



Uso de poliestireno expandido reciclado para la obtención de un recubrimiento anticorrosivo*

Pedro Meza Castellar**, Candelaria Tejada Tovar***,
Ismael Benítez Contreras****, Jorge Vélez Díaz*****, Angel Villabona Ortiz*****

*Use of recycled expanded polystyrene to
obtain an ant-corrosive coating*

*Uso de poliestireno expandido reciclado para a
obtenção de um recobrimento anticorrosivo*

RESUMEN

Introducción. El uso de solventes orgánicos como materia prima en la fabricación de diversos recubrimientos aplicados para la prevención y control de la corrosión en las diferentes industrias, y las grandes cantidades de poliestireno expandido que se desechan después de ser utilizadas han generado gran controversia al nivel mundial debido a los efectos nocivos que tienen sobre la salud humana y el medio ambiente. **Objetivo.** Por tanto, se plantea el uso de

poliestireno expandido reciclado utilizando limoneno como solvente para su uso como anticorrosivo. **Materiales y métodos.** Se desarrollaron diferentes formulaciones que se obtuvieron en función de diferentes cantidades de poliestireno expandido reciclado, limoneno, dióxido de titanio y óxido de zinc, utilizando una cantidad constante de octoato de cobalto como aditivo. Al término de la preparación de cada formulación se procedió a evaluar el potencial anticorrosivo del recubrimiento sobre placas metálicas de acero al carbono mediante un ensayo

* Artículo derivado del proyecto de investigación titulado "Obtención de un recubrimiento anticorrosivo a partir de poliestireno expandido reciclado", desarrollado en la Universidad de Cartagena en el año 2013. ** Ingeniero Químico, magister en Ingeniería Ambiental. Docente de la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco. *** Ingeniera Química, magister en Educación, magister en Ingeniería Ambiental, Profesor asociado, Programa de Ingeniería Química de la Universidad de Cartagena. **** Ingeniero Químico, egresado del programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena. ***** Ingeniero Químico, egresado del programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena. ***** Ingeniero químico, magister en Ingeniería Ambiental. Docente del programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena. E-mail: avillabona@unicartagena.edu.co

de cámara de niebla salina. **Resultado.** Al comparar el recubrimiento obtenido con un recubrimiento comercial en cuanto a su eficiencia y capacidad para la prevención y control de la corrosión, se pudo concluir que el recubrimiento desarrollado en este proyecto solo presentó un 10 % de superficie corroída, frente al 50 % de superficie corroída de la probeta pintada con el recubrimiento comercial. **Conclusión.** Se

obtuvieron buenos resultados en las propiedades anticorrosivas de las distintas formulaciones del recubrimiento haciendo posible su uso como recubrimiento anticorrosivo.

Palabras clave: corrosión, limoneno, poliestireno expandido, recubrimiento.

ABSTRACT

Introduction. The use of organic solvents as raw material for diverse coatings applied in the prevention and control of corrosion in several industries and the high quantities of expanded polystyrene to be disposed after being used have generated a great controversy worldwide, as they have harmful effects on human health and on the environment. **Objective.** This study proposes the use of recycled expanded polystyrene, with limonene as a solvent, for its use as anti-corrosive. **Materials and methods.** Different formulas were developed, after being obtained corresponding to different quantities of recycled expanded polystyrene, limonene, titanium dioxide and zinc oxide, using a constant quantity of cobalt octoate as an additive.

After preparing each formulation the anti-corrosive potential of the coating on carbon iron metal plates was assessed, by means of a salt spray chamber test. **Result.** By comparing the coating obtained with a commercial coating, in terms of efficiency and capacity to prevent and control corrosion, the conclusion is that the coating developed in this project only had a 10 % of its surface corroded, while the coating painted with the commercial coating had 50 % of its surface corroded. **Conclusion.** Good results in the anti-corrosion properties of the different coating formulations were obtained, thus making possible their use as anti-corrosive coating.

Key words: corrosion, limonene, expanded polystyrene, coating.

