

La importancia de los procesos de soldadura en aleaciones ligeras de aluminio y aluminio-litio para la electromovilidad

N. Alcantar-Mondragón^{a,b*}, F. Reyes-Calderón^b, I. Alfonso-López^a

^aInstituto de Investigaciones en Materiales, Unidad Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Morelia, 58190, México.

^bDepartamento de Metal Mecánica, Posgrado en Metalurgia. Doctorado en Ciencias en Ingeniería, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Morelia, Av. Tecnológico 1500, Morelia, Michoacán 58120, México.

ABSTRACT

Electromobility has increased the use of lightweight aluminum and aluminum-lithium alloys in the automotive industry due to their high strength-to-weight ratio, recyclability, and contribution to energy efficiency. However, the structural performance and safety of electric vehicles depend directly on the welding processes used in the manufacture of critical components such as chassis and battery trays. This informative article analyzes the relevance of gas tungsten arc welding (GTAW) and laser welding in joining these alloys. The main metallurgical challenges associated with aluminum welding are discussed, including porosity, hot cracking, and heat input control, as well as the technological strategies developed to mitigate them. Finally, the social impact of these processes is highlighted, as they enable lighter, safer, and more sustainable structures, contributing to the reduction of emissions, increased vehicle safety, and the widespread adoption of electric mobility.

ARTÍCULO DIVULGATIVO



Recibido 20 octubre, 2025
Revisado 05 diciembre, 2025
Aceptado 30 diciembre, 2025

KEYWORDS

Aluminum, Lithium, Welding process

Introducción

La transición hacia la electromovilidad ha incrementado notablemente el uso de aleaciones ligeras de aluminio en la industria automotriz, debido a su excelente relación resistencia-peso, alta reciclabilidad y buena resistencia a la corrosión. Sin embargo, el verdadero desempeño estructural de estos materiales no depende solo de su composición química, sino también de la calidad de los procesos de soldadura empleados para integrarlos en componentes críticos como carrocerías, bastidores y bandejas de batería. Diversos estudios señalan que la soldadura es uno de los factores que más influyen en la confiabilidad y durabilidad de las estructuras de aluminio en vehículos eléctricos [1].

AUTOR DE CORRESPONDENCIA Nereyda Alcantar  nereyda.am@morelia.tecnm.mx  Departamento de Metal Mecánica, Posgrado en Metalurgia. Doctorado en Ciencias en Ingeniería, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Morelia, Av. Tecnológico 1500, Morelia, Michoacán 58120, México. Se puede acceder a los datos complementarios en línea en <https://doi.org/10.71103/ayz15v84>

© 2025 Los autores. Publicado por la Asociación Mexicana en Ciencias en Soldadura, Metalurgia e Ingeniería, A.C. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>), que permite la reutilización, distribución y reproducción sin fines comerciales en cualquier medio, siempre que la obra original esté debidamente citada y no sea alterada, transformada o construida de ninguna manera. Los términos en los que se ha publicado este artículo permiten la publicación del Manuscrito Aceptado en un repositorio por parte del autor o con su consentimiento.

Las aleaciones de aluminio presentan retos metalúrgicos importantes durante la soldadura, como su alta conductividad térmica, la presencia de una capa superficial de óxido estable (Al_2O_3) y su susceptibilidad a defectos como la porosidad y la fisuración en caliente, especialmente en las aleaciones endurecibles por precipitación (series 6xxx y 7xxx). Estas características obligan a seleccionar cuidadosamente el proceso de soldadura y los parámetros térmicos para evitar degradación de propiedades mecánicas y distorsiones geométricas, aspectos ampliamente documentados en la literatura científica [2].

Dentro de los procesos convencionales, la soldadura GTAW (Gas Tungsten Arc Welding o TIG) sigue siendo altamente relevante en la fabricación y reparación de componentes de aluminio para electromovilidad, especialmente en aplicaciones de bajo volumen o alta exigencia de calidad. El GTAW permite un control preciso del aporte térmico y del material de aporte, lo que resulta útil para soldar aleaciones de aluminio y aluminio-litio con geometrías complejas o espesores variables, aunque su baja productividad limita su uso en producción masiva [3].

En el contexto de las aleaciones aluminio-litio (Al-Li), el GTAW ha sido empleado principalmente en entornos aeroespaciales y de investigación, donde se busca preservar la integridad metalúrgica del material. Estudios reportan que, si bien es posible obtener cordones aceptables, el control del ciclo térmico es crítico para evitar pérdida de resistencia y formación de fases indeseables, lo que ha impulsado la búsqueda de procesos alternativos más estables para producción industrial [4]. Por su parte, la soldadura láser se ha convertido en una de las tecnologías clave para la electromovilidad debido a su alta densidad de energía, baja distorsión y elevada velocidad de proceso. En la fabricación de bandejas de batería y estructuras de aluminio extruido, el láser permite uniones largas y continuas con excelente repetibilidad, lo que resulta fundamental en líneas automatizadas de producción de vehículos eléctricos. Investigaciones recientes destacan su impacto positivo en la reducción de peso y tiempos de fabricación [5].

No obstante, la soldadura láser de aluminio no está exenta de desafíos, entre ellos la inestabilidad del keyhole, la formación de porosidad y la sensibilidad a holguras de ensamble. Para mitigar estos efectos, se han desarrollado estrategias como la modulación de potencia, el uso de oscilación del haz y el diseño avanzado del perfil del láser, lo cual ha demostrado mejoras significativas en la calidad del cordón en aplicaciones automotrices y de electromovilidad [6]. En el caso de las aleaciones Al-Li, la soldadura láser ofrece ventajas adicionales frente a procesos por arco, al reducir el tiempo de permanencia a alta temperatura y limitar la degradación microestructural. Estudios publicados en revistas de Elsevier muestran que, bajo condiciones controladas, es posible obtener uniones láser con propiedades mecánicas competitivas, aunque el control de la composición química y del material de aporte sigue siendo un aspecto crítico [7].

Desde una perspectiva industrial y social, el desarrollo y optimización de procesos de soldadura como GTAW y láser en aleaciones ligeras tiene un impacto directo en la seguridad de los vehículos eléctricos, la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental. Al permitir estructuras más ligeras y confiables, se contribuye a una mayor autonomía de los vehículos y a una reducción global de emisiones, reforzando el papel de la ingeniería de soldadura como un habilitador clave de la movilidad eléctrica moderna [1,5]. El uso eficiente de procesos como GTAW y soldadura láser permite fabricar estructuras más ligeras y seguras para vehículos eléctricos, lo que se traduce en una mayor autonomía, menor consumo energético y reducción de emisiones asociadas al transporte. Esto impacta positivamente en la calidad del aire y en la mitigación del cambio climático, beneficiando a la sociedad en su conjunto.

Procesos de soldadura bien controlados reducen defectos estructurales en componentes críticos como bandejas de batería y chasis, disminuyendo el riesgo de fallas durante la operación o en situaciones de impacto. Esto fortalece la percepción social de seguridad en la electromovilidad y favorece su adopción masiva. La implementación de tecnologías avanzadas de soldadura, como el láser y el perfeccionamiento del GTAW, fomenta la capacitación de ingenieros y técnicos, la transferencia de conocimiento entre academia e industria y la creación de empleos de alto valor agregado. Este ecosistema tecnológico fortalece la competitividad industrial y promueve un crecimiento económico con impacto social positivo.

Conclusiones

1. La optimización de los procesos de soldadura en aleaciones ligeras de aluminio y aluminio-litio contribuye directamente a una movilidad más sostenible y accesible.
2. La mejora de la calidad y la confiabilidad de las uniones soldadas incrementa la seguridad de los vehículos eléctricos y la confianza del usuario.
El desarrollo tecnológico en la soldadura impulsa la formación de talento, la innovación industrial y el empleo especializado.

Agradecimientos

El presente proyecto de investigación fue financiado por el Tecnológico Nacional de México. Las investigaciones de Francisco Reyes-Calderón y Nereyda Alcantar Mondragón fueron patrocinadas por los proyectos 21531.25-P y 22668.25-P, respectivamente. Los autores desean agradecer al Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Morelia, por el apoyo durante el proyecto. Los estudios de N. Alcantar-Mondragón fueron patrocinados por la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación-México) (BP-PA-20240527091519088-8173911).

Declaración de conflicto de interés

Los autores no informaron ningún posible conflicto de intereses relacionado a esta publicación

ORCID

N. Alcantar  <https://orcid.org/0000-0002-4658-5409>

F. Reyes  <https://orcid.org/0000-0002-2745-4833>

I. Alfonso  <https://orcid.org/0000-0001-7311-8614>

Referencias

- [1] Dada, M. et al. Recent advances in joining technologies of aluminum alloys. Springer – Journal of Materials Research and Technology, 2024.
- [2] Kou, S. Welding Metallurgy, 2nd ed. Elsevier, 2003.
- [3] Messler, R. Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy. Wiley / Elsevier, 2008.
- [4] Rioja, R.J., Liu, J. The evolution of Al-Li base products for aerospace and automotive applications. Elsevier – Metallurgical and Materials Transactions A, 2012.
- [5] Sun, T. et al. Challenges and opportunities in laser welding of high-strength aluminum alloys for battery tray structures. Elsevier – Procedia CIRP, 2020.
- [6] Katayama, S. Laser Welding: Fundamentals and Applications. Elsevier, 2013.
- [7] Cao, X. et al. Laser welding of aluminum-lithium alloys: microstructure and mechanical properties. Elsevier – Materials Science and Engineering A, 2019