

Evaluación Electroquímica del Extracto de Lirio Acuático como Inhibidor de Corrosión Verde para el Acero al Carbono en medios Ácidos

Electrochemical Evaluation of Aquatic Lily Extract as a Green Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in Acid Media

LUGO-ISLAS, Gabriela†*, GALICIA-AGUILAR, Gonzalo, GALLARDO-CASTÁN, Ernesto y GARCÍA-NAVARRO, Norma

Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, Campus Poza Rica-Tuxpan.

ID 1^{er} Autor: *Gabriela, Lugo-Islas* / ORC ID: 0000-0003-2572-3697, Researcher ID Thomson: G-9483-2018, CVU CONACYT ID: 445987

ID 1^{er} Coautor: *Gonzalo, Galicia-Aguilar* / ORC ID: 0000-0002-0633-3442, Researcher ID Thomson: G-9497-2018, CVU CONACYT ID: 38494

ID 2^{do} Coautor: *Ernesto, Gallardo-Castán* / ORC ID: 0000-0002-4117-2891, Researcher ID Thomson: G-9590-2018, CVU CONACYT ID: 818820

ID 3^{er} Coautor: *Norma, García-Navarro* / ORC ID: 0000-0002-0381-6617, Researcher ID Thomson: G-9585-2018, CVU CONACYT ID: 49611

Recibido 09 Abril, 2018; Aceptado 28 Junio, 2018

Resumen

El acero al carbono es el producto siderúrgico de mayor importancia en la industria, lo que fortalece la búsqueda de métodos para protegerlo de la corrosión electroquímica. Existen varias metodologías para combatir la corrosión entre ellas; el uso de sustancias inhibidoras es una de las más empleadas. No obstante, la mayoría de los inhibidores de corrosión suelen ser productos químicos tóxicos debido a la presencia de grupos aromáticos. Una alternativa es la indagación de inhibidores de origen vegetal (inhibidores verdes), amigables con el medio ambiente libres de compuestos tóxicos, además de su bajo costo. En este trabajo, se evalúa el efecto que produce el extracto vegetal de lirio acuático como inhibidor de corrosión verde durante la corrosión del acero al carbono en medio ácido (HCl al 1%, 5%, 10%), mediante las técnicas de Curvas de Polarización Potenciodinámicas (Cp), Resistencia a la Polarización Lineal (Rp) y Espectroscopía de Impedancia Electroquímica. Los resultados mostraron una mejor resistencia a la corrosión del acero cuando se añade el extracto, debido a la formación de películas de productos de corrosión.

Acero, Corrosión, Inhibidor

Abstract

Carbon steel is the most important steel product in the industry, which strengthens the search for methods to protect it from electrochemical corrosion. There are several methodologies to combat corrosion among them; the use of inhibiting substances is one of the most used. However, most corrosion inhibitors are usually considerable toxic chemicals due to the presence of aromatic groups. An alternative is the search for inhibitors of plant origin (green inhibitors), friendly to the environment free of toxic compounds, as well as a low cost during its production. In this work, the effect produced by the aquatic lily plant extract as a green corrosion inhibitor during the corrosion of carbon steel in medium acid (1% HCl, 5%, 10%) is evaluated through the spectroscopy technique of Impedance Electrochemistry and polarization curves. The results have found a better corrosion resistance of the steel when the extract is added, due to the formation of films of corrosion products.

Steel, Corrosion, Inhibitor

Citación: LUGO-ISLAS, Gabriela, GALICIA-AGUILAR, Gonzalo, GALLARDO-CASTÁN, Ernesto y GARCÍA-NAVARRO, Norma. Evaluación Electroquímica del Extracto de Lirio Acuático como Inhibidor de Corrosión Verde para el Acero al Carbono en medios Ácidos. *Revista de Energía Química y Física*. 2018. 5-15: 6-11.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: glugo@uv.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

Los metales y sus aleaciones representan uno de los materiales más importantes para la industria de la construcción, de transporte, aeronáutica, naval, la industria de transporte y almacenamiento de hidrocarburos, entre otras. Sin embargo, los metales sufren cambios y transformaciones, debido a su interacción con el ambiente o según las condiciones de operación, fenómeno conocido como *corrosión*.

