

Evaluación de la Corrosión en un Sistema Híbrido de Protección catódica Evaluation of the Corrosion of a hybrid system of cathodic protection

M. Lobato-Castañeda^a, D. Sánchez-Campos^b, C. Ramos-López^a, E. Cerecedo-Saenz^b, M. I. Reyes-Valderrama^b
V. Rodríguez-Lugo^{b,*}

^a Procesos y Operaciones Industriales, Universidad Tecnológica de Huejotzingo, 74169, Puebla, Pue. México

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

Resumen

En este trabajo se presenta el diagnóstico de corrosión en un sistema de 4 ductos, el cual inicia en la superficie y acaba en la zona de playa del Golfo de México. Se emplearon estudios indirectos, aplicando la técnica CIS y la inspección física de las instalaciones, para conocer su situación actual. El tramo evaluado comprende 5 kilómetros por cada ducto, considerándose del poste de medición de potencial 00+000 donde existen juntas aislantes, hasta la llegada a un arribo playero donde se encuentran las juntas monoblock. Se utiliza la norma NRF-047-PEMEX-2007, basándose en el cumplimiento del criterio de -0.850 volts en el derecho de vía en estudio. Los ánodos galvánicos muestran aterrizamientos en la corriente impresa y minimizan la diferencia entre el ON y OFF. Este tipo de estudios son esenciales en la detección de corrosión en tuberías para el transporte de hidrocarburos, asimismo, son necesarios para mantener su funcionamiento en óptimas condiciones.

Palabras Clave:

Corrosión, pH, Ducto, Protección catódica, CIS.

Abstract

This paper presents the diagnostic corrosion study in a system of 4 pipeline system that begins in the surface and ends in the beach area of the Gulf of Mexico. It was used indirect studies, applying the CIS technique and physical inspection, to know their situation. The section evaluated includes 5 kilometres for each pipeline, considering the potential measuring post 00 + 000 where there are insulating joints in the pipelines until arriving at a beach. The NRF-047-PEMEX-2007 standard is used, based on compliance with the -0.850 volts criteria in the right of way under study. Galvanic anodes s are operating which show landings in the printed current and minimize the difference between ON and OFF, however, in some cases they are already out of operation which is reinforced by the printed current, achieving the cathodic protection by printed current..

Keywords:

Corrosion, pH duct, Cathodic protection, CIS.

1. Introducción

Actualmente, la mayoría de los combustibles que se comercializan en México son transportados a través de ductos. Esta infraestructura, debe mantenerse en condiciones adecuadas para garantizar la fiabilidad de transporte. Existen ductos que llevan aproximadamente 25 años de trabajo, enterrados en diferentes tipos de suelos, presentando un desgaste excesivo, asimismo, las características del medio ambiente corrosivo incrementan el deterioro de los ductos [1]. La corrosión es un fenómeno de degradación del material llevado a cabo al tener contacto un material con su entorno [2]. En consideración, la degradación se puede medir por unidad

de área, grosor y forma; de forma uniforme, corrosión localizada, intergranular o por grietas [3].

La medición más usada es la tasa de corrosión por unidad de área, tomando en cuenta la vida útil de la estructura metálica. Por otro lado, tener una corrosión controlada permitirá obtener un estimado de la vida útil de la estructura y costos relacionados al mantenimiento [4]. Estrictamente hablando de ductos petroleros, existen técnicas que evitan el avance corrosivo, una de ellas es la protección catódica, la cual es un método que reduce la corrosión de un metal.

Esto se logra, haciendo que el potencial eléctrico del metal a proteger se vuelva más electronegativo mediante la aplicación

*Autor para la correspondencia: ventura.rl65@gmail.com (V. Rodríguez-Lugo)

Correo electrónico: miguel.lobato@yahoo.com.mx (M. Lobato-Castañeda), audio.daniel@hotmail.com (D. Sánchez-Campos), miuel.lobato@yahoo.com.mx (C. Ramos-López), mardenjazz@yahoo.com.mx (E. Cerecedo-Saenz), isareyv@hotmail.com (M. I. Reyes-Valderrama), ventura.rl65@gmail.com (V. Rodríguez-Lugo)

de una corriente directa o la unión de un material de sacrificio, comúnmente, magnesio, aluminio o zinc [4].

En este trabajo, la protección catódica es regulada empleando el criterio de los -0.850 V de la norma NRF-047-PEMEX-2007 [5-6], la cual evalúa los potenciales del ducto mediante los estudios indirectos de levantamientos de potenciales a intervalos cercanos (CIS⁴). Esta técnica permite identificar áreas con niveles de sobre protección catódica en los ductos y zonas de falta de protección catódica, categorizando cualquier disturbio o interferencia eléctrica en los ductos [7-8].

La configuración del sistema de protección catódica en este estudio está compuesta por una cama anódica de 14 ánodos de ferrosilicio y un rectificador de corriente directa. La estación de impresión de corriente tiene la configuración positiva del rectificador a una sola cama anódica y las terminales negativas están controladas por un sistema de resistencias variables que gradúan la cantidad de corriente drenada por ducto.

La protección catódica es una técnica que protege e incrementa la vida de trabajo de los ductos petroleros [9], por eso este tipo de estudios ayuda a comprender que el mantenimiento de los ductos debe verificarse de manera cotidiana.

2. Procedimiento experimental

En este tipo de evaluaciones es necesario considerar el punto inicial y punto final de la trayectoria de los ductos. Se consideró el inicio la junta de aislamiento en tierra kilómetro 0+000 y como punto final la junta de aislamiento en el arribo playero kilómetro 5+000. Los ductos inician en una junta de aislamiento y siguen una trayectoria en tierra, para cruzar por debajo de un puente metálico que sirve de vía de acceso a las instalaciones operativas, posteriormente, en estos puntos se ubican los primeros postes de medición de potencial en el derecho de vía. En la trayectoria hacia el arribo playero, los ductos son alojados en dos canales separados por un camellón de tierra, el primer canal aloja al ducto identificado como D-2 y el segundo canal aloja a los ductos D-1, D-3 y D-4.

