.3 Objetivo del proyecto

Los estudios realizados en este proyecto tienen como objetivo:

- Determinar los niveles de protección catódica a lo largo de la tubería.
- Ubicar y dimensionar las fallas del recubrimiento en la tubería.

Los resultados en conjunto de los estudios CIS, DCVG, pH y resistividad del suelo, Bacteriológicos tienen como objetivo identificar sitios con actividad corrosiva o con

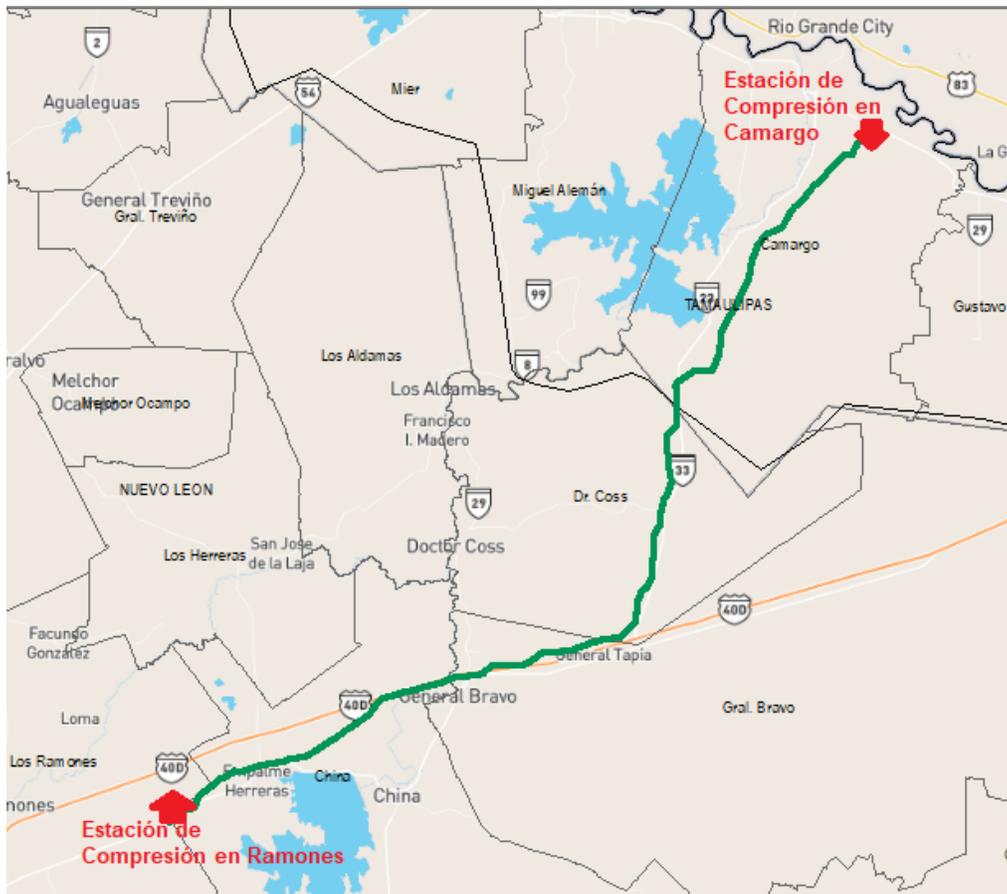
mayor probabilidad de que dicha actividad se presente, además de identificar los sitios donde se debe inspeccionar el ducto de manera directa.

2.4 Metodología

La ubicación geográfica del ducto inicia en el estado de Tamaulipas hasta el estado de Nuevo León; pasando por los municipios de Camargo, Dr. Coss, General Bravo y China hasta llegar a Ramones. (Mapa 1)

Mapa 1

Ubicación geográfica del ducto entre Camargo y Ramones



Fuente: elaborado con base en Google Maps, disponible en

<https://www.google.com/maps/@25.9091177,-98.7424217,9z>

En la tabla 1 se definen las tareas que se ejecutaron en el gasoducto de 48" que comprende desde Camargo hasta los Ramones.

Tabla 1. Alcance del proyecto

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
Levantamiento de potenciales a intervalos cortos (CIS)	Km	116+400
Detección de defectos de recubrimiento (DCVG)	Km	116+400
Resistividad de Suelos a 1.2 y 2.4 m cada kilómetro	Km	116+400
Medición de pH cada kilómetro	Km	116+400
Estudio Bacteriológico (BSR y APB) cada 5 km	Km	116+400
Determinación de carbonatos, sulfatos y cloruros cada 5 km	Km	116+400

Las tareas mencionadas en la Tabla 1, se desarrollaron bajo las siguientes metodologías:

2.4.1 Detección de la tubería

En lo referente a los estudios de campo, es fundamental el uso de un equipo de radiolocalización para la elaboración de los estudios y se localizaron los 116+400 kilómetros que conforman el gasoducto de 48", dejando marcas con pintura en aerosol sobre el suelo, como referencia de la trayectoria del ducto.

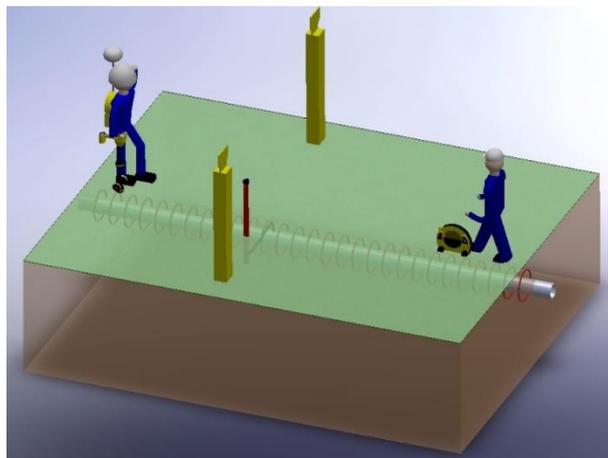
**Figura 3
Localización de ductos**



Dadas las condiciones específicas del sitio en algunos casos la localización se realizó de forma inductiva mientras que, en otros de manera conductiva, a continuación, se describe cada método.

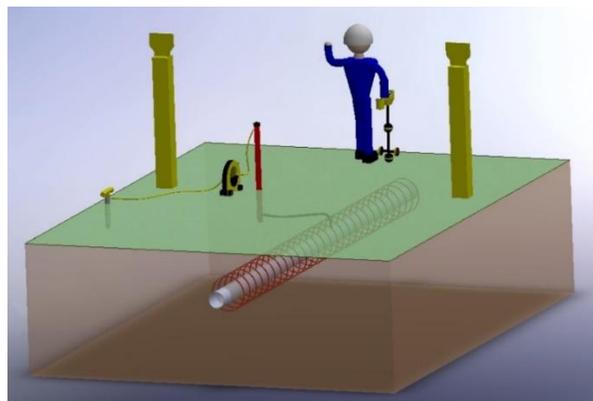
Inductivo: en este método, el transmisor debe ser colocado en el suelo por encima del ducto induciendo una señal desde las bobinas inductivas del transmisor, en una determinada frecuencia, típicamente 33 kHz (ver figura 4).

Figura 4
Localización inductiva



Conductivo: con este método, el transmisor debe ser conectado al ducto a través de un poste catódico o de manera directa en una válvula o paso aéreo, además de una tierra física como se observa en la figura 5.

Figura 5
Localización conductiva



En ambos métodos de localización se colocaron marcas de bandera sobre el suelo con pintura en aerosol cada 50 metros (medido con cable de acero), como referencia para el cadenamiento de los estudios CIS y DCVG.

Figura 6
Cadenamiento con cable de acero



2.4.2 Interrupción de rectificadores de protección catódica

Para conocer el potencial polarizado del ducto se debe eliminar la caída IR que se presenta debido al paso de la corriente a través del electrolito y del recubrimiento del ducto, esto se logra eliminando momentáneamente el flujo de corriente de los ánodos por corriente impresa, para ello se instaló un interruptor de corriente en cada uno de los rectificadores que conforman el sistema de protección catódica, así como los sistemas aledaños al trayecto de la tubería de 48" DN que no pertenecen al sistema de protección catódica del ducto en estudio.

La interrupción se realizó de forma sincronizada vía satelital en un ciclo de 0.7 segundos encendido y 0.3 segundos apagado para el estudio CIS, mientras que, para el estudio DCVG el ciclo es de 0.3 segundos encendido y 0.7 segundos apagado.

Figura 7
Interruptor de corriente



Se dejaron fuera de operación los rectificadores de protección catódica Camargo y los Ramones que protegen la línea regular y se instalaron rectificadores portátiles temporalmente, debido a que presentan problemas con la regularización de los taps o derivaciones finas del transformador del 1-4 (no drenan corriente) en modo estándar. Cabe mencionar que la corriente de salida de los rectificadores instalados temporalmente se usó con los mismos parámetros de operación normal.

2.4.3 Levantamiento de potenciales paso a paso (CIS)

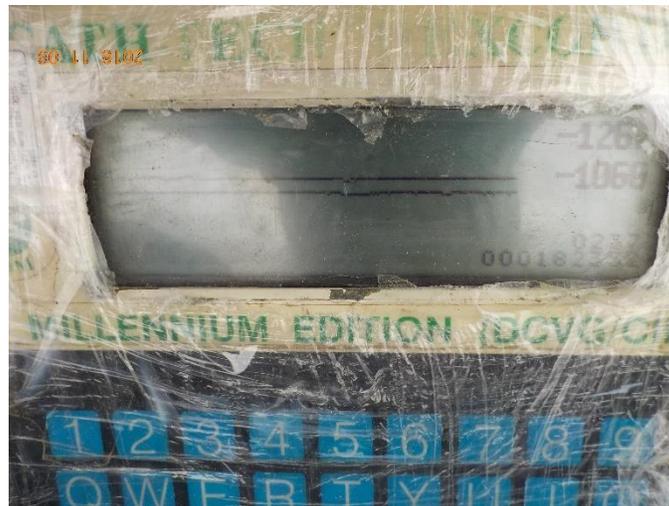
Para la realización de este estudio se utilizan dos electrodos de referencia de cobre sulfato de cobre, montados en el extremo de unos bastones, un alambre de cobre calibre 28 o 30 AWG normalmente, se conecta a la estructura y el técnico camina sobre la tubería, haciendo contacto con los electrodos en la tierra, a intervalos cortos. La medición de potenciales paso a paso se lleva a cabo con un colector de datos con antena GPS integrada y software precargado para la recolección de datos como potenciales ON, potenciales OFF, coordenadas

geográficas en cada medición, cadenamiento del estudio, cadenamiento del ducto, además el técnico toma nota de todas las referencias físicas como pueden ser: estaciones de medición, marcadores de línea, cruces de ríos, cruces de calles, bardas a lo largo de la tubería, etc., con la finalidad de facilitar la ubicación de los datos al momento del post-proceso. Luego, los datos son descargados a una computadora y normalmente presentados en forma gráfica (ver figura 8).

