

ALUMINIA®

No. 50, junio - septiembre 2025

ISSN 2992-8729

R
E
V
I
S
T
A

50 Ediciones Forjando Futuro: Innovación, Ciencia y Liderazgo en Aluminio



**La ciencia e Ingeniería de
Corrosión en la UANL**
de Dr. Facundo Almeraya Calderón

**Vinculación entre la industria y
la academia, 35 años de
trabajo conjunto**
de P. Zambrano Robledo, G. M. Hernández
Muñoz, O. Covarrubias Alvarado
y A.R. Rivas Velázquez

**Microestructura de la aleación
AlSi10Mg manufacturada mediante
fusión selectiva por láser**
de July Andrea Taborda Rios, Juan Daniel Trejos
Taborda, Arturo Juárez Hernández y Patricia
del C Zambrano Robledo

MARZYZ®



**LA EMPRESA
DE ALUMINIO
EN MÉXICO**

Editorial



Septiembre 2025

Querido Lector:

¡50 ediciones! Se dice fácil, pero engloba un trabajo enorme de años. Por lo que quisiera en esta editorial, resaltar y reconocer el trabajo de todos lo que en algún momento han pertenecido al **COMITÉ EDITORIAL IMEDAL**, a los que en algún momento han dedicado tiempo en escribir algún artículo, buscar articulistas, platicar e invitar a colegas a participar en nuestras ediciones, proponer nuevos temas, acercar a instituciones y lograr esa vinculación del instituto hacia ellas.

En esta nueva edición va con dedicación a quienes en estas primeras 50 ediciones han aportado su granito de arena para poder ver evolucionar nuestra revista **ALUMINIA**, y que sean muchas ediciones más...

En esta edición adicional agradecer y reconocer al Mtro. Javier Covarrubias por el acercamiento y coordinación con todos los articulistas que han escrito en esta edición. Javier muchas gracias por tu interés en que sigamos creciendo y alcanzando muchos más amantes de este tan valioso metal nuestro ALUMINIO.

Esta edición integra el trabajo de un gran equipo que nos muestra sus investigaciones y esperando que sean de utilidad para que conozcan lo que se está haciendo y en algún momento pueda ser implementado en la industria.

Como siempre esta edición refleja el esfuerzo de todo el equipo que conformamos **ALUMINIA**. Invitando como en cada edición a que nos compartas comentarios de los temas que podemos abordar en las siguientes ediciones.

Como siempre en **IMEDAL** ocupados preparando lo mejor de los eventos del aluminio para toda la industria y ya estamos más que listos para cerrar este 2025, hemos ya realizado **ALUMEXICO SUMMIT & EXPO 2025** en *Cintermex Monterrey* y ahora toca despedirnos en la **TRADICIONAL COMIDA DE FIN DE AÑO** ¿Ya lo agendaste? Te esperamos el *20 de Noviembre en La Hacienda de los Morales CDMX* **¡No te la puedes perder!**

¡Se cómplice de ALUMINIA!

Disfruta de esta entrega,

¡Que sea un deleite esta lectura!

¡Nos leemos en el futuro! En la edición 51 con más temas interesantes en materia de comercio exterior



CONSEJO DIRECTIVO

Ing. Eugenio Clariond Rangel
Presidente

CONSEJO EJECUTIVO

Propietario	Cargo	Suplente	Empresa
Eugenio Clariond Rangel Felipe Martínez Guajardo Marcelo Ortiz Vazquez Mauricio Morales Zambrano Mario Sergio Ramirez Zablah Limón Francisco Javier Ruiz Maldonado	Presidente Vicepresidente De Extrusión Vicepresidente De Die Castings Vicepresidente De Aluminio Plano Vicepresidente De Materias Primas Vicepresidente De Enlace Miembros	Gustavo Talancón Gómez Benjamín González Tovar Juan Morales Zambrano Alejandro de Jesús Martin Guerra Leonel Rivera Medina	CUPRUM INDALUM NEMAK GALVAPRIME ARZYZ FRACSA ALLOYS MÉXICO
Miguel Angel Luna Rodríguez Rodrigo Sanchez Revilla Artemisa Alba Aguilar	Tesorero Secretario Directora Ejecutiva		AZINSA ALUMINIO ALYEX ALUMINUM IMEDAL

CONSEJO DIRECTIVO

Propietario	Cargo	Suplente	Empresa
Carla Adriana Suárez Flores Jaime Puente Sánchez Arnulfo Muzquiz Cantú Carl Albert Grobrien Suárez Joaquín González Sánchez Hugo Gomez Sierra Jose Valencia Castrejón Fernando Elizondo Moran	Consejero Consejero Consejero Consejero Consejero Consejero Consejero Consejero	David Garza Herrera Ezequiel Vivas O'Connor Javier Alejandro Ruiz Alanis Carlos Eduardo Puente Tostado Rubén Mario Chávez González Victor Villalobos Ruiz Ivette Autrique Ruiz Susana Elizondo Anaya	VIALUTEK BOCAR SERVICIOS CUPRUM KLOECKNER SPECIALTY METALS DE MÉXICO GRUPO OCCIDENTE CONALUM PROMOTORA INDUSTRIAL GIM VASCONIA BRANDS

COMITÉ EDITORIAL IMEDAL

Artemisa C. Alba Aguilar
Felipe Soria Lugo
Inbar Bustani Cueto
José Ruiz Ayala
Karina Navarrete Nájera



ALUMINIA, año 17, No. 50, junio - septiembre 2025, es una publicación cuatrimestral editada por el Instituto Mexicano del Aluminio A.C., calle Francisco Petrarca, 133 Piso 9, Col. Polanco, Alcaldía Miguel Hidalgo, C.P. 11560, Tel: (55) 5531-7892, www.imedal.org, imedal@imedal.org Editor responsable: Ing. Artemisa Alba Aguilar. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2023-081817081400-102 otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: en trámite ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Directora Ejecutiva, Ing. Artemisa Alba Aguilar calle Francisco Petrarca, 133 Piso 9, Col. Polanco, Alcaldía Miguel Hidalgo, C.P. 11560, fecha de última modificación, 30 de septiembre de 2025.

Su opinión es muy importante para nosotros
Favor de dirigir sus sugerencias a: imedal@imedal.org

Los artículos publicados expresan la opinión del autor sin que esta tenga que coincidir con la del IMEDAL sobre el tema tratando cuando se exprese la opinión del IMEDAL se especificará claramente.

-Prohibida cualquier reproducción sin autorización expresa de los editores o autoridades.
-Distribución IMEDAL: Todos los derechos reservados



En **IMEDAL**, reconocemos y valoramos la visión y el compromiso de quienes hacen posible cada edición de nuestra revista.

En esta **Edición 50 de ALUMINIA**, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a **M. en C. Javier Covarrubias García**, por facilitar el contacto con la **Dra. Patricia del C. Zambrano**, y a ella por su valiosa participación en esta edición, así como por haber hecho posible la colaboración con la universidad, la **UANL**.

Su esfuerzo conjunto ha contribuido de manera significativa a difundir el conocimiento técnico y científico del aluminio, fortaleciendo a nuestra comunidad y generando un impacto duradero.



¡Gracias por ser parte fundamental de este logro!

Carta del Presidente



Estimados industriales asociados al IMEDAL:

Estamos en la recta final del año y lo único que tenemos claro es que este 2025 será un año que seguramente pasará a la historia como aquel que no queremos recordar. El cambio drástico en las reglas del comercio internacional que conocimos y respetamos por décadas, fue de manera unilateral y de forma abrupta, alterado por la nueva administración de EE. UU. La aplicación de aranceles en múltiples sectores y productos importados en EE. UU. de todas partes del mundo, sumados a la aplicación de un arancel del 50% a los productos de aluminio contenidos en la cláusula 232, incluyendo a México y Canadá, nos tiene inmersos en un círculo vicioso, complejo y volátil que ha generado una gran incertidumbre, provocando un estancamiento de la economía mexicana y un claro freno de la inversión.

