

RECUBRIMIENTOS ORGÁNICOS A BASE DE ACEITE DE LINAZA COMO INHIBIDOR DE LA CORROSIÓN

**Jorge Armando Tello González¹, Gonzalo Martínez Barrera^{2*},
Enrique Viguera Santiago², Víctor Varela Guerrero³**

¹Posgrado en Ciencia de Materiales, Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, Paseo Colon esquina Paseo Tollocan S/N, 50180 Toluca, México.

²Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Materiales Avanzados (LIDMA), Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, Km.12 de la carretera Toluca-Atlaconulco, San Cayetano 50200, México.

³Universidad Autónoma del Estado de México, UAEM, Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable CCIQS, UAEM-UNAM, Carretera Toluca-Atlaconulco, km 14.5, C.P. 50200 Toluca, Estado de México, México.

jorgearmando_tello31@hotmail.com, gonzomartinez02@yahoo.com.mx,
enriqueviguera@yahoo.com.mx, vvgvic@hotmail.com

<https://doi.org/10.3926/oms.409.05>

Tello González, J. A., Martínez Barrera, G., Viguera Santiago, E., & Varela Guerrero, V. (2022). Recubrimientos orgánicos a base de aceite de linaza como inhibidor de la corrosión. En E. Viguera Santiago y G. Martínez Barrera (Ed.), *Materiales Avanzados y Nanomateriales: aprovechamiento de fuentes naturales y sus beneficios al medio ambiente* (pp. 121-140). Barcelona, España: OmniaScience

Resumen

Los metales en dispositivos, máquinas y herramientas, reaccionan con el medio ambiente causando en ellos corrosión; un proceso considerado natural y espontáneo, en el cual van disminuyendo los valores de las propiedades físicas, químicas y mecánicas, manifestado por el envejecimiento. La corrosión es difícil de controlar y sus efectos son cada día más graves. Más aún, los costos causados por la corrosión y su prevención tienen un impacto económico significativo. Sin embargo, la aplicación de recubrimientos orgánicos para la protección de metales contra el proceso de corrosión, ha ido en aumento en la última década, teniendo resultados muy satisfactorios. Tales recubrimientos, deben cumplir con ser durables, adheribles al sustrato, ser flexibles, resistentes al impacto y al agrietamiento, así como mantener su apariencia cuando está sujeto a tensión, desgaste mecánico y erosión. Por estas razones, en la primera sección de este capítulo se describe el fenómeno de corrosión y los factores que la provocan; en la segunda se describe la clasificación de los procesos de corrosión. Mientras que, en la siguiente sección, se mencionan las características de los recubrimientos orgánicos, en particular las del aceite de linaza. Finalmente, en la última sección se muestran avances de la investigación sobre recubrimientos de acero con aceite de linaza, llevada a cabo por el grupo de Materiales de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM).

Palabras clave

Acero, corrosión, recubrimientos, aceite de linaza, propiedades mecánicas.

1. Introducción

La corrosión es una interacción fisicoquímica entre un material y su ambiente. El proceso electroquímico llevado a cabo, puede ser medido, repetido y predicho, en condiciones controladas. En el caso de un metal, se produce deterioro a causa de las reacciones químicas, provocando disminución en sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Existen diferentes factores que contribuyen para que la corrosión se presente, como es el tipo de material en contacto, la temperatura y tiempo de exposición, medio que lo rodea, superficie, entre otros. Al incrementar la temperatura, la velocidad de corrosión se incrementa debido a que se acelera la reacción cinética. Por ejemplo, un incremento de 2 °C incrementa el doble la tasa de corrosión (Charng & Lansing, 1982). Si se incrementa el tiempo de exposición de un material, el incremento de la tasa de corrosión es linealmente (NACE, 1984). En la mayoría de los casos de corrosión la presencia de sustancias en la superficie y en el ambiente influyen en el inicio de la corrosión, por ejemplo, en las zonas cercanas al mar existe un ambiente salino, el cual induce a condiciones adecuadas para el inicio de la corrosión. La humedad relativamente alta tiene bastante influencia en la propagación de la corrosión, ya que a mayor porcentaje (>50 HR %) la velocidad de corrosión se incrementa.

2. Clasificación de los procesos de corrosión

Hay diferentes procesos de corrosión, los cuales pueden ser divididos de acuerdo: i) con el medio en el cual se desarrolla, ii) con su morfología de ataque, iii) según su mecanismo, y iv) a efectos combinados.

2.1. Clasificación de acuerdo con el medio

Este tipo de corrosión ocurre cuando se encuentra el metal en contacto con un medio húmedo y un electrolito. La electricidad es capaz de transportarse a través del electrolito, en consecuencia, se genera corrosión. El agua de mar y las soluciones salinas son ejemplos claros de este tipo de corrosión. En otros casos, la corrosión se presenta cuando el material es sometido a temperaturas altas, el metal reacciona con un medio no iónico, y se produce ataque en la superficie de zona metálica (EPN).

