

COMPORTAMIENTO DEL ACERO GALVANIZADO POR INMERSION EN CALIENTE EN MEDIO ATMOSFERICO

Sánchez, Miguel / Contreras, Ramón / De Rincón, Oladis / Pérez, Orlando / Rincón, Álvaro / Campos, William

Centro de Estudios de Corrosión, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

miguelcvc@yahoo.com

INTRODUCCION

La corrosión atmosférica procede en un sistema relativamente complicado, constituido por el metal, los productos de corrosión, el electrolito superficial y la atmósfera. A temperatura ambiente y en una atmósfera perfectamente seca la corrosión puede ignorarse para efectos prácticos ya que progresa a velocidad infinitesimal. La corrosión es factible únicamente cuando las superficies metálicas están humedecidas. El mecanismo es de carácter electroquímico, donde el electrólito es una capa de humedad, que unas veces es extremadamente delgada y otras veces humedece considerablemente al metal. La corrosión depende del tiempo que permanece la capa de humedad sobre la superficie metálica, o sea, del verdadero tiempo del proceso, más que del transcurso de un período determinado (mes, año, etc.).¹⁻⁶

La corrosión atmosférica es un proceso electroquímico, que produce el deterioro de una diversidad de materiales por la continua exposición de los mismos al medio ambiente, originándose una pérdida o disminución de las propiedades mecánicas y físicas que presentan dichos materiales. La corrosión atmosférica procede en un sistema relativamente complicado, constituido por el metal, los productos de corrosión, el electrolito superficial y la atmósfera.¹

A temperatura ambiente y en una atmósfera perfectamente seca la corrosión puede ignorarse para efectos prácticos ya que progresa a velocidad infinitesimal. La corrosión es factible únicamente cuando las superficies metálicas están humedecidas.

Los elementos imprescindibles para que ocurra la corrosión en metales entran están siempre presentes en el aire, aún cuando el mismo no esté contaminado, ellos son el oxígeno y el agua. La introducción de cantidades variables de contaminantes en el aire, tales como dióxido de azufre, iones cloruro, hidrocarburos, aerosoles, etc., en localidades específicas producen variaciones en la composición normal del aire, lo cual incrementa su capacidad corrosiva. Los efectos particulares de los constituyentes del aire y sus contaminantes sobre la corrosión metálica.⁶

El galvanizado por inmersión en caliente es uno de los métodos más utilizado en el control de corrosión atmosférica. Consiste en sumergir completamente una pieza de acero en un baño de cinc fundido entre 430 y 465°C. El cinc fundido reacciona con el acero formando capas aleadas sobre la superficie del material, cada capa contiene progresivamente mayor cantidad de zinc y la capa exterior consiste de cinc puro.⁷⁻¹³

La vida útil del recubrimiento galvanizado está determinada principalmente por el espesor del mismo y las características de las condiciones de exposición. Los valores de espesor oscilan entre 40 y 80 micras, siendo algo superiores cuando el material base es una fundición. Las condiciones de servicio en que deberá estar la pieza galvanizada determinan el espesor a conseguir. El acero galvanizado se utiliza en diferentes ambientes tanto en interiores como exteriores, ambientes químicos, soluciones acuosas, ambientes húmedos y marinos. Los factores económico y estético son factores complementarios a tener presentes, pues un recubrimiento muy grueso, además del consiguiente consumo de zinc, presenta frecuentemente, un color superficial gris mate por la difusión de los compuestos intermedios hacia la superficie.^{9,11,12}

Generalmente la velocidad de corrosión del recubrimiento de cinc está entre un 1/10 y 1/30 con relación al acero sin recubrimiento, sin embargo el comportamiento puede variar en función de las condiciones específicas en que se encuentre expuesto.^{11,12}

Entre las variables que ejercen mayor influencia sobre el proceso de la corrosión atmosférica están: la humedad relativa, el tiempo de humectación, la temperatura, las precipitaciones, el viento, contaminantes aereoquímicos, condiciones de exposición y la composición del metal.

Realizar una comparación precisa del comportamiento del recubrimiento galvanizado frente a la corrosión en diferentes ambientes, es muy difícil dada la diversidad de factores que intervienen. Generalmente los ambientes donde se expone este material contiene muchos contaminantes, los cuales combinados con la frecuencia y duración de la humedad, son factores principales que determinan la velocidad de corrosión del recubrimiento. Las atmósferas se clasifican en industrial, rural, urbana y marina, dentro de esta clasificación se observan diversos grados de corrosividad.^{2,3,6}

El cinc protege al acero proporcionando una barrera física entre éste y la atmósfera, además provee la protección catódica al acero cuando éste se encuentra expuesto.⁹ El grado de los diferentes mecanismo de reacción de la corrosión atmosférica de los metales esta influenciado particularmente por los siguientes factores: tipo de metal, característica de la atmósfera y propiedades de los productos de corrosión formados; éstos factores a su vez determinan las condiciones de la interfase metal – electrólito. En general el cinc pertenece a un conjunto de metales cuyos productos de corrosión se obtienen principalmente por la formación directa de óxidos e hidróxidos anódicos.

