

Comportamiento del Acero al Carbono y Acero Galvanizado en Diferentes Ambientes Panameños

Lilibeth De Gracia de Araque
Universidad Tecnológica de Panamá
Centro Experimental de Ingeniería
e-mail: laraque@utp.ac.pa
Panamá, Rep.de Panamá

Mariela S. de Villalaz
Universidad Tecnológica de Panamá
Centro Experimental de Ingeniería
e-mai: mvillala@utp.ac.pa
Panamá, Rep.de Panamá

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados del comportamiento del acero al carbono SAE 1020 y de los aceros galvanizados por inmersión en caliente, proceso discontinuo, y por electrodeposición en proceso continuo, expuestos a la intemperie en la Sede Provisional de la Universidad Tecnológica de Panamá y en Bahía Las Minas en Colón, durante un período de cuatro años.

Las velocidades de corrosión de los materiales expuestos indican que la intensidad de este proceso corrosivo está relacionado con el metal en cuestión, el tipo de protección que se tenga y el ambiente en que se desempeñan.

La atmósfera marina mixta o industrial marina de Bahía Las Minas, reportada como la de mayor agresividad entre las regiones panameñas estudia en el Proyecto Mapa Iberoamericano de Corrosividad Atmosférica (MICAT), evidencia la influencia de los factores climáticos y de contaminación atmosférica (SO_2 y Cl^-) sobre la corrosión de los metales estudiados.

Palabras claves: corrosión atmosférica, corrosión galvánica, recubrimientos metálicos, velocidad de corrosión.

1. INTRODUCCIÓN

En muchas oportunidades hemos observado, a través de la experiencia práctica, que materiales de uso común y con buenos rendimientos en un ambiente determinado, se deterioran muy rápidamente en otros. La acción de la atmósfera sobre los metales constituye uno de los mayores problemas relacionados con la durabilidad de los equipos y construcciones metálicas que operan al aire libre, y cuyo desconocimiento puede representar pérdidas económicas considerables.

El mecanismo de la Corrosión Atmosférica es electroquímico. Para que este mecanismo se lleve a cabo es necesario un electrolito que puede ser desde una monocapa o una película muy delgada de humedad condensada, hasta capas de agua que mojan el metal visiblemente, producto de la lluvia, rocío, etc. La intensidad del proceso de corrosión atmosférica está relacionado principalmente con el TDH, la temperatura del aire y la composición química de la atmósfera, básicamente el contenido de dióxido de azufre (SO_2) y cloruros (Cl^-), este último producto del aerosol marino.

La Norma ISO 9223 clasifica las atmósferas según su corrosividad y estima el Tiempo de Humectación (TDH) como el número de horas por año en que la superficie metálica está expuesta a Humedad Relativa (HR) mayor o igual a 80% con temperaturas del aire superior a 0°C .

Después de años de estudio de las condiciones meteorológicas y de contaminación por SO_2 y Cl^- , se identificó a la zona de Bahía Las Minas en Colón, ubicada en las coordenadas geográficas de $9^\circ 22'$ de Latitud Norte y $79^\circ 50'$ de Longitud Oeste, a una altura de 2 metros sobre el nivel del

mar, como la de mayor agresividad entre las regiones panameñas estudiadas en el marco del Proyecto Mapa Iberoamericano de Corrosividad Atmosférica (MICAT). [1]

La zona de Bahía Las Minas muestra una categoría de corrosividad **C5** para el acero al carbono, que representa la más alta en la clasificación actual de la Norma ISO 9223 (de C1 a C5) y que establece una corrosión anual mayor de 83 μm para el acero al carbono. En esta estación de ensayo se registraron parámetros típicos del clima tropical con alta precipitación pluvial y época seca definida, con niveles moderados de SO_2 y Cl^- , quedando establecida como atmósfera marina mixta o industrial marina.