RESUMO

Introdução. O uso de solventes orgânicos como matéria prima na fabricação de diversos recobrimentos aplicados para a prevenção e controle da corrosão nas diferentes indústrias, e as grandes quantidades de poliestireno expandido que se descarta depois de ser utilizadas gera grande controvérsia à nível mundial devido aos efeitos nocivos que tem sobre a saúde humana e o meio ambiente. **Objetivo.** Por tanto, no presente estudo se plantea o uso de poliestireno expandido reciclado utilizando limoneno como solvente para seu uso como anticorrosivo. **Materiais e métodos.** Se desenvolveram diferentes formulações que se obtiveram em função de diferentes quantidades de poliestireno expandido reciclado, limoneno, dióxido de titânio e óxido de zinco, utilizando uma quantidade constante de octoato

de cobalto como aditivo. Ao término da preparação de cada formulação se procedeu a avaliar o potencial anticorrosivo do recobrimento sobre placas metálicas de aço ao carbono mediante um ensaio de câmara de nuvens de Wilson. **Resultado.** Ao comparar o recobrimento obtido com um recobrimento comercial enquanto a sua eficiência e capacidade para a prevenção e controle da corrosão, se pode concluir que o recobrimento desenvolvido neste projeto só apresentou um 10 % de superfície corroída, frente a 50 % de superfície corroída da proveta pintada com o recobrimento comercial. **Conclusão.** Se obtiveram bons resultados nas propriedades anticorrosivas das diferentes formulações do recobrimento fazendo possível seu uso como recobrimento anticorrosivo.

Palavras chave: corrosão, limoneno, poliestireno expandido, recobrimento.

INTRODUCCIÓN

Los problemas generados por la corrosión son frecuentes en muchas actividades, tales como las industrias química, petrolera, petroquímica, naval, automovilística, de construcción civil, edificaciones, vías, puentes, plataformas marinas, tuberías y represas, entre otras (Roa, Aperador, y Delgado, 2015; Gudze y Melchers, 2008; Vashi y Kadiya, 2009). Por esta razón, la economía se ve afectada por enormes costos a causa de la corrosión y se estima que corresponden del 2 al 4 % del producto interno bruto de un país industrializado (Huu, 2004; Ahmad, 2006). Los sectores que más exponen sus activos a la corrosión son: el químico, con 27.53 %, seguido por el metalmecánico, con 22,89 % y por último, el sector de servicios públicos, con un 3,54 %; siendo los sectores de transporte, servicios públicos y metalmecánicos los que más invierten de sus ingresos para el control de la corrosión; 3.43 %, 0.25 % y 0.2 % respectivamente (Tafur, 2016). Una de las técnicas más utilizadas para el control y prevención de la corrosión es el uso de recubrimientos (Roberge, 2000; NACE International, 2002; Schweitzer, 2007; Uhlig, 2008).

El reciclaje y aprovechamiento de los residuos plásticos y materiales sintéticos en el ámbito mundial se ha convertido en una gran tendencia en materia de investigación (Subramanian, 2000; Arvanitoyannis, 2001; Kim, 2002). Es así como Ramírez (2015) desarrolló y caracterizó recubrimientos poliméricos a base de materiales reciclados depositados sobre sustratos metálicos; los polímeros reciclados que se utilizaron fueron el ABS, LDPE y UHMWPE, y los sustratos metálicos fueron el acero estructural AISI 1020 y el aluminio AISI 436 tipo 2. Entre los polímeros que poseen una gran demanda en el mundo se encuentra el poliestireno expandido (EPS) (Aarnio, 2008; Arvanitoyannis, 2008), más conocido en nuestro país como Icopor. Se han adelantado investigaciones (Hattori, 2010; Shikata, 2011; Song, 2010; Suyama, 2010)

encaminadas a su reciclaje y aprovechamiento para la obtención de resinas utilizadas como materia prima en el reproceso de estas.

