

Inhibidores naturales en el control de la corrosión de materiales metálicos

♦ María Guadalupe Valladares Cisneros
Rosa María Melgoza Alemán
Cecilia Cuevas Arteaga



El empleo de materiales metálicos facilita las condiciones actuales de vida para las personas. Se considera que se ha creado una dependencia tal, que sería prácticamente imposible hablar de desarrollo, avance y modernidad sin el uso de los materiales metálicos.¹

La mayoría de los materiales metálicos tiene una elevada susceptibilidad para corroerse.² Los metales tienden a deteriorarse por un proceso electroquímico, que puede iniciarse por la presencia de oxígeno, ya que este elemento favorece la oxidación superficial de los materiales y se encuentra presente prácticamente en cualquier ambiente terrestre: aire, agua o suelo, por lo que la corrosión de los metales es un proceso inevitable.

La intención de mitigar los procesos de corrosión ha propiciado la apertura y expansión de un tema relevante, en el intento de conservar y preservar los materiales metálicos, principalmente por los altos costos que supone el reemplazo total de piezas corroídas, así como para garantizar la seguridad en la prevención de accidentes, pues estos frecuentemente conllevan la pérdida de vidas humanas. En términos económicos, se estima que un país indus-

trializado realiza una inversión en la prevención y el control de la corrosión, así como en la reposición de piezas por fallas de corrosión, que oscila entre el 3.5% y el 5% de su producto interno bruto (PIB).³

Prevención

Entre las alternativas más empleadas para preservar la vida útil de los materiales metálicos se encuentra el uso de inhibidores de la corrosión. Un inhibidor de la corrosión es una sustancia que, agregada en pequeñas concentraciones en el medio corrosivo, disminuye o previene la reacción entre el metal y el medio, produciendo un cierto nivel de protección. Algunos inhibidores reaccionan adsorbiéndose sobre el metal, formando una película que protege la superficie metálica y disminuye la velocidad de corrosión.⁴

Si los inhibidores de la corrosión son eficientes, su naturaleza química los hace persistentes, poco o nulamente degradables, y en la mayoría de los casos altamente tóxicos,⁵ por lo que los inhibidores de la corrosión de origen orgánico-sintético no son considerados soluciones de largo plazo. El amplio y prolongado empleo de estos inhibidores

¹ Joan Genescá, *Más allá de la herrumbre, III. Corrosión y medio ambiente*, FCE, México DF, 1994, pp. 6-9.

² La palabra "corrosión" se deriva del latín *corrodere*, que significa "roer". La corrosión es el ataque destructivo de un metal por reacción química o electroquímica con su medio ambiente.

³ William D. Callister y David G. Rethwisch, *Materials science and engineering an introduction*, Wiley, Nueva York, 2009, pp. 675-682.

⁴ Vedula S. Sastri, *Green corrosion inhibitors: theory and practice*, Wiley, Nueva Jersey, 2011, p. 167.

⁵ Ahmad M. El-Desoky, Hytham M. Ahmed y Alaa E. Ali, "Electrochemical and analytical study of the corrosion inhibitory behavior of expired pharmaceutical compounds for C-steel corrosion", *International Journal Electrochemical Science*, vol. 10, 2015, pp. 5112-5129.

♦ Profesoras e investigadoras, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería (FCQEI), UAEM
Profesora e investigadora del Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAP), UAEM

ha tenido un impacto ambiental, por lo cual en la última década se ha intensificado la búsqueda de nuevas alternativas que reduzcan la velocidad de corrosión de los materiales metálicos y que además resulten amigables con el ambiente.

Inhibidores naturales

Los aspectos anteriores han motivado, desde hace dos décadas, diversas investigaciones y estudios de fuentes naturales como inhibidores de la corrosión. Se han estudiado diversas plantas en distintas formas de aplicación, como polvos, aceites esenciales, infusiones acuosas y extractos orgánicos, así como la actividad inhibitoria de la corrosión de frutas, semillas, condimentos, hojas y raíces. Para ello se usan diferentes concentraciones, que oscilan entre 50 mg/L y 3000 mg/L.

Los estudios de inhibición de la corrosión a nivel laboratorio se realizan en corto tiempo, a través de la simulación de un medio, en materiales metálicos diversos entre los cuales sobresalen el aluminio, el acero dulce, entre otros. Este último es una aleación base hierro que contiene carbono, la cual es ampliamente utilizada como material de construcción en diversas industrias, entre las que destaca la de fabricación de tuberías para la producción de petróleo y gas. Los medios agresivos constituyen el ambiente necesario para que el proceso de corrosión tenga lugar, y también se conocen como electrolitos. Se han estudiado principalmente el ácido sulfúrico, el ácido clorhídrico, el hidróxido de sodio, el agua de mar, entre otros.

