

SÍNTESIS DE POLIMEROS ELECTRODUCTORES Y SU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES ANTICORROSIVAS DE PINTURAS ALQUIDÁLICAS

Ignacio García García^{1*}, Benjamín Valdez Salas², María Olga Concha Guzmán¹, Ana Rosa Carrillo Ávila¹, Leticia Lemus Cárdenas¹, Tito E. Herrera Larrasilla³

1) Universidad de Guadalajara, Centro Universitario del Norte, Colotlán, Jalisco, México.

2) Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería, Mexicali, Baja California, México.

3) Profesor investigador retirado, Guadalajara, Jalisco, México.

i.garcia@academicos.udg.mx

Recibido: Abril de 2024 Aceptado: Julio de 2024

RESUMEN

La corrosión del acero al carbono en zonas costeras tiene un alto costo que impacta de manera significativa a la economía de estos lugares. Los recubrimientos específicamente las pinturas brindan una buena protección al acero bajo estas condiciones, y para esto el desarrollo constante de nuevos polímeros ha sido fundamental. En el diseño de pinturas anticorrosivas se han empleado diversos aditivos inorgánicos como metales (algunos de ellos con potencial daño ambiental) y orgánicos como polímeros. El uso de polisiloxanos, copolímeros del ácido metacrílico, copolímeros del anhídrido maleico, N-vinil-pirrolidona y polianilinas, se han reportado como componentes de pinturas anticorrosivas. El objetivo del presente trabajo es obtener un polímero electroconductor que refuerce la acción protectora de recubrimientos del tipo alquídico.

Palabras clave: Pinturas anticorrosivas, corrosión de acero al carbono, polímero electroconductor, inhibidor de corrosión.

ABSTRACT

The corrosion of carbon steel in coastal areas has a high cost that significantly impacts the economy of these places. Coatings, specifically paints, provide good protection to steel under these conditions, and for this the constant development of new polymers has been essential. In the design of anticorrosive paints, various inorganic additives such as metals (some of them with potential environmental damage) and organic additives such as polymers have been used. The use of polysiloxanes, methacrylic acid copolymers, maleic anhydride copolymers, N-vinyl-pyrrolidone and polyanilines have been reported as components of anticorrosive paints. The objective of this work is to obtain an electroconductive polymer that reinforces the protective action of alkyd-type coatings.

Keywords: Anticorrosive paints, carbon steel corrosion, electroconductive polymer, corrosion inhibitor.

1. INTRODUCCIÓN

En medios ambientes costeros, la corrosión del acero al carbono es un reto importante para la ingeniería, dado que es aquí donde la velocidad del fenómeno se ve incrementada por las condiciones propias de estas zonas. La corrosión genera pérdidas por reposición de materiales de construcción y puede incluso involucrar las vidas humanas. A nivel mundial y con el fin de aminorar estas pérdidas, la iniciativa privada, centros de investigación y universidades se han dado a la tarea de desarrollar nuevas tecnologías encaminadas a reducir los efectos negativos de la corrosión en metales en diversos ambientes. En los Estados Unidos de América se considera que el costo derivado de la corrosión resulta en una pérdida de cerca del 3.1% del Producto Interno Bruto (PIB) [1]. Por lo que se han realizado diversas investigaciones orientadas al desarrollo de técnicas y productos que permitan su control.

El uso de ánodos de sacrificio y pinturas anticorrosivas está muy extendido para la protección de embarcaciones y se complementan la una con la otra [2]. En la protección catódica con ánodos de sacrificio se aprovecha la naturaleza electroquímica de metales como el aluminio, magnesio y zinc, ya que al ser más negativos que el acero en la serie galvánica convierten la superficie en un cátodo y de esta manera sacrifican su masa para así evitar la degradación del sustrato [3]. Las pinturas anticorrosivas brindan una barrera aislante contra el ataque del medio ambiente y en los últimos años se han venido desarrollado distintos tipos de aditivos orgánicos e inorgánicos que funcionan como inhibidores de la corrosión.

Las pinturas anticorrosivas presentan la desventaja de que los roces de las embarcaciones con el fondo del mar o una aplicación no uniforme, produce sitios en los cuales el metal se expone directamente al medio ambiente marino, lo que propicia el inicio del proceso corrosivo. Para evitar que esto, se han añadido partículas de metales menos nobles que el acero al carbono (aluminio y zinc), las cuales funcionan como ánodos de sacrificio y protegen la estructura polarizándola catódicamente [4].

El objetivo del proyecto es obtener un polímero electroconductor que refuerce la acción protectora de recubrimientos del tipo alquidático. Para esto se desarrollaron dos polímeros electroconductores con propiedades de inhibición de la corrosión. Los polímeros deben ser amigables con el medio ambiente marino y activo con el metal a proteger, de tal forma que la porosidad de la película aplicada (o rasgaduras que sufra al uso) sobre la superficie a proteger no sea un punto de inicio de alguna forma de corrosión.

En el desarrollo de pinturas anticorrosivas se han empleado diversos aditivos inorgánicos como metales (algunos de ellos con potencial daño ambiental) y orgánicos como polímeros. El uso de polisiloxanos, copolímeros del ácido metacrílico, copolímeros del anhídrido maleico, N-vinil-2-pirrolidina y polianilinas, entre otros polímeros inhibidores de la corrosión, se ha reportado en la literatura por diversos autores. En tales desarrollos se ha puesto énfasis en la síntesis de polímeros que no representen una amenaza ecológica para el medio ambiente, ni en su naturaleza química ni en su método de aplicación (es deseable no usar solventes dañinos como medio, o usar la menor proporción de estos), así como en la reactividad que tengan estos con el metal a proteger [5]. A continuación, presentamos una reseña de investigación realizadas en este campo.

Las pinturas anticorrosivas comerciales consisten en una resina generalmente alquidática y óxido de hierro (II) como aditivo para formar un esmalte. Estas pinturas se aplican como fondo de estructuras metálicas y no representan una garantía ante la embestida del medio ambiente, dado que fallas en la homogeneidad de la película aplicada pueden generar poros que expongan el metal al ambiente.

La patente EP-2-048-203-A1 de la Unión Europea del año 2007 [6], describe el desarrollo de una

capa tipo sándwich de polímero y polielectrolitos, que aíslan la superficie a proteger del medio ambiente agresivo.

