

CORROSIÓN DEL ACERO GALVANIZADO EN UNA ATMÓSFERA MARINA-COSTERA DE TABASCO, MÉXICO.

CORROSION OF GALVANIZED STEEL IN A MARINE-COASTAL ATMOSPHERE OF TABASCO, MEXICO.

Segura-Domínguez A.¹, Del Ángel-Meraz E.^{1*}, Cruz-Pérez A.E.¹

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Licenciatura en Ingeniería Química, Carretera Cunduacán-Jalpa Km. 1. Col. La Esmeralda CP. 86690, Cunduacán, Tabasco, México.

*ebelia.delangel@ujat.mx

RESUMEN

Se estudia una atmósfera marina-costera con el fin de evaluar la velocidad de corrosión atmosférica del acero galvanizado y la influencia que tienen los factores meteorológicos y de contaminación. Se analizó además la composición química de los eventos de precipitaciones pluviales (Cl^- , NO_3^{1-} , SO_4^{2-} , pH y conductividad). Para el monitoreo de los contaminantes se utilizaron los dispositivos de candela húmeda (Cl^-) y plato de sulfatación (SO_2) utilizando las normas ISO 9223 y 9225. Los resultados demuestran que el contaminante SO_2 tiene categorías de agresividad P_0 a P_1 (muy baja y baja), y para el contaminante

Cl^- con agresividad S_2 (muy alta). El acero galvanizado presenta pérdidas de masa por corrosión con categoría de agresividad C_4 (alta), según ISO 9223.

Palabras clave: acero galvanizado, velocidad de corrosión, contaminantes, metales.

ABSTRACT

A marine-coastal atmosphere is studied in order to evaluate the atmospheric corrosion rate of galvanized steel and the influence of meteorological and pollution factors. The chemical composition of rainfall events (Cl^- , NO_3^{1-} , SO_4^{2-} , pH and conductivity) was also analyzed. For the monitoring of contaminants, wet candle

(Cl-) and sulfation plate (SO₂) devices were used, using ISO 9223 and 9225 standards.. The results show that the SO₂ pollutant has categories of aggressiveness P₀ to P₁ (very low and low), and for the Cl⁻ pollutant they are of aggressiveness S₂ (very high). Galvanized steel has mass losses due to corrosion with aggressiveness category C4 (high), according to ISO 9223.

Key words: galvanized steel, corrosion rates, contaminants, metals.

INTRODUCCIÓN.

Uno de los problemas más graves causados por la contaminación ambiental, es la corrosión de los materiales. Se estima que en un país industrializado los gastos de corrosión por pérdidas de estructuras metálicas, son del orden del 2% al 3% del producto nacional bruto debido al proceso de corrosión atmosférica [1]. La corrosión atmosférica es el deterioro de todos los materiales que

se exponen a la atmósfera (intemperie), a consecuencia de su interacción con los eventos meteorológicos que prevalecen en un ambiente y asociado a las contaminaciones procedentes de las industrias o del mar [2].

Los principales factores que determinan la caracterización de una atmósfera son; el tiempo de humectación (TOW); es el tiempo en el cual la superficie metálica permanece húmeda, se determina correlacionando el complejo temperatura (T), humedad relativa (HR) del aire y el nivel de impurezas corrosivas de la atmósfera que aceleran la corrosión (la velocidad de deposición del Cl⁻ y el SO₂, principalmente) [3]. La protección que proporcionan los recubrimientos galvanizados frente a la corrosión atmosférica, depende de las condiciones climatológicas del lugar y de la presencia en la atmósfera de contaminantes agresivos, como son los óxidos de azufre y los cloruros [4].

La corrosión de los materiales metálicos es un factor importante en una atmósfera marina-costera, debido a que la infraestructura metálica es impactada por la presencia de los iones cloruro (Cl^-), que se depositan en la superficie metálica por deposición seca y se disuelven en la capa húmeda formada sobre el metal durante el tiempo de humectación, promoviendo reacciones de corrosión del mismo [5]. La deposición de los iones cloruros, está determinada por la ubicación geográfica y topográfica del lugar, en combinación con la distancia a la costa, la velocidad y dirección del viento [6 y 7].

De acuerdo con la norma ISO 9223 el tiempo de humectación es el período durante el cual la superficie del metal está cubierta por una película de electrolito, capaz de causar la corrosión atmosférica [8]. Este tiempo se considera como el tiempo real durante el cual ocurre la corrosión. El valor de TOW depende del tipo del clima, de la zona geográfica y la

categoría de la localización del sitio de interés [9].