Los productos de corrosión formados sobre el acero galvanizado no corresponden a un único tipo, sino a productos diferentes dependiendo tanto del ambiente como del tiempo o período de exposición. Los mecanismos de corrosión del cinc/acero galvanizado pueden darse en ambientes^{7,8} no contaminados y contaminados. En los no contaminados una delgada capa de cinc protege al acero por largos períodos bajo condiciones atmosféricas poco agresivas, es debido a la capa de productos de corrosión protectores que éste forma. Inicialmente se forman como producto de reacción entre el oxígeno y el aire, en ambientes relativamente secos, el óxido de cinc, que en presencia de humedad se transforma hidróxido de cinc, el cual reacciona con el dióxido de carbono para formar el carbonato de cinc. El carbonato de cinc es adherente, relativamente insoluble y probablemente responsable de la excelente y duradera protección proporcionada por el recubrimiento galvanizado.⁸

En ambientes contaminados tales como las atmósferas industriales ocurre que debido a la presencia del dióxido de azufre, la condensación en áreas industriales tiende a ser ácida.^{6,8} Por lo tanto, un agua con un pH muy bajo en contacto con el cinc podría ocasionar una rápida disolución de la película protectora y por último del metal. Más aún, como la reacción

continúa el pH del agua puede incrementarse hasta el de una sal básica, usualmente el carbonato y de nuevo precipitar. Una vez formada la película de precipitado, esta inhibe la corrosión hasta que se disuelve de nuevo por la acción de la humedad ácida. Además, los sulfatos de cinc formados durante el proceso son muy solubles y pueden ser fácilmente removidos por las lluvias, en consecuencia el espesor inicial de la capa de productos de corrosión tiende a restablecerse por la formación de nuevos óxidos e hidróxidos de cinc.

El objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento del acero galvanizado por inmersión en caliente en diferentes ambientes atmosféricos.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La metodología experimental se desarrolló en dos aspectos:

1.- Preparación de las probetas

El material utilizado como metal base fue el Acero al Carbono AISI SAE 1020, en forma de láminas. La caracterización de dicho metal se realizó mediante la observación metalográfica y el análisis químico elemental ejecutados con el equipo denominado Metalscan – 1625 TM, el cual es un instrumento de Espectrometría de Chispa que se encuentra acoplado a un microcomputador, para realizar análisis químicos no destructivos de los materiales.

Las láminas se cortaron de 15 cm de largo por 10 cm de ancho, y con un espesor de 3 mm, a cada sección se le perfora un orificio. Luego se procede a pulir las superficies metálicas con papel de carburo de silicio para eliminar las posibles rebabas (material irregular) en las caras y en los bordes de las muestras. Posteriormente las probetas son identificadas (troqueladas) mediante un número. Posteriormente las muestras se desengrasaron con alcohol metílico, se lavaron con agua y jabón, se humedecieron con acetona y luego se secaron con aire caliente. Finalmente las probetas se pesaron y se guardaron en un lugar seco (desecador) hasta someterlas al proceso de galvanizado por inmersión en caliente.

El cinc utilizado para galvanizar el acero por inmersión en caliente, se encuentra en forma de lingotes con un peso de aproximadamente de 28 Kg, y según el fabricante presenta las siguientes características: Tipo: Speed High Grade. Composición: - Plomo: 0,003% (máximo),

Hierro: 0,003% (máximo); Cadmio:0,003% (máximo); Aluminio: 0%; Zinc : 99,99%. La inmersión de las probetas en el baño de cinc fundido (430 °C) fue durante tiempos de inmersión de 1, 2 y 3 minutos

2.- Exposición atmosférica del acero galvanizado

2.1.-Selección y ubicación de las estaciones de ensayo.

La selección de las estaciones de ensayo se fundamentó en el proyecto MICAT (Mapa Iberoamericano de Corrosión Atmosférica), del cual se escogieron cuatro (4) estaciones (Figura 16), cada una de las cuales corresponde a un tipo de atmósfera característica. La selección se realizó considerando el tipo de clima, su importancia y la existencia de información meteorológica sobre las mismas. Dichas estaciones se encuentran bajo la responsabilidad del Centro de Estudios de Corrosión de LUZ (CEC-LUZ).¹⁴ El nombre, tipo de atmósfera y coordenadas geográficas de las diferentes estaciones se observan en la Tabla 1.

Tabla 1: Ubicación geográfica de las estaciones de ensayo.

ESTACIONES		COORDENADAS GEOGRAFICAS		
NOMBRE (N°)	TIPO DE	LONGITUD	LATITUD	DISTANCIA A
	ATMÓSFERA	OESTE	NORTE	LAS COSTAS (Km)
El Planetario (E1)	Rural-Marina	71° 42'	10° 46'	1.5
Canalizaciones(E2)	Urbana-Marina	71° 35'	10° 41'	0.7
El Tablazo(E3)	Industrial-Marina	71° 21'	10° 46'	2.0
Voz de Vzla.(E4)	Marina-Especial	69° 56'	12° 12'	0.3

2.2.- Distribución y metodología de muestreo de las probetas en las estaciones de ensayo.

La distribución de las probetas se realizó colocando 9 probetas en cada una de las diferentes estaciones de ensayo, correspondiendo 3 probetas a cada uno de los grupos antes mencionado, de la forma como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Distribución de las probetas en las estaciones de ensayo

Estación	Grupo 1 (1 min.)	Grupo 2 (2 min.)	Grupo 3 (3 min)
Planetario (E1)	2 - 6 - 7	14 - 15 - 16	26 - 28 - 30
Canalizaciones (E2)	4 - 11 - 12	18 - 20 - 22	32 - 34 - 35
El tablazo (E3)	3 - 8 - 10	17 - 21 - 23	25 - 29 - 33
Voz de Vzla (E4)	1 - 5 - 9	13 - 19 - 24	27 - 31 - 36

En cuanto a la metodología de muestreo se tiene que las 4 estaciones, se dividieron en dos grupos. Esta división se basó en el tiempo de exposición empleado para evaluar las probetas según la estación de ensayo considerada. Las probetas de las estaciones del grupo 1 (Planetario y Canalizaciones) se evaluaron para un período de exposición de 1, 3 y 6 meses. Las probetas de las estaciones del grupo 2 (El Tablazo y la Voz de Venezuela) se evaluaron según un período de exposición de 1, 4 y 8 mes.