Este entorno ha generado que una gran cantidad de compañías, para adaptarse y sobrevivir tuvieran que tomar decisiones muy difíciles; entre las cuales destacan la reducción del personal, la cancelación de inversiones de crecimiento y todo tipo de gastos no esenciales. A pesar de lo anterior, en el Instituto Mexicano del Aluminio nos hemos puesto a trabajar y con la ayuda del despacho (IQOM), estamos apoyando a la Secretaría de Economía para buscar soluciones que eviten este gran daño que nuestra industria está enfrentando. Hemos puesto sobre la mesa propuestas que esperamos que en algún momento puedan prosperar en eliminar o cuando menos disminuir, el impacto del arancel al aluminio y otros productos relacionados a nuestro sector.

Hoy pareciera que los aranceles han llegado para quedarse y será hasta la revisión del Tratado de libre comercio (TMEC) que se pueda tener un espacio para lograr algunos acuerdos en beneficio de nuestra industria. Adicional al trabajo arduo con nuestras autoridades, hemos iniciado la formación de un Comité Trilateral apoyado por las asociaciones de aluminio de EE. UU. y Canadá con el objetivo de fortalecer la cooperación y desarrollo de la industria del aluminio en la región.

El Comité Trilateral enfocará su trabajo en diseñar o ajustar, de manera conjunta, estrategias y políticas públicas que permitan: un libre comercio justo del aluminio, mecanismos para monitorear prácticas desleales, armonizar regulaciones, así como promover el dialogo, la inversión conjunta en innovación y producción sustentable.

Estamos seguros de que una coordinación sólida de la región es clave para posicionar y mejorar la competitividad, complementariedad y la integración entre los tres países. Estoy convencido que el camino será largo, pero al final saldremos adelante. En el inter, tenemos que fortalecer nuestra interacción ayudándonos entre todos como empresarios y amigos por el bien de nuestro País y futuras generaciones.

Saludos Cordiales.



Ing. Eugenio Clariond Rangel
Presidente IMEDAL

CONTENIDO

3 Carta Editorial

Análisis de la influencia de los soportes en la fabricación por manufactura aditiva de componentes desarrollados con la aleación AISi10Mg

Alfaro Hinojosa, Rojas Rosales, López García, Zambrano Robledo, Rojo Rodríguez y Ramírez Rodríguez

32

4 Consejo Directivo

6 Carta del Presidente

8 Últimas Noticias

Fabricación de soporte mediante manufactura aditiva utilizando diseño generativo

Saucedo Castañeda, Santiago Robles, Trujillo Guerra, Cavazos López, Santana Delgado y Zambrano Robledo

40

18 Empresas Asociadas

La ciencia de la Ingeniería de Corrosión en la UANL
Dr. Facundo Almeraya Calderón

46

22 **Microestructura de la aleación AISi10Mg manufacturada mediante fusión selectiva por láser**
July Andrea Taborda Ríos, Juan Daniel Trejos Taborda, Arturo Juárez Hernández y Patricia del C Zambrano Robledo

Comportamiento mecánico de Aluminio 6061 manufacturado mediante fusión selectiva por láser
Catalina Jaramillo Isaza, P. Zambrano Robledo y O. López Botello

53

29 **Vinculación entre la industria y la academia, 35 años de trabajo conjunto**
P. Zambrano Robledo, G. M. Hernández Muñoz, O. Covarrubias Alvarado y A.R. Rivas Velázquez

Reseña: ALUMEXICO 2025

62

Toys 76

ÚLTIMAS NOTICIAS

EN MÉXICO Y EN EL MUNDO

¿Quién dominará la industria automotriz en 2026? Esto revelan los datos

El caso de China es excepcional. En los últimos cinco años, su industria automotriz ha consolidado un ecosistema completo de manufactura, innovación y comercialización



La industria automotriz atraviesa una transformación estructural sin precedentes. Factores como la electrificación, la automatización, los cambios en la demanda regional y los conflictos comerciales, a partir de los aranceles impuestos por Donald Trump en Estados Unidos, están redefiniendo quiénes lideran el mercado global de automóviles, vehículos y carros. El más reciente informe de Statista, titulado "Trends in der Automobilindustrie", ofrece una radiografía clara de cómo se moverán las fichas en este tablero de alta competencia hacia 2026.

¿Cuántos vehículos se venderán en el mundo en 2026?

De acuerdo con el dossier de Statista, las ventas de vehículos ligeros alcanzaron los 78 millones de uni-

dades en 2024, y se espera que la cifra ascienda a 80 millones en 2026. Sin embargo, este crecimiento es desigual y está impulsado principalmente por la región asiática, con un papel protagónico de China.

Proyecciones globales por región:

- Asia-Pacífico: 41.9 millones de unidades estimadas en 2026.
- Norteamérica: alrededor de 19.1 millones.
- Europa Occidental: 11.8 millones.

Estas tres regiones concentran la mayor parte del mercado y serán determinantes para definir la agenda del futuro automotor.

China lidera el crecimiento de la industria automotriz. El caso de China es excepcional. En los últimos cinco años ha consolidado un ecosistema completo de manufactura, innovación y comercialización de vehículos eléctricos (EVs), lo que le ha permitido convertirse en el país con mayor número de autos eléctricos en circulación: más de 31 millones de unidades en 2024.

Además:

- China controla más del 50% del parque automotriz eléctrico global.
- Las marcas locales como BYD y Xiaomi están ganando participación no solo en su país, sino también en mercados emergentes.
- Su infraestructura de recarga crece a gran velocidad, con planes de expansión a más de 15 millones de cargadores públicos y privados hacia 2030.

No se trata solo de volumen, sino de integración tecnológica, apoyo gubernamental y un consumidor joven y conectado que adopta con rapidez las nuevas tecnologías.

¿Estados Unidos podrá competir en un mercado cada vez más electrificado?

Estados Unidos mantiene una posición sólida, con ventas proyectadas de más de 19 millones de vehículos ligeros en 2026. Sin embargo, enfrenta una transición más lenta hacia la electrificación:

- Los autos híbridos y eléctricos aún representan un porcentaje menor del total de unidades vendidas.
- Las marcas estadounidenses como Ford y GM han invertido en nuevos modelos eléctricos, pero sin lograr aún el liderazgo en volumen que tienen sus pares chinos.
- Tesla, la excepción, se mantiene como el jugador más importante en términos de capitalización bursátil global, superando el billón de dólares en 2025.

No obstante, el rezago en infraestructura de carga, los altos costos de baterías y las tensiones políticas internas respecto al cambio climático limitan la adopción masiva de vehículos eléctricos en el corto plazo.

Europa y la industria automotriz en 2026

Europa sigue siendo una región clave por su capacidad de innovación y su marco regulatorio, que impulsa la transición verde. Alemania, Francia e Italia mantienen un liderazgo tecnológico, aunque su mercado no crece al mismo ritmo que Asia.

Los datos de Statista prevén perfilar algunas tendencias en el llamado Viejo Continente:

- *La Unión Europea proyecta una eliminación progresiva de los autos de combustión interna para 2035.*
- *Volkswagen, BMW y Mercedes-Benz encabezan los desarrollos en electrificación, software de conducción autónoma y funciones conectadas.*
- *A pesar de ello, los consumidores europeos muestran un escepticismo creciente frente a los precios altos de los EVs y las funciones digitales "on demand".*

El desafío para Europa será mantener su reputación de calidad y tecnología, sin perder terreno ante marcas emergentes más agresivas en precio.

¿Qué impacto tienen los aranceles en la competencia automotriz?

Uno de los factores que más influirá en la geografía del mercado automotriz son los aranceles y las restricciones comerciales, especialmente entre China, Estados Unidos y la Unión Europea.

- La UE ha impuesto aranceles adicionales a los vehículos eléctricos chinos para proteger a sus fabricantes locales, argumentando competencia desleal por subsidios estatales.
- Estados Unidos también ha tomado medidas similares en el marco de su política proteccionista, limitando la importación de vehículos chinos.