En 1985 *MacDiarmid* [7] estudió el comportamiento de los polímeros electroconductores y propuso su utilización como resinas para combate a la corrosión.

En 2008, *Achary et. al.* [8] de la Universidad de Kavempu en India, reportaron la síntesis de un copolímero de anhídrido maleico y N-vinil-2-pirrolidina, para la protección de acero en ácido sulfúrico.

M.A. Quraishi et al. [9], reportan el desarrollo de un polímero de polianilina-formaldehído como un inhibidor efectivo de los procesos corrosivos en acero dulce.

Nakano et al. [10], diseñaron la síntesis de un copolímero de ácido metacrílico, para diversas aplicaciones, entre las cuales destaca la de inhibidor de corrosión.

Sudhish Kumar Shukla, et. al. [11] publicaron sus investigaciones en la síntesis de polímeros conductivos a partir de ácido poliantranílico.

N. Anderson, et. al. [12] reportan la síntesis y evaluación de propiedades anticorrosivas del Poli(bis-(dialquilamino) fenileno vinileno) en experimentos de inmersión en agua de mar sintética y pruebas de niebla salina.

H. Hammache, et. al. [13] en 2003 llevaron a cabo el estudio de la protección de acero al carbono por medio de poli-pirrol modificado con cobre por procesos de cementación.

I. Kamal, et. al. [14] en 2009 estudiaron las propiedades anticorrosivas de polímeros derivados de la poliurea.

Hun Jui MA, et. al. [15] publicaron sus estudios de las propiedades conductivas de las poli-alquil-vinil-cetonas después de reaccionar en soluciones dopantes.

Young Min Kim, et. al. [16] llevaron a cabo la síntesis de polímeros a partir de metil-vinil-cetona y evaluaron sus propiedades electroconductoras a partir del tratamiento con oxiclورو de fósforo.

J.L. Bredás, et. al. [17] estudiaron el comportamiento eléctrico y respuesta óptica de diversos polímeros electroconductores.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Reactivos y equipo. Los monómeros y reactivos empleados fueron de la marca *J.T.Backer*. Los espectros FTIR se determinaron en un equipo *Perkin-Elmer* modelo *Spectrum RX1*. Las pruebas electroquímicas se llevaron a cabo por medio de un potenciostato *Gamry Instruments* modelo *FAS-1 PC4*.

2.2 Técnicas experimentales.

2.2.1 Polimerización de metil-vinil-cetona (MVC). La polimerización de la metil-vinil-cetona (MVC) se realizó con un sistema de reflujo al aire y baño María para mantener la temperatura de los reactivos entre 50 y 60 °C. Preparando una solución de 35 mL de metil-etil-cetona (MEC) como solvente y 15 mL del monómero de MVC, siendo el iniciador 0.39 g de azo-bis-isobutironitrilo (AIBN), el polímero obtenido fue una solución de poli (metil-vinil-cetona) (PMVC). Una parte para aplicación directa de película y la otra para moler en mortero [18].

2.2.2 Copolimerización de acrilonitrilo y ácido-2-acrilamida-2-metilpropano-sulfónico. La copolimerización se llevó a cabo manteniendo una relación molar de comonómeros 1:4. Las masas agregadas al reactor de cada reactivo fueron: 25 g de ácido 2-acrilamida-2-metilpropano-sulfónico, 25 g de acrilonitrilo, 0.5 g de persulfato de amonio $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8]$, 1 g de bisulfito de sodio (NaHSO_3), 0.2 g de ácido sulfúrico (H_2SO_4) en 300 mL de agua. La reacción se mantuvo a temperatura ambiente durante dos horas, para posteriormente filtrar y secar.

2.2.3 Caracterización de los polímeros. La caracterización de los polímeros se llevó a cabo mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, usando una celda de sal. La masa molecular se determinó por medio de viscosimetría capilar manteniendo la temperatura en 30 ± 0.1 °C con un termostato *VWR* modelo *1120*. Las muestras se disolvieron en tetrahidrofurano (THF) a razón de 0.1 g en 10 mL de THF, corriendo en el viscosímetro para posteriormente agregar otros 5 mL de THF, volver a correr la prueba y repitiendo el proceso hasta completar un volumen de 3 mL adicionales de THF.

2.2.4 Dopado de poli (metil-vinil-cetona). El dopado de la poli (metil-vinil-cetona) (PVMC) se llevó a cabo de dos formas, la primera agregando 5 mL de cloruro de fosforilo (POCl_3) directamente sobre 5 mL de solución de PMVC obtenida directamente del proceso de polimerización, para posteriormente precipitar el polímero con 50 mL de metanol (CH_3OH) y la segunda aplicando la solución de PMVC sobre cuatro placas de acero A-36 colocadas en vasos de precipitados, dejándolas secar para aplicar el POCl_3 y dejando reaccionar por tres horas.

2.2.5 Dopado de poli (acrilonitrilo-co-ácido-2-acrilamida-2-metilpropano-sulfónico).

El dopado del poli (acrilonitrilo-co-ácido-2-acrilamida-2-metilpropano-sulfónico) se efectuó agregando 5 mL de POCl_3 en 50 mL de etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) a 0.5 g de sólido, manteniéndolo a reflujo a 50 °C durante tres horas en las cuales el polímero cambio a un color amarillo. En este punto se decidió mantener en reflujo a la misma temperatura hasta completar 24 horas, sin mayor cambio en la coloración. Posteriormente se colocó en un matraz Erlenmeyer y se dejó reposar durante treinta días en los cuales se obtuvo la coloración negra distintiva de los polímeros dopados.

2.2.6 Preparación de los especímenes de prueba. Se empleó placa acero al carbono A-36 de 4.75 mm de espesor, para las pruebas de resistencia a la corrosión en agua de mar de acuerdo con el método NACE-TM0104-2006, se cortaron rectángulos de 76 mm por 150 mm, y su superficie se limpió aplicando lo establecido en el estándar internacional ASTM G1-0365 “Standar Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens”. La limpieza de la superficie fue mecánica por medio de esmeril, decapando con ácido nítrico (HNO_3) 0.1 N y desengrasando con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N. Para las pruebas electroquímicas (resistencia a la polarización e impedancia electroquímica), los especímenes se cortaron en cuadros de 2.54 cm por 2.54 cm.