El otro punto de estudio fue la estación de ensayo ubicada en la Sede provisional de la Universidad Tecnológica de Panamá, en la ciudad de Panamá, con coordenadas geográficas de $8^{\circ} 58' 1$ Latitud Norte y $79^{\circ} 31' 1$ Longitud Oeste, a una altura de 29 metros sobre el nivel del mar. La estación de Panamá tiene una categoría de corrosividad **C3** para el acero, en esta estación el régimen de lluvias es menor que el registrado en Colón, lo mismo que el TDH. El nivel de contaminantes medido también presenta valores inferiores. Es clasificada como atmósfera urbana.

Este trabajo tiene como objetivos los siguientes:

- Comparar el comportamiento del acero SAE 1020 y del acero galvanizado por inmersión en caliente aplicado en proceso discontinuo, ambos expuestos a la intemperie durante un período de cuatro años en los ambientes descritos previamente.

- Correlacionar la influencia de los contaminantes atmosféricos y de los parámetros climáticos con las velocidades de corrosión que presentaron los aceros galvanizados y los aceros al carbono (SAE 1020), en las mismas estaciones de ensayo y por último conocer la velocidad de corrosión.
- Evaluar la protección galvánica de los aceros galvanizados, uno por inmersión en caliente discontinuo y el otro aplicado por electrodeposición en proceso continuo, ambos expuestos en las mismas condiciones y el mismo tiempo, en el ambiente industrial marino de Colón.

A pesar de que el acero se utiliza comúnmente con algún tipo de recubrimiento protector, se expusieron probetas desnudas precisamente con la finalidad de determinar las diferencias en las tasas de corrosión y el aumento de la vida útil que ofrecen los revestimientos metálicos, en este caso los de zinc. Estos revestimientos además de actuar como barrera protectora, funcionan como ánodo de sacrificio, es decir que reaccionan antes los efectos del medio ambiente protegiendo así al sustrato o metal base.

Los resultados que se presentan en este artículo son producto de años de estudios realizados por el grupo de trabajo conformado por investigadores de la Universidad Tecnológica de Panamá y de la Universidad de Panamá, como parte del Proyecto “Mapa Iberoamericano de Corrosividad Atmosférica (MICAT)” y de la Red Temática “Pátina. Protección Anticorrosiva de Metales en la Atmósfera”, ambos en el marco del Programa “Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED)”. [1] [2] [3].

La metodología y descripción del trabajo experimental se presenta bajo Materiales y Métodos, los resultados se presentaran en acápite independiente, lo mismo que la discusión y conclusiones elaboradas sobre la base de los resultados y observaciones experimentales.

El presente trabajo correlaciona los parámetros climáticos y de contaminación con el comportamiento del acero desnudo y el acero recubierto (en este caso galvanizado) lo que permitirá a los constructores, ingenieros, vendedores y personas relacionadas, tener mejor criterio de selección en función del espesor del recubrimiento, el ambiente en que estará expuesto el material y su tasa de corrosión.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada para las exposiciones de las muestras metálicas se realizó siguiendo los lineamientos generales del programa ISOCORRAG de ISO [4]. Se seleccionaron las estaciones de Ensayo en Panamá y Colón, considerando que sus climas son representativos de diferentes regiones del país y que además presentan una mayor actividad en la construcción y utilización de equipos y maquinarias expuestas a la atmósfera. En cada estación de ensayo se instalaron bastidores de exposición y se aseguró contar con equipo para el registro de Humedad Relativa, Temperatura del aire y cantidad de lluvia. También se instalaron los captadores de SO₂ y Cloruros atmosféricos.

Las probetas de los materiales a ensayar se colocaron sobre el bastidor con una inclinación de 45° y a una altura sobre el suelo mayor a 0.75 metros, tomándose la precaución de evitar el contacto entre una y otra. Las probetas se fijaron al bastidor con sujetadores plásticos y se

alinearon con orientación de sus caras expuestas mirando al mar (orientación Norte). Las dimensiones de las probetas de acero al carbono (SAE 1020) y aceros galvanizados por inmersión en caliente y por electrodeposición fueron las siguientes: 100 x 50 mm., con espesores de lámina y de recubrimiento descritas en **Tabla No.1**