Estas decisiones buscan frenar la expansión de marcas como BYD o Great Wall Motors en el mercado occidental, pero también podrían encarecer el precio de los autos eléctricos, ralentizando su adopción global.

¿Qué pasará con los autos híbridos?

En medio de la electrificación, los autos híbridos siguen jugando un rol importante como tecnología de transición. Según Statista:

- Para 2024, el 66% de los vehículos vendidos aún utiliza motor a gasolina.
- Los híbridos representan una alternativa viable para mercados con infraestructura limitada o consumidores preocupados por la autonomía de los EVs.

Este tipo de unidades tiene mayor aceptación en regiones como América Latina, Japón o partes de Europa del Este, donde el proceso de transformación será más gradual.

¿Qué países marcarán la pauta en innovación automotriz?

Más allá del volumen de ventas, el liderazgo en la industria automotriz del futuro dependerá también de la capacidad para innovar en áreas como software, inteligencia artificial y ciberseguridad.

- Alemania lidera en desarrollo de sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS).
- China avanza con fuerza en la implementación de IA y asistentes de voz inteligentes, tanto en vehículos como en servicios conectados.
- Estados Unidos, a través de Tesla, lidera el desarrollo de tecnologías de conducción autónoma y gestión de datos vehiculares.

¿Quién ganará la carrera automotriz en 2026?

China será el país dominante de la industria automotriz en 2026, impulsado por su liderazgo en vehículos eléctricos, autos híbridos y adopción tecnológica. Esto en términos de volumen y crecimiento acelerado.

Estados Unidos mantendrá su relevancia gracias a Tesla y a un mercado interno fuerte, mientras que Europa jugará un papel clave como referente en calidad, regulación ambiental y software.

Sin embargo, el tablero está en movimiento. Factores como los aranceles, el acceso a materias primas estratégicas y el comportamiento de los consumidores serán claves para determinar quiénes logran mantener su posición y quiénes se quedarán atrás.

Para saber más: <https://www.merca20.com/quien-dominara-la-industria-automotriz-en-2026-esto-revelan-los-datos/>

Aranceles a autos asiáticos, oportunidad para fortalecer la industria mexicana: Clúster Automotriz

El director general del Clúster Automotriz en San Luis Potosí afirmó que la propuesta inicial de tarifas a vehículos provenientes de Asia debe revisarse a fondo



La reciente iniciativa de imponer aranceles a los automóviles provenientes de países asiáticos, particularmente de China, ha abierto un amplio debate dentro del sector automotriz.

Para Luis Alberto González, director general del Clúster Automotriz, esta medida representa tanto retos como áreas de oportunidad que, de concretarse, fortalecerán el consumo de vehículos fabricados y comercializados en territorio mexicano.

González señaló que se trata de un planteamiento en fase preliminar, el cual deberá discutirse primero en comisiones, después en los plenos y finalmente en los congresos estatales.

“Es un primer borrador que puede perfeccionarse, sobre todo en ciertas fracciones arancelarias, pero en términos generales está encaminado a consolidar el mercado interno y a incentivar la compra de autos hechos en México”, apuntó.

El directivo agregó que el tema de las autopartes no puede quedar fuera de la discusión. Explicó que algunos componentes específicos requieren ajustes en las tarifas propuestas, por lo que se trabaja junto con organismos nacionales y legisladores en la revisión detallada del esquema.

“Lo que buscamos es que el impacto sea todavía más favorable para la cadena automotriz completa”, dijo.

Respecto a las políticas arancelarias implementadas en Estados Unidos, González admitió que ya han tenido consecuencias directas en la industria mexicana ya que desde principios de este año, varias compañías han reducido o cancelado proyectos de ampliación, lo que se ha reflejado en menos contrataciones de personal.

“La incertidumbre detiene decisiones de inversión, y eso se nota en la generación de empleos”, reconoció.

La reciente iniciativa de imponer aranceles a los automóviles provenientes de países asiáticos, particularmente de China, ha abierto un amplio debate dentro del sector automotriz.

Para Luis Alberto González, director general del Clúster Automotriz, esta medida representa tanto retos como áreas de oportunidad que, de concretarse, fortalecerán el consumo de vehículos fabricados y comercializados en territorio mexicano.

González señaló que se trata de un planteamiento en fase preliminar, el cual deberá discutirse primero en comisiones, después en los plenos y finalmente en los congresos estatales.

Play Video

“Es un primer borrador que puede perfeccionarse, sobre todo en ciertas fracciones arancelarias, pero en términos generales está encaminado a consolidar el mercado interno y a incentivar la compra de autos hechos en México”, apuntó.

El directivo agregó que el tema de las autopartes no puede quedar fuera de la discusión. Explicó que algunos componentes específicos requieren ajustes en las tarifas propuestas, por lo que se trabaja junto con organismos nacionales y legisladores en la revisión detallada del esquema.

“Lo que buscamos es que el impacto sea todavía más favorable para la cadena automotriz completa”, dijo.

Respecto a las políticas arancelarias implementadas en Estados Unidos, González admitió que ya han tenido consecuencias directas en la industria mexicana ya que desde principios de este año, varias compañías han reducido o cancelado proyectos de ampliación, lo que se ha reflejado en menos contrataciones de personal.

“La incertidumbre detiene decisiones de inversión, y eso se nota en la generación de empleos”, reconoció.

No obstante, confió en que las negociaciones que actualmente se desarrollan concluyan durante octubre, para que en noviembre se puedan anunciar acuerdos que den certeza al sector.

Finalmente, el director automotriz, destacó que se ha logrado cerrar acuerdos comerciales con países como Japón y con la Unión Europea, aunque con márgenes menores.

“Tenemos confianza en que el resultado para nuestro país será mucho más favorable. La industria en San Luis Potosí y en todo México está expectante y con una visión positiva para lo que viene”, concluyó.

Para saber más: <https://sanluis.eluniversal.com.mx/economia-y-negocios/aranceles-a-autos-asiaticos-oportunidad-para-fortalecer-la-industria-mexicana-cluster-automotriz/>

Así se convierten 9 millones de toneladas de residuos automovilísticos en aleación de aluminio para vehículos eléctricos de próxima generación

Imagine un mundo donde los coches chatarra ya no se acumulen en vertederos, sino que contribuyan a la fabricación de los vehículos eléctricos del futuro. En eso se ocupa un equipo de investigadores en Europa.



Stefan Pogatscher y su equipo han sido pioneros en un nuevo y apasionante proceso para reciclar chatarra

de automóviles (que asciende a entre 7 y 9 millones de toneladas al año en Europa) y transformarla en una aleación de aluminio de alta calidad perfecta para construir una variedad de componentes para nuevos vehículos eléctricos.

¿Cómo se llevará a cabo esta nueva innovación?

El secreto de esta innovadora solución reside en preservar una mezcla diversa de aleaciones presentes en los coches de desguace para crear un producto superior. Normalmente, al desmantelar un coche, materiales como el aluminio, los plásticos, las telas y el acero se separan para su reciclaje individual. El reto reside en que los coches pueden contener hasta 40 aleaciones de aluminio diferentes, lo que dificulta su clasificación eficiente. Lo que no se puede separar suele fundirse y transformarse en bloques de motor para motores de combustión tradicionales.

Pero el método de Pogatscher reinventa este proceso, liberando todo el potencial de estas aleaciones mixtas de aluminio.

Pogatscher y su equipo han desarrollado un innovador método de reciclaje que consiste en fundir de una sola vez toda la chatarra de aluminio de un coche viejo, lo que permite una mezcla mucho más amplia de aleaciones e impurezas que los métodos tradicionales. Esto da como resultado una placa frágil de material que, como explica Pogatscher, se parece más a la cerámica que al metal.

El nuevo material es más potente.

Sin embargo, el equipo descubrió que al recalentar este material a unos 500 °C durante 24 horas, se puede alterar la estructura del metal, haciéndolo más resistente y maleable. «El producto final posee propiedades mecánicas que, en algunos casos, superan las de las aleaciones forjadas de fabricación primaria», afirma.