2.2.7 Aplicación de recubrimientos. La aplicación de recubrimientos se realizó imprimiendo una capa de primer alquidálico industrial color gris, a la cual se le agregó 1% de polímero molido como pigmento (de acuerdo con la tabla 1) y posteriormente una de acabado alquidálico industrial color blanco. Las muestras se pintaron por triplicado. Como referencia se emplearon placas de acero al carbono A-36 sin recubrimiento y recubiertas con dos capas de epóxico para inmersión comercial de dos componentes color beige. La aplicación de cada recubrimiento se realizó con brocha por duplicado, en los especímenes de prueba para evaluación de resistencia a la corrosión bajo condiciones de inmersión, y por triplicado las destinadas a ensayos electroquímicos.

Tabla 1. Relación de especímenes para pruebas de inmersión y electroquímicas.

Muestra	Primer	Acabado
1	Alquidálico	Alquidálico
2	Epóxico	Epóxico
3	PMVC	PMVC
4	PMVC	Alquidálico
5	Alquidálico + 1% PMVC	Alquidálico
6	Alquidálico + 1% Poli (acrilonitrilo-co-ácido-2-acrilamida-2-metilpropano-sulfónico)	Alquidálico

2.2.8 Pruebas de inmersión en agua de mar. Estas se llevaron a cabo de acuerdo a la sección 8 del estándar NACE-TM-0104-2004 “Offshore Platform Ballast Water Tank Coating System Evaluation”, el cual establece que cada uno de los especímenes de prueba deberá permanecer un periodo de 12 semanas inmersos en agua de mar sintética preparada de acuerdo a ASTM-D-1141-9867 “Standar Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water”.

2.2.9 Pruebas electroquímicas. Las muestras de recubrimientos sobre acero al carbono A-36 se llevaron a cabo en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, mediante una celda convencional de tres electrodos (la placa recubierta a probar como electrodo de trabajo, plata cloruro de plata como referencia Ag/AgCl y grafito de alta densidad como electrodo auxiliar).

2.2.10 Impedancia electroquímica. Las pruebas de impedancia electroquímica se llevaron a cabo mediante un potenciostato Gamry Instruments modelo FAS-1 PC4, empleado en un rango de frecuencia de 100,000 Hz hasta 0.01 Hz. La solución salina empleada como electrolito fue 0.5 M en cloruro de sodio (NaCl).

2.2.11 Resistencia a la polarización. Las pruebas de resistencia a la polarización se llevaron a cabo mediante un potenciostato Gamry Instruments modelo FAS-1 PC4. La solución salina empleada como electrolito fue 0.5 M NaCl.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización de polímeros electroconductores.

3.1.1 Caracterización de poli (metil-vinil-cetona). En la figura 1 se muestran la comparación entre la poli-metil-vinilcetona antes y después de dopar con POCl_3 . La formación de los dobles enlaces alternados se aprecia en el pico a 1714.37 cm^{-1} en el espectro inferior, el cual corrobora la presencia de un polímero electroconductor.

De las pruebas de viscosimetría se obtuvieron los datos plasmados en la tabla 1, por medio de los cuales se calculó el promedio de los tiempos, la viscosidad relativa, la viscosidad específica, la concentración y la viscosidad específica sobre la concentración siguiendo las siguientes ecuaciones:

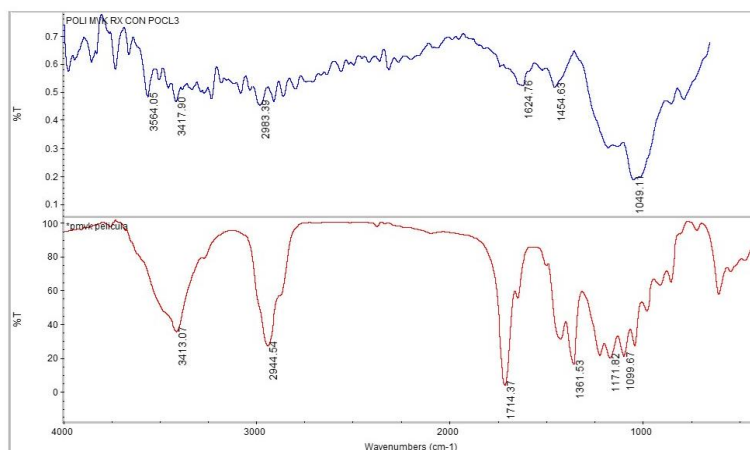


Figura 1. Espectro FTIR de poli-metil-vinil-cetona antes y después del dopado con POCL3.

Tabla 2. Tiempos de recorrido entre las marcas del viscosímetro Ostwald para las soluciones de PMVC en THF.

Solvente, mL	Muestra, mL	t_1 , s	t_2 , s	t_3 , s
5.0	0.0	9.80	9.67	9.81
5.0	0.5	10.51	10.62	10.51
5.0	1.0	11.17	11.18	11.35
5.0	1.5	11.82	11.87	11.88
5.0	2.0	12.68	12.61	12.56
5.0	2.5	13.22	13.13	13.25
5.0	3.0	14.00	13.94	14.00

$$P = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} \quad (1)$$

$$\eta_r = \frac{P_1}{t_0} \quad (2)$$

$$\eta_{sp} = \eta_r - 1 \quad (3)$$

donde:

t_n = tiempo n, s

t_0 = tiempo promedio del solvente, s

P = tiempo promedio de la solución, s

η_r = viscosidad relativa

η_{sp} = viscosidad específica

Los datos mostrados en la tabla 3 se emplearon para crear la gráfica de viscosidad específica contra concentración que se muestra en la figura 2.

Tabla 3. Cálculo de viscosidades para PMVC.