2.2. Clasificación de acuerdo con su morfología de ataque

Este tipo de corrosión se caracteriza por mostrar un ataque homogéneo sobre la superficie del material, deteriorando y removiendo por completo la superficie. Es la forma más simple y común. Se presenta gran pérdida de material. La penetración es la misma en casi toda la superficie atacada. Debido a que la corrosión es uniforme (Figura 1), la velocidad de corrosión para materiales es expresado en términos de pérdida de espesor del metal por unidad de tiempo. La velocidad de corrosión usualmente este dada en micrómetros por año, con lo cual es relativamente fácil hacer una estimación de la vida útil del material. La corrosión uniforme se presente en los aceros al carbono sin recubrimiento que están expuestos a condiciones atmosféricas (Revie, 2011).

El ataque se puede concentrar solo en algunas zonas de la superficie del metal, es decir es puntual (Figura 2). La mayoría de las veces, este tipo de corrosión causa problemas en los metales que afectan su desempeño.

La corrosión se puede presentarse en la frontera de los límites de grano de la estructura metálica (Figura 3). Este ataque provoca ductilidad y pérdida o degradación mecánica. El ataque suele ser rápido, penetra profundamente dentro del metal y puede causar la falla. En el caso del acero inoxidable austenítico, el ataque es debido a la formación de precipitados de carburo durante el proceso de soldadura. Normalmente esta forma de corrosión puede ser prevenida usando el material y proceso de producción adecuados.

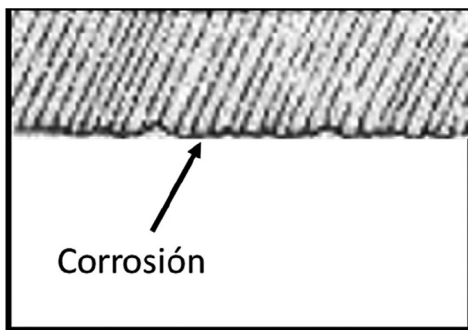


Figura 1. Corrosión uniforme

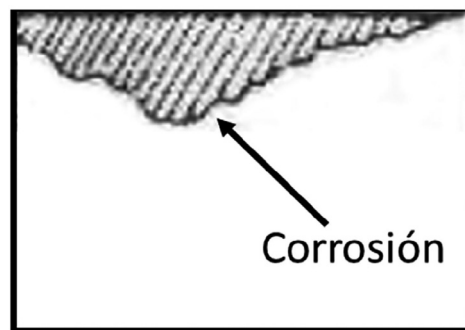


Figura 2. Corrosión localizada

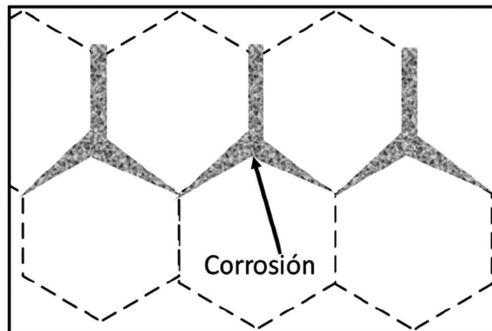


Figura 3. Corrosión intergranular

La pérdida de metal en ciertas zonas de la superficie, crean pequeños orificios o picaduras en el metal (Figura 4), Se presenta en metales y aleaciones pasivos como el aluminio y aceros inoxidable. La corrosión inicia en una zona de la capa pasiva, principalmente por iones de cloruro. La cantidad de material removido debajo de los orificios generalmente es desconocido. Ciertas cavidades pueden formarse, haciendo más difícil de detectar y predecir la corrosión.

2.3. Clasificación según su mecanismo

Este tipo de corrosión se presenta entre dos materiales que están en contacto en un ambiente húmedo (electrolito), en donde se detecta una diferencia de poten-

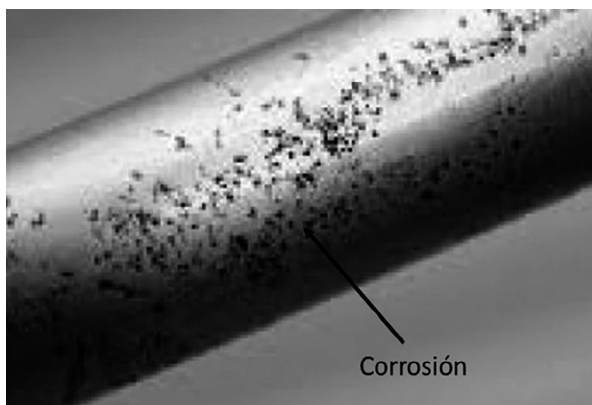


Figura 4. Corrosión por picadura

cial (Figura 5). Cuando se produce la corrosión galvánica, el metal menos noble (ánodo) se corroe, mientras que el metal más noble (cátodo) no es atacado por la corrosión, sino que al contrario es protegido generando ánodos de sacrificio que evitan la corrosión.

