

Estudio de interferencias eléctricas como resultado de la cercanía de sistemas de corriente impresa

Study of electrical interference as result of the proximity of printed current systems

M. Lobato Castañeda^a, S. López Ortiz^b, M.I. Reyes-Valderrama^b, J. B. Ortega-Lazcano^{b,1}, 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

Los sistemas de control de corrosión mediante la técnica de protección catódica por corriente impresa (PC), son instalados en los ductos que transportan hidrocarburos. El presente estudio analiza factores que pueden ser considerados como interferencias eléctricas debido a la cercanía de los sistemas de corriente impresa. Para efectuar el análisis, se realizaron 3 pruebas con la técnica de levantamientos de potenciales CIS (Close Interval Potential Survey) con el objetivo de identificar puntos con problemas causados por los sistemas de corriente impresa; entre los resultados obtenidos se observa que efectivamente se genera una interferencia eléctrica entre ambos sistemas donde se tienen potenciales de sobreprotección por encima de los -2700 mv referido a la norma NRF-047-PEMEX-2014, de manera alterna se realizó un mapeo de condiciones de recubrimiento por la técnica DCVG (Direct Current Voltage Gradient), detectando una falla de recubrimiento la cual no presenta severidad al ser tipificada como tipo D de acuerdo a la norma referida previamente.

Palabras Clave:

Corrosión, Interferencias eléctricas, Ducto, Protección catódica, CIS, DCVG, Remotividad de cama anódica.

Abstract

Corrosion control systems using the printed current (PC) technique are installed in the pipelines that transport hydrocarbons. The present study analyzes factors that can be considered as electrical interferences, due to the proximity of the systems of printed current. To perform the analysis, 3 tests were carried out with the technique of surveys of potential CIS (Close Interval Potential Survey), in order to identify points with problems caused by the systems of printed current. Among the results obtained, it is observed that an influence is effectively generated between both systems, where there are overprotection potentials above -2700 mv, referred to standard NRF-047-PEMEX-2014. Alternatively, a mapping of coating conditions was performed by the DCVG (Direct Current Voltage Gradient) technique, detecting a coating failure, which does not present severity when typed as type D, according to previously mentioned technical standard.

Keywords:

Corrosion, Electrical interference, Duct, Cathodic protection, CIS, DCVG, Anodic bed remotivity.

1. Introducción

Los sistemas de protección catódica por corriente impresa suministran una energía en voltaje de corriente directa (CD) (Association, 2002; Genesca et al., 1996; Peabody, 2001), mediante un circuito eléctrico similar a una tierra física, esta presenta una conexión negativa a la estructura, que se desea mitigar, el proceso de corrosión de un elemento dispersor de

corriente llamado cama anódica, constituida por una serie de conexiones eléctricas y el electrolito que es el suelo por donde se conduce la corriente eléctrica y de esta manera es cerrado el circuito.

Las regulaciones mexicanas e internacionales (Ortiz, 2007; PEMEX, 2003; Subsidiarios, 2001) en base a criterios de protección catódica para determinar si una estructura esta en control de corrosión establecen el criterio de los -850 mV en la

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

Correo electrónico: miguel.lobato@yahoo.com.mx (M. Lobato-Castañeda), multimediasusy@hotmail.com (S. López Ortiz), isareyv@hotmail.com (M. I. Reyes-Valderrama), chucho-bo1@hotmail.com (J. B. Ortega-Lazcano), ventura.rl65@gmail.com (V. Rodríguez-Lugo)

norma NRF-047-PEMEX-2007 (Ortiz, 2007), sin embargo en algunos casos no es una condición de éxito derivado de la presencia de varios sistemas de suministro corriente directa cercanos, entre los efectos se encuentra el no aseguramiento del criterio de protección en ciertas zonas de la trayectoria del ducto (Corrosión, Concreto, Manuel, & La, n.d.; Windows, Corporation, Hori, & Sakajiri, n.d.), así como el deterioro natural del material o corrosión por insuficiencia de voltaje de protección en una falla de recubrimiento ya que existe metal expuesto (Baeckmann, Schwenk, Prinz, & Baeckmann, 1997; Campbell, 2003; Harston, Ropital, European Federation of Corrosion., & Institute of Materials, 2007).

