

## Ampicilina como inhibidor orgánico de la corrosión para los aceros AISI 1018 y AISI 8620

Barrón Vázquez Salvador, Refugio García María Elizabeth, Palomar Pardavé Manuel Eduardo,  
Vázquez Huerta Gerardo\*

Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Materiales. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02200. México.

\*Autor para correspondencia: gvh@azc.uam.mx

### Recibido:

20/Junio/2021

### Aceptado:

17/octubre/2021

### Palabras clave:

Inhibidores de corrosión,  
ampicilina,  
aceros 1018 y 8620

### Keywords:

Corrosion inhibitors,  
ampicillin,  
1018 and 8620 steels

### RESUMEN

En este trabajo se presenta la evaluación de la ampicilina como inhibidor orgánico de la corrosión en los aceros AISI 1018 y AISI 8620, se resalta la importancia de la reutilización de los antibióticos caducados como inhibidores útiles para la disminución de la corrosión como una alternativa. Se utilizó la técnica de espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) para observar los cambios en la resistencia de polarización ( $R_p$ ) en los aceros, los resultados de la EIS muestran que conforme se añade una mayor cantidad de inhibidor, la resistencia de polarización  $R_p$  aumenta y dado que la  $R_p$  se relaciona de manera inversa con la velocidad de corrosión esto significa que disminuye el proceso de corrosión.

### ABSTRACT

In this work the evaluation of ampicillin as an organic corrosion inhibitor for AISI 1018 and AISI 8620 steels is presented, the importance of the reuse of expired antibiotics as useful inhibitors for the diminution of corrosion as an alternative option is remarked. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) technique was used to observe changes on the polarization resistance ( $R_p$ ) on the steels, EIS results show that as the amount of the inhibitor is increased the polarization resistance  $R_p$  increases and since  $R_p$  is inversely related with the corrosion rate therefore the corrosion process is decreased.

## Introducción

### El problema de la corrosión

La corrosión es un proceso natural e inherente de la materia que se puede entender como un proceso destructivo e involuntario que generalmente comienza en la superficie (Callister, 2003). Es un fenómeno de degradación de material, que se centra en los metales, aceros y en menor medida en algunos materiales cerámicos. Los problemas y efectos a gran escala debidos a la corrosión pueden ser devastadores y, en ocasiones, costar la vida de las personas (Jones, 1996). El fenómeno de corrosión tiene varios orígenes, depende de varios factores y sus efectos cuestan a las naciones entre un 3% a 5% de su producto interno bruto (Hart, 2017). Entre las soluciones posibles para resolver este gran problema, se encuentran la adición de sustancias que protejan los materiales de este fenómeno en medios corrosivos. Estas sustancias se denominan inhibidores de corrosión y su función es disminuir la agresividad del medio corrosivo, se suelen adicionar en bajas concentraciones. Como definición se puede decir que un inhibidor de la corrosión es una sustancia que, adicionada en pequeñas cantidades disminuye la velocidad de reacción entre el metal y el medio corrosivo, por lo cual se produce cierta protección contra la corrosión. La selección del tipo de inhibidor depende tanto de la aleación, como del medio corrosivo y su efectividad es dependiente de mecanismos tales como la reacción directa con las especies químicas activas en la solución, su interferencia en las reacciones de oxidación o reducción al atacar la superficie en corrosión, o de su capacidad de formar películas finas protectoras en la superficie del metal, por mencionar algunos ejemplos (Callister, 2003).