El nuevo material posee una resistencia impresionante, comparable a las aleaciones automotrices

convencionales, y podría utilizarse para fabricar diversos componentes de automóviles, como chasis y bastidores. Además, puede producirse mediante procesos industriales existentes, lo que lo hace inmediatamente escalable. Si bien Pogatscher reconoce que convencer al sector manufacturero, tradicionalmente conservador, para que adopte esta nueva aleación a gran escala será un desafío, el equipo ya está en conversaciones con socios de la industria para hacer realidad este avance.

Geoffrey Scamans, de la Universidad Brunel de Londres, reconoce que, si bien la idea es “muy interesante”, se requieren más investigaciones para demostrar que la nueva aleación puede cumplir con los rigurosos estándares de pruebas necesarios para su uso en piezas de carrocería de automóviles, por ejemplo.

Reducción significativa de las emisiones de CO2

Este innovador proceso tiene el potencial de evitar millones de toneladas de residuos al año y reducir significativamente las emisiones de carbono asociadas a la producción de aluminio virgen. Históricamente, gran parte del aluminio procedente de vehículos de desguace se ha reciclado en aleaciones de baja calidad para bloques de motor en vehículos de combustión tradicionales.

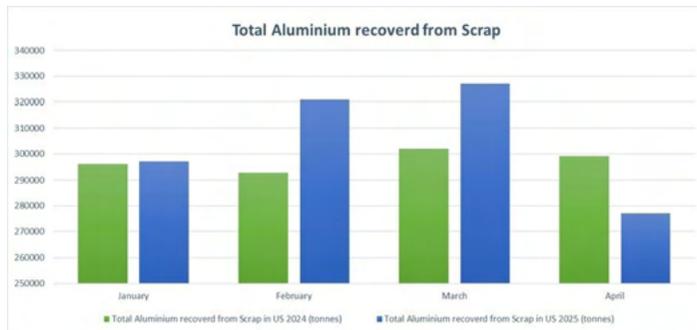
Sin embargo, a medida que la industria automotriz pasa a fabricar exclusivamente vehículos eléctricos, ya no existe demanda de esta chatarra de menor calidad.

Sin una solución práctica, el mundo se enfrenta a la amenaza de acumular chatarra inutilizable, lo que contribuiría a millones de toneladas de emisiones de carbono adicionales derivadas de la producción de nuevo aluminio, advierte Stefan Pogatscher de la Universidad de Leoben, Austria.

<https://www.alcircle.com/news/heres-how-to-turn-9mt-of-car-waste-into-aluminium-alloy-for-next-gen-evs-115347>

Chatarra de aluminio de EE.UU.: ¿serán suficientes la creciente recuperación y las importaciones?

El mercado estadounidense del aluminio está atravesando un período de dinámica cambiante, a medida que las tasas de recuperación de chatarra, el aumento de los volúmenes de importación y las consideraciones de suministro a largo plazo convergen para influir en su trayectoria.



En los primeros cuatro meses de 2025, Estados Unidos recuperó 1,222 millones de toneladas de aluminio a partir de chatarra, un 2,7 por ciento más que los 1,19 millones de toneladas del mismo período de 2024.

Abril de 2025 marcó una caída en la recuperación de chatarra de aluminio de EE. UU., cayendo un 7,4 por ciento a 277.000 toneladas desde 299.000 toneladas un año antes.

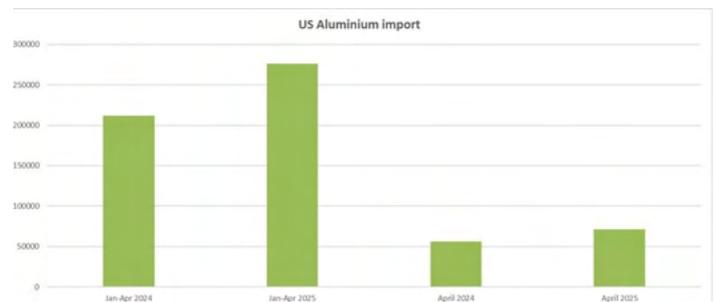
Esta caída se produjo tras dos meses fuertes: marzo registró un aumento del 8,3 %, hasta las 327.000 toneladas, mientras que febrero se disparó un 9,6 %, hasta las 321.000 toneladas. Enero había comenzado el año con un ritmo estable, con 297.000 toneladas, solo un 0,3 % más que en enero de 2024.

Las importaciones de aluminio también experimentaron un notable repunte. Entre enero y abril de 2025, Estados Unidos importó alrededor de 276.000 toneladas, aproximadamente un 30 % más que las 212.000 toneladas importadas en el mismo período de 2024.

Solo en abril se importaron 71.100 toneladas, un 27 % más que las 55.900 toneladas del año anterior.

Durante todo el año 2024, las importaciones de chatarra de aluminio ascendieron a 701.000 toneladas.

Canadá mantuvo su posición como principal proveedor en 2025, incrementando sus envíos en 13.000 toneladas, alcanzando las 142.000 toneladas. México registró un crecimiento aún mayor, con exportaciones a Estados Unidos que aumentaron de 64.600 toneladas a 91.900 toneladas, un aumento de 27.300 toneladas.



Producción de chatarra

La producción de chatarra en Estados Unidos ha crecido de forma sostenida durante los últimos cuatro años, registrándose ganancias tanto en las categorías de chatarra antigua como nueva.

El aluminio recuperado de la producción de chatarra vieja aumentó de 1.420 mil toneladas en 2020 a 1.520 mil toneladas en 2021, bajó ligeramente a 1.480 mil toneladas en 2022, luego repuntó a 1.560 mil toneladas en 2023 y alcanzó las 1.600 mil toneladas en 2024. El aluminio recuperado de la nueva producción de chatarra siguió una trayectoria ascendente más sólida, pasando de 1.630 mil toneladas en 2020 a 1.780 mil toneladas en 2021 y 1.920 mil toneladas en 2022. Después de un modesto retroceso a 1.870 mil toneladas en 2023, la producción alcanzó un récord de 2.000 mil toneladas en 2024.

El inventario de chatarra en abril de 2025 fue un 18,9 % superior al del año anterior, gracias a las políticas arancelarias que eximen las importaciones de chatarra de los derechos aplicados al aluminio primario.

Esto ha convertido la chatarra en una opción cada vez más rentable para los fabricantes nacionales.

Expansión de capacidad frente a limitaciones de suministro

Estados Unidos está expandiendo agresivamente su capacidad de fundición, con al menos 14 nuevas inversiones anunciadas desde 2022. Una vez que estén plenamente operativos entre 2028 y 2029, estos proyectos añadirán 2,75 millones de toneladas de capacidad, elevando la demanda nacional anual de chatarra de aluminio a 6,5 millones de toneladas. Sin embargo, tras considerar las importaciones y exportaciones, se prevé un déficit de suministro de alrededor de 3,5 millones de toneladas, según la Asociación del Aluminio.

La creciente competencia internacional podría intensificar esta brecha. China, que ya es un importante consumidor mundial de chatarra, está ampliando su capacidad de refundición, que se prevé triplicará a la de Estados Unidos en los próximos años.

El riesgo se agrava por el hecho de que una gran parte de la chatarra estadounidense se exporta al extranjero. En 2024, se exportaron más de 2,4 millones de toneladas, un 17 % más que en 2023, incluso con una demanda interna reducida.

La unidad de aluminio verde

La industria estadounidense del aluminio se apoya fuertemente en el reciclaje de chatarra como eje central de su estrategia de "aluminio verde". Producir aluminio a partir de chatarra reciclada requiere aproximadamente un 95 % menos de energía y emite muchos menos gases de efecto invernadero que la producción primaria a partir de mineral.

Este cambio está siendo impulsado por sectores como la automoción, la aeroespacial, el embalaje y la construcción, que se encuentran bajo una creciente presión para cumplir con los objetivos de sosteni-

bilidad y reducir costes. Al recurrir más al aluminio secundario, los fabricantes pueden alinearse con los objetivos ESG corporativos y, al mismo tiempo, asegurar una cadena de suministro con bajas emisiones de carbono.

