

# Láminas Galvanizadas y Prepintadas. Evaluación de su comportamiento en tres sitios de exposición atmosférica ubicados en el antiguo Fuerte Sherman en Colón.

**Ing. Lilibeth De Gracia de Araque**

Universidad Tecnológica de Panamá  
Centro Experimental de Ingeniería  
lilibeth.degracia@utp.ac.pa

**Ing. Ernesto Escobar**

Universidad Tecnológica de Panamá  
Centro Experimental de Ingeniería  
ernesto.escobar@utp.ac.pa

**Resumen-** En el presente trabajo se evalúa y se compara la resistencia a la corrosión de paneles galvanizados y prepintados de 10 x 30 cm, colocados en tres sitios de exposición atmosférica: Rompeolas, Costera y Tierra Adentro ubicados en el antiguo Fuerte Sherman, en la Provincia de Colón, durante un periodo de dos (2) años. La presencia de herrumbre en las probetas galvanizadas colocadas en el "Rompeolas" demuestra que en sitios tan agresivos como éste es necesario un espesor de galvanizado superior al de las probetas ensayadas. En las Estaciones Costera y Tierra Adentro no se observó la presencia de herrumbre y las velocidades de corrosión, determinadas por el método gravimétrico después de uno y dos años de exposición se correlacionan muy bien con los resultados obtenidos en atmósferas clasificadas como marinas. En los paneles prepintados, con diferentes combinaciones de colores, se efectuaron evaluaciones físicas para cuantificar los cambios en color y brillo, la corrosión, el entizado, ampollamiento y la deslaminación, entre otros, utilizando como referencia las muestras testigos. Algunos de estos defectos se observaron únicamente en las probetas colocadas en el Rompeolas, mientras que el entizado, por ejemplo, se presentó en todas las muestras expuestas, independientemente del sitio de exposición y de la combinación de colores.

**Palabras Claves-** Ampollamiento, Corrosión atmosférica, entizado láminas galvanizadas, láminas prepintadas y velocidad de corrosión.

**Abstract-** In this work we evaluate and compare the corrosion resistance of galvanized and prepainted galvanized coupons of 10 x 30 cm, located at three sites

of atmospheric exposure: Breakwater, Coastal and Inland (Open) located at the old Fort Sherman, in Colon. The presence of rusting only in the galvanized coupons exposed at the Breakwater shows that in aggressive site such as this it is necessary a superior galvanized thickness. Using the gravimetric method we determined the corrosion rate of galvanized coupons and the results are well correlated with the dates obtained in atmospheres classified as marine. In the prepainted panels with different color combination we quantified the changes in color and gloss, degree of rusting, chalking, blistering and flaking using as reference standard coupons. Some of these defects were observed only in the panels exposed in the Breakwater, while the chalking, for example, was present in all the samples independently from the site of exposure and the color combination.

**Keywords -** Atmospheric corrosion, blistering corrosion rate, chalking, galvanized steel sheet and prepainted sheets.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los recubrimientos metálicos a base de zinc y sus aleaciones protegen al acero contra la corrosión ya que actúan no sólo como una barrera que aísla al metal base del medio circundante, sino que trabajan como ánodos de sacrificio, es que decir que ofrecen protección catódica al "sacrificarse" para proteger al acero de los efectos del medioambiente. Estos recubrimientos, una vez expuestos a la acción de la atmósfera se cubren de una delgada capa de sales de zinc, que no solamente protegen al recubrimiento en sí sino que también retardan la corrosión del acerobase. [1, 2]

Dentro del marco de la Red Temática "PATINA" (Protección Anticorrosiva de Metales en la Atmósfera) del Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) se estudió, entre otros, el comportamiento de

**Tipo de Artículo:** Original

**Fecha de Recepción:** 20 de enero de 2011

**Fecha de Aceptación:** 2 de junio de 2011

recubrimientos de base Zinc, Aluminio y de aleaciones de ambos.

Los recubrimientos de zinc y sus aleaciones fueron aplicados mediante diferentes procesos y se expusieron en doce (12) estaciones atmosféricas ubicadas en once países de la Región Iberoamericana por un período total de cuatro (4) años. [3].

En Panamá las probetas se colocaron en el sitio de exposición atmosférica “Colón”, entonces ubicado en el patio de la Central Termoeléctrica, a una distancia de aproximadamente siete (7) metros del mar (Mar Caribe) y a un (1) km de la refinería de petróleo. En esta estación los niveles de cloruros, a pesar de su cercanía al mar, son relativamente bajos [4].

Este sitio fue previamente clasificado como C4 en base a la tasa de corrosión del zinc, de acuerdo con las categorías de corrosividad de la Norma ISO [5].

Con la reversión de las áreas de la Zona del Canal se logró tener acceso a sitios de exposición atmosférica que hasta entonces habían estado bajo el control único del Tropical Test Center de la Armada de los Estados Unidos de Norteamérica. Nos referimos concretamente a las estaciones: Rompeolas (Breakwater), Costera (Coastal) y Descubierta a Tierra Adentro (Open Exposure), que sabemos fueron muy utilizadas por los norteamericanos para investigaciones en el área de diversos materiales de uso ingenieril, principalmente los utilizados en las estructuras canaleras.