3.- Procedimiento experimental

En este trabajo, la protección catódica es analizada mediante pruebas y levantamientos de potenciales puntuales en 2 kilómetros de trayectoria, las estructuras analizadas son dos ductos de 10 y 30 in de diámetro respectivamente, teniendo como base y referencia el ducto de mayor diámetro entre las condiciones específicas cada ducto presenta su propio sistema de protección catódica por corriente impresa, con una cercanía de 100 metros entre camas anódicas de distintos propietarios. Por otra parte, se realizaron una serie de pruebas mediante la instalación de un interruptor de corriente directa en el rectificador de protección catódica, marca cronos Mc Miller y mediciones de voltaje DC con un multímetro Fluke 177, de manera alterna se realizaron levantamientos de potenciales a intervalos cortos CIS categorizando cualquier disturbio o interferencia eléctrica en los ductos.

En la técnica CIS se aplicó la siguiente metodología de pruebas para la obtención de potenciales a intervalos cortos.

- La prueba número 1, consistió en deshabilitar el sistema de protección catódica del ducto de 10”.
- La prueba número 2, consistió en mantener prendido el sistema del ducto de 10 in y con ciclo de interrupción del ducto de 30 in.
- La prueba número 3, consistió en interrumpir en ciclos ON – OFF el sistema de PC del ducto de 10 in y el ducto de 30 in.

4. Resultados

4.1 Monitoreo de potenciales en condiciones iniciales en ambos sistemas

Durante la prueba el ducto de 30 in se mantiene un ciclo de corte ON-OFF en todos los casos, lo cual identifica la influencia del rectificador del sistema de protección catódica en un intervalo de 6+000 al 9+000.

Así mismo se identifica que no existe una conexión directa (puentes eléctricos) entre el ducto de 30 in (Tabla 1) y el ducto de 10 in al no haber ciclo ON-OFF en este último.

Se observa una reducción de la caída Óhmica IR (ON-OFF) en el km 7+000 derivado de la cercanía del sistema de protección catódica del ducto de 10 in.

La cercanía del poste al ducto de 30in en el km 7+000 al rectificador es de aproximadamente 300 metros.

Tabla 1. Medición de los potenciales iniciales con los dos sistemas operando.

	30 in			10 in	
	ON	OFF	IR	ON	OFF
6+000	-1180	-1060	-120		
7+000	-1730	-1690	-40		
7+800				-1254	-1254
8+000	-1380	-1246	-134	-1047	-1047
9+000	-1480	-1280	-200		

4.2 Influencia de potenciales DC con el rectificador, ducto de 30 in

Se observa que, durante las pruebas, el ducto de 30 in, se mantiene un ciclo de corte ON-OFF en todos los casos, lo cual confirma la influencia del rectificador del sistema de protección catódica en el ducto, de los kilómetros 6+000 al 9+000. Para el caso del ducto de 10 in no se observa cambio en el ciclo ON-OFF en las mediciones realizadas.

La evaluación de los potenciales en el ducto de 30 in y ducto de 10” muestran que en la primera prueba (ambos sistemas encendidos y con ciclos ON-OFF en el ducto de 30 in) el comportamiento de potenciales es más electronegativo en el km 7+000 alcanzando un potencial de -1700 milivoltios de electrodo de sulfato de cobre (ESC) esto derivado de la cercanía de la cama anódica del ducto de 10 in; del mismo modo se ve afectada la caída Óhmica (IR) la cual es pequeña. En estos potenciales se observa una atenuación en el km 6+000 en el orden de los -1.15 milivoltios (ESC) para este punto la caída Óhmica es de 120 milivoltios. Para los kilómetros 8+000 y 9+000 el potencial se incrementa por la cercanía e influencia de la cama anódica de Gasoductos, por esta razón la caída IR se presenta con una mayor intensidad de voltajes de 134 y 200 milivoltios respectivamente.

La evaluación de los potenciales en el ducto de 30 in y ducto de 10 in muestran que en la primera prueba (ambos sistemas encendidos y con ciclos ON-OFF en el ducto de 30 in), el comportamiento de potenciales es más electronegativo en el km 7+000 alcanzando un potencial de -1700 milivoltios ESC (Tabla 2); como consecuencia de la cercanía de la cama anódica del ducto (10 in)) del mismo modo se ve afectada la caída Óhmica (ON-OFF) presentando un IR pequeño. En estos potenciales se aprecia una atenuación en el km 6+000 en el orden de los -1.15 milivoltios ESC, para este punto la caída Óhmica es de 120 milivoltios. Para los kilómetros 8+000 y 9+000 el potencial se incrementa por la cercanía e influencia de la cama anódica de Gasoductos, por esta razón la caída IR se presenta con una mayor intensidad con voltajes de 134 y 200 milivoltios respectivamente.