Entre las materias primas amigables con el medio ambiente, se pueden mencionar muchas de origen natural, que han tenido una gran utilidad en diferentes campos de la industria química, tales como el limoneno, el cual es un solvente natural extraído de forma comercial de cáscara de cítricos como las naranjas; debido a su baja toxicidad en humanos, el limoneno es una alternativa que se utilizan hoy en día en la formulación de los recubrimientos; asimismo, el aceite esencial de lavanda (*Lavandula Dentata*) y de pistacho, de *Ptychotis verticillata* (El Ouadi, Bouyanzer, Majidi, Elmsellem, Cherrak, Elyoussfi y Costa, 2015; Salghi, Hmamou, Benali, Ebenso, Oukacha, Tahrouch, y Hammouti, 2015; Bouyanzer, Salghi, Hammouti, Desjobert, Costa, Paolini, y Majidi, 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación del recubrimiento

Para el desarrollo de las diferentes formulaciones del recubrimiento se utilizó una cantidad constante de octoato de cobalto como aditivo y distintas cantidades de poliestireno expandido reciclado, limoneno, dióxido de titanio y óxido de zinc como ingredientes complementarios del recubrimiento (Talbert, 2008), tal como se muestra en la tabla 1, para esto se fijó una base de cálculo de 80 g.

En la tabla 2 se muestran los porcentajes en peso que se utilizaron así:

Para la obtención del recubrimiento anticorrosivo se realizaron diferentes formulaciones en función de la cantidad de resina (poliestireno expandido reciclado), solvente (limoneno) y pigmentos (dióxido de titanio y óxido de zinc) agregados, utilizando una cantidad constante de octoato de cobalto como aditivo (Talbert, 2008), para desarrollar un total de 16 formulaciones, fundamentadas en lo planteado por Gonçalves (2011).

Tabla 1. Factores en la formulación del recubrimiento

Factor	Nombre Del Factor	Niveles	Simbología
A	Cantidad de Poliestireno Expandido Reciclado	24 g	+
		19.2 g	-
B	Cantidad de Limoneno	53.3 mL	+
		47.6 mL	-
C	Cantidad de Dióxido De Titanio	13.7 g	+
		2.3 g	-
D	Cantidad de Oxido De Zinc	13.7 g	+
		2.3 g	-

Fuente: elaborada por los autores fundamentada en Gonçalves, (2011)

Tabla 2. Composición porcentual de los niveles

Base de Cálculo (g)		80	Densidad del Limoneno (g/mL)	0.84	
Nivel 1			Nivel 2		
Factor	Porcentaje	Cantidad	Factor	Porcentaje	Cantidad
A	24 %	19.2g	A	30 %	24g
B	56 %	53.3mL	B	50 %	47.6mL
C+D	20 %	16g	C+D	20 %	16g
C	17.1 %	13.7g	C	2.9 %	2.3g
D	2.9 %	2.3g	D	17.1 %	13.7g

Fuente: elaborada por los autores fundamentada en Gonçalves (2011)

Preparación de las placas y aplicación del anticorrosivo

Se utilizaron placas metálicas de acero al carbono con dimensiones de 7 x 10 cm y un espesor de 3 mm, sobre las cuales se aplicaron las diferentes formulaciones obtenidas en el diseño experimental siguiendo la norma ASTM – B117 – 03 (Arroyo; Aguilar Márquez; Ortiz Valera; Sánchez Pérez, y Ortiz Prado, 2011); estas fueron limpiadas cuidadosamente con etanol y lijadas con papel de lija calibre 60 (especial para metales), parte de las pinturas se removieron parcialmente de una de las caras de cada placa en forma de “X” para ser expuesta al medio corrosivo.

Las placas listas para el análisis se colocaron en una cámara de niebla salina durante un período de 125 horas, en un proceso cíclico para comprobar las propiedades anticorrosivas de

cada formulación. El tiempo de duración mínimo que se requiere es de 100 horas de prueba (Norma ASTM – B 117 – 03). Por otra parte, se consideraron 25 horas más de prueba por tratarse de un recubrimiento nuevo. Al término de este proceso se observó y clasificó el grado de herrumbre sobre cada una de las placas, teniendo en cuenta, además, si tenían mancha de herrumbre (S), herrumbre general (G) o puntos de corrosión (P), para determinar el porcentaje de superficie corroída según la norma ASTM – D 610 – 01.