En cuanto a referencias concretas de estudios efectuados por los norteamericanos únicamente contamos con un reporte final que se refiere a un estudio comparativo de corrosión que se llevó a cabo simultáneamente en las estaciones de Sherman y en Kure Beach, Carolina del Norte de 1986 a 1988. En este estudio, la Humedad Relativa (%) media mínima es de 81% para las Estaciones Costera y la Rompeolas, de 80 % en la Estación Tierra

Adentro. En cuanto a datos de contaminantes atmosféricos, se reportan datos de caída de sal en la Estación de Rompeolas de hasta 4676 mg/m<sup>2</sup>/día (febrero del 88); y en la Estación Costera de hasta 1915 mg/m<sup>2</sup>/día, febrero del 87 [6].

Basándonos en estos registros confirmamos que estos sitios de exposición atmosférica son de particular interés, tanto nacional como internacional, para el desarrollo de proyectos en el área de corrosión, protección y degradación de materiales.

En el año 2003 el Centro Experimental de Ingeniería inició la caracterización de los sitios de exposición de “Sherman”, utilizando la técnica del “alambre sobre el tornillo”, durante un (1) año (julio 2002-julio 2003). Además de los ensamblajes “alambre sobre tornillo”, se colocaron captadores de contaminantes atmosféricos (dióxido de azufre y cloruros) y una estación meteorológica para el registro de parámetros climáticos tales como: humedad, temperatura, precipitación, velocidad y dirección de los vientos y radiación solar [7].

Posteriormente, dimos inicio al presente trabajo con la finalidad de generar información en cuanto al desempeño de las láminas galvanizadas y prepintadas que, en nuestro país se comercializan a gran escala en sus diversas formas (techos, carriolas, canales, etc.) para la ejecución de diversos proyectos ingenieriles.

Concretamente, se expusieron probetas recubiertas con zinc por el proceso de inmersión en caliente, de dos tipos de calibre: 26 (C26) y 16 (C16) y probetas prepintadas de diferentes combinaciones de colores: rojo-blanco, verde-blanco, azul-blanco y blanco-blanco.

Todas las láminas fueron suministradas (donadas) por una empresa privada nacional.

## 2. OBJETIVOS.

2.1. Evaluar la influencia del clima y la contaminación en la durabilidad de las

láminas galvanizadas y de las galvanizadas y prepintadas.

2.2. Comparar el comportamiento de láminas recubiertas únicamente con zinc y de las recubiertas con zinc y un sistema de pintura (prepintado).

2.3. Generar recomendaciones en cuanto a cuál debe ser el espesor mínimo de galvanizado que debe utilizarse en sitios con unas condiciones similares a la de los sitios de exposición de Sherman.

### 3. CONTENIDO

#### 3.1. Materiales:

En cada estación de ensayo se colocaron noventa y seis (96) probetas: 16 láminas galvanizadas calibre 26 (C26), 16 láminas galvanizadas calibre 16 (C16), 16 láminas prepintadas verde- blanco, 16 prepintadas rojo- blanco, 16 prepintadas azul- blanco y 16 prepintadas blanco- blanco. Por cada tipo de material se expusieron cuatro (4) paneles de ensayo, en el caso de las galvanizadas tres (3) de éstas se utilizarían para determinar la velocidad de corrosión. A la cuarta probeta de cada material se le hizo una incisión es decir un corte diagonal, para evaluar la protección catódica del recubrimiento (zinc, sistema de pintura) en aquellos casos frecuentes en que el material debido a su manejo, transporte u alguna otra circunstancia experimente algún tipo de ralladura que deje el metal base al descubierto.

#### 3.2. Codificación de las probetas:

Las probetas sometidas a exposición atmosférica fueron codificadas así:

##### Probetas galvanizadas:

El primer número corresponde a la estación de exposición: **1**=Rompeolas **2**= Costera, y **3**= Tierra Adentro. Seguidamente viene la letra **G** con el número 16 o 26 que indican lo siguiente: **G16**- lámina galvanizada, calibre 16 y **G26**- lámina galvanizada, calibre 26. Luego viene un número correspondiente al número de probeta: 1, 2, 3 y 4 y finalmente el tiempo de exposición, en años.

Ejemplo: 1G1612

1= Estación Rompeolas

G16-Lámina galvanizada, calibre 16

1= Probeta número uno

2= Tiempo de exposición= dos (2) años.

#### Probetas prepintadas:

Se utilizó el mismo concepto que para las galvanizadas con la diferencia de que las letras indican la combinación de colores del prepintado: RB= rojo-blanco (la primera letra indica el color de la cara expuesta, que mira al cielo); VB- verde-blanco, AB- azul-blanco y BB- blanco-blanco.

Ejemplo: 1VB12

1= Estación Costera

VB- prepintada verde-blanco

1= número de probeta

2= tiempo de exposición, dos (2) años

De cada una de las láminas expuestas se guardó una probeta testigo bajo condiciones de laboratorio.

El tiempo total de exposición programado es de cuatro años con remociones anuales.

#### 3.3. Evaluaciones antes de la exposición:

- Las láminas galvanizadas se limpiaron muy bien con alcohol etílico para remover la grasa y suciedad, se pesaron en balanza analítica, se determinó el peso del recubrimiento de zinc de acuerdo con Norma ASTM A90/ 90 M [8]. En la Tabla 1 se reportan los pesos en el sistema inglés (oz/pie<sup>2</sup>), en el métrico (g/m<sup>2</sup>) y también el espesor del recubrimiento de zinc en cada cara en  $\mu\text{m}$ .
- Las láminas galvanizadas y prepintadas se limpiaron con papel toalla y agua destilada. Seguidamente se midió el espesor total del recubrimiento (galvanizado + pintura) en la cara expuesta (que mira al cielo) y en la no expuesta (que mira al suelo). En la tabla 2 se reportan los espesores totales por ambas caras. Obsérvese que el espesor del prepintado en la cara expuesta siempre es mayor que en el de la no expuesta. El espesor del sistema de pintura se obtuvo restando  $C_{\text{promedio}}$  (Tabla 1) de los espesores totales. La medición de espesores se efectuó utilizando un medidor digital de acuerdo a lo establecido en la

Norma ASTM D 1186 [9]. Se reportó un espesor promedio para cada de las combinaciones de colores.

Las figuras 1, 2 y 3 nos muestran las estaciones de ensayo con sus respectivas coordenadas geográficas y las probetas colocadas en los bastidores.

### 3.4. Evaluaciones después de la exposición.

Después de 6, 12 y 24 meses de exposición en las láminas galvanizadas calibre 26 y calibre 16 se efectuaron evaluaciones, in situ, en la cara, bordes e incisión de acuerdo con el procedimiento establecido en el Grupo G-3 de la Red "Patina" [ 3].

En la cara se evaluó el porcentaje de óxidos de blancos (OB) y/o de óxidos rojos (OR).

En los bordes se midió el avance de la corrosión a "partir de los bordes" en mm. Se anotó si los óxidos presentes, en caso de que los hubiera, eran de color blanco (OB) o de color rojo (OR).

En la incisión, también se evaluó el porcentaje de óxidos blancos y/o rojos. En caso de que los óxidos (blancos o rojos) ya no estuvieran solamente dentro de la incisión, sino que hubiesen avanzado fuera de ésta, entonces se anotó un promedio de avance (en milímetros, mm) de corrosión a partir de la incisión. Una vez terminadas las evaluaciones se tomaron las fotos correspondientes. Luego de los retiros a uno y dos años de exposición se determinó la velocidad de corrosión de las probetas galvanizadas de acuerdo con la Norma ISO / DIS 8407 [10]. El grado de deterioro de las probetas prepintadas se midió de acuerdo con las normas ISO 4628/1 [11], ISO 4628/2 [12], ISO 4628/3 [13], ISO 4628/5 [14] e ISO 4628/6 [15].



Figura 1. Estación Rompeolas.

Latitud y longitud: 9o22'21" Norte 79o 6'48" Oeste. Este sitio se estableció en el año de 1960, pero se usó por primera vez en 1963. La acción de los vientos mantiene las olas chocando contra las rocas que sirven de rompeolas lo cual produce abundante sal en forma de rocío y una atmósfera con un alto contenido. La humedad relativa sobrepasa el 80% la mayor parte del año.



Figura 2. Estación Costera.

Latitud y longitud: 9o 22'15" Norte, 79o 57'1" Oeste Se estableció en el año 1977 para reemplazar el sitio marino en Isla Galeta. Se caracteriza por estar cerca de la orilla del mar, pero protegido por la acción de las olas por la presencia de un arrecife coral.



Figura 3. Estación Tierra Adentro.

Latitud y longitud: 9o 21'42" Norte 79o 57' 17" Oeste. Se estableció en el año 1960 al igual que el Rompeolas, y también se empezó a utilizar en el 1963. Se encuentra localizada a aproximadamente 1.3km tierra adentro desde el Rompeolas.

Tabla 1. Características de las láminas galvanizadas.

| Probeta  | A    | B      |       | C            |
|--|------|--------|-------|--------------|
|  | mm   | oz/pie | g/m   | µm           |
| C26  | 0,43 | 0,592  | 180,7 | 12,72        |
| C16  | 1,43 | 0,583  | 177,9 | 12,53        |
| promedio   |      |        |       | <b>12,62</b> |
| A= Espesor total de probeta galvanizada (acero base + galvanizado) promedio. |      |        |       |              |
| B= Peso del recubrimiento de zinc, promedio.                                 |      |        |       |              |
| C= Espesor del recubrimiento de zinc, promedio, por cada cara.               |      |        |       |              |

Tabla 2. Espesores de láminas prepintadas.

| Probeta | Espesores promedio de láminas prepintadas antes de su exposición, µm |                          |                           |                             |
|---------|--|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|
|         | Cara expuesta E. total   | Cara expuesta E. pintura | Cara No expuesta E. total | Cara No expuesta E. pintura |
|         | 1AB  | 41,41                    | 28,69                     | 30,23                       |
| 1RB     | 45,05  | 32,33                    | 24,13                     | 11,41                       |
| 1VB     | 39,62  | 26,90                    | 26,33                     | 13,61                       |
| 1BB     | 35,98  | 23,26                    | 22,44                     | 9,72                        |
| 2AB     | 45,47  | 32,75                    | 28,45                     | 15,73                       |
| 2RB     | 43,94  | 31,22                    | 23,96                     | 11,24                       |
| 2VB     | 37,42  | 24,70                    | 23,71                     | 10,99                       |
| 2BB     | 36,15  | 23,43                    | 21,76                     | 9,04                        |
| 3AB     | 33,10  | 20,38                    | 24,81                     | 12,09                       |
| 3RB     | 39,03  | 26,31                    | 24,47                     | 11,75                       |
| 3VB     | 36,83  | 24,11                    | 22,35                     | 9,63                        |
| 3BB     | 34,89  | 22,17                    | 21,34                     | 8,62                        |

Tabla 4. Parámetros Climatológicos, estación Rompeolas.

| Mes      | T °C | H.R (%) | Radiación Solar (KJ/m) | Velocidad del Viento (Km/h) | Dirección del Viento |
|----------|------|---------|------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Ago-02   | 26.9 | 88.6    | 83323                  | -                           | -                    |
| Sept. 02 | 33.9 | 91.28   | 563594                 | -                           | -                    |
| Oct.02   | 30.8 | 75.6    | 488974                 | -                           | -                    |
| Nov. 02  | 37   | 100     | 127854                 | -                           | -                    |
| Dic. 02  | 38.2 | 100     | 544719                 | 22.4                        | N                    |
| Ene-03   | 40.1 | 100     | 542363                 | 28                          | N                    |
| Feb-03   | 37.7 | 91.26   | 302565                 | 27.8                        | -                    |
| Mar-03   | -    | -       | -                      | -                           | -                    |
| Abr-03   | 36.6 | 83.4    | 530938                 | 17                          | N                    |
| May-03   | 38.7 | 87.6    | 425608                 | 11.9                        | NW                   |
| Jun 03   | 41.5 | 88.4    | 443356                 | 6.6                         | NW                   |
| Jun-03   | 42.3 | 100     | -                      | -                           | -                    |

Tabla 5. Pérdidas de espesor de láminas prepintadas después de un año de Exposición.

Tabla 3. Contaminantes Atmosféricos.

| MES | Datos de cloruros y de dióxido de azufre correspondientes a la estación Rompeolas. |                       |                       |                       |
|-----|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|     | AÑO 2002   |                       | AÑO 2003              |                       |
|     | SO2  | Cl-                   | SO2                   | Cl-                   |
|     | mg/m <sup>2</sup> día  | mg/m <sup>2</sup> día | mg/m <sup>2</sup> día | mg/m <sup>2</sup> día |
| Ene | x  | x                     | x                     | x                     |
| Feb | 118,84   | 6 893,44              | 44,49                 | 549,74                |
| Mar | 71,68  | 8 349,31              | 60,49                 | 515,17                |
| Abr | 132,43   | 1 211,18              | 100,27                | x                     |
| May | x  | x                     | 74,89                 | 2 169,35              |
| Jun | 10,94  | 1 799,59              | 104,6                 | 1 340,65              |
| Jul | 1,81   | 197,18                | 7,56                  | 303,33                |
| Ago | 36,48  | 1 385,75              | x                     | 475,09                |
| Sep | 10,84  | 236,32                | x                     | x                     |
| Oct | 11,5   | 513,29                | x                     | x                     |
| Nov | 113,08   | 266,27                | x                     | x                     |
| Dic | 48,0   | 2 097,66              | x                     | x                     |

#### 4. RESULTADOS

- A los seis (6) meses de exposición la cara y la incisión de todas las probetas galvanizadas calibre 26 y calibre 16, colocadas en el Rompeolas, estaban totalmente recubiertas de óxidos blancos típicos de la corrosión del zinc y avanzada oxidación a partir de los bordes. Figura 8.
- A los doce (12) meses de exposición estaban totalmente recubiertas de herrumbre, no fue posible determinar la velocidad de corrosión y se retiraron de la estación. Figura 9.
- Todas las láminas prepintadas colocadas en el Rompeolas presentaron evidente deterioro en la cara, bordes e incisión. A los seis (6) meses de exposición se observó una incisión totalmente recubierta de productos de corrosión de color blanco.

| Probeta | Cara Expuesta          |                          |                                  | Cara No Expuesta       |                          |                                  |
|---------|------------------------|--------------------------|----------------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------------|
|         | E. antes $\mu\text{m}$ | E. después $\mu\text{m}$ | Pérdida de espesor $\mu\text{m}$ | E. antes $\mu\text{m}$ | E. después $\mu\text{m}$ | Pérdida de espesor $\mu\text{m}$ |
| 1AB     | 41,41                  | x                        | x                                | 30,23                  | x                        | x                                |
| 1RB     | 45,05                  | x                        | x                                | 24,13                  | x                        | x                                |
| 1VB     | 39,62                  | x                        | x                                | 26,33                  | x                        | x                                |
| 1BB     | 35,98                  | x                        | x                                | 22,44                  | x                        | x                                |
| 2AB     | 45,47                  | 38,36                    | 7,11                             | 28,45                  | 20,57                    | 7,88                             |
| 2RB     | 43,94                  | 38,99                    | 4,95                             | 23,96                  | x                        | x                                |
| 2VB     | 37,42                  | 37,09                    | 0,33                             | 23,71                  | 19,18                    | 4,53                             |
| 2BB     | 36,15                  | 32,26                    | 3,89                             | 21,76                  | 18,54                    | 3,22                             |
| 3AB     | 33,10                  | 26,29                    | 6,81                             | 24,81                  | 19,18                    | 5,63                             |
| 3RB     | 39,03                  | 35,31                    | 3,72                             | 24,47                  | 20,83                    | 3,64                             |
| 3VB     | 36,83                  | 34,14                    | 2,69                             | 22,35                  | 21,08                    | 1,27                             |
| 3BB     | 34,89                  | 32,77                    | 2,12                             | 21,34                  | 20,83                    | 0,51                             |

Tabla 6- Velocidades de corrosión, en  $\mu\text{m}/\text{año}$

| Estación                   | Código de la probeta | Velocidad de corrosión, $\mu\text{m}/\text{año}$ | Código de la probeta | Velocidad de corrosión, $\mu\text{m}/\text{año}$ |
|----------------------------|----------------------|--|----------------------|--|
|                            |                      | T de exp.= 1 año                                 |                      | T de exp.= 2 años                                |
| Costera                    | 2G1611               | 2,09   | 2G1612               | 2,40   |
|                            | 2G1621               | 2,27   | 2G1622               | 2,53   |
|                            | 2G1631               | 2,78   | 2G1632               | 2,30   |
|                            | 2G2611               | 3,53   | 2G2612               | 2,34   |
|                            | 2G2621               | 3,77   | 2G2622               | 2,20   |
|                            | 2G2631               | 3,77   | 2G2632               | 2,33   |
| Descubierta Tierra Adentro | 3G1611               | 1,62   | 3G1611               | 1,73   |
|                            | 3G1621               | 1,60   | 3G1612               | 1,84   |
|                            | 3G1631               | 1,61   | 3G1622               | 1,62   |
|                            | 3G2611               | 2,59   | 3G1632               | 1,92   |
|                            | 3G2621               | 2,47   | 3G2612               | 1,88   |
|                            | 3G2631               | 2,47   | 3G2622               | 1,97   |

- El defecto identificado como “deslaminación” (*flaking*) del recubrimiento únicamente se presentó en las láminas prepintadas colocadas en el Rompeolas.
- En la estación Rompeolas el mayor deterioro se observó en las láminas rojo-blanco (RB). En éstas incluso se observó una especie de desgaste físico, que no se asocia a una falla del recubrimiento en sí sino mas bien a un proceso de erosión debido a que las probetas están sometidas a constantes salpicaduras debido a la acción de los vientos. Figura 10.
- En las probetas prepintadas colocadas en el Rompeolas no fue posible medir el

- espesor después de un (1) año de exposición puesto que la superficie estaba muy rugosa por la presencia de múltiples ampollitas. Tabla 5.
- Después de dos (2) años de exposición no fue posible medir el espesor de las láminas repintadas colocadas en las estaciones Costera y Tierra Adentro también debido a la presencia de ampollamiento.
- Las probetas que experimentaron mayor pérdida de espesor por ambas caras fueron las AB (azul-blanco) tanto en la estación costera como en la Tierra Adentro. Tabla 5.
- En las probetas repintadas colocadas en la Estación Costera y Tierra Adentro, después de dos años de exposición no se presentó desprendimiento de la pintura ni presencia de herrumbre en la cara y bordes, figura 12; sin embargo si hubo cambio apreciable en color y brillo y también entizado (chalking) severo.
- Después de dos (2) años de exposición en las probetas blanco-blanco se observó una incisión totalmente recubierta de herrumbre, el resto de las probetas con incisión también presentaron herrumbre, pero en mucho menor grado.  
En cuanto a pérdida de color y brillo las probetas más afectadas fueron las verde-blanco, que se tornaron muy blancuzcas. Figura 13.
- Después de un (1) año de exposición se observa una diferencia en las velocidades de corrosión de las probetas G26 y G16 dentro de una misma estación y en ambas estaciones. Esto es interesante puesto que el espesor de recubrimiento de zinc es similar en ambos tipos de probeta, lo que varía es el espesor total de la lámina, es decir el calibre. Tabla 6.
- Después de dos (2) años de exposición las probetas galvanizadas colocadas en las estaciones Costera y Tierra Adentro se encuentran en bastante buen estado, recubiertas de una capa de óxidos blancos. Figura 11.
- La velocidad de corrosión de ambos calibres es bastante similar en una misma estación y en ambas estaciones. Tabla 6.

- En forma general la velocidad de corrosión de las láminas galvanizadas es mayor en la Estación Costera que en la Tierra Adentro. Figuras 4, 5, 6 y 7.
- Se determinó la categoría de corrosividad de las atmósferas de las estaciones Costera y Tierra Adentro en función de la velocidad de corrosión del zinc, durante el primer año de exposición, de acuerdo con lo establecido en la norma ISO 9223. Tabla 7.

Tabla 7. Categoría de Corrosividad de la atmósfera en función de la velocidad de corrosión del zinc, según norma ISO 9223.

| Estación       | Categoría de Corrosividad<br>V. de corrosión del Zn | Agresividad (Corrosividad) |
|----------------|---|----------------------------|
| Rompeolas      | x   | x                          |
| Costera        | C4  | Alta                       |
| Tierra Adentro | C3  | Media                      |

X= No fue posible determinar la velocidad de corrosión del zinc.

Tabla 8. Categorías de la atmósfera en cuanto a velocidades de depósito de SO<sub>2</sub> y Cl-

| TA | D                 | VDPC                |                     |
|----|-------------------|---------------------|---------------------|
|    |                   | Cl <sup>-</sup> (S) | SO <sub>2</sub> (P) |
| x  | S <sub>3</sub> P? | 300<S≤1 500         | x                   |

TA =Tipo de Atmósfera  
 D = Denominación (ISO 9223)  
 VDPC=Velocidad de Deposición de Contaminantes

- Se determinó que la Categoría de corrosividad del Rompeolas en relación con la rata de deposición de cloruros es S3, mas no hizo con el dióxido de azufre. Tabla 8.

### 5. DISCUSIÓN

- El avanzado estado de oxidación de las probetas galvanizadas colocadas en el Rompeolas a tan solo un año de exposición, en relación con aquellas colocadas en las otras dos estaciones de ensayo son una evidencia definitiva de la influencia de los parámetros climáticos y de contaminación el desempeño de un material, específicamente de la acción sinérgica de los cloruros y la humedad.
- Nótese que las estaciones de exposición en términos de distancia no están tan alejadas la una de la otra; sin embargo es muy notorio la diferencia en el comportamiento del recubrimiento de zinc a tal punto que en el rompeolas ni siquiera fue posible calcular la velocidad de corrosión ya que al término de un año ya se había consumido todo el zinc y solo había herrumbre, es decir óxidos de hierro.
- Un comportamiento similar al de las láminas galvanizadas se observó en las prepintadas. Las condiciones ambientales tanto climatológicas como de contaminación, presentes en el Rompeolas, son las responsables de defectos tales como herrumbre, deslaminación y erosión ya únicamente los observamos en esta estación. La erosión se asocia al impacto de las partículas de sal que viajan en el aire.
- Cabe destacar que un defecto común que se presentó en todas las estaciones de ensayo fue el chalking o entizado sobre la cara expuesta y más o menos en la misma magnitud en todas las probetas. El chalking es una especie de polvo fácilmente removible que se encuentra suelto en la superficie y de acuerdo con la literatura, está asociado con los efectos de la radiación ultravioleta sobre la resina de la pintura.
- Los resultados de las velocidades de corrosión del acero galvanizado en  $\mu\text{m}/\text{año}$  obtenidas en ambas estaciones se correlacionan bastante bien con los resultados reportados en la Monografía Micat-Panamá en la Estación de

Colón, durante los períodos de exposición: 1990-1991 y 1991-

- En cuanto a la velocidad de deposición de cloruros, la más alta se dio en los meses de febrero y marzo del año 2002 y en los meses de mayo y junio del 2003. En forma general los valores superan los  $300 \text{ mg}/\text{m}^2.\text{día}$  con algunas excepciones. Por ello la denominamos como categoría S3.
- En el año 2002 y 2003 los resultados de la deposición de dióxido de azufre son mayores de  $10 \text{ mg}/\text{m}^2\text{día}$ , con excepción del mes de junio. La variabilidad de los resultados no nos permitió establecer una categoría específica y por ello no se estableció el tipo de atmósfera de acuerdo con la ISO 9223. Lo que se podemos decir es que se trata de una atmósfera mixta, es decir contaminada por cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) y por dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )

## 6. RECOMENDACIONES

- En la estación Rompeolas deben colocarse láminas galvanizadas con espesores superiores a los ensayados para determinar los espesores mínimos necesarios en función de la agresividad de la atmósfera.
- Recubrir los bordes de las probetas para minimizar el efecto de borde.
- Antes y después de la exposición utilizar la técnica de la Florescencia de Rayos X con Transformada de Fourier para caracterizar y evaluar la degradación experimentada por los recubrimientos orgánicos.
- En el caso de las probetas galvanizadas sería importante ensayos con el Microscopio Electrónico de Barrido.
- Analizar los productos de corrosión del zinc en las tres (3) estaciones de ensayo para evaluar la naturaleza de los mismos en función de la concentración de cloruros.
- Monitoreo de contaminantes atmosféricos de tal forma que podamos hacer la clasificación de las estaciones de ensayo de acuerdo con la establecido en la Norma ISO 9223.



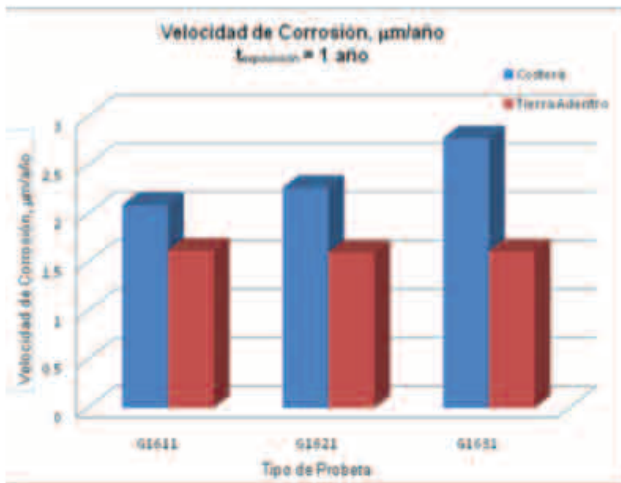


Figura 4. Velocidades de corrosión, un (1) año de exposición, probetas G16.

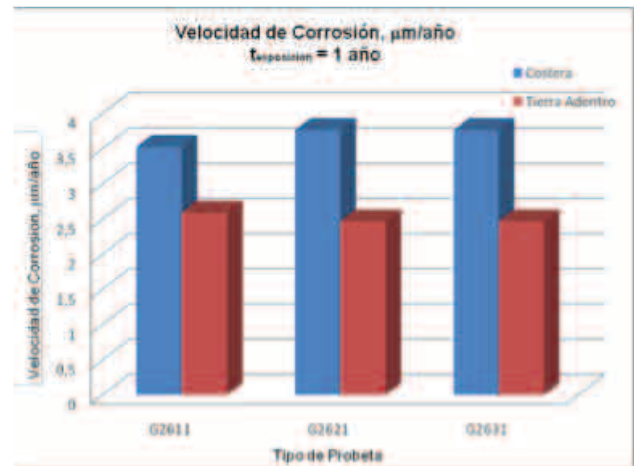


Figura 5. Velocidades de corrosión, un (1) año de exposición, probetas G26

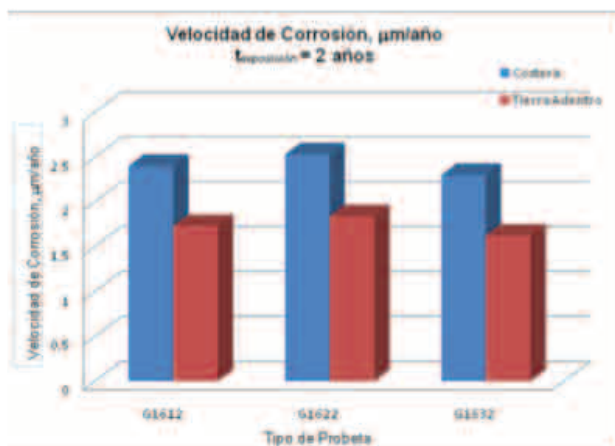


Figura 6. Velocidades de corrosión, dos (2) años de exposición, probetas G16.

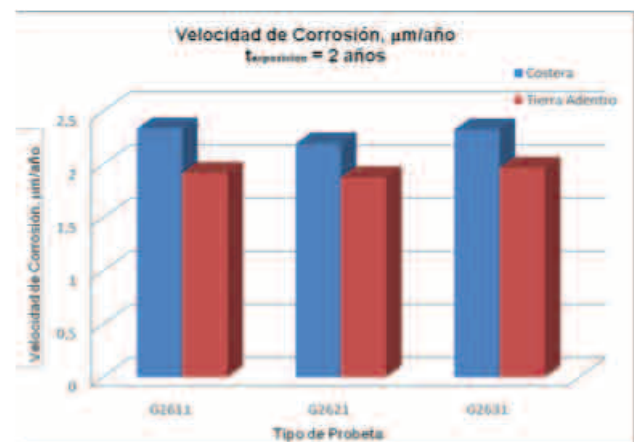


Figura 7. Velocidades de corrosión, dos (2) años de exposición, probetas G26.



Figura 8. Estación Rompeolas, 6 meses de exposición, galvanizadas.



Figura 9. Estación Rompeolas, 1 año de exposición, galvanizadas.

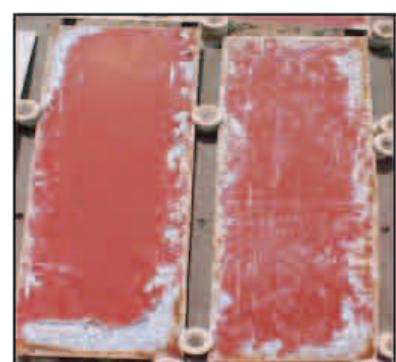


Figura 10. Estación Rompeolas, 1 año de exposición, prepintadas.

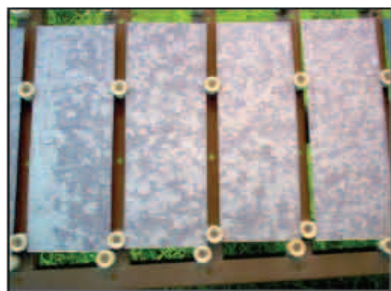


Figura 8. Estación Rompeolas, 6 meses de exposición, galvanizadas.

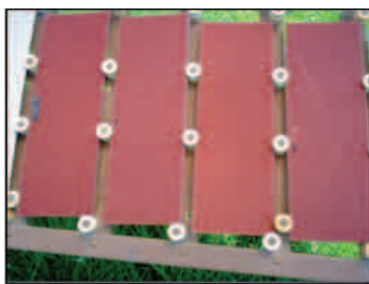


Figura 9. Estación Rompeolas, 1 año de exposición, galvanizadas.

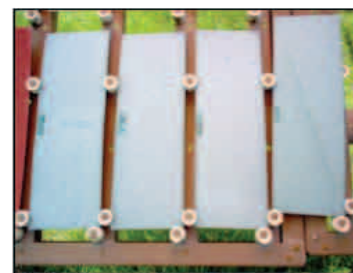


Figura 10. Estación Rompeolas, 1 año de exposición, prepintadas.

### 7. AGRADECIMIENTOS

A la empresa que se interesó en nuestro proyecto y que suministró las probetas tanto galvanizadas como prepintadas.

Al personal del Laboratorio de Análisis de Industrial y Ciencias Ambientales por su apoyo.

### 8. REFERENCIAS

[1] Eficiencia de los recubrimientos anticorrosivos de zinc, aluminio y sus aleaciones sobre láminas de acero de bajo contenido de carbono.

[2] Comportamiento del acero al Carbono y Acero Galvanizado en Diferentes Ambientes Panameños. Reporte Técnico No. CEI-01-002 ISBN 9962-802-20-2  
Lilibeth De Gracia de Araque, Mariela de Villalaz

[3] RED TEMÁTICA XV.D Protección Anticorrosiva de Metales en la Atmósfera Documento PATINA G3-1  
RECUBRIMIENTOS BASE ZINC y sus aleaciones

[4] Corrosividad Atmosférica de Panamá Proyecto MICAT-PANAMÁ - MONOGRAFÍA ISBN: 9962-02-121-9.

[5] ISO 9223, “Corrosion of Metals and Alloys, Classification of Corrosivity of Atmospheres Pollution (International Standards Organization, Ginebra 1991).

[6] Methodology Investigation Final Report

of Corrosion Standards for Humidity and Salt Fog Testing TECOM Project 7-COOO-RD9-WSI-005, May 1981

Howard W. Bennett, Jr.

Richard Overley

[7] “Aplicación de la técnica del alambre sobre el tornillo para determinar la corrosividad atmosférica de las estaciones de ensayo ubicadas en el antiguo Fuerte Sherman en la provincia de Colón”

Lilibeth De Gracia de Araque y colaboradores IX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Octubre de 2003, Hotel el Panamá, Rep. de Panamá.

[8] ASTM A 90/A90 M “Test Method for Weight (Mass) for Coating on Iron and Steel Articles with Zinc or Zinc Alloy Coatings

[9] ASTM D 1186-91 “Standard Methods for Nondestructive Measurement of Dry Film Thickness of Nonmagnetic Coatings Applied to a Ferrous Base”

[10] ISO/DIS 8407, “Metals and Alloys- Procedure for Removal of Corrosion Products from Corrosion Test Specimens, (International Standards Organization, Ginebra, 1991)

[11] RED TEMÁTICA PATINA- “Protección Anticorrosiva de Metales en la

Atmósfera Grupo 6- Sistemas de pintura aplicados en banda continua.

[12] ISO 4628/1 “Paints and Varnishes- Evaluation of degradation of paint coatings-

Designation of intensity, quantity and size of common types of defect- Part 1: General principles and rating schemes". ISO, Geneva, Switzerland (1982)

[13] ISO 4628/2 "Paints and Varnishes- Evaluation of degradation of paint coatings- Designation of intensity, quantity and size of common types of defect- Part 2: "Designation of degree of blistering"

[14] ISO 4628/3 "Paints and Varnishes- Evaluation of degradation of paint coatings- Designation of intensity, quantity and size of common types of defect-Part 3: "Designation of degree of rusting".