La evaluación general del sistema de protección catódica considera la capacidad instalada del equipo rectificador, el desempeño de la cama anódica, estudios indirectos CIS, resistividad y pH.

El estudio CIS se inició a partir de la junta de aislamiento kilómetro 0+000 al kilómetro 5+000, empleando un equipo Hexcorder Millenium II marca Cath Tech y celdas de referencia cobre- sulfato de cobre. Para aplicar la técnica CIS el tipo de sistema de protección catódica en los ductos es corriente impresa y cuenta con un sistema de rectificación y cama anódica de ferrosilicio. Sin embargo, se tiene la existencia de material anódico tipo galvánico lo cual genera un sistema híbrido de protección catódica galvánico-corriente impresa. Los ductos se encuentran ubicados en dos tipos de electrolito, agua dulce en un tipo suelo de “tierra compacta” y suelo arenoso “playa” con agua salada proveniente del Golfo

de México; para ambos electrolitos se empleó una celda de sulfato de cobre, en todo el recorrido se realizó el CIS incluyendo la playa que es la interface entre agua dulce – salada y mar.

Para fines del diagnóstico de cumplimiento en el criterio protección catódica a los potenciales en CIS, se aplicó el factor de conversión respecto a electrodos de referencia considerados por NACE y el criterio de protección de -0.800 volts medido con electrodo de referencia plata- cloruro de plata de la NACE.

3. Resultados

3.1 Juntas de aislamiento

Los potenciales medidos en las juntas de aislamiento que se muestran en las Tablas 1 y 2, reflejan un comportamiento de aislamiento eléctrico en los 4 ductos antes y después de la junta monoblock en tierra y arribos playeros lo cual refleja que se llevan a cabo en función de la delimitación de áreas, aislando las secciones de tubería en ambos extremos de la junta aislante.

Tabla 1. Medición de los potenciales de aislamiento del lado de la trampa al arribo playero.

Ducto	Lado trampa, potencial antes de la junta (volts)	Lado arriba playero, potencial después de la junta (volts)	Aislamiento
D-1	-0.756 Cobre - Sulfato de Cobre	-1.401 Cobre Sulfato de Cobre	En buenas condiciones.
D-2	-0.740 Cobre - Sulfato de Cobre	-0.977 Cobre Sulfato de Cobre	En buenas condiciones.
D-3	-0.800 Cobre - Sulfato de Cobre	-0.956 Cobre Sulfato de Cobre	En buenas condiciones.
D-4	-0.710 Cobre - Sulfato de Cobre	-1.335 Cobre Sulfato de Cobre	En buenas condiciones.

Tabla 2. Medición de los potenciales de aislamiento del lado de la playa al Golfo de México.

Ducto	Lado Playa, Potencial antes de la junta (volts)	Lado Golfo de México, Potencial después de la junta (volts)	Aislamiento
D-1	-1.125 Plata- Cloruro de Plata	-0.985 Plata- Cloruro de Plata	En buenas condiciones.
D-2	-0.860 Plata- Cloruro de Plata	-0.966 Plata- Cloruro de Plata	En buenas condiciones.
D-3	-0.892 Plata- Cloruro de Plata	-0.939 Plata- Cloruro de Plata	En buenas condiciones.
D-4	No se inspeccionó	No se inspeccionó	La junta aislante es subacuática

3.2 Rectificador de corriente impresa

El sistema de protección catódica por corriente impresa ubicado en el km 00+000 cuenta con un rectificador de corriente directa el cual se mantiene trabajando de manera

Tabla 3. Parámetros de operación del rectificador.

NOMBRE DEL RECTIFICADOR	KM	CAPACIDAD INSTALADA		DATOS DE OPERACIÓN				RESISTENCIA DEL CIRCUITO	EFICIENCIA	OBSERVACIONES
				ALIMENTACION		SALIDA				
				VCD [*]	ACD	VCA [†]	ACA			
Rectificador Interior de Planta km 00+000	00+000	100	100	198.00	30.00	13.2	26	0.50	5.77%	Sistemas de resistencias variables

constante, los parámetros de operación fueron medidos en el momento de la inspección del rectificador y se presentan en la Tabla 3. El análisis de la operación del rectificador, muestra que el equipo se encuentra trabajando con alta eficiencia, lo anterior, se determina a partir del cálculo del voltaje entre la corriente de salida, identificando una resistencia de circuito de 0.5 ohm. Se observa, una resistencia menor a 1 ohm, lo cual corrobora que el sistema de PC trabaja en óptimas condiciones. Por otra parte, si la resistencia es mayor de 1 ohm, Para proteger catódicamente los ductos se debe cumplir como mínimo un potencial de estructura-electrolito o medio corrosivo medido en la superficie del terreno, cuyo valor debe ser igual o más negativo que 0.850 volts y no más negativo de -1.2 volts para evitar daños al recubrimiento.

La capacidad instalada del equipo rectificador se encuentra al 5.77 % lo cual indica que se emplea el rectificador a baja capacidad en relación a su diseño, por lo tanto, en caso de requerir mayor corriente o voltaje de protección catódica, el rectificador se encuentra en buenas condiciones.

3.3 Cama anódica

La cama anódica del sistema de protección catódica por corriente impresa está constituida por 14 ánodos de ferrosilicio, la cual se encuentra en el kilómetro 0+000 como se observa en la Figura 1.