Se registraron banderas cada determinada distancia (típicamente cada 50 metros) para interpolar las lecturas medidas entre cada bandera.

Además de la interpolación cada 50 m (basadas en las banderas), se realizó un alineamiento geográfico a la corrida de inspección en línea, la cual permite correlacionar los defectos y anomalías del ILI, con los valores obtenidos en el CIS y DCVG.

Figura 8
Colector de datos



Para levantar el perfil de potenciales paso a paso (CIS) se empleó la siguiente metodología:

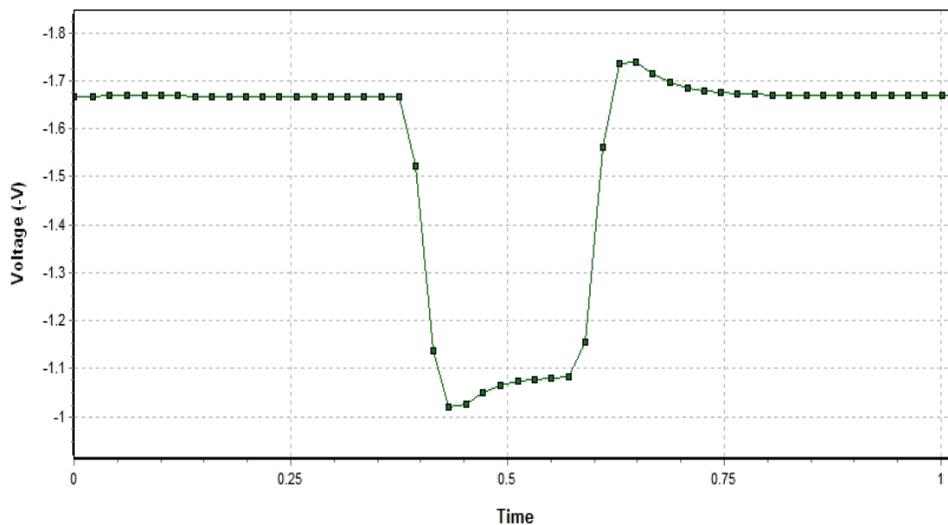
1. Diariamente, previo al estudio, se da mantenimiento a las celdas de referencia de cobre/sulfato de cobre, verificando que no exista un potencial mayor a 5 mV entre las celdas.
2. Se realiza la conexión del equipo con las celdas de referencia y el ducto, las conexiones son revisadas con multímetro digital.
3. Se realiza una impresión de onda para verificar que los interruptores de corriente están sincronizados.
 - a. En caso de una falta de sincronización, se identifica el equipo causante de ello y se corrige la situación.
4. Una vez verificado lo anterior, se inicia con el estudio del ducto previamente localizado y se tomaron medición cada metro en el tramo comprendido entre Camargo y Ramones.
5. Efectuar una reconexión en cada registro catódico o estación de monitoreo mediante el cable magneto para tener siempre continuidad con el ducto, esta reconexión mide la caída IR del metal permitiendo determinar si el cable del poste actual está o no conectado al ducto en estudio, esto reduce en gran medida los escalones en las gráficas del estudio.
6. En los tramos donde no es posible levantar el perfil de potenciales por falta de permisos, cruces carreteros o pasos aéreos, se registra como salto en el estudio sin perder el cadenamiento.

Figura 9
Mantenimiento de las celdas de referencia



El mantenimiento diario de las celdas de cobre sulfato de cobre es primordial para garantizar lecturas confiables de los potenciales *On* y *Off*.

Gráfica 1
Impresión de onda



Las impresiones de onda (gráfica 1) representan el ciclo *On* y *Off* del sistema de protección catódica, son cruciales durante el estudio para identificar y saber si todos los rectificadores de la zona se encuentran intervenidos y sincronizados, es decir, se apagan y se encienden al mismo tiempo; cuando un rectificador no está sincronizado, la gráfica de la impresión de onda aparece de manera distorsionada.

Figura 10
Medición de potenciales paso a paso



Durante el levantamiento del perfil de potenciales se humecta el suelo para asegurar un buen contacto de las celdas y obtener así lecturas confiables.

2.4.4 Inspección del estado de recubrimiento (DCVG)

El recubrimiento del ducto aísla el acero del suelo circundante evitando de esta forma el proceso de corrosión. Sin embargo, pueden existir zonas donde el recubrimiento ha sufrido daños o presenta deterioro dejando al acero expuesto al suelo.

La corriente directa de los sistemas de protección catódica al ingresar al ducto a través del acero expuesto (fallas del recubrimiento) genera gradientes de potencial en el suelo circundante: mientras mayor sea la cantidad de acero expuesto, mayor es la cantidad de corriente que ingresa el ducto a través de la falla y por lo tanto más grandes serán los gradientes de voltaje. La técnica DCVG o medición de gradientes de voltaje de corriente directa, ubica de forma precisa los sitios donde existen discontinuidades de recubrimiento y su influencia en el sistema de protección catódica para con base en ello asignar una prioridad de reparación.

Para una adecuada precisión en las lecturas es indispensable que las celdas de referencia reciban mantenimiento todos los días antes de iniciar las mediciones en campo, el mantenimiento consta de:

- Cambio de la solución saturada de cobre sulfato de cobre.
- Limpieza de las puntas porosas de la celda.
- Limpieza del interior de la celda
- Revisión a los sellos de las puntas.

Cabe mencionar que la técnica DCVG no visualiza el desprendimiento del recubrimiento debido a la ausencia de corriente directa entrando al ducto que genere gradientes de voltaje.

La inspección inicia midiendo la intensidad de la señal en un poste de monitoreo o cualquier instalación con acceso al ducto. La intensidad de la señal se mide con un bastón sobre el suelo y otro conectado eléctricamente al ducto, típicamente a través de cables, como se muestra en la figura 11.

Figura 11
Medición de la intensidad de la señal



Entre mayor resulta dicha intensidad de señal, mayor es el nivel de detección que se obtiene respecto a defectos de recubrimiento pequeños. En las zonas en donde se obtuvo una intensidad de la señal menor a 200 mV, se instalaron sistemas temporales para incrementar dicha señal.

Figura 12
Sistema temporal de protección catódica



En la bitácora de campo (tabla 2) se registraron todas las referencias físicas y hallazgos realizados sobre el derecho de vía, además de las fallas de recubrimiento con sus respectivas coordenadas geográficas y kilometraje.

En los sitios en donde se ubicaron anomalías en el recubrimiento también se registró el comportamiento de la falla (anódico o catódico), el tipo de falla (puntual o continuo) y se midió hacia tierra remota la caída de voltaje (OL/RE). Se colocó una marca con pintura en aerosol sobre el suelo en el sitio de la falla como futura referencia.

Una vez obtenidos los porcentajes de caída IR se clasifica las fallas de acuerdo a la práctica recomendada NACE RP0502-2008 (anterior), ANSI/NACE SP0502-2010 (vigente) la norma vigente no clasifica:

Categoría 1: En esta categoría se clasifican todas las fallas del recubrimiento que presenten un %IR entre 0% y 15%. No ponen en riesgo la integridad del ducto ni comprometen la eficiencia del sistema de protección catódica y sólo deben ser evaluadas periódicamente.

Categoría 2: Aquí se ubican las fallas del recubrimiento con %IR entre el 16% y 35%. No ponen en riesgo la integridad del ducto, sin embargo, un elevado número de fallas de esta categoría pueden comprometer la eficiencia de los sistemas de protección catódica, por lo que deben ser evaluadas periódicamente.

Categoría 3: Estas fallas presentan un %IR entre 36% y 60%. Existe la posibilidad de un proceso de corrosión activo que, en caso de no ser atendido, puede poner en riesgo la integridad del ducto. Estas fallas hacen ineficientes a los sistemas de protección catódica por lo que se debe considerar su reparación en el próximo calendario de mantenimiento de la empresa.

Categoría 4: En esta categoría se clasifican todas las fallas del recubrimiento con un %IR mayor al 61%. Debido a la alta posibilidad de daño por corrosión en la zona, ponen en riesgo la integridad del ducto, por lo que deben ser atendidas de forma inmediata.

Figura 13
Medición de gradientes de voltaje de corriente directa (DCVG)



2.5 Seguridad y salud en el trabajo

Con base en las políticas internas de GDN México y de Corrosión y Protección Ingeniería SC sobre la seguridad, salud laboral y medio ambiente, todas las mañanas antes de iniciar la jornada laboral, se impartió una plática de seguridad y salud en el trabajo, con temas diversos como:

- La importancia y el uso del E.P.P.
- Deshidratación y Golpe de calor.
- Prevención a la seguridad ante la sociedad.
- Respeto a los animales y medio ambiente.
- Cuidado a las parcelas de los propietarios.

En cada una de las pláticas se le hizo saber al personal que la seguridad es responsabilidad de todos (figura 14).

Figura 14
Plática de seguridad



CAPÍTULO 3. RESULTADOS DEL PROYECTO

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las distintas mediciones realizadas.

3.1 Interrupción de rectificadores de protección catódica del sistema y ajenos que tienen influencia en la tubería

En la tabla 3 se muestran los rectificadores que protegen el gasoducto de 48" los cuales se interrumpieron, excepto el sistema de protección catódica ubicado en la MLV 02012 con km 59+138 aproximadamente debido a que se encuentra apagado (temporalmente) por no ser requerido para cubrir la demanda de corriente, sin embargo, fue usado para cubrir con la señal requerida en el DCVG.

Tabla 3
Rectificadores internos

RECTIFICADORES						
NOMBRE DEL RPC	SECTOR	KILO METRAJE	LATITUD	LONGITUD	CORRIENTE DE SALIDA	VOLTAJE DE SALIDA
CAMARGO	GDN	4+950	26.297130	-98.774771	2.65 A	3.34 V
LOS RAMONES	GDN	116+400	25.681869	-99.461353	1.26 A	2.79 V

Para realizar un estudio de CIS y que este sea confiable, es necesario eliminar todas las corrientes ajenas que se encuentran en la línea regular, por lo tanto se realizaron unas pruebas de apagado instantáneo para verificar cuales rectificadores externos pudieran tener influencia en tubería de estudio. Por lo tanto, en la siguiente tabla 4 se muestran los rectificadores externos a la tubería que tienen influencia y se interrumpieron antes de iniciar con el estudio CIS.