3.- Evaluación atmosférica del acero galvanizado.

3.1.- Agentes metereoquímicos.

Se determinó la magnitud de los distintos factores climáticos (lluvias, HR, temperatura del ambiente, TDH, etc.), durante el tiempo de exposición de las probetas en las diferentes estaciones de ensayo

3.2.- Agentes aereoquímicos.

Los agentes aereoquímicos de mayor importancia son el contenido de anhídrido sulfuroso, contenido de polvo atmosférico sedimentable y el contenido de iones cloruros. Para realizar las determinaciones de cada uno de ellos el Centro de Estudios de Corrosión (C.E.C) realiza un monitoreo continuo de dichas variables, para lo cual se instalaron en las estaciones de ensayo: Casetas de sulfatación (vela de plomo) según la norma ISO/DP 9225 y ASTM D516-B, en la cual se colocaron a. Cilindros colectores de polvo sedimentable según norma ISO/DP 9225 y ASTM D1739, b. Recolectores de cloruros (vela húmeda) según norma ISO/DP 9225 y ASTM D152-67.

4.- Determinación de la pérdida del peso del recubrimiento de cinc.

La técnica de pérdida de peso es una de las más empleadas en los estudios de corrosión atmosférica dada su simplicidad y precisión. La información sobre la velocidad a la cual se corroe un recubrimiento metálico en un medio

dado, se obtiene a partir de la pérdida de peso que experimente el recubrimiento en dicho medio, tal como lo indica la norma ISO 9226.

Los productos de corrosión deben retirarse de la muestra sin provocar un severo ataque al metal base. Para realizar el decapado químico se utilizó una solución de Persulfato de Amonio (100 g de Persulfato de Amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$) disueltos en agua destilada hasta completar 1000 ml). En cada decapado las probetas se sumergieron en dicha solución por espacio de 5 minutos a una temperatura de 20-25 °C. Esta solución está especificada para el cinc y sus aleaciones (particularmente recomendada para el acero galvanizado) según la norma ISO/DIS 8407. Los productos de corrosión se eliminaron mediante ciclos sucesivos de limpieza en esta solución tal como lo indica la norma ISO/DP 9226. Este tratamiento de ciclos se repite hasta la completa eliminación de los productos de corrosión. La técnica de inmersiones sucesivas, aunque lenta, garantiza la eliminación total de los productos de corrosión, permitiendo diferenciar la pérdida de peso del metal debida a la corrosión de la ocasionada por efecto del ataque de la solución decapante.

5.- Determinación de los productos de corrosión.

Para el reconocimiento y análisis de los productos de corrosión se utilizaron las técnicas de Microscopia Electrónica de Barrido (M.E.B) y la Espectroscopia por Infrarrojo (IR). Estas técnicas se aplicaron solamente a las probetas con tiempo de inmersión de 2 minutos; ello se debió a que las probetas que mostraron mayor diferencia de espesor fueron las correspondientes a 1 y 3 minutos de inmersión, por lo cual éstas últimas se seleccionaron para los demás análisis atmosféricos.

RESULTADOS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

1.- Evaluación atmosférica

1.1.- Inspección visual de las probetas.

La inspección visual general se realizó observando y comparando entre sí las características de las probetas con tiempo de inmersión de 1 o 3 minutos instaladas en cada una de las estaciones que conforman los dos grupo de estudio. Debe resaltarse que una vez que las probetas eran evaluadas se retiraban de la estación de ensayo correspondiente. Para el análisis de la inspección visual se utilizó un formato donde se señala las características físicas de la evaluación.¹⁵

◆ Grupo I: Estaciones Canalizaciones y Planetario.

Al realizar la comparación de la pérdida de espesores experimentada por las probetas correspondientes a los tiempos de inmersión analizados (1 y 3 minutos), se observa que las probetas que presentan mayor pérdida de espesor son las que presentan un tiempo de inmersión de 1 minuto, es decir, que las probetas que presentan un mayor rendimiento son las que poseen 3 minutos de inmersión. Este comportamiento ocurre para ambas estaciones. Igualmente, como no se observó daño sobre el metal base en las probetas correspondientes a ambas estaciones, puede concluirse que el recubrimiento galvanizado es un buen sistema de protección para el hierro y acero en los ambientes Urbano-costero (Canalizaciones) y Rural-marino (Planetario).

En ambas estaciones la característica más resaltante es la presencia, sobre la superficie de las probetas, de productos de corrosión del recubrimiento de color blanco y de aspecto pulverulento, tal como se describe en la Tabla 3. Dicha deposición se aprecia con mayor proporción en las probetas de la estación Canalizaciones, lo cual evidencia su mayor velocidad de corrosión. Así mismo, en la Tabla 3 se describen las características que presenta cada probeta en su respectiva estación, evidenciándose el hecho de que a medida que aumenta el tiempo de inmersión (por ende mayor espesor) disminuye el porcentaje de superficie cubierta por productos de corrosión, por lo cual se infiere que a mayor espesor existirá una mayor protección contra la corrosión atmosférica (Figura 1).

