

Evaluación electroquímica de dihidrobenzo [4,5] imidazo- [1,2c] quinazolinas para el control de la corrosión del acero API 5L X 120 en medio ácido

Mendoza-Torres Daniel¹, Rodríguez-Clemente Edelmira¹, González-Nava Víctor Julián², Cervantes-Cuevas Humberto², Palomar Pardavé Manuel Eduardo^{1*}

¹Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. Departamento de Materiales, Ciudad de México, C.P. 02200, México.

²Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. Departamento de Ciencias Básicas, Ciudad de México, C.P. 02200, México.

*Autor para correspondencia: hcc@correo.azc.uam.mx

Recibido:

11/mayo/2018

Aceptado:

31/julio2018

Palabras clave:

API 5L X120,
diFDHBIQz,
inhibidor,
corrosión

Keywords:

API 5L X120,
diFDHBIQz,
inhibitor,
corrosion

RESUMEN

En el presente trabajo se determinó la eficiencia de inhibición para los compuestos orgánicos 2',6'diFDHBIQz 1 y 2Br2',6'diFDHBIQz 2, para el control de la corrosión en un acero API 5L X120 en un medio ácido 0.5M HCl, usando técnicas electroquímicas como: Espectroscopía de impedancia electroquímica y curvas de polarización Potenciodinámicas, obteniendo una eficiencia del 94% a 200ppm en el inhibidor 1 (2',6'diFDHBIQz 1) y 93% a 100 y 150ppm en el inhibidor 2 (2Br2',6'diFDHBIQz 2), a temperatura ambiente, después de realizar los ajustes con circuitos eléctricos equivalentes.

ABSTRACT

In this paper the inhibition efficiency for organic compounds 2',6'diFDHBIQz_1 and 2_Br2',6'diFDHBIQz_2 was determined for the control of corrosion in an API 5L X120 steel in an acidic medium 0.5M HCl, using electrochemical techniques such as: Electrochemical impedance spectroscopy and polarization curves Potentiodynamics, obtaining an efficiency of 94% at 200ppm in inhibitor 1 (2',6'diFDHBIQz 1) and 93% at 100 and 150ppm in inhibitor 2 (2Br2',6'diFDHBIQz 2), at room temperature, after making adjustments with equivalent electrical circuits.

Introducción

La corrosión se define como el deterioro y la eventual destrucción de un metal o aleación por interacción química o electroquímica en un medio circundante. La reacción que se produce en el fenómeno de la corrosión depende de la naturaleza química de su entorno y de la concentración efectiva de las especies reactivas. En los metales el proceso de corrosión es normalmente electroquímico, es decir, una reacción química en la cual hay transferencia de electrones de una especie a otra, provocando una oxidación y posteriormente la corrosión (Marianela, 2011), por eso que también es conocida como una oxidación severa; entre los tipos de corrosión más comunes en metales se encuentran:

- Corrosión uniforme: Se da en toda la superficie del metal, atacando toda el área superficial que se encuentra en contacto con el ambiente corrosivo.
- Corrosión en placas: El ataque se extiende más en algunas zonas, donde es posible que se tengan fases diferentes de aleación o se tenga la presencia de óxidos.
- Corrosión intergranular: Se localiza en los límites de grano, donde se originan pérdidas de resistencia que desintegran los bordes de los granos fragilizando el metal.
- Corrosión por picaduras. Es un fenómeno electroquímico, donde se da la formación de depósitos que impiden el reparto igualitario de oxígeno disuelto en un electrolito, donde se crea una diferencia de potencial entre los dos medios, provocando que el ataque se localice en puntos aislados de superficies metálicas pasivadas, propagándose hacia el interior del metal. (Marmolejo, 2017)

Actualmente la industria petrolera utiliza aceros de bajo carbono para la construcción de oleoductos y gasoductos, los aceros pertenecientes a la especificación API 5L contienen elementos aleantes como Niobio, Vanadio, Niquel, Titanio, entre otros (Campillo et al., 2007; J. H. Cheng, 2010), este tipo de aceros al estar en contacto con un medio ácido como HCl, H₂SO₄ Y H₂S, utilizan inhibidores de la corrosión, los cuales son compuestos de una fase cuya presencia no es esencial para que suceda un proceso electroquímico, pero que producen un retardo del mismo, al modificar el estado superficial del material metálico, que actúan como barrera entre el metal y el medio, mediante la formación de películas protectoras en la superficie del metal que funcionan como

un escudo contra la agresividad de la solución corrosiva, disminuyendo eficazmente la velocidad de corrosión o el poder de ataque del medio ácido. (Ernest, 2011).

Los inhibidores de tipo orgánico (principalmente nitrogenados) son los más usados en la actualidad, tales como las imidazolinas, estas están constituidas por dos partes esenciales: una parte polar rica en electrones que permite la adherencia a la superficie metálica a través de enlaces y una parte hidrofóbica que pueda repeler de manera eficiente a las sustancias corrosivas presentes en el medio. (Hernández. 2014; P. S. Gómez, 2011).

Las 5,6-dihidrobenzo[4,5]imidazo[1,2a]quinazolinas (DHBzImQz), son heterociclos ampliamente estudiados ya que muestran propiedades farmacológicas variadas como antifúngicos (Abonía, et al, 2006), antibacterianos (Bhattacharjee, et al. 2011) y otras aplicaciones tales como sondas fluorescentes (Guo, et al. 2013). Los heterociclos bromoaromáticos en particular son importantes en la preparación de varios medicamentos, agroquímicos y otras especialidades químicas, por ejemplo, varios bencimidazoles bromados muestran eficiencia en electroquímica como inhibidores de la corrosión en aceros (Aljourani, et al. 2010).

Nuestro interés en estudiar las DHBzImQz fluoradas las cuales posteriormente se broman de forma regioselectiva nos condujo a elegir el método y condiciones óptimas de bromación del anillo D. Las principales reacciones de bromación de compuestos aromáticos reportadas y conocidas son: NBS en H₂SO₄ y CF₃COOH (Duan, et al. 1999), HBr con diversos oxidantes como *tert*-BuOOH, H₂O₂, y DMSO (Barhate, et al. 1887). La reacción de bromación de bencenos sustituidos se puede realizar utilizando NaBr con Oxono como oxidante (Schmidt, R. 2012). El Oxono® es una sal triple (2KHSO₅ × KHSO₄ × K₂SO₄) conteniendo el oxidante peroximono-sulfato de potasio KHSO₅.

Para determinar los procesos de corrosión se utilizan diversas técnicas electroquímicas (Bustamante, 2009), las más utilizadas son la Resistencia a la polarización, esta técnica utiliza una perturbación en la diferencia de potencial con respecto al potencial de corrosión a una velocidad dada, la respuesta que se observa es la corriente, y la Espectroscopia de Impedancia Electroquímica que utiliza un voltaje de circuito abierto sobre un intervalo de frecuencias, la corriente y el voltaje responden al sistema con la misma frecuencia e intensidad pero con un cierto ángulo de desfase (J. Genescá, 2011), entonces la impedancia se define como la relación del voltaje aplicado dividido entre la corriente y se representa como

la oposición al flujo de electrones o de la corriente en un circuito abierto debido a la presencia de resistores, capacitores e inductores. (Arellanes. 2016; Espinosa et al. 2004).

En el presente trabajo se lleva cabo la evaluación electroquímica de 6(2',6' difluorofenil) dihidrobenzo [4,5]imidazo[1,2c]quinazoli a (2', 6' diFDHBIQz **1**) así como su derivado monobromado en C₂ 2-bromo-6 (2',6' difluorofenil) dihidrobenzo [4,5]imidazo [1,2c] quinazolina (2Br2',6' diFDHBIQz **2**), **Figura 1**. Empleados como inhibidores de la corrosión en el acero API 5L X120 en medio ácido en 0.5 M de HCl.

Metodología

Obtención de los compuestos

En la obtención de los compuestos se utilizó un reactor de microondas (MO) CEM Discovery, el avance de las reacciones se siguió por cromatografía en placa delgada (cpd) utilizando mezclas de hexano-acetato de etilo como eluyente y visualizando con luz UV de onda corta, los puntos de fusión se determinaron en un aparato Fisher-Johns y no están corregidos, los espectros 1D de RMN de ¹H y ¹³C y 2D HSQC y HMBC se determinaron en un equipo BRUKER Ascend de 400MHz con DMSO₆ como disolvente, los espectros de IR se realizaron en estado sólido en un equipo BRUKER FT-IR.

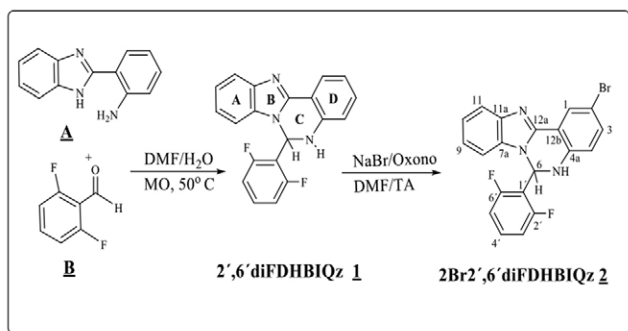


Figura 1. Síntesis de los inhibidores a) 2',6' diFDHBIQz **1** y b) 2Br2',6' diFDHBIQz **2**.

Preparación de 2',6' diFDHBIQz **1**:

En un tubo reactor de MO con agitación se adiciona 2(o-aminofenil)bencimidazol **A** (0.209g, 1.0mmol) y 4.0 ml de DMF/H₂O (1:1), en seguida 2,6-difluorobenzaldehído **B** (0.142g, 1.0 mmol) el reactor de MO se programa a 50 °C durante 20 minutos. La reacción es completa (cpd), se adiciona 30 ml de H₂O y se basifica con Na₂CO₃. El sólido

se filtra y lava con agua fría, se seca y se obtiene un sólido crema con 87% de rendimiento y p.f. 267-268 °C. ¹H RMN (400 MHz): δ (DMSO-d₆) 7.965 (1H, dd 7.7, 1.3Hz, H₁), 7.656 (1H, d 8.0Hz, H₁₁), 7.641 (1H, s, NH), 7.571 (1H, s, H₆), 7.467 (1H, m, H₄), 7.249 (1H, dd 7.3, 1.5Hz, H₃), 7.191 (1H, dd 7.3, 1.0Hz, H₁₀), 7.123 (3H, m, H₉, H_{3',5'}), 6.996 (1H, d 8.0Hz, H₈), 6.805 (1H, dd 7.3, 1.0Hz, H₂), 6.779 (1H, d 7.6, H₄); ¹³C RMN (100MHz): δ (DMSO-d₆) 160.76 (C_{2',6'}), 147.31 (C_{12a}), 144.24 (C_{11a}), 143.21 (C_{4a}), 132.79 (C_{7a}), 132.27 (C₄), 132.05 (C₃), 124.90 (C₁), 122.86 (C₁₀), 122.66 (C₉), 119.21 (C₁₁), 118.06 (C₂), 116.03 (C₁), 114.23 (C₄), 112.90 (C_{3',5'}), 111.07 (C_{12b}), 109.44 (C₈), 60.16 (C₆). IR ν_{max}/cm⁻¹: 3188, 1617, 1529, 1459, 1272, 1000, 783, 728.

Preparación de 2Br2',6' diFDHBIQz **2**:

Una mezcla de 2',6' diFDHBIQz **1** (0.10g, 0.3 mmol), Oxono (0.215g, 0.35 mmol) y NaBr (0.031 g, 0.3 mmol) fue molida hasta tener una mezcla homogénea, pasada a un matraz con agitación a la que se adicionan 3.0 ml de DMF, el progreso de la reacción se sigue por cpd hasta transformación completa. La reacción se termina adicionando 30 ml de H₂O, unas gotas de disolución de Na₂S₂O₃/H₂O y Na₂CO₃, se agita por 15 minutos, el sólido formado se filtra y lava con una mezcla de metanol y agua fría, se filtra al vacío y se obtiene un sólido crema en 57% y p.f. 246 -247 °C. ¹H RMN (400MHz): δ (DMSO-d₆) 8.027 (1H, d 2.3 Hz, H₁), 7.854 (1H, s, NH), 7.671 (1H, d 8.0 Hz, H₄), 7.601 (1H, s, H₆), 7.475 (1H, tt 8.4, 6.5 Hz, H₄), 7.389 (1H, dd 8.6, 2.3Hz, H₃), 7.220 (1H, td 7.3, 1.2 Hz, H₁₀), 7.136 (3H, m, H₉, H_{3',5'}) 7.027 (1H, d 8.0 Hz, H₈), 6.752 (1H, d 8.7 Hz, H₄). ¹³C RMN (100MHz): δ (DMSO-d₆) 160.70 (C_{2',6'}), 145.82 (C_{12a}), 143.90 (C_{11a}), 142.32 (C_{4a}), 134.43 (C₃), 133.38 (C_{7a}), 132.48 (C₄), 126.68 (C₁), 123.23 (C₁₀), 123.19 (C₉), 119.39 (C₁₁), 116.47 (C₄), 115.71 (C₁), 113.08 (C_{12b}), 112.75 (C_{3',5'}), 109.66 (C₈), 108.75 (C₂), 60.07 (C₆). IR ν_{max}/cm⁻¹: 3437, 1616, 1457, 997, 791, 733.

Mediciones electroquímicas

Para analizar el comportamiento de los inhibidores, el electrolito usado fue ácido clorhídrico (HCl) a una concentración de 0.5M; se agregó 50 ml de ácido en una celda electroquímica de 3 electrodos que incluye: un electrodo de referencia plata - cloruro de plata (Ag/AgCl), una barra de grafito como electrodo auxiliar y el acero API 5L X120 como electrodo de trabajo, siendo el acero X120 con composición química que se muestra en la tabla 1, el cual se encontraba montado en baquelita para obtener una sola superficie expuesta.

Tabla 1. Composición química del acero API 5L X120 (Campillo et al., 2007).

Elemento	C	Si	Mn	P	S	Cr
% en peso	.027	.244	1.00	.003	.005	.422
Elemento	Mo	Ni	Al	Nb	Ti	Fe
% en peso	.180	1.35	.045	.024	.015	Base

Para cada prueba se adicionaron diferentes concentraciones de los inhibidores 1 y 2 (5, 10, 20, 25, 50, 100, 150 y 200ppm), para ver su eficiencia en el control de la corrosión. Las pruebas electroquímicas se realizaron en una interfase ZANHER -ZENNIUM y el software Thales, la prueba de espectroscopia de impedancia electroquímica se realizó con un barrido de potencial de 10mVs, utilizando frecuencias de 100mHz hasta 2KHz, se determinó la eficiencia de inhibición con la ecuación 1:

$$EI(\%) = \left(1 - \frac{R_{ct}^{\circ}}{R_{ct}'}\right) * 100 \quad \text{Ec. 1}$$

R_{ct}' = Resistencia a la transferencia de Carga del acero con inhibidor (Ω/cm^2).

R_{ct}° = Resistencia a la transferencia de Carga del acero sin inhibidor (Ω/cm^2).

EI (%) = Eficiencia de inhibición

Se realizaron ajustes con el software Zsim, utilizando circuitos eléctricos equivalentes (CEE), para obtener los parámetros electroquímicos a partir de los diagramas de Nyquist.

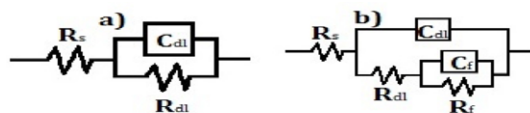


Figura 2. CEE utilizados para los ajustes de los diagramas de Nyquist: a) Sin inhibidor, b) Con inhibidor

Para el análisis con curvas de polarización se utilizó una ventana de potencial de ± 1000 mV y un rango de corriente de ± 1 A con el mismo barrido de potencial.

Resultados y discusión

Espectroscopia de impedancia electroquímica

Se utilizó la técnica de espectroscopia de impedancia electroquímica, para evaluar el control de la corrosión

de un Acero API 5L X120 inmerso en Ácido clorhídrico, agregando diferentes concentraciones de los inhibidores 1 (dF-DHBIQz) y 2(dF-Br-DHBIQz).

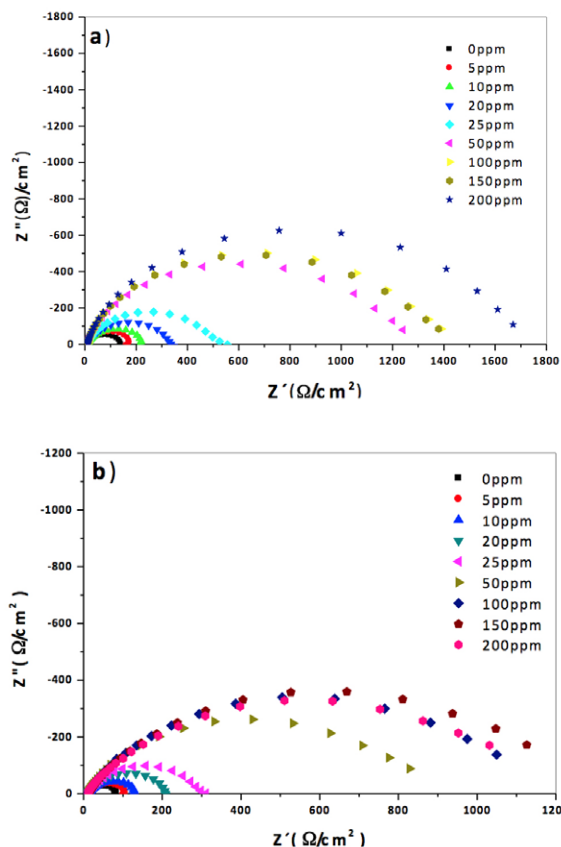


Figura 3. Diagrama de Nyquist para el acero API 5L X120 con diferentes concentraciones de inhibidor en 0.5M HCl; a) inhibidor 1 (dF-DHBIQz), b) inhibidor 2 (dF-Br-DHBIQz).

La figura 3a) muestra el diagrama de Nyquist para el inhibidor 1, donde se puede observar que al adicionar el inhibidor en concentraciones bajas (25ppm) se obtiene una resistencia de $551 \Omega/\text{cm}^2$, a partir de 50ppm aumenta el diámetro del semicírculo achatado y distorsionado, siendo de tipo capacitivo típico de la resistencia a la transferencia de carga, para las concentraciones mayores como 200 ppm el diámetro aumenta a $1700 \Omega/\text{cm}^2$, dando como resultado una eficiencia de 95% calculada de manera experimental con la ecuación 1.

La figura 3b) muestra el diagrama de Nyquist para el inhibidor 2, al adicionar inhibidor en concentraciones bajas 5 y 10 ppm, se obtienen eficiencias de 22 y 35% respectivamente, sin embargo, al adicionar 50ppm, se nota un cambio muy grande en su R_{ct} ($834 \Omega/\text{cm}^2$) y su eficiencia (89%), a concentraciones altas (100, 150 y 200), se nota un ligero aumento en las R_{ct} y las eficiencias, teniendo la mayor R_{ct} en 150 ppm ($1131 \Omega/\text{cm}^2$).

Los parámetros obtenidos por EIS se muestran en las tablas 2 y 3, para cada inhibidor; después de realizar el ajuste con CEE.

Tabla 2. Parámetros electroquímicos obtenidos de los diagramas de Nyquist para el acero API 5L X120 con diferentes concentraciones de inhibidor 1 en 0.5M HCl.

C (ppm)	R_{ct} (Ω/cm^2)	C_{dl} ($\mu F/cm^2$)	EI (%)
0	96.3	5.3 E-04	--
5	176.7	1.1 E-04	45.5
10	223.3	0.86 E-04	56.8
20	323.5	0.50 E-04	70.2
25	466.9	0.77 E-04	79.3
50	1192.1	1.4 E-04	91.9
100	1327.2	1.4 E-04	92.7
150	1308.1	1.6 E-04	92.6
200	1641	9.5 E-04	94.1

La tabla 2 muestra los parámetros electroquímicos obtenidos con el ajuste de CEE para el inhibidor 1, la literatura reporta que un inhibidor tiene una eficiencia aceptable a partir de 80% (Espinosa et al. 2004), dentro de esta característica a partir de 50ppm el inhibidor 1 ya se considera un inhibidor aceptable, teniendo 91.9% a esta concentración, al aumentar gradualmente hasta 200ppm se obtiene la máxima eficiencia (94.1%).

Tabla 3. Parámetros electroquímicos obtenidos de los diagramas de Nyquist para el acero API 5L X120 con diferentes concentraciones de inhibidor 2 en 0.5M HCl.

C(ppm)	R_{ct} (Ω/cm^2)	C_{dl} ($\mu F/cm^2$)	EI (%)
0	93.667	5.3E-04	--
5	120.43	3.6 E-04	22.2
10	146.11	3.0 E-04	35.9
20	254.45	3.1 E-04	63.2
25	367.56	3.2 E-04	74.5
50	875.55	3.3 E-04	89.3
100	1083.91	3.2 E-04	91.4
150	1216.86	3.0 E-04	92.3
200	1166.549	3.4 E-04	92.0

Al realizar el ajuste con CEE se obtuvieron los parámetros electroquímicos del inhibidor 2, como se puede observar en la tabla 3, a bajas concentraciones 5 y 10 ppm se tiene una baja eficiencia de inhibición siendo

de 22 y 35% respectivamente, sin embargo se nota un cambio progresivo al ir aumentando la concentración del inhibidor en el medio ácido a partir de 50 ppm aumenta su eficiencia hasta 89%, a altas concentraciones de inhibidor en medio corrosivo ya no se nota un en eficiencia y R_{ct} , teniendo la máxima eficiencia a 150ppm (92.3%) con una R_{ct} de 1216 Ω/cm^2 .

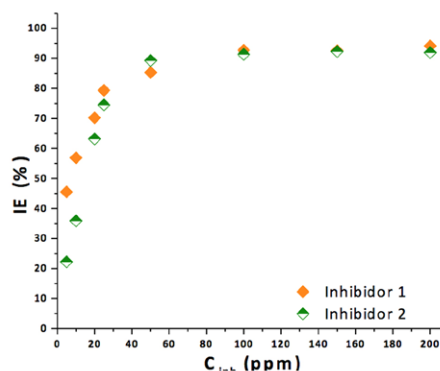


Figura 4. Concentración contra la eficiencia para el acero API 5L X120 para los inhibidores 1 y 2 estudiados a temperatura ambiente.

Con los parámetros obtenidos del ajuste con CEE se graficó la eficiencia contra la concentración de los inhibidores 1 y 2, para darnos una mejor idea de cómo aumenta gradualmente la eficiencia, al ir añadiendo inhibidor al medio, la mayor eficiencia para el inhibidor 1 se da a 200ppm (94.1%), mientras que el inhibidor 2 presenta su máxima eficiencia a 150ppm (92.3%), sin embargo, este último presenta un pequeño decaimiento en la eficiencia a 200ppm.

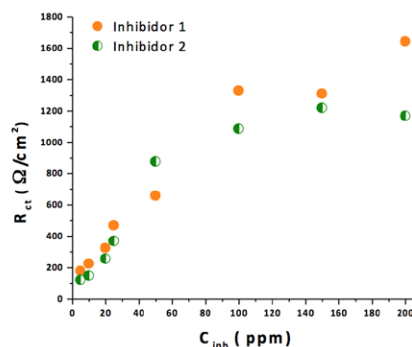


Figura 5. Concentración contra la resistencia a la transferencia de carga en el acero API 5L X120 para los inhibidores 1 y 2 estudiados a temperatura ambiente.

Otra forma de ver la eficiencia es con la resistencia a la transferencia de carga, tal como se muestra en la figura 5 De acuerdo a los parámetros obtenidos con los ajustes de los CEE y para darnos una mejor visualización se graficó la R_{ct} contra la concentración de los inhibidores, al

igual que en las eficiencias ambos inhibidores presentan un aumento en la R_{ct} al agrégalo de manera gradual, teniendo el mismo efecto a 200 ppm en el inhibidor 2 donde disminuye la R_{ct} .

Curvas de Polarización Potenciodinámicas

Las curvas de polarización para el acero API 5L X120 sometido al medio agresivo de 0.5M HCl, con adición de los inhibidores a temperatura ambiente se muestra en la figura 6 cuando se agrega de manera gradual la concentración de los inhibidores, se observa que la presencia de los estos afectan los potenciales de corrosión desplazando la curva hacia potenciales más positivos, el inhibidor 1 figura 6a) muestra una modificación en la rama catódica lo que nos dice que el inhibidor es de tipo catódico, controlando el proceso de reducción del hidrogeno, el inhibidor 2 a comparación del 1 presenta modificaciones en ambas ramas tanto catódica como anódica, siendo un inhibidor de tipo mixto figura 6b), controlando tanto el proceso de reducción de hidrogeno como el de oxidación del acero, además al ser un inhibidor de tipo orgánico es probable que resulte en un efecto combinado de la absorción del inhibidor sobre la superficie metálica y el desarrollo de una capa de óxido sobre la misma (Ernest, 2011).