Tabla 2. Medición de los potenciales iniciales con los dos sistemas operando únicamente el ducto de 30 in.

	DUCTO DE 30 in			DUCTO DE 10 in	
	ON	OFF	IR	ON	OFF
7+000	-1220	-1062	-158		
7+800				-806	-806
8+000	-1168	-1070	-98	-350	-350
9+000	-1260	-999	-261		

En la prueba 2 al dejar fuera de operación el rectificador del ducto de 10 in y únicamente en operación el Rectificador del ducto de 30 in, se observa que el potencial en el km 7+000 cae 500 milivoltios en ON y mantiene el potencial en el orden de -1200 milivoltios en OFF. El efecto observado al dejar fuera de operación el rectificador de ducto de 10 in, es el comportamiento de los potenciales en el gasoducto de impacto, ya que se observan potenciales homogéneos en los km 8+000 y 9+000 en el orden de los -1200 milivoltios con una pequeña tendencia de incremento por la cercanía del rectificador de Gasoductos en el km 9+000.

Resulta de interés el comportamiento de los potenciales en el ducto de 10 in en la prueba 1 y 2, ya que el comportamiento de los potenciales al detener la operación del rectificador en el kilómetro 7+800 caen a 400 milivoltios en el shut down del rectificador, por otro lado, de un potencial de -1250 caen a -800 milivoltios, para lo cual se observa una despolarización del ducto no tan drástica. Para el caso de ducto de 30 in en el kilometraje 8+000 se observó la variación del potencial de -1040 a -350 milivoltios ESC ambos potenciales en ON, lo cual refleja una disminución de casi 700 milivoltios al eliminar la inyección de corriente del rectificador del ducto, este fenómeno de shut down resulta de interés ya que a lo largo de la trayectoria del poliducto pueden existir zonas con una mayor velocidad de despolarización al compararse el km 9+000 y 8+000.

4.3 Perfil de potenciales CIS

Como parte esencial la inspección CIS se ubican zonas con disturbios en los potenciales en corriente directa con una precisión de un metro. Esto derivado de las pruebas de monitoreo de potencial.

Dadas las condiciones de que en el punto de inyección de corriente la Rumorosa existen dos camas anódicas, en donde es importante conocer si existe alguna interferencia o disturbio en los potenciales por corriente directa, causada por la operación de las dos camas anódicas una de ellas convencional y otra de pozo profundo de manera simultánea, como se observa en la Figura 1.

En la prueba 1, los perfiles de potencial CIS marcados en la figura 1 de las pruebas de ON-OFF en el ducto de 30 in de diámetro en color negro y rojo se muestra un comportamiento de potenciales homogéneo en el orden de los -1200 milivoltios en OFF y -1400 milivoltios en ON con respecto a CSE

(Electrodo sulfato de cobre) respectivamente. No se observan cambios generados por un pico característico de inyección de corriente en el kilómetro 7+602 aproximadamente donde se encuentra el rectificador del ducto de 30 in.

En la prueba 2, los perfiles de potencial CIS marcados en la Figura 1 de las pruebas de ON-OFF en el ducto de 30 in de diámetro en color morado se muestra una mayor electronegatividad en los potenciales, al ser conectado el rectificador de Sistema de PC del ducto de 10in, observándose el pico característico de la impresión de corriente en el rectificador de este sistema ubicado en el kilómetro 7+602, para este caso la caída IR (on-off) se mantiene similar a la observada en la prueba 1.

Es importante mencionar que los potenciales en el punto máximo de influencia del rectificador son de -2350 milivoltios en ON (línea morada) y -2270 milivoltios en OFF (línea verde) con respecto a CSE.

Haciendo un comparativo con respecto a la prueba 1 los potenciales se encontraban en el orden de -1400 y -1200 en ON y OFF con referencia a CSE. Este incremento se puede atribuir a un vínculo eléctrico metálico entre el ducto de 10 in y el ducto de 30 in en estudio.

La prueba 3 al realizar la interrupción de los dos rectificadores, se observa una mayor polarización en el gráfico de potenciales CIS marcados en color anaranjado, del mismo modo se observa el incremento de la caída IR (on-off) comprada con las dos pruebas anteriores.