<https://www.alcircle.com/news/us-aluminium-scrap-will-growing-recovery-and-imports-be-enough-115084>

Ven complejo ajuste del arancel al aluminio para que EU y México lleguen a una negociación

Eugenio Clariond Rangel consideró que la imposición del impuesto del 50% al aluminio les ha afectado y esta afectación es diferente, dependiendo del producto.



Eugenio Clariond Rangel, presidente del Instituto Mexicano del Aluminio (Imedal), reconoció que el tema del arancel al aluminio bajo la clausura 232 será complejo y largo el camino para que Estados Unidos y México lleguen a una negociación, pero confía en que podrán lograrlo haciendo bloque con sus pares de Estados Unidos y Canadá.

“Es un tema temporal (el 50 por ciento de arancel al aluminio), es muy complejo, se va a llevar en resolverlo, pero estamos en eso. Estamos alineando los intereses tanto de la asociación de la industria de aluminio en Estados Unidos como la de aquí”, indicó. Al inaugurar el Congreso Alumexico 2025 en Cintermex, detalló que buscarían establecer un comité trilateral donde se fijen compromisos y metas.

“Lo ideal sería que se exente a México como ocurrió en el primer periodo del gobierno de Donald Trump, sin embargo, para ser muy honestos, veo difícil que llegemos a ese nivel, pero lo que esperaríamos que del 50 por ciento bajemos a 10 o 15 por ciento o lo que se pueda”, subrayó. Consideró que la imposición de un impuesto del 50 por ciento al aluminio les ha afectado y esta afectación es diferente, dependiendo del producto.



“No esperamos que se registren cambios o reducciones; que vaya a haber un trato sustancial distinto tanto para México y Canadá, así se quedará, dado que le ha funcionado a Estados Unidos por la vía de la recaudación”. Estimó que para el 2026, el precio del aluminio será entre 200 a 300 dólares más alto a lo que hoy en día está, es decir, entre dos mil 300 y dos mil 800 dólares. <https://www.milenio.com/negocios/ajuste-arancel-aluminio-sera-complejo-eu-mexico-llegue-negociacion>

<https://www.milenio.com/negocios/ajuste-arancel-aluminio-sera-complejo-eu-mexico-llegue-negociacion>

México, el más vulnerable con extensión de aranceles en acero y aluminio

El gravamen de 50% vigente desde el 18 de agosto impacta a exportaciones mexicanas con un valor anual por más de 44,000 millones de dólares, lo que supera los envíos de China o Canadá.

México es el país más afectado por los nuevos aranceles aplicados por Estados Unidos a más de 400 productos derivados del acero y aluminio desde el pasado 18 de agosto, de acuerdo con un análisis de la consultoría Iqom.

La medida impacta a importaciones estadounidenses por 209,397 millones de dólares desde todo el mundo, considerando datos de todo 2024, con México representando 21% (44,007 millones de dólares).

Este monto de México equivale a 9% de las importaciones estadounidenses totales de productos mexicanos.

A partir del 18 de agosto de 2025, Estados Unidos aplica aranceles de 50% sobre el contenido de acero y aluminio de 407 bienes derivados de uno o ambos metales, en virtud de la Sección 232 de la Ley de Expansión Comercial de 1962.

El Departamento de Comercio puso como regla que el contenido no acero/no aluminio de ese listado de bienes está sujeto a aranceles recíprocos. Al mismo tiempo, los aranceles 232 no se acumulan con aranceles recíprocos ni con aranceles 232 de otros sectores (excepto entre el acero y el aluminio).

Además estableció como excepciones a los bienes derivados de acero cuyo contenido de acero se haya procesado en otro país a partir de acero fundido y vertido en Estados Unidos, así como bienes derivados del

aluminio cuyo aluminio utilizado en su manufactura haya sido fundido y moldeado en Estados Unidos.

En 2024, Estados Unidos importó desde México 30,033 millones de dólares de la lista de derivados de acero, 10,445 millones de dólares de derivados de aluminio y 3,529 millones de derivados de acero y aluminio juntos, lo que representa 20, 37 y 11% de las compras externas totales estadounidenses, en ese orden.

Entre los productos derivados de acero afectados están perfiles, tubos, accesorios de tubería, componentes de maquinaria y automoción (por ejemplo, partes de vehículos de motor, sistemas de aire acondicionado, bombas de calor) y electrodomésticos como refrigeradores, congeladores, lavadoras, secadoras, lavavajillas, estufas/hornos, trituradores de residuos alimentarios y estanterías de alambre soldado.

Dentro de los derivados de aluminio destacan: latas, recipientes para gas, partes hidráulicas, transformadores, cables eléctricos, mobiliario con estructura de aluminio, conductores eléctricos aislados y herramientas electromecánicas.

México a la cabeza

Del total de importaciones estadounidenses de derivados de acero en 2024, por 181,258 millones de dólares, México tuvo una participación como origen de 19%, seguido de China (15%) y Canadá (11 por ciento).

A su vez, de todas las importaciones estadounidenses de derivados de aluminio en 2024, por 59,648 millones de dólares, México aportó 23%, por encima de China (16%) y Canadá (8 por ciento).

En estas dos participaciones de mercado, las importaciones estadounidenses desde México suman 47,536 millones de dólares, porque en cada una se suman los productos que están hechos con los dos derivados de ambos metales, lo que distorsiona al alza el valor

si se saca el total de las dos clasificaciones. Lo mismo ocurre para el resto de los países.

El gobierno de México mantiene negociaciones con Estados Unidos para tratar de llegar a un acuerdo sobre el conjunto de aranceles que impuso el presidente Donald Trump en su segundo mandato, que incluye autos, ciertas autopartes, acero, aluminio, cobre y los productos que no cumplen con las reglas de origen del Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC).

Entre otros argumentos, Estados Unidos ha planteado que requiere imponer aranceles por seguridad nacional, mientras que expertos en comercio internacional consideran que esto viola las reglas del T-MEC y de la Organización Mundial de Comercio (OMC).



<https://www.eleconomista.com.mx/empresas/mexico-vulnerable-extension-aranceles-acero-aluminio-20250824-774107.html>

Inaugura Gobernador ALUMEXICO Summit & Expo 2025

Monterrey, Nuevo León.- Tras inaugurar la ALUMEXICO Summit & Expo 2025, el Gobernador de Nuevo León, Samuel Alejandro García Sepúlveda aseguró que buscarán desde Nuevo León trabajar con el Gobierno Federal para buscar que el gobierno americano quite la cláusula 232 relacionada con los aranceles y que afecta a la industria del acero y aluminio.



Durante su mensaje, el Mandatario estatal quien estuvo acompañado del Subsecretario de Comercio Exterior de la Secretaría de Economía (SE), Luis Rosendo Gutiérrez, agregó que también desde Nuevo León se puede hacer un trabajo conjunto con ALUMEXICO, CAINTRA, a las cámaras para presentar propuestas a largo plazo.

"Ya hoy el 95% de nuestras empresas que exportan lo hacen bajo T-MEC, 10 puntos por encima del cuerpo nacional que es de 85, sin embargo sabemos que industria de Nuevo León, como el acero, el aluminio, han sido afectados por estos gravámenes bajo una excepción de esta famosa cláusula 232 que aunque injusta, pues está vigente. Hemos estado en el gobierno pensando qué puede hacer el Estado para que empresas como estas regias de Nematik, de Ternium, entre otras, puedan resistir, digo pueden resistir porque esto es un desfase del mercado inusual que se va a componer.

"Cuenten con Nuevo León, cuenten con hacer mesas, comités, estamos puestos para para que Nuevo León apoye esa visualización regional. Yo creo que esa es nuestra apuesta, podemos en conjunto con canadienses y americanos hacer un planteamiento suficiente para convencer al gobierno americano de quitar esta cláusula y que como siempre ha habido estos últimos 30 años, el acero, el aluminio y otros particulares dejen de tener este arancel", apuntó el Gobernador de Nuevo León.

El mandatario estatal destacó que Nuevo León está en su mejor momento en materia económica y está rompiendo records y ganando lugares que nunca

había tenido como el caso del ingreso mensual y trimestral de las familias, agregado al primer lugar en empleo, en creación de empresas, en apoyo y crédito a Pymes, en formalidad, en educación, entre otros.

También resaltó que este sexenio se tendrá más de 180 mil millones de pesos de inversión pública, lo que representa 10 veces más que el sexenio anterior. Y agregó que se seguirá impulsando las compras y las licitaciones de consumo local,



Por su parte, el Subsecretario de Comercio Exterior de la Secretaría de Economía señaló que desde el Gobierno federal se ha estado trabajando para estar muy al tanto de las necesidades de la industria del aluminio, con el acero y con los autos para tratar de reducir los impactos arancelarios que se están viviendo en el país y a nivel mundial.

Agregó que dentro de toda la complejidad del proceso, México ha salido bien en sus acuerdos pues hasta ahora con los Estados Unidos el 84% de sus exportaciones a Estados Unidos pasan con cero arancel.

En el evento inaugural estuvieron presentes, el Presidente de IMEDAL (Instituto Mexicano del Aluminio), Eugenio Clariond Rangel; el Presidente de la CONCAMIN, Alejandro Malagón Barragán; el Subsecretario de Comercio Exterior de la SE, Luis Rosendo Gutiérrez Romano; la Secretaria de Economía, Betsabé Rocha Nieto; y el Presidente de The Aluminum Association, Charles Johnson.

<https://www.nl.gob.mx/es/boletines/inaugura-gobernador-alumexico-summit-expo-2025>

EMPRESAS ASOCIADAS A IMEDAL



Alubin de México

Alumdesa





Miembros Honorarios - Universidades y Centros de Investigación



BIENVENIDOS

El **Instituto Mexicano del Aluminio**

Da la bienvenida a su nuevo afiliado:

Alubin de México

Alubin de México es una empresa especializada en el diseño y extrusión de perfiles de aluminio para el mercado arquitectónico e industrial con soluciones a la medida. Perteneció a Grupo Tecnovidrio, empresa madre dedicada al diseño, ingeniería y fabricación de cancelería y fachada para soluciones arquitectónicas dentro y fuera de México. La compañía cuenta con dos plantas de producción: una dedicada a la extrusión de perfiles de aluminio y otra a la aplicación de pintura en polvo y acabados en sublimado, garantizando calidad y eficiencia en cada etapa del proceso.

¡Bienvenidos!

IMEDAL
Instituto Mexicano del Aluminio, A.C.

El **Instituto Mexicano del Aluminio**

Da la bienvenida a su nuevo afiliado:

Norcast

Norcast es una empresa 100% mexicana con más de 15 años de trayectoria, especializada en la fabricación de piezas de aluminio fundido a alta presión (HPDC) y maquinado CNC. Con sede en Monterrey, Nuevo León, se ha consolidado como un proveedor que cumple con los más altos estándares del mercado, respaldado por procesos robustos, tecnología avanzada y un firme compromiso con la mejora continua.

¡Bienvenidos!

IMEDAL
Instituto Mexicano del Aluminio, A.C.

El Instituto Mexicano del Aluminio

Da la bienvenida a su nuevo afiliado:



En PCI Gases, estamos revolucionando el sector del suministro de gases industriales. Nuestra trayectoria de más de cuatro décadas refleja nuestra dedicación a la innovación, la autonomía y la sostenibilidad. Descubra un mundo donde la eficiencia se fusiona con la innovación; ofrecemos una gama completa de generadores de oxígeno y nitrógeno, cada uno diseñado para brindarle autonomía y sostenibilidad en su suministro de gas.

Nuestros productos están diseñados para brindar confiabilidad y facilidad de uso, y están diseñados para satisfacer las necesidades específicas de su industria.

¡Bienvenidos!

IMEDAL
Instituto Mexicano del Aluminio, A.C.

El Instituto Mexicano del Aluminio

Da la bienvenida a su nuevo afiliado:



COMPROMETIDOS CON EL MEDIO AMBIENTE

PERMAR Reciclados es una empresa mexicana dedicada al manejo, transporte, compra y venta de scrap industrial, con más de 25 años de experiencia. Nos especializamos en scrap de aleaciones de aluminio y manejo de residuos peligrosos, nuestro objetivo es satisfacer las necesidades de nuestros clientes y proveedores al mismo tiempo que contribuimos al cuidado del medio ambiente y fomentamos la economía circular.

¡Bienvenidos!



El Instituto Mexicano del Aluminio

Da la bienvenida a su nuevo asociado:

PROTERIAL

Convertimos los retos de trabajar con Aluminio en oportunidades de productividad. Ofrecemos innovación japonesa en aceros especiales de alto rendimiento que fortalecen la vida útil de tus moldes y dados de extrusión, así como componentes cerámicos (recámaras / camisas de inyección, fundas para termopares, tubos dosificadores, rotores desgasificadores) que llevan tu proceso de fundición HPDC / LPDC al siguiente nivel. Nos sumamos como un socio estratégico comprometido con la competitividad de las herramientas para la industria del Aluminio en México.

¡Bienvenidos!

IMEDAL
Instituto Mexicano del Aluminio, A.C.

Microestructura de la **Aleación** **AlSi₁₀Mg** Manufacturada Mediante Fusión Selectiva por **Láser**

P. Zambrano Robledo

Acerca del Autor

32 años en docencia, investigación y desarrollo tecnológico en la UANL, donde obtuvo su título de Ingeniero Mecánico Administrador, Maestría en Ciencias de Ingeniería Mecánica con Especialidad en Materiales y el grado de Dra. en Ingeniería de Materiales.



July Andrea Taborda Rios

Acerca del Autor

Ingeniera Física con Maestría en Ingeniería Aeronáutica y Doctorado en Ingeniería de Materiales por la Universidad Autónoma de Nuevo León.



Juan Daniel Trejos Taborda

Acerca del Autor

Ingeniero Mecánico, con experiencia en caracterización de materiales. Realizó una Maestría en Ingeniería Aeronáutica, con énfasis en manufactura aditiva y simulación de procesos.



Arturo Juárez Hernández

Acerca del Autor

Cuenta con un PhD en Materiales por la Universidad de Sheffield, Inglaterra (2000) Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores como nivel 2.



Abstract:

En este trabajo se caracterizó la microestructura de la aleación de aluminio AlSi10Mg manufacturada aditivamente mediante la técnica de fusión selectiva por láser, se observaron tres zonas diferenciadas en la alberca de fusión. En el centro de la alberca de fusión se observaron granos celulares finos, mientras en los límites se identificaron granos gruesos. Así mismo, las zonas afectadas por la temperatura mostraron una fragmentación de la red fibrosa de Silicio con tamaño de grano entre 0.17 - 0.73 μm . Mediante el estudio de las características microestructurales de la aleación una vez realizado el procesamiento optimizado se pudo comprender y discutir las relaciones de los factores controlables sobre el desempeño de las características físicas, mecánicas y microestructurales de la AlSi10Mg manufacturado aditivamente.

Introducción

La Fusión Selectiva por Láser (FSL) es una técnica de Manufactura Aditiva (MA) que se clasifica como fusión de lecho de polvo por láser. FSL utiliza polvo metálico o cerámico como material de suministro y un dispositivo llamado distribuidor que esparce un lecho de polvo sobre un sustrato/placa (soporte) donde su espesor puede variar alrededor de 20 μm – 1 mm [1]. A continuación, un láser de potencia de alta densidad interactúa con el lecho de polvo para consolidar y fundir partículas metálicas cuyas regiones de fusión obedecen a un modelo de Diseño Asistido por Computadora (por sus siglas en inglés CAD) de la pieza. El proceso anterior se repite capa a capa hasta terminar la pieza.

El polvo metálico juega un papel importante en un proceso de MA y algunas aleaciones comerciales se utilizan con éxito en el proceso FSL (más de 20 aleaciones) [2], [3]. Dentro de las aleaciones de Aluminio (Al) apropiadas para el proceso FSL, se encuentran las aleaciones Al-Si como AlSi10Mg, Al12Si, A357 y A356. Las piezas de AlSi10Mg de FSL poseen una mayor

resistencia a la tracción que las fabricadas por medios tradicionales debido a las condiciones metalúrgicas específicas que son inherentes al proceso FSL [2], [4], [5], [6]. Además, la alta conductividad térmica del Al permite una rápida solidificación y una fina microestructura [4], [5], [6], [7], [8].

Sin embargo, se han informado defectos metalúrgicos comunes en aleaciones de Al fabricadas mediante el proceso FSL. Estos defectos incluyen porosidades inducidas por gas [9], [10], [11], [12], falta de fusión [2], [13], [14], presencia de óxido [15], [16] altos niveles de tensión residual y distorsión [17], [18], entre otros. Estas características son inherentes al proceso FSL y pueden afectar negativamente el rendimiento del componente.

Este trabajo de análisis microestructural, toma las muestras de un estudio previo [19] que derivó en la tesis de doctorado de una de las autoras sobre la influencia de los parámetros de procesamiento del material AlSi10Mg fabricada por el proceso de fusión selectiva por láser, con el fin de determinar sus valores óptimos y mejorar así la densidad y el rendimiento mecánico. Para ello, se realizó un Diseño de Experimentos (DoE) mediante el método Taguchi, seleccionando un conjunto de parámetros de procesamiento adecuados (9 combinaciones), que resultaron en 45 muestras cuyas densidades relativas se midieron mediante el principio de Arquímedes y el procesamiento digital de imágenes metalográficas. Los resultados mostraron que se logró una densidad relativa de hasta el 99.65 % a partir de los datos brutos. Mientras que el modelo estadístico del método Taguchi indicó una relación integral entre los parámetros del proceso basada en la densidad relativa, siendo la potencia del láser la de mayor significancia entre los parámetros. El modelo Taguchi sugirió nuevos valores para los parámetros del proceso, logrando piezas AlSi10Mg con un 99.98 % de densidad relativa.

Metodología Experimental

Se seleccionó aleatoriamente una muestra por cada subconjunto de experimentos para exponer y analizar los poros. Cada muestra se cortó en sección trans-

versal y normal a la dirección de impresión. Ambos cortes fueron encapsulados con resina fenólica Multi-fast Black (Struer®) y preparados metalográficamente con papeles SiC de grano 350 hasta grano 4000 antes de ser pulidos con sílice coloidal de 0.24 μm. Las muestras se examinaron en áreas aleatorias mediante microscopía confocal ZEISS LMS 700 (ver Figura 1). Las micrografías se analizaron mediante procesamiento de imágenes digitales a través del software ImageJ. El tamaño de poro y la morfología se evaluaron por diámetro equivalente D (μm) y circularidad C, respectivamente, de acuerdo con las siguientes expresiones:



Figura 1. Equipo de microscopio confocal ZEISS LMS 700.

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Ecuación 1

$$C = \frac{4\pi A}{L^2}$$

Ecuación 2

Donde A (μm²) es el área de los poros y L (μm) es el perímetro de los poros. Un valor de 1 (Ecuación 2) indica un círculo perfecto y cuando el valor es cercano a 0, significa que el polígono se hace cada vez más largo.

Resultados de Análisis Microestructural

Se realizaron los análisis microestructural de las piezas de AlSi10Mg fabricadas por Fusión Selectiva por Láser (FSL) y vistas en sección transversal (perpendicular a la dirección de impresión), las cuales se muestran en

la Figura 2, donde la forma de la Alberca de Fusión (AF) muestra una superposición entre ellas debido a una fusión completa y una buena consolidación entre capas. Además, en la Figura 2(a) se pueden observar líneas continuas (límite de la alberca de fusión) con una morfología de escamas de pez. La Figura 2(b) presenta la morfología del AF en sección longitudinal (paralelo a la dirección de impresión) cuya forma era como una elipse alargada en dirección al escaneo láser y un ángulo de rotación de 67°.

Los diferentes tamaños de elipses se debieron a AF que afectaron varias capas anteriores durante la consolidación del lecho de polvo.

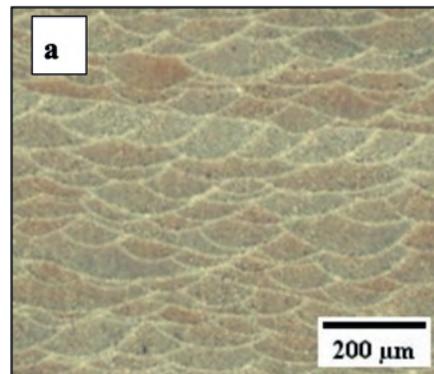
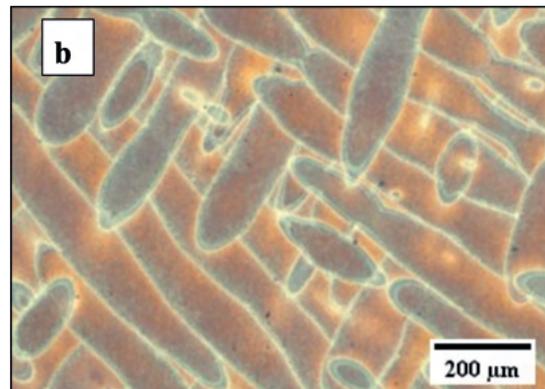


Figura 2. Microestructura de muestras optimizadas de AlSi10Mg en sección a) transversal y b) longitudinal.



En la Figura 3 se muestran las mediciones de varias dimensiones de la AF. El ancho y la profundidad de la AF varían entre 128.6 μm - 170.25 μm y 38.8 μm - 54.32 μm, respectivamente. Por un lado, el ancho de AF indica que las albercas de fusión adyacentes se superponen aproximadamente un 40% durante el proceso FSL, según la Figura 3. Estos niveles de superposición aseguran una buena consolidación entre las AF adyacentes. Por otro lado, la profundidad de la AF indica que fue capaz de afectar y refundir el material previo.

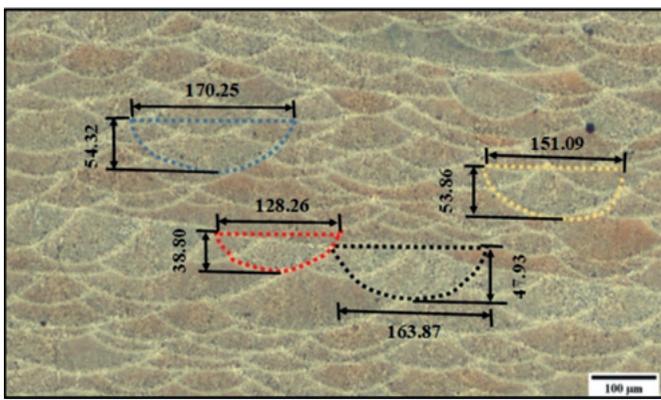


Figura 3. Dimensiones de la AF de la aleación FSL AlSi10Mg.

El ancho y la profundidad de la AF brindan información del modo de transferencias de calor que hubo durante la FSL (Ver Figura 4), En el estudio realizado por W.E. King y sus colaboradores [20], se introdujo un criterio geométrico para evaluar el modo de transferencia de calor que se produce durante la consolidación de las partículas metálicas. Este criterio geométrico relaciona la profundidad y el ancho de la AF. Según este criterio, una relación de 0.5 actúa como umbral para distinguir entre los modos conducción y ojo de cerradura. Es decir, si la relación es menor a 0.5, se considera que el modo de conducción está operando, mientras que, si es mayor a 0.5, se considera que el modo de ojo de cerradura está en funcionamiento. Este mismo criterio fue adoptado para las aleaciones de aluminio [21].