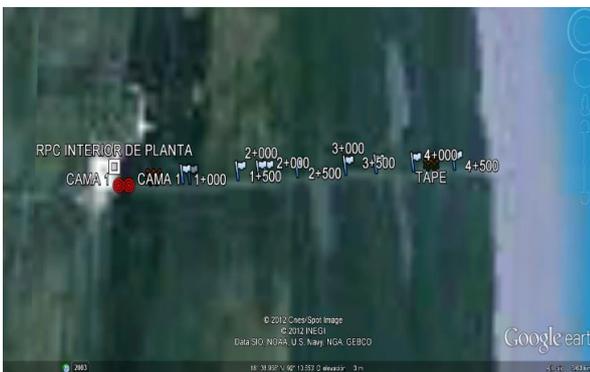


Figura 1. Fotografía aérea donde se muestra la ubicación del sistema de protección catódica.

En la cama anódica 1, la prueba de desempeño de ánodos, muestra que algunos ánodos no drenan la misma corriente, por lo tanto, existe desgaste en los primeros 5 ánodos. Esto pudiera repercutir en generar una mayor resistencia de circuito. (ver Figura 2).

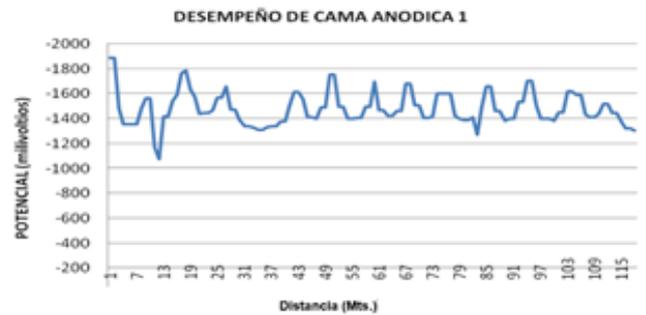


Figura 2. Desempeño del material anódico

El perfil de potencial de remotividad de la cama anódica, indica que se encuentra en una ubicación que no es eléctricamente remota, se encuentra ubicada en forma paralela a los ductos como se observa en la Figura 3.

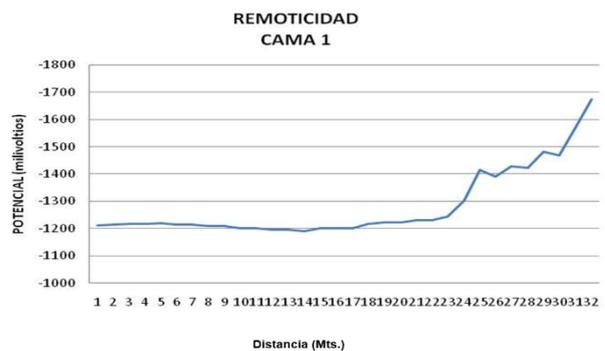


Figura 3. Gráfica de remotividad de la cama anódica.

3.4 Perfil de potenciales CIS

3.4.1 Perfil CIS del ducto D-1

El perfil de potenciales CIS en el punto D-1, del kilómetro 0+000 al kilómetro 0+060 se observan potenciales en el orden de -1.38 volts en ON y -1.26 en OFF En el kilómetro 0+060 al 0+300 los potenciales se incrementan derivado de la influencia del sistema de protección catódica del km 0+000, hasta

* VCD. Voltaje de corriente directa
 † VCA. Voltaje de corriente alterna
 ‡ ACD. Amperaje de corriente directa

alcanzar potenciales en el orden de los -1.4 volts en ON. Del kilómetro 0+300 al 1+150 los potenciales caen de manera suave derivado del paralelismo de la cama anódica, en los kilómetros 0+460, 0+500, 0+535, 0+600 y 0+803 se observan incrementos de potencial de manera espontánea. En los kilómetros 0+950 y 1+050 se observan caídas de potencial en el orden de los -1.24 volts. Del kilómetro 1+150 al 2+350, los potenciales muestran la atenuación de corriente por efecto de la distancia, en este tramo se observan incrementos de potencial de manera espontánea. En los kilómetros 1+400, 1+420, 1+610 y 1+910 se observan caídas de potencial en ON sin embargo se mantienen por arriba de los -0.85 volts de la NRF-047-PEMEX-2007.

Para el kilómetro 2+350 al 3+000 los potenciales se mantienen constantes en el orden de los -1.26 volts en ON y -1.23 volts en OFF. En el kilómetro 3+000 al 3+900 se observan incrementos de potencial de manera espontánea. En los kilómetros 3+200, 3+380, 3+550, 3+660 y 3+832, se observan caídas de potencial. Para el kilómetro 3+900 al 4+070 los potenciales se mitigan en el orden de los -1.18 volts en ON, en este tramo la caída IR es de por lo menos 30 milivoltios, se observa un incremento espontáneo en el kilómetro 3+980.

De manera general del kilómetro 0+000 al kilómetro 4+931.3 el levantamiento CIS cumple satisfactoriamente con el criterio de los -0.850 volts de la NRF-047 PEMEX 2007.

En la Figura 4 se muestra la variación del potencial con respecto a la distancia de medición. Tal como se observa, el comportamiento de la caída IR se puede caracterizar en tres tramos, el primero del 0+000 al 3+000 en el que la corriente impresa logra vencer el potencial del material anódico galvánico al no cumplir su función, sin embargo, en algunos casos trata de aterrizar los voltajes en ON y OFF tratando de mitigar la corriente impresa. Del kilómetro 3+000 al 3+900 se observa la caída de potenciales con picos bien formados y de manera constante, lo cual da señal de que la corriente impresa trata de romper la polarización existente de los ánodos galvánicos observándose picos que intentan separarse en ON y OFF, para este caso, los ánodos ejercen influencia galvánica, determinando que los ánodos galvánicos aún tienen vida útil en este tramo.