Es importante comentar que en esta prueba el gráfico presenta un mayor ruido en lo que corresponde al CIS, en este sentido es muy factible que el ducto de 10 in se encuentre conectado al ducto de 30 in.

Los potenciales en el ducto de 30 in en esta tercera prueba se encuentran en el orden de los -3000 milivoltios en ON (línea color azul) y -1800 milivoltios en OFF (línea color anaranjado) con respecto a CSE.

4.3.1 Perfil CIS del ducto D-1

Es importante puntualizar que la cama anódica del ducto de 10in se encuentra ubicada en el extremo izquierdo del ducto de 30 in en tanto que la tubería que protege catódicamente el ducto de 10 in y este se encuentra en la extrema derecha del ducto de 30 in. En este sistema se han realizado mediciones de potenciales puntuales con la influencia de las dos camas anódicas cercanas y las pruebas con la técnica de CIS, determinando que la cama anódica del ducto de 10 in ejerce influencia de gradientes de voltaje al ducto de 30 in, mediante una inducción de corriente directa, derivado de la cercanía existente entre la ubicación de la cama anódica del ducto de 10 in y 30 in.

En este sentido, el ducto de 30 in se ve obligado a recoger del kilómetro 7+000 al 8+000 gradientes de voltaje de la cama anódica. Esta corriente fluirá longitudinalmente a lo largo de la tubería del ducto de 30 in en ambas direcciones desde la cama anódica del poliducto; y esta deberá salir de la tubería en las zonas más remotas (por ejemplo, en zonas de baja resistividad del suelo) para después regresar al ducto de 10 in y luego de vuelta al rectificador para completar el circuito. Esto significa que puede existir varias áreas de descarga de corriente lo que genera grandes daños a la tubería exterior.

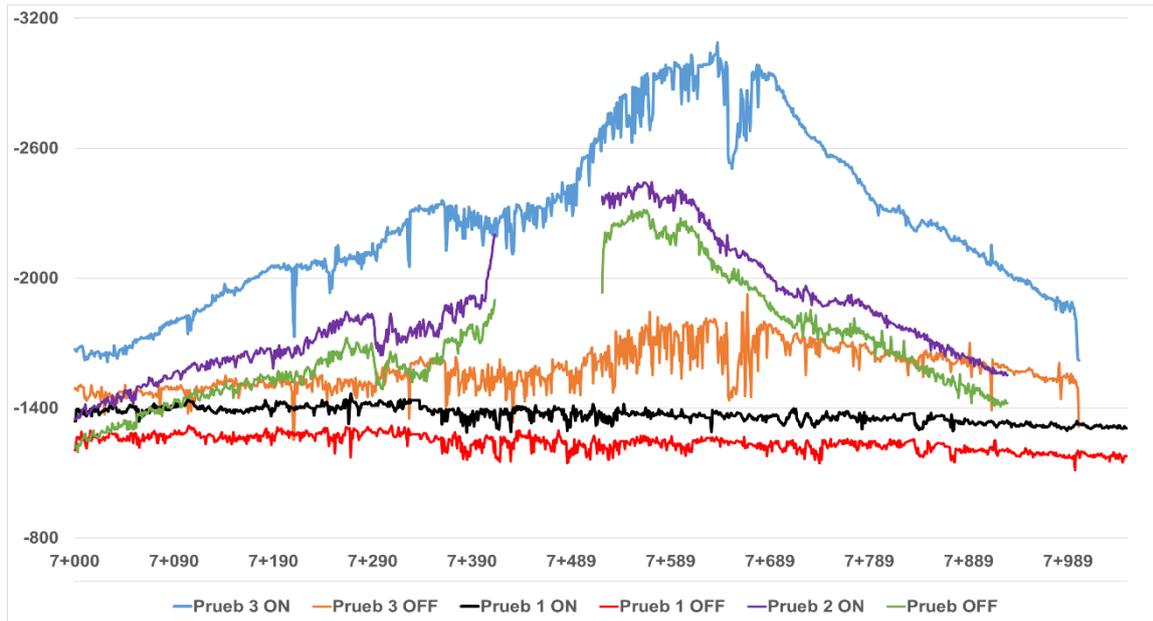


Figura 1 Perfil de pruebas en técnicas de CIS en el ducto de 30".

