

EVALUACIÓN ELECTROQUÍMICA Y GRAVIMÉTRICA DE UN INHIBIDOR PARA LA ESTIMULACIÓN ÁCIDA DE POZOS

ELECTROCHEMICAL AND GRAVIMETRIC EVALUATION OF AN INHIBITOR FOR THE ACID STIMULATION OF WELLS

Yosmari Adames¹, Juan Davis¹, Silio López¹, Yichsy Rivera¹, Doramis Vega¹, Karelía Aldana¹

(1) Centro de Investigación de Petróleo (CEINPET), Churruca # 481, Cerro, CP 62000 La Habana - Cuba
(e-mail: yosmari@ceinpet.cupet.cu)

Recibido: 28/12/2018 - Evaluado: 22/02/2019 - Aceptado: 16/04/2019

RESUMEN

En este trabajo se evalúa el comportamiento electroquímico y gravimétrico de un inhibidor de corrosión para la estimulación ácida a pozos de petróleo. Las técnicas de resistencia de polarización lineal y curvas de polarización en conjunto con ensayos gravimétricos se emplearon para la evaluación de la eficiencia del aditivo. El inhibidor alcanzó el 95% o superior de efectividad. El mecanismo controlador de la corrosión se correspondió con la transferencia de cargas. Con la espectroscopía infrarroja se detectaron los grupos funcionales de mayor proporción en el inhibidor que se relacionaron con: aminas y enlaces C-N. El inhibidor formará parte de las recetas de estimulación ácida a pozos según resultados alcanzados en la investigación.

ABSTRACT

In this work the electrochemical and gravimetric behavior of a corrosion inhibitor for acid stimulation to oil Wells, was evaluated. Linear polarization resistance and polarization curves techniques together with gravimetric tests were used to evaluate the additive efficiency. The inhibitor reached 95% or higher of effectiveness. The corrosion controlling mechanism corresponded to the charges transfer. With the infrared spectroscopy were detected of the high proportion vibrations bonds in the inhibitor that were related with amines and C-N bonds. The inhibitor will be part of the recipes for acid stimulation to wells according to results achieved in the research.

Palabras clave: corrosión, inhibidores, petróleo, pozos

Keywords: corrosion, inhibitors, petroleum, wells

INTRODUCCIÓN

El petróleo es un medio no conductor de la corriente eléctrica, de ahí que se considere como no corrosivo. Cuando se presentan sustancias como: CO_2 (g), H_2S (g) en el agua acompañante, las mismas se consideran impurezas en y les imparten el carácter corrosivo al medio. Lo anterior se manifiesta en muchos campos de producción de gas y crudo (Cueli, 2013; Cueli *et al.*, 2013a; Cueli *et al.*, 2013b; Adames, 2017).

El petróleo cubano se clasifica de forma general como pesado y altamente azufrado. En las diversas etapas del tratamiento a dicho mineral, las afectaciones sobre el material metálico son apreciables y en el proceso de producción, la aplicación de inhibidores demuestra vital importancia. Los productos indicados en pequeñas cantidades disminuyen la velocidad de corrosión del metal y se adicionan a las diferentes recetas de estimulación ácida de pozos en la Industria Petrolera Cubana. Su función consiste en la mitigación de los efectos de corrosión del material de pozo y otras instalaciones. El desempeño correcto de los mismos posibilita el alargamiento de la vida útil del acero de construcción de las estructuras (Domínguez & Castro, 1987; González, 1989; Schweitzer, 2010).

El proceso mediante el cual se restituye o se crea un sistema extensivo de canales en la roca productora, de un yacimiento, que sirven para que se facilite el flujo de fluidos de la formación al pozo se define como estimulación de pozo. Para el mantenimiento o incremento de la producción de petróleo y gas, se considera una actividad fundamental porque favorece la recuperación de las reservas. Una amplia gama de literatura técnica existe de los diferentes tipos de tratamientos que se ejecutan en un yacimiento de acuerdo con sus características (Ríos, 2001) En la figura 1 se muestra una representación del proceso.



Fig. 1: Representación de una estimulación ácida de pozo. (Ríos, 2001)

El avance tecnológico a través de simuladores y equipo de laboratorio permiten la detección de pozos candidatos a que se estimule, se diagnostiquen sus daños y se propongan los diseños más adecuados de forma rápida y con mayor precisión.

