

Efecto de las fallas de recubrimiento mecánico en los potenciales de protección catódica en ductos enterrados

Effect of mechanical coating failures on cathodic protection potentials in buried ducts

L. M. González^a, L. S. Villaseñor-Cerón^a, M. I. Reyes-Valderrama^a, J. Hernández-Ávila^a, V. Rodríguez Lugo^{a,*}

^a Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

Resumen

Este trabajo se enfoca en la evaluación del efecto de fallas de recubrimientos en los potenciales de protección catódica en ductos enterrados. Los estudios se llevaron a cabo en un ducto real, con el objetivo de realizar un programa de mantenimiento. Las tuberías son protegidas contra la corrosión mediante una combinación de recubrimientos mecánicos y sistemas de protección catódica. El control de la corrosión depende de un equilibrio entre el estado del recubrimiento y los niveles de protección catódica. Para obtener niveles efectivos, los potenciales tubo-suelo deben estar entre -850 mV de subprotección y -1200 mV de sobreprotección. Esta meta solo puede ser alcanzada si existe un decaimiento controlado en el perfil de potencial en la tubería desde los puntos de máximo potencial (los rectificadores) a los puntos de mínimo potencial (las áreas más remotas de los rectificadores). El ritmo de decaimiento de potencial depende de la condición del recubrimiento de los ductos que es el factor crítico para el correcto funcionamiento de los sistemas de protección catódica.

Palabras Clave:

Protección Catódica, CIPS-DCVG.

Abstract

This work focuses on assessing the effect of coating failures on cathodic protection potentials in buried ducts. The studies were carried out in a real pipeline, with the aim of carrying out a preventive and corrective maintenance program. Pipes are protected against these effects by a combination of mechanical coatings and cathodic protection systems. Corrosion control depends on a balance between coating status and cathodic protection levels. To obtain effective levels of cathodic protection, potential soil tube should be maintained between -850 mV of subprotection and -1200 mV of superprotection. This goal can only be achieved if there is a controlled decay in the potential profile in the pipe from the maximum potential points (the rectifiers) to the points of minimum potential (the most remote areas of the rectifiers). The rate of potential decay depends on the condition of the duct coating which is the critical factor for the proper functioning of cathodic protection systems.

Keywords:

Cathodic Protection, CIPS-DCVG.

1. Introducción

El transporte de combustibles se realiza por una red de ductos de acero enterrados, los cuales operan sin interrupción los 365 días del año. Por sus bajos costos operativos el transporte de hidrocarburos por ducto es el más utilizado en el mundo (Subdirección de ductos, 2019). La construcción de la red de ductos en México comenzó hace más de 30 años, y se

encuentran alojados a lo largo de tierras agrícolas, parajes naturales, territorios indígenas, propiedades privadas, ciudades, carreteras, etc., por lo que el riesgo de accidentes por fugas, contaminación y explosión son altos. El monitoreo y control de corrosión electroquímica en ductos enterrados es la principal manera de mitigar estos riesgos y alargar la vida útil de las instalaciones (Chaverra, 2016; NACE National Association of Corrosion Engineers., 2006; NACE National Association of

*Autor para la correspondencia: ventura.rl65@gmail.com

Correo electrónico: luis_mgm@live.com.mx (L. M. González), leslysabina@gmail.com (L. S. Villaseñor-Cerón), isareyv@hotmail.com (M. I. Reyes-Valderrama), herjuan@uaeh.edu.mx (J. Hernández-Ávila) ventura.rl65@gmail.com (V. Rodríguez-Lugo)

Corrosion Engineers, 2007). El alquitrán de hulla fue el recubrimiento más utilizado durante esta etapa, gracias a su resistencia a ácidos y corrosivos como el agua salada, actualmente ya se ha superado su vida útil, por lo que es imperante mantener niveles óptimos de protección catódica para reforzar este método de barrera contra la corrosión (Chaverra, 2016; Peabody, 2001).

Los registros históricos de potenciales de protección catódica permiten evaluar el deterioro natural de la eficiencia de un recubrimiento en instalaciones enterradas (Parker & Peattie, 1999). Ya que como pasa el tiempo el recubrimiento mecánico pierde sus propiedades dieléctricas, provocando una demanda mayor de corriente de protección catódica, misma que debe ser suministrada por los puntos de inyección de corriente (Rectificadores de protección catódica o ánodos galvánicos según sea el caso)(Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, 2001, 2003, 2014).

Se han desarrollado técnicas indirectas para el monitoreo y control de corrosión exterior en ductos subterráneos (National Association of Corrosion Engineers, 2002). El presente trabajo muestra el análisis de la correlación de los resultados de la Técnica “Close Interval Potential Survey” (CIPS) y la Técnica “Direct Current Voltage Gradient” (DCVG), así como mediciones de resistividad de suelos por el método de Wenner, medición de pH, toma de coordenadas GPS, en cada una de las mediciones, para poder realizar un análisis profundo del comportamiento del monitoreo y control de la corrosión en el ducto (NACE International, 2008).

El estudio se desarrolla en una tubería de gas de 12 pulgadas de diámetro con una longitud de ~75 km, que comparte el Derecho de Vía (DDV) con otras tuberías ubicadas en los estados de Veracruz y Oaxaca en México.

El potencial está determinado con base a un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre sobresaturado (Cu/CuSO₄) y está definido entre un rango de - 850 mV a -1200 mV (por convención internacional), para estructuras metálicas.

La calidad y la condición del recubrimiento mecánico de un ducto pueden afectar el nivel de protección catódica significativamente en un ducto (NACE International, 2008).

Combinando ambos estudios CIPS y DCVG, se mostrará la correlación existente entre el nivel de la protección de catódica y el daño o degradación del recubrimiento de un ducto (NACE International, 2007).

2. Procedimiento Experimental

Para estudiar el efecto de las fallas de recubrimiento mecánico en los potenciales de protección catódica en ductos enterrados, se realizó la localización del ducto por medio de equipo de radiofrecuencia por inducción y conducción, posteriormente se colocaron estacas a cada 50 m.