4.3. Camas anódicas.

La cama anódica del ducto de 30 in en el km 9+000 se orienta el sentido del flujo de la corriente que pudiera ser recibida por la cama anódica del ducto de 10 in pero no al 100%, como se ilustra en la Figura 2, del mismo modo en el ducto de 10 in se pueden presentar problemas de sentido de flujo de corriente y dispersión de la misma, al tener entradas y salidas de corriente más frecuentes que el ducto de 30 in; ya que en este sistema la mayor susceptibilidad a presentarse algún daño por descarga de corriente sería el ducto de 10 in; al tener una orientación paralela al ducto de 30 in, ya que no se puede determinar con precisión el comportamiento de los gradientes de voltaje remotos de las dos camas anódicas con la variación de la resistividad eléctrica del terreno.

Es muy probable que al cambio de resistividad del suelo sea por distintas condiciones meteorológicas y la corriente CD, logrando disiparse con una mayor intensidad y generar una mayor cobertura para realizar una carga-descarga de la corriente directa y extenderse a una longitud no determinada.

Para el caso de la cama anódica del ducto de 10 in las mediciones de remotividad cumplen con una tierra eléctricamente remota y las variaciones en el ducto de 10in son cambiantes ya que en los puntos evaluados en los kilómetros 7+800 y 8+000 se observan cambios de 400 y 700 milivoltios respectivamente al realizar el shut down de las camas anódicas (ducto de 10 in y ducto de 30 in). Los cambios en el potencial en el poliducto 10 in requieren ser evaluados cuidadosamente y de manera objetiva; ya que el ducto 10 in pudiera ser interferido por su propio sistema de protección catódica al tener este paralelismo de ductos y las características de ubicación de las camas anódica de los dos ductos en estudio.

La remotividad de la cama anódica del Rectificador que suministra corriente de Protección Catódica al ducto de 10in, determina que la cama anódica es eléctricamente remota; sin embargo, la configuración y ubicación de la cama no son las adecuadas.

La determinación de la remotividad se calcula a partir de los gradientes de voltajes en las estructuras cercanas, colocando una celda CSC y se conecta.

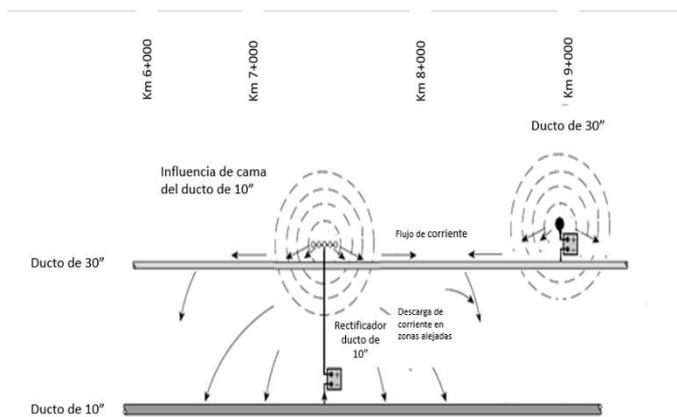


Figura 2 Diagrama de flujo de corriente.

5. Discusión de resultados

El perfil de potenciales puntuales muestra que existe una influencia de la cama anódica del ducto de 10 in al ducto de 30 in de diámetro derivado de que se mantiene un ciclo de corte ON-OFF, por lo que la influencia del sistema es del kilómetro 6+000 al 9+000, lo cual es caracterizado como una interferencia eléctrica por apantallamiento de las camas anódicas entre los sistemas de protección catódica, como se observa en la Figura 3.

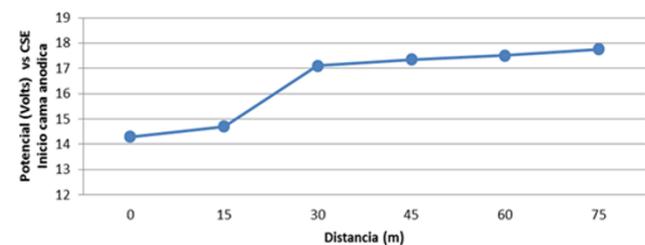


Figura. 3 Potencial (Volts) vs CSE

Se identifica un choque entre ambas corrientes generando una atenuación de corriente eléctrica en los polos negativos de los sistemas.

Las mediciones de potencial realizadas a lo largo del estudio determinan que no existen zonas sin protección catódica efectiva, como lo establece el criterio de los -850 mv CSE de la NRF-047-PEMEX-2014, sin embargo, es necesaria una evaluación del estado de recubrimiento ya que, si no se da atención, puede presentar defectos de recubrimiento por sobreprotección catódica.