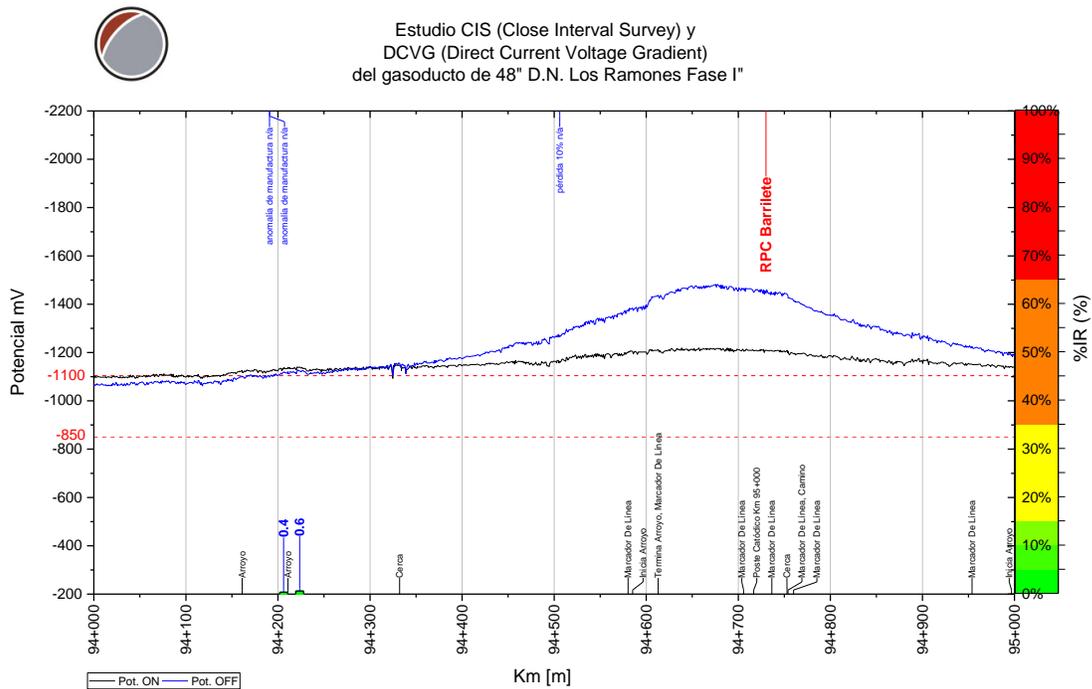
Tabla 4
Rectificadores externos

RECTIFICADORES AJENOS AL SISTEMA DEL GN 48"						
NOMBRE DEL RPC	SECTOR	KILOMETRAJE	LATITUD	LONGITUD	CORRIENTE DE SALIDA	VOLTAJE DE SALIDA
GENERAL BRAVO	PGPB REYNOSA	83+251	25.805071	-99.185128	11.6 A	95.7 V
BARRILETE	REFINACIÓN	88+280	25.7647	-99.28347	70.2 A	13.7 V
POTRERILLOS	PGPB MONTERREY	94+730	25.793286	-99.23205	116.8 A / 39.8 A	27.69 V / 11.14 V
SAN JUAN 2	PGPB SECTOR MONTERREY	106+195	25.716325	-99.383867	145.3 A / 86.2 A	30.82 V / 21.14 V
LOS RAMONES	PGPB MONTERREY	116+360	25.68136	-99.46251	119 A / 79.2 A	33.82 V / 22.87 V

En algunos rectificadores como Los Ramones, San Juan 2 y Potrerillos se tuvieron que ajustar los taps con la finalidad de disminuir la corriente debido a que no se contaba con equipos de interrupción con alta capacidad de corriente salida. En el rectificador San Juan 2 se retiró el equipo de interrupción debido a que al disminuir la corriente de salida (a menos corriente de la capacidad máxima del interruptor) ya no se tenía influencia en la tubería, se mantuvo con parámetros de salida modificados.

En la Gráfica 2, en el km 39+633.1 se puede observar que los potenciales caen con un valor en On =-1035 mV y Off =-985 mV y además se identificó una falla en el recubrimiento.

Gráfica 3
Estudio CIS, Gasoducto de 48”



A partir del km 94+297 al km 95+518 (kilometro alineado geográficamente) se detectó una inversión de los potenciales ON y OFF en donde el potencial Off se vuelve más electronegativo que los potenciales ON. Ese efecto es generado por el sistema de protección catódica de PEMEX Refinación cuyo nombre del rectificador es Barrilete, encontrando su cama anódica a 150 m aproximadamente paralelo a la línea regular de 48” en el km 94+680.8 aproximadamente.

Debido a falta de acceso a partir del km 96+000 (km de los postes) al 96+300 (km de los postes) para el CIS y km 95+000 al 96+400 (km de los postes) para el DCVG, no es posible determinar los valores de protección catódica ni el comportamiento de los posibles defectos en el predio sin acceso.

Por esta situación no se garantiza que, en la zona sin acceso, se tengan valores de protección o que el ducto esté en condiciones de integridad favorables para la operación continua y segura. Representando un riesgo asociado a la pérdida de contención.

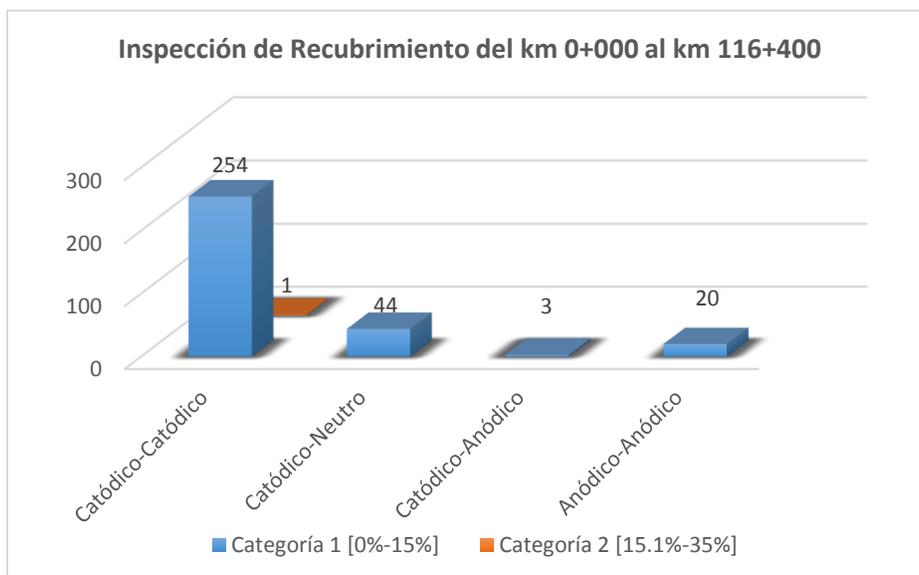
3.3 Inspección de gradientes de voltaje de corriente directa (DCVG)

A lo largo de la tubería se encontraron 20 defectos con comportamiento Anódicos-Anódicos, 3 defectos con comportamiento Catódicos - Anódicos, 44 defectos con comportamiento Catódicos-Neutros y 254 defectos con comportamiento Catódicos – Catódicos, con un total de 322 fallas en el recubrimiento (gráfica 4).

El comportamiento de los defectos fue evaluado con las condiciones normales de operación, es decir, en la primera pasada se detectaron los defectos existentes considerando una señal mínima de 200 mv. En los casos en donde no se alcanzaba dicho cambio (shift), se instaló una cama anódica temporal o bien se modificaron los parámetros de operación de los rectificadores cercanos.

Posterior a la identificación de los defectos se ajustaron todos los rectificadores a sus condiciones normales de operación para garantizar que el comportamiento de los defectos.

Gráfica 4
Número de fallas por categoría y comportamiento, Gasoducto 48”



La falla más grande a lo largo de la tubería fue de categoría 2 ubicada en el km 39+633.1, con coordenadas geográficas latitud 26.066162 y longitud -98.970955, se identificó la falla en el recubrimiento con un %IR de 21.8%.

En la siguiente tabla se encuentra el resumen del total del defecto (322), encontrados en el estudio, categorizados por intervalos de 0.5% de caída IR.

Tabla 5
Resumen defectos

Total de defectos	Intervalos de %IR	
	0.00% - 21.50%	21.50% - 22.50%
121	0.00%	0.50%
72	0.50%	1.00%
41	1.00%	1.50%
27	1.50%	2.00%
19	2.00%	2.50%
13	2.50%	3.00%
8	3.00%	3.50%
6	3.50%	4.00%
3	4.00%	4.50%
1	4.50%	5.00%
3	5.00%	5.50%
1	5.50%	6.00%
1	6.00%	6.50%
1	6.50%	7.00%
1	7.00%	7.50%
1	7.50%	8.00%
1	8.00%	8.50%
1	8.50%	9.00%
1	9.00%	9.50%
2	9.50%	10.00%
1	10.00%	10.50%
1	10.50%	11.00%
1	11.00%	11.50%
1	11.50%	12.00%
1	12.00%	12.50%
1	12.50%	13.00%
1	13.00%	13.50%
1	13.50%	14.00%
1	14.00%	14.50%
1	14.50%	15.00%
1	15.00%	15.50%
1	15.50%	16.00%
1	16.00%	16.50%
1	16.50%	17.00%
1	17.00%	17.50%
1	17.50%	18.00%
1	18.00%	18.50%
1	18.50%	19.00%
1	19.00%	19.50%
1	19.50%	20.00%
1	20.00%	20.50%
1	20.50%	21.00%
1	21.00%	21.50%
1	21.50%	22.00%
1	22.00%	22.50%

En la siguiente tabla 6 (páginas 35 a 50) se muestra el resumen de los defectos encontrados en el DCVG, categorizándolos por su %IR con intervalos de 0.5% cada uno, y dividiéndolos a cada kilómetro.

Basándose en la clasificación de la práctica recomendada por NACE RP0502-2002, se anexa la tabla 7 resumen de clasificación con respecto a la categoría, número de defectos y comportamiento de los defectos.

Tabla 7
Clasificación, número y comportamiento de los defectos

Comportamiento	Categoría 1 [0%-15%]	Categoría 2 [15.1%-35%]	Total
Catódico-Catódico	254	1	255
Catódico-Neutro	44		44
Catódico-Anódico	3		3
Anódico-Anódico	20		20
Total	321	1	322

3.4 Resistividades

De acuerdo a la NOM-007-SECRE-2010, la corrosividad del suelo en función de su resistividad se clasifica de acuerdo a la siguiente tabla.