Para evitar la corrosión galvánica la mejor recomendación es hacer una selección de materiales metálicos adecuada. Sin embargo, esto no siempre es posible y en ocasiones se deben tomar otras consideraciones, entre ellas la separación galvánica, como se muestra en la Figura 6.

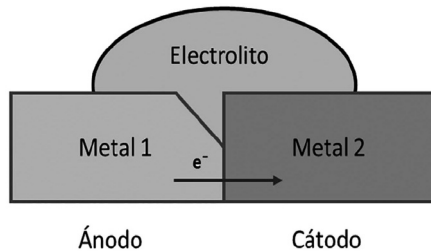


Figura 5. Corrosión galvánica entre dos metales

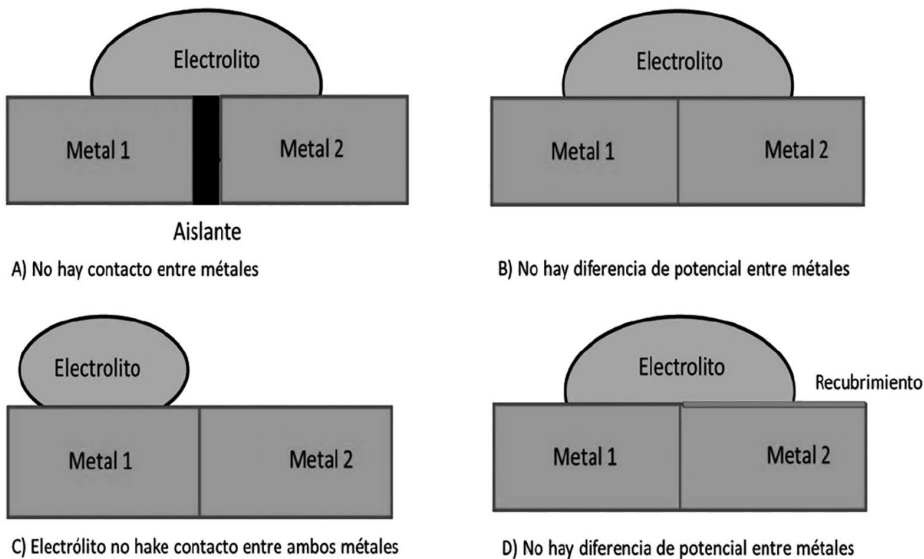


Figura 6. Consideraciones en la corrosión galvánica entre dos metales

De acuerdo a la teoría, para minimizar la corrosión galvánica se debe tener una diferencia de potencial mínima entre ambos metales. La diferencia de potencial para varios materiales sumergidos en agua de mar, varían desde valores positivos (de +0.05 a +0.38 para el platino), valores positivos y negativos a la vez (de -0.17 a 0.32 para el oro), así como valores negativos para la mayoría de ellos (Plata, Níquel, Molibdeno, acero inoxidable, cobre, acero al carbono, aleaciones de aluminio y zinc), que van de -1.12 hasta -0.4.

2.4. Clasificación por efectos combinados

En la corrosión por fisuras se contemplan la combinación de los procesos de corrosión electroquímico y mecánico, lo cual propicia agrietamiento en ciertos materiales. Se puede llevar a falla frágil en materiales dúctiles sujetos a niveles de esfuerzos por debajo del esfuerzo de cedencia. Se generan esfuerzos internos en el material, estos suelen ser suficientes para iniciar un ataque de corrosión por fisura. Una simple picadura es formada y desarrollada sobre la grieta debido a esfuerzos residuales en el material. Dependiendo de la aleación y el medio corrosivo, la grieta puede ser intergranular o transgranular. La velocidad de propagación de la grieta puede variar y ser afectada dependiendo de los niveles de esfuerzos, temperatura y concentración del medio corrosivo. Para este tipo de corrosión se consideran: los esfuerzos en tensión, los materiales (aleación susceptible), y el ambiente (altamente corrosivo) (Figura 7).

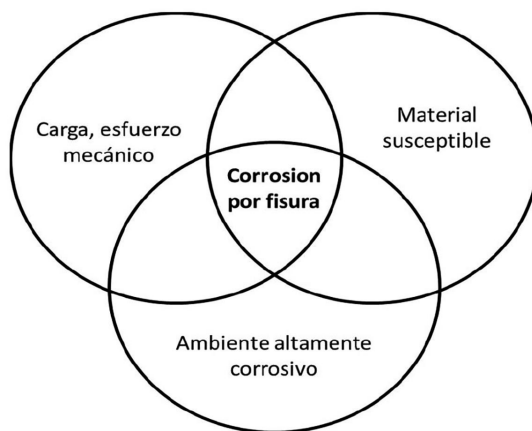


Figura 7. Factores que intervienen en la corrosión por fisura

La corrosión por fatiga, es similar a la corrosión por fisura, la diferencia radica en tener esfuerzos cíclicos y fluctuantes. Cuando los esfuerzos aumentan, el material se empieza a degradar, reduciendo el número de ciclos requeridos para que el material presente una falla que no se tenía contemplada. Se debe tener en mente que cualquier esfuerzo que haya sido inducido al material durante su fabricación, deberá ser removido mediante un apropiado proceso de liberación de esfuerzos.