Tiempo promedio, s	η_r , (mL/g)	η_{sp} , (mL/g)	C, (g/mL)	η_{sp}/C
9.760	1.00	0.00	0.0000	0.00
10.546	1.08	0.80	0.0009	85.25
11.230	1.15	0.15	0.0017	87.09
11.856	1.21	0.21	0.0022	95.45
12.616	1.29	0.29	0.0029	98.50
13.200	1.35	0.35	0.0034	101.67
13.940	1.43	0.43	0.0039	110.86

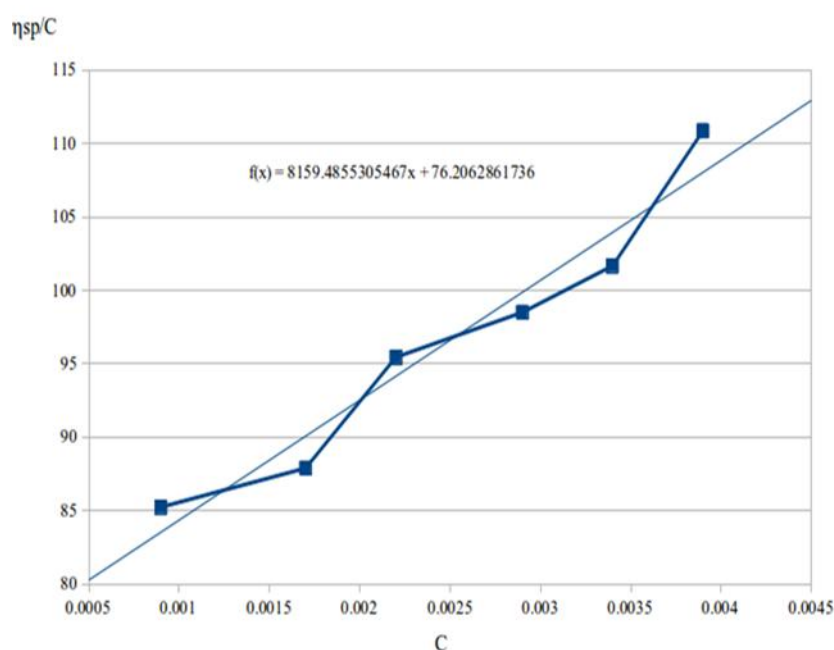


Figura 2. Gráfica η_{sp}/C para la PMVC.

Los datos obtenidos en la prueba de viscosimetría se buscó determinar el peso molecular de la PMVC, sin embargo, por falta de datos de las constantes de Mark Houwing esto no fue posible, pero se calculó la viscosidad intrínseca con la que se puede dar una idea de este valor. La viscosidad intrínseca de la PMVC fue de 76.206 mL/g, este resultado se obtuvo por la ecuación de regresión, suponiendo que el valor de la concentración es cero (intersección eje “y”).

3.1.2 Caracterización de poli (acrilonitrilo-co-ácido-2-acrilamida-2-metil-propano-sulfónico). En la figura 3 se observan los espectros FTIR de las cuatro diferentes copolimerizaciones de acrilonitrilo (AN) y acrilonitrilo-2-acrilamida-2-ácido-metilpropano-sulfónico.

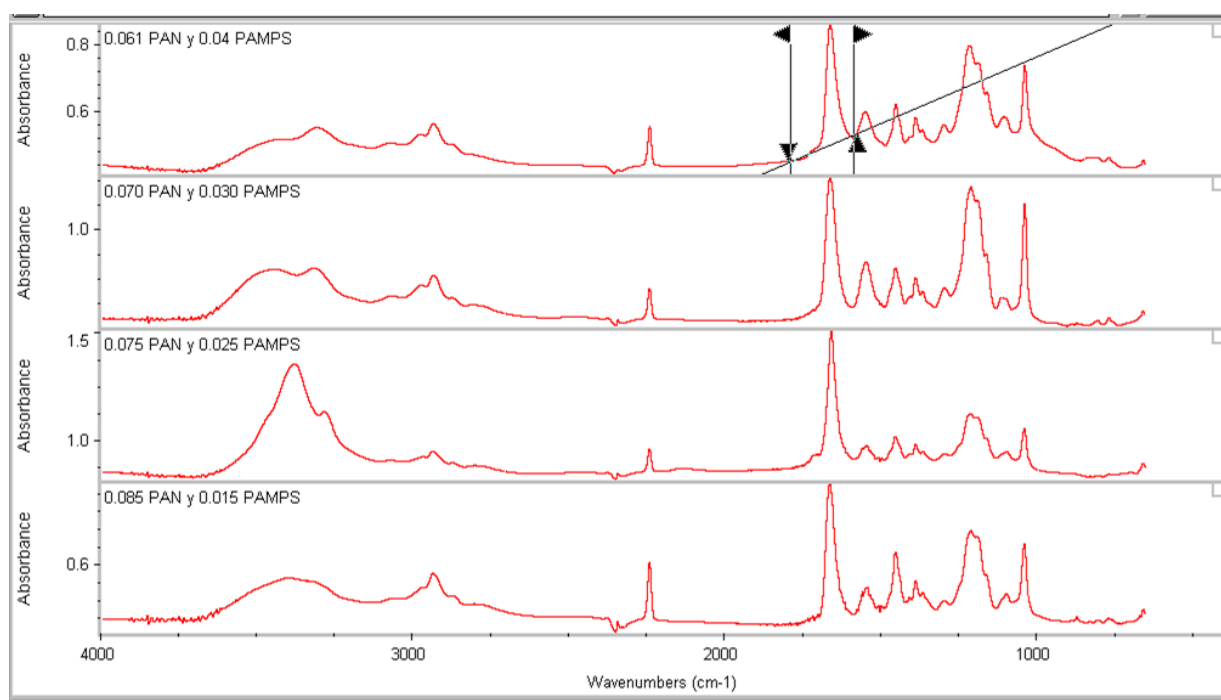


Figura 3. Espectros FTIR de mezclas de Poliacrilonitrilo (PAN) y Poli (acrilonitrilo-co-ácido-2-acrilamida-2metoilpropano-sulfónico) (PAMPS), para la obtención de la composición del copolímero.

3.2 Evaluación de la resistencia a la corrosión en inmersión de agua de mar. Se probó la resistencia a la inmersión en agua de mar (NACE-TM0104) de placas recubiertas con dos capas de recubrimiento alquidático industrial y epóxico de dos componentes para inmersión en agua de mar (muestras 1 y 2 de la tabla 1).

En la figura 4 a) se presenta una microfotografía 20X de la superficie recubiertas con epóxico después de las doce semanas de prueba, en ella se aprecia una superficie libre de ampollas (blisters), porosidades o irregularidades en la película. Este resultado era esperado de acuerdo con la naturaleza del recubrimiento, el cual es ampliamente usado para la protección de superficies que se mantienen en inmersión, como cascos de barcos y tanques de lastre.

En la figura 4 b) se pueden observar en la microfotografía 20X correspondiente al recubrimiento alquidático industrial, fallas en la película como poros y fracturas, los cuales exponen el sustrato al medio ambiente corrosivo, han iniciado procesos de degradación. Lo anterior se debe fundamentalmente a la naturaleza de esta pintura la cual es para uso en exteriores y no bajo condiciones de inmersión en agua salada.

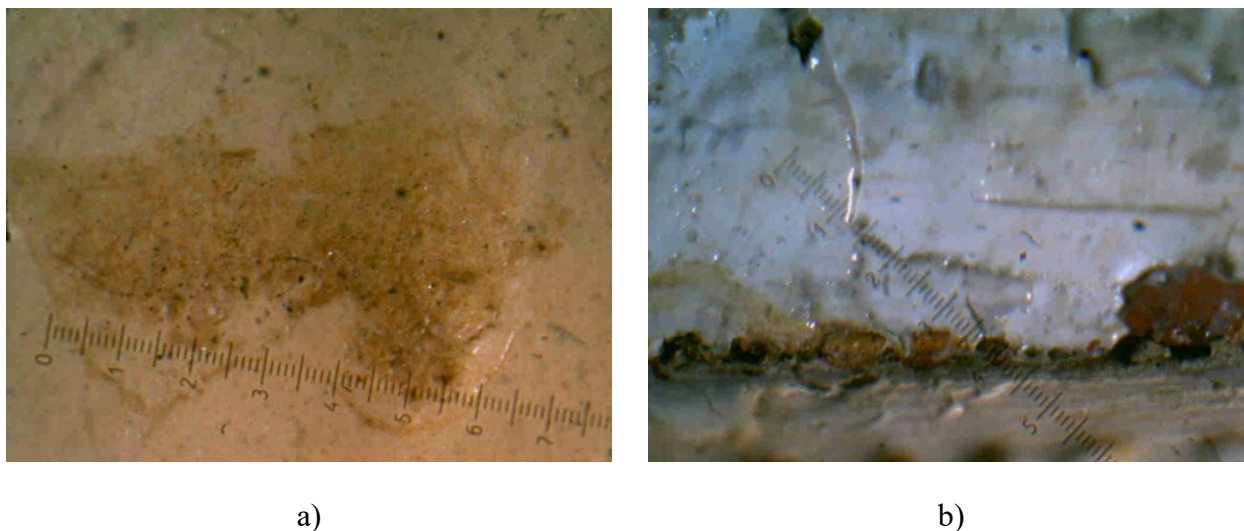


Figura 4. Placas de acero al carbono A-36 recubiertas con a) dos capas de recubrimiento epóxico para inmersión en agua de mar y b) dos capas de alquidálico industrial.

3.2.1 Resistencia a la inmersión de películas de poli (metil-vinil-cetona). En la figura 5 se presentan placas de acero al carbono A-36 con la aplicación y dopado en su superficie de PMVC después de los doce días de inmersión en agua de mar sintética. Las películas resultantes mostraron irregularidad en su espesor y diversas fracturas sobre su superficie.

En la figura 6 se presentan placas de acero al carbono A-36 con 1 aplicación y dopado de PMVC, y con la aplicación de acabado alquidálico. Se pueden observar ampollas sobre la superficie.

3.2.2 Resistencia a la inmersión de poli (acrilonitrilo-co-2-acrilamida-2-ácido-metilpropano-sulfónico). En la figura 7 se presentan placas de acero al carbono A-36 recubiertas con esmalte alquidálico más 1% de poli (acrilonitrilo-co-2-acrilamid-2-ácido-metilpropano sulfónico) como primer y como acabado una capa más de alquidálico, en ellas se aprecian poros y fracturas de la película de recubrimiento que exponen el sustrato. Estas fallas iniciaron procesos corrosivos.

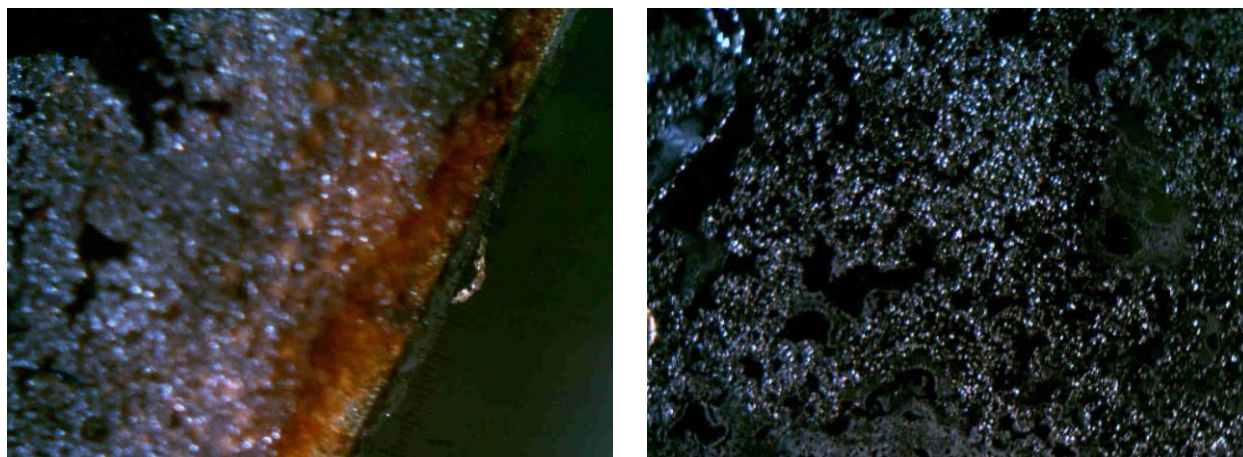


Figura 5. Placas de acero al carbono recubiertas de PMVC dopada sobre placas de acero al carbono.

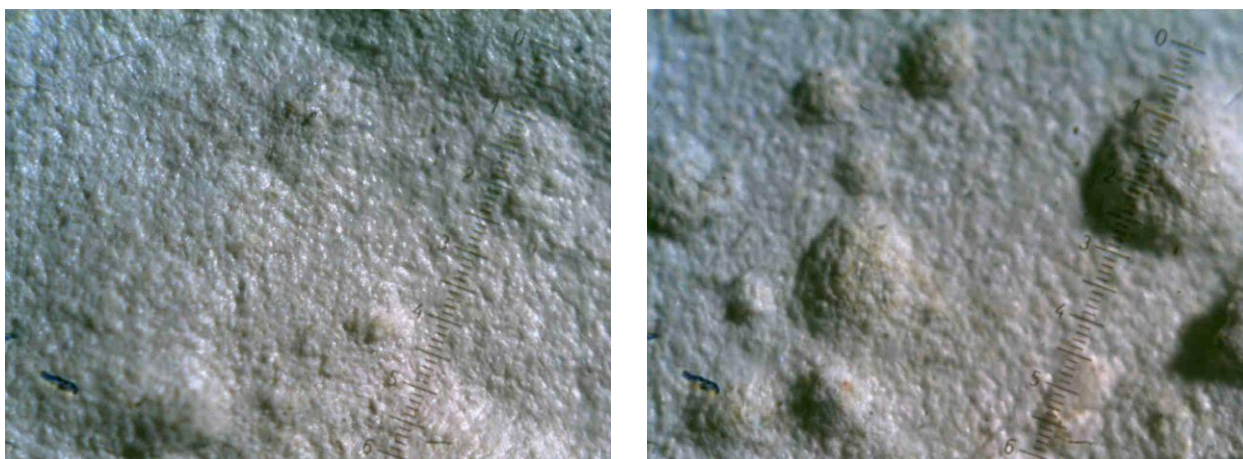


Figura 6. Placas de acero al carbono recubiertas de PMVC dopada como primer y esmalte alquídico como acabado

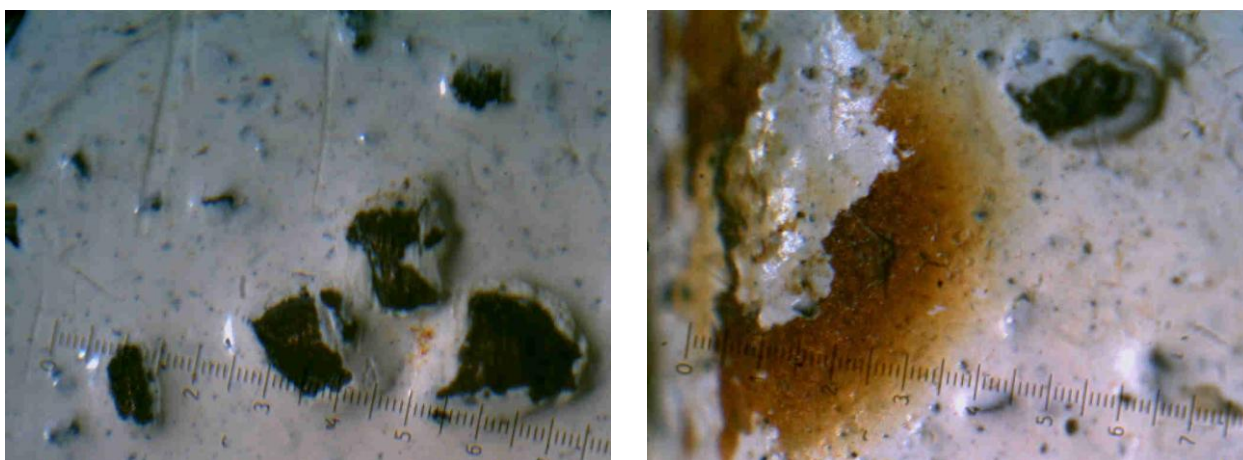


Figura 7. Placas de acero al carbono recubiertas con pintura alquídica más 1% de PAMPS como primer y alquídico como acabado.

3.2.3 Comparativo. En la tabla 4 se presenta el comparativo entre las pérdidas de masa de las muestras de placa de acero al carbono recubiertas de acuerdo con la tabla 1. Las muestras 1 corresponden a placas de acero al carbono A-36 recubiertas con un sistema de alquidático como primer y acabado y son referencias para la comparación. La muestra 2 correspondiente a recubrimiento epóxico de dos componentes, es la que presentó mejor resistencia a la inmersión. De las pruebas de polímeros electroconductores, las muestras recubiertas con PMVC (muestras 3) dopada sobre la superficie son las que tuvieron la menor pérdida de masa después de doce semanas de inmersión, superando a las recubiertas con una placa de alquidático como acabado (muestras 4) y 1% de PMVC como aditivo de la pintura alquidática (muestras 5). Las muestras de poli (acrilonitrilo-co-2-ácridamida-2-ácido-propanosulfónico) (muestras 6), mostraron solo una ligera mejoría en la protección del acero al carbono respecto a las placas recubiertas con recubrimiento alquidático como primer y acabado (muestras 1).

Tabla 4. Pérdidas de masa en las placas sometidas al método de prueba NACE-TM0104.

Muestras	Pérdida de masa, g	Pérdida de masa, %
1	0.3357	0.0790
2	0.0012	0.0003
3	0.1233	0.0285
4	0.1998	0.0471
5	0.4466	0.1049
6	0.2338	0.0552

3.3 Evaluación electroquímica.

3.3.1 Impedancia electroquímica. En la tabla 5 se presentan las muestras sobre las cuales se llevaron a cabo las pruebas de impedancia electroquímica. Las pruebas se llevaron a cabo bajo un rango de frecuencia de 100,000 a 0.1 Hz en una solución de NaCl 0.5 M.

Tabla 5. Muestras para pruebas de impedancia electroquímica.

Muestra	Primer	Acabado
1	Alquidático	Alquidático
3	PMVC	PMVC
4	PMVC	Alquidático
5	Alquidático + 1% PMVC	Alquidático
6	Alquidático + 1% Poli (acrilonitrilo-co-ácido-2-acridamida-2-metilpropano-sulfónico)	Alquidático

Los resultados de las pruebas de impedancia se muestran en las figuras 8, 9, 10, 11 y 12.

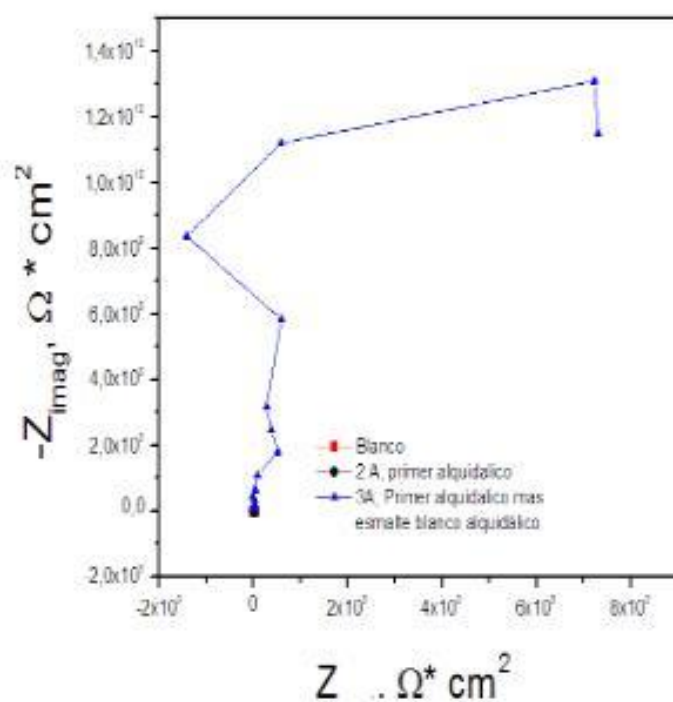


Figura 8. Diagrama de Nyquist para la muestra 1.

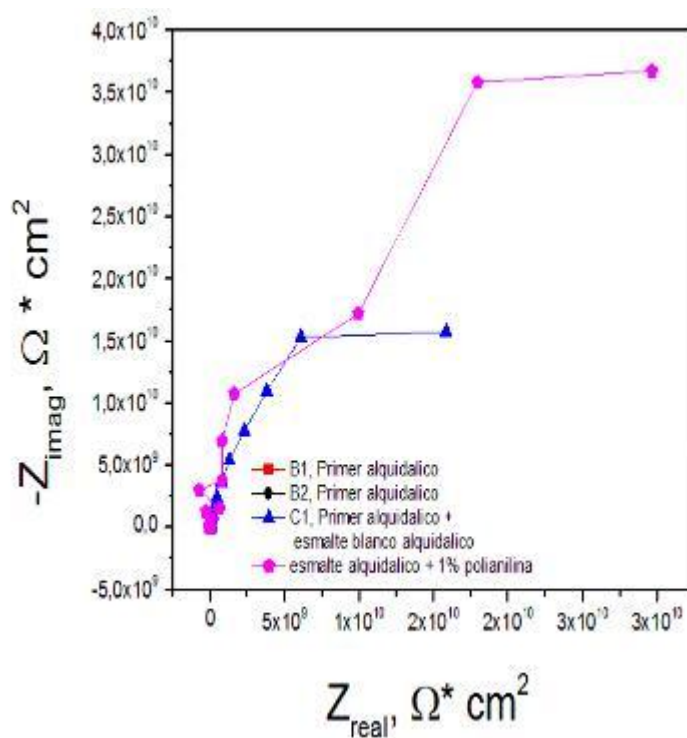


Figura 9. Diagrama de Nyquist para la muestra 3.

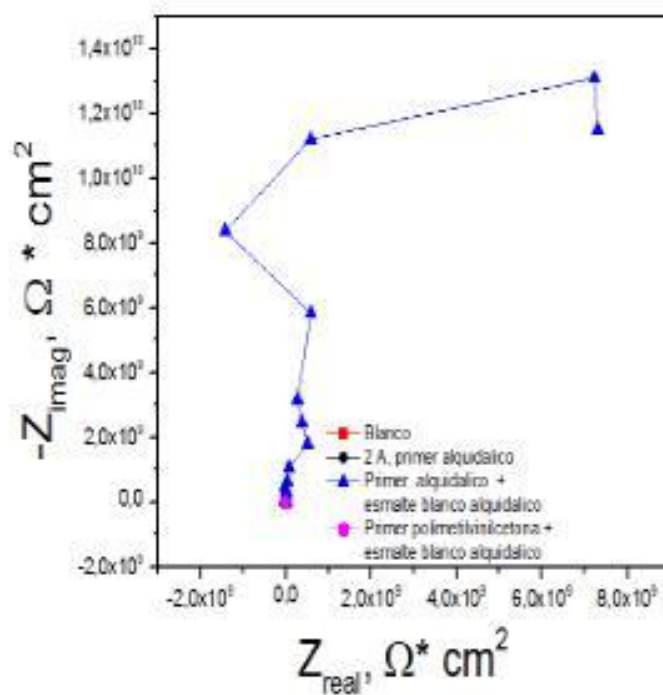


Figura 10. Diagrama de Nyquist para la muestra 4.

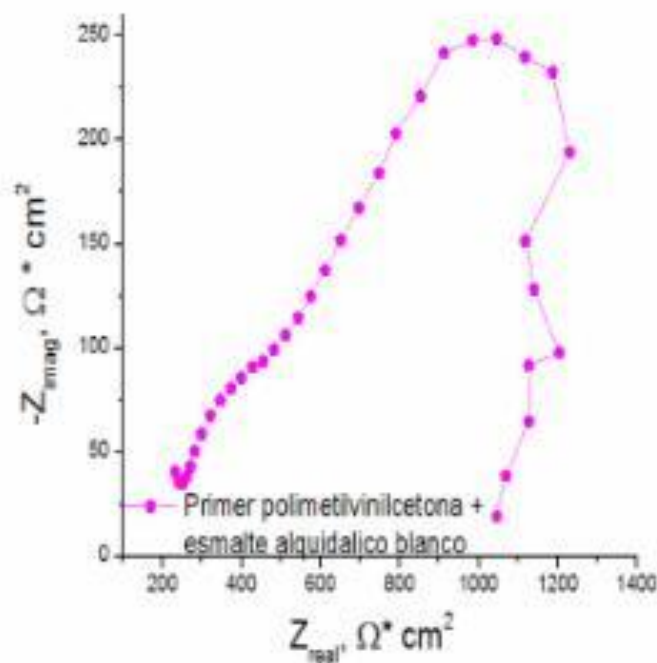


Figura 11. Diagrama de Nyquist para la muestra 5.

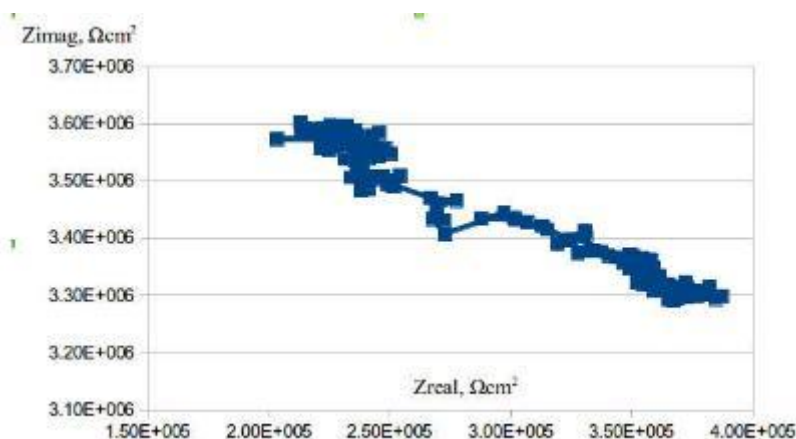


Figura 12. Diagrama de Nyquist para la muestra 6.

4. Conclusiones.

Las técnicas de polimerización para la obtención de poli metil-vinil-cetona y poli (acrilonitrilo-co-2-ácido-2-acrilamina-propanosulfónico), fueron desarrolladas con éxito, obteniéndose productos con rendimientos mayores al 60%. Las técnicas de dopado para los polímeros poli metil-vinil-cetona y poli (acrilonitrilo-co-2-ácido-2-acrilamina-propanosulfónico) mediante cloruro de fosforilo, arrojaron como resultado polímeros electroconductores de dobles enlaces alternados, de acuerdo con los espectros FTIR.

De acuerdo con los resultados obtenidos para las pruebas en base al estándar NACE-TM0104 las muestras de acero al carbono A-36 recubierto con poli metil-vinil-cetona dopada sobre la película, fueron las que ofrecieron mejores resultados para la inmersión en agua de mar sintética, seguidas de la polianilina usada como aditivo al 1% en un fondo alquidático. Las muestras de polianilina 1% como aditivo de fondo alquidático y las correspondientes de poli metil-vinil-cetona, mostraron actividad electroconductora de acuerdo con los diagramas de Nyquist. Las películas de poli metil-vinil-cetona funcionan de manera adecuada para la protección de acero al carbono. Sin embargo, a este polímero es necesario aumentar su resistencia a la fractura.

5. Bibliografía

- [1] NACE International. (2010) Corrosion cost and preventive strategies in the United States. Publication No. FHWA-RD-01-156. NACE.
- [2] Schweitzer, P. (2006). Paint and coatings, Applications and corrosion control. Taylor and Francis.
- [3] Beackmann W.V., Schwenk, W., Prinz, W. (1997) Handbook of cathodic corrosion protection. Third edition, Gulf Professional Publishing, 1997.
- [4] Revie W., Uhling H. (2008). Corrosion and corrosion control, An introduction to corrosion science

and engineering. Fourth edition. Wiley Interscience.

- [5] Zarras, P., Stenger-Smith, J.D. (2003). Electroactive polymers for corrosion control. ACS Symposium Series 843.
- [6] Andreeva, D, Shchukin, D., Möhwald, H. (2007). Corrosion inhibiting coating of metal surfaces comprising a sandwich-like inhibitor complex- European patent application # EP-2-048-203-A1.
- [7] MacDiarmid, A.G., Epstein, A.J. (1993). Conducting polymers: Past, present and future. MRS Online Proceedings Library, 328, 133-144.
- [8] Achary, G. Naik, A. (2008). An electroactive co-polymer as corrosion inhibitor for steel in sulphuric acid medium. Applied Surface Science. 254, 2269-2273.
- [9] Quraishi, M.A., Shukla, S.K. (2007). Poly(aniline-formaldehyde): A new and effective corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid. Materials Chemistry and Physics, 113, 685-689.
- [10] Nakano, M., Nagamuchi, S., Fukujara, K. (2008). Meta(Acrylic) acid copolymer, method for producing the same, and application thereof. US-Patent: 2009/0082535 A1.
- [11] Shukla, S.K., Quraishi, M.A., Prakash, R. (2008). "A self-doped conducting polymer polyanthranilic acid": An efficient corrosion inhibitor for mild steel in acidic solution" Corrosion Science, 50, 2867-2872.
- [12] Abderson, N., Irvin, D.J., Webber, C., Stenger-Smith, J.D., Zarras, P., (2006). Synthesis of Poly(bis-(dialkylamine)felylen-Vinilen) as corrosion inhibitor. Polym. Mater., Sci. Eng. 86, 6.
- [13] Hammache, H., Makhloufi, L., Saidani, B., Corrosion protection of iron by polypyrrole modified by copper using the cementation process. Corrosion Science, 45 (2005) 2031–2042.
- [14] Kamal, Y., Abbady, S.A., Mahgoub, Hussein, M.A., (2009). Synthesis, characterization, and corrosion inhibition behavior of new polyurea derivatives based on diaryl-ether in the polymers backbone", Applied Polymer, 112 (2), 620 – 628.
- [15] Ma, J. H., Tauber, J.D., Ramelow, Ü. S. (1997). Electrical conductivities of (Poly Alkyl Vinyl Ketones) reacted with dopant solutions. Jornal of Chemistry, 21, 313 – 316.
- [16] Kim, Y.M., Ha, C. S., Cho, S. J., Park, D. K., Cho, W. J. (1992). Synthesis of precursor polymers containing Methyl Vinyl Ketone and their electrical conductivities on being treated with phosphorous oxychloride. Polymer (Korea), Vol. 16, No. 5, 563 – 569.
- [17] Bredás, J.L., Marder, S.R., Salaneck, (2002). W.R. Electric behavior and optic response of conductive polymers. Macromolecules, 35(4), 1.
- [18] Herrera, T. E. (1982). Electroconductividad de Polímeros Derivados de Poli-Metil-Vinil-Cetona y Selección de un Método para polimerización de su Monómero, Guadalajara, Jalisco, Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Guadalajara.