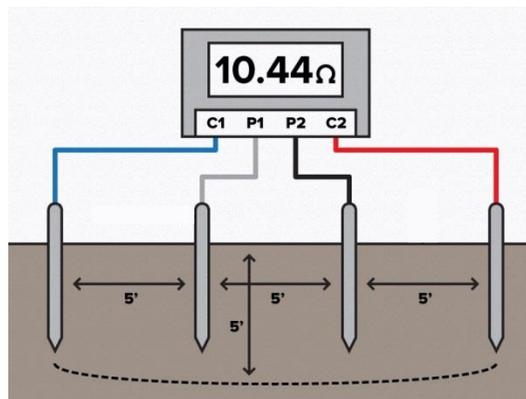
Tabla 8
Corrosividad del suelo en función de su resistividad

RESISTIVIDAD DEL SUELO (Ohm-cm)	CORROSIVIDAD DEL SUELO
0 a 1,000	Altamente corrosivo
1, 000 a 5,000	Corrosivo
5,000 a 10,0000	Poco corrosivo
10,000 en adelante	Muy poco corrosivo

3.4.1 Método de Cuatro Puntas de Wenner

Este método se usa para determinar la resistividad del suelo dentro de un área. El procedimiento de Wenner requiere clavar cuatro varillas metálicas en la tierra, alineadas en forma equidistante. La separación entre las varillas equivale a la profundidad de la resistividad promedio del suelo, como se indica en la Figura 15. La resistividad promedio del suelo está en función de la caída de potencial entre el par central de varillas con la corriente circulando entre las dos varillas externas. Una vez medida la resistencia con una separación dada, puede cambiarse esta separación y medir la resistencia con este nuevo valor.

Figura 15
Método de Wenner



Para determinar el valor de la resistividad promedio en cada capa del suelo se utiliza el método de Barnes⁶, que consiste en realizar mediciones en diferentes profundidades, considerando que las diferentes capas de suelo actúan como resistores en paralelo, mientras que la medición de resistencia para cada profundidad corresponde a la resistencia total equivalente de dichos resistores en paralelo.

⁶ NACE Manual Cathodic Protection Certification and Training, Level. 2.

De esta forma, el valor de la resistencia medida con una separación de varillas de 1.2 metros, corresponde a la resistencia promedio de una capa de suelo entre 0 y 1.2 metros de profundidad, mientras que la resistencia medida con una separación de varillas de 2.4 metros, corresponde a la resistencia total equivalente de dos capas de suelo en paralelo, una entre 0 y 1.2 metros, y otra entre 1.2 y 2.4 metros de profundidad.

Sabiendo que la resistencia equivalente de dos resistencias en paralelo es:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Donde:

R_T es la resistencia equivalente total de ambas capas en paralelo (medición con separación de varillas de 2 metros)

R_1 es la resistencia medida de la capa entre 0 y 1.2 metro (medición con separación de varillas de 1 metro)

R_2 es la resistencia de la capa de suelo entre 1.2 y 2.4 (no se puede medir)

Despejando el valor de R_2 :

$$R_2 = \frac{R_1 R_T}{R_1 - R_T}$$

Conociendo el valor de la resistencia de cada capa, se determina el valor de la resistividad del suelo utilizando la siguiente ecuación:

$$\rho = 2\pi a R$$

Donde ρ es la resistividad del suelo, a es el espesor de la capa de suelo, y R es el valor de la resistencia de cada capa de suelo.

3.4.2 Resultados de las resistividades

A continuación, en la tabla 9 se muestran los resultados del estudio de resistividades a profundidades de 1.2 m y 2.4 m con el método de Wenner de 4 puntas y el cálculo de resistividad por capas con el método de Barnes.

Tabla 9
Resistividades km 0+000-116+400

km	VALOR RESISTIVIDADES Ω -cm		km	VALOR RESISTIVIDADES Ω -cm	
	0-1.2 m	1.2-2.4 m		0-1.2 m	1.2-2.4 m
0+000	3,016	3,016	26+000	2,564	4,700
1+000	754	1,400	27+000	3,996	1,577
2+000	1,508	4,523	28+000	98	134
3+000	2,262	5,278	29+000	1,885	2,399
4+177	1,659	1,005	30+000	1,960	614
5+000	648	712	31+000	234	491
6+000	980	719	32+000	189	126
7+000	1,056	839	33+000	980	696
8+000	1,357	1,015	34+000	3,016	1,810
9+000	3,318	2,297	35+000	75	113
10+000	4,449	3,753	36+000	271	339
11+000	4,373	2,874	37+000	302	247
12+000	3,544	1,829	38+000	1,734	1,334
13+000	3,845	1,923	39+000	3,468	2,033
14+000	4,524	13,571	40+000	2,262	1,131
15+000	558	285	41+000	3,921	1,176
16+000	11,310	14,790	42+000	1,659	427
17+000	6,409	3,679	43+000	2,639	1,759
18+000	3,393	1,696	44+000	641	449
19+000	7,540	4,241	45+000	2,714	1,727
20+000	5,429	3,878	46+000	15,834	14,394
21+000	3,167	864	47+000	5,957	9,223
22+000	136	272	48+000	4,901	11,027
23+000	1,357	551	49+000	1,131	1,479
24+000	1,206	2,011	50+000	49,763	56,184
25+000	226	296	51+000	6,258	7,411

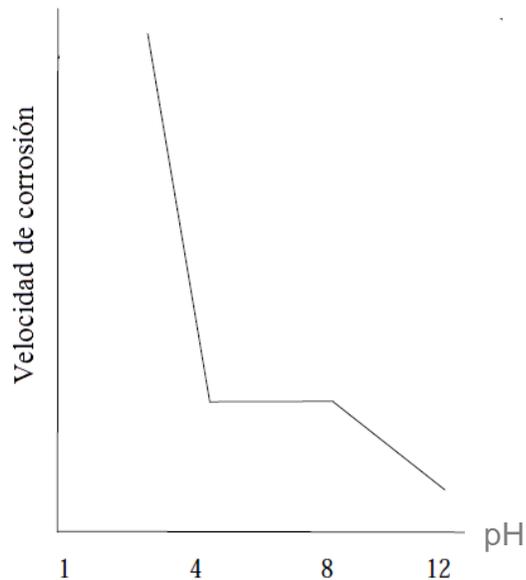
km	VALOR RESISTIVIDADES Ω -cm		km	VALOR RESISTIVIDADES Ω -cm	
	0-1.2 m	1.2-2.4 m		0-1.2 m	1.2-2.4 m
52+000	3,619	2,585	85+000	11,310	3,315
53+000	4,826	1,888	86+000	3,619	4,277
54+000	47,501	19,000	87+000	4,675	7,927
55+000	12,064	12,064	88+000	1,885	1,740
56+000	4,599	2,415	89+000	8,218	2,827
57+000	264	198	90+000	8,158	5,699
58+000	256	202	91+000	6,507	4,814
59+000	317	348	92+000	7,434	4,702
60+000	4,222	2,533	93+000	10,850	9,322
61+000	6,484	2,229	94+000	11,347	9,633
62+000	4,072	1,566	95+000	146	181
63+000	4,147	1,855	96+400	7,238	1,558
64+000	3,167	1,420	97+000	1,184	656
65+000	3,695	1,198	98+000	935	1,338
66+000	2,941	556	99+000	980	765
67+000	4,373	2,482	100+000	535	309
68+000	264	352	101+000	234	249
69+000	10,556	18,421	102+000	829	371
70+000	12,064	84,447	103+000	4,072	3,021
71+000	204	120	104+000	1,206	2,654
72+000	1,357	400	105+000	294	147
73+000	528	559	106+000	3,016	1,810
74+000	3,167	990	107+000	415	430
75+000	603	274	108+000	3,091	4,830
76+000	1,508	377	109+000	309	113
77+000	15,080	5,027	110+000	2,111	516
78+000	1,357	884	111+000	41,469	46,254
79+000	11,310	4,113	112+000	3,016	790
80+000	1,734	2,698	113+000	980	2,287
81+000	121	201	114+000	41,469	46,254
82+000	905	1,224	115+000	271	950
83+000	6,786	3,744	116+000	287	132
84+000	15,834	21,112	116+400	279	190

3.5 Medición de pH

El pH es una unidad de medida que sirve para establecer el nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia lo cual depende del contenido de iones hidrógeno. A mayor cantidad de estos iones, más ácida será la sustancia; mientras que una baja presencia de ellos conllevará a una mayor alcalinidad.

En la siguiente gráfica se muestra una relación típica de la velocidad de corrosión de una estructura de acero en función del pH del medio en el que se encuentra.

Gráfica 5
Velocidad de corrosión en función del pH



Como se aprecia en la gráfica anterior, la velocidad de corrosión será considerable a valores de pH menores a 4; de 4 a 8 la velocidad de corrosión será independiente del valor del pH, mientras que para valores elevados de pH (mayores a 8), la velocidad de corrosión tenderá a disminuir.

3.5.1 Resultados pH

El pH del suelo se puede medir usando un electrodo de antimonio y un electrodo de cobre/sulfato de cobre. El electrodo de antimonio consiste en una punta de antimonio en el extremo de un tubo no-metálico, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10
pH de suelo medido a lo largo del DDV