La corrosión atmosférica es un proceso electroquímico que se presente en presencia de un metal, un electrolito, un medio corrosivo y la atmósfera. Ciertos factores como la humedad relativa, temperatura, contenido de cloruro, sulfuro de hidrógeno, polvo, lluvia, posición de exposición del metal y geografía influyen en el proceso de corrosión (Schweitzer, 2007). En ausencia de humedad (electrolito), la corrosión del metal ocurre a un ritmo insignificante. Por ejemplo, un acero al carbono expuesto en el desierto permanecerá brillante por un periodo de tiempo largo.

2.4.1. Tipos de atmósferas corrosivas

La velocidad de corrosión es afectada por las condiciones locales. Las atmósferas son divididas en: Atmósfera rural, atmósfera industrial y atmósfera marina. En zonas rurales o con muy poca actividad manufacturera, el problema de la corrosión es bastante bajo, ya que existen contaminantes químicos que puedan afectar o acelerar la corrosión. En la atmósfera industrial los tipos de contaminantes por el azufre (dióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno) toman gran importancia. La combustión de grandes cantidades de combustibles derivados del petróleo genera dióxido de azufre, el cual en presencia de humedad se convierte en ácido sulfúrico. Estos contaminantes se depositan sobre la superficie metálica expuesta y en conjunto con el rocío y la niebla generan una capa húmeda, ácida y corrosiva.

En ambientes marinos existe ataque debido a los cloruros (finas gotas de cristal), formados por evaporación y transportadas por el viento hasta ser depositados en la superficie metálica expuesta. Derivado de estas condiciones atmosféricas, un material que es resistente a una cierta atmósfera no será resistente en otra atmósfera diferente. Por ejemplo, un acero galvanizado es adecuado para aplicaciones en atmósferas rurales, pero en una atmósfera industrial la aplicación no será adecuada.

3. Recubrimientos orgánicos

El retraso del proceso de corrosión se puede realizar con inhibidores y tratamientos de conversión química, los cuales pueden aplicarse después de una preparación superficial, regularmente mediante un ataque químico. El objetivo es crear un perfil de rugosidad que funcione como anclaje para los recubrimientos, para aumentar la adherencia y proporcionar una protección anticorrosiva extra, que permita alargar el tiempo de vida útil del sistema metal-recubrimiento (Kuznetsov, 2001; Oleinik & Kuznetsov, 2007).

Uno de los procesos más efectivos para la protección de los diversos metales contra el proceso de corrosión, es la aplicación de los recubrimientos orgánicos. Un recubrimiento anticorrosivo debe ser durable, con buena adherencia al sustrato, adecuada flexibilidad y resistente al impacto y al agrietamiento, así como mantener su apariencia cuando está sujeto a tensión, desgaste mecánico y erosión (González, 1989).

Los recubrimientos orgánicos pueden ser materiales a base de polímeros, los cuales forman una capa delgada sobre la superficie del sustrato metálico, la cual es resistente a la degradación y evita que el material cubierto sea expuesto al medio corrosivo. Es el mecanismo de protección más utilizado contra los procesos de corrosión (Schweitzer, 2006).

Los recubrimientos orgánicos constituyen una barrera relativamente delgada entre el material del sustrato y el medio corrosivo. Aunque por lo general actúan como una barrera física entre el medio corrosivo y el metal a proteger, también pueden servir como sustrato para posteriormente agregar inhibidores.

Los mecanismos con los que el recubrimiento protege al material de la corrosión, se basan en:

1. Crear una barrera ante los agentes corrosivos como el oxígeno y el agua.
2. Generar una protección catódica.
3. El uso de pigmento para que la superficie se neutraliza químicamente.

El recubrimiento se conforma de tres elementos principales; la resina o ligante, el solvente, y el pigmento. La resina o ligante es considerado como un elemento primordial durante la formulación, ya que ayuda a obtener la mayor parte de las pro-

propiedades fisicoquímicas del recubrimiento. Es un polímero que genera una capa o película delgada que se adhiere al sustrato. Adicionalmente tiene como función aglutinar el pigmento después de ser secado (Knudsen & Forsgren, 2017).

El solvente es de suma importancia, ya que es parte de la composición durante el proceso de formación de la capa delgada. Es el responsable de adherir el recubrimiento a la superficie del material y adicionalmente mantiene unidas las partículas del pigmento. Una vez que el recubrimiento ha curado, se dice que el solvente ya se ha evaporado por completo e inicia la etapa de protección química contra la corrosión.