El ducto cuenta con 17 sistemas de protección catódica por corriente impresa, a diferentes longitudes de distancia, cada sistema de protección catódica consta de un rectificador de corriente y una cama anódica, los cuales fueron evaluados para determinar su eficiencia. Se instalaron interruptores de corriente con sincronización satelital, con ciclos de 1 segundo, 800 ms "encendido" y 200 ms "apagado", en los rectificadores de protección catódica para evaluar los potenciales de polarización.

El Monitoreo CIPS-DCVG se realizó con un equipo HEXCORDER MILLENNIUM II (HM) Marca CATH-TECH,

es un equipo portátil, el cual está equipado con un circuito integrado captador de datos y memoria de gran capacidad para almacenar la información obtenida en el área de trabajo, como son el valor de potencial tubo-suelo a cada metro de distancia y los comentarios que se requieren como auxiliares al momento de la interpretación de los datos.

La parte esencial del equipo es un voltímetro de alta resistencia e impedancia interna, el cual detecta la diferencia de potencial entre el ducto y el suelo, referido a una media de celda cobre/sulfato de cobre, cerrando el circuito por medio de un alambre de cobre tipo magneto, sirviendo como el electrolito el terreno en el que se encuentra enterrado el ducto.

Con los datos obtenidos del Hexcorder Millenium, se emplea el programa EXCEL, el cual permite la colocación de los datos en forma de filas y columnas, el cual facilita el desarrollo de los gráficos para representar los resultados obtenidos del estudio de CIPS y DCVG.

Subsecuentemente realizaron los cálculos pertinentes para la determinación de indicaciones de fallas de recubrimiento de acuerdo a las especificaciones del fabricante del equipo. Las cuales se clasifican de acuerdo a su severidad del 0 al 25, del 25 al 50, del 50 al 75 y del 75 al 100 por ciento.

Finalmente se analizaron los datos de Resistividad y pH generados.

3. Resultados

3.1 Hallazgos del estudio DCVG.

La inspección del 2009 identificó: 121 Indicaciones de fallas de recubrimiento con Cambio de potencial debido al paso de una corriente eléctrica “P” en un circuito de resistencia “R” (IR), de 75 a 100%. 475 indicaciones de fallas de recubrimiento con IR de 50 a 75%. 2068 indicaciones de fallas de recubrimiento con IR de 25 a 50%, mostrados en la figura 1. Se encontraron 26654 Indicaciones de fallas de recubrimiento con IR por debajo del 25%, que por su baja severidad no son graficadas.

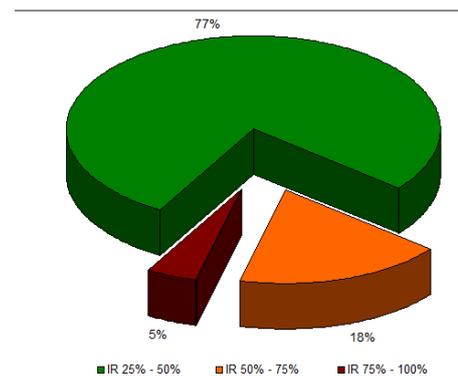


Figura 1. Porcentaje de Indicaciones de fallas de recubrimiento del 25 al 100%.

3.1 Descripción de las indicaciones de fallas de recubrimiento y revisión de los datos de protección catódica.

Las 29318 indicaciones de fallas de recubrimiento se encuentran distribuidas a lo largo del ducto, mismo en el que se encuentran altas concentraciones de indicaciones, las cuales están por debajo del 25% de IR, como se muestran en las figuras 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

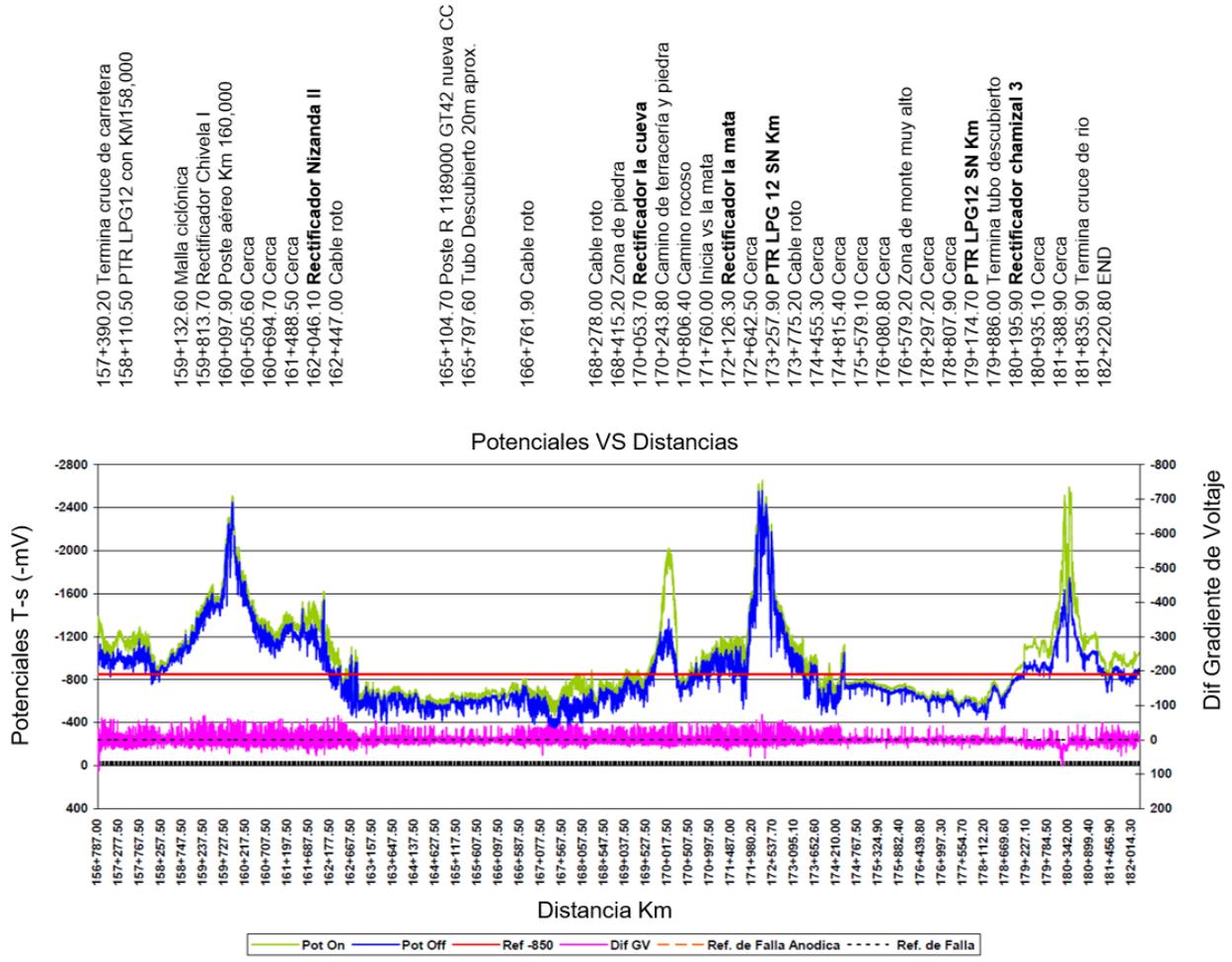


Figura 2. Gráfica de potenciales contra distancia desde el Km. 156+787 al 182+220.

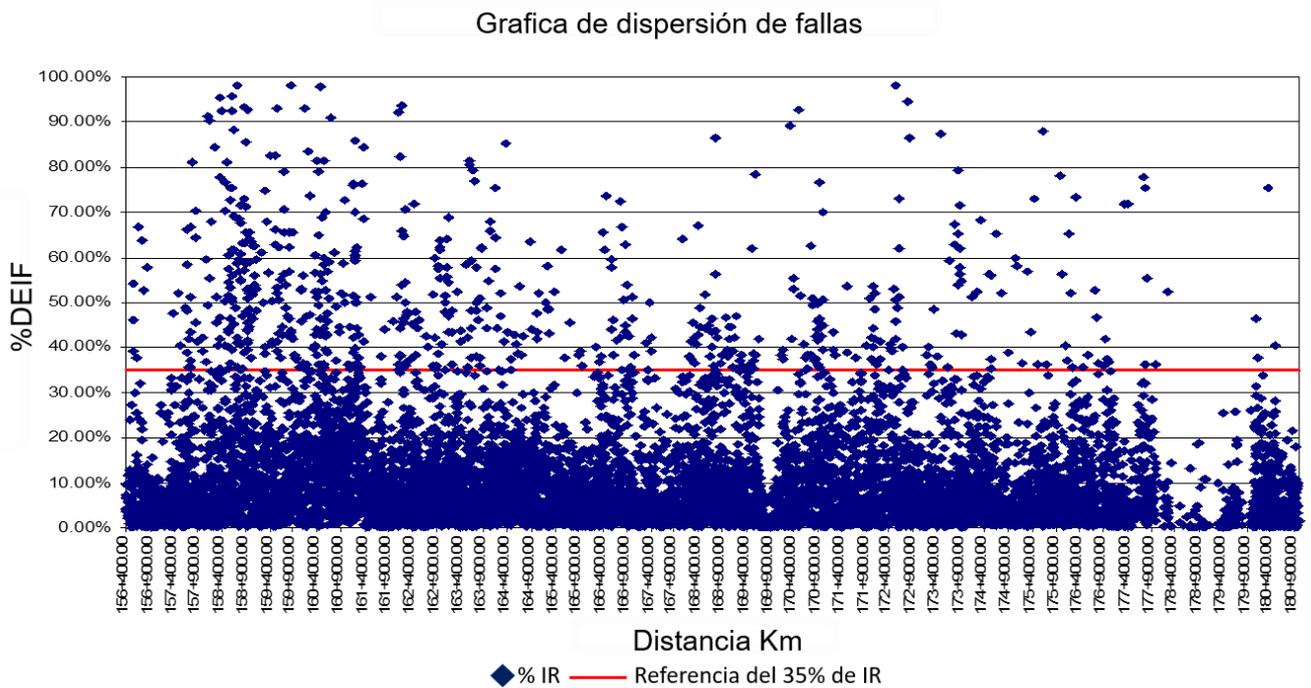


Figura 3. Dispersión de fallas del Km. 156+787 al 182+220.