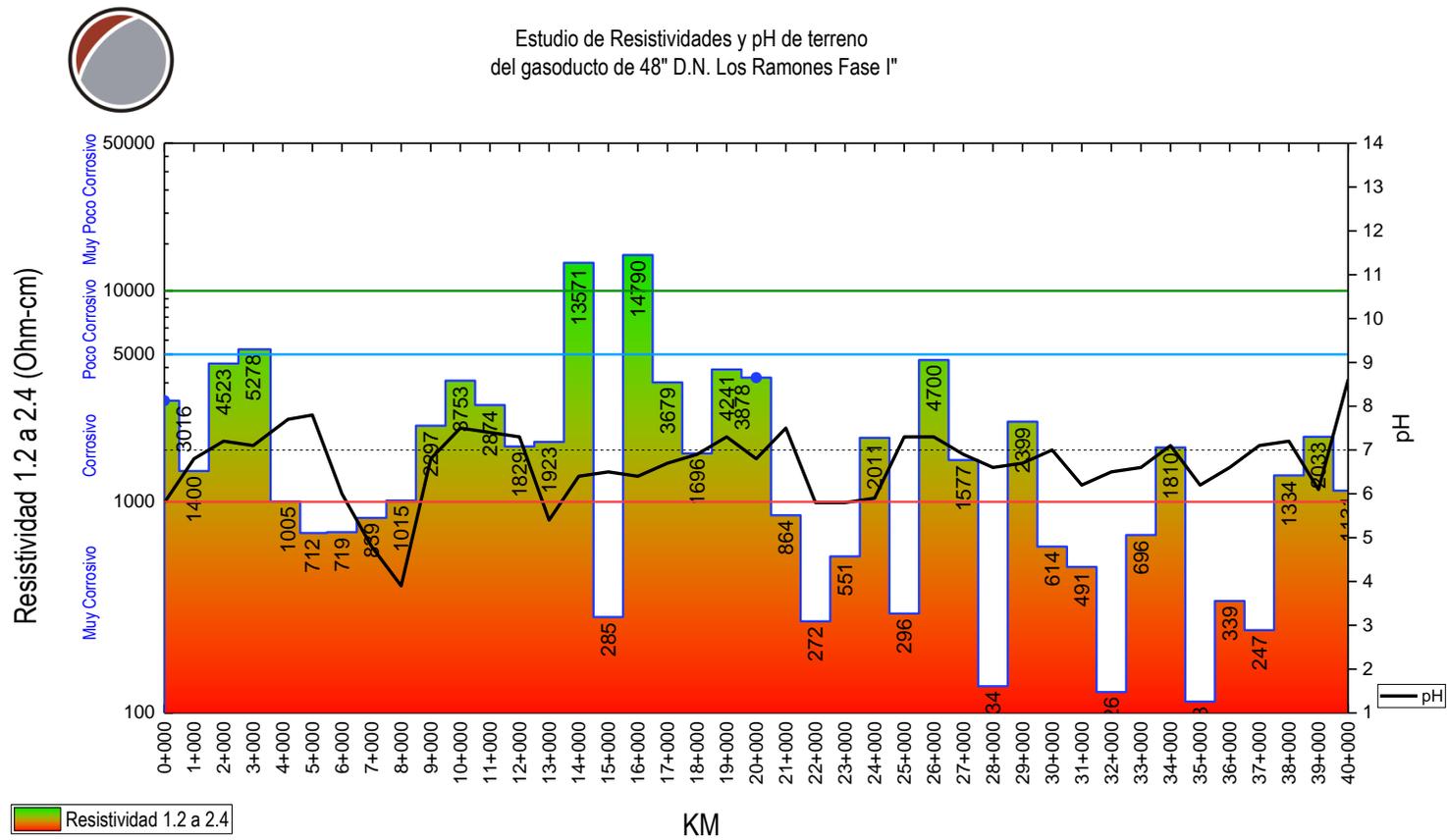
Mediciones de pH							
km	pH (sitio)						
0+000	5.8	17+000	6.7	34+000	7.1	51+000	8.2
1+000	6.8	18+000	6.9	35+000	6.2	52+000	5.8
2+000	7.2	19+000	7.3	36+000	6.6	53+000	5.2
3+000	7.1	20+000	6.8	37+000	7.1	54+000	6.4
4+177	7.7	21+000	7.5	38+000	7.2	55+000	6
5+000	7.8	22+000	5.8	39+000	6.1	56+000	6.4
6+000	6	23+000	5.8	40+000	8.6	57+000	7
7+000	4.8	24+000	5.9	41+000	6.3	58+000	6.9
8+000	3.9	25+000	7.3	42+000	6.5	59+000	6.7
9+000	6.8	26+000	7.3	43+000	6.8	60+000	6.3
10+000	7.5	27+000	6.9	44+000	6.5	61+000	6.5
11+000	7.4	28+000	6.6	45+000	6.9	62+000	5.8
12+000	7.3	29+000	6.7	46+000	6.3	63+000	5.9
13+000	5.4	30+000	7	47+000	5.8	64+000	4.8
14+000	6.4	31+000	6.2	48+000	7.5	65+000	5.8
15+000	6.5	32+000	6.5	49+000	5.8	66+000	4.9
16+000	6.4	33+000	6.6	50+000	6.9	67+000	5.5

Mediciones de pH		Mediciones de pH		Mediciones de pH		Mediciones de pH	
km	pH (sitio)						
68+000	6.4	81+000	4.6	94+000	5.7	107+000	6.5
69+000	5.8	82+000	5.9	95+000	5.8	108+000	4.3
70+000	5.9	83+000	6.6	96+400	5.2	109+000	6.1
71+000	5.9	84+000	6.1	97+000	6	110+000	5.5
72+000	5.9	85+000	5.7	98+000	6.1	111+000	6
73+000	6.3	86+000	5.4	99+000	6.1	112+000	6.4
74+000	5.9	87+000	5.2	100+000	6.4	113+000	6.5
75+000	6.1	88+000	6.1	101+000	6.3	114+000	6.9
76+000	6.3	89+000	6.4	102+000	5.8	115+000	3.2
77+000	6.4	90+000	6.6	103+000	5.8	116+000	6.3
78+000	3.5	91+000	6	104+000	6.1	116+400	6.3
79+000	6.7	92+000	5.2	105+000	5.6		
80+000	5.6	93+000	5.5	106+000	5.3		

3.5.2 Gráficos combinados de resistividad 1.2-2.4 m de profundidad y pH

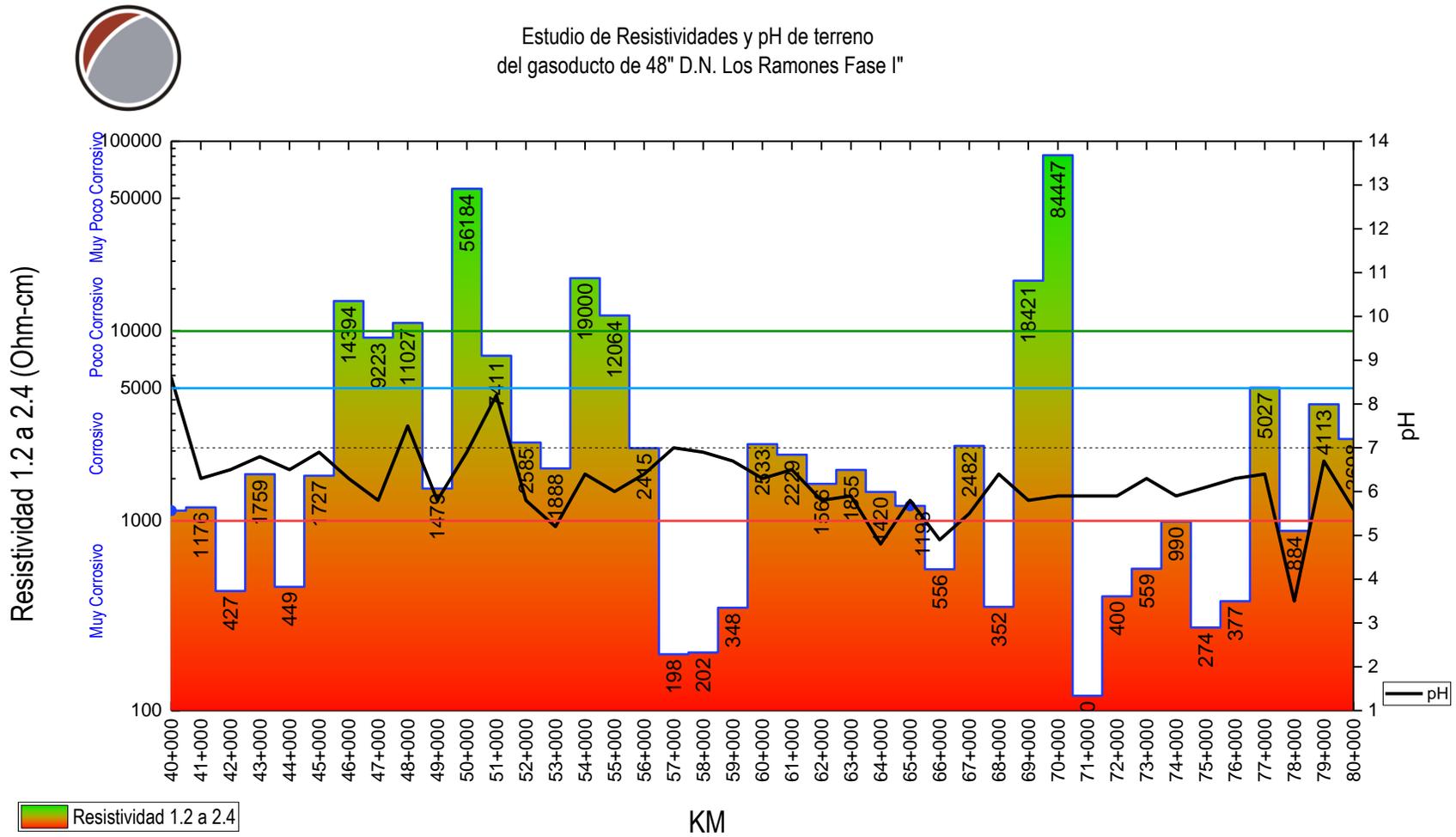
Las gráficas 6, 7 y 8 muestran los resultados del estudio de resistividad y pH:

Gráfica 6



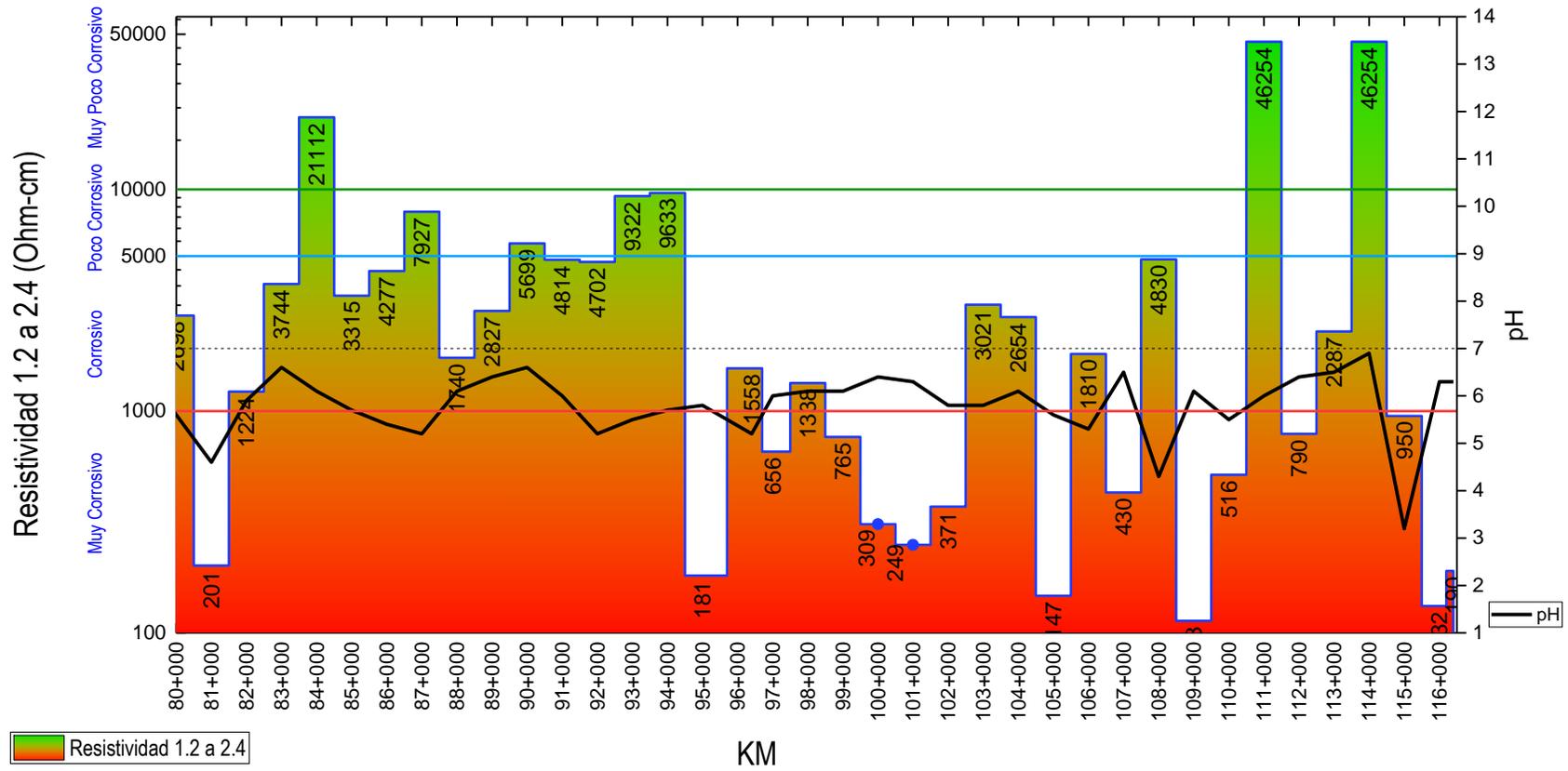
Gráfica 7

Estudio de Resistividades y pH de terreno
del gasoducto de 48" D.N. Los Ramones Fase I"



Gráfica 8

Estudio de Resistividades y pH de terreno
del gasoducto de 48" D.N. Los Ramones Fase I"



CONCLUSIONES

Mi participación en este proyecto como asesor del gerente responsable del mismo fue una gran experiencia, la cual tuvo como marco la formación académica adquirida en la carrera de ingeniería mecánica en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México; asimismo, cabe destacar que los resultados del proyecto obtuvieron la aceptación del director de Corrosión y Protección, los cuales se describen a continuación:

Principales resultados del proyecto

Se inspeccionaron un total de 111,000 metros de la tubería de gas de 48" mediante las técnicas CIS y 107+000 para DCVG, en donde la diferencia para 116+400, no se pudo efectuar por problemáticas de acceso con los propietarios.

Los tramos pendientes por realizar son los siguientes:

- Estudio DCVG del km 5+900 hasta el km 9+600 y en el km 94+751 al km 96+040.
- Estudio CIS del km 96+000 al km 96+397.

Con base en los estudios realizados, se concluye que toda la tubería inspeccionada se encuentra protegida catódicamente bajo el criterio de -850 mV (potencial de apagado instantáneo); excepto la interferencia que se presentó en el km 94+297 al km 95+518.

Durante los estudios de campo fue posible identificar la presencia de líneas de alta tensión que cruzan el ducto y no presenta paralelismo.

Con respecto a los sistemas ajenos al gasoducto de 48" de diámetro, se recomienda monitorear los potenciales a la altura del km 84+000 por la influencia del rectificador "General Bravo", puesto que al realizar los estudios este rectificador se encontraba operando únicamente con 2 ánodos, información proporcionada por personal de Pemex PGPB. Próximamente se deberá reparar.

En el punto de interferencia generada por el rectificador barrilete en el km 94+297 al km 95+518, se recomienda realizar estudios para la mitigación de la interferencia a la brevedad posible, para evitar que la corriente captada por el ducto en estudio sea descargada generando corrosión y posibles picaduras. Por otra parte el riesgo asociado a la descarga de corriente y a la zona sin acceso (en la parte de inversión de potenciales), representa gran incertidumbre de la integridad del ducto.

En lo referente al recubrimiento de la tubería, se detectaron un total de 322 fallas de recubrimiento, las cuales en su gran mayoría pertenecen a fallas de categoría 1 y una con categoría 2, que únicamente requieren de un monitoreo periódico, y considerar las que se encuentran en zonas altamente corrosivas a corrosivas.

En la siguiente imagen se muestra el resultado de la excavación de la única falla categoría 2, encontrada en el km 39+636. En donde se observó que la detección de la falla se mostró por la falta de recubrimiento en todo el perímetro de la soldadura con un ancho de 15 cm (equivalente a 0.57 m² de área desnuda).



**INSPECCIÓN DEL RECUBRIMIENTO CON LA TÉCNICA DCVG
VERIFICACIONES DE DEFECTOS**

REGISTRO ELECTRÓNICO DE ACTIVIDADES		Inicio:18/01/2017 Fin:18/01/2017
Defecto:	Catódico – Catódico Km 39+636	Ducto: Línea Regular de 48" Ø
DESCRIPCIÓN:		
Se realizó una excavación de 2.3 m de largo X 2.16 m de Ancho y una profundidad de 2 metros, encontrando un defecto por falta de recubrimiento en la soldadura entre segmentos de ductos de 15 cm de ancho, se volvió a cubrir el defecto sin aplicación de recubrimiento.		
REPORTE FOTOGRÁFICO		
		

Cabe señalar que este hallazgo se reparó de manera inmediata.

En la tabla 12 se muestran los defectos con comportamiento anódico-anódico:

Tabla 12
Indica las fallas con comportamiento (anódico-anódico)

Categoría	Kilometraje	Comportamiento	Latitud	Longitud	Sugerencia de Reparación
1	93+837.8	Anódico-Anódico	25.771046	-99.277504	Incluir en el siguiente programa de reparación
1	93+909.9	Anódico-Anódico	25.770662	-99.278083	Incluir en el siguiente programa de reparación
1	97+011.5	Anódico-Anódico	25.754822	-99.303458	Incluir en el siguiente programa de reparación
1	97+131.5	Anódico-Anódico	25.754239	-99.304465	Incluir en el siguiente programa de reparación
1	97+275.8	Anódico-Anódico	25.753539	-99.305674	Incluir en el siguiente programa de reparación
1	98+084.3	Anódico-Anódico	25.749591	-99.312430	Incluir en el siguiente programa de reparación
1	99+278.3	Anódico-Anódico	25.743758	-99.322409	Incluir en el siguiente programa de reparación
1	104+468.1	Anódico-Anódico	25.732196	-99.371812	Incluir en el siguiente programa de reparación
1	106+816.8	Anódico-Anódico	25.726184	-99.394036	Incluir en el siguiente programa de reparación
1	110+474.9	Anódico-Anódico	25.711401	-99.423816	Incluir en el siguiente programa de reparación
1	113+046.5	Anódico-Anódico	25.693926	-99.439291	Incluir en el siguiente programa de reparación
1	113+197.6	Anódico-Anódico	25.693510	-99.440709	Incluir en el siguiente programa de reparación
1	113+206.3	Anódico-Anódico	25.693484	-99.440793	Incluir en el siguiente programa de reparación
1	113+225.2	Anódico-Anódico	25.693478	-99.440980	Incluir en el siguiente programa de reparación
1	113+224.5	Anódico-Anódico	25.693472	-99.440973	Incluir en el siguiente programa de reparación
1	113+270.4	Anódico-Anódico	25.693444	-99.441428	Incluir en el siguiente programa de reparación
1	113+271.4	Anódico-Anódico	25.693447	-99.441438	Incluir en el siguiente programa de reparación
1	113+325.5	Anódico-Anódico	25.693480	-99.441974	Incluir en el siguiente programa de reparación
1	113+679.1	Anódico-Anódico	25.694255	-99.445344	Incluir en el siguiente programa de reparación
1	115+609.2	Anódico-Anódico	25.687333	-99.460725	Incluir en el siguiente programa de reparación

Recomendaciones

Se recomienda incluir en el programa de mantenimiento el aislamiento de las conexiones eléctricas en las válvulas MLV 01011, MLV 01012 y MLV01013 ubicadas en el conduit de instrumentación que esta interconectado al actuador (figura 16), ya que genera una baja en los potenciales ducto/suelo en las zonas cercanas; esto con la finalidad de incrementar la eficiencia del sistema de protección catódica.

Figura 16
Aislamiento en el conduit de instrumentación y soporte del Actuador



Asimismo, se recomienda estar al pendiente con los rectificadores externos que se encuentran fuera de operación temporalmente debido a que se harán reparaciones en las camas anódicas y eso podría causar efectos de influencia en la tubería en estudio. La siguiente la tabla 13 muestra las observaciones de cada uno de los rectificadores.

Tabla 13
Rectificadores externos que se encuentran fuera de operación
temporalmente

Nombre del Rectificador	Corriente de Salida	Voltaje de Salida	kilometraje	Latitud	Longitud	Comentarios
Viboritas 2	2.1 A	24.6 V	49+68	25.97515	-98.97062	Sin Influencia, se debe monitorear constantemente si PEMEX incrementa la salida de corriente
Culebra Norte	0 A	68.1 V	66+203	25.84228	-99.0247	No funciona la cama, pero están en proceso de repararla, deben poner especial atención ya que la cama convencional se ubica a 250 metros.
San Juan 1	0 A	0 V	106+206	25.716284	- 99.383971	No funciona la cama, pero deben estar atentos cuando PEMEX realice su reparación
General Tapia	0 A	0 V	67+451	25.83624	-99.03879	La cama está dañada, están en proceso de reparación, mantenerse atentos para cuando sea reparada.

BIBLIOGRAFÍA

Academia Nacional de Ingeniería Uruguay (2014). **La corrosión, fenómeno natural a controlar.** Disponible en http://www.aniu.org.uy/wp-content/uploads/2015/11/Mardero_Corrosion_20140814.pdf

Cárdenas Ruiz, Mario (2007), **Análisis comparativo de evaluación de defectos en ductos entre estudios realizados con equipos instrumentados inteligentes de segunda y tercera generación,** Tesis de maestría en ciencias en ingeniería mecánica, opción diseño mecánico, tutor Dr. Luis Héctor Hernández Gómez, ESIME, IPN.