### Clasificación de los inhibidores

Los inhibidores de corrosión se pueden clasificar en función de diversos criterios, entre los que se puede mencionar: (a) su mecanismo de acción (inhibidores catódicos, anódicos, mixtos y de adsorción), (b) su composición química (inhibidores inorgánicos y orgánicos) y (c) su aplicación (inhibidores para agua potable, para agua de calderas, para soluciones alcalinas, para soluciones de cloruros, para productos petrolíferos, para pinturas, para grasas y aceites, para inhibidores para anticongelantes, para hormigón armado, inhibidores de decapado e inhibidores en fase vapor) (Gómez y Alcaraz, 2004). Con respecto a su naturaleza, los inhibidores se pueden clasificar como sintéticos, naturales y residuos. Los inhibidores sintéticos a su vez se clasifican en inorgánicos y orgánicos, que a su vez se subclasifican en: arseniatos, cromatos, fosfatos, molibdatos y alcoholes acetilénicos, aminas, amidas, aromáticos y tioles respectivamente. Los inhibidores

naturales pueden obtenerse de extractos de plantas, de animales o de minerales. Finalmente, los inhibidores residuales pueden obtenerse a través de lodos residuales (Tejeda et al., 2014), ver figura 1.



Figura 1. Clasificación de los inhibidores de corrosión con respecto a su origen (Tejeda et al., 2014).

La efectividad de los inhibidores se explica mediante varios mecanismos, algunos reaccionan con las especies químicamente activas de la disolución (como el oxígeno disuelto) y las eliminan. Otros inhibidores contienen moléculas que atacan la superficie que se está corroyendo, interfiriendo en la reacción de oxidación de reducción, o formando un recubrimiento protector muy delgado. Normalmente se utilizan inhibidores en los sistemas cerrados como radiadores de automoción o intercambiadores de calor (Callister y Rethwisch, 2016).

Además, el éxito en la aplicación de los inhibidores depende de parámetros como la temperatura (que en materiales ferrosos, es óptimo a valores por debajo de 121 a 149°C. (Finšgar y Jackson, 2014)); el pH, la composición de los medios corrosivos, entre otros, evitando el uso excesivo de productos químicos o una aplicación insuficiente (Hart, 2017). En los inhibidores inorgánicos, los aniones son los responsables de reducir la velocidad de corrosión en el metal (Tansuğ et al., 2014). Los sistemas de agua de refrigeración demandan la mayor cantidad de inhibidor y generalmente se emplean inhibidores inorgánicos para estos sistemas (Hart, 2017). Por su parte, los inhibidores orgánicos actúan, en su mayoría, por medio de adsorción en la superficie del metal, y es tanto su disponibilidad de pares solitarios y como sus electrones  $\pi$  lo que facilita la transferencia de electrones desde el inhibidor hacia el

metal, formando un enlace covalente coordinado (Chauhan y Gunasekaran, 2007). Los inhibidores orgánicos de corrosión ofrecen una solución simple para la protección de metales en ambientes acuosos contra la corrosión, motivo por el cual se estudian con frecuencia. Existen diversos tipos de inhibidores de corrosión cuyas aplicaciones industriales se emplean en sistemas de refrigeración, unidades de producción de petróleo y gas, calderas, tuberías, procesos de decapado, entre otros.

### Inhibidores bifuncionales

Los aceros son los materiales más utilizados y existe la necesidad de desarrollar aún más la aplicación de inhibidores orgánicos para la protección de éstos. Además, la creciente preocupación por el uso de productos químicos "verdes" para tales fines, insta a las investigaciones que se enfocan en los inhibidores de corrosión orgánicos. Para este propósito, el diseño molecular y la síntesis de nuevos inhibidores orgánicos se han pronunciado como una forma prometedora para adaptar un compuesto equipado con multitarea. (Hart, 2017). De entre los diversos tipos de inhibidores, la principal limitante para el uso de un gran número de ellos en la actualidad es su elevada toxicidad, razón por la cual la investigación se ha enfocado en el uso de alternativas más amigables con el medio ambiente. Algunas de estas alternativas se encuentran en el uso de fármacos activos por su elevada inocuidad en el ambiente, así como de medicamentos que ya han sido expirados; estos últimos tienen el potencial para contaminar el entorno y es la razón por la cual no deben ser desechados, sino reutilizados; de esta manera se disminuyen problemas ambientales gracias a este comportamiento bifuncional. Además, el uso de antibióticos como inhibidores de la corrosión podría evitar varios tipos de corrosión pues, por un lado, las moléculas interfieren en los procesos corrosivos, bien por adsorción en el material expuesto, o bien por cambios en el comportamiento eléctrico del material, así como que también podrían prevenir la corrosión que es producida por algunos microorganismos. (Morad, 2008).