TABLA No.1 Materiales Bajo Ensayo y sus Respectivos Espesores

MATERIAL	ESPESOR PROMEDIO (mm)
ACERO DE BAJO CARBONO SAE 1020 C=0.18-0.23%, Mn=0.30-0.60, P=0.04% max, S=0.05% max.	3 mm
ACERO GALVANIZADO EN CALIENTE (discontinuo)ASTM A-123	39 μm
ACERO GALVANIZADO POR ELECTRÓLISIS (cincado en frío)	6μm

Se expusieron probetas galvanizadas por ambos procesos, con y sin incisión. La incisión no es más que una rayadura longitudinal que llega al metal base quedando éste al descubierto.

Las probetas con incisión fueron utilizadas para evaluar la protección galvánica que ofrece el recubrimiento de cinc [5], las probetas sin incisión se utilizaron para determinar la pérdida de peso y para estudios especiales.

Cada una de la probetas fue identificada y marcada debidamente. La **Tabla No.2** muestra las principales características de los recubrimientos metálicos y las normas utilizadas para su control.

los 12, 24 y 48 meses, se midieron las pérdidas de peso después de cada retiro, de acuerdo con la norma ISO/ DIS 8407 [7], y se calcularon las velocidades de corrosión de acuerdo con el método gravimétrico ISO 9226 [8].

Con la misma frecuencia se realizaron observaciones visuales y se evaluaron aspectos físicos como: formación de productos de corrosión del revestimiento, formación de productos de corrosión del acero del substrato (acero base), descascaramiento del revestimiento, corrosión en los bordes, picaduras y otras. Mensualmente se llevaron a cabo las captaciones y análisis de los contaminantes atmosféricos dióxido de azufre y cloruros de acuerdo con las normas [8], [9], igualmente los datos de clima.

3. RESULTADOS

Las condiciones ambientales monitoreadas mensualmente durante los años 1990-1996 en las estaciones de ensayo de Panamá y Colón se muestran en **la Tabla No.3**

En la **Tabla No.4** se presentan los valores promedios de las condiciones ambientales en las estaciones mencionadas, correspondientes a los cuatro (4) primeros años.

Los registros de contaminación por SO₂ y Cl⁻ permitieron clasificar las atmósferas según el nivel de contaminantes, de acuerdo con la norma ISO 9223, que se reportan en la **Tabla No. 5**. Las figuras **No.1 y No.2** presentan estos datos.

Los resultados de las velocidades de corrosión obtenidas para el acero al carbono SAE 1020 y para el acero galvanizado por inmersión en caliente, proceso discontinuo, se presentan en la **Tabla No 6**.

Los **figuras No.3 y No.4** muestran las velocidades de corrosión ($\mu\text{m/año}$) de los materiales arriba mencionados en las estaciones de Panamá y Colón.

TABLA No.3 Promedios Anuales de las Condiciones Ambientales en las Estaciones de Panamá y Colón

Año	T °C		HR %		TDH fracción anual		Lluvia mm/año		SO ₂ mg/m ² /día		Cl ⁻ mg/m ² /día	
	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C
90	26.5	27.0	68	76	0.56	0.75	1686	3816	38.5	63.00	4.89	10.81
91	27.2	27.3	71	76	0.61	0.72	1398	4392	19.98	50.74	8.51	18.73
92	27.0	26.9	74	80	0.55	0.70	1586	3643	6.65	28.78	15.89	20.76
93	26.9	26.9	80	85	0.58	0.72	1824	3657	9.12	48.04	11.21	17.97
94	26.7	26.9	77.3	84	0.63	0.71	1639	3398	7.61	26.34	12.38	19.08
95	26.6	-----	78.3	-----	0.78	----	2515	3871	8.96	21.57	11.31	17.96
96	26.6	26.8	-----	85	0.70	----	1958	4200	7.50	21.36	13.87	17.00

P- Estación de Panamá

C- Estación de Colón

---- No hubo registro

TABLA No.4 Valores Promedios de las Condiciones Ambientales 1990-1996

ESTACIÓN	T °C	HR %	TDH Fracción anual	LLUVIA mm/año	SO ₂ mg/m ² .d	Cl ⁻ mg/m ² .d
PANAMÁ	26.9	74.0	0.59	1627	14.0	11.2
COLÓN	27.0	80.2	0.72	3781	37.1	17.5