Potenciales VS Distancia

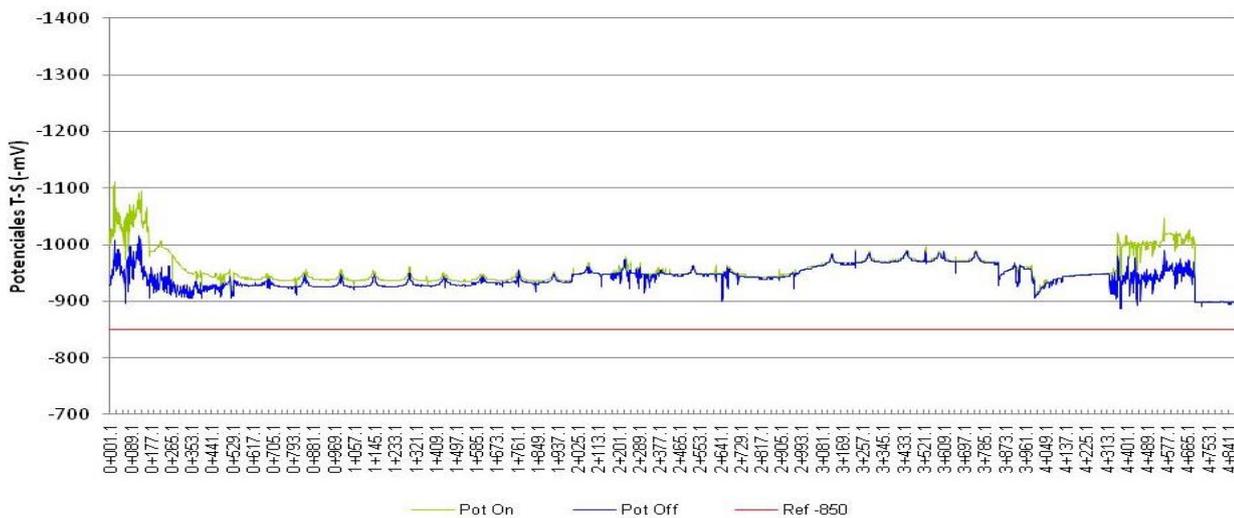


Figura 4. Perfil CIS del ducto D-1

En los kilómetros 4+070 al 4+400 los potenciales se mantienen en el orden de los -1.14 volts en ON, la caída IR en este tramo es de por lo menos 30 milivoltios, se observa un incremento en el orden de los -1.28 volts en ON en kilómetro 4+090. Para el kilómetro 4+400 al 4+750 la caída IR se incrementa hasta un mínimo de 80 milivoltios y los potenciales se incrementan en el orden de los -1.26 volts en ON ya que el terreno es arenoso. Del kilómetro 4+700 al 4+931.3 los potenciales caen en el orden de los -1.14 volts en ON con tendencia de atenuación de corriente, en este tramo la caída IR es de por lo menos 30 milivoltios.

Del kilómetro 3+900 al 4+500 la caída de potencial se ubica en -1.15 volts para este caso la separación del ON y OFF es practicante nula lo cual indica que la corriente impresa no ha logrado vencer la polarización que los ánodos galvánicos ejercen sobre el ducto D-1, lo cual da indicios de que los ánodos presentan vida útil en este tramo. Del kilómetro 4+500 al 4+700 se observa que existe una separación del ON con respecto al OFF lo que indica que la corriente impresa se encuentra presente en este tramo y que los ánodos galvánicos se encuentran fuera de operación. Del kilómetro 4+700 al 4+931.3 los ánodos se encuentran con vida útil al presentarse un comportamiento estable y sin corriente impresa.

3.4.2 Perfil CIS del ducto D-2

Del kilómetro 0+000 al 0+050 se observa un potencial en el orden de los -1.1 volts en ON, en este mismo tramo se observan caídas de potencial en el orden de los -1.03 volts como mínimo. Del kilómetro 0+050 al 0+125 los potenciales se recuperan y se mantienen en el orden de los -1.09 volts. Del kilómetro 0+125 al 0+500 se observa la tendencia de atenuación de corriente del sistema de protección catódica en el km 00+000. Del kilómetro 0+500 al 2+000 se observa el incremento de potencial de manera puntual con un comportamiento de pequeñas campanas de gauss a cada 150 metros de longitud, en el máximo de potencial de cada campaña se observa la falta de ciclo de interrupción ON-OFF lo que determina la presencia de ánodos galvánicos. Los potenciales en este tramo se mantienen en el orden de los -0.9 volts en ON. La caída IR en esta zona tiende a reducirse al incrementarse el kilometraje. Del kilómetro 2+950 al 4+000 se observa el incremento de potencial de manera puntual con un comportamiento de pequeñas campanas de gauss a cada 200 metros de longitud, en este kilometraje el potencial ON se ubica en el orden de los -0.965 volts, en este tramo, se observan caídas de potencial en OFF, las cuales se mantienen

observa una atenuación de corriente y la caída IR con un voltaje máximo de 10 milivoltios.

Del kilómetro 4+000 al 4+300 los potenciales caen conforme a la tendencia de incremento ubicándose en el orden de los -0.9 volts a los -0.950 volts. Del kilómetro 4+300 al 4+700 los potenciales reciben influencia del sistema de protección catódica por corriente impresa km 00+000 al incrementarse el potencial a -1.0 volts en ON y -0.950 en OFF como mínimo, en este tramo la caída IR aumenta hasta llegar a los 60 milivoltios en algunos potenciales ON-OFF. Del kilómetro 4+682.7 los potenciales fueron medidos en el mar con electrodo de referencia cobre-sulfato de cobre.

Del kilómetro 4+700 al 4+880.7 los potenciales caen y se mantienen en el orden de los -0.9 volts la caída IR en este tramo es pequeña y casi imperceptible, sin embargo, se tiene protección catódica efectiva cumpliendo el criterio de los -0.850 volts de la NRF-047 PEMEX-2007. En la Figura 5 se muestra la gráfica de la variación del potencial con respecto a la distancia para el ducto considerado.