El procedimiento típico para evaluar la corrosión en aceros consiste en obtener las probetas del metal a estudiar, éstas se montan sobre un soporte polimérico como baquelita (Figura 2), la superficie de metal expuesta es desbastada y pulida para interactuar con el medio corrosivo (por ejemplo, un medio ácido), se les coloca una terminal para poder utilizarla como electrodo de trabajo, adicionalmente se utiliza un par de electrodos más: uno de referencia y un contraelectrodo. Posteriormente, se utiliza un potenciostato-galvanostato para realizar un análisis de impedancia electroquímica (EIS, por sus siglas en inglés). Al momento de realizar las mediciones, primero se analiza la muestra (probeta) en

el medio corrosivo (o solución blanco) y posteriormente se añaden las pequeñas cantidades de la solución inhibidora (medidas en partes por millón, ppm). Como resultados se obtendrán las curvas características (espectros de impedancia) para cada una de las diferentes concentraciones (ppm) del inhibidor, que resultan de graficar impedancia imaginaria,  $Z_{im}$ , contra impedancia real,  $Z_{re}$ , ambas medidas en ohm. En estos gráficos llamados de Nyquist, el eje  $Z_{im}$  está asociado con procesos de adsorción o capacitivos, en tanto que el eje  $Z_{re}$  está asociado con procesos de resistencia eléctrica del sistema que pueden ser asociados con la resistencia de la reacción de oxidación. En la presente investigación se presenta la evaluación de la corrosión utilizando la ampicilina como inhibidor orgánico de la corrosión para aceros AISI 1018 y 8620 en medio ácido utilizando la EIS como técnica de caracterización electroquímica.

### Metodología

#### Preparación de las probetas AISI 1018 y 8620

Las probetas se obtuvieron de dos barras de acero 1018 y 8620 respectivamente. Se cortaron con un espesor de 1 cm cada una y se montaron en baquelita con ayuda de máquinas para cortar, montar y una resistencia eléctrica para el calentamiento de la baquelita. Posteriormente las probetas fueron desbastadas en su superficie metálica, con papeles abrasivos de los números 80, 180, 220, 320, 400 y 600, a cada probeta se le colocó un tornillo como contacto eléctrico y para utilizarlas como electrodos de trabajo, ver figura 2.



Figura 2. Detalle final de una probeta de acero AISI 8620 montada en baquelita.

#### Caracterización electroquímica EIS de las probetas

Primeramente, se procedió a la preparación del medio corrosivo y el inhibidor. Se preparó una solución de ácido clorhídrico (0.5 M HCl) y una solución madre de ampicilina (0.02 M Ampicilina en 0.5 M HCl). Después se procedió a la preparación de las celdas electroquímicas. Se vertieron 35 ml de la solución ácida en un vaso de

precipitados de 100 ml, después se colocaron los electrodos de trabajo (probeta montada), de referencia (Ag/AgCl 3M NaCl) y el contraelectrodo de grafito dentro del vaso, dando origen a la celda electroquímica. Finalmente, los electrodos se conectaron a un equipo potencióstato-galvanostato Zahner Zenium que realizó las mediciones de impedancia. Las mediciones se realizaron al potencial de circuito abierto con una amplitud de perturbación de  $\pm 10$  mV. Antes de realizar las mediciones se permitió la estabilización del sistema por 5 minutos.

Las mediciones de impedancia se realizaron en la solución blanco y posteriormente se realizaron las pruebas con las diferentes adiciones de inhibidor, en partes por millón (ppm): 10, 50, 100, 200, 300, 400. Estas adiciones fueron hechas con micropipeta y se agitó con una parrilla eléctrica con agitador magnético durante un minuto; posterior a este tiempo, se detuvo la agitación y se procedió a la medición.