Para el registro de datos se involucran diversas formas de evaluar la velocidad de corrosión; las técnicas electroquímicas representan valiosas he-

Figura 1. Impedancia electroquímica del empleo de diferentes concentraciones de un inhibidor natural en la corrosión del acero 1018 en un medio ácido

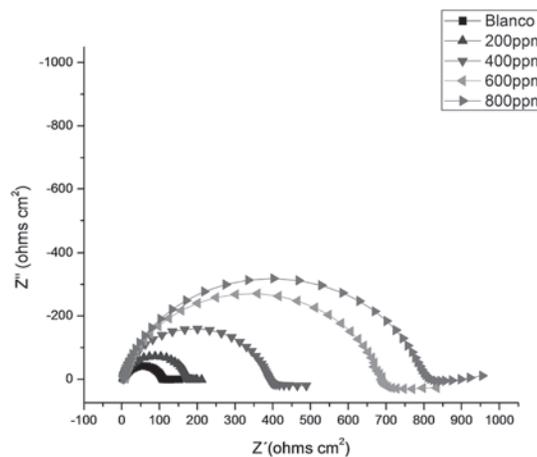
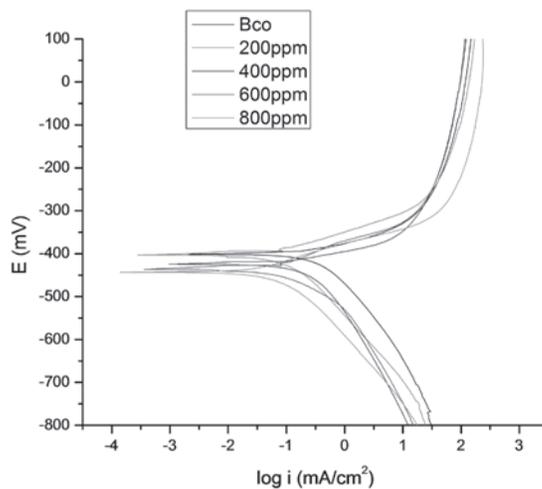


Figura 2. Curvas de polarización potenciodinámica del empleo de diferentes concentraciones de un inhibidor natural en la corrosión del acero 1018 en un medio ácido



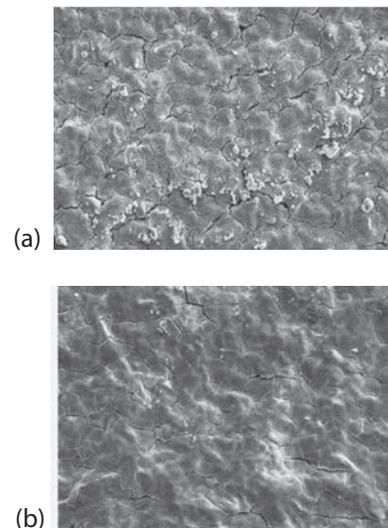
ramientas que permiten determinar cómo ocurre la corrosión de un material o cómo se reduce la velocidad de corrosión por el efecto de inhibición. Por ejemplo, entre las técnicas electroquímicas frecuentemente empleadas para estudiar la inhibición de la corrosión del acero en un medio ácido se encuentran las curvas de polarización potenciodinámica y la impedancia electroquímica. Para llevar a cabo los estudios cinéticos de inhibición se debe exponer una muestra metálica en el medio a estudiar, la cual será sometida a condiciones simuladas de un ambiente real.

La impedancia electroquímica (figura 1) corresponde a la técnica en la cual se aplica una señal de corriente alterna en el sistema y se analiza su respuesta frente a esta perturbación. Un comportamiento inicial (0 ppm) presenta un semicírculo de diámetro pequeño, que indica menor resistencia en la transferencia de carga; en comparación, cuando se adiciona el inhibidor natural se observa que el diámetro del semicírculo aumenta (800 ppm, último gráfico). Es frecuente que la resistencia aumente conforme lo hace la concentración del inhibidor.

Las curvas de polarización potenciodinámica (figura 2) son una herramienta útil para estudiar la cinética y el mecanismo de corrosión, ya que permiten determinar la susceptibilidad del metal ensayado, el comportamiento de la corriente eléctrica y el potencial. Típicamente, se observa que al adicionar el inhibidor natural en el medio el valor de corriente eléctrica disminuye (800 ppm), en comparación con el caso en que el medio agresivo no contiene inhibidor (0 ppm).