Corrosión y Protección (2014). **Corrosión y Protección.** Obtenido de http://www.corrosionyproteccion.com/quienessomos.html#qs_filosofia

De la Cruz Pitalua, Jorge Antonio (2011). **Propuesta de inspección a ductos que transportan hidrocarburos con equipo instrumentado, mediante técnicas de ultrasonido y fuga de flujo magnético.** Tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Gómez Gómez Juan José (2010), **Protección catódica aplicada a tuberías de acero de distribución de gas natural en Lima y Callao.** Tesis de ingeniería eléctrica, tutor Yanque Montúfar, Justo Hermilio, Universidad Nacional de ingeniería, consultado en <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/9560>

Gutiérrez Pérez Melesio (2010). **Riesgo e integridad de ductos de transporte de hidrocarburos.** Academia de Ingeniería, México, Disponible en http://www.ai.org.mx/ai/archivos/ingresos/melesio/riesgo_e_integridad_de_ductos_de_transporte_de_hidrocarburos.pdf

Holtsbaum H. Brian (2016), **Cathodic Protection Survey Procedures,** National Association of Corrosion Engineers (NACE), 3rd Edition

Kowalski, A. (2014). **The close interval potential survey (CIS/CIPS) method for detecting corrosion in underground pipelines,** en Mark Orazem (editor) **Underground pipeline corrosion.** Woodhead Publishing Limited, p.p. 227-246

M.C. Miller Co., Inc. (S.f.). **Manual de entrenamiento DCVG-Versión Gx.** Disponible en <https://d163axztg8am2h.cloudfront.net/static/doc/6a/4b/1651afbf022f8ce0272b3534e1e4.pdf>

Ojeda Gil, Victoriano Antonio (2016). **Avances en la medida de la protección catódica de estructuras metálicas enterradas mediante métodos de desconexión cíclica**. Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, UNED (Universidad Nacional de Educación a Distancia). España 2016. Disponible en:

<http://digital.csic.es/bitstream/10261/147402/1/tesis%20protecci%C3%B3n%20cat%C3%B3dica.pdf>

Reyes González, L. F. y Torres Roa, J. A. (2016) **Evaluación del estado de corrosión externa de un gasoducto ubicado al occidente de Colombia, usando técnicas CIPS y DCVG** (Trabajo de grado, ingeniería química). Fundación Universidad de América. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11839/446>

Reve, R. Winston, (2011) **Uhlig's Corrosion Handbook**. Ottawa, John Wiley, Third Edition.

Sosa Domínguez Adriana (2013). **Administración de la corrosión externa en ductos: estudio en laboratorio**. Tesis para obtener el grado de Maestra en Electroquímica, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica. México.

Disponible en:

<https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/132/1/Administraci%C3%B3n%20de%20la%20corrosi%C3%B3n%20externa%20en%20ductos%20estudio%20de%20laboratorio..pdf>

Yasksetig-Castillo, Jorge (2011). **Análisis de la integridad mecánica de un tramo de oleoducto afectado por un fenómeno geodinámica**. Tesis de Master en Ingeniería Mecánico-Eléctrica con Mención en Sistemas Energéticos y Mantenimiento. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.

Disponible en:

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1852/MAS_IME_009.pdf?sequence=3

GLOSARIO

Ánodo - El electrodo de una celda electrolítica en el cual la principal reacción es la oxidación.

Ánodo galvánico o de sacrificio - Es un metal con potencial normal de oxidación mayor que el de la estructura metálica por proteger, de tal forma, que al emitir corriente de protección se consume.

CIS: Close Interval Survey (Estudio de potenciales a intervalos cortos)

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

Cambio de potencial - Diferencia entre el potencial de estructura – medio (electrolito), medido después de suspender la corriente de un sistema de protección catódica y el potencial instantáneo en estado apagado.

Cátodo - Es el electrodo de una celda electroquímica, en el cual la principal reacción que ocurre es la de reducción.

Corriente de protección - Es la corriente eléctrica directa, necesaria para obtener los valores de potenciales de protección catódica de una estructura metálica enterrada o sumergida en un electrolito.

Corrosión - Es la reacción electroquímica de un metal con su ambiente, resultando en un deterioro gradual y progresivo del metal y sus propiedades. Esta especificación se refiere a la corrosión como una acción electroquímica.

Densidad de corriente - Es la corriente eléctrica directa por unidad de área de superficie de un electrodo, expresada en mili ampere por metro cuadrado.

DCVG: Direct Current Voltage Gradient (Gradientes de voltaje de corriente directa)

Electrodo de Referencia - Electrodo con potencial estable y reproducible, el cual se usa en la medición de potenciales estructura – medio (electrolito).

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

Falla del recubrimiento: Discontinuidad del recubrimiento

Metodología: Hace referencia al conjunto de procedimientos racionales utilizados para alcanzar un objetivo o tarea.

Oxidación - Reacción química donde un elemento cede electrones.

pH: Potencial de hidrógeno.

Polarización - Es la magnitud de variación de potencial de circuito abierto de un electrodo, causado por el paso de una corriente eléctrica.

Potencial de estructura-electrolito - Es la diferencia de tensión, entre una estructura metálica enterrada o sumergida y un electrodo de referencia en contacto con el electrolito.

Potencial en estado encendido (On) - Potencial estructura–medio (electrolito), medido con la corriente de protección catódica circulando.

Potencial de polarización (Off) - Potencial estructura–medio (electrolito), medido inmediatamente después de interrumpir las fuentes de energía de protección catódica. Es el potencial real de protección de la estructura.

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

Resistividad del terreno - Es la resistencia eléctrica específica de un terreno, se expresa en Ω -cm.

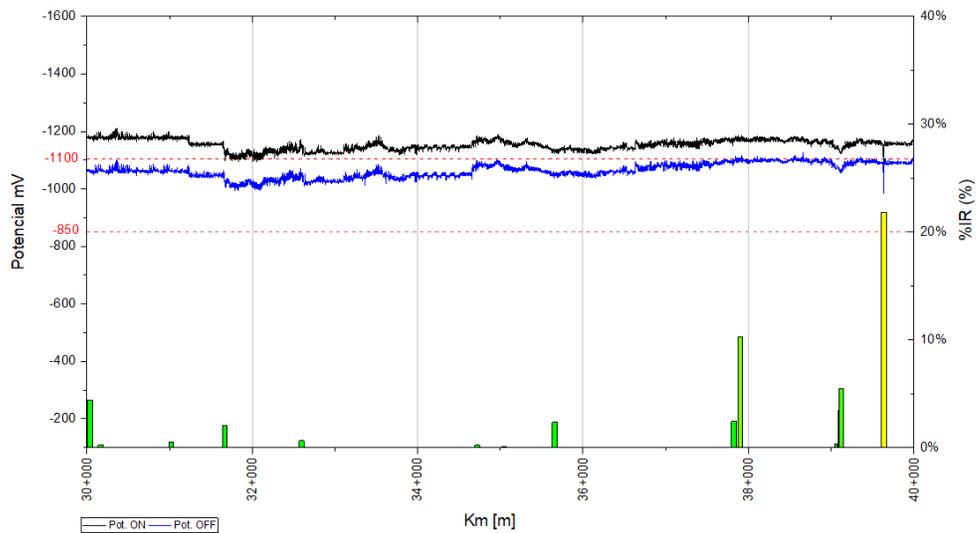
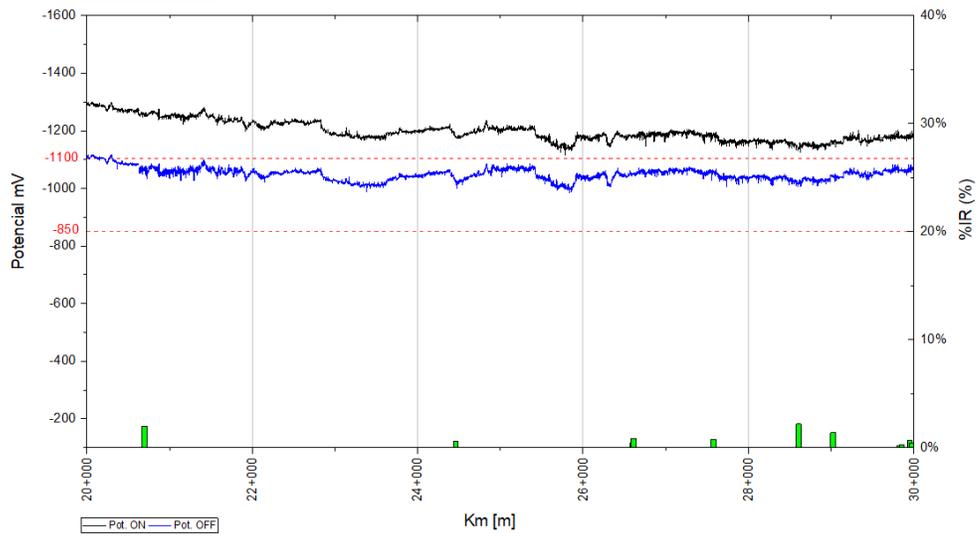
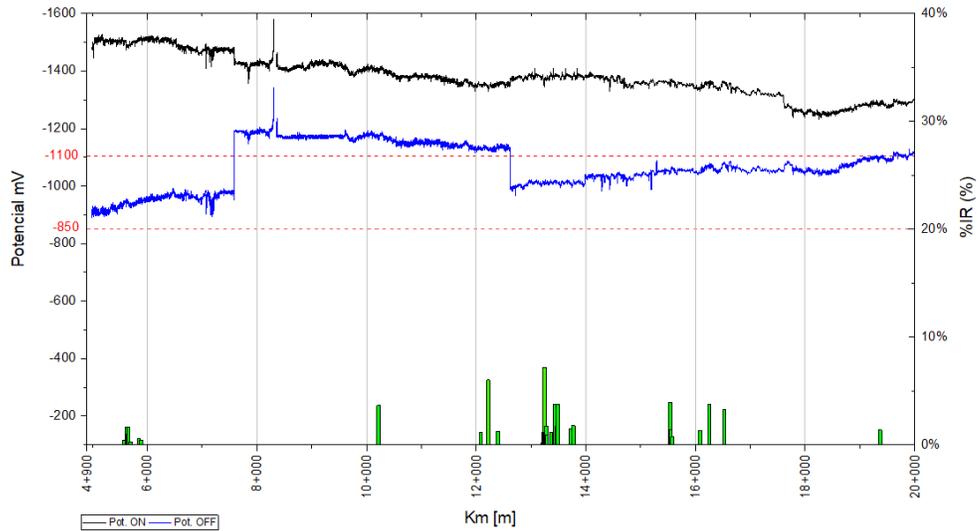
Reducción - Reacción química donde un elemento gana electrones.

Señal: Diferencia entre el voltaje On y el voltaje Off, se mide en las estaciones de prueba o registros para iniciar y terminar la inspección del recubrimiento con la técnica DCVG.