## Resultados y Discusión

### Caracterización por espectroscopia de impedancia electroquímica

En la figura 3 se muestran las curvas asociadas a la probeta de acero 8620, cada curva provee información sobre la resistencia eléctrica asociada a la oxidación del acero en contacto con la solución ácida a diferentes concentraciones de inhibidor. En el eje de impedancia real,  $Z_{re}$ , los semicírculos comienzan en un punto en común, que es la resistencia de la solución,  $R_s$ , observada en frecuencias altas, mientras que en bajas frecuencias hay otra intersección asociada a otra resistencia a bajas frecuencias. La diferencia de valores entre ambos puntos se denomina resistencia a la polarización,  $R_p$ , que dicho de otra manera corresponde con el diámetro de los semicírculos de cada curva EIS, de los aceros para cada valor de ppm. El valor de la  $R_p$  se asocia a la resistencia que tiene la reacción de oxidación (del proceso corrosivo del acero en medio ácido).

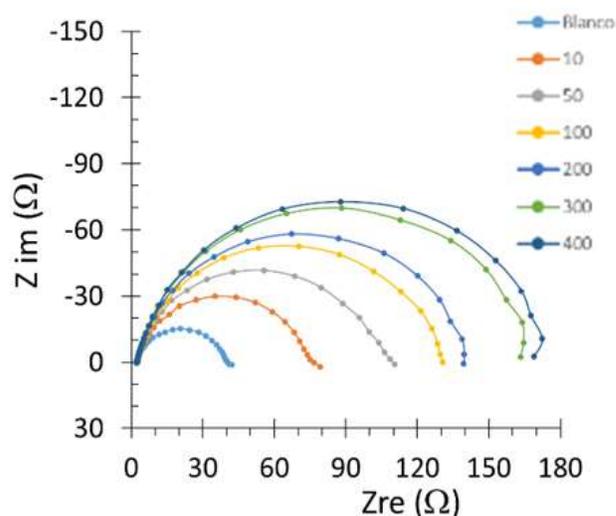
La resistencia a la polarización del acero 8620 en el medio ácido 0.5 M HCl se obtiene del diámetro del semicírculo de la curva de impedancia en ausencia de ampicilina, su valor es  $37.4 \Omega$  (tabla 1).

Posteriormente, al añadir las primeras 10 ppm del inhibidor en la celda se observa un aumento considerable en el valor de  $R_p$ , alcanzando un valor de  $71.7 \Omega$ , que equivale a casi el doble del valor inicial. Se observa que cuanto mayor sea la cantidad de inhibidor añadida, mayor será la resistencia obtenida, aunque la tendencia de este comportamiento claramente no es lineal; por el contrario, la diferencia entre la nueva resistencia obtenida y la anterior disminuye, con lo cual el sistema

tiene una diferencia entre valores cada vez menor, aproximándose a cero, en cuyo caso la eficiencia de inhibición de la ampicilina habrá llegado a su máximo.

En la figura 3 se puede observar que conforme se añade la solución antibiótica al medio ácido en la celda electroquímica, los semicírculos descritos son más grandes, y con ello se obtienen valores de  $R_p$  mayores.