Para el caso del ducto D-2 (ver Figura 5) se analizó que la corriente impresa suministrada al ducto se manifiesta en dos secciones, la primera del kilómetro 0+000 al 0+500 y la

Potenciales VS Distancia

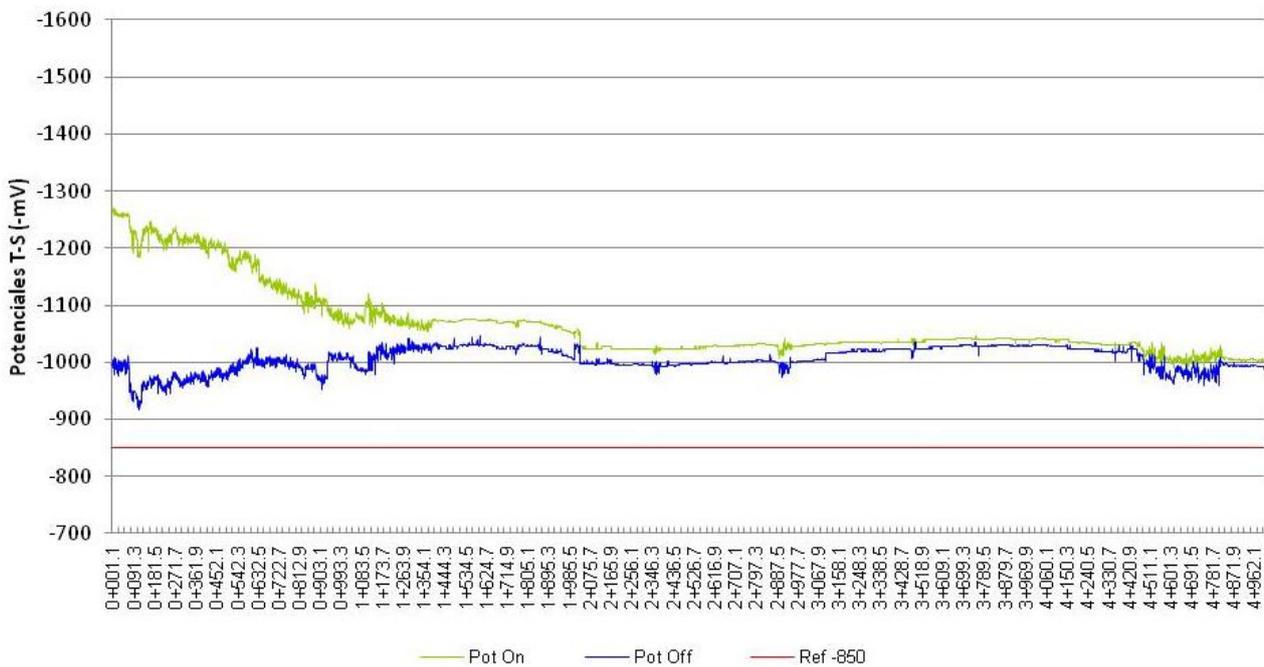


Figura 5. Perfil de CIS del ducto D-2.

por arriba de los -0.85 volts. En esta zona la caída IR tiene un máximo de 10 milivoltios. Del kilómetro 2+950 al 4+000 se observa el incremento de potencial de manera puntual con un comportamiento de pequeñas campanas de gauss a cada 200 metros de longitud, en este tramo el potencial ON se ubica en el orden de los -0.980 volts, en este tramo a los extremos se

segunda del kilómetro 4+300 al 4+682. Del kilómetro 0+500 al 4+300 se observa la existencia de ánodos galvánicos en buen estado y operando de manera constante, en esta sección del ducto la corriente impresa no logra separar de manera significativa el ON del OFF por esta razón se identifican los ánodos galvánicos.

Potenciales VS Distancia

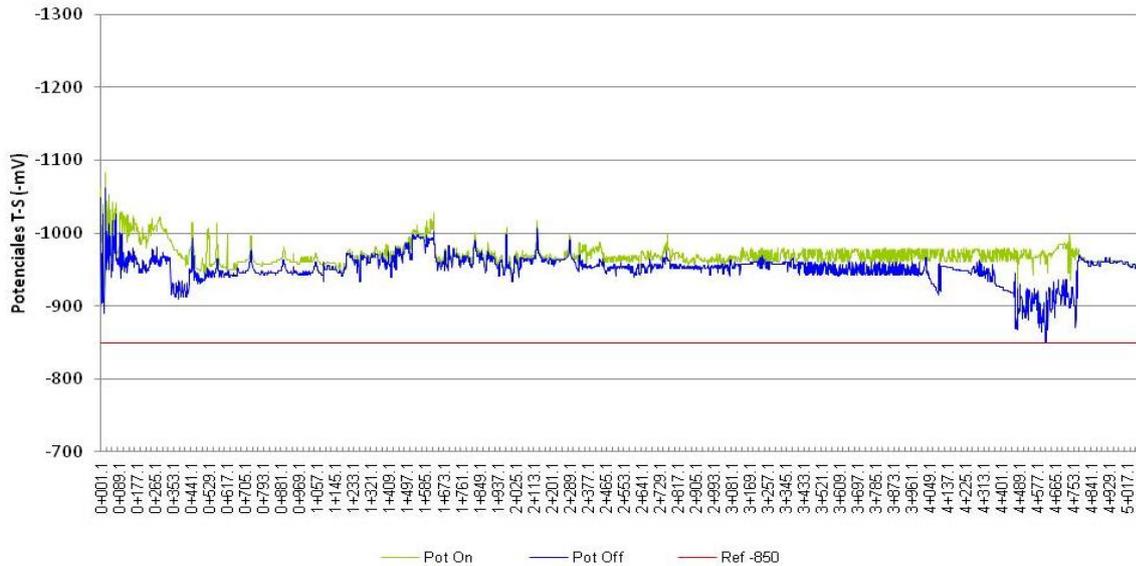


Figura 6. Perfil de CIS ducto D-3.

