



III Jornadas sobre Tecnología de Recubrimientos

Nuevas tendencias en materiales, superficies e interfaces

La Plata, 24 y 25 de abril de 2025.

RESUMEN

Efectividad de un recubrimiento polimérico sobre acero al carbono autorreparable

G. Campos^{(a)*}, J. Caclamanis^(b), M. J. Galante^(a), S. Ceré^(a), I. Zucchi^(a), V. Pettarin^(a)

^(a)*Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA), CONICET- Facultad de Ingeniería-UNMdP, Argentina*

^(b)*Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina*

*Autor de correspondencia: gcampos@fi.mdp.edu.ar

El presente trabajo aborda el uso de un recubrimiento polimérico autorreparable basado en un sistema epoxi amina modificado con azobenceno para la protección del acero contra la corrosión, en ambientes agresivos como las zonas costeras. El objetivo es desarrollar un recubrimiento que permita la reparación de daños superficiales bajo irradiación UV, lo que prolongaría la vida útil de las estructuras metálicas y reduciría los costos de mantenimiento.

El acero es uno de los materiales más utilizados en la industria debido a su versatilidad, resistencia mecánica y bajo costo (Mandal, 2015). Sin embargo, su susceptibilidad a la corrosión representa un problema crítico, especialmente en entornos marinos, donde la exposición a agentes salinos y radiación UV acelera su degradación. Para mitigar estos efectos, se utilizan recubrimientos protectores, entre los que se destacan los poliméricos debido a su capacidad para actuar como barrera frente al medio corrosivo. Los recubrimientos autorreparables han surgido como una solución innovadora, permitiendo que los materiales restauren su integridad estructural tras sufrir daños. Estos se dividen en sistemas extrínsecos, que dependen de microcápsulas o redes vasculares con agentes reparadores, e intrínsecos, que aprovechan interacciones químicas reversibles dentro de la matriz del material (Broadbent, 2016).

En este trabajo, se emplea un sistema intrínseco basado en la isomerización reversible del azobenceno inducida por radiación UV. El objetivo principal de este proyecto fue sintetizar y caracterizar un recubrimiento epoxi-amina con un 10 % en peso de azofenol (AZO) que presentará



capacidad de autorreparación y resistencia a la corrosión. La síntesis del recubrimiento se llevó a cabo mediante la reacción de diglicidil éter de bisfenol A (DGEBA) con dodecilamina (DA) en proporción estequiométrica, incorporando un 10 % en peso de azofenol (Campos et al., 2024). Se seleccionó el método de "dip coating" para la aplicación del recubrimiento debido a su capacidad para generar capas uniformes. Se utilizaron soluciones de 5mg/ml de muestra en THF y se obtuvieron espesores de aproximadamente 50µm. Posteriormente, se utilizaron diversas técnicas de caracterización. FTIR y UV-vis confirmaron la incorporación del AZO y su capacidad de isomerización reversible. TGA evaluó la estabilidad térmica del recubrimiento, mostrando que la adición del AZO disminuye la temperatura de degradación en comparación con el sistema sin modificar. DSC indicó una disminución en la temperatura de transición vítrea (Tg) debido al efecto plastificante del AZO. Perfilometría y microscopía óptica permitieron evaluar la capacidad de autorreparación. Los ensayos de adhesión confirmaron una excelente adherencia del recubrimiento al sustrato metálico. Goniometría indicó una ligera tendencia a la hidrofiliidad, en presencia de AZO.

Se realizó un análisis del proceso de reparación en los recubrimientos, inducida por UV. Se generó una fisura en la superficie del recubrimiento y se monitoreó su evolución mediante perfilometría. Los resultados demostraron una recuperación del 88 % en la primera hora de irradiación, alcanzando el 97 % tras cinco horas, validando la eficiencia del mecanismo de isomerización del azobenceno. Los ensayos de espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS) y curvas de polarización potenciodinámicas permitieron evaluar la resistencia a la corrosión del recubrimiento. Los resultados indicaron que la adición de AZO mejoró significativamente la resistencia a la corrosión, aumentando la impedancia y reduciendo la densidad de corriente de corrosión, en comparación con el recubrimiento sin AZO y el acero sin recubrir. Los valores de densidad de corriente obtenidos por el método de extrapolación de tafel se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de densidad de corriente

Muestra	I _{cor} (A/cm ²)
Sistema epoxi-azofenol	(4.99 ± 2.51)10 ⁻⁹
Sistema epoxi	(7.43 ± 1.96)10 ⁻⁷
Sustrato metálico	(1.52 ± 0.4)10 ⁻⁵

Para evaluar la estabilidad del recubrimiento frente a la radiación UV, se expusieron muestras a luz durante un mes en una cámara experimental. Para analizar la degradación química fueron estudiadas dos zonas en los espectros FTIR a diferentes tiempos de exposición. Se evaluó la zona de 1600-1800 cm⁻¹ y la de 3200-3700 cm⁻¹, relacionadas a los grupos carbonilo e hidroxilo, respectivamente. En la Figura 1 se puede apreciar la evolución de los sistemas con y sin AZO en ambas zonas. Se observó que la incorporación de AZO redujo la degradación del recubrimiento, manteniendo su integridad estructural por más tiempo en comparación con el sistema sin modificar.

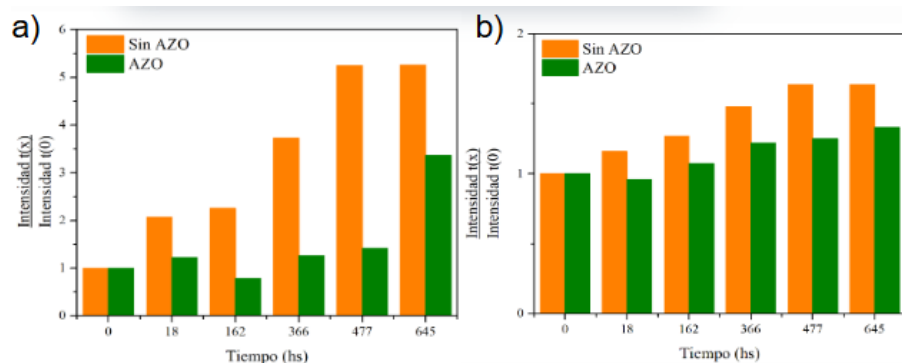


Figura 1. Distribución de productos de degradación en el tiempo a) Grupos carbonilos; b) Grupos Hidroxil

El recubrimiento epoxi-amina modificado con azobenceno demostró ser una solución innovadora para la protección del acero en ambientes corrosivos. Sus propiedades de autorreparación, resistencia a la corrosión y estabilidad frente a la degradación UV lo posicionan como un material prometedor para aplicaciones industriales. Sin embargo, futuras investigaciones deberán enfocarse en optimizar su formulación y evaluar su desempeño a largo plazo en condiciones reales de servicio.

Palabras clave: Recubrimiento autorreparable, azobenceno, irradiación UV, isomerización reversible

Modalidad: PÓSTER

Referencias

- Broadbent, C. (2016). Steel's recyclability: demonstrating the benefits of recycling steel to achieve a circular economy. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1081-1>
- Campos, G.C., Sáiz, L.M., Pettarin, V., Zucchi, I.A. y Galante, M.J. (2024). Self-healing recyclable polymers based on azobenzenes with thermoset-like behaviour. *Polymer*, 290(126560), <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2023.126560>
- Mandal, S. K. (2015). *Steel Metallurgy: Properties, Specifications and Applications* (1^a ed.). McGraw-Hill Education, New York. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071844611>