

Una alternativa natural para el control de la corrosión atmosférica.

F. Arana, M. Guillén, J. Hernández, C. Menjívar, UCA.

Resumen— La corrosión atmosférica es un fenómeno que no puede evitarse, pero utilizando medidas de protección y prevención adecuadas, entre las cuales se encuentra el uso de recubrimientos orgánicos, se puede lograr que ocurra a menor velocidad.

Se ha reportado que el aceite de la cáscara de la semilla de marañón, conocido por sus siglas en inglés CNSL (Cashew Nut Shell Liquid) contiene sustancias que le confieren propiedades anticorrosivas y siendo además una sustancia natural, de bajo costo y amigable con el medio ambiente, es viable su uso como una alternativa de recubrimiento orgánico de metales expuestos al ataque atmosférico.

En el presente trabajo se evalúa el comportamiento del CNSL como protección del acero al carbono expuesto al ataque atmosférico durante seis semanas en seis puntos del Área Metropolitana de San Salvador. Los resultados obtenidos mostraron que el CNSL es un recubrimiento efectivo del acero al carbono, en atmósferas de alta y mediana agresividad, comprobándose esto de forma cualitativa y con ensayos de microscopía electrónica de barrido.

Índice de términos— CNSL, Corrosión atmosférica, recubrimiento orgánico, Área Metropolitana de San Salvador.

INTRODUCCIÓN

La corrosión atmosférica es un caso de corrosión húmeda generalizada y se define como la corrosión que sufren los materiales expuestos al aire y sus contaminantes. La tasa o grado de degradación varía para diferentes materiales y es influenciada por factores medioambientales como la humedad, temperatura, composición y contaminación atmosférica. Se estima que el 25% de la producción mundial anual de acero es destruida por ataques corrosivos [1], ocasionando pérdidas que en los Estados Unidos corresponden a más del 4% de su producto nacional bruto [2].

Este ataque a los materiales por medio de la atmósfera genera un problema para las estructuras metálicas de las

ciudades, las cuales generalmente están fabricadas con acero al carbono. Existen varias maneras de prevenir la corrosión, entre las cuales se encuentra el uso de recubrimientos orgánicos, los cuales generan una barrera contra la humedad y el contacto con los contaminantes de la atmósfera [3].

El aceite de la cáscara de la semilla de marañón, conocido por sus siglas en inglés CNSL (Cashew Nut Shell Liquid) es una sustancia que por su elevada viscosidad resulta ser muy útil como componente activo de recubrimientos orgánicos, ya que su consistencia es una característica favorable para su adhesión a las superficies; además por su color característico

se puede evitar el uso de pigmentos adicionales para su utilización comercial.

Se ha reportado que químicamente el CNSL se compone mayoritariamente de ácido anacárdico y cardanol y cantidades muy pequeñas de cardol y 2-meticardol. Estos cuatro compuestos tienen un grupo $-OH$ unido a un anillo bencénico, misma estructura de los fenoles, aunque con diferentes grados de instauración; esta estructura permite que estas sustancias sean fácilmente polimerizables, produciendo compuestos de alto aislamiento eléctrico, resistentes a los ácidos y álcalis, buena estabilidad térmica y acción antimicrobiana, propiedades muy apreciadas en la formulación de recubrimientos anticorrosivos, resinas, adhesivos y otros [4].

Hasta el momento el CNSL se ha empleado como aditivo en fórmulas de pinturas anticorrosivas utilizadas en estructuras expuestas a atmósferas marinas [5], [6], [7] que son de muy alta agresividad [8], [9].

Su comportamiento como anticorrosivo en atmósferas de agresividad media o alta, como las urbanas e industriales respectivamente [8], [9] no ha sido aún evaluado, por lo que en el presente trabajo se estudia el comportamiento del CNSL como protección anticorrosiva del acero al carbono expuesto a los tipos de atmósferas antes mencionados.

Se desarrollaron ensayos en seis diferentes puntos del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), exponiendo durante seis semanas, láminas de acero al carbono recubiertas con CNSL y láminas del mismo metal sin recubrir, para poder así comparar los resultados de la corrosión en el metal protegido y en el metal sin protección.