En esta investigación se determinaron los factores que afectan la corrosión atmosférica como son las variables meteorológicas y algunos contaminantes corrosivos del aire, como el SO_2 y los iones cloruro (Cl^-). El acero galvanizado es un material metálico de amplio uso, en una atmósfera marina-costera de Paraíso, Tabasco.

METODOLOGÍA

Datos meteorológicos. Se recopilaron datos meteorológicos publicados en la página web de la CONAGUA [10] con el propósito de evaluar la agresividad atmosférica y la influencia de los factores meteorológicos a la corrosión del metal. Se utilizaron las Normas ISO 9223 e ISO 9225 para medir la velocidad de deposición de los contaminantes, la velocidad de corrosión se evaluó con la Norma ISO 8407. (**Tabla 1**).

Tabla 1. Diseño experimental durante el período del Ensayo

| Parámetros | Frecuencia de Medición | Fuente |
|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|
| Temperatura | Diaria | Conagua |
| Humedad relativa | Diaria | Conagua |
| Tiempo de Humectación | Correlación de T vs HR | Calculado de acuerdo a la Norma ISO 9223 |
| Frecuencia de lluvia | Medición de acuerdo al evento | Conagua |
| SO ₂ | Mensual | Normas ISO 9225/ 9223 |
| Cloruros (Cl ⁻) | Mensual | Normas ISO 9225/ 9223 |
| Pérdida de masa | Mensual | Normas ISO 8407/ ISO 9223 |

Exposición de muestras metálicas en condiciones atmosféricas.

Se prepararon muestras de acero galvanizado (100 x 150 x 0.95 mm), las cuales fueron colocadas en estantes de aluminio con un ángulo de inclinación de 21° con respecto a la horizontal y una orientación hacia el sureste. De este modo se recolectaron muestras de agua de lluvia, para determinar la composición fisicoquímica. Es decir, la cantidad de

cloruros, nitratos, sulfatos, pH y conductividad iónica (**Figura 1**).

Las muestras fueron ubicadas en condiciones atmosféricas a 1,500 m de la orilla del mar (en el techo de una casa) y a una distancia de 1,000 m de la Región Marina Suroeste del Distrito de Dos Bocas (RNSO), como se muestra en la **Figura 2**, basado en la norma ASTM G1-03 e ISO 8565 [11 y 12].



Figura1. Paneles de exposición



Figura 2. Ubicación geográfica del lugar de exposición

Análisis de los contaminantes del aire.

Durante la experimentación de las muestras de acero galvanizado, se realizaron análisis mensuales de los contaminantes con la metodología de la norma ISO 9225 [13], utilizando candela húmeda y platos de sulfatación, para determinar las velocidades de deposición de iones cloruro (Cl-) y dióxido de azufre. (SO₂) respectivamente.

Determinación de los eventos de deposición húmeda.

El pH se determinó sin agitación, con un pH-metro (Hanna instruments, HI-8014, siguiendo la norma NMX-AA-008-SCFI-2016 [14]. La conductividad con un conductímetro (Hanna instruments, HI-8033, con base a la norma NMX-AA-093-SCFI-2018 [15]. Los iones cloruro se determinaron por el método argento métrico con la norma NMX-AA-073-SCFI-2001 [16]. Los iones de nitrato se analizaron por el método de sulfato de brucina, a 410 nm, en un

espectrofotómetro UV- VIS (Milton Roy, Spectronic 21D, United States), según la norma NMX-AA-079-SCFI-2001 [17]. Los iones de sulfato, se determinaron con la técnica turbidimetría de sulfato de bario de acuerdo con la norma NMX-AA-074-SCFI-2014 [18].

Determinación de la velocidad de corrosión de las muestras.

La evaluación de la velocidad de corrosión de las muestras de acero galvanizado, se determinó utilizando la técnica gravimétrica (pérdida de masa), de acuerdo con la norma ISO 8407 [19]. Se retiraron tres muestras y un testigo respectivo a los 2, 4, 8 y 12 meses, para estudiar el desarrollo del proceso de corrosión atmosférica del acero galvanizado en el ambiente de Paraíso. Las muestras retiradas fueron decapadas en solución de hidróxido de amonio a temperatura de 25 °C y posteriormente pesadas en la balanza electrónica, para

determinar la pérdida de masa en g/m^2 correspondiente a cada período.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de los contaminantes del aire.

En la **Tabla 2**, se presentan las velocidades mensuales de deposición del contaminante SO_2 y de los iones Cl^- , evaluadas en el periodo de ensayo. La categoría de agresividad asignada de acuerdo con la norma ISO 9223, para el

SO_2 fue P_1 , considerada como baja para los meses de septiembre, octubre, noviembre, febrero, marzo, mayo, julio, agosto. La categoría P_0 es considerada muy baja, se registró en el mes de abril y la categoría P_2 en el mes de junio. En el caso del Cl^- las velocidades de deposición dan una categoría de agresividad de S_2 considerada como alta.

Tabla 2. Velocidades mensuales de deposición del SO_2 y Cl^- (mg/m^2 día) y categoría de agresividad de la atmósfera marina-costera durante el período de estudio.

| Período de estudio 2018-2019 | Velocidad de deposición de SO_2 (mg/m^2 día) | Categoría ISO 9223 | Velocidad de deposición de Cl^- (mg/m^2 día) | Categoría ISO 9223 |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Septiembre | 12.02 | P_1 | 74.21 | S_2 |
| Octubre | 23.41 | P_1 | 76.10 | S_2 |
| Noviembre | 13.82 | P_1 | 81.48 | S_2 |
| Diciembre | 16.25 | P_1 | 72.11 | S_2 |
| Enero | 9.12 | P_0 | 92.57 | S_2 |
| Febrero | 17.72 | P_1 | 86.34 | S_2 |
| Marzo | 25.47 | P_1 | 82.96 | S_2 |
| Abril | 6.99 | P_0 | 99.07 | S_2 |
| Mayo | 19.33 | P_1 | 93.88 | S_2 |
| Junio | 31.80 | P_2 | 110.41 | S_2 |
| Julio | 11.54 | P_1 | 117.79 | S_2 |
| Agosto | 25.94 | P_1 | 76.78 | S_2 |
| Septiembre | 23.46 | P_1 | 73.55 | S_2 |

Se observa que al inicio del ensayo (septiembre-diciembre) una menor

velocidad de deposición de SO_2 en el mes de septiembre con respecto al mes de

octubre, en donde se presentó la mayor deposición (23.41 mg/m²· día). A diferencia del Cl⁻ las velocidades de deposición más bajas fueron presentadas en el mes de diciembre con respecto al mes de noviembre, el cual presentó la más alta velocidad de deposición (81.48 mg/m²· día). En este período se presentan velocidades de deposición con categoría de agresividad muy bajas (P₀) y bajas (P₁), esto para el SO₂. Sin embargo, para el Cl⁻ en el mes de septiembre se presentó la menor velocidad de deposición y la mayor velocidad fue en el mes de julio con

categorías de agresividad P₂ considerada como alta. En la **Tabla 3**, se muestran los resultados del pH de la lluvia, con valores en el rango 5.12 - 5.88 ± 1.79 en el caso de las soluciones provenientes de las placas de acero galvanizado, los valores de pH se registraron en el rango de 5.51 - 7.07 ±2.38. En los meses de enero a mayo no se registraron llluvias. El valor del pH de las soluciones provenientes del acero galvanizado indica que el metal zinc (Zn) es muy sensible al pH de las llluvias, presentándose una disolución de sus productos de corrosión básicos

Tabla 3. Comportamiento del pH de la lluvia y de las soluciones provenientes del acero galvanizado
 *Enero –Mayo no se presentaron eventos pluviales

| Meses del ensayo 2018-2019 | pH del agua proviene de las probetas de acero galvanizado | pH lluvia |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------|
| Septiembre | 6.14 | 5.22 |
| Octubre | 6.09 | 5.27 |
| Noviembre | 5.51 | 5.12 |
| Diciembre | 5.58 | 5.29 |
| Ene – May * | 0 | 0 |
| Junio | 6.22 | 5.21 |
| Julio | 6.1 | 5.21 |
| Agosto | 6.05 | 5.88 |
| Septiembre | 7.07 | 5.4 |

Determinación de la conductividad. En la **Figura 3**, se presentan los valores de la conductividad de las muestras de la lluvia y de las soluciones provenientes del acero galvanizado durante el período de estudio en el ambiente marino. El valor de la conductividad de las lluvias y de las soluciones provenientes del acero galvanizado es mayor en el mes de junio,

lo que confirma un proceso de disolución del zinc. Es importante destacar que, en las primeras lluvias en el mes de junio, la conductividad aumentó bruscamente a 194.33 μS . Así mismo, durante los meses que se registraron los eventos de lluvias la conductividad tiene valores de entre 49.04 a 31.50 μS .