El pigmento genera apariencia, color, brillo, opacidad, aumenta la adhesión, ayuda a proteger el recubrimiento de la degradación provocada por la radiación ultravioleta. Si el recubrimiento no lleva pigmento (laca o barniz), se reduce la protección contra la corrosión.

Para una adecuada elección del recubrimiento se deben tomar en cuenta ciertos factores, como las condiciones químicas y ambientales donde será expuesto, superficie del metal, apariencia, costo, entre otros. Para que exista una adecuada adherencia entre el recubrimiento y el sustrato se debe tomar en cuenta, la preparación de la superficie metálica donde será aplicado y las condiciones de operación durante el uso.

Existen diferentes tipos de recubrimientos orgánicos, entre estas resinas, polímeros de tipo alquídico, acrílico, vinílico, uretanos, entre otros. La estructura química de la resina poliéster presenta enlaces no saturados, los cuales pueden ser unidos a un monómero. El poliéster es formado por la mezcla de alcoholes polihídricos con ácidos grasos monobásicos y dibásicos. En ocasiones se agregan ácidos grasos no saturados con el propósito de modificar las propiedades como la dureza y resistencia química (Sánchez & Eduardo, 2010).

La resina alquídica se caracteriza por ser compatible con otras resinas, tiene excelente brillo, presenta buena adhesión, resisten el calor y la humedad. Debido a su bajo costo, en comparación con otras resinas, son bastante utilizadas. Entre las resinas alquídicas más utilizadas se encuentran el aceite de linaza, de soya, de coco, de castor, entre otros.

3.1. Recubrimiento orgánico de aceite de linaza

Algunos compuestos sintéticos usados como inhibidores de la corrosión son tóxicos para el ambiente. Sin embargo, investigaciones actuales se han enfocado en el uso de resinas naturales como inhibidores de la corrosión debido sus características, como ser materia prima abundante, biodegradable, contar con alto potencial y ser amigables con el medio ambiente. Estos inhibidores de la corrosión son considerados “inhibidores verdes”, ya que son extractos de plantas como el aceite, los cuales son biocompatibles y de origen biológico.

En el caso del aceite de linaza, se ha aplicado en recubrimientos, lubricantes, pinturas y barnices. Como recubrimientos presentan alta eficiencia en la inhibición de la corrosión de aceros al carbono, lo cual tiende a disminuir la contaminación ambiental. En un estudio se demostró que el aceite de linaza mezclado con una solución de ácido clorhídrico comercial (HCl) diluido en agua destilada es un excelente inhibidor de la corrosión. Se utilizó una pieza metálica como muestra, la cual fue colocada en la solución de HCl por 4 horas. Al mismo tiempo otra muestra sin aceite de linaza fue sometida en solución de HCl. Los resultados muestran que las piezas sometidas a la solución de HCl y aceite de linaza disminuyeron su peso hasta 80 % menos que la muestra sin aceite de linaza (Gharda & Galai, 2018; Afia, Salghi, Benali, Jodeh, Warad, Ebenso et al., 2015).

Estudios realizados por Mahmoudian y Nozad (2016), demuestran que el acero recubierto con resina epoxi y aceite de linaza, incrementa su resistencia a la corrosión cuando es sometido en solución salina (5 % en peso de NaCl) durante 30 días. En otro estudio, se sintetizaron amidas mediante aceite de linaza, las cuales se utilizaron como recubrimiento para inhibir la corrosión en aceros al carbono (Chen, Yang & Liu, 2017). Los aceros recubiertos fueron sometidos en una solución corrosiva de HCl a 40 °C durante 4 horas. Los resultados muestran que, en 8 horas, la eficiencia es de un máximo de 97 %, pero a mayores tiempos de inmersión la eficiencia va disminuyendo, manteniéndose al 90 % después de 90 horas de inmersión.

4. Avances de investigación: Caso de estudio

En el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Materiales Avanzados (LIDMA), de la Universidad Autónoma del Estado de México, el grupo de investigación

en Materiales Compuestos, está llevando a cabo investigaciones del efecto de diversos recubrimientos en láminas de acero galvanizado comercial, las cuales son expuestas a pruebas de corrosión, denominadas de intemperismo acelerado.

Se elaboraron láminas galvanizadas calibre 22 con tamaños de 5 x 10 cm (Figura 9). Las características de tipo de recubrimiento, temperatura y tiempo de curado se muestran en la Figura 8.

