



Booklets

RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - Google Scholar DOI - REDIB - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID - V|LEX - EBSCO

# Title: Electrochemical corrosion of carbon steel in congenital water

**Authors:** Lugo-Islas, Gabriela, Gallardo-Castán, Ernesto, García-Navarro, Norma and Galicia-Aguilar, Gonzalo

- ROR Universidad Veracruzana • OUI-2284-2025 • ID 0000-0003-2572-3697 • 445987
- ROR Universidad Veracruzana • OUI-2410-2025 • ID 0000-0002-4117-2891 • 818820
- ROR Universidad Veracruzana • AAN-7451-2020 • ID 0000-0002-0381-6617 • 49611
- ROR Universidad Veracruzana • OUI-9759-2025 • ID 0000-0002-0633-3442 • 38494

**Editorial label MARVID:** 607-8695  
**BMARVID Control Number:** 2025-01  
**BMARVID Classification (2025):** 121225-0001  
**RNA:** 03-2010-032610115700-14  
**Pages:** 16

**SECIHTI classification:**  
**Area:** Engineering  
**Field:** Engineering  
**Discipline:** Chemical Engineering  
**Subdiscipline:** Corrosion

### MARVID-México

Park Pedregal Business. 3580,  
 Anillo Perif., San Jerónimo  
 Aculco, Álvaro Obregón,  
 01900 Ciudad de México, CDMX,  
 Phone: +52 1 55 6159 2296  
 Skype: MARVID-México S.C.  
 E-mail: [contact@marvid.org](mailto:contact@marvid.org)  
 Facebook: MARVID-México S. C.  
 X: @Marvid\_México

[www.marvid.org](http://www.marvid.org)

### Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

# Introducción

**El agua congénita o de formación**, es agua salada que se encuentra dentro de la roca asociada a la presencia de hidrocarburos. Contiene sales disueltas como; cloruros de calcio, sodio y potasio, carbonato de sodio, sulfatos de calcio o de bario, cationes metálicos entre otros. La concentración de estos componentes puede ocasionar impactos negativos en la corrosión metálica, principalmente del acero al carbono que se usa en la industria petrolera. Las características y propiedades físicas del agua congénita se encuentran en función de:

- Localización geográfica del pozo
- Formación geológica con la cual el agua ha estado en contacto por miles de años
- Tipo de hidrocarburo
- Composición química de las fases oleosas y gaseosas en la reserva
- Químicos añadidos durante el proceso

# Introducción

La **corrosión** es una reacción electroquímica de un metal o aleación con su medio circundante con el consiguiente deterioro de sus propiedades físicas y químicas, también se puede definir como el tránsito de un metal de su forma sólida a su forma iónica o combinada con cesión de electrones a un no metal como el oxígeno, es decir a través de la corrosión se retorna la forma combinada formando óxidos e hidróxidos.

**El uso y aplicación de materiales metálicos en el sector industrial implica costos directos e indirectos asociados a la corrosión.** Por ejemplo, si no se le aplica un mantenimiento preventivo a las estructuras metálicas, éstas presentaran corrosión generalizada y/o localizada debido a la participación de agentes contaminantes como cloruros, sulfatos, sustancias presentes en el agua congénita, por ello, es importante realizar proyectos de investigación para plantear soluciones a estos problemas a fin de prevenir el deterioro de los materiales metálicos.

# Introducción

El **objetivo del trabajo** consiste en evaluar la corrosión que presenta el acero al carbono cuando se encuentra en contacto al agua congénita como electrolito, a través de técnicas electroquímicas.

La contribución del presente trabajo se enfoca al **ámbito científico y sector petrolero** para contar con **investigaciones sobre el acero al carbono utilizado en la industria petrolera que se encuentra en contacto continuo con hidrocarburos con concentraciones significativas de agua congénita**, incluso para la **disposición del agua congénita** utilizada en la separación del aceite y crudo con resultados integrales y pertinentes, **sectores que emplea el acero al carbono en sus actividades de primera necesidad donde es imposible eliminar el agua congénita propiciando graves daños por corrosión**. Es fundamental que los estudios sean desde un punto de vista real donde las variables se logren **cuantificar como la velocidad de corrosión en función del tiempo de exposición** al electrolito a fin de apreciar el deterioro en el acero al carbono, siendo más sencillo de **establecer la logística para las estrategias de prevención y control**.

# Metodología

El acero al carbono empleado corresponde **al utilizado en la industria petrolera para el transporte de petróleo, gas y otros fluidos**, las muestras rectangulares tamaño de **10 cm x 8 cm**, con y sin defecto de superficie en forma de cruz. El electrolito para formar la celda electroquímica de corresponde a muestras de agua congénita de la “Planta de Transferencia de Agua Congénita” Campo San Andrés siendo rica en cloruros y sulfatos que aceleran la corrosión en la infraestructura metálica.

Las pruebas electroquímicas se ejecutaron con un **potenciostato Biologic** vinculado a el equipo de cómputo con el software de EC-lab instalado para recibir dentro de este mismo sistema los datos recolectados de las pruebas realizadas, Figura 1.



**Figura 1**

Celda Electroquímica y potenciostato EC Lab

# Metodología

Para realizar las **técnicas electroquímicas** se utilizó una celda electroquímica con un sistema de tres electrodos; un **electrodo de referencia (plata/cloruro de plata Ag/AgCl)**, un **electrodo auxiliar (barra de grafito)**, un **electrodo de trabajo (acero al carbono)** y como **electrolito el agua congénita** que representa el medio agresivo en condiciones reales. Los parámetros para las técnicas electroquímicas son:

- **Resistencia de Polarización Lineal (Rp):** según la ASTM G59-97 se utilizó una señal de la amplitud del sistema de  $\pm 30$  mV, utilizando la velocidad de barrido de 0,1667 mV/seg [4]. Esta es una técnica no destructiva de bajo campo, dado que se necesita una señal baja para obtener mejores resultados sin dañar el material, por lo cual se realiza en primer lugar.
- **Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIE):** La señal de perturbación o amplitud empleada para este sistema fue de  $\pm 10$  mV y la frecuencia utilizada de 0.01 - 10000 Hz.
- **Curvas de Polarización Potenciodinámicas (CP):** Técnica de corriente directa de alto campo donde el material evaluado es afectado en su superficie. Para esta técnica se aplica una señal de  $\pm 250$  mV, con una velocidad de barrido de 0,166 mV/s, es ejecutada hasta el final de los experimentos ya que al emplear altas perturbaciones en señales eléctricas es una prueba destructiva ASMT, G5-94.

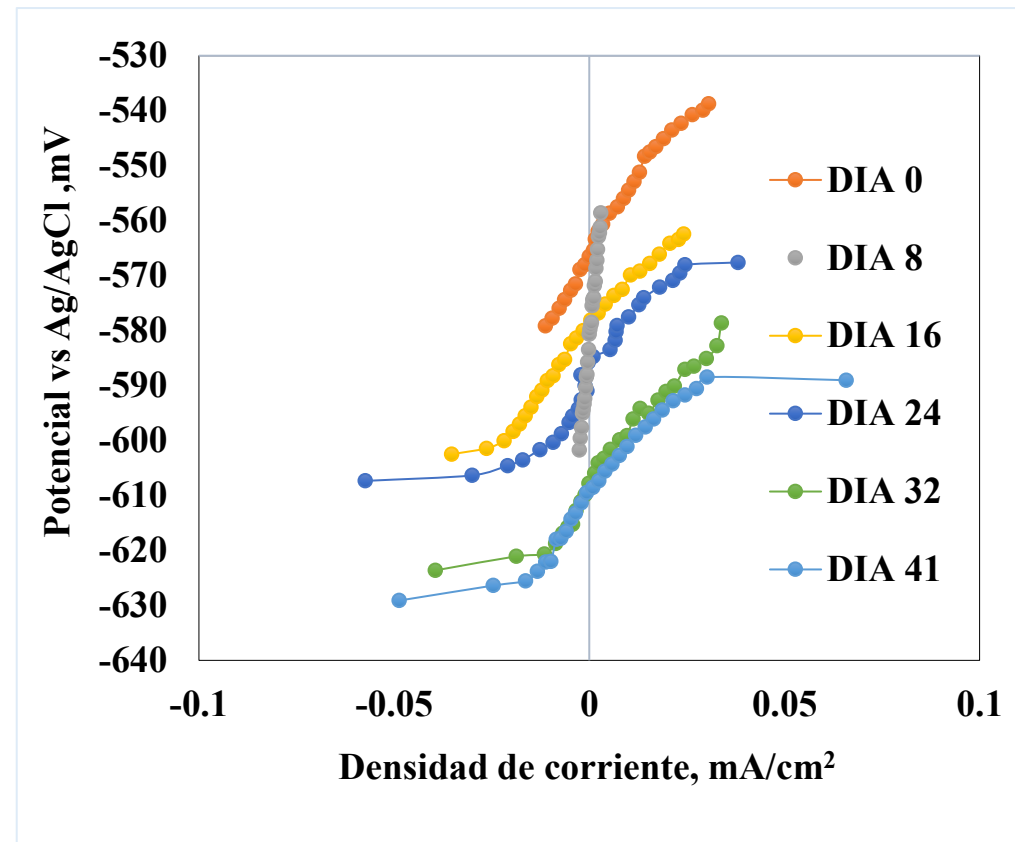
# Resultados

En la tabla 1 se presentan los resultados a partir de los ensayos electroquímicos para el acero al carbono, se muestra el potencial de corrosión ( $E_{corr}$ ), resistencia a la polarización ( $R_p$ ), densidad de corriente ( $i_{corr}$ ) y velocidad de corrosión ( $V_{corr}$ ). Todas en conjunto exponen el comportamiento de cada una de las placas analizadas en agua congénita.

t, Días	$R_p$ , $\Omega.cm^2$	$i_{corr}$ , mA/cm <sup>2</sup>	$E_{corr}$ , V	$V_{corr}$ , mm/año
<b>Sin defecto</b>				
0	1.79	2.85 E-03	0.97	0.03
8	0.26	1.95 E-02	0.17	0.22
16	1.05	4.85 E-03	0.61	0.05
24	7.21	7.11 E-04	4.05	0.00
32	2.30	2.22 E-03	1.38	0.02
41	4.25	1.20 E-03	2.34	0.01
<b>Con defecto</b>				
0	0.94	5.44 E-03	0.53	0.06
8	0.12	4.02 E-02	0.07	0.46
16	1.22	4.19 E-03	0.71	0.04
24	1.34	3.80 E-03	0.79	0.04
32	1.23	4.15 E-03	0.74	0.04
41	1.51	3.39 E-03	0.92	0.03

# Resultados

En la figura 2 se observa cómo actúa el acero al carbono expuesto en agua congénita. Se observa que los primeros días de exposición se tiene mayor corrosión por activación o transferencia de carga de los electrones liberados del sustrato metálico hacia el electrolito, en comparación con los últimos días. Con el paso del tiempo llegamos a los últimos días (24, 32 y 41) donde se puede notar la presencia de la película de productos de corrosión que suelen adherirse a la superficie del sustrato a manera de pasivar la reacción y darle mayor resistencia a la corrosión electroquímica.



Resultados a partir de la técnica Rp para acero al carbono sin defecto en diferentes tiempos de exposición.

# Resultados

En la figura 3 muestra el comportamiento del acero al carbono con defecto en contacto con agua congénita. La corrosión es por activación o transferencia de carga debido a que el acero se encuentra formando productos de corrosión, pasados los días de exposición, se tiene un sobrepotencial de corrosión en comparación con los demás días, esto por causa del control activacional en la interfase del metal – electrolito. De los 16 días en adelante hasta llegar a los 41 días, se observa una mayor resistencia a la corrosión ya que los productos de corrosión al paso de los días se depositan en la superficie del metal para darle el efecto de autoprotección.

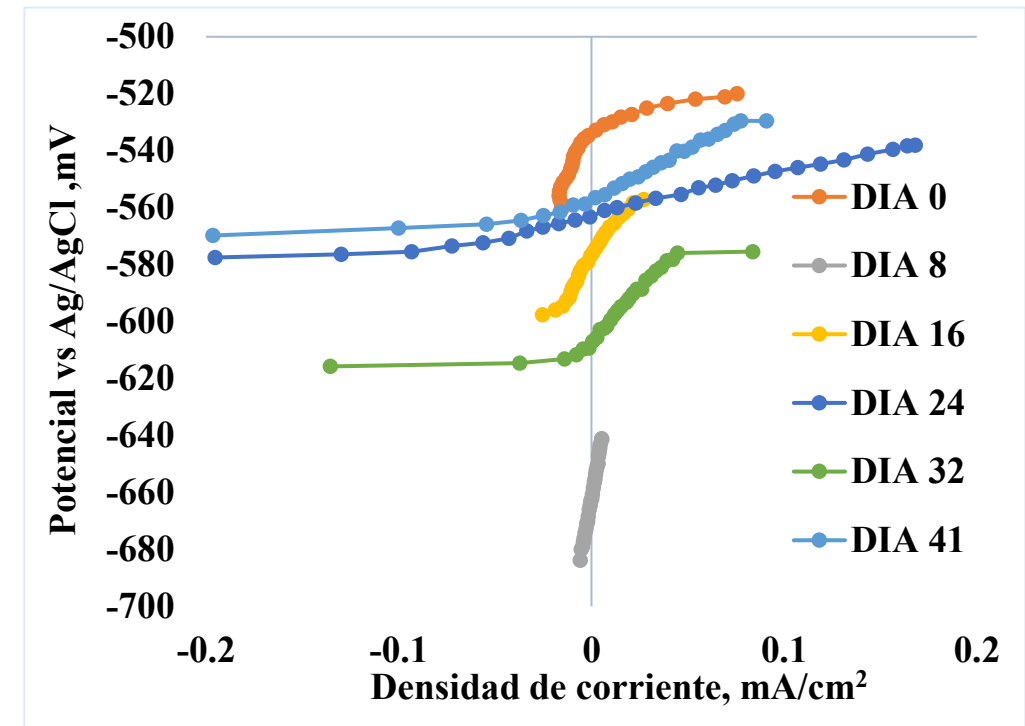


Figura 3. Resultados a partir de la técnica Rp para el acero al carbono con defecto en diferentes tiempos de exposición.

# Resultados

Los resultados mediante EIE en Bode para el acero al carbono sin defectos de superficie (figura 4, en el día 0 y en el día 8, se presenta una constante de tiempo en el intervalo de altas e intermedias frecuencias, los cuales visualizan el proceso de formación de los productos de corrosión debido a la corrosión transferencia de carga, en la baja frecuencia existe difusión de especies electroactivas. En los días del 16 al 41 se puede observar incremento de la corrosión por transferencia de carga consecuencia del descenso del ángulo de fase en la media frecuencia, sin embargo, en la baja frecuencia de aprecia impedancia tipo Warburg o control por difusión, lo que se refiere lo que significa que los productos de corrosión formados a nivel interfase intervienen en la difusión de especies electroactivas que promueven la corrosión, una interfase capacitiva forma una película de productos capaces de brindar una protección a la superficie del metal.

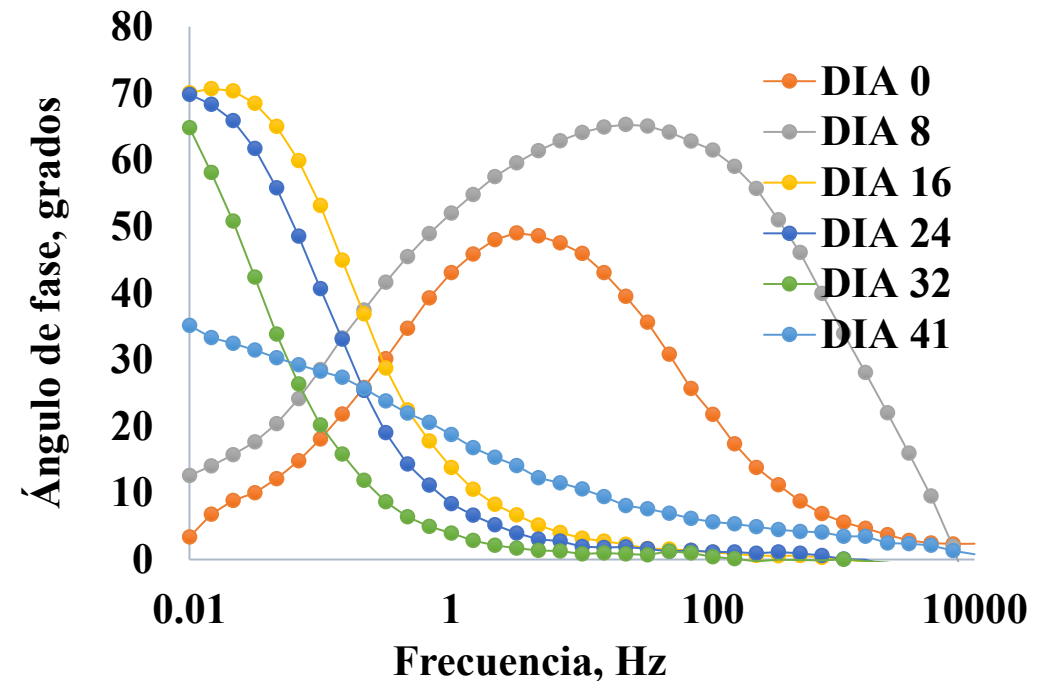


Figura 4. EIE en Bode-Ángulo de fase para el acero al carbono sin defecto a diferentes tiempos de exposición. Fuente: elaboración propia

# Resultados

En la figura 5 del diagrama de Bode, en el día 0 y día 8, se exhiben dos constantes de tiempo en el intervalo de altas e intermedias frecuencias, dichas constantes visualizan el proceso de formación de los productos de corrosión y transferencia de carga respectivamente.

En los días 16, 24, 32 y 41 se puede observar una constante de tiempo atribuida al proceso de transferencia de carga. Adicionalmente, se observa que, en estos 4 tiempos de exposición, el ángulo de fase se desplazó hasta frecuencias bajas atribuyendo este comportamiento a la corrosión generalizada. Se tiene una interfase resistiva lo que es considerado como la transición del hierro del estado sólido al estado iónico, es decir se corroe. Los días 24, 32 y 41, se pasa de una interfase resistiva a una interfase capacitiva, lo que indica que los productos de corrosión son semiconductores y por ello forma una película compacta que puede otorgar protección a la superficie del acero.

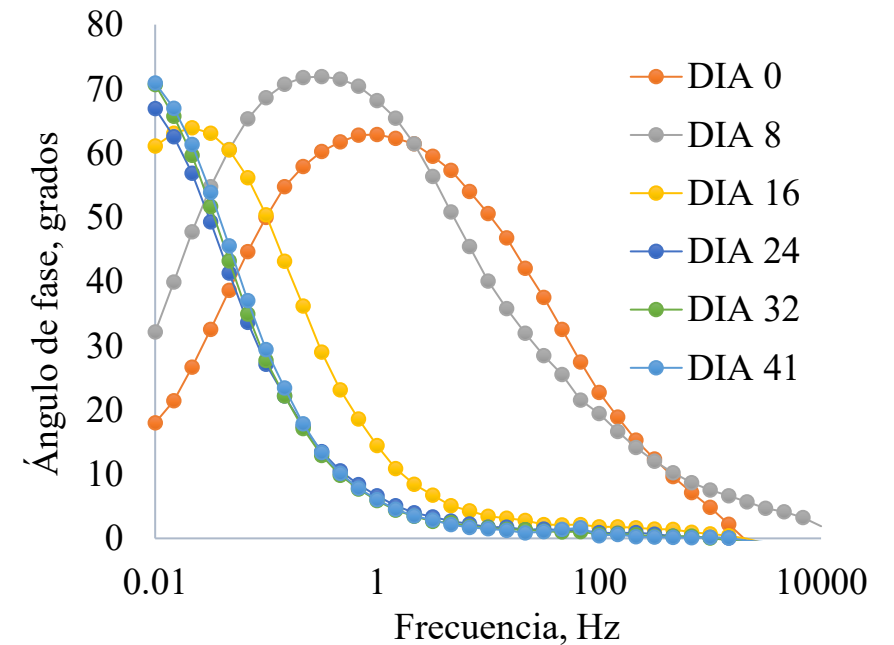


Figura 5. EIE en Bode-Ángulo de fase para el acero al carbono con defecto a diferentes tiempos de exposición.

# Resultados

La figura 6 corresponde a la curva de polarización cuando el acero al carbono no tiene defecto, la reacción de oxidación esta controlada por un proceso de transferencia de carga o disolución metálica, pero al final de la curva, la pendiente anódica incrementa considerablemente indicando que la película de productos de corrosión es depositada en la superficie del acero al carbono, mientras que en la rama catódica se tiene una cinética rápida para la reducción de oxígeno. Cuando el acero tiene defecto en la superficie, figura 7, la reacción de oxidación controlada por un proceso de transferencia de carga con una cinética de disolución rápida en comparación cuando la muestra no tiene defectos. En la región anódica se puede observar una reacción química que mantiene constante la densidad de corrosión, comprobable con la pendiente de Tafel indicando que una capa de productos de corrosión es adsorbida en la superficie del acero al carbono, aislando parcialmente la superficie metálica del electrolito. El control es tipo mixto.

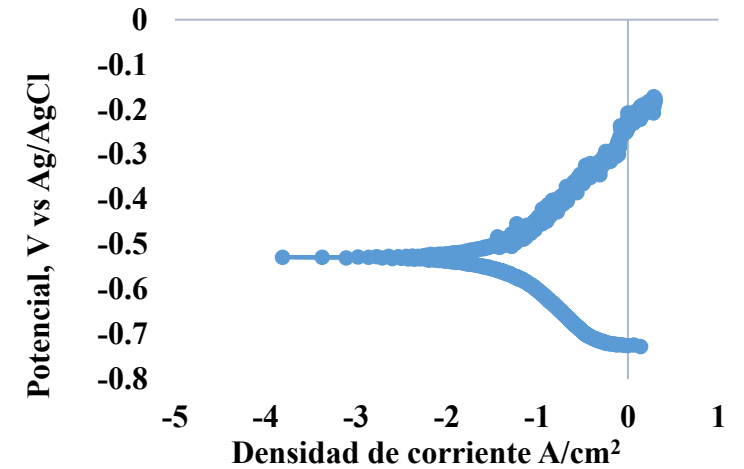


Figura 6. CP para el acero al carbono sin defecto expuesto en agua congénita al finalizar su exposición en agua congénita.

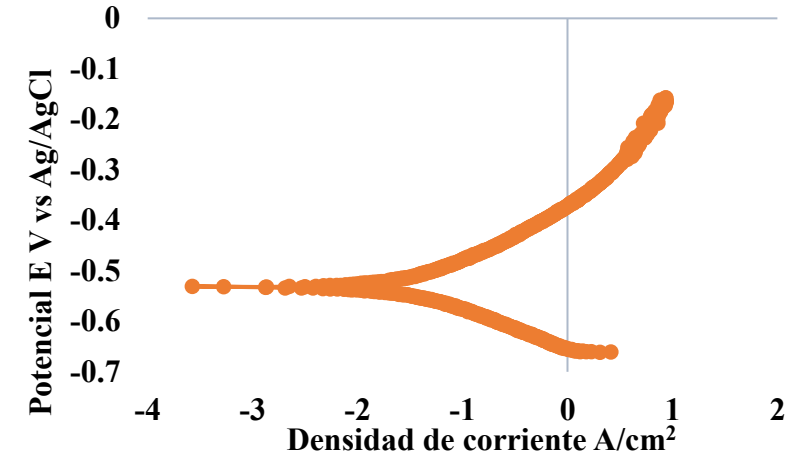


Figura 7. CP para el acero al carbono con defecto expuesto en agua congénita al finalizar su exposición en agua congénita.

# Resultados

La figura 8 muestra las condiciones físicas iniciales para el acero al carbono sin defecto y con defecto antes de exponerse al agua congénita para evaluar su comportamiento frente a la corrosión.

La figura 9 muestra el acero al carbono sin defecto al término de la aplicación de las técnicas electroquímicas, se observa la presencia de productos de corrosión sobre la superficie de contacto con el agua congénita como electrolito, específicamente hay películas de óxido de hierro sobre la superficie de contacto. Cuando el acero al carbono tiene defecto en cruz al término de la aplicación se observa presencia de productos de corrosión de hierro que se adhieren a la superficie de contacto entre el metal y el electrolito.

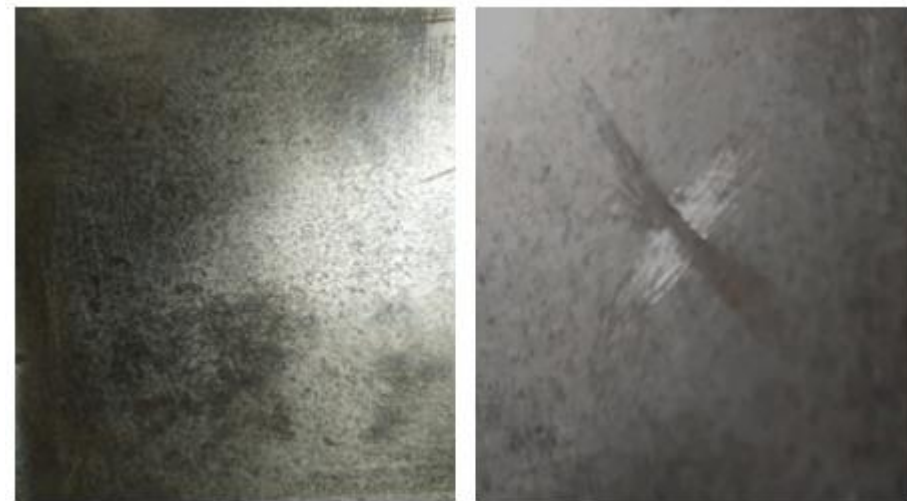


Figura 8. Acero al carbono sin y con defecto de superficie antes de exponer al agua congénita.

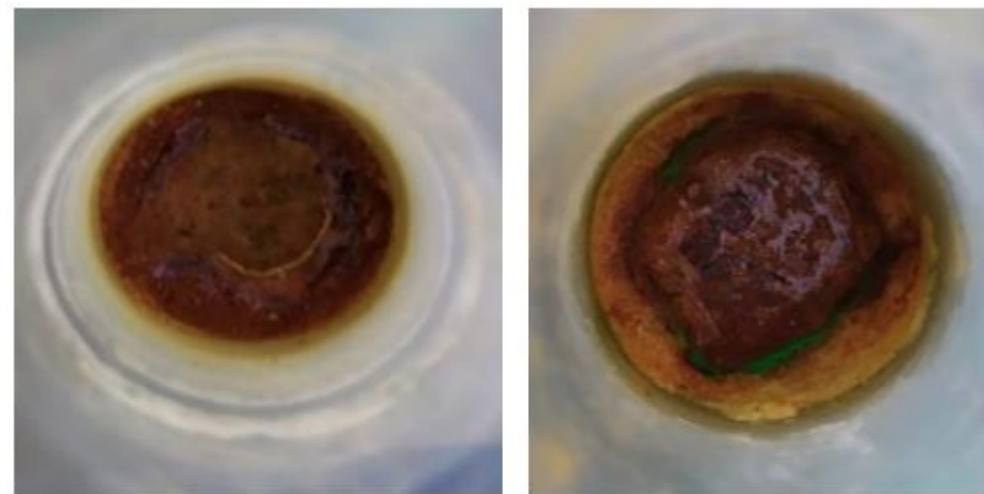


Figura 9. Acero al carbono sin defecto y con defecto después de 41 días de exposición en el electrolito.

# Conclusiones

El presente trabajo evalúa la corrosión del acero al carbono expuesto en el agua congénita que acompaña a los hidrocarburos durante su extracción ocasionando daños a la infraestructura metálica de la industria petrolera. La velocidad de corrosión del acero al carbono obtenida mediante la técnica de  $R_p$ , en los primeros días se debe a la corrosión por activación que conforme transcurre el tiempo descende debido a la formación de productos de corrosión a nivel interfase. El acero al carbono presenta una interfase capacitiva que transita a una interfase resistiva producto de la disolución del hierro.

Los óxidos e hidróxidos de hierro se forman debido a las características corrosivas del agua congénita, fenómeno conocido como corrosión generalizada por su aspecto de corrosión uniforme en la superficie en el largo y ancho, estos productos tienen una cinética de formación rápida y una constante de producto de solubilidad alta, por lo que general mente se desprenden de la superficie, sin embargo, en ocasiones pueden quedarse adheridos y disminuir un poco la velocidad de corrosión por el efecto de autoprotección que otorgan.

# Conclusiones

Con la técnica de EIE se pudo apreciar que la respuesta del acero al carbono corresponde a un interfase resistiva es decir se corroe con facilidad ya que el agua congénita corresponde a una salmuera con concentración de sales que favorecen la corrosión uniforme, con una cinética de la reacción anódica rápida con control tipo mixto. Esto significa que el acero se corroe, sobre todo cuando presenta defectos de superficie provocando un grave problema, principalmente para el sector petrolero que hace uno de el en sus actividades, si bien no es un material resistente contra el agua congénita no se puede abandonar su uso, se debe acudir a las estrategias, de evaluación, prevención y control más oportunas.

Se recomienda continuar con la aplicación de inhibidores de corrosión para ambientes internos, recubrimientos para la corrosión externa y protección catódica para ambos. Además, se debe optar por probar materiales como los galvanizados que presenten corrosión generalizada para tratar de ofrecer materiales con velocidades de corrosión más lentas ante el exceso de sales, cloruros, ácidos orgánicos, componentes fundamentales del agua congénita.

# References

Schlumberger. (2016). Corrosion: The Longest War. Oilfield Review, 28, 36-37. 2021, octubre, De [www.subseaservicesalliance.slb.com/](http://www.subseaservicesalliance.slb.com/)

Base de datos.

Diario oficial de la federación (2004, agosto) Norma oficial mexicana nom-143-semarnat-2003, que establece las especificaciones ambientales para el manejo de agua congénita asociada a hidrocarburos. Recuperado de [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx)

ASMT, G5-94 (2011); Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements, ASTM. <https://farsi.msrpco.com/wp-content/uploads/2019/05/standard-astmg5.pdf>

ASMT, G59-97 (2010); Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements, ASTM. <https://farsi.msrpco.com/wp-content/uploads/2019/05/standard-astmg59.pdf>

Mubarak, G., Verma, C., Barsoum, I., Alfantazi, A., & Rhee, K. Y. (2023). Internal corrosion in oil and gas wells during casings and tubing: Challenges and opportunities of corrosion inhibitors. Journal Of The Taiwan Institute Of Chemical Engineers, 150, 105027. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2023.105027>

# References

- Popoola, L., Grema, A., Latinwo, G., Gutti, B., & Balogun, A. (2013). Corrosion problems during oil and gas production and its mitigation. *International Journal Of Industrial Chemistry*, 4(1), 35. <https://doi.org/10.1186/2228-5547-4-35>
- Renpu, W. (2011). Oil and Gas Well Corrosion and Corrosion Prevention. En Elsevier eBooks (pp. 617-700). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-385868-9.00018-x>
- Liu, Y., Zhang, B., Zhang, Y., Ma, L., & Yang, P. (2015). Electrochemical polarization study on crude oil pipeline corrosion by the produced water with high salinity. *Engineering Failure Analysis*, 60, 307-315. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.11.049>
- Gallardo-Castán, E., Lugo-Islas, G., García-Navarro, N., Cornejo, J. G. I., Aguilar, G. G., & Reyes, J. L. R. (2023). Weather Conditions, Corrosivity Indexes and Electrochemical Corrosion of Carbon Steel, Copper and Zinc in the Coastal Atmosphere of Tuxpan, Veracruz, Mexico. *Journal Of The Mexican Chemical Society*, 483-494. <https://doi.org/10.29356/jmcs.v67i4.2041>
- Lugo Islas, G., Gallardo Castán, E. G., Badillo, J. A. O., Rosales, R. C., Navarro, N. G., Aguilar, G. G., Reyes, J. L. R., & Badillo, A. E. G. (2023). Electrochemical Evaluation of Phosphated Galvanized Steel. *ECS Transactions*, 110(1), 299-308. <https://doi.org/10.1149/11001.0299ecst>



**MARVID®**

© MARVID-Mexico

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162, 163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169, 209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BMARVID is part of the media of MARVID-Mexico., E: 94-443.F: 008- ([www.marvid.org/booklets](http://www.marvid.org/booklets))