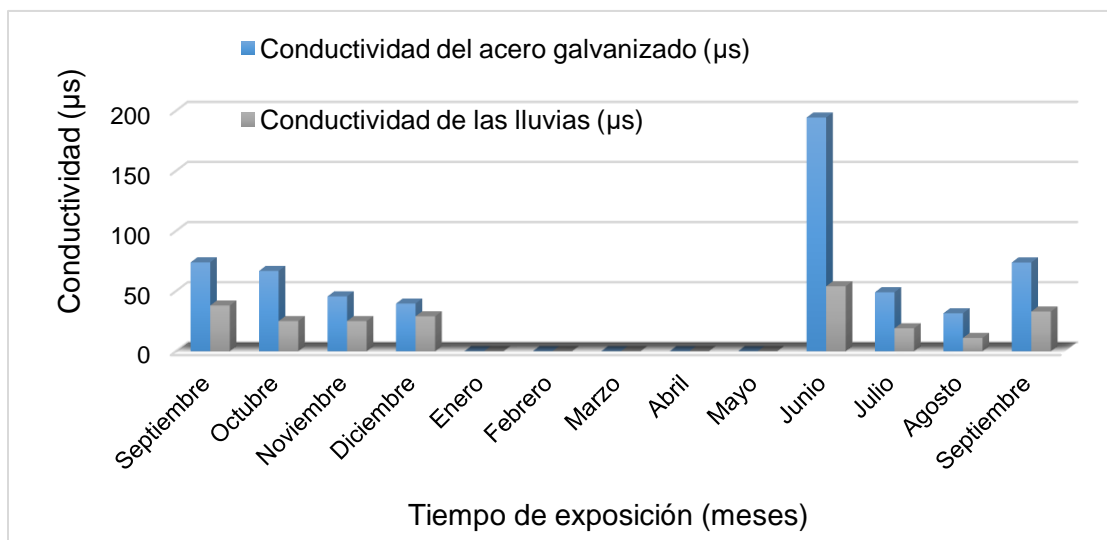


Figura 3. Conductividad de las soluciones provenientes del acero galvanizado y la lluvia.

Composición química iónica de las soluciones del acero galvanizado y la Lluvia. Durante la exposición de un metal a la intemperie, se considera habitualmente que los contaminantes

pueden llegar a la superficie del metal por deposición seca y con las lluvias que puedan ocurrir. El análisis de la composición química de las soluciones del acero galvanizado posibilita determinar los

tipos de contaminantes que se han depositado sobre el metal durante los periodos secos o de igual forma los que han sido lavados y disueltos por las lluvias. En la **Tabla 4** se muestran las

concentraciones mayores correspondientes a los iones Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-} de las soluciones provenientes del acero galvanizado y las lluvias durante el periodo de estudio en el ambiente marino.

Tabla 4. Composición química de los iones Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-}

| Periodo de ensayo 2018-2019 | Cl^- (mg/l) | | NO_3^- (mg/l) | | SO_4^{2-} (mg/l) | |
|-----------------------------|----------------------|--------|------------------------|--------|---------------------------|--------|
| | Acero galvanizado | Lluvia | Acero galvanizado | Lluvia | Acero galvanizado | Lluvia |
| Septiembre | 18.23 | 13.74 | 51.51 | 0.43 | 3.38 | 0.25 |
| Octubre | 29.14 | 23.02 | 110.19 | 0.76 | 8.23 | 0.68 |
| Noviembre | 58.18 | 52.03 | 119.02 | 0.93 | 4.73 | 1.05 |
| Diciembre | 36.53 | 36.25 | 97.09 | 0.53 | 4.38 | 1.16 |
| Enero – Mayo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Junio | 158.74 | 96.78 | 173.30 | 1.23 | 9.58 | 1.30 |
| Julio | 51.27 | 42.34 | 154.74 | 1.23 | 7.9 | 2.05 |
| Agosto | 95.76 | 76.81 | 217.72 | 1.81 | 17.14 | 2.85 |
| Septiembre | 29.92 | 58.74 | 173.02 | 1.18 | 14.69 | 3.36 |

Se observa en la (**Tabla 4**), que la concentración de Cl^- se presentó más alta en el mes de junio (158.74 mg/l) con respecto al acero galvanizado y en el caso de la lluvia se registró de igual manera en el mes de junio (96.78 mg/l).

Cabe destacar que durante el periodo de estudio en los meses de enero a mayo no se presentaron lluvias y las partículas de

contaminantes que se encontraban en el ambiente fueron depositadas en la placa de acero galvanizado lo cual conlleva a una concentración más alta del contaminante (Cl^-). Con respecto a los iones NO_3^- provenientes de las soluciones del acero galvanizado y los detectados en las lluvias que se registraron durante el periodo de estudio. La concentración de NO_3^- que se detectó en las soluciones del

acero galvanizado en el mes de agosto fueron las más altas con una concentración de 217.72 mg/l, con respecto a los demás meses. En el caso de las lluvias en el mes de agosto y septiembre también se detectó el valor más alto de 1.81 mg/l de la solución proveniente del acero galvanizado. El dióxido de azufre es el gas más corrosivo para los metales. Este se forma durante la combustión de los combustibles fósiles que tienen contenido de azufre. El SO₂ es moderadamente soluble en agua, por lo que una fracción significativa es absorbida por las partículas de aerosol. Al ser disuelto en agua, en la presencia del oxígeno del aire el SO₂ se convierte en SO₃²⁻ (sulfito), el cual no es estable y forma el ácido sulfuroso (H₂SO₃), posteriormente se transforma en ácido sulfúrico (H₂SO₄). Este último es un ácido que se disocia en el agua, dando el origen de los iones de sulfato (SO₄²⁻). I. En la **Tabla 4**, se observan los resultados de la

concentración de SO₄²⁻ de las soluciones provenientes de las muestras de acero galvanizado.

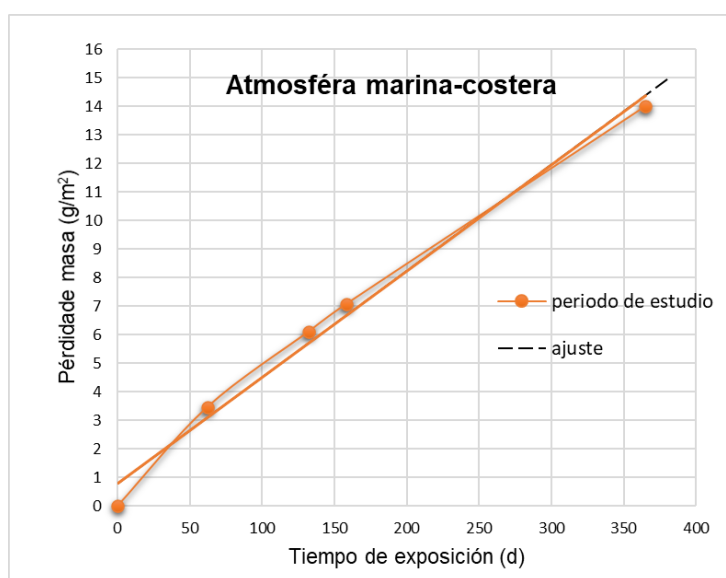
Los valores registrados están en el rango de 3.38 - 17.14 ±5.47, las lluvias registraron valores en el rango de 0.25 - 3.36 ±1.14.

Velocidad de corrosión del acero galvanizado. En la **Figura 4**, se muestra la pérdida de masas de las muestras del acero galvanizado, expuestas en el ambiente marino durante el periodo de estudio. El cual registró una pérdida de masa de 3.462 g/m², en el último del estudio se presentó una pérdida de 14.002 g/m². De acuerdo con el avance del tiempo, la pérdida de masa del acero galvanizado, presenta un comportamiento lineal, con un coeficiente de correlación R = 0.99 y se presenta la aceleración del proceso de corrosión en el ambiente de ensayo, en dependencia de los parámetros climáticos y de contaminantes. Lo que indica que la

velocidad de formación de la capa protectora (óxidos/hidróxidos) y su interacción con el medio ambiente se modifica, transformándose en una película protectora, que se disuelve

parcialmente con el tiempo, incluyendo su remoción física de la superficie metálica, dando la posibilidad para un nuevo desarrollo de corrosión del zinc.