La corrosión es reacción electroquímica de los materiales metálicos y el medio que les rodea (humedad, oxígeno, sustancias contaminantes como los cloruros, sulfatos y/o partículas suspendidas) (Roberge, 2012). La necesidad de almacenar y/o transportar fluidos en materiales metálicos (principalmente acero) requiere de métodos de protección contra la corrosión específicos como el uso de inhibidores de corrosión

Los inhibidores de corrosión son sustancias químicas que adicionadas en pequeñas concentraciones al medio corrosivo reducen la velocidad de corrosión por la formación de una película protectora entre el metal y el medio; los inhibidores pueden ser de origen químico o vegetal (Meza, 2016). No obstante, la desventaja del uso de inhibidores convencionales es su nivel de toxicidad, que ha obligado a la indagación de diferentes alternativas, por ejemplo los inhibidores de corrosión verdes, mismos que no son tóxicos ni nocivos para el medio ambiente, se obtienen mediante tecnologías limpias, y no acarrear altos costos, principalmente por la gran disponibilidad (Prabhu, 2013).

El lirio acuático (*Eichhornia Crassipes*) es una planta considerada como una plaga en sistemas enriquecidos con nutrientes. Su rápida proliferación puede dificultar la navegación y amenazar el balance en los ecosistemas acuáticos. No obstante, pueden ser manejadas adecuadamente y volverse útiles, debido a su compleja composición puede contener sustancias capaces de influir en la velocidad de corrosión (Pérez, 2018).

En el presente trabajo de investigación se evaluó un extracto a partir del lirio acuático como inhibidor de corrosión para el acero al carbono expuesto en medio ácido.

Las muestras de lirio acuático fueron obtenidas en la zona costera de la ciudad de Papantla de Olarte, Veracruz debido su abundancia. La ventaja de las técnicas electroquímicas es la obtención de información de la interfase metal-electrolito en un periodo de tiempo menor en comparación con las técnicas gravimétricas.

La técnica de Resistencia a la Polarización Lineal es una técnica no destructiva de corriente directa que proporciona información sobre la resistencia a la transferencia de carga, también puede utilizarse como base para el cálculo de la eficiencia de los inhibidores, mientras que con las Curvas de Polarización Lineal se puede obtener la velocidad de corrosión, así como la cinética de la reacción de oxidación y reducción en un determinado medio.

A través de la técnica Espectroscopía de Impedancia Electroquímica se analizan con mayor precisión los fenómenos que ocurren en la interfase como la formación de productos y películas de corrosión, la porosidad de las películas, la corrosión por activación y los procesos de difusión y adsorción debido a la señal de corriente alterna que utiliza para mover del estado estacionario a electrodo metálico en un determinado rango de frecuencias (Sastri, 2001).

Metodología

Se colectó el lirio acuático, se limpiaron las muestras y se deshidrataron (secaron) para su reducción de tamaño en un mortero. Se pesaron 20 g de masa triturada y se agregaron 200 mL de agua destilada a la temperatura de 80 °C y se mantuvo en contacto por 15 minutos. Se filtró, y se agregaron 100 mL de agua para el lavado del residuo (Reyes, 2011). En la figura 1 se muestra el extracto obtenido.



Figura 1 Extracto de lirio acuático

Fuente: *Elaboración Propia*

Las muestras de acero al carbono de 1x1plg fueron tratadas con una limpieza química mediante un decapado. Previo a los experimentos, las probetas se devastaron con papel carburo de silicio. Los ensayos se llevaron a cabo a temperatura ambiente, en disolución de HCl al 1, 5 y 10 %. El efecto inhibitor del extracto de lirio acuático se evaluó utilizando una solución blanco y concentraciones de 1, 5 y 10% respectivamente. Los ensayos de corrosión se realizaron dentro de una celda de acrílico y un sistema de 3 electrodos, utilizando como electrodo de referencia Hg/HgSO₄ saturado, electrodo auxiliar de grafito y la placa de acero al carbono como electrodo de trabajo; área de exposición de 1cm². Se realizó monitoreo del potencial de corrosión a circuito abierto, las técnicas electroquímicas aplicadas fueron Curvas de Polarización Potenciodinámicas (velocidad de barrido 60 mV/min, señal de amplitud de ±500mV), Resistencia a la Polarización Lineal (señal de amplitud ±10 mV), y Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (señal de amplitud ±10 mV) mediante un potenciostato ACM Instruments, controlados desde un ordenador compatible.

Resultados

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la técnica de Curvas de Polarización Potenciodinámica para el acero al carbono en medio ácido con extracto de lirio acuático. A medida que la concentración de inhibidor se incrementa la velocidad de corrosión del acero se reduce por dos factores, la dilución del ácido y por la presencia de sustancias en el extracto capaces de influir en el control de las reacciones electroquímicas, por ejemplo, mediante la técnica de Impedancia se detectan películas protectoras en la alta frecuencia que influyen en la resistencia del sustrato metálico.