Durante el proceso de evaluación del potencial anticorrosivo del recubrimiento obtenido, se aplicó un recubrimiento comercial sobre una placa adicional, la cual se marcó con el número 17, y se ingresó a la cámara para el ensayo de niebla salina junto con el resto de placas, a las cuales se les aplicaron las formulaciones desarrolladas durante el diseño experimental.

RESULTADOS

Se llevó a cabo el ensayo en cámara de niebla salina según la Norma ASTM – B 117 – 03 para la evaluación del potencial anticorrosivo del recubrimiento obtenido y del recubrimiento comercial para su comparación. Los daños en la superficie se identificaron mediante inspección visual después de la fase de evaluación del

potencial anticorrosivo, tales como la cantidad de óxidos dispersos y porcentaje de superficie corroída de las placas; y los porcentajes de corrosión se determinaron como % de oxidación de la superficie tal como se muestra en la tabla 3.

Los porcentajes de superficie corroída se muestran en la figura 1.

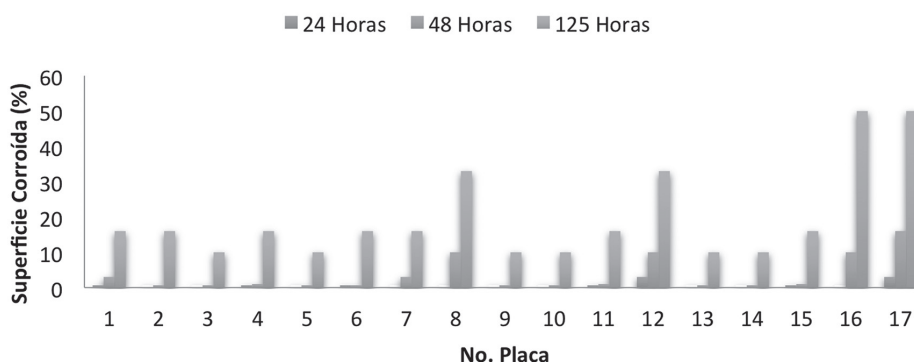


Figura 1. Resultados del ensayo en cámara de niebla salina

Fuente: elaborada por los autores

De la figura 1 se puede observar que las placas a las que se aplicaron las formulaciones 3, 5, 9, 10, 13 y 14 no presentaron oxidación en su superficie a las 24 y 48 horas, pero sí un grado de herrumbre 4G después de 125 horas en la cámara salina, según la norma ASTM – D 610 – 01, lo cual corresponde a un porcentaje del 10 % de superficie corroída, exhibiendo un muy buen comportamiento frente al fenómeno corrosivo,

mientras que las placas recubiertas con la formulación 16 y el recubrimiento comercial (17) tienen los peores resultados, manifestando un grado de herrumbre 1G y 1S, respectivamente, después de 125 horas en la cámara salina, según la norma antes mencionada, equivalente a un porcentaje del 50 % de superficie corroída en ambas probetas, como se observa en la figura 2.



Figura 2. Resultados del ensayo de cámara de niebla salina

Fuente: elaborada por los autores.

