EIEI ACOFI 2025
5º Congreso Latinoamericano de Ingeniería
Más Información: www.acofi.edu.co/eiei
Ingeniería de impacto para cuidar y transformar la vida
ACOFI: 50 años por la excelencia de la educación en ingeniería.

Transformación de residuos metálicos en solución sostenible con esponjas metálicas para la remediación de derrames de petróleo

Naren Yesith Pérez Rangel, Éder Norberto Flórez Solano, Edwin Edgardo Espinel Blanco

Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña
Ocaña, Colombia

Resumen

El aluminio es un material clave en múltiples sectores industriales debido a su excelente relación resistencia/peso y su versatilidad en aplicaciones como la construcción, la industria automotriz y la fabricación de equipos eléctricos. Sin embargo, su procesamiento mediante maquinado genera una gran cantidad de virutas metálicas, representando entre el 10 % y el 90 % del material procesado. La acumulación de estos residuos y su disposición inadecuada pueden contribuir a la contaminación ambiental, afectando fuentes hídricas y suelos. Este proyecto busca reutilizar las virutas de aluminio A6061 mediante su aleación con nanotubos de carbono y un innovador proceso de fundición en horno de microondas, con el objetivo de fabricar esponjas metálicas capaces de absorber petróleo en cuerpos de agua contaminados. Estas esponjas presentan una estructura porosa que facilita la retención selectiva de hidrocarburos, permitiendo la recuperación del petróleo derramado y reduciendo el impacto ambiental en ríos, lagos y mares. A diferencia de otros métodos de descontaminación, este enfoque no solo optimiza el consumo energético y disminuye los tiempos de procesamiento, sino que también promueve un modelo de economía circular, reutilizando desechos industriales para darles una nueva aplicación en el saneamiento ambiental. La implementación de esta tecnología ofrece una solución innovadora y sostenible para mitigar la contaminación de los afluentes hídricos, asegurando un manejo más eficiente de los residuos industriales y contribuyendo a la preservación de un entorno limpio y saludable.

Palabras clave: nanotubos de carbono; chip de aluminio; contaminación; esponjas de aluminio; fundición

DOI: https://doi.org/10.26507/paper.4553

Abstract

Aluminium is a key material in multiple industrial sectors due to its excellent strength/weight ratio and versatility in applications such as construction, automotive and electrical equipment manufacturing. However, its machining process generates a large amount of metal chips, representing between 10% and 90% of the material processed. The accumulation of these wastes and their improper disposal can contribute to environmental pollution, affecting water sources and soils. This project aims to reuse A6061 aluminium chips by alloying them with carbon nanotubes and an innovative microwave casting process, with the aim of producing metal sponges capable of absorbing oil in contaminated water bodies. These sponges have a porous structure that facilitates the selective retention of hydrocarbons, allowing the recovery of spilled oil and reducing the environmental impact on rivers, lakes and seas. Unlike other decontamination methods, this approach not only optimizes energy consumption and reduces processing times, but also promotes a circular economy model, Reusing industrial waste for a new application in environmental sanitation. The implementation of this technology offers an innovative and sustainable solution to mitigate water pollution, ensuring more efficient management of industrial waste and contributing to the preservation of a clean and healthy environment.

Keywords*: carbon nanotubes; aluminum chip; contamination; aluminum sponges; casting*

1. Introducción

El aluminio primario se obtiene directamente de la naturaleza a partir de la bauxita, un mineral cuyo procesamiento exige extraer aproximadamente cuatro toneladas de bauxita para producir una sola tonelada de aluminio. Este procedimiento, además de su intenso consumo de recursos naturales, conlleva un elevado gasto energético a lo largo de sus distintas etapas (Baffari et al, 2019)(Hiremath, 2020).

Por otra parte, el aluminio secundario proviene de procesos de reciclaje que permiten reincorporar al ciclo productivo materiales ya usados. Entre los desechos reciclables destacan envases de alimentos, componentes desgastados de automotores y motocicletas, así como las virutas generadas en talleres de mecanizado. Sin embargo, estas virutas frecuentemente carecen de un tratamiento adecuado y, en muchos casos, terminan en rellenos sanitarios, donde pueden ocasionar contaminación(Anuar Abdul Muin et al., 2022)(Xu et al., 2025).