En las pruebas de CIS se observa que cuando trabajan las dos camas anódicas los potenciales son recolectados por el gasoducto de 30in por un efecto de apantallamiento eléctrico.

En la prueba 1 se aprecian potenciales equiparables y estables, sin embargo, la influencia no es de gran magnitud derivado de que el sistema de protección catódica del ducto de 10in fue apagado.

La condición del sistema de protección catódica del kilómetro 6+000 al 8+000 en el ducto de 30in es donde se genera la inducción de corriente directa de mayor magnitud de acuerdo a las pruebas con la aplicación de la técnica CIS.

En un escenario de la prueba 2 se observa que la recolección de gradientes de voltaje DC, se muestran una influencia en el gasoducto de 30in con un efecto de apantallamiento eléctrico. A medida que la corriente se disipa de la cama anódica, la distribución de la misma tiende a ser más uniforme hasta el punto en que no existen gradientes de potencial en el suelo. Es en esta zona con gradientes de potencial nulos donde debe encontrarse la estructura de tal forma que los potenciales a todo lo largo de ésta zona de influencia sean uniformes.

Las acciones correctivas pueden incluir el uso de puentes eléctricos entre el ducto de 30 in y el ducto de 10 in o la instalación de sistemas de CP en el ducto de 30 in para invertir el flujo de corriente longitudinalmente o eliminar la cama anódica de ducto de 10 in la cual ocasiona este comportamiento de gradientes de voltaje al ducto de 30 in.

6. Conclusiones

En el estudio CIS se identificó que existe una inducción de corriente del sistema de 10 in al ducto de 30 in, el comportamiento de la corriente está en función del drenado de corriente del sistema de protección catódica del ducto de 10 in, este fenómeno es caracterizado como una interferencia eléctrica por apantallamiento de las camas anódicas a los ductos, por lo que es

necesario el monitoreo constante en mediciones de potenciales para determinar la vulnerabilidad de mitigación de corrosión para proteger las zonas sin protección catódica como lo establece el criterio de los -850 mv CSE de la NRF-047-PEMEX-2014, sin embargo, se requiere de una evaluación del estado de recubrimiento ya que, si no se da atención, puede presentar defectos de recubrimiento por sobreprotección catódica.

Agradecimientos

Al CONACYT por el financiamiento otorgado mediante el programa de Doctorado directo y tradicional en Ciencias de los Materiales, del Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías de la Universidad Autónoma del Estado Hidalgo.

Referencias

- Association, N. (2002). *NACE RP-0502: Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology* (Vol. 552).
- Baeckmann, W. von (Walter), Schwenk, W. (Wilhelm), Prinz, W., & Baeckmann, W. von (Walter). (1997). *Handbook of cathodic corrosion protection: theory and practice of electrochemical protection processes*. Gulf Pub. Co.
- Campbell, J. (2003). *Castings* (second). Retrieved from <https://www.passeidireto.com/arquivo/38599898/campbell-j-2003-castings-the-new-metallurgy-of-cast-metals-2nd-ed>
- Corrosión, L. A., Concreto, D. E. L., Manuel, I. N. G., & La, G. D. E. (n.d.). *EN AMBIENTE MARINO* .
- Genesca, J., Selecci, D. E., Presentaci, E., Corrosi, L. A., La, E. N., Diaria, V., ... Corrosi, D. E. L. A. (1996). *Más allá de la herrumbre*. Retrieved from <https://www.uv.mx/personal/torozco/files/2011/02/Mas-alla-de-la-herrumbre-11.pdf>
- Harston, J. D. (John D. ., Ropital, F. (François), European Federation of Corrosion., & Institute of Materials, M. (2007). *Corrosion in refineries*. CRC Press.
- Ortiz, L. (2007). *Diseño, construcción, inspección y mantenimiento de ductos terrestres para transporte y recolección de hidrocarburos*. 30, 107.
- Peabody, A. W. (2001). *Control of Pipeline Corrosion Second Edition*.
- PEMEX. (2003). *NRF-004-PEMEX-2003 Protección con recubrimientos anticorrosivos a instalaciones superficiales de ductos*.
- Subsidiarios, O. (2001). *Anticorrosivos Para Tuberías Enterradas Y / O Sumergidas*.
- Windows, M., Corporation, M., Hori, K., & Sakajiri, A. (n.d.). *Corrosion control through organic coating* (P. E. Philip A. Schweitzer, ed.). Pennsylvania.