Tabla 3. Evaluación de piezas para el cálculo de % de oxidación de superficie

MUESTRA	EVALUACIÓN DE PIEZAS											
	24 HORAS				48 HORAS				125 HORAS			
	Ampollamiento		Oxidación de la superficie		Ampollamiento		Oxidación de la superficie		Ampollamiento		Oxidación de la superficie	
S/NO	#	S/NO	%	S/NO	#	S/NO	%	S/NO	#	S/NO	%	
1	NO	10	SI=9P	0,03	NO	10	SI=5G	3	NO	10	SI=3G	16
2	NO	10	NO	0	NO	10	SI=9G	0,03	NO	10	SI=3G	16
3	NO	10	NO	0	NO	10	SI=9G	0,03	NO	10	SI=4G	10
4	NO	10	SI=9G	0,03	NO	10	SI=6G	1	NO	10	SI=3G	16
5	NO	10	NO	0	NO	10	SI=9G	0,03	NO	10	SI=4G	10
6	NO	10	SI=9P	0	NO	10	SI=7G	0,3	NO	10	SI=3G	16
7	NO	10	NO	0	NO	10	SI=5G	3	NO	10	SI=3G	16
8	NO	10	NO	0	NO	10	SI=4G	10	NO	10	SI=2G	33
9	NO	10	NO	0	NO	10	SI=9G	0,03	NO	10	SI=4G	10
10	NO	10	NO	0	NO	10	SI=9G	0,03	NO	10	SI=4G	10
11	NO	10	SI=9P	0,03	NO	10	SI=6G	1	NO	10	SI=3G	16
12	NO	10	SI=5G	3	NO	10	SI=4G	10	NO	10	SI=2G	33
13	NO	10	NO	0	NO	10	SI=9G	0,03	NO	10	SI=4G	10
14	NO	10	NO	0	NO	10	SI=9G	0,03	NO	10	SI=4G	10
15	NO	10	SI=9P	0,03	NO	10	SI=6G	1	NO	10	SI=3G	16
16	NO	10	NO	0	NO	10	SI=4G	10	NO	10	SI=1G	50
17	SÍ	8M	SI=5G	3	SI	6M	SI=3G	16	SI	4MD	SI=1S	50

Fuente: elaborado por los autores.

Análisis estadístico de los resultados

Además de la interpretación y análisis visual de los resultados, se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) con ayuda del software de herramientas estadísticas STATGRAPHICS, con

el fin de determinar cuáles factores son los que estadísticamente tienen mayor influencia sobre el potencial del recubrimiento. Los resultados fueron representados en un diagrama de Pareto tal como muestra la figura 3.

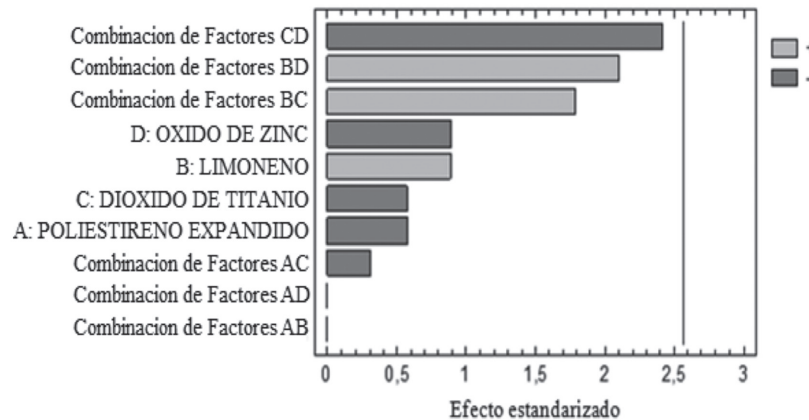


Figura 3. Diagrama de Pareto estandarizado para superficie no corroída

Fuente: elaborada por los autores.

Se observa que, entre los factores individuales, los más influyentes fueron las cantidades de limoneno y de óxido de zinc agregadas al recubrimiento, las cuales entre más altas y bajas sean, respectivamente, mayor será el rendimiento de este recubrimiento en la protección contra la corrosión, lo cual coincide con lo propuesto por Chaieb et al. (2009) y Lahhit et al. (2011), quienes encontraron que el limoneno se adsorbe espontáneamente sobre la superficie del metal actuando como un inhibidor de tipo mixto.

En cuando a los pigmentos óxido de zinc (ZnO) y dióxido de titanio (TiO_2), ambos mostraron influencia estadística al usar bajas cantidades de estos, pero el primero tiene la mayor influencia. Abdel-Gaber et al., (2010) indicaron que la presencia de ZnO o TiO_2 tiene un efecto positivo en la eficiencia de la protección de las pinturas; sin embargo, la presencia de ZnO ofrece mayor resistencia a la corrosión que el TiO_2 , este comportamiento se debe a los fenómenos de actividad fotocatalítica del TiO_2 , que degradan materiales poliméricos.

El buen comportamiento del óxido de zinc frente a la corrosión se debe a que este pigmento, debido a su alta alcalinidad, es reactivo con ligantes de alta acidez (por ejemplo, pinturas oleo-resinosas), generando jabones que endurecen fuertemente la película, pero que también la fragilizan en forma muy sensible, por lo que se deben evitar concentraciones exageradas en la formulación. (Giudice, 2009).

Comparación del recubrimiento anticorrosivo

Después de una inspección visual, por su apariencia física y sus buenas características en el metal base, al revisar la superficie por debajo del recubrimiento, se logró determinar que el mejor recubrimiento fue el que se desarrolló bajo la formulación N° 10, el cual se comparó con el recubrimiento comercial N° 17. Por inspección visual, se pudo resaltar el mal comportamiento frente al control de la corrosión del recubrimiento comercial. A las 24 horas el recubrimiento comercial cuenta con un grado

de ampollamiento de 8M (tamaño más pequeño de ampollas fácilmente apreciable a simple vista, con una frecuencia media) y a las 125 horas un grado de ampollamiento 4MD (ampollas grande y una frecuencia medianamente densa) según la norma ASTM D714-02.

CONCLUSIONES

Se logró comprobar que el recubrimiento anticorrosivo obtenido a partir de poliestireno expandido y limoneno es una alternativa para controlar la corrosión y conservar el medio ambiente, lo cual coincide con la literatura consultada.

La utilización de pigmentos como el dióxido de titanio y el óxido de zinc en la formulación de recubrimientos anticorrosivos cobra relevancia gracias a su buena capacidad para absorber radiación electromagnética en la zona de la fracción UV, brinda protección tanto a los sustratos como al propio material formador de película de la pintura, y logra reducir la degradación fotoquímica de las películas aplicadas en exteriores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aarnio, T. y Hämäläinen, A. (2008). Challenges in packaging waste management in the fast food industry. *Conservation and Recycling*, 52(4), 612-621
- Abdel-Gaber, A.; Abd-El Nabeya, B.; Khamisa, E.; Abdelattefa, O.; Aglanb, H. y Ludwickb, A. (2010). Influence of natural inhibitor, pigment and extender on corrosion of polymer coated steel. *Progress in Organic Coating*, 69, 402-409.
- Ahmad, Z. (2006). Principles of Corrosion. *Engineering and Corrosion Control*, 1-8
- Arroyo, G.; Aguilar Márquez, A.; Ortiz Valera, J.; Sánchez Pérez, F. y Ortiz Prado, A. (2011). Evaluación de dos pinturas en el acero SAE 1010 utilizando formulaciones de ácido tánico y fosfórico como convertidores de óxidos. *Memorias del XVII congreso internacional anual de la SOMIM*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Arvanitoyannis, I. y Bosnea, L. A. (2001). Recycling of polymeric materials used for food packaging: current status and perspectives. *Food Reviews International*, 17(3), 291-346
- Arvanitoyannis, I. (2008). *Waste Management in Food Packaging Industries*. Washington: Elsevier.
- Bouyanzer, A., Salghi, R., Hammouti, B., Desjobert, J., Costa, J., Paolini, J., y Majidi, L. (2015). Inhibition of corrosion of mild steel in 1 M HCl by the essential oil or solvent extracts of *Ptychotis verticillata*. *Research on Chemical Intermediates*, 41(2), 935-946.
- Chaieb, E.; Bouyanzer, A.; Hammouti, B. y Benkaddour, B. (2009). Limonene as Green Inhibitor for Steel Corrosion in Hydrochloric Acid Solutions. *Acta Physico Chimica Sinica*, 25(7), 1254-1258
- El Ouadi, Y., Bouyanzer, A., Majidi, L., Elmsellem, H., Cherrak, K., Elyoussfi, A., y Costa, J. (2015). Chemical Composition and Inhibitory Effect of Essential Oil of Lavande (*Lavandula Dentata*) LD on the Corrosion of Mild Steel in Hydrochloric Acid (1M). *Arabian Journal of Chemical and Environmental Research*, 1(2), 49-65.
- García, M.; Duque, G.; Gracia, I.; Lucas, A. y Rodríguez, J. (2009a). Recycling extruded polystyrene by dissolution with suitable solvents. *J Mater Cycles Waste Manag*, 11, 2-5.
- García, M.; Gracia, I.; Duque, G.; Lucas, A. y Rodríguez, J. (2009b). Study of the solubility and stability of polystyrene wastes in a dissolution recycling process. *Waste Management*, 29, 1814-1818
- Gonçalves, G.; Baldissera, A.; Rodrigues, L.; Martini, E. y Ferreira, C. (2011). Alkyd coatings containing polyanilines for corrosion protection of mild steel. *Synthetic Metals*, 161, 313-323.
- Gudze, M. y Melchers, R. (2008). Operational based corrosion analysis in naval ships. *Corros. Sci.*, 50, 3296-3307.
- Hattori, K.; Shikata, S.; Maekawa, R. y Aoyama, M. (2010). Dissolution of polystyrene into p-cymene and related substances in tree leaf oils. *J Wood Sci*, 56, 169-171
- Huu, N. (2004). The inhibition of copper corrosion in aqueous environments heterocyclic compounds. *Tesis de doctorado*. Universidad Tecnológica de Queensland, Australia.
- Kim, J. (2002). Catalytic recycling of the mixture of polypropylene and polystyrene. *Polymer Degradation and Stability*, 76(1), 61-67