La bibliografía existente sobre técnicas de fundición de viruta de aluminio describe métodos variados —pulvimetalurgia, extrusión en caliente, fundición convencional y aglomeración en hornos de inducción— pero no propone un protocolo específico y universal. Por ello, en este estudio se adoptó un enfoque experimental para evaluar y optimizar diferentes procesos de reciclaje de viruta, con la intención de establecer pautas claras que mejoren la eficiencia y reduzcan el impacto ambiental (Narayana et al., 2022; Sarath Chandra Reddy et al., 2022; Xi et al., 2022)(Swargo & Mia, 2025).

En paralelo, se abordaron las graves consecuencias de los derrames de petróleo en cuerpos de agua, provocados por fallas o sabotajes en oleoductos y otras infraestructuras, que afectan directamente el suministro hídrico de comunidades enteras. Frente a esta problemática, el presente trabajo explora el uso de esponjas metálicas —obtenidas a partir de residuos de aluminio reciclado— como materiales absorbentes de hidrocarburos (Jain et al., 2022).

Para ello, se diseñaron y llevaron a cabo una serie de ensayos variando parámetros clave del proceso de fusión de viruta, como la temperatura de fundición, el tipo y tamaño de las virutas, la compactación previa o posterior al fundido, el tipo de horno empleado, los métodos de limpieza de la materia prima y el diseño de los moldes. Finalmente, se incorporaron nanomateriales a la matriz metálica con el objetivo de dotar a las esponjas de superficies más activas y mejorar su capacidad de captación de petróleo y sustancias derivadas en ambientes acuáticos (Rodríguez et al., 2023; Smith et al., 2024) (Mohan et al., 2022)(Ahmadian et al., 2022; Song et al., 2022)(Gan et al., 2025).

Este enfoque integral no solo busca optimizar la recuperación de aluminio reciclado, sino también generar una solución técnica y sostenible para mitigar el impacto de los derrames de petróleo en fuentes hídricas.

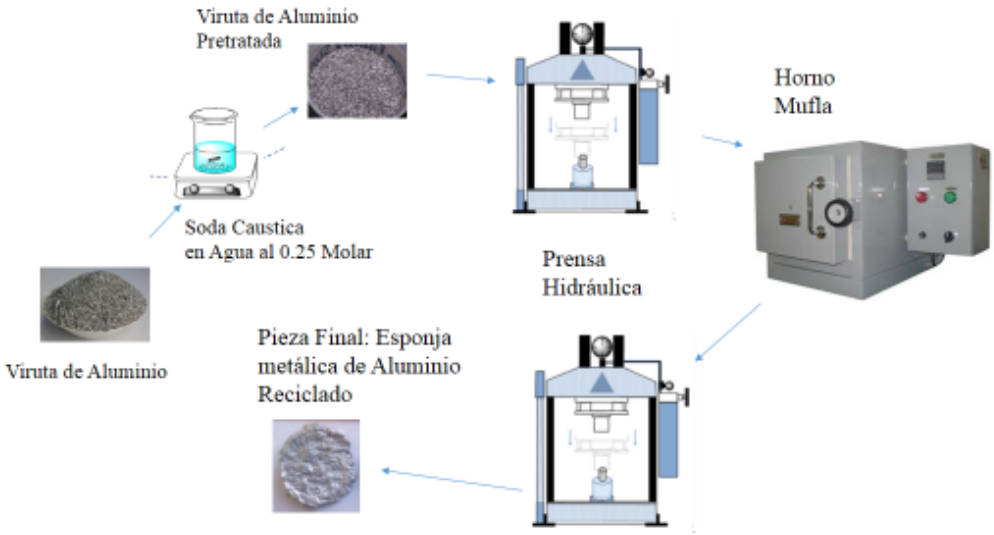
2. Materiales y métodos

El material utilizado es viruta de aluminio reciclada, que se transforma en esponjas metálicas para reciclar, reutilizar y contribuir a la conservación del medio ambiente.

El siguiente paso implica la realización de aleaciones de la viruta con un material que permita a las esponjas metálicas recolectar petróleo y sus derivados en derrames en fuentes hídricas.

Se emplearon virutas de aluminio reciclado, previamente limpias mediante inmersión en una solución al 5 % de hidróxido de sodio y agitación electromagnética para eliminar lubricantes y óxidos, seguidas de enjuague con agua hasta obtener pH neutro. A continuación, estas virutas pretratadas se mezclaron con nanotubos de carbono y se prensaron hidráulicamente a 100 MPa durante 5 min, conformando preformas cilíndricas que se fundieron en un horno mufla con rampa de calentamiento de 10 °C/min hasta 750 °C, manteniendo dicha temperatura durante 3 h para asegurar una fusión homogénea y la difusión del nanomaterial. Tras el proceso térmico, las preformas se sometieron a una segunda compactación (100 MPa, 5 min) para generar la estructura porosa característica de las esponjas metálicas, y finalmente se enfriaron a temperatura ambiente antes de desmoldarse, obteniéndose así los compuestos listos para su caracterización y ensayos de absorción de hidrocarburos. Todo el proceso cumple con la secuencia descrita en la Figura (1)).

Figura 1: Esquema del proceso de fabricación de esponjas metálicas a partir de viruta de aluminio reciclada mediante fundición y tratamiento con nanotubos de carbono.



3. Resultados

La Figura (2) muestra el producto obtenido al fundir la viruta de aluminio en el laboratorio usando horno mufla, siguiendo el esquema de la Figura (1) mencionado anteriormente.

El proceso aprovecha la transición del aluminio a estado líquido, alcanzando alrededor de 700 °C para fusionar la viruta, y su posterior enfriamiento a temperatura ambiente, lo que provoca la solidificación y la formación de una estructura porosa. De este modo, se obtiene una pieza tipo esponja con propiedades físicas y mecánicas óptimas para el filtrado de líquidos, en particular para la remediación de afluentes hídricos contaminados. Asimismo, la incorporación de nanotubos de carbono—cuya caracterización ha demostrado su idoneidad—potencia la capacidad de absorción de partículas contaminantes en el agua.

Figura 2: Esponja de aluminio obtenida mediante fundición de viruta reciclada y tratamiento con nanotubos de carbono.



Se procede a polarizar los componentes en una solución de etanol, facilitando la adhesión de las partículas de refuerzo nanométrico a la superficie de las virutas de aluminio. A continuación, estas virutas reforzadas se someten a aleaciones con nanomateriales especialmente seleccionados por su afinidad con hidrocarburos, buscando maximizar la capacidad de absorción de petróleo y sus derivados.

Las investigaciones preliminares indican que altas proporciones de nanotubos de carbono y otros nanomateriales incrementan notablemente la eficacia de la aleación, orientándose hacia el diseño final de esponjas metálicas capaces de retener contaminantes en derrames sobre cuerpos de agua. Este enfoque experimental aún está en fase de optimización, evaluando diferentes concentraciones y tipos de nanorefuerzos para determinar la mezcla más eficaz.

Los primeros resultados demuestran que la combinación de fundición de viruta, tratamiento nanométrico y conformación en esponja genera materiales con la porosidad y resistencia mecánica necesarias para el filtrado de afluentes hídricos. Asimismo, las pruebas iniciales de absorción de petróleo revelan un rendimiento prometedor, aportando una solución técnica y sostenible para mitigar el impacto de derrames en ecosistemas acuáticos y comunidades vulnerables.

4. Conclusiones

El empleo de esponjas metálicas elaboradas por irradiación de microondas ha demostrado ser un método eficaz para optimizar la selección de nanotubos de carbono como agentes de captura durante la fundición y recuperación de contaminantes en cuerpos de agua.

El proyecto alcanza un 90 % de avance, con significativos progresos en la fabricación de esponjas metálicas; actualmente se investiga la integración de nanomateriales en la aleación para maximizar su capacidad de capturar petróleo y derivados en derrames, abriendo así nuevas vías para una gestión más eficaz y sostenible de desastres ambientales en cuerpos de agua.

5. Referencias

- Ahmadian, H., Sallakhniknezhad, R., Zhou, T., & Kiahosseini, S. R. (2022). Mechanical properties of Al-Mg/MWCNT nanocomposite powder produced under different parameters of ball milling process. *Diamond and Related Materials*, *121*, 108755. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.diamond.2021.108755
- Anuar Abdul Muin, M., Sabihah Zakaria, N., & Nur Azella Zaini, S. (2022). Optimization of thin polystyrene waste embedded multiwall carbon nanotubes (MWCNT) film for solid electrolyte of flexible dye-sensitized solar cell (DSSC). *Materials Today: Proceedings*. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.690
- Gan, Z., Chen, G., Teng, X., Zhang, L., Zhu, L., & Leng, X. (2025). Microstructure and mechanical properties of electron beam welded joint of Nb refractory metal to 304 austenitic stainless steel. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, *130*, 107177. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2025.107177
- Hiremath, A. (2020). Effect of volumetric heat capacity of chill material on the hardness and thermal diffusivity of Al6061-quartz composite. *Materials Today: Proceedings*, *28*, 2241–2246. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.535
- Jain, H., Gupta, G., Mondal, D. P., & Pandey, A. (2022). An effective process to reinforced open cell 316LSS foams with MWCNT for improving biocompatibility. *Materials Chemistry and Physics*, *288*, 126353. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.126353
- Mohan, S., Dinesha, P., & Aiswarya, V. (2022). Synergetic influence of hydrogen peroxide emulsification and MWCNT nanoparticles to reduce engine exhaust emissions using B20 biodiesel blend. *International Journal of Hydrogen Energy*, *47*(51), 21863–21877. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.05.016
- Narayana, A. L., Venkataprasad, G., Praveen, S., Ho, C. W., Kim, H. K., Reddy, T. M., Julien, C. M., & Lee, C. W. (2022). Li2TiO3-MWCNT nanocomposite electrodes for determination of dopamine in electrochemical sensing platform. *Sensors and Actuators A: Physical*, *341*, 113555. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sna.2022.113555
- Sarath Chandra Reddy, G., Manjunath, L. H., & Manjunath, G. K. (2022). Development of Al 6061 MWCNT MMC processed by Multi-Directional Forging. *Materials Today: Proceedings*, *54*, 196–198. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.291
- Song, M., Kalsar, R., Miller, C., Overman, N., Johnson, K. I., Roosendaal, T., Lavender, C., & Joshi, V. V. (2022). Correlation between Interface Microstructure and Bond Strength of Al6061/Al6061 HIP-Bonded Plates for Fuel Cladding Application. *Materialia*, *23*, 101458. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mtla.2022.101458
- Swargo, S., & Mia, S. (2025). Reinforcing carbon nanotubes (CNT) into aluminum powder matrix as

a nanocomposite coating with enhanced properties. *Next Materials*, *8*, 100551. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nxmate.2025.100551

- Xi, L., Lu, Q., Wang, R., & Feng, L. (2022). Effect of carbon nanotubes on the microstructure and tribological properties of in situ synthesized MWCNTs/Ti6Al4V composites fabricated by Selective laser melting. *Optics & Laser Technology*, *153*, 108176. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2022.108176
- Xu, T., Ma, X., Wu, C., Zhang, J., Ke, W., & Yang, M. (2025). Comprehensive regulation of carbon nanotubes on laser welded joints of aluminum alloy: From morphology, solidification, microtexture to properties. *Journal of Materials Processing Technology*, *338*, 118793. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2025.118793

Sobre los autores

- **Naren Yesith Pérez Rangel**: Ingeniero Mecánico, Especialista en gestión de mantenimiento industrial, Docente de aula de la I. E Puerto Santander, Coordinador del grupo de investigación INGAP y semillero de investigación DETIMEC. nperezr@ufpso.edu.co
- **Éder Norberto Flórez Solano**: Ingeniero Mecánico, Magíster en Ingeniería Mecánica, Doctor en ingeniería de Universidad Pontificia Bolivariana. Docente de Planta de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. enflorezs@ufpso.edu.co
- **Edwin Edgardo Espinel Blanco**: Ingeniero Mecánico, Magíster en Ingeniería Mecánica, Doctor en ingeniería de Universidad Pontificia Bolivariana. Docente de Planta de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. eeespinelb@ufpso.edu.co

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2025 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)