La acidificación constituye una de las aplicaciones que más se utiliza en la industria petrolera para la estimulación de pozos (desde 1985). Como las rocas petrolíferas contienen carbonato de calcio (CaCO_3 , calizas), el ácido clorhídrico (HCl), en disolución de 15%, se considera un disolvente adecuado que ayuda a que se abran los canales de flujo en

el estrato productivo. Después de la reacción se obtiene cloruro de calcio, agua y dióxido de carbono, como resultado de la descomposición del carbonato de calcio por el ácido (Ali *et al.*, 2004; Crowe *et al.*, 1992; Al-Anzi *et al.*, 2003).

Cuando las condiciones de operaciones se corresponden con medio ácido (HCl_{ac}) a 60 ° C de temperatura y se presentan los gases: CO₂ y H₂S, el proceso de corrosión del acero se acentúa y se manifiestan los daños de deterioro correspondientes.

Para la mejora de las afectaciones que se indicaron se aplican métodos de protección como los inhibidores de corrosión en la receta formulada por el centro. Para la evaluación del comportamiento de los inhibidores de corrosión se emplean métodos gravimétricos y electroquímicos, ambos descritos en la literatura especializada (Domínguez & Castro, 1987; González, 1989; Schweitzer, 2010)

Los objetivos de la investigación, consistieron en evaluar el comportamiento electroquímico del inhibidor de corrosión como parte de las recetas de estimulación ácida a pozos de petróleo, valorar por método gravimétrico el comportamiento de la efectividad del inhibidor de corrosión en la protección del material de pozo mediante ensayos de inmersión e indicar grupos funcionales de mayor proporción en el inhibidor por la técnica de Espectroscopía Infrarroja (IR).

MATERIALES Y METODOS

Análisis estructural del acero

La composición química elemental del acero se determinó mediante la técnica de espectrometría de emisión por arco eléctrico. El espectrómetro multicanal digital, modelo Spectrolab N°6536 se utilizó para el estudio. En cada caso se reporta el valor promedio de tres mediciones.

La técnica de Metalografía se aplicó para el análisis de la microestructura del acero. Se realizó la preparación previa de la probeta metalográfica a partir de las operaciones de desbaste y pulido según se establece en la norma ASTM E3-011 (2011). Se utilizó la desbastadora mecánica de plato giratorio, modelo METASINEX, papeles abrasivos de granulometría N° 80 hasta 1000 y agua corriente como medio refrigerante. A continuación, se efectuó el pulido a espejo en la pulidora mecánica de disco giratorio, modelo MICROPOL-I AUTO, con paño de pulido, pasta de diamante como abrasivo y alcohol como lubricante. Por último, la estructura metalográfica de la probeta se reveló mediante la inmersión durante 1 minuto en la disolución de ataque químico N° 74 de composición: 5mL de HNO₃ y 100 mL de etanol, de acuerdo con lo que establece la norma ASTM E407-07 (2015).

Determinación del comportamiento electroquímico del inhibidor I mediante ensayos electroquímicos

Para los métodos de evaluación de velocidad de corrosión que se emplearon en el estudio se establecieron 3 condiciones de ensayos:

- Condición A. Evaluación del inhibidor de corrosión desde el punto de vista de la efectividad en HCl, al 15 % y 60 °C.
- Condición B. Evaluación del inhibidor como parte de la receta de estimulación a pozos, en ácido simple y 60 °C.
- Condición C. Evaluación del inhibidor como parte de la receta de estimulación a pozos, en ácido emulsionado y 60 °C.

Las técnicas utilizadas en la investigación se describen a continuación;

Resistencia de polarización lineal (LPR)

Los ensayos electroquímicos se ejecutaron en condiciones estáticas, en una celda de vidrio que presenta 3 bocas: la central para el puente salino con electrodo plata/cloruro de plata, otra para el electrodo auxiliar de grafito y la

correspondiente al sensor de trabajo (acero). Al equipo GILL AC se conectó mediante cables recubiertos, donde un terminal corresponde a la celda y el otro al equipo, que recibe las señales de los procesos de corrosión y las expresa en valores gráficos y numéricos (Figura 2).

La superficie del electrodo de trabajo se preparó con papel para desbaste de superficies metálicas (# 80, 200, 400 hasta 600 respectivamente), eliminando los gránulos restantes con agua. El electrodo se sumergió posteriormente en alcohol y se preservó en una desecadora hasta su utilización en los ensayos.