También es frecuente el empleo de una prueba gravimétrica, a través de la cual se logra de-

Figura 3. Micrografías de la superficie de acero 1018 en un medio ácido, después de un tratamiento de inhibición de 72 h, a temperatura ambiente, sin inhibidor natural (a) y con inhibidor natural (b)



terminar la cantidad de material metálico que se pierde por efecto de la degradación. Esta técnica es conocida como *pérdida de masa*, y es considerada como una de las pruebas con mayor confiabilidad para establecer la actividad inhibitoria de la corrosión.

Es interesante observar cómo la superficie del metal se modifica con la influencia de un inhibidor natural (figura 3b) y sin ella (figura 3a). Para ello es necesario someter el material a un análisis morfológico empleando un microscopio electrónico de barrido, con el que se obtendrán imágenes de las muestras (figura 3). Los acercamientos microscópicos del material permiten determinar la integridad de la superficie; la existencia de hendiduras

Tabla. Especies inhibidoras de la corrosión para el acero dulce

Nombre común	Nombre científico	Medio agresivo	Inhibidor [g/L]	% EI
Pimienta negra ₆	<i>Piper nigrum</i>	HCl	[0.120]	98
Manzanilla ₇	<i>Chamomile</i>	HCl	[3.000]	67
Ciruela pasa ₈	<i>Grape pomace</i>	HCl	[5.000]	62
Aguacate ₉	<i>Persea americana</i>	HCl	[2.000]	93
Chile jalapeño ₁₀	<i>Capsicum annum</i>	HCl	[1.500]	82
Tomillo ₁₁	<i>Thymus vulgaris</i>	NaCl	[1.000]	79
Comino ₁₂	<i>Cuminum cyminum</i>	Agua de mar	[4.000]	93
Mezquite ₁₃	<i>Prosopis laevigata</i>	H ₂ SO ₄	[0.200]	40
Eucalipto ₁₄	<i>Eucalyptus globulus</i>	H ₂ SO ₄	[6.000]	81

EI: eficiencia de inhibición de la corrosión, se determinó por espectroscopia de impedancia electroquímica.

HCl: ácido clorhídrico; NaCl: cloruro de sodio; H₂SO₄: ácido sulfúrico.

distingue el daño ocasionado homogénea o localizada. Los cúmulos que pueden formarse sobre la superficie metálica pueden deberse a la deposición del inhibidor natural o a la formación de óxidos metálicos.

Los estudios se realizan a diferentes temperaturas para observar el comportamiento de la inhibición frente a ella. Frecuentemente, la actividad de inhibición de la corrosión de inhibidores naturales conserva una relación indirecta con la tem-

⁶ M. A. Quraishi, Dileep Kumar Yadav y Ishtiaque Ahmad, "Green approach to corrosion inhibition by *Black pepper* extract in hydrochloric acid solution", *The Open Corrosion Journal*, vol. 2, 2009, pp. 56-60.

⁷ D. Ben Hmamou, R. Salghi, A. Zarrouk, M. Messali, H. Zarrok, M. Errami, B. Hammouti, Lh. Bazzi, A. Chakir, "Inhibition of steel corrosion in hydrochloric acid solutions by Chamomile extract", *Der Pharma Chemica*, vol. 4, núm. 4, 2012, pp. 1496-1505.

⁸ J. C. da Rocha, J. A. C. Ponciano Gomes, E. D'Elia, A. P. Gil Cruz, L. M. C. Cabral, A. G. Torres y M. V. C. Monteiro, "Grape pomace extracts as green corrosion inhibitors for carbon steel in hydrochloric acid solutions", *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 7, 2012, pp. 11941-11956.

⁹ M. Belkhaouda, L. Bammou, R. Salghi, A. Zarrouk, Eno E. Ebenso, H. Zarrok y B. Hammouti, "Inedible avocado extract: an efficient inhibitor of carbon steel corrosion in hydrochloric acid", *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 8, 2013, pp. 10987-10999.

¹⁰ Gopal ji, Sudhish Kumar Shukla, Priyanka Dwivedi, Shanthi Sundaram, Eno E. Ebenso y Rajiv Prakash, "Green *Capsicum annum* fruit extract for inhibition of mild steel corrosion in hydrochloric acid solution", *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 7, 2012, pp. 12146-12158.

¹¹ P. Premkumar, K. Kannan y M. Natesan, "Thyme extract of *Thymus vulgaris* L. as volatile corrosion inhibitor for mild steel in NaCl environment", *Asian Journal of Chemistry*, vol. 20, núm. 1, 2008, pp. 445-451.