Es de resaltar que la mayor deposición de productos de corrosión en la superficie de las probetas de la estación Canalizaciones, está marcadamente influenciada por la construcción de edificios en zonas muy próximas a dicha estación. Esto permite el transporte de partículas diversas que se depositan sobre la superficie de las probetas. Estas partículas (polvo, cemento y otros) en conjunto con la humedad inducen a una mayor alcalinización de la superficie de las probetas; lo cual conlleva a incrementar la velocidad del proceso de corrosión de las mismas

◆ Grupo II: Estaciones La Voz y Tablazo .

Realizando la comparación de la pérdida de espesores (Tabla 4) experimentada por las probetas correspondientes a los tiempos de inmersión analizados (1 y 3 minutos), se observa que las probetas con un tiempo de inmersión de 1 minuto son las que presentan mayor pérdida de espesor, es decir, que las probetas que presentan un mayor rendimiento son las que poseen 3 minutos de inmersión. Este comportamiento ocurre para ambas estaciones, es decir, el mismo comportamiento obtenido en el análisis de las probetas correspondientes a las estaciones del grupo I.

También se aprecia en la Tabla 4 que la pérdida de espesor es sensiblemente mayor en la estación La Voz que en la estación Tablazo, lo cual indica un mayor grado de agresividad en la primera.



Figura 1: Comparación visual de las probetas con 3 minutos de inmersión correspondientes a las estaciones INC (35) y Planetario (30) después de 6 meses de exposición.

En las probetas de la estación La Voz, es notable la formación de productos de corrosión del recubrimiento de color blanco en forma de escamas (inscrustaciones) sobre la superficie de las probetas. Existiendo preferencia por el borde izquierdo (Figura 2), producto de la incidencia directa de los vientos que en dicha estación poseen velocidades de 7 m/s con ráfagas de 9 m/s, ello induce a que ocurra la corrosión-erosión en dicho borde. La deposición de productos de corrosión es mayor en la estación La Voz que en Tablazo, lo cual confirma el mayor grado de corrosión (mayor velocidad de corrosión) de la primera. Ello se evidencia más al observar que el galvanizado en dicha estación falla al octavo mes. En la estación Tablazo el recubrimiento no falla, sin embargo es notable la presencia de productos de corrosión del recubrimiento de color amarillo ocre y de aspecto arenoso que comienza a manifestarse a partir de los 4 meses de exposición, éstos productos se ubican principalmente en el borde inferior de las probetas. De lo anterior se concluye que el galvanizado no es recomendable para ambientes Marino-especial (La Voz) pero si para ambientes industriales (Tablazo). En la Tabla 4 se describen las características que presenta cada probeta en su respectiva estación. De acuerdo a los resultados mostrados en dicha tabla se tiene que las probetas que ofrecieron mejor desempeño fueron aquellas que poseían un tiempo de inmersión de 3 minutos.



Probeta 31



Probeta 25

Figura 2: Comparación visual de las probetas con 3 minutos de inmersión correspondientes a las estaciones La Voz (31) y Tablazo (25), después de 4 meses de exposición.

Tabla 3: Inspección y comparación visual del recubrimiento galvanizado en las estaciones Canalizaciones y Planetario.

TIEMPO DE EXPOSICIÓN (MESES)	TIEMPO DE INMERSIÓN (MINUTOS)	
	1	3
6	<ul style="list-style-type: none"> • Deposición de productos de corrosión del recubrimiento de color blanco de aspecto pulverulento, que abarca un 100% de la superficie de la probeta 4 (INC) y un 95% de la probeta 7 (Planetario). • La probeta 4 (INC/59,94 μm) perdió 7,87 μm y la probeta 7 (Planetario/63,55 μm) perdió 5,83 μm • En ambas probetas se aprecia el floreado del galvanizado. • Ambas probetas carecen del brillo metálico, y no presentan daño aparente sobre el metal base. 	<ul style="list-style-type: none"> • Deposición de productos de corrosión del recubrimiento de color blanco de aspecto pulverulento, que abarca un 80% de la probeta 35 (INC) y un 85% de la probeta 30 (Planetario/84,87μm). • La probeta 35 (INC/69,74μm) perdió 3,30 μm y la probeta 30 (Planetario/84,87μm) perdió 2,29 μm • El floreado del galvanizado es más visible en la probeta 30. • Ambas probetas carecen del brillo metálico y no presentan daño aparente sobre el metal base. (Figura 1)

Tabla 4: Inspección y comparación visual del recubrimiento galvanizado en las estaciones La Voz y El Tablazo.

	TIEMPO DE INMERSIÓN (MINUTOS)	
	1	3
4	<ul style="list-style-type: none"> En la probeta 1 (La Voz/64,61 μm) se aprecia corrosión-erosión del recubrimiento en el borde izquierdo, por efecto de la acción eólica preferencial. ($L_{\text{max rec}} = 3,8$ cm y $L_{\text{max acero}} = 0,17$ cm). Así mismo se aprecia la formación de productos de corrosión en forma de escamas, de color blanco, que abarcan un 100% de dicha probeta. Los productos de corrosión se presentan como incrustaciones sobre la superficie de las probetas. La probeta carece totalmente de brillo metálico. En la probeta 3 (Tablazo/68,021 μm) se aprecia la formación de productos de corrosión de color amarillo (aspecto arenoso) y de color blanquecino que abarcan un 50% de la superficie de dicha probeta. Se observa el floreado del galvanizado. Las probetas 1 (La Voz/64,617 μm) y 3 (Tablazo/68,021 μm) perdieron 8,15 y 5,59 μm respectivamente. 	<ul style="list-style-type: none"> La probeta 31 (La Voz/98,88 μm) presenta corrosión-erosión del recubrimiento en el borde izquierdo, por efecto de la acción eólica preferencial.. ($L_{\text{max rec}} = 2,0$ cm). Igualmente se observa corrosión del recubrimiento en el borde inferior. Los productos de corrosión abarcan un 100% de la superficie. La probeta carece del brillo metálico. En la probeta 25 (tablazo/85,87 μm) se aprecia la formación de productos de corrosión del recubrimiento de color amarillo (de aspecto arenoso) y de color blanco que abarcan un 30% de dicha probeta. La deposición de productos de color ocre se ubica preferencialmente en el borde inferior. Se observa el floreado del galvanizado. (Figura 2). Las probetas 31 (La Voz/98,886μm) y 25 (Tablazo/85,877 μm) perdieron 7,11 y 3,81 μm respectivamente.

1.2.- Evaluación de los agentes metereoquímicos.

En la Tabla 5 se presenta el promedio anual de los agentes metereoquímicos que ejercen mayor influencia sobre el proceso de corrosión atmosférica. Las estaciones La Voz y Planetario son las que presentan mayores niveles de deposición de SO_2 (29,85 y 8,32 $\text{mg}/\text{m}^2\text{d}$ respectivamente). Lo anterior se combina con una humedad relativa superior al 80%, originando que en dichas estaciones el SO_2 actúe sobre el metal en forma muy agresiva, dando lugar a que el metal se corroa más rápidamente. Las estaciones Tablazo (5,17 $\text{mg}/\text{m}^2\text{d}$) y Canalizaciones (6,71 $\text{mg}/\text{m}^2\text{d}$), presentaron niveles menores de dicho contaminante, que actuando conjuntamente con una humedad relativa cercana al 80%, permite inferir que este contaminante ejerce poco efecto en la cinética de corrosión del cinc.

Los cloruros y el dióxido de azufre son los iones que ejercen mayor agresividad sobre el cinc. En la Tabla 5 puede observarse la elevada deposición de este ion (374,76 $\text{mg}/\text{m}^2\text{d}$) en la estación La Voz, la cual se considera la estación más agresiva del grupo. Debido a ello la velocidad de corrosión del cinc será evidentemente mayor en esta estación que en las restantes estaciones. En el Tablazo (35,51 $\text{mg}/\text{m}^2\text{d}$) y Planetario (33,28 $\text{mg}/\text{m}^2\text{d}$), que presentaron considerables niveles de este ion, influye la cercanía de dichas estaciones al Lago de Maracaibo, siendo afectados por la velocidad del viento, el cual arrastra partículas de polvo entre las cuales se encuentra presente el ion cloruro. En la estación Canalizaciones la deposición del ion cloruro (17,60 $\text{mg}/\text{m}^2\text{d}$) así como la velocidad del viento es baja, por lo cual se espera que los ataques por efecto de cloruros sean menos severos en comparación con las otras estaciones.

1.3.- Pérdida de espesor y pérdida de peso.

Observando la Figura 3 puede apreciarse que la relación de agresividad es La Voz de Venezuela>El Tablazo>El Planetario>Canalizaciones, lo cual se cumple fielmente para las estaciones del grupo 2 (La Voz y Tablazo), en cuanto a la pérdida de peso (pérdida de espesor) experimentadas por las probetas correspondientes a los tiempos de inmersión de 1 y 3 minutos. Notándose a su vez que el mejor desempeño frente a dicha pérdida la ofrecen las probetas con tiempo de inmersión de 3 minutos. Al comparar la acción corrosiva de la

atmósfera sobre las probetas de dichas estaciones, se aprecia que las probetas instaladas en la estación La Voz presentan mayor pérdida de espesor del galvanizado que las reportadas en la estación Tablazo. La causa primordial de dicho comportamiento es la fuerte acción corrosiva – erosiva de la atmósfera de ésta última estación (Figura 4). Esta marcada agresividad se debe principalmente a la fuerte acción ejercida por los iones cloruros y sulfatos presentes en ella, que combinados con su alta humedad relativa y considerable velocidad de los vientos permiten que dicha estación posea una atmósfera de alto grado de corrosividad.⁵

Analizando la Figura 4 se observa que en la estación La Voz, durante los meses 1 y 4 no ocurre ningún daño sobre el acero base, en ambos meses el deterioro de las probetas se limitó a la superficie del recubrimiento galvanizado. Más sin embargo, a partir del octavo mes el recubrimiento galvanizado comienza a fallar, apreciándose que comienza a deteriorarse el acero base aunque éste es relativamente menor al experimentado por el recubrimiento galvanizado. Es de hacer notar que las probetas con tiempo de 3 minutos de inmersión, son las que poseen el mejor desempeño durante los tiempos de evaluación (1,4 y 8 meses) tanto a nivel del recubrimiento galvanizado como de del acero base.

Igualmente del análisis de la Figura 3, puede apreciarse que la relación de agresividad (indicada anteriormente), no se cumple para las pérdidas de peso y de espesor en las estaciones del grupo I (Planetario y Canalizaciones), ya que según dicha Figura 3, la última posee una mayor agresividad que la primera. Ello se evidencia al observar que para ambos tiempos de inmersión los valores de pérdida de peso son mayores a los ofrecidos por la estación Planetario, por ejemplo, en la estación Canalizaciones para un tiempo de inmersión de 1 minuto la pérdida de peso es de 0.583 g (5,59 μm) mientras que en la estación Planetario dicha pérdida es de 0.505 g (4,18 μm). Este comportamiento puede explicarse en parte, porque los espesores de las probetas de la estación Planetario son ligeramente mayores a los presentados por las probetas de la estación canalizaciones, por lo tanto, al existir mayor espesor existirá una mayor protección contra la corrosión atmosférica en canalizaciones que en Planetario. Además, en la inspección visual se observó una mayor deposición de productos de corrosión en la estación Canalizaciones que en la estación

planetario, lo cual permite suponer una mayor pérdida de espesor de las probetas en la primera de las estaciones mencionadas.

1.4.- Velocidad de corrosión

De acuerdo a las observaciones realizadas a la Figura 3, con respecto a la pérdida de peso (pérdida de espesor) de las probetas en las estaciones de ensayo, se infiere que:

- Las estaciones de acuerdo a un orden ascendente de la velocidad de corrosión se clasificarían en: Planetario, Canalizaciones, Tablazo y La Voz.
- Las probetas con un tiempo de inmersión de 3 minutos son las que ofrecen el mejor desempeño en las diferentes estaciones

Dicha hipótesis se corroboran al observar la Figura 5, en la cual se aprecia que la estación La Voz supera en varios ordenes de magnitud la velocidad de corrosión de las otras estaciones en estudio, confirmando su alto grado de corrosividad, ello ocurre por las características ya descritas de la atmósfera que caracteriza dicha estación.

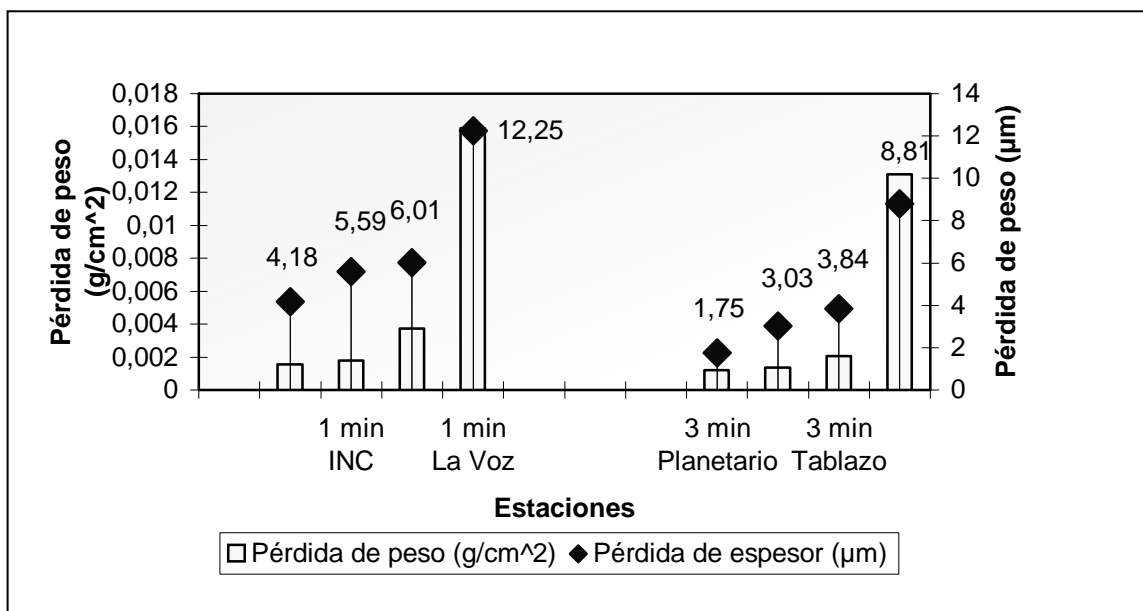


Figura 3: Comportamiento de la pérdida de peso y pérdida de espesor (durante el lapso de exposición respectivo) en las probetas de acero galvanizado, en función del tiempo de inmersión.

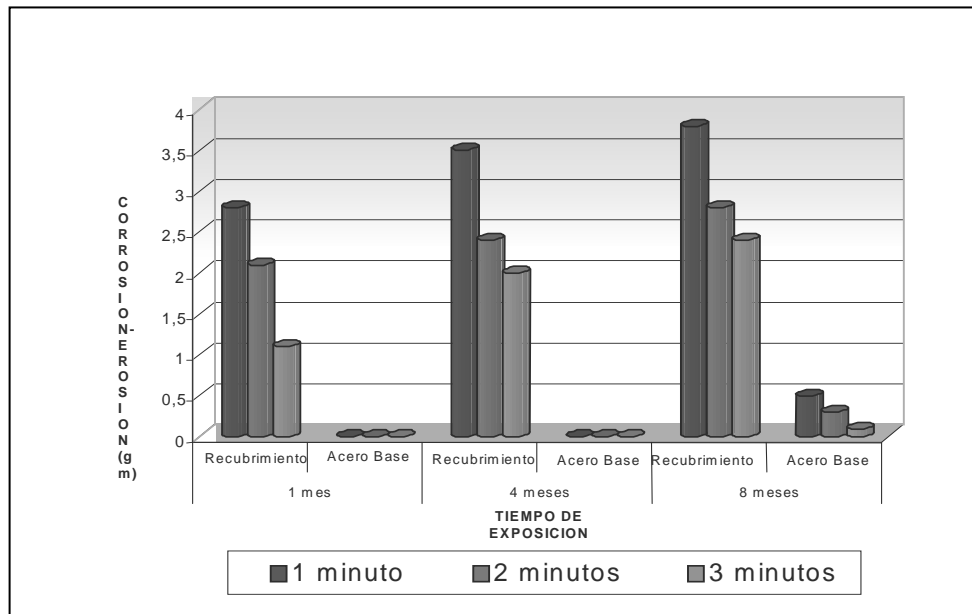


Figura 4. Comportamiento en función del tiempo de inmersión y de exposición de la corrosión-erosión del recubrimiento y del acero base en las probetas del acero galvanizado de la estación La Voz de Venezuela

Aún cuando las velocidades de corrosión de las estaciones Planetario y Canalizaciones son prácticamente similares, se tiene que dicha velocidad es ligeramente mayor en la última, lo cual contradice la relación de agresividad (indicada anteriormente). Este comportamiento se explica por el hecho de que en la estación Planetario la velocidad del viento es lo suficientemente elevada para impedir la deposición sobre la superficie de las probetas de impurezas, tales como polvo o sucio, que facilitarían la adsorción de los iones cloruros y sulfatos los cuales incrementarían considerablemente la velocidad de corrosión de las mismas. En cambio, en la estación Canalizaciones la velocidad del viento es baja, lo cual permite la deposición de impurezas y por ende una mayor velocidad de corrosión de las probetas.

Un factor común en todas las estaciones es que la velocidad de corrosión decrece con el tiempo, independientemente del tiempo de inmersión (Figuras 6). Este hecho confirma el carácter protector de los productos de corrosión del cinc.

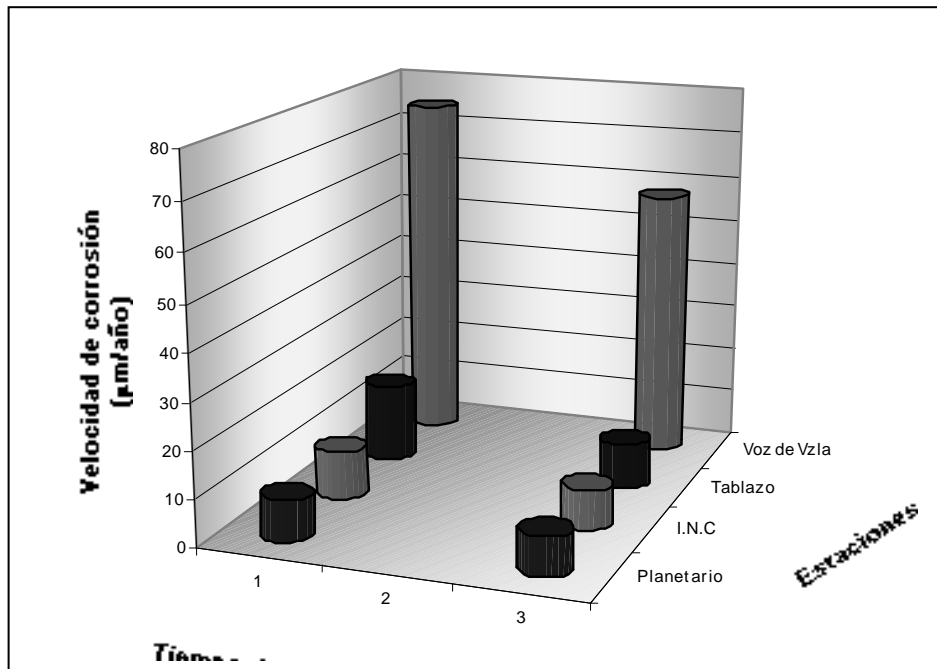


Figura 5: Comportamiento, de la velocidad de corrosión de las probetas de acero galvanizado, en función del tiempo de exposición

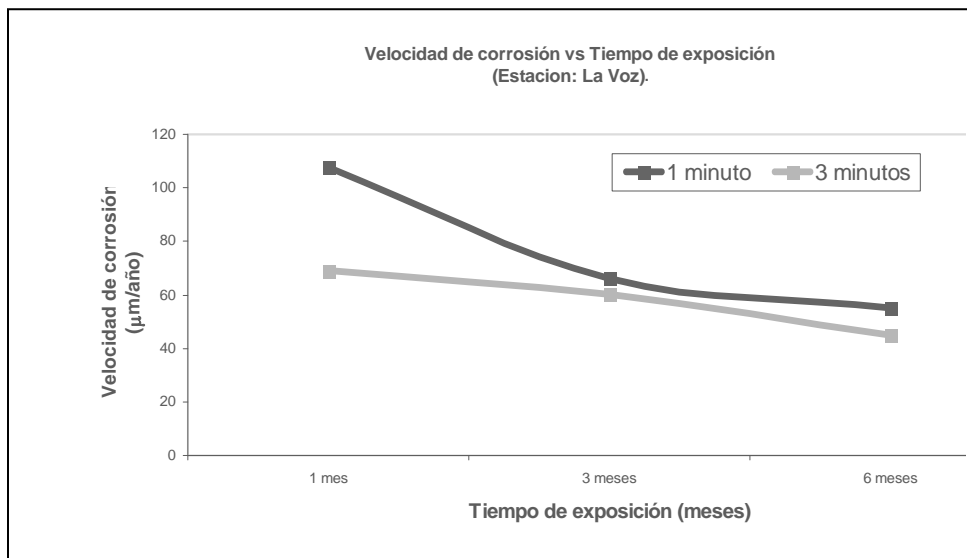


Figura 6: Comportamiento en función del tiempo de exposición de la velocidad de corrosión, de las probetas de acero galvanizado en la estación canalizaciones (I.N.C).

Tabla 5: Valores anuales promedio de los agentes metereoquímicos para las estaciones de ensayo.

ESTACION	AGENTES METEREQUIMICOS				AGENTES AEROQUIMICOS			CLASIFIC. ISO Según agentes meterequimicos
	TEMP. °C	HR. %	TDH (h/año)	VIENTO (m/s)	SO ₂ (mg/m ² dia)	Cl ⁻ (mg/m ² dia)	POLVO (mg/m ² dia)	
PLANETARIO (E1)	27,20	86	5850	6,65	8,32	33,28	0,40	(Po,S1, τ_5) / C4
I. N. C (E2)	28,60	79	4418	3,73	6,71	17,60	0,37	(Po,S1, τ_4) / C3
TABLAZO (E3)	28,20	79	4798	5,80	5,17	35,51	0,29	(Po,S1, τ_4) / C3
LA VOZ (E4)	34,70	92	6342	7,20	29,85	374,76	0,25	(P1,S3, τ_5) / C5

CONCLUSIONES

- Las probetas obtenidas a dos minutos de inmersión alcanzaron una resistencia óptima a la corrosión.
- El orden de la agresividad de las estaciones de ensayo fueron:

La Voz de Venezuela > El Tablazo > Canalizaciones > El Planetario

- Las probetas que presentaron mejor desempeño en las diferentes estaciones fueron las correspondientes a tres minutos de inmersión.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- Mendoza, Antonio R; Corvo, Francisco. "PRINCIPALES FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CORROSIÓN ATMOSFERICA". Ciencias Químicas.Revista CENIC (Centro Nacional de Investigaciones Científicas). Volumen 29 N° 3. La Habana, Cuba.1998.
- 2.- Felíu, S; Morcillo, M. "CORROSION Y PROTECCIÓN DE LOS METALES EN LA ATMÓSFERA" . Ediciones ballestas, S.A. España. 1982.
- 3.- Morcillo. L, Manuel; Matas F. Sebastián. "MAPAS DE ESPAÑA DE CORROSIVIDAD ATMOSFÉRICA". CYTED (Programa iberoamericano de ciencia y tecnología para el desarrollo). Gráficas Galue. S:A. Madrid. 1993.
- 4.- Almeida, M; M. Elisabete; Ferreira, S y Mario G. "CORROSAO ATMOSFERICA. MAPAS DE PORTUGAL". Ediciones INEPI. Lisboa, Portugal.1997.
- 5.- Morcillo, Manuel. "AN INTRODUCTION TO THE MICAT PROJECT. A FOUR-YEAR EXPERIMENTAL. PROGRAMME ON THE ATMOSPHERE. CORROSION OF ESTRUCTURAL METAL IN IBEROAMERICA". Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CSIC. Madrid, España.1999.
- 6.- Felíu, S; Andrade, M.C. "CORROSION Y PROTECCIÓN METALICAS" . NUEVAS TENDENCIAS. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Volumen II. Madrid, España. 1991.
- 7.- Mendoza, O; Miquelena, L. "ANÁLISIS DE FALLAS DE ADHESIÓN DE RECUBRIMIENTOS APLICADOS SOBRE ACERO GALVANIZADO" . Tesis DE grado. Maracaibo, Venezuela. 1996.
- 8.- Romero Gaddy, Nelson R. "THE CORROSION AND PROTECTION OF ZINC COATED STEEL". Ph D Thesis. Manchester, 1974.
- 9.- Saenz, Miguel R; Molero P. "LA GALVANIZACIÓN EN CALIENTE ". Ediciones Cedel. Barcelona, España 1976.

- 10.- Porter, Frank. C. "CORROSION RESISTANCE OF ZINC AND ALLOYS". Marcel Dekeker INC. New York,1994.
- 11.- American Hot Dip Galvanizeers Association " HOT DIP GALVANIZING FOR CORROSION PROTECTION OF STEEL PRODUCTS". USA, 1990.
- 12.- American Hot Dip Galvanizeers Association. "GALVANIZING FOR CORROSION PROTECTION. A SPECIFIER´S GUIDE ". USA, 1990.
- 13.- ATEG (Asociación Técnica Española de Galvanización). "GALVANIZACIÓN". Revista internacional sobre las aplicaciones del acero galvanizado en caliente. Volumen 7. Número 3. Madrid, España. 1997.
- 14.- De Rincón, Oladis; Rincón, Alvaro; Sánchez, Miguel; De Romero, M; De Rincón, A. "A NEW VISION OF ATMOSPHERIC CORROSITIVY MAPS IN VENEZUELA" . Materials Performance, Vol. 37, No 12 (1998), 48-53.
- 15.- Delgado. R; López B. "EVALUACIÓN DE RECUBRIMIENTOS METÁLICOS Y NO METÁLICOS EXPUESTOS A LA ATMÓSFERA". Trabajo especial de grado. Escuela de Química. Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela 1998.