La técnica electroquímica de resistencia de polarización lineal se empleó según la norma ASTM G59-97 (2014). El barrido de potencial se realizó de $\pm 10\text{mV}$ del potencial de reposo y los datos experimentales que se obtuvieron se procesaron estadísticamente mediante el método de Dixon para el rechazo de valores erráticos. El cálculo de la incertidumbre expandida se determinó con un factor de cobertura $K= 2$ correspondiente a 95 % de nivel de confiabilidad (Dixon & Massey, 1974; ASTM G16-13, 2013)

Los ensayos se realizaron a la temperatura de 60 °C correspondiente a las condiciones de campo.

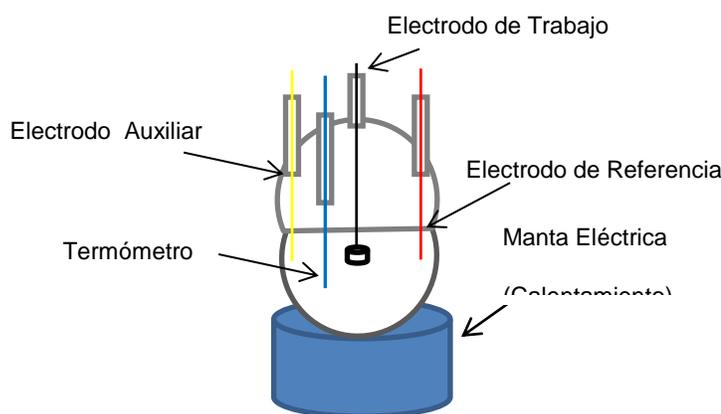


Fig. 2: Celda de ensayos electroquímicos

Curvas de polarización (cyclic sweep)

Los ensayos de curvas de polarización se realizaron en correspondencia con la norma ASTM G5-14 (2014). El trazado de las curvas anódicas y catódicas se realizó en el intervalo de $\pm 250\text{ mV}$. La técnica ofreció valores de velocidad de corrosión para corroborar los resultados de LPR.

Valoración de la efectividad del inhibidor mediante método gravimétrico

Los ensayos gravimétricos se desarrollaron según las normas ASTM G1-03 (2011) y ASTM G31-72 (2010), que se relacionan con la preparación de superficies metálicas antes y después de los ensayos de inmersión. El medio corrosivo que se empleó fue ácido clorhídrico en disolución al 15 %, a temperatura de 60 °C en régimen estático. El acero se expuso durante 4 horas, en el medio corrosivo y en las condiciones que se describieron anteriormente. Los resultados se procesaron estadísticamente mediante el programa EXCELL y se reporta la incertidumbre de las mediciones. La fórmula que se utilizó para la determinación de la eficiencia se describe según la expresión (Domínguez & Castro, 1987):

$$\eta = ((V_{c_{s/i}} - V_{c_{c/i}}) / V_{c_{s/i}}) * 100\% \quad (1)$$

donde: $V_{c_{s/i}}$: velocidad de corrosión sin inhibidor; $V_{c_{c/i}}$: velocidad de corrosión con inhibidor

Determinación de grupos funcionales del inhibidor de corrosión por Espectroscopia Infrarroja

Los espectros infrarrojos se obtuvieron en un espectrómetro PerkinElmer, modelo Frontier mediante la técnica de reflectancia total atenuada horizontal (HATR) y el procesamiento de los datos se realizó con el software Spectrum, versión 10.4.4.449 (Copyright 2015), de acuerdo con la norma ASTM E1252-98 (2007).

Las condiciones de registro se refieren a continuación; Modo fotométrico: % transmitancia, intervalo de longitudes de onda: 4000 a 450 cm^{-1} , Resolución: 4 cm^{-1} , Número de barridos (acumulations scans): 16, Porta muestra: Plato de Selenuro de Zinc (Aditamento de HATR)

RESULTADOS

Análisis estructural del acero

La composición química elemental del acero de la camisa de pozo se expone en la Tabla 1. El material corresponde a un acero de construcción, similar a la designación 35G2 según la norma GOST 4543 de Rusia.

Tabla 1: Composición química elemental del material

C ± %13	Si ± %12	Mn ± %5	P ± %36	S ± %40	Cr ± %33	Ni ± %40	Mo ± %33	Cu ± %15
0,37	0,25	1,47	0,004	0,006	0,03	0,01	0,009	0,02

Los aceros de construcción se utilizan para la fabricación de piezas y estructuras metálicas que se someten a grandes cargas, por lo que estos materiales poseen alta resistencia mecánica, apreciable tenacidad y notable resistencia a la corrosión en muchos casos. Los aceros de construcción se dividen generalmente en: aceros para cementar (contenido bajo de carbono, de 0,1-0,25% de C) y aceros mejorables (contenido medio de carbono, de 0,3-0,4% de carbono) (ASTM E1252-98, 2007; Guliaev, 1978; Kuzmin & Samojotski, 1986)

El acero 35G2 se encuentra dentro del grupo de los aceros mejorables. Tiene un contenido medio de carbono de 0,35% y otras cantidades de elementos de aleación (manganeso, silicio, cromo, níquel, molibdeno) que sumadas no superan del 3-5 %.

La microestructura del material que se observó bajo microscopio se corresponde con ferrítico-perlítica. Los aceros de construcción mejorables de contenido medio de carbono, después del recocido, tienen la estructura formada por ferrita y perlita.

Caracterización del fluido petrolero en la región de estudio

En los diferentes ensayos que se realizaron para la caracterización fisicoquímica del petróleo en la región perteneciente a la Franja Norte de Crudos Cubanos (FNCC), se obtuvieron petróleos pesados (14, 1 °API) y por el contenido de azufre (6,98 % m/m) se consideraron altamente sulfurados y agrio (Bogomolov & Gaile, 1984; Ayllon *et al.*, 2016; Ramos, 2016; González, 2018).

Con los resultados precedentes se comprobó que las afectaciones del material metálico se presentaron por la composición química que acompaña al petróleo cubano. Sobre la base de lo anterior se requiere la aplicación de inhibidores como parte de las recetas de estimulación de pozos de petróleo para la protección del material metálico. También en la formulación se adiciona un solvente aromático y un surfactante. Se aplican en el campo cuando existe disminución en los niveles de producción y se necesita del aumento de la productividad del pozo. (Velázquez *et al.*, 2013).

Evaluación del comportamiento electroquímico del inhibidor mediante ensayos electroquímicos

Resistencia de Polarización Lineal (LPR)

Las velocidades de corrosión promedio que se obtuvieron se presentan en la Tabla 2. Los resultados indican que el inhibidor I, que se evaluó en la condición A, obtuvo buen comportamiento electroquímico con eficiencia superior al 98%, lo que indica que mostró una efectiva inhibición del proceso de corrosión del acero. En las condiciones que se evaluaron B y C, de manera general, el inhibidor I presentó eficiencias excelentes de 95,54% y 99,96% respectivamente. En la condición C se manifestaron los mejores resultados de efectividad del aditivo en la protección del acero.

Tabla 2: Velocidades de corrosión del acero en HCl_(ac) (15%) a 60 °C por el método electroquímico de LPR

Ensayos	LPR (Ωcm^2)	Vc (mm/año)	Efic (%)
Acero + HCl _(ac) (15%) (D)	6,5045	46,5874 ± 4,6248	-
D+ Inhibidor I (A)	332,8508	0,8931 ± 0,0853	98,08
Inhib I+ Formulación ácido simple (B)	145,6960	2,0753±0,0439	95,54
Inhib I+ Formulación ácido emulsionado (C)	17878,9	0,0172±0,0045	99,96

Curvas de polarización

En las figuras 3 y 4 se presentan los comportamientos electroquímicos del inhibidor I, en la condición A. Se aprecia un desplazamiento hacia valores más negativos de potencial de ± 66 mV del potencial de reposo (-418,11 mV). El mecanismo controlador del proceso de corrosión se corresponde con la transferencia de cargas, típico de los procesos de corrosión del hierro en medio ácido (Domínguez & Castro, 1985; González, 1987). Cuando se le añade al medio corrosivo el inhibidor I se obtiene una disminución en la velocidad de corrosión, parámetro que se mide en el eje de las abscisas (x), que se representa como densidad de corriente en mA/cm².

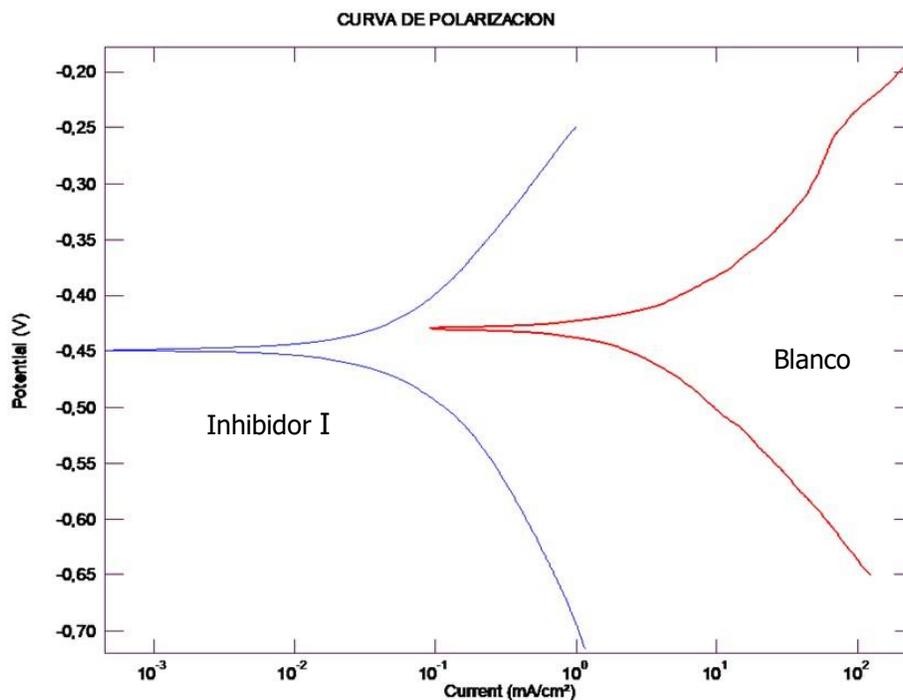


Fig. 3: Curvas de polarización del acero en HCl_(ac) 15% (blanco) con Inhibidor I

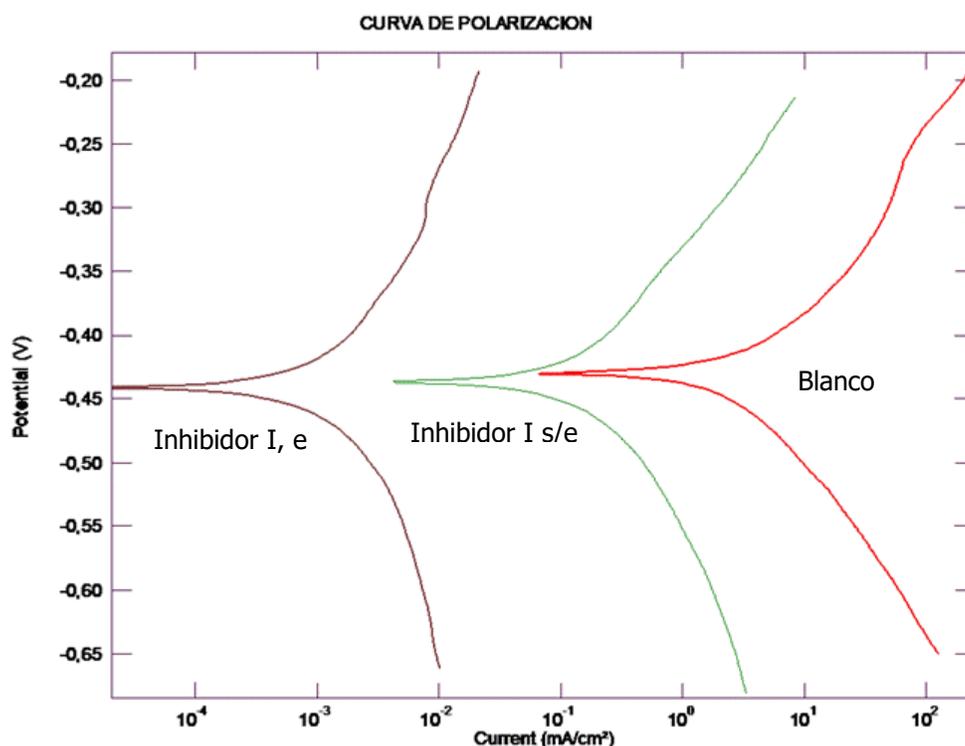


Fig. 4: Curvas de polarización del acero en el blanco (Blanco), formulación de pozo en ácido emulsionado (I, e) y ácido simple con Inhibidor I (I, s/e).

El inhibidor I ensayado en las condiciones B y C presentó comportamientos eficientes según lo que se presente en la figura 4. En la condición de ácido emulsionado el aditivo obtuvo un comportamiento inhibitor superior en la protección del acero. El producto evaluado no ofreció antagonismo con los integrantes de la receta al resultar altos los valores de eficiencia.

En el método de curvas de polarización también se analizaron los valores cuantitativos que ofrece la técnica. Los mismos se presentan en la tabla 3 donde se corroboran los resultados descritos anteriormente. El inhibidor que se investigó de forma general, presentó comportamientos eficientes en la protección del acero.

Tabla 3: Valores de densidad de corriente, velocidad de corrosión y eficiencias del producto por el método de curvas de Polarización.

Ensayos	D_i (mA/cm ²)	Vc (mm/año)	Efic (%)
Acero + HCl _(ac) (15%) (D)	9,106	105,53	-
D+ Inhibidor I (A)	0,0797	0,9235	99,12
Inhib I+ Formulación ácido simple (B)	0,3415	3,9583	96,25
Inhib I+ Formulación ácido emulsionado (C)	0,0014	0,0163	99,98

Determinación de la eficiencia del inhibidor por método gravimétrico

En la Tabla 4 se presentan los diferentes resultados de eficiencia del inhibidor I en las condiciones de ensayo por el método gravimétrico. En la misma se observa que cuando se adiciona el inhibidor la velocidad de corrosión disminuye en todos los casos, obteniéndose eficiencias altas en la protección del material metálico. Lo anterior

guarda relación con lo que se obtuvo en el método electroquímico y cumple con la función que presenta un inhibidor de que se reduzca la velocidad de corrosión del metal en el medio corrosivo. Los métodos que se emplearon tienen similar comportamiento.

Tabla 4: Velocidades de corrosión del acero en HCl al 15% a 60 °C por método gravimétrico

Ensayos	Vc (mm/año)	Eficiencia (%)
Acero + HCl (ac) (15%) (H)	96,4428 ± 5,9069	-
H + Inhibidor I (E)	1,4077 ± 0,1716	98,54
Inhibidor I+ Formulación ácido simple (F)	2,1431±0,1584	97,78
Inhibidor I+ Formulación ácido emulsionado (G)	1,2863± 0,0427	98,67

Determinación de grupos funcionales del inhibidor de corrosión por Espectroscopía Infrarroja.

La técnica de Espectroscopía Infrarroja (IR) se diferencia de las otras posibles de caracterización, porque con la misma se identifican grupos funcionales de compuestos orgánicos e inorgánicos tanto para especies sólidas, líquidas o gases. Las vibraciones son propias para cada tipo de enlace y siempre se indican la interacción entre dos elementos químicos. Es una técnica informativa y no señala el compuesto que se investiga, por lo que se complementa con técnicas de Resonancia Magnética Nuclear y Fluorescencia de rayos X.

En la investigación se realizó un espectro inicial como base para introducciones posteriores en los pozos donde deben mantenerse el mismo espectro como forma de control y chequeo del producto. Las vibraciones más representativas del inhibidor se determinan según la influencia en la efectividad del proceso de inhibición de la corrosión del material de pozo.

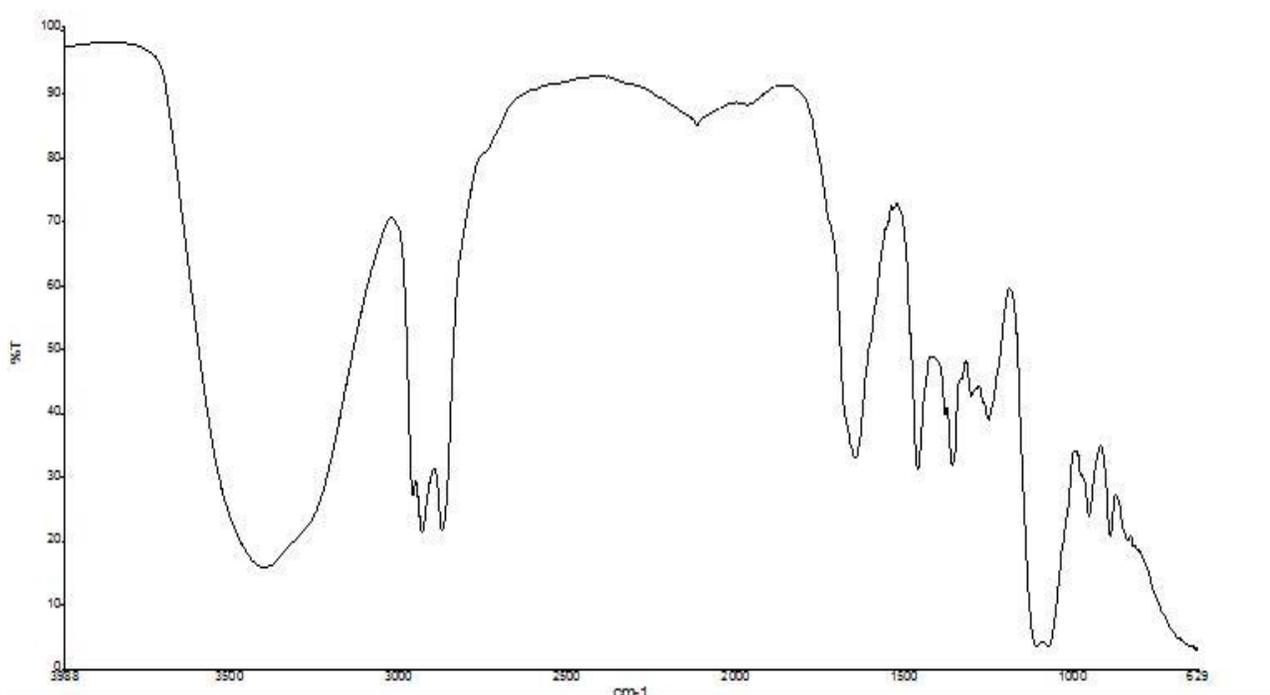


Fig. 5: Espectro IR inhibidor I

En la Figura 5, se presenta el espectro IR del inhibidor I. Los grupos funcionales se identificaron en correspondencia con lo que plantea la literatura consultada (Kagler, 1973). De forma general, una señal

característica se obtuvo en 3500 cm^{-1} - 3250 cm^{-1} correspondiente a: aminas ($\text{CH}_2\text{-NH}_2$), 900 cm^{-1} - 814 cm^{-1} (C-N) y otras que forman parte del compuesto pero que se encuentran en menor cuantía.

Las aminas de bajos pesos moleculares presentan interacciones con el agua que provocan la incorporación de un hidrógeno positivo a los pares de electrones de nitrógeno, de modo que la amina presenta carga positiva y el ión oxhidrilo queda libre contribuyendo a que se mantenga un pH superior a 7. La naturaleza básica que presentan las aminas favorece a que se limiten los efectos corrosivos del acero porque son donantes de electrones. (Solomons & Fryhle, 2003; Adames *et al.*, 2015)

CONCLUSIONES

El empleo de la estimulación ácida a pozos de petróleos cubanos muestra notable importancia dado que las características del combustible contribuyen al deterioro del material de pozo.

Los métodos de LPR y curvas de polarización demostraron, de forma general, que el inhibidor I exhibió un buen comportamiento electroquímico. La condición de ácido emulsionado se destacó porque es donde el inhibidor alcanzó un notable desempeño en la inhibición del proceso de corrosión del acero. El mecanismo que controla, se realiza por transferencia de cargas, típico de la corrosión del hierro en medio ácido.

El método gravimétrico se comportó con similitud a los electroquímicos, de modo que se garantizó la protección del metal en las condiciones de ensayo.

La técnica de caracterización de Espectroscopia IR señaló que el grupo amino ($\text{CH}_2\text{-NH}_2$), y el enlace C-N garantizaron la estabilidad de protección del acero en correspondencia con la evaluación electroquímica y gravimétrica del inhibidor.

REFERENCIAS

Adames, Y., Fernández, A., Cueli A. & López, S. (2015) Comportamiento electroquímico de la hexametilentetramina en la protección del acero en medio ácido. *Memorias VI Convención de Ciencias de la Tierra, V CONGRESO CUBANO DE PETRÓLEO Y GAS*, La Habana.

Adames, Y. (2017). Caracterización de productos de corrosión del acero de construcción de oleoductos mediante el empleo de diferentes técnicas analíticas. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 48 (1), 001-009.

Al-Anzi, E., Al-Mutawa, M., Al-Habib, N., Nasr-El-Din, H., Alvarado, O., Brady, M., *et al.* (2003). Reacciones positivas en la estimulación de yacimientos carbonatados. *Oilfield Review*, 15 (4), 30-46. https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish04/spr04/p30_47.pdf

Ali, S., Frenier, W.W., Lecerf, B., Ziauddin, M., Kristian, H., Nasr-El-Din, H.A., *et al.* (2004). Pruebas virtuales: La clave de un proceso de estimulación. *Oilfield Review*, 16 (1), 58-68. https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish04/sum04/p62_73.pdf

ASTM E3-11(2011). *Standard guide for preparation of metallographic specimens*. ASTM International, United States.

ASTM E407-07 (2015). *Standard practice for microetching metals and alloys*. ASTM International, United States.

ASTM E1252-98 (2007). *Standard Practice for General Techniques for obtaining infrared spectra for Qualitative analysis*. ASTM International, United States.

- ASTM G1-03 (2011). *Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens*. Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM G5-14 (2014). *Standard Reference Test Method for making potentiodynamic anodic polarization measurements*. ASTM International, United States
- ASTM G16-13(2013). *Applying statistic to analysis of corrosion data*. ASTM International, United States.
- ASTM G31-72 (2010). *Laboratory immersion corrosion testing of metals*. ASTM International, United States.
- ASTM G 59-97 (2014). *Standard test method for conducting potentiodynamic polarization resistance in corrosion testing*. ASTM International, United States.
- Ayllon, R., Alba, M., Alvarez, L., Soria, G., González, C. & Martínez, N. (2016). *Determinación grupal de los compuestos órgano azufrados en las fracciones combustibles de los yacimientos de mayor producción de Occidente*. Informe Interno CEINPET. Etapa 44.
- Bogomolov, A.I. & Gaile A. A. (1984). *Química del petróleo y del gas*. Editorial Mir.
- Crowe, C., Masmonteil, J., Touboul, E. & Thomas, R. (1992). Trends in Matrix Acidizing. *Oilfield Review*, 4 (4), 24-40. https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/ors92/1092/p24_40.pdf
- Cueli, A (2013). *Efecto corrosivo del agua acompañante del petróleo contaminada con H₂S y CO₂ sobre el acero (API 5L X₅₂)*. Tesis de grado en opción del título de Maestría en Corrosión. Universidad Tecnológica José A. Echeverría. La Habana.
- Cueli, A., Adames, Y., Davis, J. & Rivera, Y. (2013a). Efecto corrosivo del agua acompañante del petróleo, contaminada con H₂S, sobre el acero API 5L X₅₂. *Revista Cubana de Química*, 25 (2), 154-164.
- Cueli, A., Adames, Y., Davis, J. & Rivera, Y. (2013b). Efecto corrosivo del agua acompañante del petróleo contaminada con CO₂ sobre el acero de los ductos. *Revista Cubana de Ingeniería*, IV (3), 47 – 52.
- Dixon, W.J. & Massey, F.J. (1974). *Introducción al análisis estadístico*. Edi. R., Inst. Cubano del Libro, p. 408.
- Domínguez, J. & Castro, D.M. (1987). *Corrosión y protección de metales*. Ediciones ENPES. La Habana.
- González, J.A. (1989). *Control de la corrosión. Estudio y medida por técnicas electroquímicas*. España. ISBN: 84-00-6990-0, p. 104.
- González, C. (2018). *Estudio de la corrosión en los sistemas de transporte de crudo y evaluación de propuestas de solución*. Tesis de pregrado en opción de título de Ingeniería Química. Universidad Tecnológica José A. Echeverría. La Habana.
- Guliaev, A.P. (1978). *Metalografía*. Tomo II, Editorial Mir Moscú, p. 34-47.
- Kagler, S.H. (1973). *Spectroscopic and chromatographic analysis of mineral oil*. New York. ISBN 0706511182, p. 560.
- Kuzmin, B.A. & Samojotski, A.I. (1986). *Metalurgia, metalografía y materiales de construcción*. Editorial Mir Moscú, p. 170-172.

Ramos, F. (2016). *Corrosión del acero en agua de formación y evaluación de métodos de protección*. Tesis de pregrado en opción de título de Ingeniería Química. Universidad Tecnológica José A. Echeverría. La Habana.

Ríos, E.E. (2001). *Daño a la Formación y Estimulación de pozos*. Edición 1 PDVSA CIED, Venezuela.

Schweitzer, P.A. (2010). *Fundamentals of Corrosion. Mechanism, causes, and preventative methods*. United States of America: Taylor and Francis Group. ISBN 978-959-7107-33-9, p. 83.

Solomons, T.W.G. & Fryhle, C.B. (2003). *Organic Chemistry*. Eight edition. United States. ISBN 0-471-41799-8. pp 66-67,940-941.

Velázquez, R., Echevarría, F. & Lesmes, L. (2013). Inyección continua de ácido emulsionado, un record en la estimulación de pozos horizontales. *Memorias V Convención de Ciencias de la Tierra, IV CONGRESO CUBANO DE PETRÓLEO Y GAS*, La Habana.