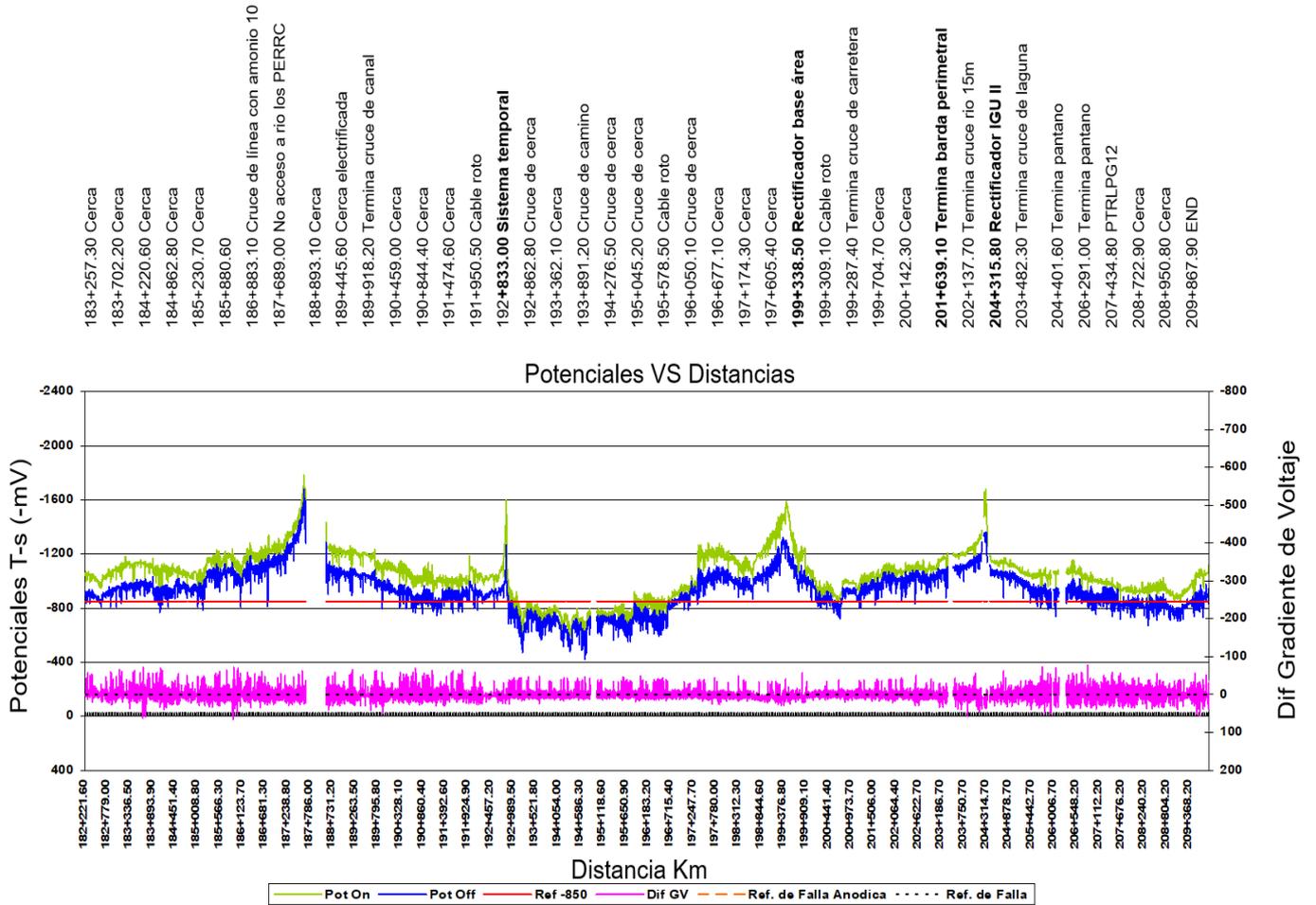


Figura 4. Gráfica de potenciales contra distancia desde el Km. 182+221 al Km. 209+867.

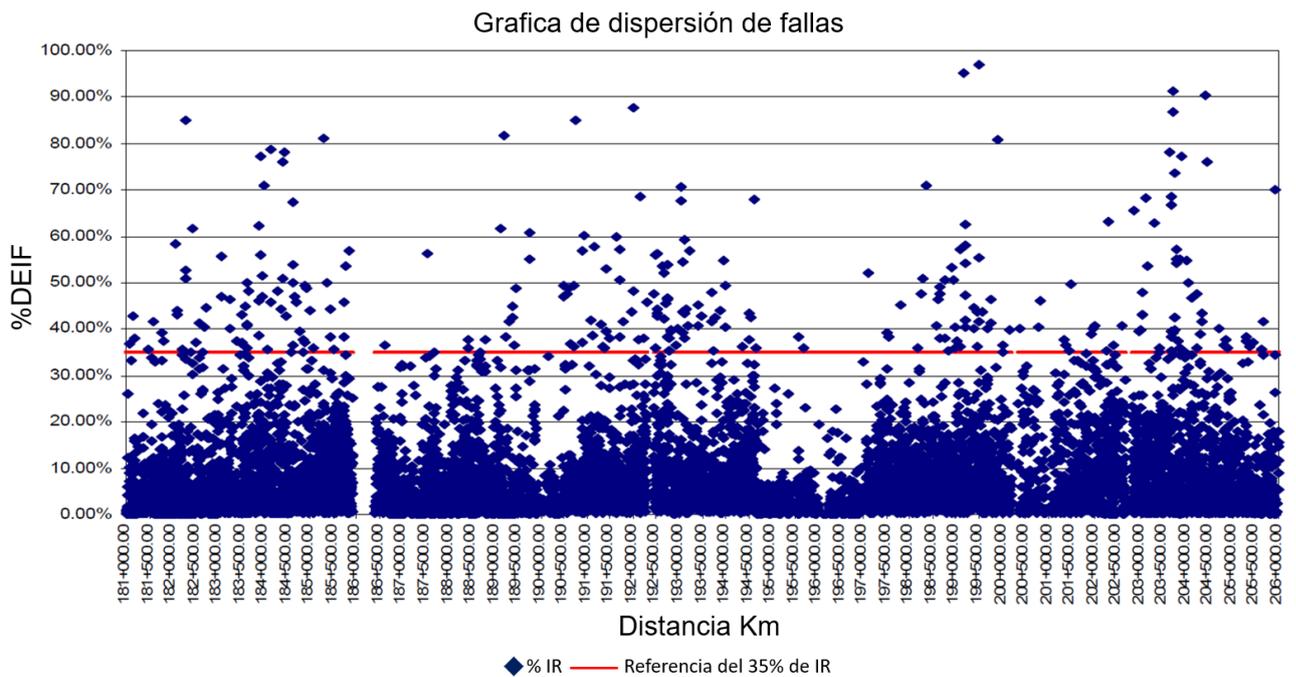


Figura 5. Dispersión de fallas del Km. 182+221 al Km. 209+867

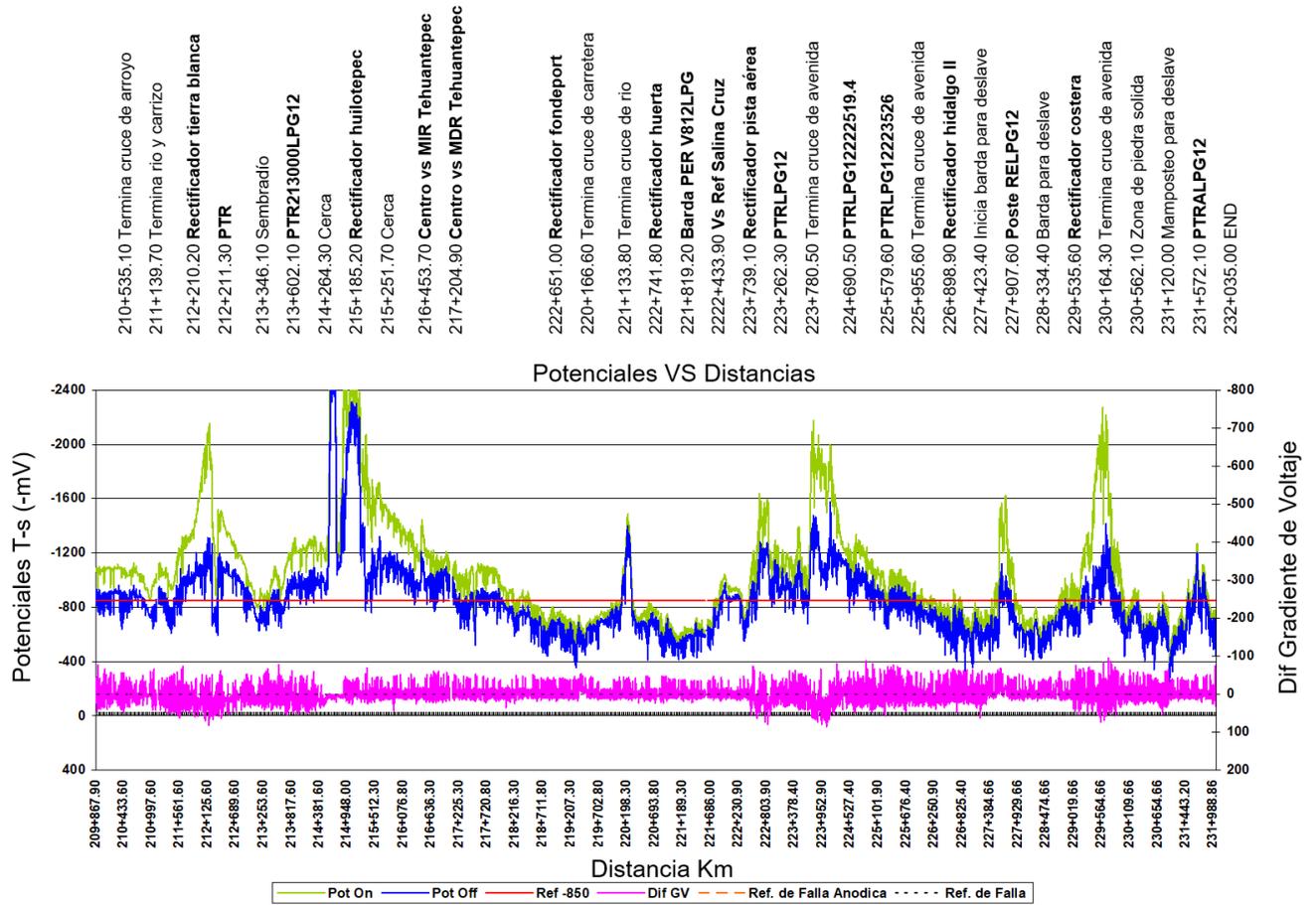


Figura 6. Gráfica de potenciales contra distancia desde el Km. 209+868 al Km. 232+035

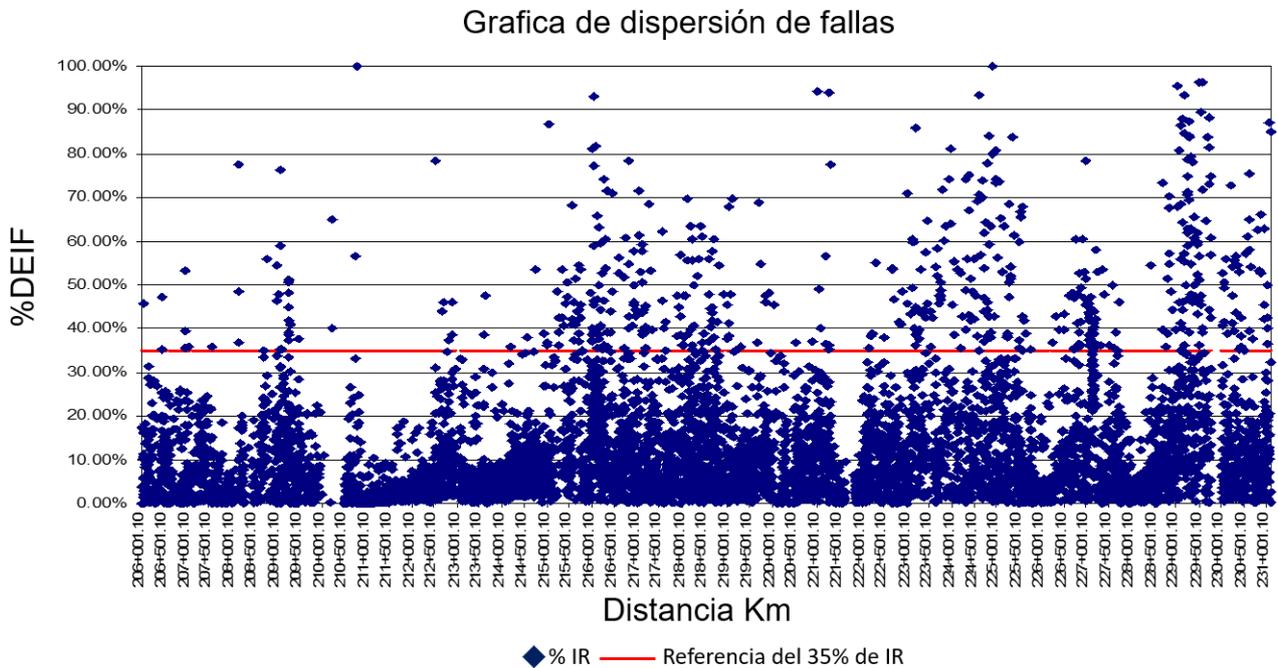


Figura 7. Dispersión de fallas del Km. 209+868 al Km. 232+035

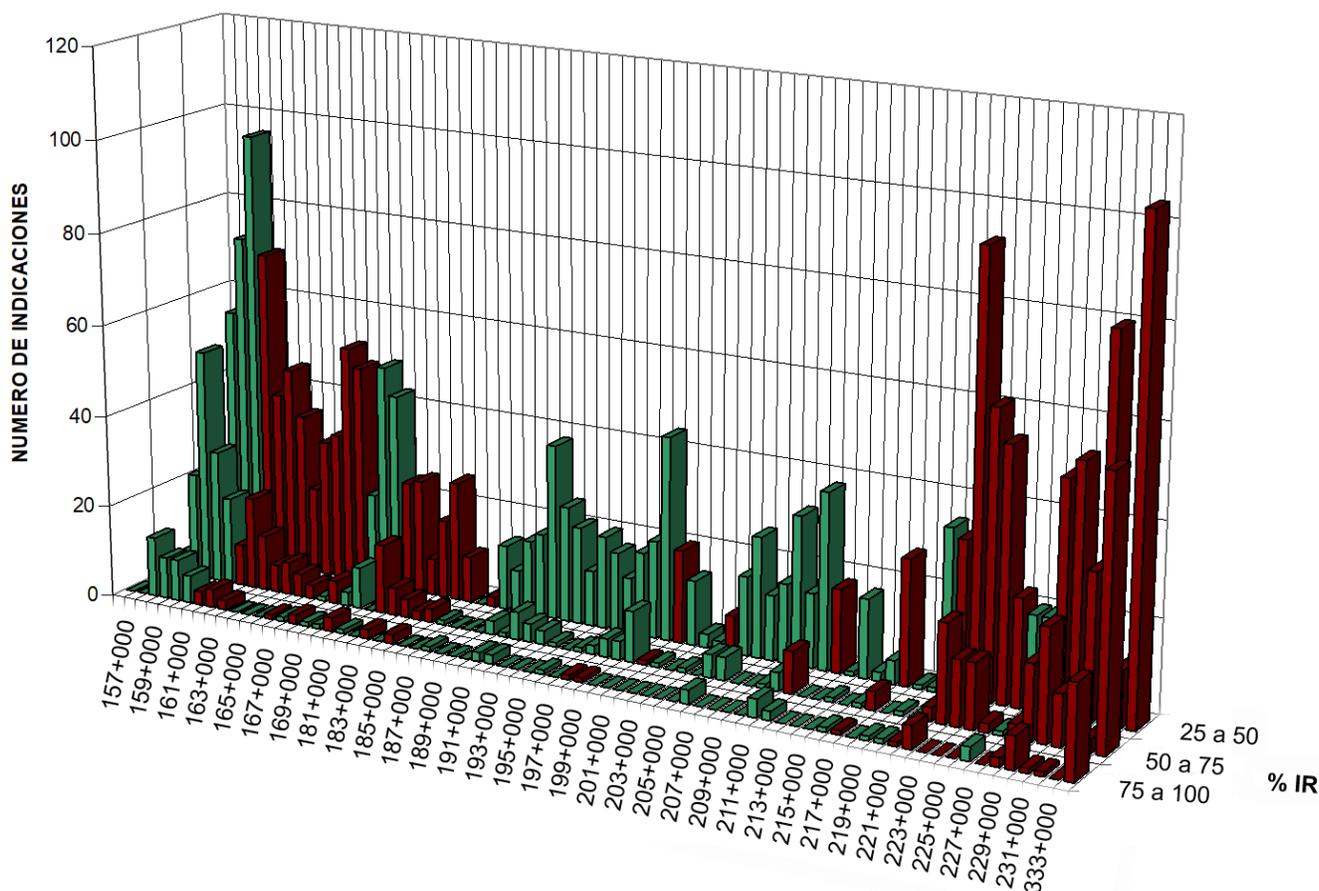


Figura 8. Distribución de indicaciones de fallas de recubrimiento a lo largo del ducto de acuerdo al porcentaje de IR del km. 156+787 al 209+867.

La distribución de las indicaciones de fallas de recubrimiento del 25 al 100% de IR se encuentran graficadas en la Figura 8, en donde se observan mayores concentraciones de 159 a 179 Km y de 220 a 232 Km.

El estudio DCVG, refleja indicaciones de fallas de recubrimiento puntuales y continuas de diferente magnitud de severidad a lo largo de la trayectoria del ducto, estas fallas de recubrimiento demandan mayor corriente de protección catódica, se observan colonias de fallas en las zonas donde los potenciales están por debajo de los -850 milivoltios, por lo que se procedió a realizar excavaciones de verificación para evaluar el grado de deterioro del recubrimiento en estos puntos.

1 Datos de protección Catódica.

La norma NRF-047-PEMEX-2014, hace referencia que, para proteger catódicamente a las estructuras enterradas o sumergidas, se debe cumplir como mínimo “Un potencial estructura-electrolito (catódico) mínimo de -850 mV y un máximo de -1200 mV, de corriente directa, medido respecto de un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre saturado

(Cu/CuSO4), en contacto con el electrolito en estructuras enterradas (Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, 2014). La determinación de este voltaje se debe hacer con la corriente eléctrica aplicada”.

El cambio de potencial de polarización se debe determinar interrumpiendo la corriente eléctrica de protección y midiendo el abatimiento de la polarización.

Los periodos de suspensión de corriente eléctrica de protección, durante los cuales se puede realizar dicha medición están en el rango de 0.1 a 3.0 s. Los potenciales registrados durante el estudio CIPS, no cumplen con el criterio de protección en la mayoría del ducto, a pesar de contar con once rectificadores de protección catódica. De acuerdo a la figura 9.

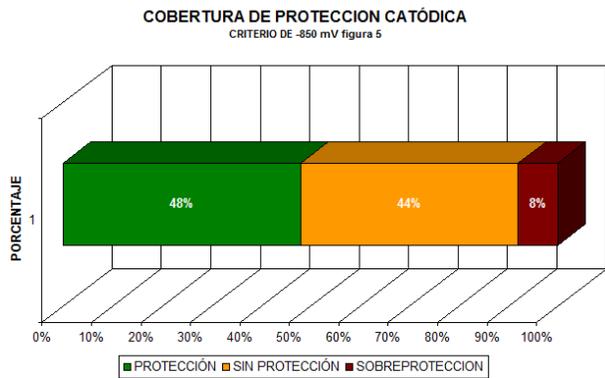


Figura 9. Porcentaje de cobertura de protección catódica.

Figura 10: Gráfico de resistividad de suelo Las zonas donde los potenciales en off se encuentran por debajo de los -850 mV son puntos donde no es suficiente la corriente de protección para polarizar la estructura y mitigar el proceso de corrosión (Figura 10). Las zonas con más bajo potencial de protección catódica son las de mayor cantidad de

protección catódica eficiente, y crear demandas de corriente elevadas. Por lo que se recomienda la inspección de los voltajes de salida de los rectificadores y análisis del balance de los sistemas de protección catódica en las diversas épocas del año.