ANEXO A

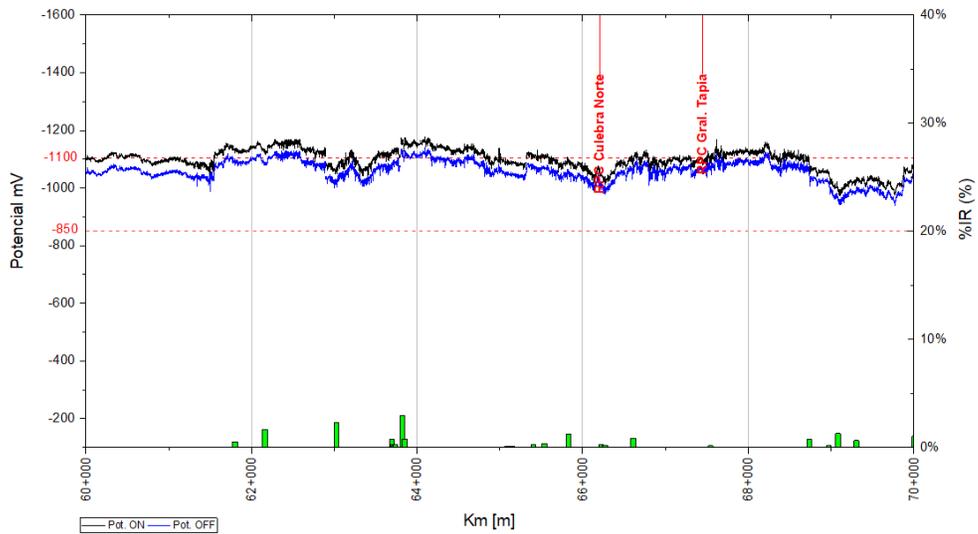
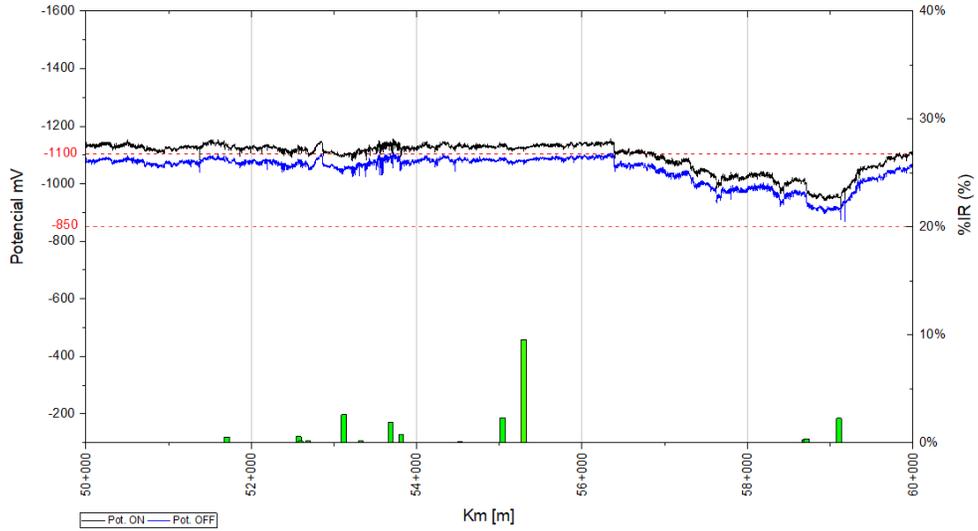
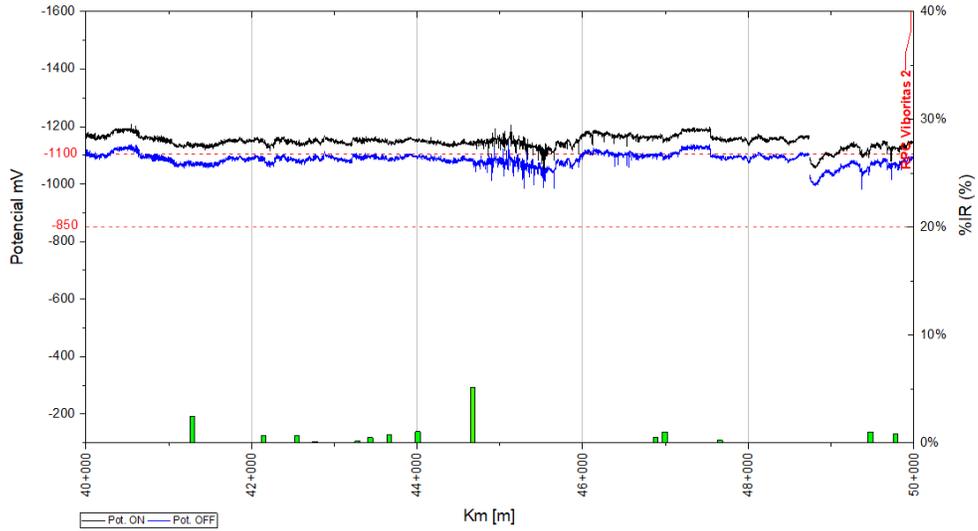


Estudio CIS (Close Interval Survey) y
DCVG (Direct Current Voltage Gradient)
del gasoducto de 48" D.N. Los Ramones Fase I"



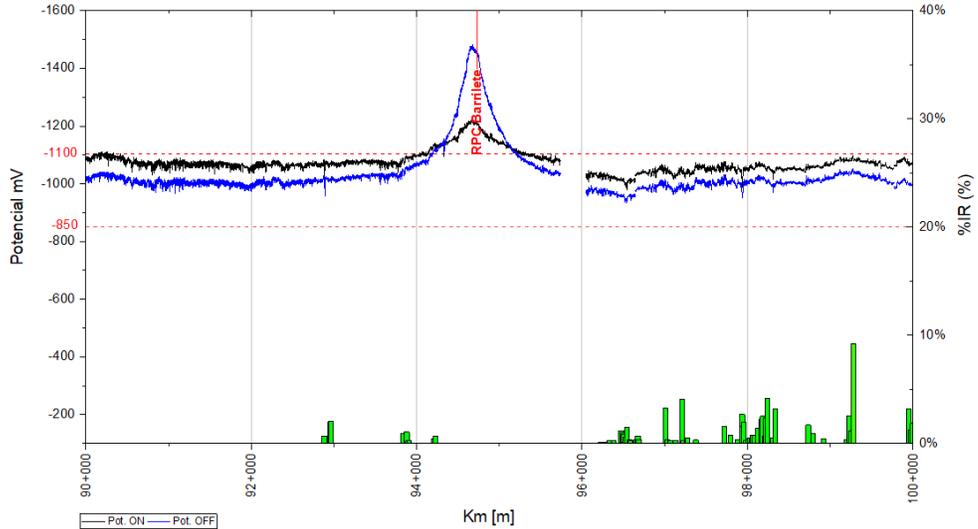
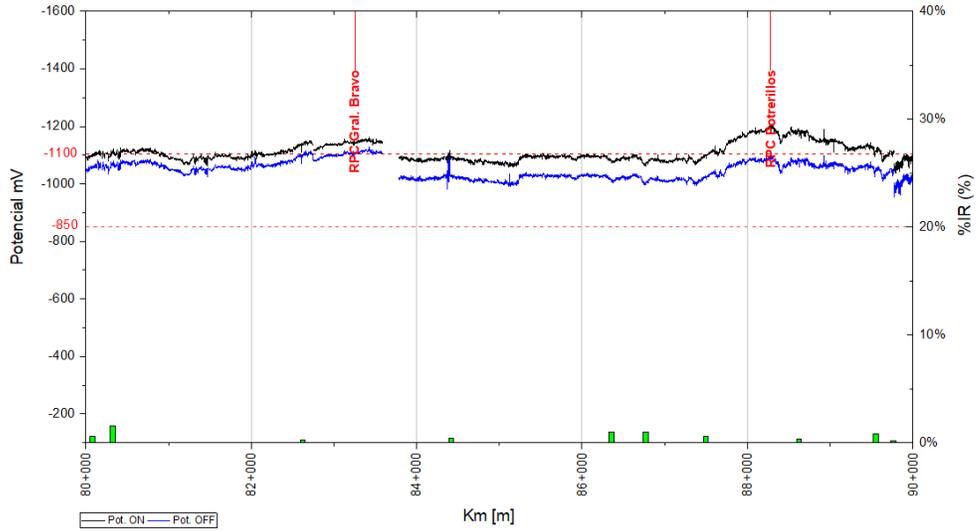
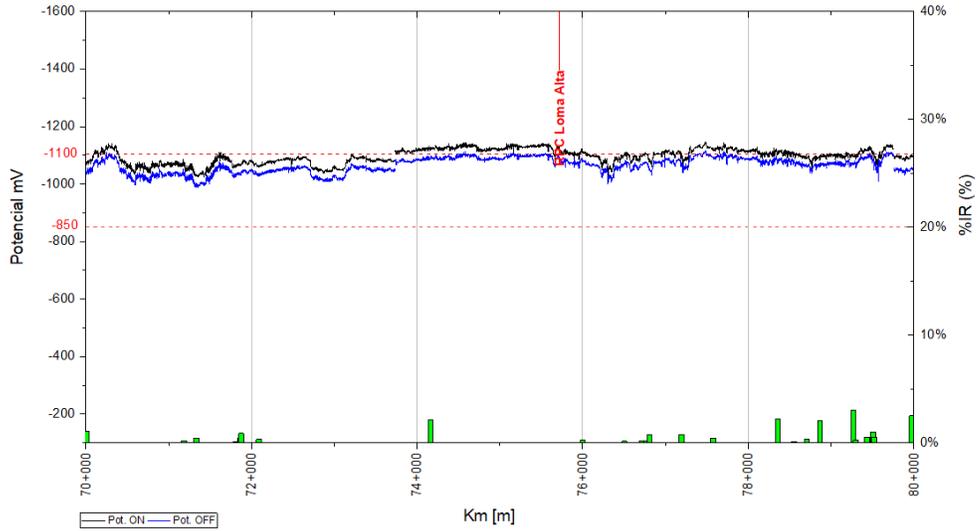


Estudio CIS (Close Interval Survey) y
DCVG (Direct Current Voltage Gradient)
del gasoducto de 48" D.N. Los Ramones Fase I"





Estudio CIS (Close Interval Survey) y
DCVG (Direct Current Voltage Gradient)
del gasoducto de 48" D.N. Los Ramones Fase I"





Estudio CIS (Close Interval Survey) y
DCVG (Direct Current Voltage Gradient)
del gasoducto de 48" D.N. Los Ramones Fase I"