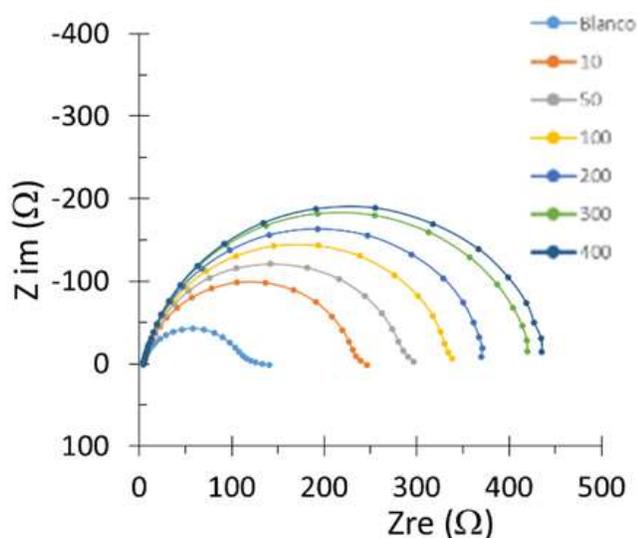
Al obtener valores cada vez más altos de  $R_p$ , existirá una mayor resistencia eléctrica, que es la oposición al paso de los electrones, y en consecuencia, tanto la reacción de oxidación en la superficie del metal como la corrosión en el mismo serán menores.



**Figura 3.** Espectros de impedancia para el acero AISI 8620 en 0.5 M HCl. La curva azul más pequeña (en la esquina inferior izquierda) corresponde al sistema sin inhibidor (solución blanco). Las curvas posteriores (de menor a mayor y de izquierda a derecha) corresponden a las concentraciones de inhibidor (ampicilina) 10, 50, 100, 200, 300 y 400 ppm respectivamente.

Un comportamiento similar ocurre en la experimentación con la probeta de acero 1018 (Figura 4), pero con algunas diferencias: si bien los espectros de impedancia son semejantes, los valores de  $R_p$  difieren considerablemente.

En las probetas 8620 los valores de resistencia son del orden de algunas decenas y al añadir la primera concentración de inhibidor, el valor de  $R_p$  apenas se acerca al doble del valor inicial, mientras que en las probetas de acero 1018 los valores de resistencia se encuentran ya en el orden de centenas y el valor de  $R_p$  obtenido al agregar la primera concentración del inhibidor sobrepasa el doble del valor inicial. No obstante, la tendencia de alcanzar un valor máximo de inhibición ocurre en ambos materiales.



**Figura 4.** Espectros de impedancia para el acero AISI 1018 en 0.5 M HCl. La curva azul más pequeña (en la esquina inferior izquierda) corresponde al sistema sin inhibidor (solución blanco). Las curvas posteriores (de menor a mayor y de izquierda a derecha) corresponden a las concentraciones de inhibidor (ampicilina) 10, 50, 100, 200, 300 y 400 ppm respectivamente.

El valor de resistencia a la polarización,  $R_p$ , máximo obtenido con la concentración máxima de inhibidor (400 ppm) es de 169.8  $\Omega$  para el acero 8620 (Tabla 1), mientras que para el acero 1018 es de 431.0  $\Omega$ . Dado que ambos sistemas se encuentran en las mismas condiciones experimentales, la diferencia de los valores  $R_p$  se atribuye a la diferente composición del 1018 vs 8620.

**Tabla 1.** Valores de resistencia a la polarización ( $R_p$ ) y de porcentaje de eficiencia de inhibición (%EI) para los aceros 1018 y 8620 en 0.5 M HCl, a diferentes concentraciones de inhibidor (ampicilina).

Ampicilina ppm	Acero 8620		Acero 1018	
	$R_p$ ( $\Omega$ )	%EI	$R_p$ ( $\Omega$ )	%EI
0	37.4	0	108.0	0
10	71.7	47.84	230.0	53.04
50	106.8	64.98	287.0	62.37
100	128.5	70.89	334.0	67.66
200	137.8	72.86	366.0	70.49
300	162.4	76.97	415.6	74.01
400	169.8	77.97	431.0	74.94