El ducto 2 el sistema de corriente impresa no refleja cobertura del km 0+500 al 4+300 encargándose únicamente de la protección catódica un sistema de ánodos galvánicos que se encuentran instalados cada 120 metros en esta sección de ducto. Por otro parte del km 0+000 al 0+500 y del kilómetro 4+300 al 4+700 se observa influencia del sistema de protección catódica por corriente impresa derivado de la presencia de un ciclo de corte de por lo menos 80 milivoltios, es claro que en este ducto el 78% está protegido por un sistema de ánodos galvánicos.

3.4.3 Perfil CIS del ducto D-3

El perfil de potenciales CIS del kilómetro 0+000 al kilómetro 1+050 presentan la atenuación de corriente típica de un sistema de protección catódica. Del kilómetro 0+000 al 0+450 se observan potenciales por arriba de los -0.950 volts en ON y OFF. Del kilómetro 0+450 al 1+080 los potenciales caen y se mantienen en el orden de los -0.870 volts en ON en tanto que el OFF se mantienen cercanos a los -0.850 volts del kilómetro 0+450 al 0+640, del kilómetro 0+440 al 0+980 se observan incrementos en el potencial eléctrico de manera aleatoria. Del kilómetro 1+200 al 1+500 se observa un incremento en los potenciales de manera gradual, en este tramo se observa la caída IR es de por lo menos 25 milivoltios. Del kilómetro 1+500 al 2+350 los potenciales se mantienen en orden de los -0.870 volts en ON y OFF en este tramo la caída IR se mantiene en los 15 milivoltios. Del kilómetro 2+350 al 4+000 los potenciales en ON se mantienen por arriba de los -0.850 volts en ON y OFF, los potenciales se mantienen en el orden de los -0.975 volts en ON y -0.940 en OFF, en este tramo la caída IR es de por lo menos de 30 milivoltios. Del kilómetro 4+000 al 4+750 los potenciales ON se mantienen en el orden

de los -0.940 volts en ON en tanto que el OFF cae en una curva suave hasta el kilómetro 4+420. Del kilómetro 4+420 al 4+750 los potenciales muestran falsos asentamientos de celda, derivado del tipo de suelo (conchuela molida y arena) dificultando las lecturas. Del kilómetro 4+771.8 los potenciales fueron medidos en el mar con electrodo de referencia cobre-sulfato de cobre. Del kilómetro 4+750 al 5+088.6 los potenciales caen y se mantienen en el orden de los -0.82 volts en ON en este tramo la caída IR es muy pequeña la cual no rebasa los 10 milivoltios.

De manera general el levantamiento de potenciales CIS cumple satisfactoriamente con el criterio de los -0.850 volts de la NRF-047 PEMEX 2007 del kilómetro 0+000 a las juntas de aislamiento de los arribos playeros en el kilómetro 5+088.6. En la Figura 6 se muestra la variación del potencial con respecto a la distancia para este ducto. El comportamiento del ON y OFF en el gráfico del ducto D-3 identifican dos zonas, la primera del 0+000 al 0+400 y la segunda 4+000 al 4+800 donde se manifiesta la protección catódica por corriente impresa. Del kilómetro 0+400 al 4+000 y del 4+800 al 5+088 se observa la existencia de ánodos galvánicos en buen estado y operando de manera constante, en esta sección del ducto la corriente impresa no logra separarse de manera significativa el ON del OFF.

3.4.4 Perfil CIS del ducto D-4

El estudio de CIS del kilómetro 0+000 al kilómetro 5+008.3 se observan potenciales que satisfacen el criterio de los -850 milivoltios en ON de la NRF-047-PEMEX-2007. (ver Figura 7). Del kilómetro 0+000 al 1+350 los potenciales presentan la curva de atenuación de potenciales, los potenciales registrados presentan un máximo de -1.27 volts y un mínimo de -1.7 volts