METODOLOGÍA

Los ensayos desarrollados tienen como objetivo evaluar el comportamiento del CNSL como recubrimiento anticorrosivo, analizando los cambios que el recubrimiento pueda sufrir

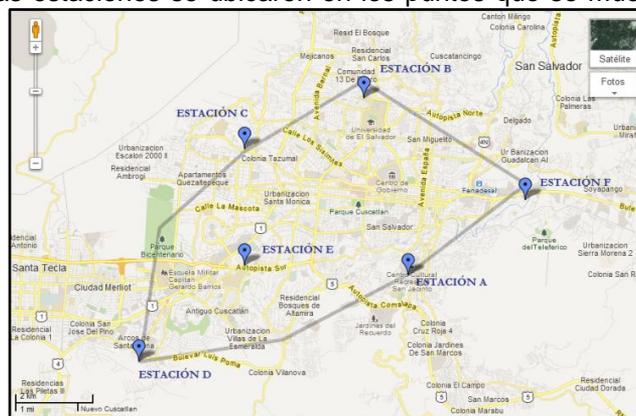
debido al ataque atmosférico y comparar el deterioro del metal recubierto con el que sufre el metal sin recubrir.

Los procedimientos que se siguieron para el desarrollo de las pruebas, tomaron en cuenta las directrices de la norma ASTM G50 para llevar a cabo ensayos de corrosión atmosférica [10].

A. Determinación de los puntos de monitoreo.

Al establecer al AMSS como área de estudio para la experimentación, se eligieron los puntos donde se ubicarían las estaciones de monitoreo. La exposición de las láminas se realizó en sitios de fácil acceso y teniendo en consideración el flujo vehicular de la zona, para estimar en base a dicho dato, cuales atmósferas serían más agresivas.

Las estaciones se ubicaron en los puntos que se muestran



en la Fig. 1 y en la

TABLA I se relaciona cada punto de monitoreo con el flujo vehicular de la zona [11].

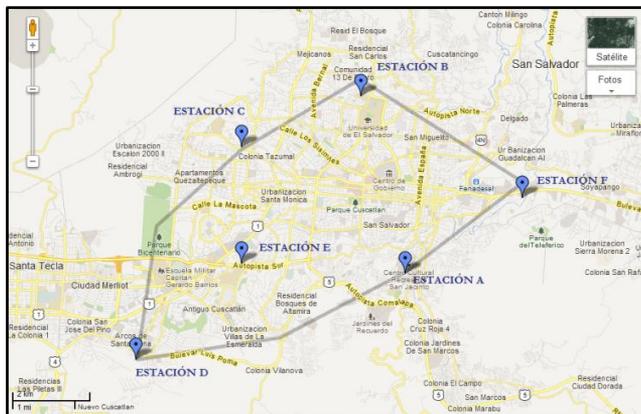


Fig. 1. Puntos de Monitoreo

TABLA I
PUNTOS DE MONITOREO Y DESCRIPCIÓN DE LA ATMÓSFERA

Punto de monitoreo	Descripción de la atmósfera
A (Colonia Minerva, San Salvador)	Urbana con flujo vehicular 22642 vehículos/ día
B (Centro Urbano Libertad, San Salvador)	Urbana con flujo vehicular 15582 vehículos/ día
C (Residencial Escalón, San Salvador)	Urbana con flujo vehicular 10544 vehículos/ día
D (Bosques de Santa Elena, Antiguo Cuscatlán)	Urbana con flujo vehicular 38990 vehículos /día
E (Bulevar Los Próceres –UCA, San Salvador)	Urbana con flujo vehicular de 71988 vehículos/día
F (Bulevar del Ejército, San Salvador)	Urbana con flujo vehicular de 42102 vehículos/día

B. Definición del tiempo de exposición.

Aunque la Norma ASTM G50 recomienda tiempos de exposición, para ensayos de corrosión atmosférica, de uno, dos, cuatro, ocho o dieciséis años, debido al tiempo con el que se contaba para el estudio, se decidió utilizar un tiempo total de exposición de seis semanas.

Con el fin de verificar si el comportamiento del CNSL varía con el tiempo de exposición, se decidió además realizar tres diferentes evaluaciones, una a las dos semanas de exposición, otra a las cuatro semanas, y finalmente, a las seis semanas.

C. Número, dimensiones y material de las láminas.

La norma ASTM G50 establece que el análisis de las láminas debe hacerse por triplicado. Por lo tanto, por cada punto de estudio, se colocaron dieciocho láminas (Ver Fig. 2), ya que se hicieron tres remociones para evaluar el comportamiento del avance de la corrosión en el tiempo, tanto en láminas con CNSL como en láminas sin recubrimiento.

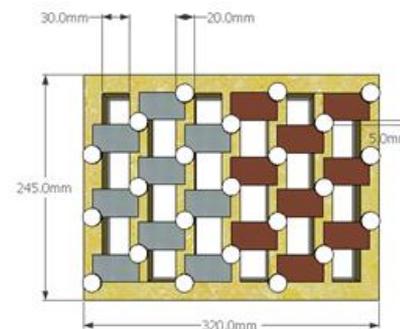


Fig. 2. Láminas en cada punto de estudio

Con respecto a las dimensiones, la norma ASTM G50 sugiere dimensiones de 100 mm de largo por 150 mm de ancho, con un espesor oscilando entre 0.75 y 6.25 mm; debido al corto tiempo de estudio, se optó por dimensiones menores,

para lograr un ataque de la corrosión representativo. Por esto, se establecieron las dimensiones de 30 mm x 50 mm x 1.1 mm (Ancho x Largo x Espesor).

La misma Norma propone utilizar materiales metálicos. Debido al gran uso del acero al carbono en las infraestructuras expuestas en el AMSS, se escogió dicho metal como material de estudio.

D. Diseño de las estaciones de monitoreo.

En cada punto de estudio se colocaron estructuras de madera con las dos partes sugeridas por la Norma ASTM G50: el panel (estructura que mantiene las láminas en posición) y la base (es la parte de la estructura que asegura el anclado de ésta en el piso).

Las estructuras para monitorear fueron elaboradas con madera de pino sin barniz, ya que el corto tiempo de exposición no ameritaba el uso de una madera más robusta. Las dimensiones utilizadas fueron adaptaciones de las presentadas en la Norma ASTM G50 y se muestran en la



Fig. 3. Dimensiones de las Estaciones de Monitoreo

E. Preparación de las láminas metálicas.

A las láminas de acero al carbono se les aplicó una capa de una solución al 50% de CNSL en acetona, proporción sugerida en la bibliografía consultada [12]; posteriormente se dejaron secar completamente al sol, lo que tomó 120 horas, antes de ser expuestas al ataque atmosférico.

Las láminas que iban a ser expuestas sin recubrir fueron pulidas y desengrasadas con acetona, de acuerdo a lo establecido en la Norma ASTM G1 [13].

F. Análisis Superficial de las láminas recubiertas con CNSL

Para evaluar las condiciones de la superficie de las láminas tanto con recubrimiento como sin este, luego de dos semanas de exposición al ataque atmosférico fueron analizadas por Microscopía Electrónica de Barrido con dispersión de Rayos X (SEM) en el Instituto Químico de Sarrià, (Barcelona, España).

También se realizaron comparaciones cualitativas del ataque sufrido por las láminas sin recubrir y el ataque sufrido por las láminas con el recubrimiento para evaluar el efecto protector del CNSL.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Comparación de la superficie de las láminas recubiertas y no recubiertas con CNSL en base a análisis por SEM.

▪ Láminas con recubrimiento:

Para estas muestras la superficie observada se mostró más uniforme y sólo se evidencia corrosión localizada en algunos de los especímenes, encontrando en los espectros hierro y oxígeno, además de Carbono (característico de la composición del CNSL).

También, el aspecto de las láminas recubiertas, según la ubicación de las estaciones, mostró diferencias. Para el punto del Bulevar Los Próceres (Punto E) con el mayor flujo vehicular, se obtuvo más superficie atacada, evidenciado por la formación de una capa de óxido y un color más oscuro. En cambio, en la Residencial Escalón (Punto C) con el menor flujo vehicular, se podían apreciar más espacios dónde no había formación de óxidos. Pero, a pesar de que se observó cierta

formación de productos de corrosión, siempre las láminas recubiertas se encontraron en mejor estado, en comparación a las que carecían de protección.

▪ Láminas sin recubrimiento:

Se observó una formación variable de partículas en la superficie de las muestras, en muchos casos con protuberancias y/o aglomeraciones de moderadas a grandes, la mayoría de éstas presentes en la totalidad de la superficie, siendo características de corrosión generalizada e incluso en algunas se puede apreciar picaduras y desprendimiento de pequeñas láminas provocado por varias fisuras.

Hubo una degradación notoria de todas las láminas ya que las seis atmósferas resultaron agresivas y se pudo percibir que sí hubo un ataque corrosivo al compararlas con las que estaban recubiertas. En cuanto al análisis elemental se encontró presencia de oxígeno y hierro como era de esperarse, en algunas de ellas algunos picos de azufre y en punto del Bulevar Los Próceres (Punto E) con el mayor flujo vehicular, se encontró potasio, sodio, cloro y aluminio.

En base a lo anterior se puede destacar que el propósito de utilizar un análisis por SEM es respaldar la comparación cualitativa el efecto protector del CNSL. Al comparar la Fig. 4 con la Fig. 5 se pueden observar con mayor facilidad los resultados. Estas láminas corresponden al punto del Bulevar Los Próceres (Punto E) con el mayor flujo vehicular, la lámina E13 no posee recubrimiento y la E14 si lo posee.

La concentración de átomos de hierro es mayor en la lámina sin recubrir que en la que tiene recubrimiento, debido a que la parte metálica está en contacto directo con la atmósfera. Adicionalmente se ven altas concentraciones de hierro en ambas láminas debido a los productos de corrosión formados. Cabe destacar que productos de corrosión se formaron en la E14 en zonas donde el recubrimiento cedió ante la corrosión atmosférica.

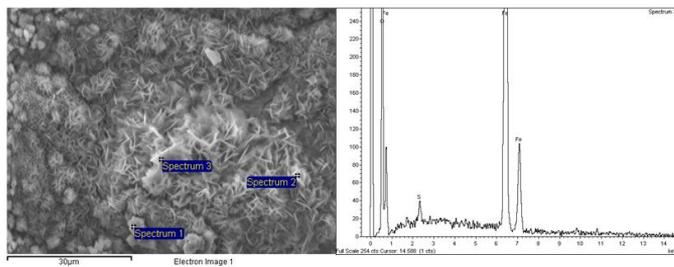


Fig. 4 Lámina E13 junto con el espectro 3, a 30 μm

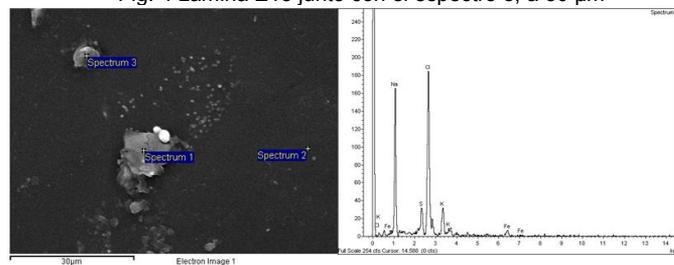


Fig. 5 Lámina E14 junto con el espectro 1, a 30 μm

B. Comparación de la superficie de las láminas recubiertas y no recubiertas en base a análisis cualitativos.

Se hizo una comparación cualitativa del aspecto de las probetas después de dejarlas en exposición. Las Tablas II y III muestran el aspecto de las láminas al dejarlas en exposición por dos semanas y por seis semanas.

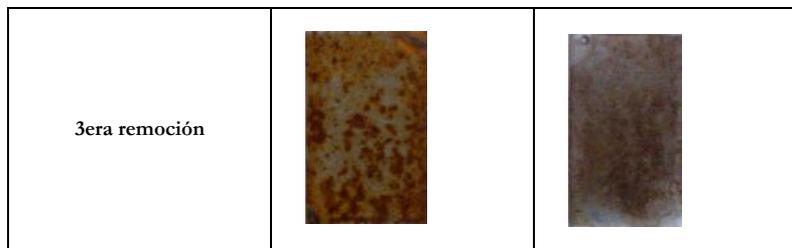
En las Tablas II y III se puede corroborar que las superficies de las probetas con recubrimiento terminaron con un mejor aspecto. La degradación se ve más agresiva en las láminas sin CNSL, y esto se puede evidenciar por el color amarillo y café rojizo que se presenta en la superficie de éstas. Además, entre la primera y la tercera remoción, se puede comprobar un mayor ataque por parte de la atmósfera en las láminas que no tienen protección. Por el contrario, la diferencia entre la primera y la tercera remoción es leve en las probetas con CNSL; y esto se pudo observar tanto en la atmósfera con más flujo vehicular (Punto E) (Tabla II) como en la de menor flujo vehicular (Punto C) (Tabla III).

TABLA II
COMPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE LAS LÁMINAS EN EL PUNTO E (BULEVAR LOS PRÓCERES).

Tiempo de exposición/Recubrimiento	Sin CNSL	Con CNSL
1era remoción		
3era remoción		

TABLA III
COMPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE LAS LÁMINAS EN EL PUNTO C (RESIDENCIAL ESCALÓN).

Tiempo de exposición/Recubrimiento	Sin CNSL	Con CNSL
1era remoción		



CONCLUSIONES

El CNSL resultó ser una buena protección contra la corrosión atmosférica, ya que en los seis puntos de monitoreo se observó menor degradación de la superficie del metal recubierto, en comparación con las placas sin recubrimiento del mismo punto. Esto comprobó la efectividad del CNSL como recubrimiento anticorrosivo, ya que generó una capa protectora que disminuyó la degradación del acero al carbono.

De acuerdo a los resultados del análisis instrumental, por espectroscopia de dispersión de rayos X, al comparar los especímenes de un mismo punto de monitoreo, ambos a una misma resolución, se observó que los especímenes con recubrimiento presentaron una superficie uniforme con pocos sitios de corrosión localizada; encontrándose en la superficie, átomos de hierro y un contenido muy bajo de oxígeno, así como presencia de carbono; este último probablemente de la composición del CNSL y el oxígeno pudiera deberse ya sea al radical hidróxido del CNSL o al oxígeno del aire que reaccionó con el hierro en ese punto de análisis. Los especímenes sin recubrimiento presentaron zonas totalmente corroídas, con alta presencia de oxígeno, evidenciando una pronunciada corrosión en los puntos de análisis.

A partir del análisis cualitativo, se pudo concluir que el CNSL es un recubrimiento que evita que la superficie se deteriore cuando se expone el material al ambiente. Entonces, el aceite se vuelve una capa protectora que puede mantener

por más tiempo el buen estado de las láminas y reduce la degeneración de la superficie a medida pasa el tiempo.

REFERENCIAS

- [1] Joan Genescá Llongueras and Javier Ávila, *Más allá de la herrumbre*. D.F., México: Fondo de Cultura Económica, 1995.
- [2] Joseph R. Davis, "Introduction to Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance," in *Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance*: ASM International, 2001.
- [3] P. Schweitzer, *Fundamentals of Metallic Corrosion 2nd Edition*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2007.
- [4] Vilas Athawale and Narendra J. Shetty, "Polymeric blends from renewable resources - A review (Cashew Nut Shell Liquid)," *Paintindia*, pp. 78-79, Febrero 2009.
- [5] Yunlu Cai, Zhengming Wen, and Dongya Zhang, "Solvent-free epoxy heavy-duty anticorrosive coating for automatic spraying for online repairing of petroleum pipelines," CN101638546 (A), 2010.
- [6] Choi Jeong Su and Park Jae Yeon, "Preparation Method of Cardanol Polymer," KR20030038937 (A), 2003.
- [7] Wei Guan and Zhibing Bian, "Primer-topcoat in one epoxy heavy duty anticorrosive paint," CN101434807 (A), 2009.
- [8] S. Syed, "Atmospheric Corrosion of Materials," *Emirates Journal for Engineering Research*, vol. 11, pp. 1-24, 2006.
- [9] ISO 9223, *Classification of Corrosivity Categories of Atmospheres*, 1987.
- [10] ASTM International, *ASTM G50 Standard Practice for Conducting Atmospheric Corrosion Tests on Metals*, 2003.
- [11] Ministerio de Obras Públicas de El Salvador, "T.P.D.A (Tránsito Promedio Diario Anual) clasificado de los 10 ejes con mayor flujo vehicular en el Área Metropolitana de San Salvador," Unidad de Planificación, San Salvador, 2010.
- [12] Deepti Shikha and Rita Awasthi Awasthi, "Utilization of agro waste (CNSL) in coatings," *Paintindia*, p. 65, Septiembre 2011.
- [13] ASTM International, *ASTM G1 Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens*, 2003.

BIOGRAFÍA

Carmen Elena Menjivar Benítez, Máster en Investigación en Química e Ingeniería Química, Instituto Químico de Sarrià (Barcelona, España), 2009. Licenciada en Química Agrícola, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (El Salvador), 1998. Área de Investigación: Corrosión Atmosférica.