Tipo de recubrimiento	Temperatura (°C)	Tiempo de curado (min)
ALE + TFA	50, 60, 70, 80	30
ALE + TFA + BA	50, 60, 70, 80	30
ALE + TFA + NC	50, 60, 70, 80	30
ALE + TFA + BA + NC	50, 60, 70, 80	30

ALE = Aceite de Linaza Epoxidado; TFA = Triflato de Aluminio; BA = Bisfenol A; NC = Negro de Carbono

Tabla 1. Condiciones de polimerización para los recubrimientos



Figura 8. Probeta de lámina galvanizada (5x10 cm)

El aceite de linaza epoxidado (ALE), se obtiene de la planta y semilla del lino. Se compone primordialmente de ácido linoleico, ácido linolénico y ácido oleico; y es considerado como el aceite más insaturado. Esto debido a que cuenta con dobles enlaces, los cuales pueden ser modificados por otros grupos funcionales mediante el proceso de epoxidación y producir lo que se conoce como aceite de linaza epoxidado. La modificación de la estructura molecular, también se puede llevar a cabo mediante reacciones con grupo ester. El aceite es tan versátil, que puede ser polimerizado por métodos convencionales y tener un rango amplio de aplicaciones.

El triflato de aluminio $\text{Al}(\text{OTf})_3$ (TFA), es un catalizador del tipo ácido de Lewis, el cual se utiliza para la apertura de anillos epóxidos. En coordinación con el oxígeno epóxido provoca que los carbonos sean más nucleofílicos, siendo más propensos a ser atacados por otros grupos funcionales (Dehonor Márquez, Viguera Santiago & Hernández López, 2019).

El bisfenol A ($\text{C}_{15}\text{H}_{16}\text{O}_2$) (BA), es un compuesto químico orgánico sintético, de apariencia blanca ante la luz y de color café en forma de polvo; ampliamente utilizado para el procesamiento de diferentes tipos de polímeros, como el policarbonato o las resinas epóxicas fenólicas, las cuales se utilizan como recubrimientos. También es utilizado como antioxidante en algunos plastificantes; los cuales mejoran ciertas propiedades en los polímeros, como la flexibilidad.

El negro de carbono (NC), está constituido de partículas coloidales producidas por la combustión incompleta o descomposición térmica de hidrocarburos gaseosos en condiciones controladas. Es considerado como carbón elemental puro, ya sea en forma de polvo o de gránulos sólido, con tamaños entre 10 y 500 nanómetros. Es utilizado en elastómeros, polímeros, pinturas y tintas de impresión. Al añadirlo, se pueden modificar las propiedades físicas y químicas del material, lo cual depende de las características del negro de carbono (morfología, tamaño de partícula, etc.) (AINC, 2016).

Los elastómeros o materiales vulcanizados utilizan el negro de carbón para modificar sus propiedades mecánicas, como son la resistencia a la tensión, resistencia al desgarre, y la resistencia a la fatiga. Mientras que, en los plásticos, se utiliza como estabilizador de rayos ultravioleta, limitando la actividad de los radicales libres que producen degradación y en consecuencia protegiendo la superficie. Finalmente, en los recubrimientos el negro de carbón es utilizado para incre-

mentar la resistencia a solventes y a la luz, así como pigmento para dar una mejor apariencia al acabado final.

Continuando con la parte experimental, se llevo a cabo la adhesión del recubrimiento sobre las láminas galvanizadas de acuerdo a lo indicado en la Tabla 1. Las probetas con recubrimiento fueron sometidas a la prueba de corrosión de acuerdo a la norma ASTM B117, la cual considera una solución salina con 5 % de concentración en peso de NaCl a una temperatura de operación de 35 °C y un tiempo de exposición de 240 horas.

Adicionalmente, con el propósito de tener una comparación, se sometieron bajo las mismas condiciones probetas sin recubrimientos, denominadas láminas testigo. La Figura 9 muestra la lámina testigo después de la prueba de corrosión con un tiempo de exposición de 240 horas. Se puede apreciar que la capa galvanizada que cubre al substrato metálico empieza a reaccionar con la solución salina, generando lo que se conoce como la corrosión blanca, la cual a tiempos de exposición mayores se convierte en corrosión roja.

La Figura 10 muestra probetas con recubrimiento de Aceite de Linaza Epoxidado y Triflato de Aluminio (ALE + TFA), después de prueba de corrosión con un tiempo de exposición de 240 horas. Se puede apreciar que no hay evidencia de corrosión sobre la superficie. Es decir, la capa superficial generada por el