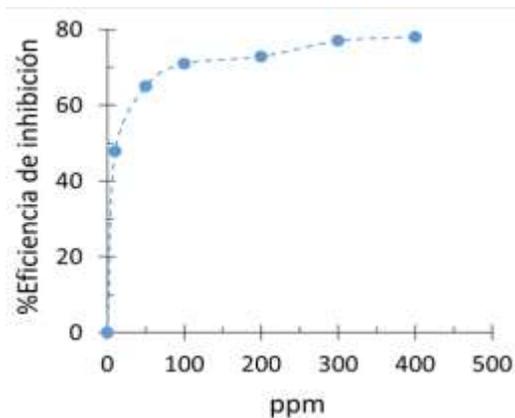
Tras haber obtenido los valores de resistencia a la polarización a diferentes concentraciones de inhibidor, se calcula el porcentaje de eficiencia de inhibición a través de la ecuación siguiente:

$$\%Eficiencia = \frac{\frac{1}{R_{p(B)}} - \frac{1}{R_{p(C)}}}{\frac{1}{R_{p(B)}}} \times 100 \quad Ec. 1$$

Donde:  $R_{p(B)}$  es la resistencia a la polarización del blanco (sin inhibidor) y  $R_{p(C)}$  es la resistencia a la polarización a una concentración específica de inhibidor.

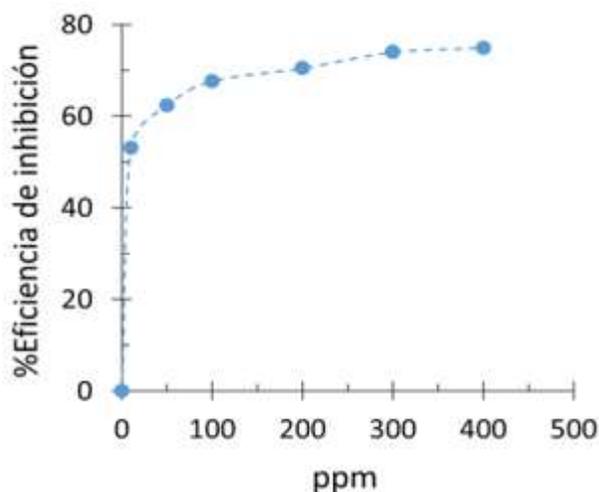
Con los valores obtenidos con la ecuación 1, se construyen las siguientes gráficas de porcentaje de eficiencia de inhibición (%Eficiencia de inhibición) contra la concentración del inhibidor (en ppm)

En la figura 5, en la curva de eficiencia para el acero 8620, se observa que al añadir la primera concentración de ampicilina (10 ppm), hay un aumento en la eficiencia de inhibición que aumenta de cero a casi 50%. Sin embargo, al añadir cantidades mayores, la tendencia no muestra un aumento lineal en la eficiencia de inhibición, sino que tiende a un valor límite. Los porcentajes de eficiencia de inhibición en el acero 8620 a 200ppm, 300ppm y 400 ppm son 72.86, 76.97 y 77.97, respectivamente. La utilización de una mayor cantidad de inhibidor, de 200 ppm a 300 ppm o 400ppm no incrementa de manera significativa el proceso de inhibición, pero si lo encarece. Por lo que un valor óptimo de inhibidor podría ser 200ppm.



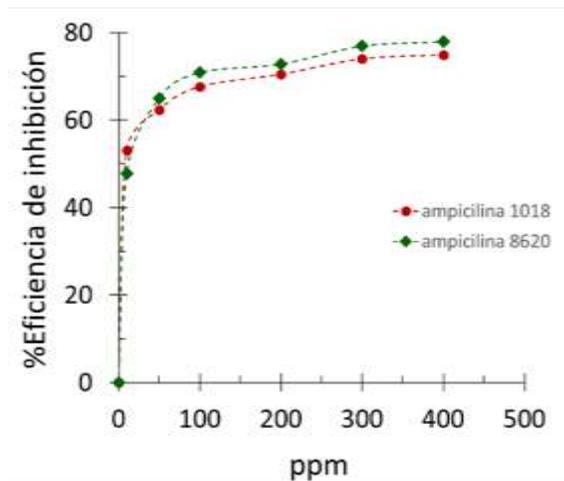
**Figura 5.** Curva del % eficiencia de inhibición del acero AISI 8620 en 0.5M HCl.