Solución	Inhibidor, %	V _{corr} , mm.año
HCl 1%	0	5.99E-4
	1	5.27E-4
	5	6.74E-6
	10	7.12E-6
HCl 5%	0	2.86E-5
	1	6.18E-4
	5	2.56E-4
	10	3.46E-4
HCl 10%	0	2.86E-5
	1	1.34E-5
	5	2.56E-4
	10	3.46E-6

Tabla 1 Velocidades de corrosión para el acero al carbono a través de la técnica curva de polarización potenciodinámica, 24 horas de inmersión

Fuente: *Elaboración Propia*.

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos a partir de la técnica de Resistencia a polarización lineal. Los cálculos de la eficiencia del inhibidor se realizaron de acuerdo a la ecuación 1, donde R_{p1} es la resistencia a la polarización con inhibidor, R_{p0} es la resistencia a la polarización sin inhibidor y E, % es el porcentaje de eficiencia del inhibidor de corrosión (Sastri, 2001). La resistencia a la corrosión es más pequeña cuando se añade extracto en menor concentración (5 y 10% de inhibidor). Sin embargo, la mejor eficiencia al 5% de extracto en las soluciones de 1 y 10% de HCl, respectivamente, debido que se tiene un incremento de la resistencia a la transferencia de carga.

$$E, \% = \left(\frac{R_{p1} - R_{p0}}{R_{p1}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Solución	Inhibidor, %	R _p , Ω.cm ²	E, %
HCl 1%	0	25.36	0
	1	48.18	47.26
	5	665.6	96.18
	10	109.6	76.86
HCl 5%	0	198.9	0
	1	624.8	70.16
	5	272.7	27
	10	355.3	43.97
HCl 10%	0	171.9	0
	1	366.2	53.05
	5	1626	89.42
	10	665.7	74.14

Tabla 2 Resistencia a la polarización lineal y porcentaje de eficiencias del extracto de lirio acuático como inhibidor de corrosión en el acero al carbono medio ácido, 24 horas de inmersión

Fuente: *Elaboración Propia*

La técnica Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIE), es una técnica de corriente alterna no destructiva que permite visualizar diferentes fenómenos que ocurren en la interfase; el comportamiento de películas activas y pasivas en alta frecuencia, la resistencia a la corrosión en la media frecuencia y los procesos de transferencia de masa o control por difusión en la baja frecuencia (Sastri, 2001).

El gráfico 1 muestra la impedancia en Bode para el acero en medio ácido al 1%, en la región de alta frecuencia (10^3 a 10^5 Hertz), apreciándose la formación de capas de óxidos de Fe en la superficie del acero conforme se añade inhibidor. En las muestras de 5, 10% de inhibidor se tiene mayor resistencia por parte de los productos de corrosión formados que se atribuye a la adsorción física de especies por parte del inhibidor en la baja frecuencia.

En la región de media frecuencia (10^0 a 10^3 Hertz) se aprecia el control de la corrosión por activación, y una resistencia a la transferencia de carga considerable a 5 y 10% de inhibidor. En la región de baja frecuencia (10^{-1} a 10^0 Hertz) se tiene difusión semi infinita, cuando no se ha añadido inhibidor se tiene un ángulo de fase de 30 grados, lo que es indicativo de control por difusión o una impedancia tipo Warburg (Lingjie, 2001).

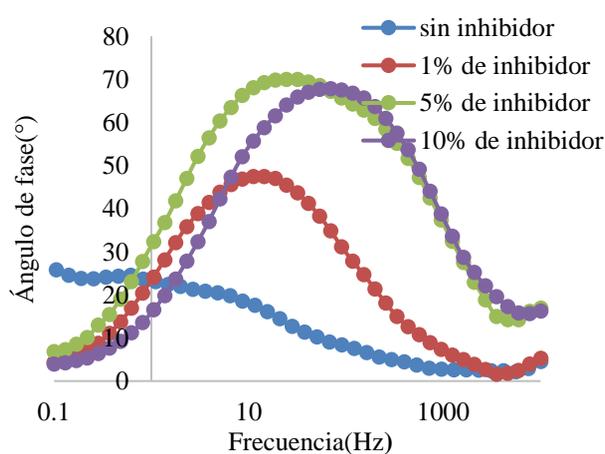


Gráfico 1 EIE en Bode para el acero al carbono en HCl al 1%, con diferentes concentraciones de extracto de lirio acuático, a 24 h de inmersión
Fuente: Elaboración Propia.