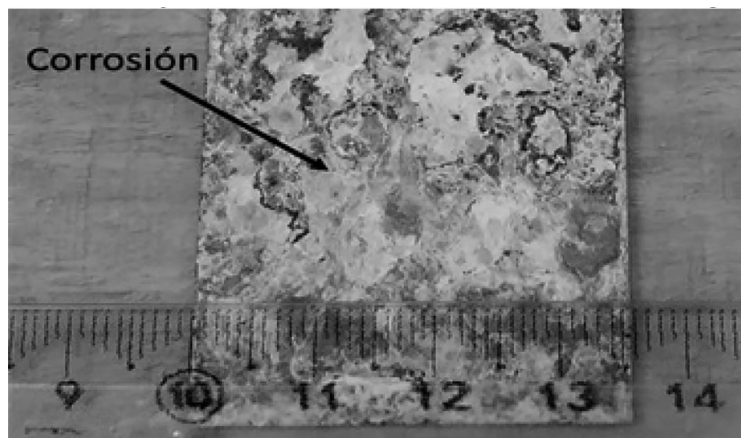


Figura 9. Probeta de lámina galvanizada sin recubrimiento

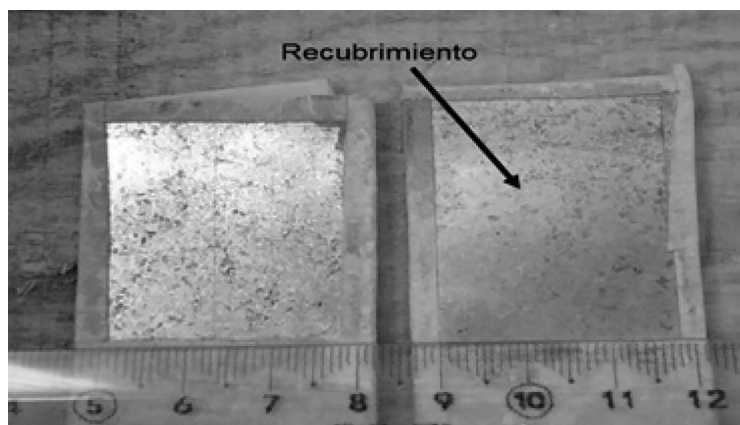


Figura 10. Probetas de lámina galvanizada con recubrimiento ALE + TFA

recubrimiento ayuda como inhibidor de la corrosión, evitando que la solución salina penetre y reaccione con la capa galvanizada de la probeta. El color ámbar del recubrimiento permanece igual, sin evidencia de alguna degradación.

La Figura 11 muestra las probetas con recubrimiento de Aceite de Linaza Epoxidado, Triflato de Aluminio y Bisfenol A (ALE + TFA + BA), después de prueba de corrosión con un tiempo de exposición de 240 horas. Se puede apreciar que no hay evidencia de corrosión sobre la superficie, ya que el recubrimiento ayuda como inhibidor de la corrosión.

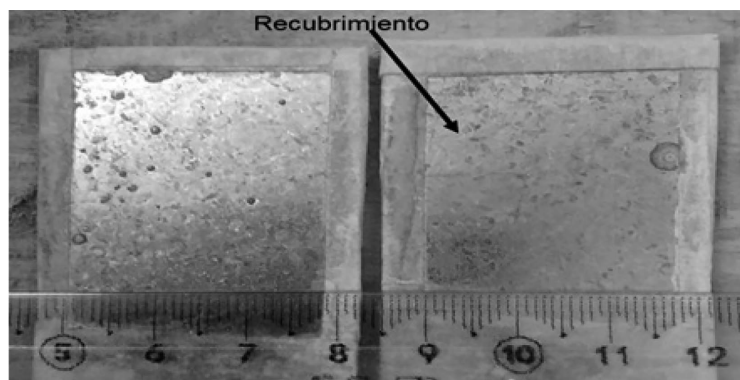


Figura 11. Probeta de lámina galvanizada con recubrimiento ALE + TFA + BA

La Figura 12 muestra a las probetas con recubrimiento de Aceite de Linaza Epoxidado, Triflato de Aluminio y Negro de Carbono (ALE + TFA + NC), después de prueba de corrosión con un tiempo de exposición de 240 horas. Se puede apreciar que no hay evidencia de corrosión sobre la superficie, debido a que el recubrimiento impide que la solución salina penetre y reaccione con la capa galvanizada. La adición del negro de carbono ayuda a darle a una buena apariencia a las probetas y también a evitar que la solución salina penetre.

La Figura 13 muestra probetas con recubrimiento de Aceite de Linaza Epoxidado, Triflato de Aluminio, Bisfenol A y Negro de Carbono (ALE + TFA + BA + NC),

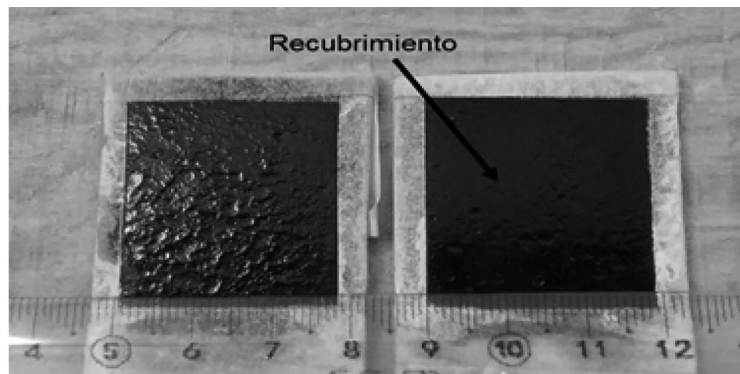


Figura 12. Probeta de lámina galvanizada con recubrimiento ALE + TFA + NC

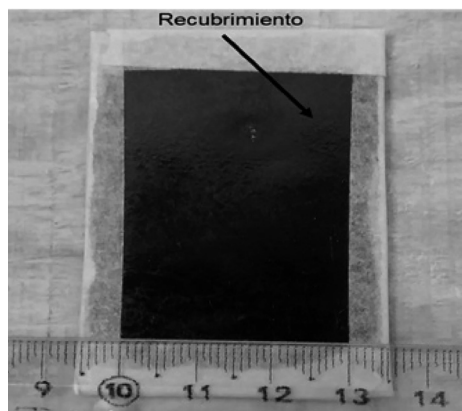


Figura 13. Probeta de lámina galvanizada con recubrimiento ALE + TFA + BA + NC

después de prueba de corrosión con un tiempo de exposición de 240 horas. Se puede apreciar que no hay evidencia de corrosión sobre la superficie.

5. Conclusiones

El uso de materiales orgánicos como recubrimiento ayuda a prevenir o reducir la corrosión, formado una barrera protectora entre el metal y el medio corrosivo. El aceite de linaza como recubrimiento es inhibidor de la corrosión, ya que produce una barrera que evita que la solución salina penetre la superficie metálica. Todos los recubrimientos después de haber estado expuestos 240 horas en prueba salina, no mostraron alguna evidencia de corrosión. Finalmente, la incorporación de negro de carbono al recubrimiento, además de ayudar a evitar la corrosión, aporta color y apariencia sobre la superficie.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Materiales Avanzados (LIDMA), de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de Mexico por las facilidades prestadas para la realización de este capítulo.

Referencias

- Afia, L., Salghi, R., Benali, O., Jodeh, S., Warad, I., Ebenso, E. et al. (2015). Electrochemical evaluation of linseed oil as environment-friendly inhibitor for corrosion of steel in HCl solution, *Port. Electrochim. Acta*, 33(3), 137-153. <https://doi.org/10.4152/pea.pea.20150313>
- AINC (Asociación Internacional de negro de carbón) (2016). *Guía del usuario de Negro de Carbón*. www.carbon-black.org.
- Charng, T., & Lansing, F. (1982). *Review of corrosion causes and corrosion control in a technical facility*. NASA. Reference Number RN 14767252, Report Number N-823052, INIS Volume 14, INIS Issue 14.

- Chen, Y., Yang, Z. N., & Liu, Y. W. (2017). Linseed oil based amide as corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid electrochemical science. *Internat. J. Electrochem. Sci.*, 13, 2018. <https://doi.org/10.20964/2018.01.94>
- Dehonor Márquez, E., Viguera Santiago, E., & Hernández López, S. (2019). Thermal study of aluminum trifluoromethyl sulfonate as effective catalyst for the polymerization of epoxidized linseed oil, *Physical Chemistry*, 9(1), 1-7.
- EPN (Escuela Politécnica Nacional). *Corrosión y Degradación de los Metales*.
- Gharda, N., & Galai, M. (2018). Linseed oil as a novel eco-friendly corrosion inhibitor of carbon steel in 1M HCl. *Surf. Rev. Lett.*, 26(02) 1-11. <https://doi.org/10.1142/S0218625X18501482>
- González, J. A. (1989). *Control de la corrosión. Estudio y medida por técnicas electroquímicas*. Consejo Superior de Investigación Científica, Centro Nacional de Investigación metalúrgica. España.
- Knudsen, O., & Forsgren, A. (2017). *Corrosion control through organic coatings*, 2nd edition. ISBN 9780367877118. <https://doi.org/10.1201/9781315153186>
- Kuznetsov, Y.I. (2001). Corrosion inhibitors in conversion coating. III. Protection of metals. *Zashchita Metallom*, 37(2), 101-107. <https://doi.org/10.1023/A:1010309718379>
- Mahmoudian, M., & Nozad, E. (2016). Self-healing epoxy coating containing linseed oil loaded micro capsules for steel. *Int. J. Adv. Biotechnol. Res.*, 7(5), 841-846.
- NACE (National Association of Corrosion Engineers) (1984). *Corrosion Basics*.
- Oleinik, S. V., & Kuznetsov, Y. I. (2007). Corrosion inhibitors in conversion coating. IV, *Prot. Met.*, 43(4), 391-397. <https://doi.org/10.1134/S0033173207040133>
- Revie, R. W. (2011). *Uhlig's corrosion handbook*. Wiley & Sons, Inc: USA. ISBN 978-0-470-87285-7. <https://doi.org/10.1002/9780470872864>

Sánchez, E., & Eduardo, C. (2010). *Evaluación de recubrimientos orgánicos por método potencioestático en ensayos de corrosión.*

Schweitzer, P. A. (2006). *Paints and coatings – applications and corrosion resistance.* Taylor & Francis Group, LLC: USA. ISBN 1-57444-702-5.

Schweitzer, P. A. (2007). *Corrosion engineering handbook. Fundamentals of metallic corrosion atmospheric and media corrosion of metals.* 2nd edition. ISBN 978-1-62870-548-5.