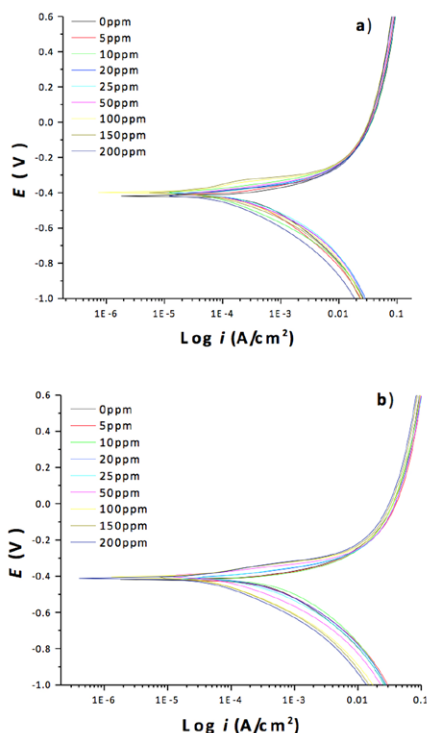


Figura 6. Curvas de polarización Potenciodinámicas para el acero Api 5l X120 con diferentes concentraciones de inhibidor en 0.5M HCl; a) inhibidor 1 (dF-DHBIQz), b) inhibidor 2 (dF-Br-DHBIQz).

Tabla 4. Parámetros electroquímicos obtenidos de las curvas de polarización para el acero API 5L X120 con diferentes concentraciones de inhibidor 1 en 0.5M HCl.

C(ppm)	E_{corr} (V)	J_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	R_p (Ω/cm^2)
0	-0.418	148.9	84.7
5	-0.409	112.3	112.3
20	-0.402	77.0	163.9
50	-0.39	61.9	204.1
100	-0.388	32.8	384.6
150	-0.39	26.5	476.2

Los parámetros obtenidos de las curvas de polarización se muestran en las tablas 4 para el inhibidor 1 y tabla 5 para el inhibidor 2, en ambos casos los potenciales de corrosión disminuyen al igual que sus densidades de corriente a medida que se le va agregando el inhibidor, aumentando la resistencia a la polarización.

Tabla 5. Parámetros electroquímicos obtenidos de las curvas de polarización para el acero API 5L X120 con diferentes concentraciones de inhibidor 2 en 0.5M HCl.

C(ppm)	E_{corr} (V)	J_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	R_p (Ω/cm^2)
0	-0.418	149.0	84.7
5	-0.419	143.9	87.7
20	-0.403	89.6	140.8
25	-0.398	83.3	151.5
50	-0.394	37.9	333.3
100	-0.404	22.7	555.5
200	-0.411	20.2	625.0

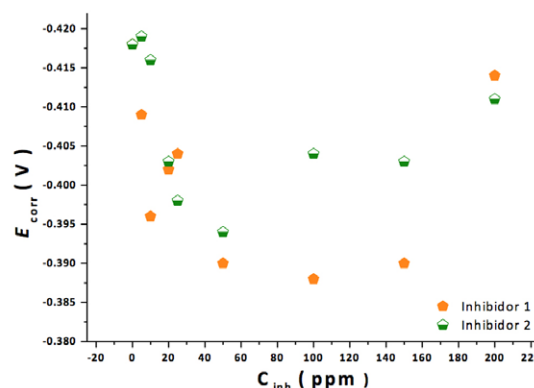


Figura 7. Concentración contra potencial de corrosión en el acero API 5L X120 para los dos inhibidores estudiados a Temperatura ambiente.

En la figura 7 se muestra la concentración contra los potenciales de corrosión, a mayor concentración de inhibidor ambos se van volviendo más nobles, sin embargo, para el inhibidor 2 a 100ppm se vuelve activo,

haciendo su potencial de corrosión más negativo a medida que se le va agregando hasta 200ppm.

Conclusiones

Los resultados muestran que el **inhibidor 1** tiene una mejor eficiencia a mayor concentración de éste en el medio corrosivo, mostrando la mejor eficiencia de 94% a 200ppm, de igual forma el **inhibidor 2** muestra una mejor eficiencia a medida que le va agregando el inhibidor, teniendo la mejor eficiencia a 150ppm con 92.3%, volviéndose activo a partir de 100ppm y disminuyendo su eficiencia a 200ppm. Ambos inhibidores tienen buenas eficiencias a temperatura ambiente, a partir de los 50ppm, siendo de 91.9% para el inhibidor 1 y 89.3% para el inhibidor 2, permitiendo ahorrar en los inhibidores, para su aplicación a esta temperatura.

Referencias

- Abonía R., Alvarez S.L., Insuasty, B.A., Nogeras, M., Quiroga, J., Rodríguez, R., Torres, H., Sacchino, S.A. Sánchez, A., Saitz, C., (2006). Synthesis, characterization and in vitro antifungal evaluation of novel benzimidazo 1,2-c quinazolines; *J. Chil. Chem. Soc.*, 51(2): 927-932.
- Aljourani J., Golozar M.A., Raeissi K., (2010). The inhibition of carbón Steel corrosión in hydrochloric and sulfuric acid media using some benzimidazole derivates, *Materials Chemistry and Physics*, 121: 320 – 325.
- Arellanes V. K. J. (2016). Evaluación electroquímica de benzoimidazoquinazolinás como inhibidores de la corrosión del acero API 5L X52 en medio ácido, Proyecto Terminal de Licenciatura de la Universidad Autónoma Metropolitana.
- Bustamante R. Á., Cuán A., Hernandez H. H., Quijano M. A., Pardavé M. P., Romo M. R., Silva G. N. (2009). Electrochemical study of 2-mercaptoimidazole as a novel corrosion inhibitor for steels, *Electrochimica Acta* Vol: 54, pp: 5393-5399.
- Barhate, N.B., Bedekar, A.V, Gajare, A.S., Wakharkar, R.D., (1998). Simple and efficient chlorination and bromination of aromatic compounds with aqueous TBHP (or H₂O₂) and a hydrohalic acid, *Tet. Lett.* 39(35): 6349-6350.
- Bhattacharjee R., Bubbly, S.G., Gudennavar, S.B., Nanje Gowda, Natarajan S., N.M., Gayathri, V., (2011). Synthesis, Characterization and Biological Activity Studies on 6-p-Dimethylaminophenyl-5,6-dihydrobenzoimidazo[1,2-c]quinazoline: Crystal Structure the Title Compound and Comparative Study with Related Derivatives, *J. Chem. Crystallogr.* 42: 305-312.
- Campillo B., Lopez E., Villalobos J. C., Flores O., Serna S. A. (2015). Acero micro aleado experimental sometido a tratamientos térmicos de revenido y su efecto sobre la fragilización por hidrogeno, *RIDTEC* Vol:12 pp: 14-21
- Cheng J. H., Deng Z. J., Li Z. X. G., Liu J., Lu H., Huang F. (2010). Effect of microstructure and inclusions on hydrogen induced cracking susceptibility and hydrogen trapping efficiency of X120 pipeline steel, *Material Science and Engineering* Vol: 527 pp: 6997 – 7001.
- Duan, J., L.H. Dolbier, L.H. Zhang, W.R. (1999). A convenient new method for the bromination of deactivated aromatic compounds, *Synlett*, 8: 1245-1246.
- Ernest B. M. (2011). Estudio del efecto de los Inhibidores de la corrosión en armaduras de hormigón, Estudio realizado en la Universidad Politécnica de Valencia.
- Genescá Llongueras J., Mendoza Flores J., Durán Romero R. (2011). Espectroscopia de Impedancia electroquímica en corrosión, Notas de la Facultad de Química, UNAM en colaboración con el Instituto Mexicano del Petróleo
- Gómez P. S. (2011). Inhibidores en el inicio y propagación del proceso de corrosión de las armaduras en el hormigón armado, Tesis Doctoral de la Universidad de Alicante.
- Guo, J., Nandhakumar, R., Tang, L., Wang, N., Zhang, Q., (2013). A new benzimidazole-based quinazoline derivative for highly selective sequential recognition of Cu²⁺ and CN⁻, *Tet. Lett.*, 54: 536-540.
- Marianela F. G., (2011). Corrosión en la industria petrolera: Métodos de control de la corrosión, pp.7-28. México, Recuperado el 15 de abril del 2018 de <https://lopei.files.wordpress.com/2011/07/control-de-corrosion-31.pdf>
- Marmolejo J. D., (2017). Protección de la corrosión del acero 1018 mediante el inhibidor bifuncional Ibuprofeno, Proyecto Terminal de Licenciatura de la Universidad Autónoma Metropolitana.
- Nava G. V., (2017). Proyecto Terminal de Licenciatura de la Universidad Autónoma Metropolitana.

Jones L. W. (1992). Corrosion and water technology for petroleum producers, 2. Print. Tulsa: Oil & Gas Consultants International

López Hernández M. A. (2014) Síntesis y Caracterización de Amino-Imidazolina para protección de Tubería de Pemex, pp. 9-12. Tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional