

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ELECTROQUÍMICO DE LÁMINAS DE ACERO AL CARBONO GALVANIZADO RECUBIERTO CON PINTURAS EXPUESTO A UN AMBIENTE SALINO SIMULADO

Luisa Melgarejo ^{1*}, Jefferson Bolaños ², Jharold Navarro ³, Darío Peña B ⁴

1*: Ingeniera Metalúrgica, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia

2: Ingeniero Metalúrgico, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia

3: Ingeniero Metalúrgico, Grupo de Investigación en Corrosión UIS, Bucaramanga, Colombia

4: Doctor en Corrosión, Grupo de Investigación en Corrosión UIS, Bucaramanga, Colombia

* E-Mail: fermelgarejo20@gmail.com

RESUMEN

Existe una gran importancia frente a la protección de materiales metálicos comúnmente requeridos en la industria colombiana como aceros al carbono, debido a su alta demanda y utilización en ambientes corrosivos constantemente se investiga en el mejoramiento de las propiedades que se requieren para las diferentes actividades en la industria tales como la corrosión; con el fin de aumentar la vida útil del material. Con esta investigación se estudiaron propiedades electroquímicas de unas muestras suministradas por una empresa colombiana entre las que se tuvieron láminas de un acero al carbono galvanizado el cual se expuso a un ambiente salino simulado de NaCl al 3% en peso al igual que tres láminas del mismo material con recubrimiento polimérico de diferente coloración (Roja, Azul y Verde) las cuales se verificaron mediante la técnica de FTIR con ATR identificándolas como recubrimiento polimérico base tipo poliéster.

Este trabajo de investigación presenta los comportamientos electroquímicos de las muestras mencionadas anteriormente durante 30 días de inmersión mediante la técnica de Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIS) logrando dar respuesta inmediata respecto a la mejor opción para soportar ambientes corrosivos, llegando a la conclusión de que las láminas que se consideraron óptimas para su uso en ambientes industriales marinos y costeros de dicha empresa fueron las láminas de acero galvanizado con recubrimiento polimérico de color rojo y azul porque fueron las muestras que presentaron un excelente desempeño frente al ataque corrosivo del electrolito y baja absorción de agua.

Palabras clave: Acero galvanizado, revestimientos poliméricos, espectroscopia de impedancia electroquímica, espectroscopia de infrarrojo, absorción de agua.

STUDY OF ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF GALVANIZED STEEL SHEETS COVERED WITH PAINTINGS EXPOSED TO A SIMULATED SALT ENVIRONMENT

ABSTRACT

There is great importance regarding the protection of metallic materials that are required in the Colombian industry, such as carbon steels. Due to their high demand and use in corrosive environments, constant research is being carried out to improve the properties that are essential for different activities in industry in order to increase the material's service life; that is corrosion research. With this research, the electrochemical properties of samples supplied by a Colombian company were studied, including galvanized carbon steel sheets which were exposed to a simulated saline environment of 3% by weight NaCl, as well as three sheets of the same material with a polymeric coating of different coloration (Red, Blue and Green) which are verified by means of the FTIR technique with ATR identifying as a polyester-based polymeric coating.

This research work presents the electrochemical behaviors of the samples indicated above during 30 days of immersion using the Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) technique, achieving an immediate response to the best option for corrosive environments, reaching the conclusion that the galvanized steel sheets with red and blue polymer coating, respectively, were considered to be optimal for use in marine and coastal industrial environments of the company because they were the samples that were considered an excellent performance against the corrosive attack of the electrolyte and low absorption of Water.

Keywords: Galvanized steel, polymeric coatings, spectroscopy of electrochemical impedance, infrared spectroscopy, water absorption.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente las industrias colombianas necesitan materiales con excelentes propiedades para evitar su degradación por factores externos o propios del material tales como la humedad, el ambiente expuesto y deficientes propiedades frente a la corrosión, debido a la gran demanda de materiales metálicos que tengan durabilidad y buena vida útil frente a estos factores se requiere de una investigación constante para evitar degradación rápida que genere pérdida de dimensiones y con ello disminución del funcionamiento de dichos materiales. Es por esto, que se ha implementado la utilización de recubrimientos anticorrosivos que puedan mejorar y/o mantener las propiedades de los metales ya que son de bajo costo frente a fallas o daños que puedan ocurrir mientras estos están en servicio y el costo de aplicar pinturas poliméricas sobre el acero al carbono es muy bajo [1]. Los recubrimientos orgánicos tienen mecanismos fundamentales de protección como su efecto de barrera (agua, oxígeno e iones), alta resistencia dieléctrica (inhibición de reacciones anódicas y catódicas), pasivación del metal con pigmentos solubles y, en ocasiones particulares, por protección catódica con pigmentos. Su desempeño está fuertemente ligado por la naturaleza de la resina, tipo de metal que se va a proteger, ambiente donde se va a usar, espesor y condiciones de aplicación [2].

2. METODOLOGÍA

2.1. Etapa 1: Preparación de las muestras

Las muestras de análisis que se escogieron en total fueron 8 láminas de acero galvanizado con recubrimiento polimérico de 3 coloraciones diferentes 2 muestras de acero galvanizado las cuales se tomaron como referencia frente al comportamiento de las muestras con recubrimiento. Con el propósito de evaluar su comportamiento electroquímico de las muestras en un ambiente salino simulado se escogió un tiempo de exposición total de 30 días. Las láminas tenían dimensiones de 7 cm x 7 cm, con una cinta aislante de 5 cm x 5 cm sobre su superficie dejando un orificio cuadrado concéntrico a la lámina de análisis, dejando un área de exposición de 4 cm² para su posterior estudio. Las láminas de acero galvanizado se prepararon según proceso de limpieza de la norma ASTM G1-03 [3]. Todas las muestras fueron depositadas en un ambiente simulado con NaCl al 3% en peso.

2.2. Etapa 2: Montaje del sistema a evaluar

Para realizar la celda electroquímica fue necesario el montaje de un cilindro acrílico hueco sobre cada lámina y el área expuesta a la solución, el cilindro en su parte superior consta de una tapa con dos orificios en los cuales se introducen los electrodos de Referencia $Ag/AgCl_2$ y Contra-Electrodo de Grafito según norma ASTM G-31[4].

2.3. Etapa 3: Realización de pruebas Electroquímicas

Los análisis se realizaron en el equipo Gamry 600 utilizando como parámetros fijos establecidos desde una frecuencia inicial de 100.000 Hz hasta 0,1 Hz, la amplitud utilizada fue de 10mV con 7 escala de puntos y a temperatura ambiente.

2.4. Etapa 4: Realización de pruebas FTIR mediante ATR

Los análisis se realizaron con parámetros fijos del equipo con detector DTGS ATR, fuente IR, rango recomendado (4000 y 400cm⁻¹), con 32 Scans y el resultado final arrojado fue en % transmitancia, para determinar la base de los polímeros de los cuales estaba hecho cada recubrimiento, fueron basados en tabulaciones de polímeros existentes en la industria.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Caracterización de las muestras mediante la técnica de Espectrometría de Infrarrojo FTIR mediante reflectancia total atenuada (ATR).

Se observaron espectros característicos en sus zonas de diagnóstico entre números de onda de 4000 y 1300 cm^{-1} lo cual indicó que dichos recubrimientos compartían una base de tipo polimérico en común. Las bandas correspondientes a vibraciones de enlaces simples C-H con hibridación Sp^3 aparecieron en un numero de onda entre 2750 - 3000 cm^{-1} característico de un grupo funcional metileno, las intensidades de onda entre 1735 - 1750 cm^{-1} mostraron una banda simétrica de vibración de doble enlace C=O indicando un grupo funcional éster RCOOR siendo R un grupo saturado y alifático como el metileno lo que corrobora la presencia de pinturas de tipo poliéster; las diferencias en el % de transmitancia indica que dichos recubrimientos están con diferente proporción química entre sí. El equipo genera señales que no corresponden a la caracterización del

material como se pudo observar con las señales de muy baja intensidad alrededor de los números de onda de $1800 - 2400 \text{ cm}^{-1}$ por el ruido químico generado [5] (Figura 1).

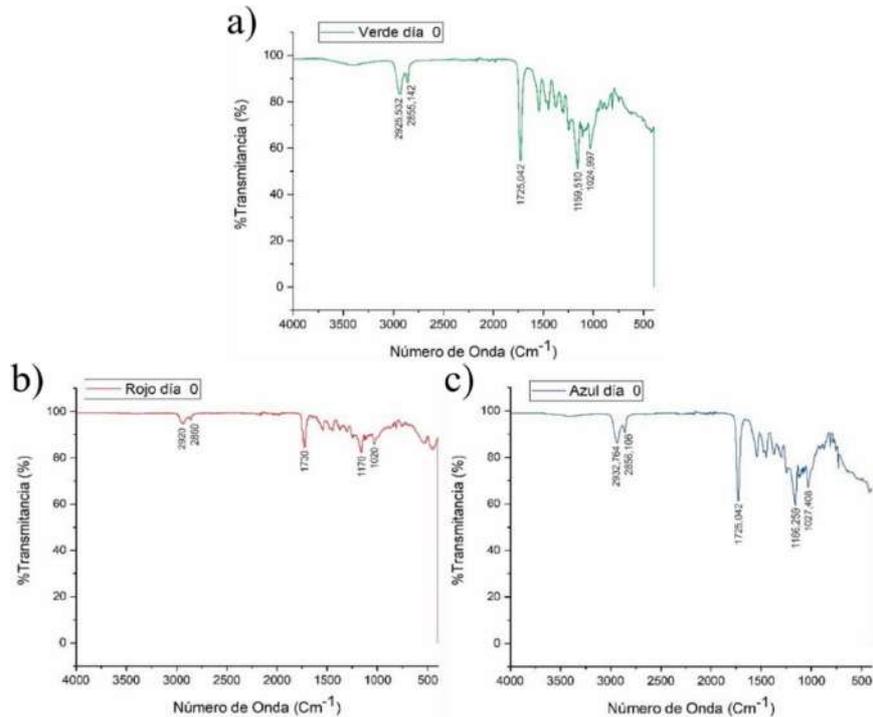


Figura 1. Espectros FTIR con ATR para las muestras de acero galvanizado con recubrimiento polimérico con un tiempo de inmersión de 0 días. (a) Recubrimiento de coloración verde, (b) Recubrimiento de coloración rojo y (c) Recubrimiento de coloración azul.

3.2. Técnica de Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIS)

Al final de los 30 días de inmersión en el ambiente salino simulado el recubrimiento polimérico de coloración rojo obtuvo mejores propiedades capacitivas logrando un buen desempeño electroquímico, en la investigación se alcanzaron valores de impedancia del orden de magnitud de $4 \times 10^8 \text{ Ohm/cm}^2$ lo cual se evidencia en el comportamiento de los diagramas electroquímicos mostrados (Figura 2).

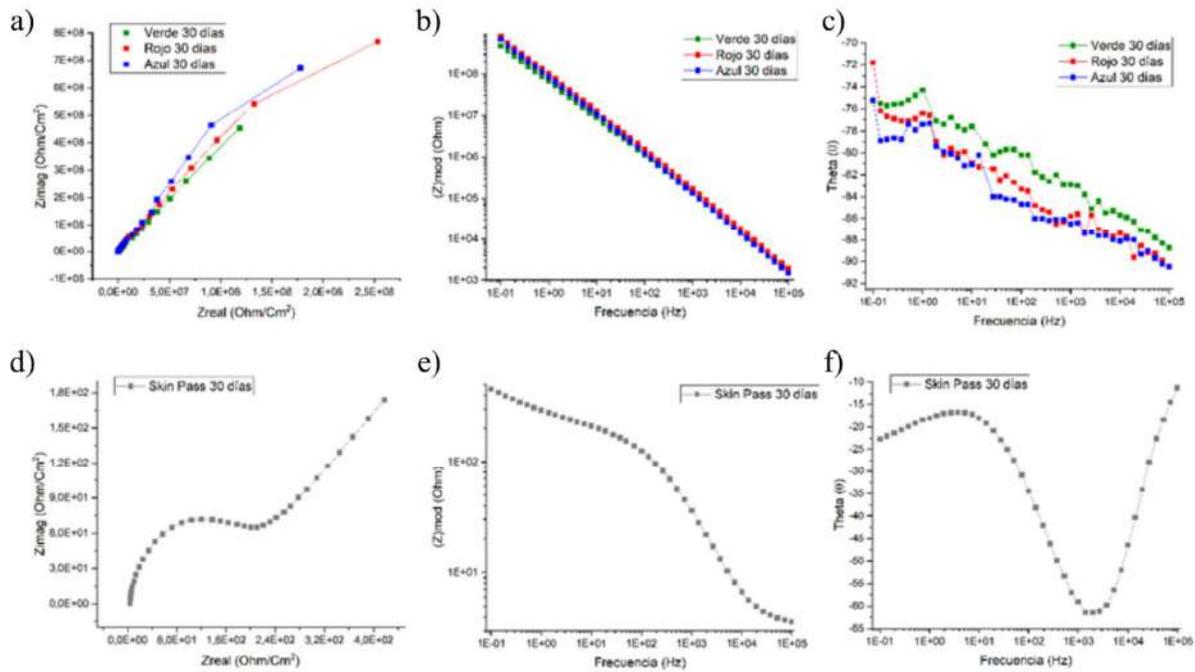


Figura 2. Diagramas de Nyquist (a,d) y Bode (b,c,e,f) para los recubrimientos de color verde, rojo, azul y el acero galvanizado respectivamente para un $t=30$ días (720hrs).

3.3. Circuito Equivalente de los recubrimientos poliméricos

El circuito equivalente asociado al comportamiento que se obtuvieron en los recubrimientos se muestra en la (Figura 3).

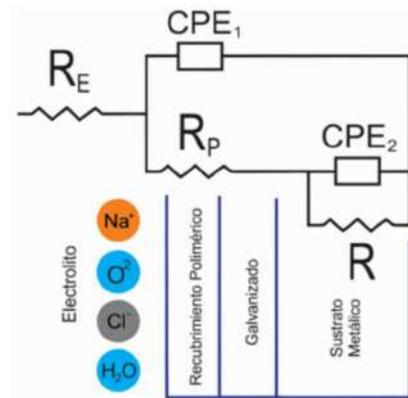


Figura 3. Diagrama del circuito equivalente asociado a los recubrimientos poliméricos para los días de inmersión.

3.4. Evaluación del desempeño de Recubrimientos Orgánicos

3.4.1 Fracción de Agua Absorbida

El método propuesto por Brasher y Kingsbury, mencionado por (C. Vosgien Lacombe y G. Bouvet, 2017) permite calcular la cantidad de agua absorbida.

$$X_v = \frac{\log\left(\frac{C_c}{C_0}\right)}{\log E_w} \quad (1)$$

Donde: X_v : Fracción de agua absorbida por el recubrimiento.

C_c : Valor de la capacitancia en un tiempo determinado t.

C_0 : Valor de la capacitancia en un tiempo t=0.

E_w : Permisividad del agua (la cual puede asumirse constante con un valor de 80).

3.4.2 Factor de Pérdida

El aumento de este factor indica el deterioro progresivo del recubrimiento [6].

$$\begin{aligned} \text{Factor de pérdida} &= \tan(\alpha) \\ \alpha &= 90 - \theta \end{aligned} \quad (3)$$

Donde: α = Ángulo complementario al ángulo de fase y θ = Ángulo de fase a una frecuencia de 1kHz.

Después de 12 días de inmersión se observa (Figura 4 a) que la lámina de coloración azul presenta menor cantidad de agua absorbida casi constante después de 12 días de inmersión debido a que la permeación del agua alcanzó la saturación a ese tiempo de experimentación corroborando su buen comportamiento electroquímico, la dispersión de datos que se observaron en los primeros 20 días de inmersión del recubrimiento de color rojo, fue debido a la resistencia a la corrosión que le brindaban los pigmentos metálicos que dicho recubrimiento tenía en su composición química. De igual forma se observó (Figura 4 b) el incremento del factor de pérdida el cual indicó deterioro para los recubrimientos en los primeros días, no obstante la pintura de color rojo y azul tuvieron un mejor comportamiento a lo largo de todas las pruebas debido a que la filtración de agua en sus superficies fue menor ya que como se observó; entre los días 20 y 30 dichos recubrimientos mostraron los más bajos índices de absorción de agua y su estabilización fue mejor.

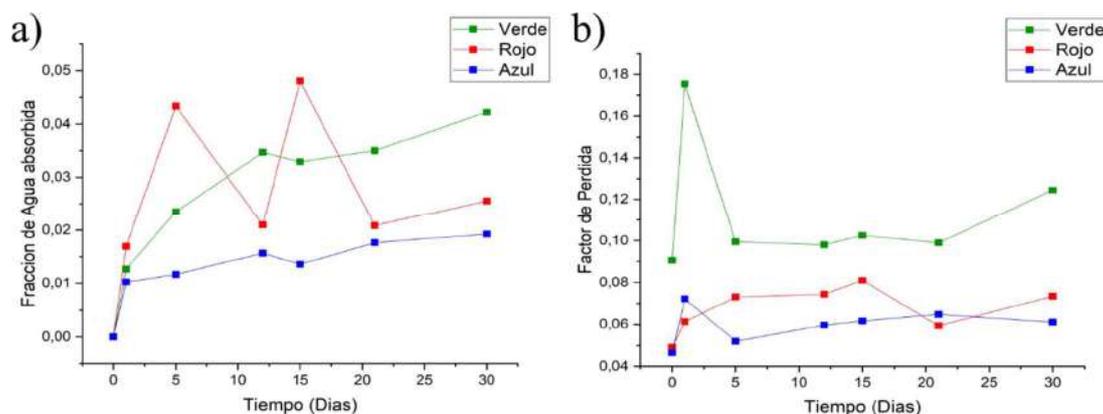


Figura 4 Curvas asociadas a los recubrimientos poliméricos sobre los parámetros del desempeño de estas en un tiempo de 0 a 30 días. a) Fracción de agua Absorbida y b) Factor de pérdida.

4. CONCLUSIONES

Las láminas de acero galvanizado con los recubrimientos poliméricos de diferentes coloraciones demostraron una alta resistencia en el ambiente salino simulado debido a que los valores obtenidos en el ensayo electroquímico fueron valores de resistividad del orden de magnitud de 1×10^8 Ohm/cm².

Los parámetros medidos sobre el desempeño de los recubrimientos orgánicos como el factor de pérdida alcanzaron valores cercanos a cero lo cual infiere que este tipo de recubrimientos de base tipo poliéster podrían comportarse aceptablemente en ambientes que la industria costera necesite, su única diferencia radica en la proporción de sus componentes químicos como se explica en los análisis obtenidos mediante la técnica FTIR con ATR:

Las láminas de recubrimiento polimérico de color rojo y color azul presentaron un mejor desempeño al final de su investigación, esto se debe a que mostraron menores índices de absorción de agua, oxígeno e iones del electrolito al finalizar los días de inmersión.

5. AGRADECIMIENTOS

Al Doctor Darío Yesid Peña Ballesteros por su ayuda en el proceso de aprendizaje durante el desarrollo de esta investigación y su apoyo en el Grupo de Investigación en Corrosión (GIC) de la Universidad Industrial de Santander, por brindarnos las herramientas necesarias para trabajar en nuestro proyecto de investigación y al Doctor Rafael Cabanzo Hernández Director del laboratorio de Espectroscopía del Parque Tecnológico de Guatiguará de la Universidad industrial de Santander, por su colaboración con la toma de los ensayos FTIR por ATR las cuales fueron de gran importancia para el estudio de esta investigación.

6. REFERENCIAS

- [1] Rogerge, P., R. PhD, *Principios y Practica de la Ingeniería de Corrosión: Impacto estratégico y costo del daño por corrosión*, Mc Graw Hill, USA, 2008.
- [2] Olajire Abass A., *Avances recientes en tecnologías de sistemas de recubrimiento orgánico para la protección contra la corrosión de estructuras metálicas en alta mar*, Unidad de química industrial y ambiental, Departamento de Química Pura y Aplicada, Universidad de Tecnología Ladoke Akintola, Ogbomoso, Estado de Oyo, Nigeria.

[3] ASTM G1-03, *Práctica Estándar para preparar, limpiar y evaluar muestras de pruebas de corrosión*, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania Estados Unidos.

[4] ASTM G31, *Guía Estándar para Pruebas de Corrosión por Inmersión en el Laboratorio de Metales*, NACE Internacional/ASTM International 2017, Autorizada para la Universidad Industrial de Santander, 5 de Marzo 2018.

[5] Silverstein Robert M., Francis X.; David J., *Identificación Espectrometría de compuestos orgánicos, Espectrometría de infrarrojo, Interpretación de espectros, Ésteres y Lactonas*, 7ma edición, Colegio de Ciencias del Medio Ambiente y de la Silvicultura, Universidad Estatal de Nueva York.

[6] Vosgien Lacombe.,C., Bouvet, *Captación de agua en películas y recubrimientos libres mediante la ecuación de Brasher y Kingsbury*, Laboratorio de Ciencias de la Ingeniería para el medio ambiente, LaSIE UMR 7356 CNRS, Universidad de la Rochelle, La Rochelle, Francia, 2017.