En donde el ducto esta sobreprotegido, la evolución de hidrogeno en la superficie del ducto puede causar daño al recubrimiento. El hidrógeno puede difuminar dentro del ducto y dar como resultado agrietamiento por hidrogeno.

3.1 Estudio de la Resistividad y pH del Suelo.

Las mediciones de resistividad de suelo se realizaron cada dos kilómetros, en la figura 10, se visualiza que los valores de resistividad se muestran bajos, y que el nivel de agresividad de suelo está en promedio entre los rangos “corrosivo” y “altamente corrosivo”, de acuerdo a la norma NRF-047-PEMEX-2014 (Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, 2014). Si no se cuentan con los niveles de protección catódica aceptables, se favorece la formación de celdas de corrosión y el posterior deterioro del recubrimiento mecánico del ducto. Las zonas con más bajos valores de resistividad mostraron colonias de fallas de diferentes categorías.

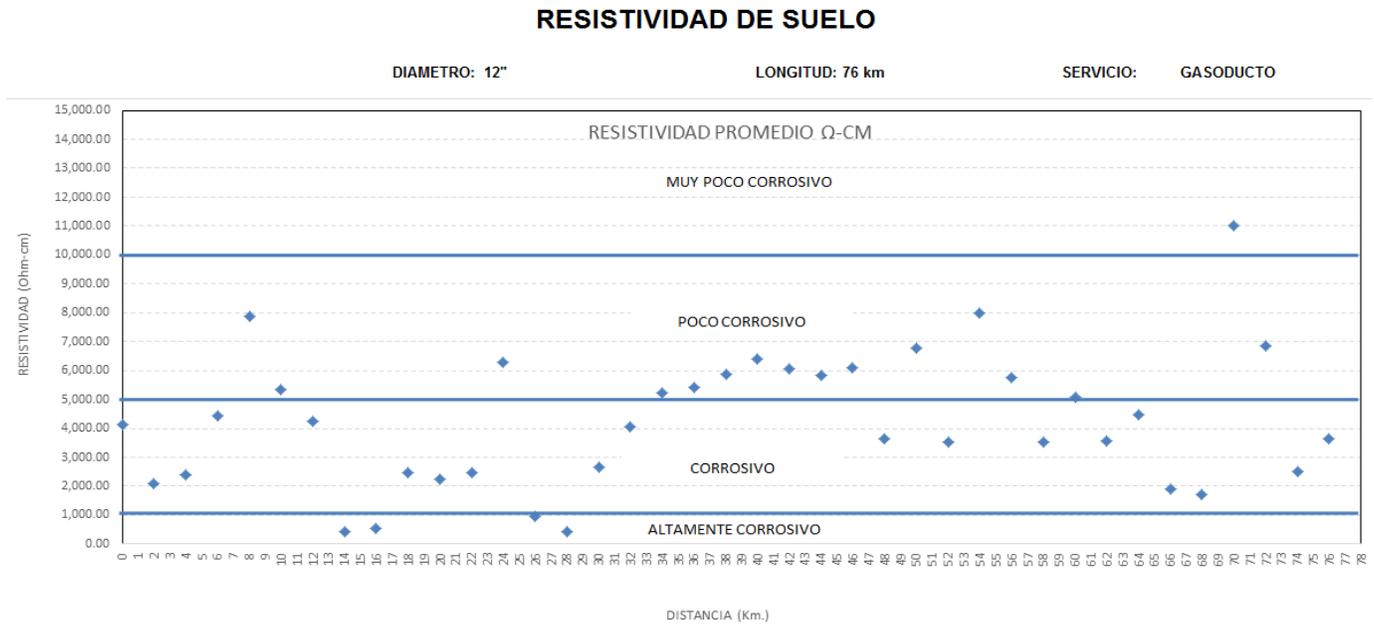


Figura 10: Gráfico de resistividad de suelo

fallas de recubrimiento mecánico. Se deben atender las indicaciones de fallas de recubrimiento mecánico para impedir que se vuelvan más severas y provoquen daños colaterales en la zona. El deterioro del recubrimiento mecánico del ducto de acuerdo a los resultados del DCVG, aumenta el consumo de corriente y la mala dispersión de la corriente de protección catódica.

El comportamiento de la tubería al mantener protección catódica aplicada se mitiga el proceso de corrosión sin embargo todos los defectos existentes con % de IR pequeños pueden aumentar con el paso del tiempo al no tener un sistema de

Las mediciones de pH del suelo se realizaron a cada dos kilómetros, en la figura 11 se puede observar que los valores de pH oscilaron entre 5 y 8, lo que no representa un medio agresivo al recubrimiento.

De los 17 rectificadores de protección catódica, 13 de ellos operan con resistencias de circuito adecuadas, los cuatro restantes requieren de una inspección más profunda para mejorar su eficiencia y mejorar su operación.

LECTURAS DE pH

DIAMETRO: 12"