Un caso similar ocurre en el comportamiento del acero 1018. Cuando se añaden las primeras 10 ppm del inhibidor ampicilina, el porcentaje de eficiencia de inhibición varía de cero a poco más del 50%; a 200 ppm el porcentaje de eficiencia es de 70.49 (Tabla 1).



**Figura 6.** Curva del porcentaje de eficiencia de inhibición del acero AISI 1018 en 0.5M HCl.

Por último, en la figura 7 se muestra la comparación entre ambas curvas de eficiencia de inhibición de ambos casos 8620 y 1018, en esta figura se observa claramente que la eficiencia es mayor en el acero 8620 para las diferentes cantidades de ampicilina, en el medio 0.5M de HCl.



**Figura 7.** Comparación de las curvas del %eficiencia de inhibición contra concentración de inhibidor (ampicilina) en ppm, en 0.5 M HCl, para los aceros AISI 1018 y 8620.

### Conclusiones

Por medio de la espectroscopia de impedancia electroquímica y utilizando 200 ppm de ampicilina en medio 0.5M HCl, se obtuvo un porcentaje de eficiencia de inhibición de 72.86% en el acero 8620 y de 70.49% en el caso del acero 1018. Los porcentajes de eficiencia de inhibición se incrementaron a 76.97% (acero 8620) y 74.01% (acero 1018) cuando se utilizaron 300 ppm de ampicilina en el mismo medio, por lo que la utilización de

una mayor cantidad de 200 ppm a 300 ppm no incrementa de manera significativa el proceso de inhibición, pero si lo encarece. La diferencia en el porcentaje de inhibición entre los aceros 8620 y 1018, a una misma cantidad de ppm se atribuye a la diferente composición de los aceros. Por último, el porcentaje de inhibición no logra alcanzar el 90% en ambos aceros, por lo que el uso de la ampicilina como inhibidor de corrosión no resulta suficientemente efectivo para uso industrial, aunque puede resultar viable si se utiliza ampicilina al término de su fecha de caducidad, lo cual permitiría reciclar y reducir costos.

### Agradecimientos

Agradecimiento especial al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de Maestría, a la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM-A) por apoyar la realización de la presente investigación.

### Referencias

- Callister W. D. (2003). Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. 3ª Ed. Reverté, p. 566, 586.
- Callister W. D., Rethwisch D. G. (2016). Ciencia e ingeniería de materiales. 2ª Ed. Reverté, p. 664.
- Chauhan L., Gunasekaran, G. (2007). Corrosion inhibition of mild steel by plant extract in dilute HCl médium. *Corrosion Science*, 49, 1143–1161.
- Finšgar M., Jackson, J. (2014). Application of corrosion inhibitors for steels in acidic media for the oil and gas industry: A review. *Corrosion Science*, 86, 17–41.
- Gómez F. C., Alzaraz D. J. (2004). Manual básico de corrosión para ingenieros, Murcia: Universidad de Murcia, p. 95.
- Hart E. (2017). Corrosion Inhibitors: Principles, Mechanisms and Applications. Nova Science Publishers, Inc., p. viii.
- Jones D. A. (1996). Principles and prevention of corrosion. 2nd Ed. Prentice-Hall, Inc., p. 5.
- Morad M. S. (2008). Inhibition of iron corrosion in acid solutions by Cefatrexyl: Behaviour near and at the corrosion potential. *Corrosion Science*, 50(2), 436–448.
- Tansuğ G., Tüken T., Giray E. S., Fındıkkıran G., Sığırıcık G., Demirkol O., Erbil M. (2014). A new corrosion inhibitor for copper protection. *Corrosion Science*, 84, 21–29.
- Tejeda L. P., Meza P. J., Altamiranda E. D., Berrocal M. J. (2014). Uso de extractos de plantas como inhibidores de corrosión. *Informador Técnico (Colombia)*, 78(2), 155–164.