# Estudio del comportamiento y electroquímico de la capa de sellado del aluminio por Arc spray con compuesto epoxi reforzado con partículas cerámicas

**Nombres y apellidos**

Oscar Escobar Montero

Ronaldo Teherán Álvarez

Jaider Solano Uribe

Kevin Castro Meriño

**Código estudiantil:**

202012821887

202112833253

202012825344

201922817727

Trabajo de Investigación del Programa: **Ingeniería Mecánica**

**Tutor(es):**

Luis Marcos Castellanos González

Edgar Vergara Verbel

## RESUMEN

En este trabajo se evalúa el desempeño de un sistema de recubrimiento multicapa aplicado sobre acero naval A131 para ambientes marinos. El sistema está compuesto por una capa base de aluminio depositada mediante proyección térmica por arc spray, seguida de un sellador epóxico reforzado con partículas cerámicas de distintos tamaños y concentraciones.

La investigación se basa en estudios previos, en los cuales los ensayos mecánicos de adherencia y desgaste resultaron satisfactorios, mientras que los ensayos de corrosión en cámara de niebla salina (CNS) presentaron deficiencias atribuibles a fallas en la aplicación del sellador. En esta nueva fase se optimizaron tanto la formulación como la metodología de aplicación del sellante, repitiendo los ensayos mecánicos y electroquímicos bajo condiciones controladas.

Los resultados mecánicos obtenidos confirmaron nuevamente del compuesto frente al desgaste y la adherencia, quedando pendiente en el análisis del comportamiento electroquímico del compuesto en CNS. Este trabajo se enfocó en la componente electroquímica de resistencia a la corrosión en las condiciones más exigentes que las evaluadas por técnicas gravimétricas tradicionales.

La evaluación detallada del comportamiento electroquímico permite completar el estudio para validar la viabilidad de estos nuevos recubrimientos como barreras protectoras eficientes frente a la corrosión y al desgaste de los activos de los sectores marítimos y navieros.

**Palabras clave:** Aluminio, pulverización térmica, sellado, compuesto de epoxi, pruebas de corrosión

## ABSTRACT

This paper evaluates the performance of a multilayer coating system applied on A131 naval steel for marine environments applied on A131 naval steel for marine environments. The system is composed of an aluminum base coat deposited by thermal spraying by arc spray, followed by an epoxy sealer by arc spray, followed by an epoxy sealer reinforced with ceramic particles of different sizes and concentrations ceramic particles of different sizes and concentrations.

The research is based on previous studies, in which mechanical adhesion and wear tests were satisfactory, while corrosion tests in a salt spray chamber (CNS) showed deficiencies attributable to failures in the application of the sealant. In this new phase, both the formulation and the sealant application methodology were optimized, repeating the mechanical and electrochemical tests under controlled conditions.

The mechanical results obtained again confirmed the composite against wear and adhesion, remaining pending in the analysis of the electrochemical behavior of the composite in CNS. This work focused on the electrochemical component of corrosion resistance under more demanding conditions than those evaluated by traditional gravimetric techniques.

The detailed evaluation of electrochemical behavior allows to complete the study to validate the viability of these new coatings as efficient protective barriers against corrosion efficient protective barriers against corrosion and wear of assets in the maritime and shipping sectors.

**Keywords:** Aluminum, thermal spray, sealing, epoxy compound, corrosion testing

## REFERENCIAS

[1] M. A. Amin, "Methods of corrosion prevention for steel in marine environments," *Materials Today: Proceedings*, vol. 7, no. 1, pp. 1–10, 2025. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666845925000170

[2] J. R. Davis, "Thermally Sprayed Functional Coatings and Multilayers: A Selection of Historical Applications and Potential Pathways for Future Innovation," *Journal of Thermal Spray Technology*, vol. 32, no. 3, pp. 1–15, 2023. [Online]. Available: https://link.springer.com/article/10.1007/s11666-023-01587-1

[3] ASTM International, *ASTM B117-19: Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus*, West Conshohocken, PA: ASTM International, 2019. [Online]. Available: https://www.astm.org/b0117-19.html

[4] L. Zheng *et al.*, "A Novel Approach to Fabricate Foam Ceramics from Steel Slag," *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2020, Article ID 4649082, 2020. [Online]. Available: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2020/4649082

[5] Y. Wang, X. Li, and Z. Liu, "Micro-galvanic corrosion during formation of epoxy coating," *Corrosion Science*, vol. 170, pp. 108–115, 2020. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300944020304070

[6] S. Kumar *et al.*, "Evaluation of adhesion of epoxy resin sealant to improve the corrosion resistance of coated metals," *Applied Adhesion Science*, vol. 8, no. 1, pp. 1–10, 2020. [Online]. Available: https://appliedadhesionscience.springeropen.com/articles/10.1186/s40563-020-00130-7

[7] H. Zhang and Y. Chen, "Corrosion resistant polymer derived ceramic composite environmental barrier coatings," *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 40, no. 5, pp. 1–9, 2014. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0955221914003161

[8] J. Zhen, H. Li, Y. Wang, y X. Chen, “Corrosion behavior of 99.5% aluminum coatings prepared by arc spray process in marine environment,” *Metals*, vol. 8, no. 2, p. 142, Feb. 2018. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2075-4701/8/2/142

[9] M. Arif, A. Ali, M. U. Farooq, y F. Haider, “Performance and microstructure analysis of 99.5% aluminium coating by thermal arc spray technique,” *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, vol. 4, no. 6, pp. 37–40, Aug. 2015. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/275540057

[10] D. Susila, E. Sutisna, y I. Surojo, “The wear resistance of epoxy resin reinforced with ceramic particles as sealing layer on aluminum coating by arc spray,” *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 844, p. 012069, 2020. [Online]. Available: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/844/1/012069

[11] E. Alonso, “Desarrollo y caracterización de recubrimientos epoxi reforzados con partículas cerámicas de diferentes tamaños y concentraciones,” Trabajo Fin de Grado, Universidad Pontificia Comillas, Madrid, España, 2023. [Online]. Available: https://repositorio.comillas.edu/jspui/handle/11531/88025

[12] J. C. Pinilla Algarra y F. D. De Los Ríos Garzón, “Análisis y evaluación de las propiedades microestructurales del acero naval ASTM A-131, sometido a prueba de impacto, con tratamiento de temple a temperaturas intercríticas y un revenido a 550 °C,” Tesis de pregrado, Univ. Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, 2019. [En línea]. Disponible en: https://repository.udistrital.edu.co/items/86b24141-d373-466e-855a-0000149ec7e0

[13] A. Bustos, D. Rodríguez Caicedo y F. Cantor, “ANDEVA para Diseño Completamente al Azar (DCA),” *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, vol. 4, núm. 1-2, pp. 143–148, 2017. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.18359/rfcb.2240

[14] IST International Surface Technologies, “Surface Preparation,” IST, [En línea]. Disponible en : https://istsurface.com/resources/abrasive-blasting-equipment/surface-preparation/.

[15] E. Vergara y L. Castellanos, “Mechanical effort of ceramic particle-reinforced epoxy matrix used as a sealing layer on aluminum coatings by Arco Spray,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 844, p. 012069, 2020. [En línea]. Disponible en: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/844/1/012069.

[16] A. M. Al-Azzawi, H. A. Al-Azawi y M. A. Al-Azawi, “Improved Wear-Resistant Performance of Epoxy Resin Composites Using Ceramic Particles,” *Polymers*, vol. 14, no. 2, p. 333, 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.mdpi.com/2073-4360/14/2/333.

[17] ASTM International, “ASTM D4541-22: Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers,” ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.astm.org/d4541-22.html

[18] Gkatzogiannis, S., Weinert, J., Engelhardt, I., Knoedel, P., & Ummenhofer, T. (2019). Correlation of laboratory and real marine corrosion for the investigation of corrosion fatigue behaviour of steel components. International Journal of Fatigue, 126, 90–102. https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.04.041

[19] Guilcaso, C., Ramírez, L., Coque, A., Vaca, X., Molina, D., & Simbaña, I. (2021). Influencia del recubrimiento de cromato de zinc en la corrosión de los aceros ASTM A-500 y A-500 galvanizado expuestos en una cámara de niebla salina. Ingenius, 26. https://doi.org/10.17163/ings.n26.2020.06

[20] Redrovan Pesantez, F., Vera Aravena, R., Romero Bonilla, H., Vera Infante, T., & Fernández Vélez, V. (2019). Efecto anticorrosivo de pinturas de poliuretano

aplicadas sobre acero galvanizado sin tratamiento superficial. Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, 22(44). https://doi.org/10.15381/iigeo.v22i44.16283

[21] Inés, M. N., & Mansilla, G. A. (2020). Tratamientos Térmicos y Corrosión en Niebla Salina en acero inoxidable AISI 316L. AJEA, 5. https://doi.org/10.33414/ajea.5.695.2020

[22] Salamanca Sarmiento, J. R., Villamizar Cruz, N. I., Lopez Sepulveda, D. N., Torres Tique, J. A., Guayacan Yanquen, L. Y., & Garrido Gonzales, P. J. (2020). estudio de la degradación y corrosión en tuberías de cobre, aluminio y acero expuestas a ambientes salinos. ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación, 7(2). https://doi.org/10.26495/icti.v7i2.1507

[23] N. Díaz Sotomayor, A. Giraldo, F. Ospino, A. Pulido y L. M. Castellano, “Modelo de simulación para el análisis de riesgo de un nuevo material compuesto con matriz epoxi en su desempeño mecánico como capa de sellado del aluminio en naves marítimas,” Bonga – Repositorio Institucional Universidad Simón Bolívar. [En línea]. Disponible en: https://bonga.unisimon.edu.co/items/788c1c15-f64a-4ad5-9638-9f1226fe61c2. [Accedido: 31-may-2025].