LONGITUD: 76 km

SERVICIO: GASODUCTO

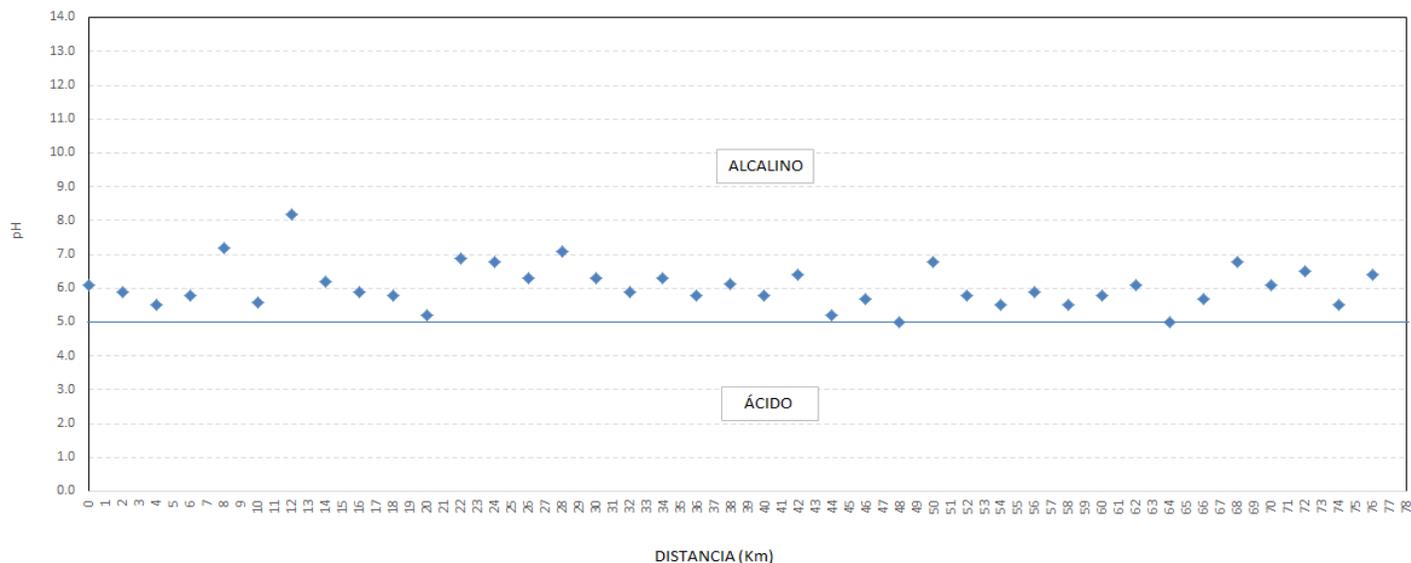


Figura 11: Gráfico de pH vs Distancia

4. Conclusiones

Los sistemas de protección catódica instalados en este DDV no brindan una cobertura con niveles de protección aceptables de acuerdo a la norma NRF-047-PEMEX-2014. Por lo que se recomendaría instalar sistemas que fortalezcan la protección, como son los ánodos de sacrificio o ánodos continuos.

Las condiciones geográficas de zona también tienen influencia sobre la dispersión de corriente de protección catódica. Se recomienda reparar las indicaciones de falla de recubrimiento con porcentaje de IR del 75 al 100 %. Los defectos categorizados de 0-75 % IR reflejan defectos de recubrimiento de menor severidad por lo que se recomienda elaborar un plan de reparación en base a los resultados obtenidos. La caracterización basada en la severidad de la indicación de falla está en función del criterio de -850 mV por lo tanto la mayoría de los defectos se encuentran sin protección catódica.

Se recomienda la priorización de la rehabilitación del recubrimiento y la adecuada aplicación de potenciales de protección en zonas donde el ducto atraviese asentamientos humanos, para evitar daños potenciales.

A partir del km 226, del odómetro total del ducto se presentan potenciales por debajo de los -850 mV, por lo que se recomienda reparar las indicaciones de fallas de recubrimiento del 226 al 232, la aplicación de protección catódica impresa por medio de ánodos continuos en esta zona para garantizar que el ducto no tenga pérdida de metal por efecto de la corrosión externa, debido a que el ducto atraviesa zona urbana y debido al tipo de terreno rocoso, así mismo las elevaciones, impiden una buena distribución de protección catódica, y de igual forma la cantidad de ductos que recorren de forma paralela el Derecho de Vía, en donde se aloja el ducto en estudio.

Realizar monitoreos continuos de potenciales después de realizar los ajustes necesarios a los sistemas de protección para evaluar el desempeño de las acciones realizadas

Se recomienda que en las zonas donde la protección catódica no logre alcanzar el criterio de los -850 mV de polarización a pesar de las acciones de mejora, se realicen los estudios pertinentes para la aplicación del criterio de los 100 mV. que consiste básicamente en un mínimo de 100 millivolts 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.

Agradecimientos

Al CONACYT por el financiamiento otorgado mediante el programa de Doctorado en Ciencias de los Materiales por el apoyo brindado, en La Universidad Autónoma del Estado Hidalgo.

Referencias

- Chaverra, D. . (2016). *Revelan el costo global de lacorrosión*. Retrieved from <https://www.inpralatina.com/201606146395/noticias/empresas/revelan-el-costo-global-de-la-corrosion.html>
- Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios. (2001). *Norma NRF-026-PEMEX-2001, Protección con Recubrimientos Anticorrosivos para Tuberías enterradas o sumergidas*. Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y

- Organismos Subsidiarios. (2003). *NRF-030-PEMEX-2003 Diseño, Construcción, Inspección y Mantenimiento de Ductos Terrestres para Transporte y Recolección de Hidrocarburos*.
- Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios. (2014). *NRF-047-PEMEX-2014 Diseño, Instalación y mantenimiento de los Sistemas de Protección Catódica*.
- NACE International. (2007). Coating Inspector Program - Level 1. Retrieved October 2, 2019, from <https://www.nace.org/education/courses-by-program/coating-inspector-program/cip-1>
- NACE International. (2008). *NACE Standard SP0502-2008 - Pipeline External Corrosion direct Assessment Methodology (Reaffirmed)*. Retrieved from <https://webstore.ansi.org/standards/nace/nacestandardsp05022008>
- NACE National Association of Corrosion Engineers. (2006). *Coatings in Conjunction with Cathodic Protection*. Retrieved from <https://www.nace.org/education/courses-by-program/cathodic-protection/coating-conjunction-cathodic-protection>
- NACE National Association of Corrosion Engineers. (2007). *Cathodic Protection Nivel 1*. Retrieved from <https://www.nace.org/home>
- National Association of Corrosion Engineers. (2002). NACE SP0169 - Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems. Retrieved October 2, 2019, from <https://inspectioneering.com/tag/nace+sp0169>
- Parker, M. E., & Peattie, E. G. (1999). *Pipeline corrosion and cathodic protection: a practical manual for corrosion engineers, technicians, and field personnel* (Third). Elsevier.
- Peabody, A. W. (2001). *Control of Pipeline Corrosion* (Second; R. L. Bianchetti, Ed.). Retrieved from <http://igs.nigc.ir/STANDS/BOOK/Corrosion-Control.pdf>
- Subdirección de ductos, P. G. y P. B. (2019). Transporte por ductos.