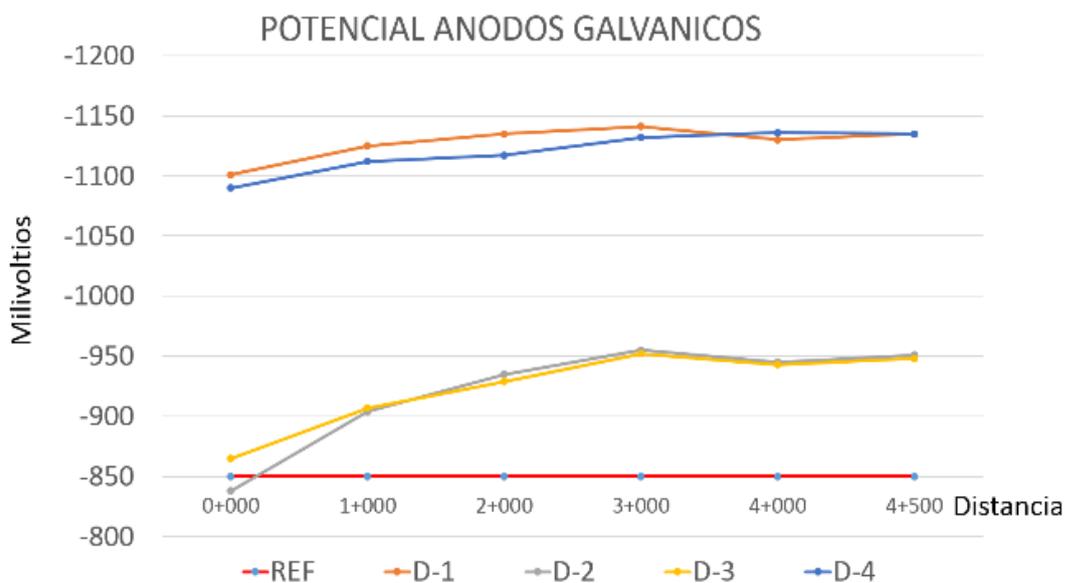


Figura 7. Cobertura de protección catódica por corriente impresa

en ON. El OFF se ve influenciado por el sistema de protección catódica manteniendo una caída de IR de un mínimo de 40 milivoltios y un máximo de 200 milivoltios, se observan caídas de potencial en el kilómetro 0+100. Del kilómetro 1+350 al 1+985 los potenciales presentan una tendencia homogénea en el orden de los -1.6 volts en ON y -1.2 volts en OFF, manteniendo una caída IR de por lo menos 40 milivoltios. Del kilómetro 1+985 al 4+420 los potenciales se mantienen en el orden de los -1.1 volts en ON y -1.0 volts en OFF; el OFF presenta la tendencia de incremento mitigándose la caída IR al transcurrir el odómetro.

Del kilómetro 4+420 al 4+800 los potenciales caen y se ubican en el orden de los -1.0 volts en ON y -0.97 volts en OFF. Del kilómetro 4+800 al 5+008.3 los potenciales se mantienen constantes en el orden de los -1.0 volts en ON y una caída IR homogénea en el orden de los 15 milivoltios. Del kilómetro 4+822.4 los potenciales fueron medidos en el mar con electrodo de referencia cobre-sulfato de cobre. Los potenciales ON del kilómetro 0+000 al 5+008.3 satisfacen el criterio de los -0.850 volts de la NRF-047 PEMEX 2007.

El gráfico de la Figura 7 identifica que la cobertura de protección catódica por corriente impresa se manifiesta en una mayor proporción del kilómetro 0+000 al 1+350, sin embargo, abarca del kilómetro 0+000 al 3+000 y del kilómetro 4+300 al 4+750. Del kilómetro 3+000 al 4+300 y la 4+750 al 5+008 la corriente de protección catódica se ve contrarrestada y mitigada por ánodos galvánicos los cuales aterrizan la corriente impresa minimizando la diferencia entre el ON y OFF.

En el ducto D-1, la prueba de medición de potencial con el sistema de corriente impresa y fuera de operación por 24

horas, resultaron potenciales en el orden de los -1.1 volts CSE, por lo que se puede asociar a una protección catódica galvánica.

El perfil de potenciales en el ducto D-2 con el rectificador apagado de la estación de impresión de corriente, identifica poca influencia de protección catódica del material galvánico del kilómetro 0+000 al 2+000, derivado de la no presencia de un potencial estable de por lo menos -1.0 volts.

De manera regular los ánodos de zinc presentan un potencial en el orden de los -1.1 volts medidos con el electrodo cobre sulfato de cobre (CSE), indicando que el sistema de protección catódica galvánico ya presenta desgaste. Por otro lado, el sistema de protección catódica por corriente impresa apoya la protección catódica polarizando el ducto D-2 para satisfacer el criterio de los -850 milivoltios en ON de la NRF-047-PEMEX-2007, donde los ánodos galvánicos se encuentran desgastados.

El perfil de potenciales del ducto D-3 con el sistema de protección catódica por corriente impresa “apagado y fuera de operación” del kilómetro 0+000 al 3+000 se registran los potenciales más bajos posicionándose en el rango de -0.860 a -0.950 volts CSE; los ánodos de zinc presentan un potencial en el orden de los -1.1 volts medidos con el electrodo cobre sulfato de cobre (CSE) lo cual pudiera atribuirse al desgaste en el material galvánico, sin embargo, cumple y satisface el criterio de los -850 milivoltios en ON de la NRF-047-PEMEX-2007. Del kilómetro 3+000 al poste 4+500 los potenciales con el sistema de protección catódica por corriente impresa fuera de operación se mantienen en el orden de los -0.950 milivoltios, lo cual permite suponer que existe un mayor desgaste del sistema de protección catódica galvánico del kilómetro 0+000 al 3+000.

El análisis de potencial del ducto D-4 con el sistema de corriente impresa fuera de operación por 24 horas, dió como resultado potencial en el orden de los -1.1 volts CSE, por lo que se puede asociar a una protección catódica galvánica. De manera regular, los ánodos de zinc presentan un potencial en el orden de los -1.1 volts medidos con el electrodo cobre sulfato de cobre (CSE), por lo tanto, existe la presencia de material galvánico en buen estado, ya que los potenciales se mantienen dentro del criterio de los -0.850 volts de la NRF-047 PEMEX 2007.

En el ducto D-1, la prueba de medición de potencial con el sistema de corriente impresa y fuera de operación por 24 horas, resultaron potenciales en el orden de los -1.1 volts CSE, por lo que se puede asociar a una protección catódica galvánica.

El perfil de potenciales en el ducto D-2 con el rectificador apagado de la estación de impresión de corriente, identifica poca influencia de protección catódica del material galvánico del kilómetro 0+000 al 2+000, derivado de la no presencia de un potencial estable de por lo menos -1.0 volts.

De manera regular los ánodos de zinc presentan un potencial en el orden de los -1.1 volts medidos con el electrodo cobre sulfato de cobre (CSE). Lo cual puede indicar que el sistema de protección catódica galvánico ya presenta desgaste.

Por otro lado, el sistema de protección catódica por corriente impresa apoya la protección catódica polarizando el ducto D-2 para satisfacer el criterio de los -850 milivoltios en ON de la NRF-047-PEMEX-2007, donde los ánodos galvánicos se encuentran desgastados.