TABLA No.5 Clasificación según el Nivel de Contaminantes. ISO 9223

ESTACIÓN	CATEGORÍAS DE CONTAMINACIÓN		CATEGORÍAS DE CORROSIVIDAD	
	[SO ₂]	[Cl ⁻]	ACERO	ZINC
PANAMÁ	P (2)	S(2)	C3	C3
COLÓN	P (3)	S(2)	C5	C4

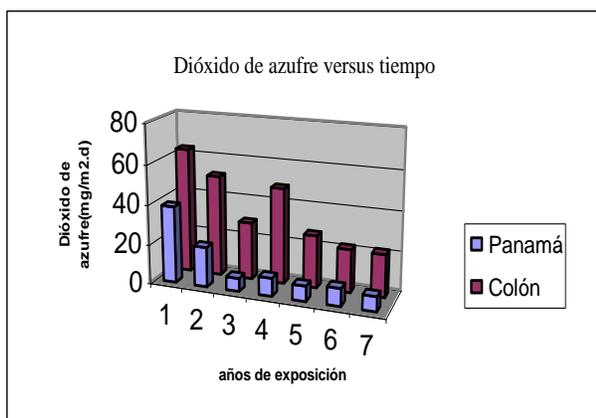


Fig.No.1 Dióxido de Azufre en Función del Tiempo de Exposición

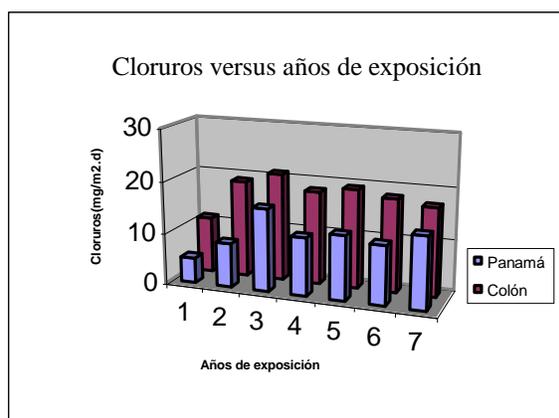


Fig.No.2 Cloruros en Función del Tiempo de Exposición

TABLA No. 6 Velocidades de Corrosión en $\mu\text{m}/\text{año}$ en Función del Tiempo de Exposición

ESTACIÓN	PANAMÁ		COLÓN	
T. de exposición (años)	Acero SAE 1020	Acero galvanizado	Acero SAE 1020	Acero Galvanizado
1	38.10	1.17	106.53	3.70
2	26.72	1.80	77.64	3.48
3	22.84	0.76	61.06	2.48
4	16.84	0.55	58.96	----

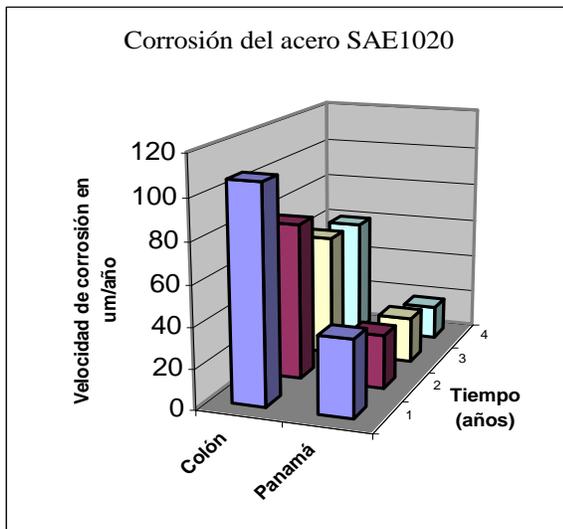


Fig.No.3 Velocidad de corrosión del acero SAE 1020 vs T.de Exposición

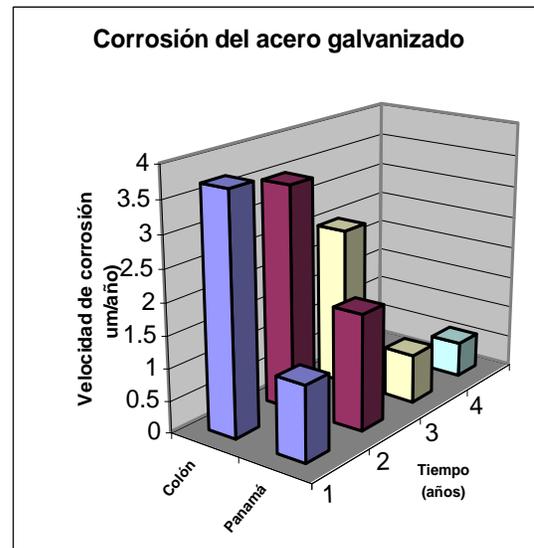


Fig.No.4 Velocidad de Corrosión del Acero Galvanizado vs T. de Exposición

La **Figura No.5** muestra la apariencia física del acero galvanizado por inmersión en caliente (discontinuo) antes y después de 4 años de exposición y la **Figura No.6** el acero galvanizado por electrólisis antes y después de 30 meses de exposición.



Fig.No.5 Acero Galvanizado por Inmersión en Caliente antes de la Exposición y después de 4 años de exposición

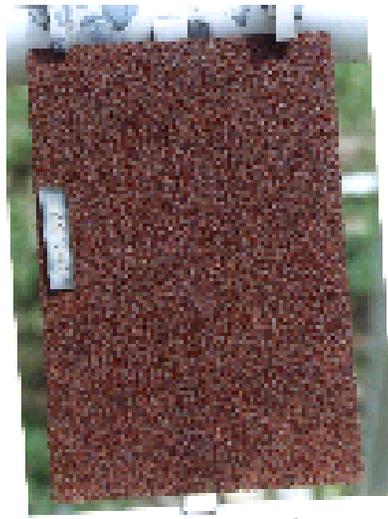
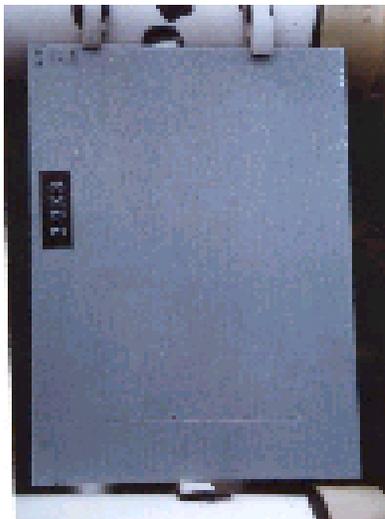


Fig.No.6 Acero Galvanizado por Electrólisis antes de la Exposición y después de 30 meses de exposición

4. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

- Los registros periódicos de temperatura, humedad relativa y precipitación anual obtenidos (Tabla No.3) permitieron corroborar que el clima de Panamá se mantiene como tipo Sabana Tropical y el de Colón como Tropical Monzón [1].
- Las temperaturas promedio en las estaciones de Panamá y Colón son similares y oscilan entre 26 y 27 °C. Los promedios anuales de las humedades relativas no presentan grandes diferencias, sin embargo si la hay en el tiempo de humectación (TDH).
- En la estación de Colón la superficie metálica permanece húmeda el 80% del año es decir aproximadamente tres cuartas partes, mientras que Panamá es alrededor del 50% del año.
- La categoría de contaminación por cloruros, obtenida de acuerdo con la Norma ISO 9223 es similar para Panamá y Colón (Tabla No.5). Esto podría explicarse debido a que la estación de Colón, que de hecho es marina por su cercanía al mar, está ubicada en una ensenada, sin oleaje y con cierta vegetación a su alrededor que funciona como una barrera para el aerosol marino.
- En la estación de Colón la categoría de contaminación por SO₂ es superior a la de Panamá, producto de los gases de combustión que emanan de la chimenea de la Refinería de Panamá y de la Planta Termoeléctrica, ambas ubicadas en las cercanías de la estación.
- Es importante destacar la gran diferencia en velocidad de corrosión que experimentan los materiales expuestos en Colón en relación con los expuestos en Panamá (Tabla No.6). Esta

diferencia está directamente relacionada con la acción sinérgica que están ejerciendo el TDH y los contaminantes atmosféricos (SO_2 y Cl^-) en la estación de Colón.

- La diferencia en velocidad de corrosión entre materiales expuestos en una misma estación concretamente el acero al carbono y el acero galvanizado en Colón pone de manifiesto por un lado la importancia del recubrimiento y por otro la eficiencia del galvanizado por inmersión en caliente que está en relación directa con el espesor del mismo, sin dejar a un lado otras características importantes y que también deben ser controladas tal como aparece en la Tabla No.2.
- Otro aspecto interesante que hay que resaltar es la diferencia entre el comportamiento del recubrimiento de zinc obtenido por el proceso de inmersión en caliente y el obtenido por electrólisis expuestos ambos en un mismo micro clima, en este caso Colón. Observamos que el galvanizado por inmersión en caliente funcionó como recubrimiento tipo barrera y como ánodo de sacrificio puesto que la incisión no se recubrió en su totalidad de herrumbre, sino más de óxidos blancos típicos del zinc.
- La velocidad de corrosión de las probetas galvanizadas por el proceso de inmersión en caliente se calculó por el método gravimétrico (ISO DIS 8407) pero no así la de las galvanizadas electrolíticamente ya que aproximadamente a los 6 meses estaban recubiertas de herrumbre (Figuras No. 5 y 6). Este comportamiento podría explicarse tanto por la diferencia en espesores como por el mismo proceso de galvanizado. Por el proceso de inmersión en caliente se obtienen compuestos intermetálicos intermedios entre el acero base y

la capa externa de zinc, por electrólisis la capa de zinc se deposita directamente sobre el acero.

BIBLIOGRAFÍA

[1] M. Morcillo, E. Almeida, B. Rosales, J. Uruchurtu y M. Marrocos, Corrosión y Protección de Metales en las Atmósferas de Iberoamérica, España, Gráficas Salué, S.A., 1999.

[2] M. Sánchez de Villalaz, Agnes Fóti de Bósquez, Juan Antonio Jaén, Corrosividad Atmosférica de Panamá. Proyecto MICAT-Panamá, Panamá, UTP. Divulgación Técnica, 2000.

[3] Liboria Mariaca-Rodríguez, Elisabete Almeida, Agnes de Bosquez, Ada Cabezas, Juan Fernando-Alvarez, Gunter Joseph, Marcelo Marrocos, Manuel Morcillo, Julian Peña, Maria Rosario Prato, Susana Rivero, Blanca Rosales, Guillermo Salas, Jorge Uruchurtu-Chavarin, and Asdrubal Valencia, "Marine Atmospheric Corosion of Reference Metals in Tropical Climates of Latin-America", American Society for Testing and Materials (ASTM), Authorized Reprint from Standard Technical Publication 1399, 17 pag., 2000.

[4] The collaborative testing programe " ISOCORRAG" Technical Manual, ISO /TC 156 WG4 1986

[5] Lilibeth De Gracia de Araque, Mariela S. de Villalaz y colaboradores, " Estudio metalográfico de las probetas con incisión. Red temática "PATINA", CYTED". Conferencia presentada en el V Congreso de SENACYT, agosto de 1999

[6] ISO 4542/81- Metallic and other non organic coating. General rules of stationary outdoor exposure test.

[7] ISO / DIS 8407 "Metals and alloys- Procedures for removal of corrosion products from corrosion test specimens."

[8] ISO 9226/92- "Corrosion of metals and alloys- Corrosivity of atmospheres- Determination of corrosion rate of standard specimens for evaluation of corrosivity."

[9] ISO/DIS 9225 " Corrosion of metals and alloys- Agressivity of atmospheres-Methods of measurement of pollution data".