

# Corrosión acelerada en medio salino y adherencia de sistemas de pinturas depositadas sobre acero

## Accelerated corrosion in saline medium and adhesion of paint systems deposited on steel

*Humberto José Jiménez*

*Doctor en Metalurgia y Ciencia de los Materiales  
Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre"  
humbertoj.jimenez@gmail.com  
Guayana- Venezuela*

*Yelitza Milano*

*Ingeniero en Materiales  
Universidad Gran Mariscal de Ayacucho  
yelitzamilano2106@gmail.com  
Guayana- Venezuela*

### Resumen

La calidad de los sistemas de recubrimientos anticorrosivos y protectores es determinante para garantizar la funcionalidad y durabilidad e los componentes decorativos e industriales. La presente investigación de tipo experimental, exploratoria y correlacionar, se centra en la evaluación del comportamiento frente a la corrosión y la adherencia de sistemas de pinturas esmaltes mates y brillantes, depositados sobre láminas de acero.

La corrosión se evaluó en medio acelerado, utilizando una cámara de niebla salina, de acuerdo con las metodologías establecidas en las normas ASTM B117 y ASTM D610. El grado de adherencia de las pinturas al sustrato, se determinó de manera cualitativa, mediante la aplicación de muestras de las pinturas sobre una leneta y su desprendimiento con cinta adhesiva. Los resultados evidencian el efecto protector de los sistemas evaluados, presentando un comportamiento similar frente al medio corrosivo, pero las muestras recubiertas con pintura esmalte mate, reporto un porcentaje de oxidación en la superficie ligeramente menor en comparación con la pintura esmalte brillante, siendo la adherencia satisfactoria en ambos casos.

**Palabras claves:** Adherencia; ASTM B117 y D610; corrosión; niebla salina; sistemas de pinturas.

### Abstract

The quality of anticorrosive and protective coatings systems is crucial to guarantee the functionality and durability of decorative and industrial components. The present investigation focuses on the evaluation of the behavior against corrosion and adhesion of matt and glossy enamel paint systems deposited on steel sheets.

Corrosion was evaluated in an accelerated medium using a salt spray chamber in accordance with the methodologies established in ASTM B117 and ASTM D610. The degree of adhesion of the paints to the substrate was qualitatively determined by the application of samples of the paints on a scale and their release with adhesive tape. The results evidenced the protective effect of the evaluated systems, presenting a similar behavior against the corrosive medium, but the samples coated with matt enamel paint, reported a slightly lower oxidation percentage in the surface compared to the glossy enamel paint, with adhesion Satisfactory in both cases.

**Keywords:** Adherence; ASTM B117 and D610; Corrosion; Salt Fog; Paint Systems.

---

**Revista Mundo Fesc, 13, Enero- Junio 2017.**

*ISSN (Printed) 2216-0353, ISSN (Online) 2216-0388*

**Forma de citar:** Jiménez, H. J. y Milano, Y. (2017). Corrosión acelerada en medio salino y adherencia de sistemas de pinturas depositadas sobre acero. Mundo Fesc, 13, 48-55

**Recibido:** 19 Agosto de 2016.

**Aceptado:** 3 Noviembre de 2016.

## 1. Introducción

Tomando en cuenta, que el acero es el material estructural por excelencia, dado el perfil de propiedades que posee y el crecimiento acelerado de las construcciones en regiones donde predominan parámetros medio ambientales agresivos (Corrales, Villa, Corvo y Marrero, 2014), esto obliga a realizar estudios que permitan simular las condiciones necesarias para acelerar el deterioro o desintegración de la película protectora y evaluar la durabilidad del revestimiento; a objeto de garantizar la integridad física y funcionalidad de los componentes estructurales fabricados con aceros (Simpson, Ray & Skerry, 1991).

Las expectativas de un usuario, en cuanto al comportamiento de sistemas de pinturas anticorrosivas y protectoras en un medio determinado, se centran en la durabilidad y funcionalidad de los componentes recubiertos (Wahby, Atta, Al-Lohedan & El-saeed, 2017) y muestran interés sobre los ensayos que permitan predecir su comportamiento, cuando son sometidos a condiciones de degradación aceleradas (Khade, Khane, Sale & Gadone, 2017) y pruebas conducentes a evaluar el grado de adherencia del sistema recubierto, que garantiza la unión del mismo (Kai, Jiarun., Weichen, Liangmin, Baorong, & Min, 2016).

La degradación de un sistema de pintura por los agentes atmosféricos, resulta de la combinación de numerosos mecanismos asociados a ambientes industriales, marinos y urbanas; que en su gran mayoría actúan de una manera repetitiva y compleja con un impacto perjudicial sobre el sistema recubrimiento – substrato.

La justificación para conocer los efectos de la degradación de un recubrimiento de pintura en medio acelerado, obedece a la necesidad de aumentar la corrosividad del medio o solución a emplear, a objeto de obtener en un plazo breve, resultados y valoraciones indispensables para el proyecto de alguna instalación o estructura metálica, cuya duración se espera sea de largo tiempo (Yuhai & Jingjun, 2015).

El ensayo acelerado en cámara salina, es un método estándar utilizado a nivel mundial por ser una herramienta poderosa para evaluar el desempeño de sistemas de recubrimientos, especialmente orgánicos (Bedoya, Calderón, Bermúdez, Castaño, Echeverría y Maya, 2011). En la cámara salina, se puede reproducir y simular las condiciones reales atmosféricas que se producen en las áreas marítimas que provocan la corrosión, tales como la niebla salina marina, la contaminación urbana o la contaminación industrial y permite someter las películas de pintura aplicadas sobre paneles metálicos de cualquier tipo, a la acción de una niebla de sal, atomizada en condiciones prefijadas de precisión, concentración y temperatura.

La investigación se orienta a evaluar el comportamiento de fondos anticorrosivos y sistemas de pinturas de esmalte mate y esmalte brillante, aplicados sobre cupones de acero y expuestos en medio corrosivo acelerado de niebla salina, en correspondencia con las especificaciones establecidas en la norma ASTM B117 (2011), así como la determinación del grado de oxidación, que se genera debajo de la pintura, que es un factor determinante en la decisión de reparar o reemplazar un sistema de pintura. La oxidación se analizó, siguiendo las indicaciones de la inspección visual referida en la norma ASTM D 610 (2012). La evaluación cualitativa de adherencia de dichos sistemas de pinturas sobre el substrato, se realizó mediante el método de aplicación de resina y desprendimiento con cinta adhesiva.

El estudio constituye un aporte desde el punto de vista tecnológico y económico, que contribuye con el desarrollo de sistemas de recubrimientos de pinturas más ajustados a las exigencias del mercado, y permiten ajustar la formulación para mejorar la calidad de las pinturas, en correspondencia con el nivel de exigencias dependiendo de las aplicaciones de índole funcional y/o decorativa.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Tipo y dimensiones de las probetas

Para las pruebas se tomaron muestras de láminas de acero de bajo carbono calidad estructural, con dimensiones: 100 mm x 100 mm x 3 mm de espesor.

### 2.2 Preparación de la superficie

Se realizó limpieza mecánica, utilizando lija 80, para garantizar la rugosidad superficial similar a las obtenidas en el material calidad comercial, limpieza química manual con alcohol y secado de las muestras.

### 2.3 Identificación y Pintado de las Probetas

Las probetas de ambos sistemas, fueron pintadas con fondo anticorrosivo color gris, utilizando una brocha de 15 pulgadas y un tiempo de secado de 45 minutos, luego se les aplico los dos tipos de esmaltes de manera uniforme.

### 2.4 Diseño Experimental para Evaluar los Sistemas de Pinturas

Se evaluaron dos sistemas de pinturas: esmalte brillante (SPEB) y esmalte mate (SPEM). El diseño utilizado (figura 1), es un esquema factorial fraccionado, que permitió evaluar los dos sistemas de pintura de interés industrial, utilizando el mínimo número de muestras y bajo las mismas condiciones, lo que permitió analizar de manera funcional y equitativa el efecto corrosivo acelerado que imprime la cámara salina sobre los sistemas de pintura evaluados. Se ensayaron un total de 30 muestras, 15 de cada sistema, de las cuales 3 fueron totalmente recubiertas y 2 parcialmente recubiertas(X). Los tiempos de exposición bajo la atmosfera de niebla salina fueron 48, 96 y 142 horas. Después de cada periodo de exposición, se retiraron simultáneamente 5 muestras de los sistemas en referencia.

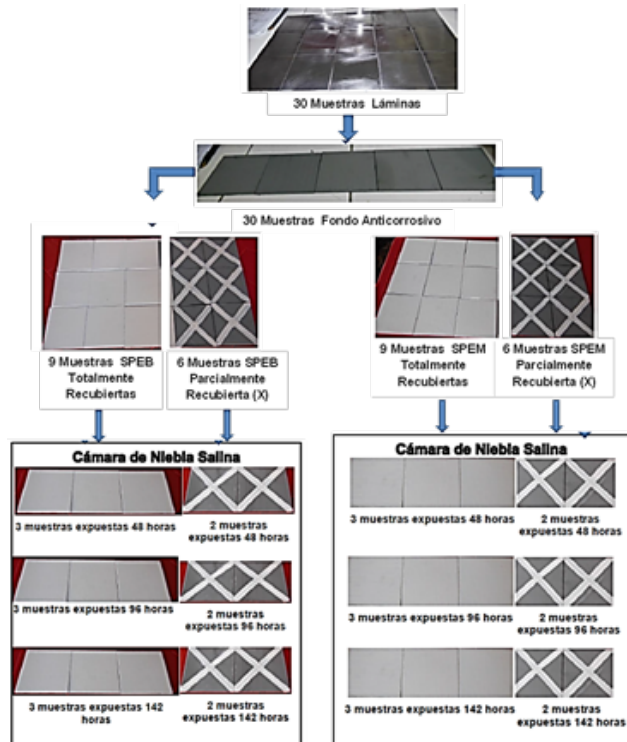


Figura 1. Diseño experimental utilizado en la evaluación de los sistemas de pinturas

Fuente: Autores.

### 2.5 Pesaje de las Muestras antes del Ensayo

Previo a su exposición en la atmosfera de niebla salina, las muestras de pesaron en una balanza analítica marca OHAUS, modelo AR2140, cuya máxima capacidad es de 210 gramos y su sensibilidad de 0,001 gramos.

### 2.6 Posición de las Probetas y Exposición en Atmosfera de Niebla Salina:

Se utilizó una cámara salina, marca Industrial 400 series PG-5 y la exposición a la niebla salina se realizó bajo las condiciones establecidas (tabla 1), en la norma ASTM B117 (2011).

Tabla 1  
Especificaciones de las condiciones operativas de la cámara salina.

Temperatura	35 °C	pH Neutro	6,5 – 7,2
Concentración Salina	5% Peso	Presión de Entrada de Aire	10 – 25 psi

Una vez verificado el cumplimiento de las condiciones exigidas, se posicionaron las probetas en el interior de la cámara, ubicadas en portamuestras, formando con la vertical un ángulo de 20°, cuya disposición se observa en la figura 2, sin contacto con ningún material metálico y con libre acceso de la niebla salina en toda la superficie; posteriormente se procedió a la programación y realización de los ensayos.

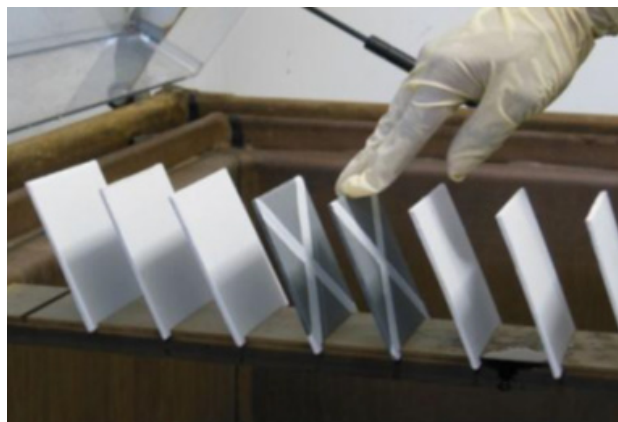


Figura 2. Posicionamiento de las muestras en cámara salina.  
Fuente: Autores.

## 2.7 Evaluación Superficial, Limpieza y Pesaje de las Muestras después del Ensayo

Al final de cada período de exposición (48, 96 y 142 horas), se retiraron las probetas, se tomaron las fotografías y se procedió a la aplicación de la norma ASTM D 610(2012); que evalúa y cuantifica usando imágenes estandarizadas, el grado de oxidación en superficies de acero pintadas, comparando visualmente la superficie en estudio con las referencias fotoGráficas, para determinar el porcentaje de área corroída.

Concluido el análisis del grado de corrosión, se limpiaron las muestras con una solución decapante, cuya composición contiene HCl, H<sub>2</sub>O y Hexamethylentetramine (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>N<sub>4</sub>) y se pesaron las muestras en la balanza analítica marca OHAUS, lo que permitió conocer las pérdidas de peso por corrosión.

## 2.8 Adherencia del Fondo Anticorrosivo y de los Sistemas de Pintura Esmalte Brillante y Esmalte Mate

Se aplica sobre la leneta (cartulina), muestra suficiente del fondo de las pinturas y sistemas de pinturas evaluados (SPEB y SPEM) y se desliza hasta cubrir toda el área de aplicación (figura 3). Se procede a colocar la cinta adhesiva en la leneta sobre cada los sistema con un tiempo de permanencia de 5 minutos y luego se extrae la cinta adhesiva de la leneta y se analiza visualmente el grado de adherencia del sistema de pintura al sustrato de manera cualitativa.



Figura 3. Aplicación pintura sobre la leneta en la determinación de la adherencia.  
Fuente: Autores.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Inspección Visual de acuerdo con la Norma ASTM D 610

Se procedió a la aplicación de la norma, que evalúa y cuantifica el grado y porcentaje de área superficial oxidada de muestras de acero pintadas, usando imágenes estandarizadas. En la figura 4, se exponen fotografías en las cuales se puede apreciar el estado que presentaba el recubrimiento de los sistemas de pintura esmalte brillante (SPEB) y esmalte mate (SPEM), una vez expuestas a la atmosfera salina y distintos tiempos de ensayo: 48, 96 y 142 horas, Evidentemente, ambos sistemas protegen al sustrato, ya que las muestras totalmente recubiertas presentan un estado de deterioro irrelevante, si lo comparamos con las muestras parcialmente recubiertas(X).

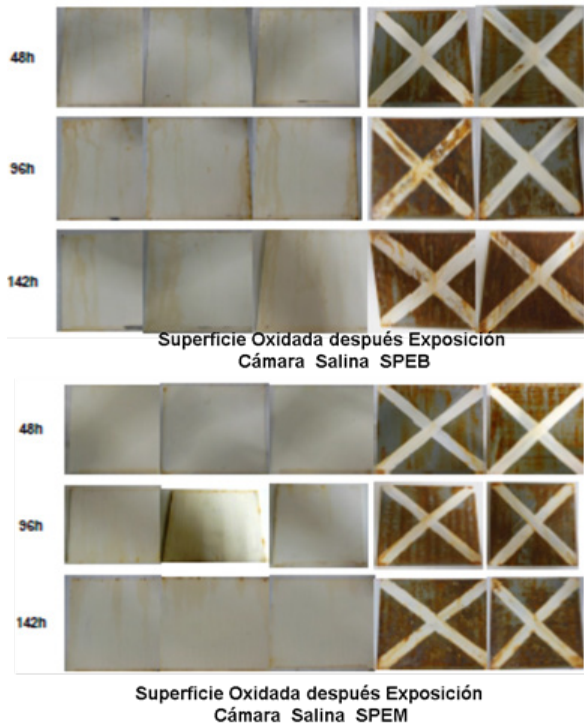


Figura 4. Comparación superficie oxidada después exposición cámara salina (SPEB y SPEM)

Fuente: Autores.

La figura 5, muestra la comparación del porcentaje promedio de superficie oxidada de las muestras correspondientes a ambos sistemas (SPEB y SPEM), en su condición parcial y totalmente recubierta.

Las muestras totalmente recubiertas, correspondientes al SPEB, reportan un grado de corrosión que varía en función del tiempo de exposición entre G8 (corrosión mínima) y G5 (corrosión extendida), que corresponde a porcentajes promedios de oxidación entre 0,1 y 3%; mientras que las muestras del SPEM, presentan grados de corrosión de G10 (sin corrosión) a G6 (corrosión extendida), equivalentes a porcentajes de oxidación entre 0,03 y 1%, respectivamente. Esto indica que ambos sistemas tienen un comportamiento similar ante el medio corrosivo, pero el SPEM es ligeramente más protector que las muestras pintadas con el SPEB, y el efecto levemente más acentuado en las muestras parcialmente recubiertas.

Las diferencias sutiles en el comportamiento de am-

bos sistemas orgánicos, podrían estar asociados a la formulación que los caracteriza y que les confiere esa acción protectora como barrera y a la inhibición activa de la corrosión mediante los tipos y contenidos de pigmentos, disolventes y aditivos que poseen.

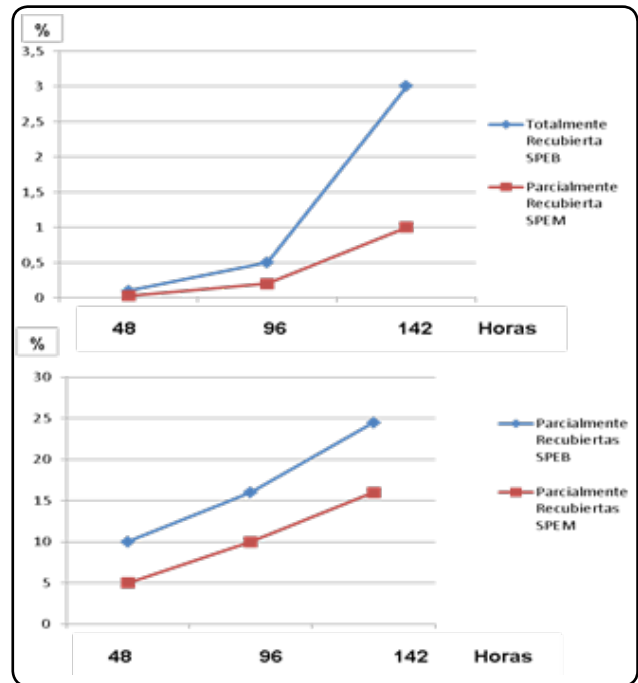


Figura 5. Comparación del porcentaje de superficie oxidada después exposición cámara salina (SPEB y SPEM) Fuente: Autores.

### 3.2 Determinación de las Pérdidas por Oxidación por Gravimetría

La estimación promedio por pérdida o ganancia de peso durante el periodo de exposición acelerado en niebla salina y después de la remoción de los productos de corrosión, se muestran en las figuras 6,7 y 8.

Los resultados muestran una ganancia de peso inicial, después de retiradas y pesadas (PDE) las muestras en ambos sistemas (figura 6 y 7), sus trayéndole el peso inicial obtenido antes de ser expuestas (PIN). Una vez removidos los productos de corrosión por la solución decapante, experimentan una pérdida de peso (PDE-PDL), como resultado del desalojo de las especies oxidadas que cubrían la superficie de las probetas y que se formaron bajo las condiciones expuestas.

La figura 8, compara y evidencia la similitud del comportamiento de ambos sistemas (SPEB y SPEM), reportando unas pérdidas de oxidación ligeramente mayor en las muestras SPEM si las relacionamos con las obtenidas en las probetas SPEB. Dichas diferencias, podrían contradecir los resultados reportados en cuanto al porcentaje de oxidación cuantificado mediante la aplicación de la norma ASTM D 610 (2012) y anteriormente discutidos. Sin embargo, pueden explicarse si se comparan las características físicas y químicas de estas sustancias orgánicas, que determinan el grado de reactividad superficial con las especies corrosivas ( $H_2O$ ,  $NA^+$ ,  $Cl^-$ ,...), así como los mecanismos de adherencia vinculados a las fuerzas de enlace, que pueden facilitar o impedir la remoción de los productos de corrosión; abriendo un abanico de posibilidades para futuras investigaciones.

### 3.3 Determinación Cualitativa del Grado de Adherencia

El análisis cualitativo del grado de adherencia de los sistemas evaluados sobre el sustrato de acero, basado en la aplicación y despeje de una cinta adhesiva sobre muestras de pinturas de fondo gris, esmalte brillante y esmalte mate; arrojaron resultados satisfactorios (figura 9) en los sistemas mencionados. Dicha afirmación, se basa en el hecho, que no quedaron residuos de pintura adheridos en ninguna de las cintas, luego de ser retiradas. Esta cualidad, es indicativa del grado de adhesión y el mismo está determinado por las especificaciones químicas y físicas de las pinturas, particularmente las características del ligante o resina, ejerce una influencia marcada sobre las propiedades mecánicas del recubrimiento o película, tales como la dureza, ductilidad y adherencia; ya que mantienen unidas las partículas sólidas, pigmentos y cargas (Alonso, 2013), una vez que esta seca la pintura. Otro parámetro de relevante, que determina la adherencia de la pintura al sustrato, es la naturaleza de las fuerzas interfaciales que favorecen la unión, vinculadas al enlace químico y anclaje mecánico de dicho sistema.

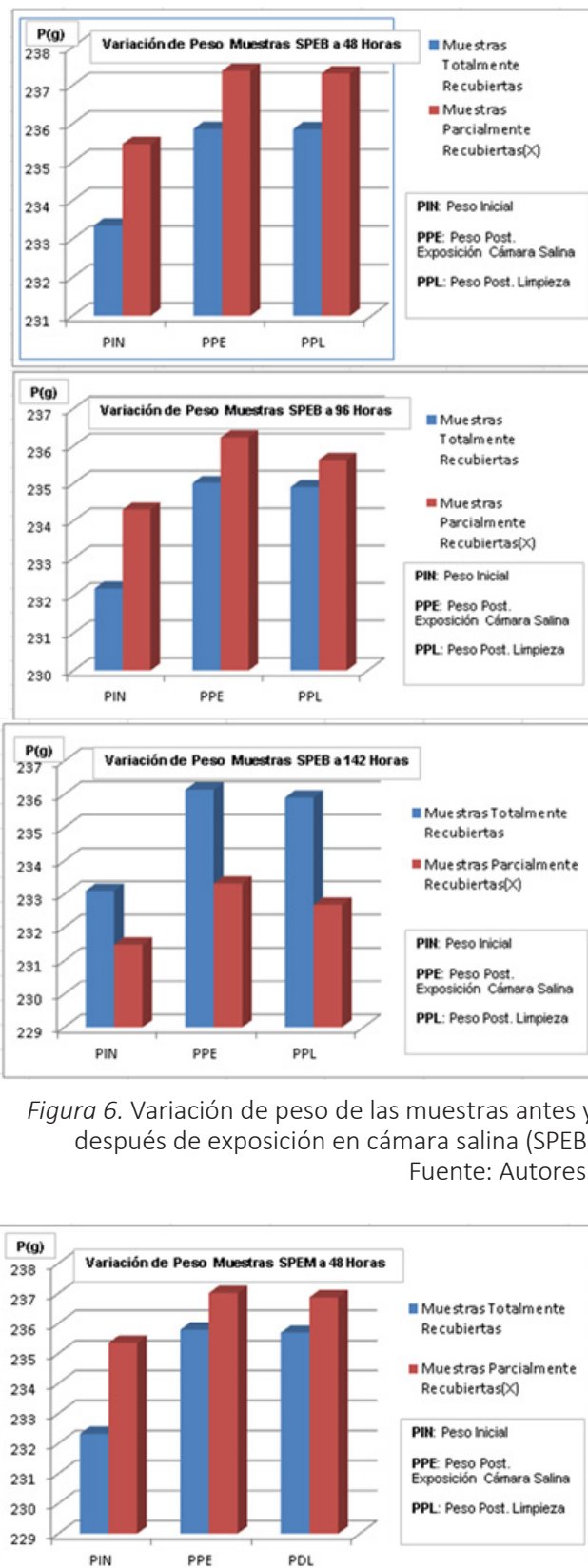


Figura 6. Variación de peso de las muestras antes y después de exposición en cámara salina (SPEB) Fuente: Autores.

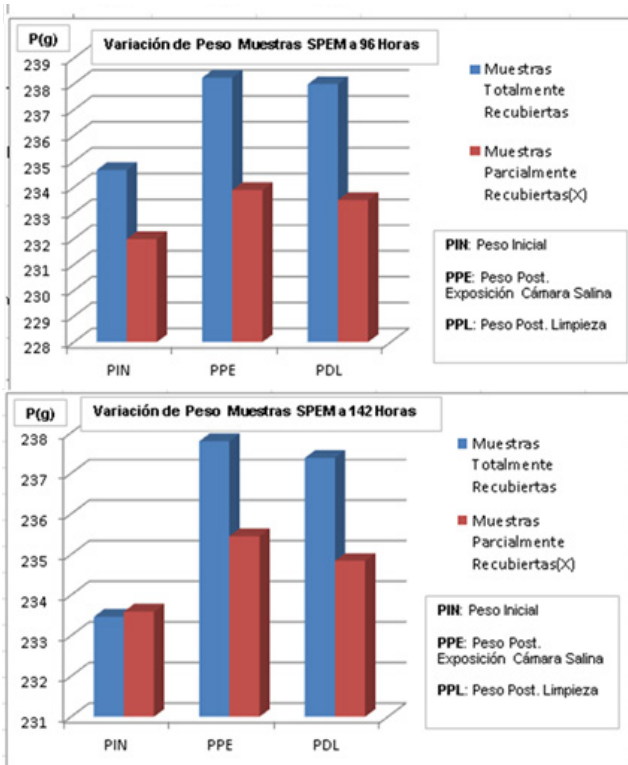


Figura 7. Variación de peso de las muestras antes y después de exposición en cámara salina (SPEM)  
Fuente: Autores.



Figura 9. Comparación del aspecto visual antes y después del ensayo de adherencia  
Fuente: Autores.

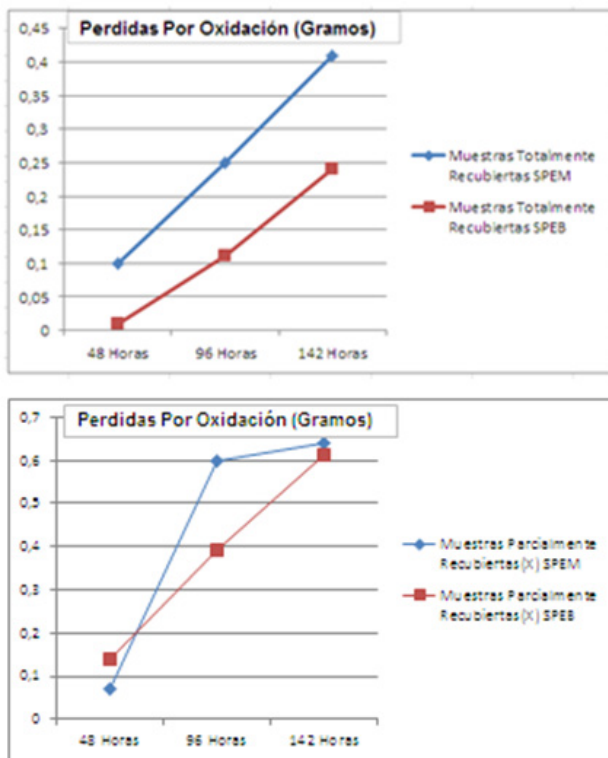


Figura 8. Comparación de las pérdidas por oxidación de SPEB y SPEM  
Fuente: Autores.

#### 4. Conclusiones

Los sistemas de pinturas esmalte brillante y esmalte mate, presentaron un comportamiento similar frente al medio corrosivo de niebla salina, observándose ligeras diferencias en cuanto al porcentaje de oxidación superficial y a las pérdidas de peso asociadas a dicho mecanismo de degradación.

Se evidencia el efecto protector en las muestras cuando se aplican los sistemas de pinturas evaluados, ya que el porcentaje de oxidación de la superficie es mucho menor en comparación con las muestras que fueron expuestas con el fondo anticorrosivo y parcialmente recubiertas.

Los resultados del ensayo de adherencia fueron satisfactorios, ya que no quedaron residuos de pinturas en la cinta adhesiva al momento de retirarla de los sistemas evaluados, lo que es indicativo de su resistencia adhesiva.

## 5. Agradecimientos

Los autores queremos expresar nuestro agradecimiento al Centro de Corrosión y Biomateriales de la Unexpo y a la empresa Distribuidora Pintuven, por el apoyo prestado para la realización de los ensayos considerados en esta investigación.

## 6. Referencias

- Alonso, J. V. (2013). *Pinturas, Barnices y Afines: Composición, Formulación y Caracterización*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. pp 1-43.
- American Society for Testing Materials, ASTM B 117(2011). Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus.
- American Society for Testing Materials, ASTM D 610 (2012). Standard Practice for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces.
- Bedoya, F., Calderón, J., Bermúdez A., Castaño J, Echeverría, F y Maya, J. (2011). Análisis de los factores de mayor influencia en la evaluación del desempeño de recubrimientos orgánicos mediante ensayos acelerados y espectroscopia de impedancia electroquímica. *Ing. Univ. Bogotá (Colombia)*, 15(1), 245-268.
- Corrales, X., Villa, R., Corvo, F., y Marrero, R. (2014). Resistencia al Clima Tropical de Aceros Galvanizados con o sin Recubrimientos. *Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 15(1), 29-40.
- Kai, W., \*, Jiarun, L., Weichen, X. , Liangmin, Y. , Baorong, H. and Min L. (2016). Enhanced Interphase Adhesion and Anticorrosion Properties in Epoxy Coating Modified via Acrylic Resin. *International Journal Electrochemical Science*, 11, 8914- 8926.
- Khade, J., Khane, R., Sale, S., Gadone, R. (2017). ZnO Containing Duplex Coating to Galvanized Steel for Corrosion Resistance. *IJRICC*, 5(6), 1363-1368.
- Simpson, C., Ray C., and Skerry, B. (1991). Accelerated Corrosion Testing of Industrial Maintenance Paints Using A Cyclic Corrosion Weathering Method. *Journal of Protective Coatings & Linings*, 1-9. Recuperado de <https://www.q-lab.com/documents/public/d9e1c480-c2d2-450a-8df7-d577c03d22bb.pdf>
- Wahby, M., Atta., A., Al-Lohedan, H., El-saeed, A., Tawfik, A. (2017). Non – Cracked Epoxy Nanogel Composite as Anticorrosive Coatings for Aggressive Marine Environment. *International Journal. Electrochemical. Science*, 12, 316-329.
- Yuhai Q. & Jingjun X. (2015). An accelerated testing method for the evaluation of atmospheric corrosion resistance of weathering steels. *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 62(2), 77-82. doi: <https://doi.org/10.1108/ACMM-11-2013-1319.pdf>