¹² V. Sribharathy y Susai Rajendran, "*Cuminum cyminum* extracts as eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in seawater", *ISRN Corrosion*, vol. 2013, 2013, article ID 370802, pp. 1-7.

¹³ A. M. Ramírez-Arteaga, M. G. Valladares y J. G. González Rodríguez, "Use of *Prosopis laevigata* as a corrosion inhibitor for Al in H₂SO₄", *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 8, 2013, pp. 4305-4327.

¹⁴ S. Rekkab, H. Zarrok, R. Salghi, A. Zarrouk, Lh. Bazzi, B. Hammouti, Z. Kabouche, R. Touzani y M. Zougagh, "Green corrosion inhibition from essential oil of *Eucalyptus globulus* (Myrtaceae) for C38 steel in sulfuric acid solution", *Journal Materials and Environmental Science*, vol. 3, núm. 4, 2012, pp. 613-627.

peratura, es decir, a mayor temperatura, menor actividad de inhibición.

Asimismo, es recomendable realizar los estudios de inhibición en condiciones estáticas y dinámicas, para determinar la composición y estabilidad de la capa protectora formada bajo la influencia de un flujo o movimiento constante.

Algunos extractos naturales estudiados como inhibidores de la corrosión para el acero dulce en diferentes medios (ácido, base o agua de mar) se describen en la tabla 1. Las concentraciones de algunos inhibidores naturales superan los 3 g/L, lo que se considera una elevada concentración con respecto a las concentraciones de los inhibidores orgánicos sintéticos, los cuales no superan los 0.1 g/L. El posible empleo de altas concentraciones permite considerar que se trata de una tecnología que podría ser costosa o presentar toxicidad.

Estudios y evaluaciones

Una sustancia es altamente tóxica cuando, en pequeña concentración, ocasiona la muerte del 50% de la población de una determinada especie. El cuidado del ambiente y la toxicidad no comprobada de los inhibidores naturales cuestiona su exitoso uso y aplicación.

En México, desde 2006, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en conjunto con el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio

Climático (INECC), realiza esfuerzos para establecer normas que regulen y estimen la toxicidad de sustancias liberadas en el ambiente; sin embargo, hasta el momento sus estudios se limitan a la esfera del suelo, debido a los derrames de petróleo que se han registrado en los últimos años.¹⁵

Una revisión detallada de algunos reportes existentes del estudio de inhibidores naturales de la corrosión permitió observar que en ninguno de estos trabajos se incluyen estudios tóxicos o ecotóxicos que comprueben la inocuidad de los extractos en la concentración activa como inhibitoria de la corrosión. Solo mencionan que, por ser estos inhibidores de origen natural, pueden considerarse amigables con el ambiente.

Si bien algunas de las especies vegetales mostradas en la tabla son plantas empleadas comúnmente como especias en la preparación de alimentos desde hace siglos, no es así para todas las plantas que han sido estudiadas como inhibidoras de la corrosión. Por ejemplo, fuentes naturales como la *Atropa belladonna*,¹⁶ cuyo principio activo es la atropina, o la *Conium maculatum*, de la cual se obtiene la cicuta, son clasificadas como tóxicas por los compuestos que contienen.¹⁷ Por ello, consideramos necesario realizar evaluaciones biológicas que indiquen la inocuidad, baja o nula toxicidad de los inhibidores de origen vegetal, para una aplicación sustentable en la fabricación de nuevas formulaciones anticorrosivas.

¹⁵ Luis C. Fernández Linares, Norma G. Rojas Avelizapa, Teresa G. Roldán Carrillo, Martha E. Ramírez Islas, Héctor G. Zegarra Martínez, Raúl Uribe Hernández, Romeo J. Reyes Ávila, David Flores Hernández y Juan M. Arce Ortega, *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*, IMP/SEMARNAT/INECC, México DF, 2006, p. 161.

¹⁶ K. Shalabi, Y. M. Adballah, H. M. Hassan y A. S. Fouda, "Adsorption and corrosion inhibition of *Atropa belladonna* extract on carbon steel in 1M HCl solution", *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 9, 2014, pp. 1468-1487.

¹⁷ Santiago Nogué, Joan Simón, César Blanché y Josep Piqueras, "Intoxicación por plantas y setas", Laboratorios Menari, Barcelona, 2009, p. 28, en Fundación Española de Toxicología Clínica, <http://bit.ly/1MrBn42>, consultado en octubre de 2015.