El perfil de potenciales del ducto D-3 con el sistema de protección catódica por corriente impresa "apagado y fuera de operación" del kilómetro 0+000 al 3+000 se registran los potenciales más bajos posicionándose en el rango de -0.860 a -0.950 volts CSE; los ánodos de zinc presentan un potencial en el orden de los -1.1 volts medidos con el electrodo cobre sulfato de cobre (CSE) lo cual pudiera atribuirse al desgaste en el material galvánico, sin embargo, cumple y satisface el criterio de los -850 milivoltios en ON de la NRF-047-PEMEX-2007. Del kilómetro 3+000 al poste 4+500 los potenciales con el sistema de protección catódica por corriente impresa fuera de operación se mantienen en el orden de los -0.950 milivoltios, lo cual permite suponer que existe un mayor desgaste del sistema de protección catódica galvánico del kilómetro 0+000 al 3+000.

El análisis de potencial del ducto D-4 con el sistema de corriente impresa fuera de operación por 24 horas, dió como resultado potencial en el orden de los -1.1 volts CSE, por lo que se puede asociar a una protección catódica galvánica. De manera regular, los ánodos de zinc presentan un potencial en el orden de los -1.1 volts medidos con el electrodo cobre sulfato de cobre (CSE), por lo tanto, existe la presencia de material galvánico en buen estado, ya que los potenciales se

mantienen dentro del criterio de los -0.850 volts de la NRF-047 PEMEX 2007.

3.5 Resistividad y pH

El perfil de resistividad de los puntos evaluados a partir del kilómetro 00+000 al 5+000 a una profundidad de 1, 2, 3 y 4 m, indica un ambiente catalogado de corrosivo a muy corrosivo como se observa en los gráficos de resistividad.

La resistividad a 1 metro de profundidad es catalogada como muy corrosiva en el kilómetro 2+500 lo cual da un perfil conductivo. En los kilómetros 00+000 y 4+500 es corrosiva.

La resistividad a 2 metros de profundidad es catalogada como muy corrosiva en el kilómetro 2+500 lo cual da un perfil conductivo elevado. En los kilómetros 00+000 y 4+500 es corrosiva. La resistividad a 3 y 4 metros de profundidad es catalogada como muy corrosiva lo cual da un perfil conductivo en los kilómetros evaluados.

La evaluación de pH del kilómetro 00+000 al 5+000 se realizó de manera aleatoria la cual representa un muestreo en toda la longitud, entre los resultados, se marca una tendencia de cercanía a un pH neutro cercano a 6, sin embargo, debido las sales minerales disueltas en terreno, se presentan variaciones de 4 a 8.5 en potencial hidrógeno. Esto indica que el pH del suelo es independiente de la velocidad de corrosión presente en el electrolito.

4. Conclusiones

El sistema de protección catódica por corriente impresa para los 4 ductos se ve reflejado en los perfiles de potenciales CIS por la longitud del derecho de vía a proteger (5 kilómetros), por lo que cumple el objetivo de mantener polarizadas las líneas en estudio, drenando la cantidad de corriente necesaria para proveer de protección catódica a los ductos en estudio, mitigando el proceso de corrosión al cumplir el criterio de los -0.850 volts de la NRF-047-PEMEX-2007 en los 4 kilómetros de derecho de vía. El sistema de ánodos galvánicos mediante el perfil de potenciales recolectados con el rectificador apagado del sistema por corriente impresa, cumple con el criterio de los -0.850 volts de la NRF-047 –PEMEX 2007 del kilómetro 0+000 al 5+000 en los ductos: D-1, D-3 y D-4. El ducto D-2 cumple el criterio de los -0.850 volts de la NRF-047 –PEMEX 2007 del poste ubicado en el kilómetro 1+000 al 5+000 quedando fuera del criterio el poste de medición en el kilómetro 0+000.

La evaluación de la cama anódica del sistema de protección catódica por corriente impresa determinó que los ánodos se encuentran en buen estado, la prueba de remotividad de cama anódica no cumple por la cercanía y paralelismo con los ductos del derecho de vía; sin embargo, la cama anódica protege y da cobertura de protección catódica por corriente impresa del kilómetro 0+000 al 5+000.

La caracterización del suelo evaluado, considera, cuando el contenido de humedad aumenta (marea) hasta alcanzar un nivel freático mayor, la resistividad del suelo disminuye. Por tal motivo, resistividades bajas aumentan la corrosión electroquímica, favoreciendo la protección catódica, disminuyendo la resistencia del ánodo al suelo, permitiendo un mayor drenaje de corriente. La resistividad del suelo es baja a lo largo del tramo en estudio como lo demuestran los gráficos de resistividad a 1, 2, 3 y 4 m. de profundidad, lo que facilita la dispersión de corriente de protección catódica.

Los valores de resistividad medidos a profundidades de 3 y 4 metros, que es la profundidad promedio a la que se encuentran sumergidos los ductos a lo largo de este tramo, presentan un medio muy corrosivo o de baja resistividad, lo cual favorece el flujo de corriente de protección catódica.

Agradecimientos

Al CONACYT por el financiamiento otorgado para llevar a cabo este proyecto, asimismo, al programa de Doctorado Tradicional en Ciencias de los Materiales por el apoyo brindado.

Referencias

- Ávila Mendoza Javier y Genesca Llongueras Joan. 1996. Más allá de la herrumbre II. La lucha contra la corrosión. Fondo de cultura económica, México D.F., segunda reimpresión. Professional publishing an imprint of Butterworth-Heinemann Edition 3 1999. Houston Texas.
- Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, 2002.
- Manual de entrenamiento de la técnica de gradiente de voltaje DC, Instituto de Investigaciones Eléctricas, 2005
- Norma 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, 2003.
- Norma NRF-026-PEMEX-2001, "Protección con Recubrimientos Anticorrosivos para Tuberías enterradas o sumergidas", Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, 2001.
- Norma NRF-047-PEMEX-2007, "Diseño, Instalación y mantenimiento de los Sistemas de Protección Catódica", Peabody's Control of Pipeline Corrosion second edition Ronald. L. Bianchetti. NACE International.
- SP0502-2008. Standard Practice Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology