

EVALUACIÓN DE SISTEMAS ANTICORROSIVOS POLIMERICOS BASE ACUOSA CON INCORPORACIÓN DE PARTÍCULAS CEMENTICIAS PARA ESTRUCTURAS ENTERRADAS

Catalina Córdoba^{1*}, Mario Mejía¹, Jorge Andrés Calderón¹, Félix Echeverría¹, Marcela Morales²

- ✓ Este artículo forma parte del "Volumen Suplemento" **S1** de la *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales (RLMM)*. Los suplementos de la RLMM son números especiales de la revista dedicados a publicar memorias de congresos.
- ✓ Este suplemento constituye las memorias del congreso "X Iberoamericano de Metalurgia y Materiales (X IBEROMET)" celebrado en Cartagena, Colombia, del 13 al 17 de Octubre de 2008.
- ✓ La selección y arbitraje de los trabajos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del X IBEROMET, quien nombró una comisión *ad-hoc* para este fin (véase editorial de este suplemento).
- ✓ La RLMM no sometió estos artículos al proceso regular de arbitraje que utiliza la revista para los números regulares de la misma.
- ✓ Se recomendó el uso de las "Instrucciones para Autores" establecidas por la RLMM para la elaboración de los artículos. No obstante, la revisión principal del formato de los artículos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del X IBEROMET.

EVALUACIÓN DE SISTEMAS ANTICORROSIVOS POLIMERICOS BASE ACUOSA CON INCORPORACIÓN DE PARTÍCULAS CEMENTICIAS PARA ESTRUCTURAS ENTERRADAS

Catalina Córdoba ^{1*}, Mario Mejía ¹, Jorge Andrés Calderón ¹, Félix Echeverría ¹, Marcela Morales ²

1: Grupo de Corrosión y Protección, GCP, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia

2: Grupo de Ingeniería Civil, GICI, Universidad de Medellín. Medellín, Colombia

* E-mail: catalinacor@hotmail.com

Trabajos presentados en el X CONGRESO IBEROAMERICANO DE METALURGIA Y MATERIALES IBEROMET
Cartagena de Indias (Colombia), 13 al 17 de Octubre de 2008

Selección de trabajos a cargo de los organizadores del evento

Publicado On-Line el 29-Jul-2009

Disponible en: www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html

Resumen

A lo largo de los últimos años se han introducido mejoras en las resinas empleadas como insumo en la preparación de recubrimientos anticorrosivos. Desarrollos recientes en emulsiones y productos de base acuosa para pinturas han sido incorporados facilitar su aplicación y entregar materiales menos contaminantes al mercado. En este trabajo se usaron dos sistemas poliméricos anticorrosivos a base de emulsiones vinílicas/cemento y acrílicas/cemento, los cuales fueron aplicados sobre sustratos de acero galvanizado y de acero al carbono con un acabado superficial metal blanco. Se evaluaron por la técnica de espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) de modo potenciostático en solución acuosa de NaCl al 3.0 % durante 60 días, con el fin de monitorear la penetración del electrolito en el recubrimiento. Además se realizaron ensayos acelerados de corrosión como cámara de niebla salina y pruebas de adherencia con el fin de evaluar el desempeño del recubrimiento. Los espectros de impedancia fueron modelados en términos de circuitos eléctricos equivalentes para una mejor interpretación de los resultados.

Los resultados del ensayo de cámara de niebla salina corroboraron las pruebas de adherencia para cada sistema, mostrando una temprana falla en el recubrimiento de menor adherencia. Igualmente hay correspondencia de estos resultados con los obtenidos mediante EIS. De acuerdo con los resultados obtenidos, se prevé un mejor desempeño del sistema anticorrosivo acrílico/cemento.

Palabras Claves: *Emulsiones poliméricas, Corrosión, Estructuras enterradas*

Abstract

Over the past years there have been improvements in resins used in anticorrosion coatings. Recent developments in emulsions and water-based products have been incorporated to facilitate its implementation as anticorrosion coatings and delivery less polluting materials to the market. In this work two polymeric anti-corrosive systems based in vinyl/cement and acrylic/cement emulsions were used. These coating systems were applied on galvanized and carbon steel substrates with a white metal surface finish. Coating performances were evaluated during 60 days immersion in aqueous solution of 3,0% NaCl. In order to monitor the electrolyte penetration into the coating measurements of electrochemical impedance spectroscopy (EIS) at potentiostatic mode were made. In addition, adherence and other accelerated corrosion tests like salt spray chamber were conducted to evaluate the performance of the coating. The impedance spectra were modeled in terms of electrical equivalent circuits to a better interpretation of results.

The coating behavior in salt spray test was coherent with the results given by the adherence test for each system, showing an early fail in the coating that had lower adhesion. There was equal correspondence of these results with those obtained by EIS. According to the results obtained, it is anticipated a better performance of the anticorrosive acrylic/cement system.

Keywords: *Polymer emulsions, corrosion, buried structures.*

1. INTRODUCCION

Numerosas empresas en el ámbito mundial tienen entre sus principales problemas la conservación de la infraestructura física instalada, la cual se encuentra expuesta a varios medios agresivos los

cuales a su vez, presentan diferentes características tanto físico mecánicas como físico-químicas.

Como ejemplo de elementos de dicha infraestructura se pueden mencionar tuberías de conducción de agua, gas, petróleo y sus derivados, cables eléctricos

o telefónicos que se distribuyen a través de un tubo metálico, anclajes de puentes o postes de tendido eléctrico, expuestos a suelos que pueden variar en su agresividad frente a los materiales empleados (Otsuki *et al.* [1]). La búsqueda de soluciones más apropiadas para cada caso, que respondan a los requerimientos de estabilidad mecánica y química de la estructura y que a su vez resistan la acción del medio circundante, es una búsqueda que debe ser permanente (Feliu *et al.* [2]).

La solución más comúnmente empleada cuando se trata de diseñar y proteger estructuras enterradas en suelos es el empleo de materiales de alta resistencia a la corrosión, modificaciones del suelo y aplicación de recubrimientos metálicos u orgánicos a la estructura con el fin de aislarla del medio (Stratmann [3]).

Los recubrimientos anticorrosivos base acuosa han recorrido un largo camino con el objetivo de incrementar su eficiencia (Morcillo *et al.* [4]). Formulaciones de tipo alquídico, poliuretano, epoxy, vinílicas y acrílicas, en algunos casos con el agua como único disolvente y en otros bajo forma de emulsiones han presentado un comportamiento tan eficiente como las formulaciones convencionales a base de solventes orgánicos; lo cual hace que sean cada vez más atractivas al mercado por razones económicas, técnicas y ambientales (Spengler *et al.* [5]).

La técnica de Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS), al ser una técnica no destructiva, se convierte en una alternativa en la predicción aproximada del comportamiento en servicio de los sistemas de protección anticorrosiva (Lengyel *et al.* [6]). Siendo la corrosión un fenómeno de naturaleza electroquímica y la protección con recubrimientos como una barrera al paso de especies iónicas, la impedancia de un sustrato pintado se puede representar como una combinación de resistencias, capacitancias y bobinas; por lo que se puede recurrir a una interpretación de la impedancia experimental empleando el modelo de circuito eléctrico equivalente propuesto por (Mansfeld *et al.* [7]) presentado en la Figura 1. Dicho circuito puede describir el comportamiento electroquímico de un metal recubierto inmerso en un electrolito. En este modelo R_{Ω} corresponde a la resistencia óhmica del electrolito, C_c es la capacitancia del recubrimiento, R_{PO} es la resistencia del poro del recubrimiento durante la penetración del electrolito, R_t es la

resistencia a la transferencia de carga del sustrato, y C_{DL} es la capacitancia de la doble capa eléctrica en la interface sustrato/electrolito.

Los cambios relativos en los valores de estos componentes eléctricos durante el tiempo de inmersión al que son sometidas las probetas de ensayo, pueden brindar información acerca del mecanismo involucrado en el proceso de corrosión y servir como medio comparativo del comportamiento de diferentes sistemas de recubrimiento protectores contra la corrosión.

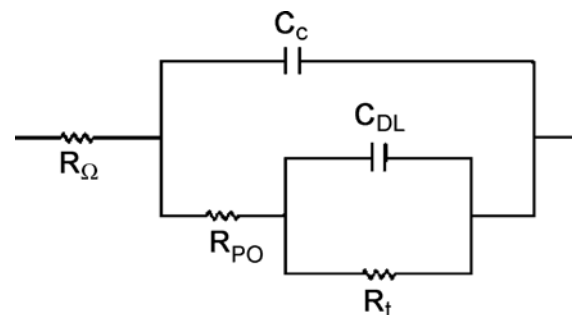


Figura 1. Circuito eléctrico equivalente

En este trabajo se presenta la evaluación de formulaciones de recubrimientos anticorrosivos base acuosa tipo vinílico y acrílico con un reemplazo de pigmentos anticorrosivos por material cementicio. El objetivo de adicionar material cementicio a las emulsiones poliméricas es el de poder conferir características alcalinas al recubrimiento y desplazar el potencial de corrosión del sustrato hacia valores más nobles forzando una posible pasivación del mismo. La pasivación del sustrato actuando junto con las propiedades de barrera de la película de pintura, pretende en definitiva disminuir la susceptibilidad a la corrosión y proteger la estructura metálica.

La formulación del recubrimiento se hace de una manera sencilla, en la cual se adiciona únicamente un dispersante a la emulsión para facilitar la mezcla del material cementicio y la aplicabilidad del recubrimiento. Teniendo en cuenta que el objeto principal de este trabajo es el de realizar una evaluación preliminar de estos recubrimientos, para verificar la efectividad de la adición de material cementicio como pigmento anticorrosivo en emulsiones base acuosa, no se hace una formulación completa de las pinturas. Esa actividad se hará en una etapa posterior, una vez se haya confirmado la efectividad del material cementicio como pigmento anticorrosivo.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Preparación de muestras

En este trabajo se emplearon como sustrato probetas de acero al carbono con tratamiento superficial sand blasting grado metal blanco (SP-3) y acero galvanizado en caliente (capa de zinc de $110\mu\text{m}$) con tratamiento superficial abrasivo grano 240 de acuerdo a la norma ASTM 7396 [8], para facilitar el anclaje de la pintura en el sustrato galvanizado. El tamaño de las probetas fue de $20\text{cm}\times 10\text{cm}\times 0,3\text{cm}$. Todas las probetas fueron lavadas con agua destilada. Desengrasadas con alcohol y acetona previa a la aplicación del recubrimiento.

2.2 Preparación y aplicación de recubrimientos

Los sistemas poliméricos en emulsión vinilica/cemento y acrílica/cemento fueron preparados a partir de resinas vinilicas y acrílicas en dispersión acuosa con un contenido de sólidos de 55 y 50% respectivamente. Como pigmentos anticorrosivos se empleó cemento portland tipo I en una proporción suficiente para mantener fija la relación agua/cemento en 0,4, esto de acuerdo a datos obtenidos de la literatura (González *et al.* [9]). Así como en la formulación de morteros de cemento y concretos, se estima que la relación agua/cemento en un valor de 0,4 permite un fraguado adecuado del cemento, disminuyendo la formación de porosidad. Adicionalmente, se incorporó a la mezcla una pequeña cantidad de poliacrilato de sodio (0,5% p/p) con el fin de obtener una viscosidad adecuada para el pintado. La incorporación de cemento se realizó a una velocidad de agitación constante de 2500 rpm. No se incorporó ningún otro pigmento como carga, ni aditivos como espesante, antiespumantes, etc. con el fin de evaluar únicamente el pigmento cementicio.

Se aplicaron dos manos de recubrimiento, con un intervalo de 1 hora de secado entre ellas. Luego de 2 horas de curado, se aplicaron dos manos de la misma resina en dispersión acuosa como sellante para cada caso y se dejó curar por un periodo de 7 días antes de realizar cualquier tipo de prueba. El espesor de los recubrimientos al finalizar el curado fue en promedio de $260\mu\text{m}$.

2.3 Evaluación de recubrimientos

2.3.1 Pruebas de adherencia por tracción

Este ensayo se realizó bajo la norma ASTM D 4541[10]

2.3.2 Cámara de niebla salina

Este ensayo se realizó bajo la norma ASTM B 117 [11]

2.3.3 Impedancia electroquímica

Las pruebas electroquímicas se realizaron empleando una celda de tres electrodos, en la cual el electrodo de trabajo fueron las probetas pintadas y ubicadas horizontalmente en la celda como se observa en la Figura 2. El área expuesta fue de $38,5\text{cm}^2$. Un alambre de platino es usado como contraelectrodo y un electrodo de referencia de plata-cloruro de plata complementa el arreglo de la celda. Todas las medidas se realizaron a temperatura ambiente ($\sim 22^\circ\text{C}$). Como electrolito se usó una solución acuosa de NaCl al 3,0 % (p/p).

Las medidas de impedancia se realizaron en modo potencioestático empleando un potencioestato-galvanostato Gamry 600. Los espectros de impedancia se registraron en un rango de frecuencia de 100 KHz hasta 5mHz, 10 puntos/década, 10 mV de amplitud y a potencial de circuito abierto.



Figura 2. Celda electroquímica

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Adherencia por tracción

Una prueba de adherencia tras la aplicación del recubrimiento indica la fuerza con la que este último está afianzado en la superficie o en otra capa de recubrimiento, o la fuerza de cohesión de algunos sustratos. En la Tabla 1. Se presentan los resultados de la prueba de adherencia, la cual arroja un valor inferior para ambos sistemas de pintura sobre sustrato desnudo. Para todos los casos la naturaleza de la falla es cohesiva B/C. Algo particular del recubrimiento acrílica/cemento es que tiene una adherencia similar sobre ambos sustratos, pero su desempeño en cámara salina es diferente como se comentará más adelante.

Tabla 1. Resultados de adherencia de los sistemas poliméricos evaluados

<i>Sistema de pintura/sustrato</i>	<i>Adherencia (Psi)</i>	<i>Naturaleza de la falla</i>
Vinílica/cemento		
Desnudo	760	Cohesiva B/C
Galvanizado	1640	Cohesiva B/C
Acrílica/cemento		
Desnudo	1040	Cohesiva B/C
Galvanizado	1280	Cohesiva B/C

3.2 Cámara de niebla salina

Aunque este ensayo cuantitativamente no brinda la posibilidad de predecir con exactitud la durabilidad de las estructuras protegidas (Pérez *et al.* [12]), proporciona criterios válidos para evaluar el desempeño de un recubrimiento. En la Tabla 2. Se presentan los resultados del ensayo de niebla salina, en relación al tiempo de aparición de la falla de cada recubrimiento. Ambos recubrimientos sobre sustrato desnudo presentan corrosión a igual tiempo de exposición, mientras que el recubrimiento acrílico sobre sustrato galvanizado resiste un tiempo superior respecto al vinílico.

En la Figura 3. se observa el aspecto superficial de probetas galvanizadas con recubrimiento vinílico y acrílico luego de 192 horas de exposición. Las probetas con recubrimiento vinílico muestran un deterioro homogéneo, mientras que las probetas con recubrimiento acrílico no evidencian signos de deterioro pasadas 192 horas de exposición.

3.3 Impedancia electroquímica

En las Figuras 4-5 se presentan los diagramas de impedancia electroquímica de las probetas pintadas con ambos recubrimientos a diferentes tiempos de ensayo. Los diagramas de impedancia de los sistemas vinílico/cemento y acrílica/cemento sobre ambos sustratos presenta desde las primeras horas de inmersión (4 horas) dos arcos capacitivos.

El primer arco a alta frecuencia está asociado a las propiedades del recubrimiento, mientras que el segundo arco está asociado a la corrosión bajo película ocasionada por la penetración del electrolito y el contacto de este con el sustrato (Spengler *et al.* [5], Mansfeld *et al.* [7]).

Tabla 2. Resultados del ensayo de cámara de niebla salina

<i>Sistema de pintura/sustrato</i>	<i>Tiempo de falla (h) Aparición de Corrosión</i>
Vinílica/cemento	
Desnudo	72
Galvanizado	192
Acrílica/cemento	
Desnudo	72
Galvanizado	240

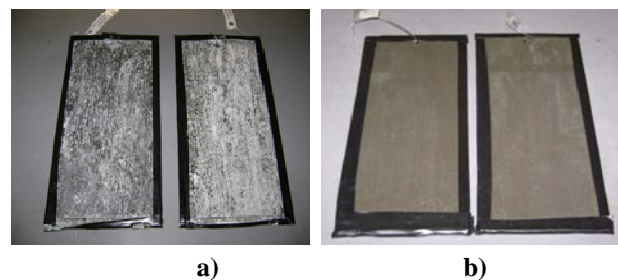


Figura 3. Probetas galvanizadas con recubrimiento luego 192h de exposición en cámara de niebla salina a) vinilica/cemento b) acrílica /cemento.

Los diagramas de impedancia muestran claramente que los recubrimientos presentan desde tempranas horas de inmersión una alta permeabilidad, permitiendo el paso del electrolito a través de la película de pintura. Este fenómeno es característico de las resinas base agua como se reporta en la literatura (Deflorian *et al.* [13]). También se reporta que las pinturas base agua tienen una bajas propiedades barrera, principalmente cuando son sometidas a ensayos de inmersión total. No obstante la alta permeabilidad de las pinturas en evaluación, resulta interesante ver como es la evolución en el tiempo del segundo arco capacitivo a bajas frecuencias, pues este arco está asociado a la corrosión bajo película y puede proporcionar información importante relacionada con la formación de productos de corrosión que pueden ser protectores debido a la lixiviación del material cementicio de la pintura. Con relación a esto último, se observó que desde tempranas horas de inmersión, el pH de la solución tuvo un aumento considerable, pasando de un valor de inicial pH de 7,0 hasta otro final de 11,0 luego de 8 horas de evaluación. Pasadas las primeras 8 horas de inmersión, el valor

de pH se mantuvo estable durante los 60 días restantes del ensayo. El aumento de pH puede ocasionar la formación de productos de corrosión estables característicos de herrumbres pasivas, como sucede en las varillas de refuerzo en un concreto. Esta hipótesis deberá ser confirmada posteriormente mediante la caracterización de la herrumbre generada bajo la película de pintura.

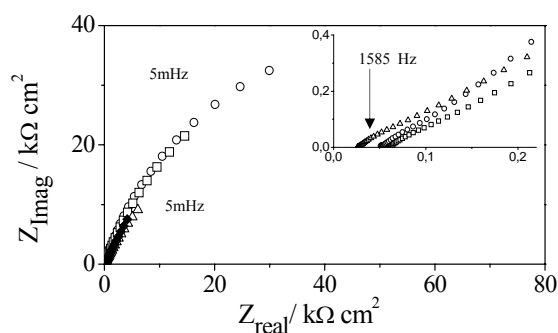


Figura 4. Diagrama de impedancia de acero al carbono con recubrimiento vinílico/cemento luego de (o) 4, (□) 216, (Δ) 816, y (◆) 1440 h de inmersión.

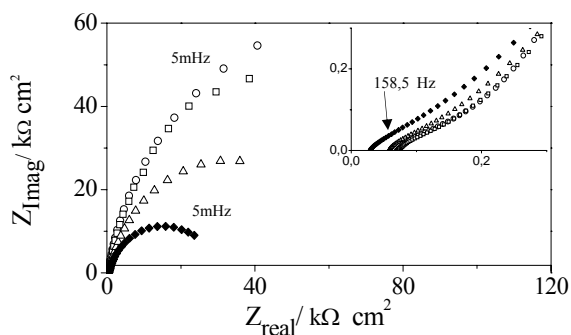


Figura 5. Diagrama de impedancia de acero galvanizado con recubrimiento vinílico/cemento luego de (o) 4, (□) 216, (Δ) 816, y (◆) 1440 h de inmersión.

Como se dijo anteriormente, el segundo arco a bajas frecuencias está asociado a procesos de corrosión bajo película. Puede observarse que el segundo arco en los diagramas de impedancia de la pintura vinílica sobre el sustrato de acero desnudo disminuye un poco conforme aumenta el tiempo de inmersión, mientras que sobre el sustrato de acero galvanizado dicha disminución es más acentuada, (ver Figuras 4-5). Esto indica la posible formación de productos de corrosión bajo película de bajas propiedades protectoras. Por otro lado, un comportamiento diferente se observa en las probetas

pintadas con recubrimiento acrílico, Figuras 6-7. En dichas probetas se observa un aumento del segundo arco capacitivo conforme aumenta el tiempo de inmersión, tanto en sustrato desnudo como en el galvanizado.

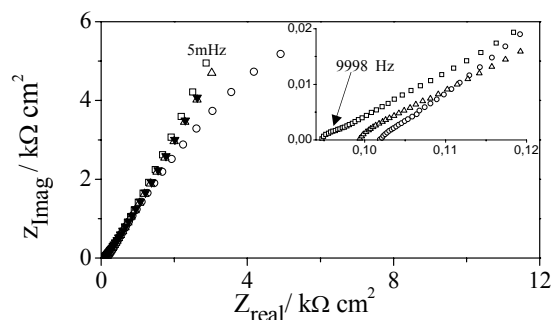


Figura 6. Diagrama de impedancia de acero al carbono con recubrimiento acrílico/cemento luego de (o) 4, (□) 216, (Δ) 816, y (◆) 1440 h de inmersión.

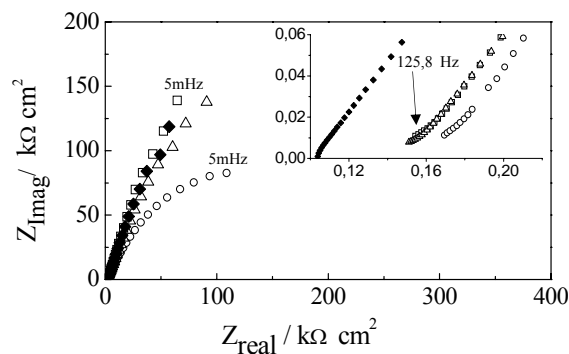


Figura 7. Diagrama de impedancia de acero galvanizado con recubrimiento acrílico/cemento luego de (o) 4, (□) 216, (Δ) 816, y (◆) 1440 h de inmersión.

Para analizar de manera más detallada las propiedades de los recubrimientos se realizó un cálculo de los valores de capacitancia y de resistencia de los recubrimientos y de los procesos corrosivos bajo película. Dicho cálculo se realizó mediante ajuste de los valores de impedancia teóricos dados por el circuito de la Figura 1. a los valores de impedancia experimentales. De esta manera fue posible obtener los valores de capacitancia de película o recubrimiento (C_p), resistencia de película o recubrimiento (R_p), capacitancia de doble capa eléctrica (C_{dl}) y de resistencia de transferencia de carga en los procesos de corrosión (R_t).

Con el objetivo de obtener un mejor ajuste de los

resultados, se utilizó el artificio de Elemento de Fase Constante (CPE) en relación a los elementos capacitivos (Cp) y (Cdl). La impedancia del CPE está definida como:

$$z(j\omega) = (C_0)^{-1}(j\omega)^{-n} \quad (1)$$

Donde j es la unidad de número imaginario, ω es la frecuencia angular, C_0 es la constante del CPE y n es la potencia del CPE con valores entre 0 y 1. Puede considerarse que cuando $n = 1$ el CPE es un capacitor puro. La desviación de n de la unidad da cuenta de la heterogeneidad de la superficie (Hu *et. al* [14]).

En la Figura 8. Se observan los diagramas experimentales (triángulo) y calculado (bolas) en sus formas de Nyquist y Bode para el acero galvanizado con recubrimiento acrílico/cemento luego de 4h de inmersión. Dada la proximidad entre el diagrama experimental y el calculado se considera un ajuste bastante bueno. Ajustes similares se lograron obtener para los demás recubrimientos y sustratos en los diferentes tiempos de ensayo. El coeficiente de correlación, obtenido en los ajustes siempre estuvo por encima del 97%.

Los valores de exponente n dados por el ajuste estuvieron entre 0,6 y 0,9, lo cual indica alta heterogeneidad de los recubrimientos (Hu *et. al* [14]). En las Figuras 9-10 se presentan la evolución de la capacitancia del CPE, y la resistencia de ambos recubrimientos sobre sustrato galvanizado. Se observa que la capacitancia de ambos recubrimientos aumenta conforme avanza el tiempo de inmersión. El incremento de la capacitancia con el tiempo de inmersión es un fenómeno clásicamente observado, dicho fenómeno es asociado a la penetración del agua al interior del recubrimiento (Deflorian *et.al* [13], Hu *et. al* [14]). Debido a que la constante dieléctrica relativa del agua ($\epsilon_w = 80,4$ a 20°C) es alta respecto a la de un polímero ($\epsilon_w \approx 3$) la penetración del agua al interior del recubrimiento es usualmente observada mediante el aumento de capacitancia y disminución de la resistencia. Por otro lado, los valores de capacitancia obtenidos son considerablemente superiores a los reportados en la literatura para pinturas base agua, los cuales suelen estar en el rango de los μF . (Spengler *et.al* [5], Deflorian *et.al* [13], Christophe *et.al* [15]). Todo ello indica una alta permeabilidad de los recubrimientos observada desde tempranas horas de inmersión y un rápido deterioro de la película formada. Cabe anotar que el

ensayo de inmersión total suele ser muy agresivo para recubrimientos base acuosa, siendo frecuentemente inoperante para este tipo pinturas (Spengler *et.al* [5]). Adicionalmente, al aumento de la capacitancia de los recubrimientos fue observada una caída importante de la resistencia durante las primeras 100 horas ensayo, para luego estabilizarse. La caída de la resistencia indica una pérdida de la capacidad barrera de los recubrimientos. No obstante la alta permeabilidad de los recubrimientos y la pérdida de la capacidad barrera de los mismos, se observa un comportamiento diferenciado entre ellos. Claramente puede verse como el aumento de la capacitancia y la disminución de la resistencia en el tiempo son más significativos en el recubrimiento vinílico que en el acrílico, por lo cual podría preverse mejor desempeño de este último.

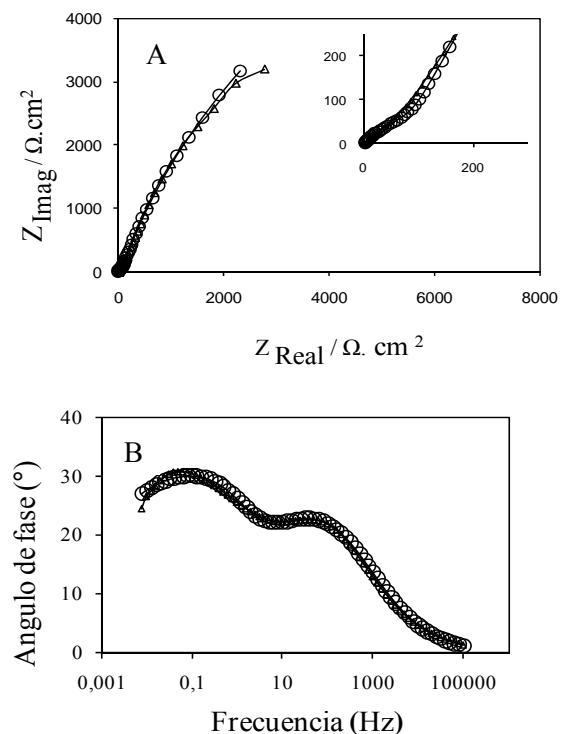


Figura 8. Ajuste de diagramas de impedancia (A) Nyquist, (B) Bode, para acero galvanizado con recubrimiento acrílico/cemento luego de 4h de inmersión (Δ) teórica, (\square) experimental.

En las Figuras 11-12 se presenta la evolución de la capacitancia de doble capa y la resistencia a la transferencia de carga de las probetas galvanizadas. El incremento de la capacitancia es menor en el recubrimiento acrílico con una atención a

estabilizarse alrededor de las 400 horas de prueba. La resistencia a la transferencia de carga presenta un incremento en las primeras horas de inmersión, solo el recubrimiento acrílico continúa con este incremento en el tiempo, mientras el recubrimiento vinílico muestra pequeñas caídas de resistencia hasta estabilizarse luego de las 400 horas de inmersión. Resultados similares fueron obtenidos en sustrato de acero desnudo. El aumento de la resistencia de transferencia de carga podría estar relacionado con la formación de herrumbres debajo del recubrimiento con cierta capacidad protectora.

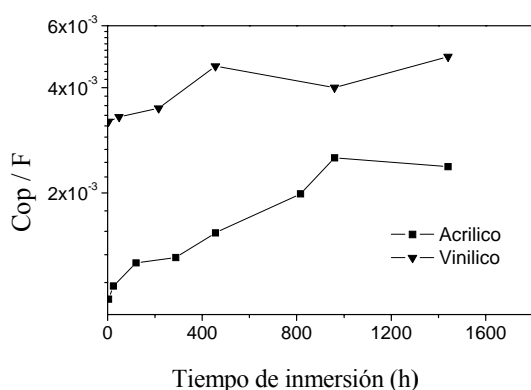


Figura 9. Evolución de la capacitancia de los recubrimientos sobre probetas galvanizadas durante el tiempo de prueba.

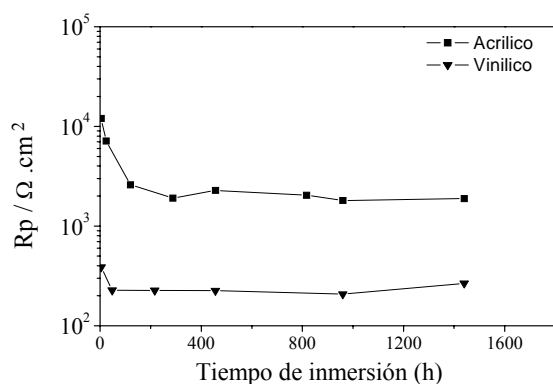


Figura 10. Evolución de la resistencia de los recubrimientos sobre probetas galvanizadas durante el tiempo de prueba.

El principal motivo por el cual se adicionó material cementicio como pigmento anticorrosivo a los recubrimientos base acuosa fue la de propiciar condiciones en las cuales, una vez el electrolito penetrase la película orgánica, pudiera originarse

herrumbres protectoras con características pasivas. Es sabido que a valores de pH superiores a 10 la corrosión de hierro genera herrumbres adherentes y estables que pasivan el metal y lo protegen de ulteriores ataques corrosivos (Poubaix M. [16]). La lixiviación del material cementicio desde el recubrimiento polimérico ocasiona un aumento significativo del pH local, generando condiciones propicias para la formación de herrumbres protectoras en el sustrato de acero. Algo similar ocurriría para el sustrato galvanizado, dado que el cinc presenta una región de pasivación en valores de pH entre 8 y 11. El aumento de la resistencia de transferencia de carga durante los procesos de corrosión bajo la película puede ser un indicio de la formación de productos de corrosión protectores. Esto último podrá ser corroborado posteriormente con la realización de pruebas en campo y la caracterización de herrumbres. Exposiciones en campo podrán ser conducidas en probetas expuestas en el suelo (enterradas), donde la lixiviación del material cementicio puede ocurrir lentamente.

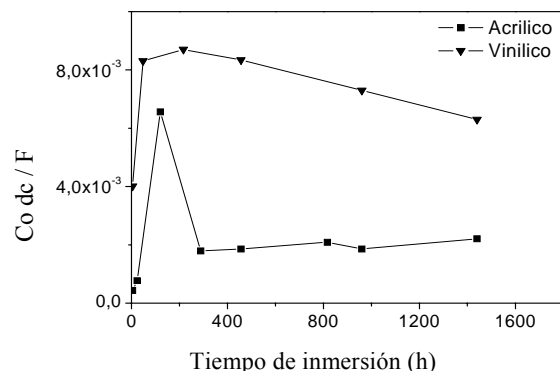


Figura 11. Evolución de la capacitancia de doble capa de las probetas galvanizadas durante el tiempo de prueba.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de esta evaluación muestran que el sistema polimérico anticorrosivo en emulsión acrílica/cemento presenta mejor desempeño que el vinílica/cemento.

Existe una correspondencia de los ensayos de impedancia electroquímica, cámara de niebla salina y adherencia.

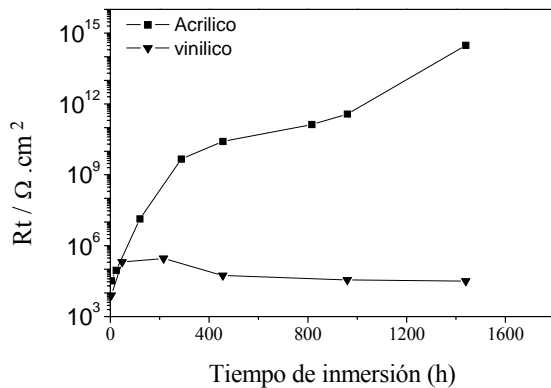


Figura 12. Evolución de la resistencia a la transferencia de carga de las probetas galvanizadas durante el tiempo de prueba.

El incremento de la capacitancia de recubrimiento en el tiempo es consecuencia de la alta permeabilidad característica de las emulsiones poliméricas evaluadas.

El aumento de R_t en el tiempo puede asociarse a una posible pasivación del sustrato como resultado de la lixiviación del cemento; ya que se obtiene aumento del pH en la solución de cloruro desde tempranas horas de inmersión.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Antioquia, Universidad de Medellín, COLCIENCIAS, Interconexión eléctrica S.A (ISA) proyecto (1115-06-17879) por el apoyo económico brindado Catalina Córdoba agradece a COLCIENCIAS e Interconexión eléctrica S.A (ISA) por el estímulo académico para adelantar estudios de maestría.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Outsuki N, Yodsudjai W, Lotz B, Nishida T. "Feasibility study on soil improvement using electrochemical technique". En: Construction and Building Materials, 2007, p. 1041-1051.
- [2] Feliu S, and Morcillo M, "Advances in Corrosion Protection by Organic Coatings". En: Cantlebury J, Kendig M (eds.), the Electrochemical Society, 1989, p. 280
- [3] Stratmann M, "Corrosion Stability of Polymer-Coated metals New Concepts Based of Fundamental Understanding" En: Corrosion NACE, National Association of Corrosion Engineers, Houston, Texas, 2005, p.1117-1128.
- [4] Morcillo M, Atmospheric Corrosion in Ibero-America Micat Project, Madrid (España): 2002, p. 341-410.
- [5] Spengler E, Fragata F, Margarit I, Mattos O, "Corrosion protection of low toxicity paints". En: progress in Organic Coatings, 1997, p. 51-57.
- [6] Lengyel B, Meszáros L, Meszáros G, Fekete E, "Electrochemical methods to determine the corrosion rate of a metal protected by a paint film". En: progress in Organic Coatings, 1999, p. 11-14.
- [7] Mansfeld F, Kendig M, Electrochemical Impedance Test for Protective Organic Coatings. En: Haynes G, Baboian R (eds.), ASTM STP 866, 1985.
- [8] Norma ASTM D 7396-08, Standard Guide for Preparation of New, Continuous Zinc-Coated (Galvanized) Steel Surfaces for Painting, Method G—Abrasive Blast Cleaning, Filadelfia (EE.UU.): American Society for Testing and Materials, 2003.
- [9] González J, López W, Rodríguez P, "Effects of Moisture Availability on Corrosion Kinetics of Steel Embedded in Concrete" En: Corrosion NACE, National Association of Corrosion Engineers, Houston, Texas, 1993, p.1004-1010.
- [10] Norma ASTM D 4541-02, *Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers, Test Method C—Self-Alignment Adhesion Tester Type III*, Filadelfia (EE.UU.): American Society for Testing and Materials, 2003.
- [11] Norma ASTM D 117-07a, *Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog)*, Filadelfia (EE.UU.): American Society for Testing and Materials, 2003.
- [12] Pérez C, Collazo A, Izquierdo M, Merino P, Novóa X, "Electrochemical impedance spectroscopy Study of the Corrosion Process on Coated Galvanized Steel in a Salt Spray Fog Chamber". En: Corrosion NACE, National Association of Corrosion Engineers, Houston, Texas, 2000, p.1220-1232.
- [13] Deflorian F, Fedrizzi L, Rossi S, Bonora P, "Organic coating capacitance measurement by EIS: ideal and actual trends". En: Electrochimica Acta, 1999, p. 4243-4249.

- [14] Hu J. M, Zhang J.Q, Cao C. N, “Determination of water uptake and diffusion of Cl⁻ ion in epoxy primer on aluminum alloys in NaCl solution by electrochemical impedance spectroscopy” En: Progress in Organic Coatings, 2003, p.273-279.
- [15] Christophe L, Colette L, Nadine P, “Characterization of water-based coatings by electrochemical impedance spectroscopy”. En: Progress in Organic Coatings, 2003, p. 77-83.
- [16] Pourbaix M. “Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions” NACE – CEBELCOR. National Association of Corrosion Engineers, Houston, Texas, 1974. p. 332.