- Lahhit, N.; Bouyanzer, A.; Desjobert, J.; Hammouti, B.; Salghi, R.; Costa, J.; Jama, C.; Bentiss, F.; Majidi, L. (2011). Fennel (*Foeniculum Vulgare*) Essential Oil as Green Corrosion Inhibitor of Carbon Steel in Hydrochloric Acid Solution. *Portugaliae Electrochimica Acta*, 29(2), 127-138
- NACE International. (2002). Glossary of Corrosion-Related Terms. Washington: NACE Editorial.
- Ramírez Sarria, A. (2015). Deposición de polímeros reciclados mediante rociado electroestático. Disponible en: red.uao.edu.co
- Roa, G., Aperador, W., and Delgado, E., (2015). Diseño de sistema de monitoreo remoto para evaluación de la corrosión en estructuras de concreto reforzado sometidas a ion cloruro. *Ingeniería, Investigación y Tecnología* 16(4), 565-572.
- Roberge, P. (2000). *Handbook of Corrosion Engineering*. New York: McGraw Hill.
- Salghi, R.; Hmamou, D.; Benali, O., Ebenso, E.; Oukacha, A.; Tahrouch, S. y Hammouti, B. (2015). Study of the Corrosion Inhibition Effect of Pistachio Essential Oils in 0.5 M H₂SO₄. *Int. J. Electrochem. Sci*, 10, 8403-8411.
- Shikata, S. (2011). Dissolution of polystyrene into cyclic monoterpenes present in tree essential oils. *J Mater Cycles Waste Manag*, 13, 127-130
- Song, H., Shen, X. y Meng, X. (2010). Superhydrophobic Surfaces Produced by Carbon Nanotube Modified Polystyrene Composite Coating. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 31:11, 1465-1468
- Subramanian, P. (2000). Plastics recycling and waste management in the US. *Resources, Conservation and Recycling*, 28, 253-263
- Suyama, K.; Kubota, M.; Shirai, M. y Yoshida, H. (2010). Chemical recycling of networked polystyrene derivatives using subcritical water in the presence of an amino alcohol. *Polymer Degradation and Stability*, 95, 1588-1592
- Swistek, M., Nguyen, G. & Nicole, D. (1996). Contribution to the modeling of pre-depolymerisation of polystyrene. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 37, 15-26
- Tafur, J.; Lastra, J.; Herrera, F. y Arroyave, C. (2016). Indicadores de los costos de la corrosión en Colombia. *Contaduría Universidad de Antioquia*, (33), 95-132.
- Talbert, R. (2008). *Paint Technology Handbook*. New York: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Uhlig, H. & Revie, R. (2008). *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering*. Fourth Edition. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Vashi, E. & Kadiya, H. (2009). Corrosion Study of Metals in Marine Environment. *Journal of Chemistry*, 4, 1240-1246.