En el gráfico 2 se presenta los resultados de EIE para el acero en HCl al 5%, a medida que se agrega el inhibidor, en la región de alta frecuencia se aprecia la formación de productos de corrosión que otorgan baja protección al sustrato.

No obstante en la media frecuencia y a medida que se incrementa la concentración del inhibidor la corrosión por activación disminuye como consecuencia de la influencia del inhibidor en la reacción de corrosión del acero. La difusión es limitada o semiinfinita lo que se interpreta como la presencia de películas que permiten la difusión de especies en la interfase metal-solución (Lingjie, 2011).

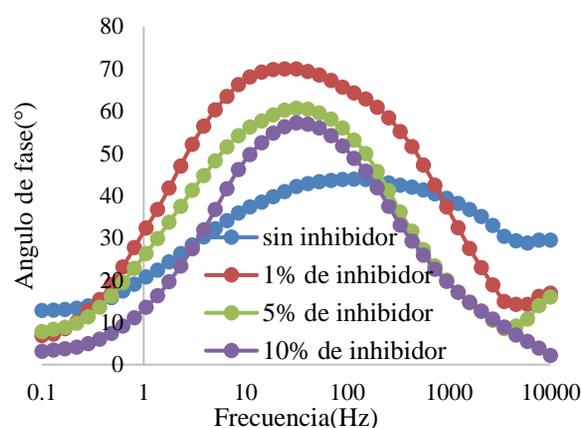


Gráfico 2 EIE en Bode para el acero al carbono en HCl al 5%, con diferentes concentraciones de extracto de lirio acuático, a 24 h de inmersión.
Fuente: Elaboración Propia.

El acero al carbono posterior a las 24 horas de exposición forma compuestos permeables y de baja impedancia que permiten la difusión de especies electroactivas a nivel interfase (gráfico 3). En la media frecuencia se presenta corrosión por transferencia de carga cuando el acero no tiene extracto y cuando este es añadido al 10%, por lo que el mejor desempeño es cuando la concentración del inhibidor es pequeña 1 y 5 %.

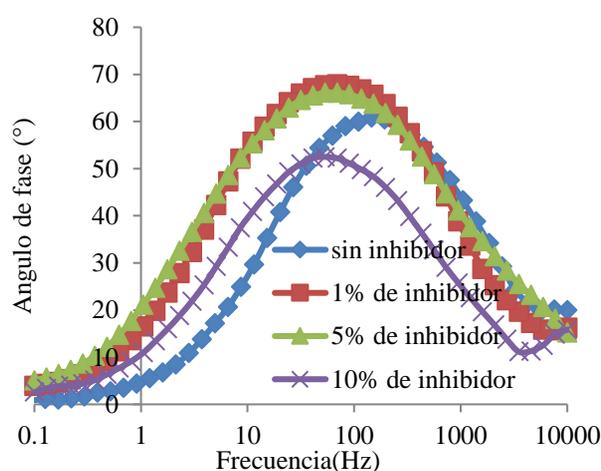


Gráfico 3 EIE en Bode para el acero al carbono en HCl al 10%, con diferentes concentraciones de extracto de lirio acuático, a 24 h de inmersión
Fuente: Elaboración Propia

La corrosión electroquímica del hierro en medio ácido puede generalizarse como la disolución del hierro y la reducción de hidrógeno (Roberge, 2012):



El gráfico 4 muestra una disolución metálica (ecuación 2) rápida, excepto a la concentración de 5% de inhibidor, donde se tienen un cambio de pendiente originada por una reacción química que ocasiona la disminución de la densidad de corriente de corrosión (la densidad de corrosión es directamente proporcional a la velocidad de corrosión).

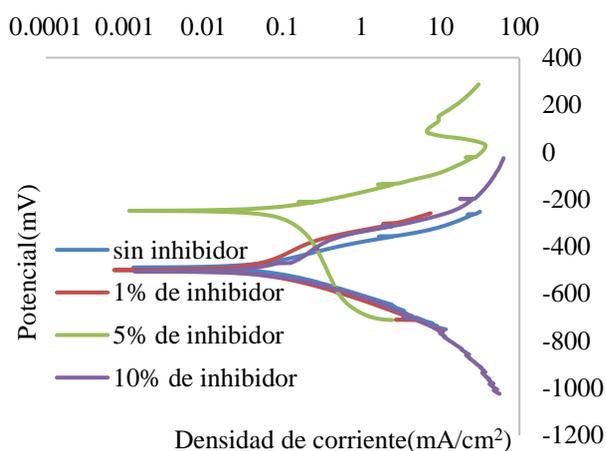


Gráfico 4 Curvas de polarización para el acero al carbono en HCl al 1%, con diferentes concentraciones de extracto de lirio acuático, a 24 h de inmersión.