Figura 4. Pérdida de masa de Zn de muestras de acero galvanizado con relación al tiempo de exposición en el ambiente marino del clima tropical húmedo



El alto valor anual del tiempo de humectación de la superficie metálica (categoría de agresividad t_5 , según ISO 9223), que se desarrolla principalmente en un rango de temperaturas entre 20- 25 °C, ha posibilitado el desarrollo de corrosión acelerada y pérdidas de masa de Zn anualmente en el orden de 2.02 $\mu\text{m/año}$.

De esta manera, al clima marino costero de Paraíso, Tabasco se le puede asignar la categoría de agresividad C₄ (alta), según SO 9223. De acuerdo con lo mostrado en la **Tabla 5**, los factores meteorológicos y contaminantes reportados, se utilizaron para la predicción de la corrosión atmosférica. Utilizando un

modelo de regresión múltiple, expresados en la ecuación (1). Donde los principales factores utilizados son el % HR, T, cloruros y SO₂. Estas condiciones meteorológicas tienen una gran influencia sobre la función de daño dosis/respuesta y el impacto de

los parámetros agresivos sobre la corrosividad atmosférica. Así mismo estos factores son multiplicados por coeficientes que se consideran constantes para cada material y determinadas condiciones de exposición

.Tabla 5. Factores meteorológicos y contaminantes reportados en el periodo del ensayo

| Periodo de estudio | T °C | HR % | Precipitación mm/mes | Cl ⁻ (mg/m ² día) mes | SO ₂ (mg/m ² día) mes |
|--------------------|------|------|----------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Septiembre | 27.8 | 83 | 287 | 74.21 | 12.02 |
| Octubre | 26.7 | 75 | 343 | 76.10 | 23.41 |
| Noviembre | 25.2 | 86 | 210 | 81.48 | 13.82 |
| Diciembre | 23.4 | 88 | 178 | 72.11 | 16.25 |
| Enero | 22.7 | 84 | 143 | 92.57 | 9.12 |
| Febrero | 23.7 | 76 | 93 | 86.34 | 17.72 |
| Marzo | 26.1 | 79 | 44 | 82.96 | 25.47 |
| Abril | 27.8 | 72 | 43 | 99.07 | 6.99 |
| Mayo | 29.1 | 69 | 65 | 93.88 | 19.33 |
| Junio | 28.8 | 77 | 135 | 110.41 | 31.80 |
| Julio | 28.5 | 75 | 120 | 117.79 | 11.54 |
| Agosto | 28.5 | 83 | 144 | 76.78 | 25.94 |
| Septiembre | 27.8 | 88 | 284 | 73.55 | 23.46 |

La siguiente ecuación permite relacionar los factores meteorológicos de un clima específico con los contaminantes presentes [20]

$$Y = X_0 + X_1[T] + X_2[HR] + X_3[Cl^-] + X_4(SO_2) \quad (1)$$

De aquí se denota que la variable que más influye en la velocidad de corrosión del

acero galvanizado es la temperatura, seguida por la Humedad Relativa. Estas variables de acuerdo a la Norma ISO 9223, tienen una agresividad T₅, considerada como alta, los contaminantes están en menor proporción, pero el que más influye es el SO₂

$$Y = -49.418 + 0.959X_1 + 0.340X_2 + 0.076X_3 + 0.110X_4 \quad (2)$$

Otros estudios realizados por Del Ángel et al., [20].coinciden que la Temperatura y la Humedad Relativa son las principales variables que aceleran la corrosión en los climas tropicales

CONCLUSIONES

La investigación permitió determinar la agresividad atmosférica y obtener datos básicos de velocidad de corrosión del acero galvanizado del municipio de Paraíso, Tabasco. De acuerdo con el estudio realizado y considerando los factores que propician y aceleran la corrosión atmosférica como son los fuertes vientos y la humedad relativa. Los vientos arrastran los contaminantes que se producen alrededor de dicha atmósfera y que está cerca del Puerto de Dos Bocas en donde se ubican Pozos Petroleros los cuales emiten contaminantes. Los parámetros de este estudio demuestran que las categorías de agresividad, basadas en los contaminantes corrosivos

SO₂, son muy bajas (P₀) a bajas (P₁) y los cloruros presentan categorías de agresividad alta (S₂), de acuerdo con la norma ISO 9223. No obstante, el acero galvanizado presenta pérdidas de masa por corrosión anuales de 14 g/m². Al clima marino costero de Paraíso, Tabasco, se le puede asignar la categoría de agresividad C₄ (alta), de acuerdo con la norma ISO 9223. Las ecuaciones de regresión lineal múltiple, indican que las variables que más propician la corrosión atmosférica son la T – HR y el SO₂.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, por el apoyo para realizar esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] Tejeros Rivas, M. C., del Angel Meraz, E., Butista Margulis, R. G., & Hernández Morales, N. E. (2015). Corrosivity index copper and steel at two locations in Villahermosa, Tabasco. *Ingeniería investigacion y tecnologia*, XVI(2), 197-206.

- <http://dx.doi.org/10.1016/j.riit.2015.03.004>
- [2] Liu, Y., Ooi, A., Tada, E., & Nishikata, A. (2019). Electrochemical monitoring of the degradation of galvanized steel in simulated marine atmosphere. *Corrosion science*. 147, 273-282. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.11.013>
- [3] Qi, Y., Zhen Yao, W., & Chen, P. (2018). Initial corrosion behavior of pure zinc in simulated tropical marine atmosphere. *Transactions of nonferrous metals society of china*, (28) 2582-2591. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(18\)64905-2](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(18)64905-2)
- [4] Chuang, Q., Lianfeng, S., Long, h., Xin, M., Junhua, D., Wei, K., & Bo, L. (2019). Corrosion kinetics and patina evolution of galvanized steel in a simulated coastal industrial atmosphere. *Journal of materials science & technology*, 35(10), 2345-2356. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2019.05.039>
- [5] Tittarelli, F., Mobili, A., Giosuè, C., Belli, A., & Bellezze, T. (2018). Corrosion behaviour of bare and galvanized steel in geopolymer and ordinary portland cement based mortars with the same strength class exposed to chlorides. *Corrosion science*, 134, 64-77. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.02.014>
- [6] Giannarelli, S., Onor, M., Abete, C., Termine, M., & Fuoco, R. (2019). Effect of altitude and distance from the sea on fractionation processes of Persistent Organic Pollutants (POPs) associated to atmospheric aerosol from Ross Sea to Dome C, Antarctica. *Microchemical Journal*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.05.012>
- [7] Jun, L., Guangfeng, O., Qiwen, Q., Feng, X., Kaifeng, T., & Jiabin, z. (2018). Atmospheric chloride deposition in field concrete at coastal region. *Construction and Building Materials*, 190, 1015-1022. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.094>
- [8] ISO 9223. (2012). Corrosion of metals and alloys. Corrosivity of atmospheres, Classification, determination and estimation. International standards organization.
- [9] Dario Camuffo. (2019). Chapter 19 - Measuring Time of Wetness and Moisture in Materials. *Microclimate for Cultural Heritage*, 459-482. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64106-9.00019-5>
- [10] Información Climatológica por estado. (n.d.) (2018), https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=tab_fecha_de_consulta 18 de November de 2018
- [11] ASTM E G1-03. (2017). Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens. ASTM E1.

- [12] ISO 8565. (2011). Metals and alloys, Atmospheric corrosion testing, General requirements. International Standards Organization .
- [13] ISO 9225. (2012). Corrosion of metals and alloys. Corrosivity of atmospheres. Measurement of environmental parameters affecting corrosivity of atmospheres. International Standards Organization.
- [14] Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016. (2016). Análisis de Agua. Medición de PH en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas. Método de Prueba. Secretaria de Comercio y Fomentó Industrial.
- [15] Norma Mexicana NMX-AA-093-SCFI-2000. (2018). Análisis de agua. Medición de la conductividad eléctrica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de Prueba. Secretaria de Comercio y Fomentó Industrial.
- [16] Norma Mexicana NMX-AA-073-2001. (2001). Análisis de agua. Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.
- [17] Norma Mexicana NMX-AA-079-SCFI-2001. (2001). Análisis de aguas. Determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Secretaria de Comercio y Fomentó Industrial.
- [18] Norma Mexicana NMX-AA-074-SCFI-2014. (2014). Análisis de agua. Medición del ion sulfato en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Secretaria de Comercio y Fomentó Industrial.
- [19] ISO 8407. (2014). Corrosion of metals and alloys. Removal of corrosion products from corrosion test specimens. International Standards Organization.
- [20] Del Angel,E., Vera, R & Corvo, F. (2015). Atmospheric Corrosion of Galvanised Steel in Different. International Journal of, 10(1), 7985-8004.
<https://www.researchgate.net/publication/282098432>.