Fuente: *Elaboración Propia.*

El gráfico 5 muestra un control tipo mixto para las reacciones que ocurren a nivel interfase (ecuación 2 y 3), se tiene una rápida disolución para el hierro, excepto a la concentración de 10% de inhibidor, donde se obtuvo una densidad de corriente de pasivación por el efecto del inhibidor.

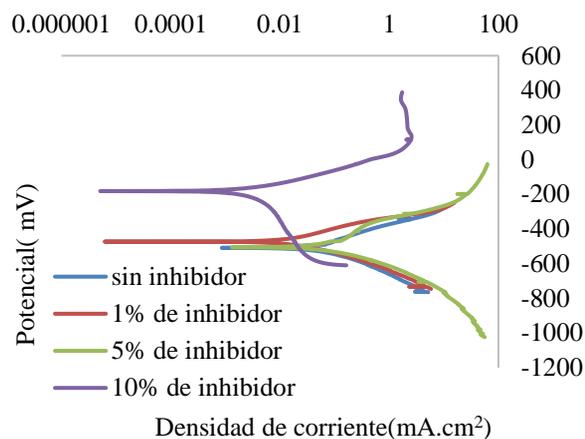


Gráfico 5 Curvas de polarización para el acero al carbono en HCl al 5%, con diferentes concentraciones de extracto de lirio acuático, a 24 h de inmersión

Fuente: *Elaboración Propia*

Conclusiones

El extracto inhibidor de lirio acuático influye en la formación de películas pasivas sobre la superficie del acero. Sin embargo, estas son porosas, solubles e inestables cuando se depositan en la superficie del sustrato metálico, generando una protección mínima a la corrosión del acero.

La concentración de inhibidor más recomendable corresponde a la de 5% de extracto, debido a que se logra disminuir la velocidad de corrosión del acero y por consiguiente se obtienen eficiencias del inhibidor entre el 80 y 90%.

Se recomienda evaluar diferentes materiales metálicos como el cobre, el acero galvanizado, el aluminio, entre otros para observar su comportamiento. Además, se debe probar el inhibidor en medios alcalinos y neutros considerando diferentes tiempos de exposición, así como las repercusiones dinámicas del fluido en el sistema que influyen en la adherencia de las películas pasivas y activas de productos de corrosión.

Las condiciones mencionadas con anterioridad son importantes para poder observar como evolucionan los productos de corrosión en diferentes medios corrosivos y a diferentes periodos de exposición, debido a que podrían volverse más resistentes.

Referencias

Lingjie Li, et al. (2011). *Environmental Friendly Corrosion Inhibitors for Magnesium Alloys*. Corrosion and Surface Treatments, Frank Czerwinski (Ed.), ISBN: 978-953-307-972-1, InTech

Meza Castellar P., et al. (2016). *Evaluación del extracto del árbol de neem (Azadirachta indica) como inhibidor de corrosión en medio salino*. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Vol. 16, No. 31 pp. 15-31

Perez Hernández E. (2018). *Evaluación de un inhibidor de corrosión verde de la zona costera de la ciudad de papantla, veracruz, en acero al carbono y cobre por técnicas electroquímicas*. Tesis de Licenciatura, Universidad Veracruzana Poza Rica de Hidalgo Ver.

Prabhu D. y Rao P. (2013). *A novel green inhibitor for the corrosion inhibition of aluminium in 1.0 M phosphoric acid solution*. Journal of Environmental Chemical Engineering, No. 1, pp. 676–683.

Reyes Castillo. R. (2011). *Evaluación electroquímica de extractos vegetales como inhibidores de corrosión*. Tesis de Licenciatura, Universidad Veracruzana Poza Rica de Hidalgo Ver.

Roberge P. R. (2012). *Handbook of corrosion Engineering*. Ed. MC Graw Hill. USA

Sastri V., S., (2001). *Corrosion Inhibitors Principles and Applications*. Ed. John Wiley and Sons. England