Los resultados, mostrados en la Figura 4, oscilan entre una relación profundidad-ancho de 0,5 y 1 de relación profundidad-ancho. Lo que sugiere un modo de conducción, de calor en forma de cerradura, un resultado igual al de [22]. En comparación con las piezas fabricadas bajo condiciones óptimas, se evidenció que la densidad de energía tiene un efecto significativo en esta relación. Estos hallazgos indican que el modo conducción de calor está operando en estas muestras durante la FSL. Un modo conducción es cuando la profundidad de la AF se ajustó con conducción térmica. El láser incide en el polvo, derritiendo y consolidando las partículas superiores. Este líquido funde el polvo subyacente y forma una unión con el material sólido. La sección transversal de AF en modo de conducción es aproximadamente semicircular. Es decir, la profundidad del AF es aproximadamente igual a su ancho.

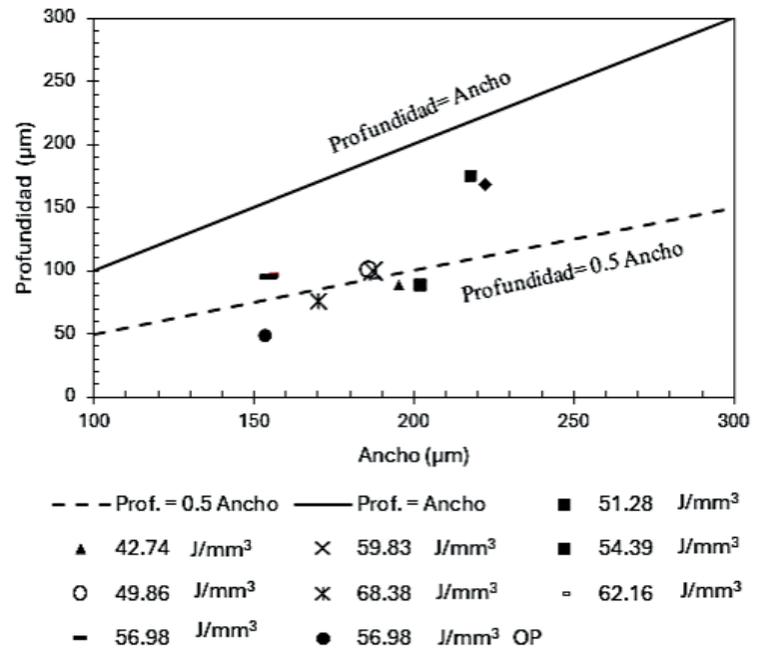


Figura 4. Relación de profundidad vs. ancho y las densidades de energía de todas las combinaciones y las piezas optimizadas con 56.98 J/mm³.

Dependiendo de la superposición entre las albercas de fusión adyacentes, tanto el ancho como la profundidad, existen regiones refundidas y resolidificadas. Por lo tanto, las características de la microestructura se pueden dividir en regiones de grano fino y grueso dependiendo de si la región del AF se volvió a fundir o no. Si solo se funde, la AF produce una alta velocidad de enfriamiento, lo que da como resultado granos muy finos que generalmente se producen en la Centro de la Alberca de Fusión (CAF). Mientras que si hubo refundición (regiones superpuestas), la microestructura experimentó un crecimiento de grano y resultó en un grano más grueso.

En la Figura 5 se muestra en detalle las microestructuras de piezas fabricadas mediante FSL a partir de la aleación AlSi10Mg, se revelan tres microestructuras distintas, proporcionando una valiosa perspectiva sobre los impactos de las variables de procesamiento. En la región CAF, se observan granos celulares finos, resultado de un tiempo de exposición al láser relativamente breve. Este factor induce un rápido proceso de enfriamiento y solidificación, obstaculizando la formación de núcleos cristalinos homogéneos. La dirección de crecimiento celular, alineada con el flujo de calor local, contribuye a la formación de una estructura celular más fina en esta región.

En contraste, el Límite de la Alberca de Fusión (LAF) presenta granos celulares más gruesos, atribuibles a una penetración más profunda de la zona de fusión afectada en capas previas. Finalmente, se identifica la presencia de la Zona Afectada por la Temperatura (ZAT), donde los granos experimentan un proceso de refinamiento. Estas observaciones respaldan y amplían hallazgos previos documentados en estudios específicos [23], [24], [25].

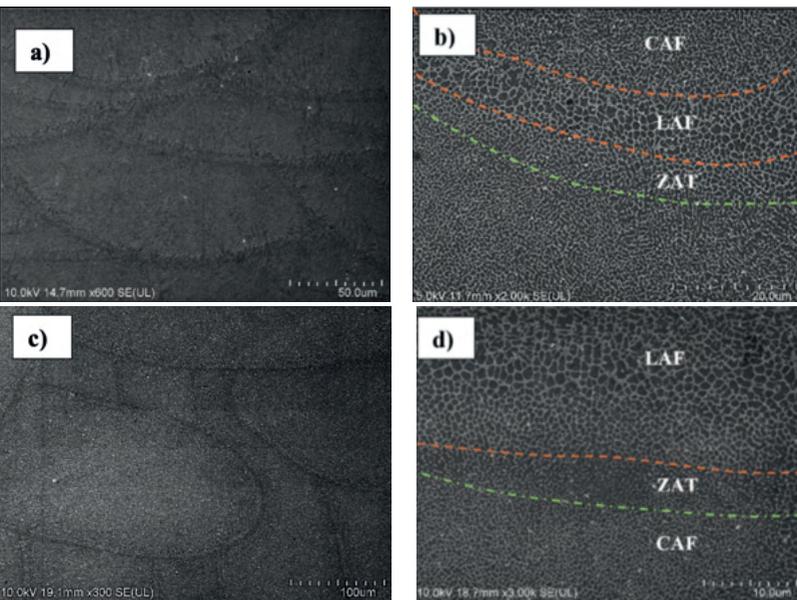


Figura 5. Subestructura en aleación AlSi10Mg tanto en sección transversal (a y b) como en sección longitudinal (c y d). Donde se identificaron tres regiones: Centro de AF (CAF), Límite de AF (LAF) y Zona Afectada por la Temperatura (ZAT).

La complejidad de la microestructura se profundiza al considerar la influencia de los parámetros de procesamiento. La aleación AlSi10Mg presenta una microestructura única, caracterizada por un rápido enfriamiento a tasas de hasta [26] y elevados gradientes térmicos durante la solidificación. Las condiciones de solidificación de no equilibrio durante el proceso de manufactura afectan significativamente la morfología de la microestructura dentro de la AF. En particular, afectan la tasa de atrapamiento de soluto en la red de Al en la interfaz S/L, aumentando así el límite de solución sólida de los elementos de aleación en la matriz. Este fenómeno resulta en la formación de una fase primaria que consiste en células α -Al rodeadas por una red fibrosa eutéctica-Si en las regiones intercelulares.

La Figura 5 proporciona una detallada caracterización microestructural en las secciones longitudinal y transversal, evidenciando claramente la presencia de la fase α -Al en ambas. La microestructura de la muestra optimizada, como se aprecia en las Figura 5 b) y d), exhibe una marcada heterogeneidad, destacando la complejidad inherente al proceso de manufactura. La región oscura en las imágenes corresponde a la matriz de Al, mientras que las líneas fibrosas más claras representan la red eutéctica rica en Si.

A fin de ofrecer una comprensión más detallada de cada una de las zonas previamente mencionadas y de sus respectivos tamaños de grano, procederemos a una descripción exhaustiva de las características particulares que distinguen a las áreas de solidificación fina, áreas de solidificación gruesa y zonas afectadas por el calor como se pueden observar en Figura 6. En primer lugar, las áreas de solidificación fina, que constituyen la mayor proporción de la AF, se caracterizan por el desarrollo de dendritas celulares que se extienden hacia el CAF. Este fenómeno se evidencia de manera clara a través de variaciones discernibles en las secciones transversales, contribuyendo a una estructura única en estas regiones teniendo un promedio de tamaño de grano de $0.63 \mu\text{m}$.

Por otro lado, las áreas de solidificación gruesa, ubicadas en el perímetro de AF, presentan una anchura aproximada de $1.28 \mu\text{m}$. En estas áreas, el α -Al primario adopta una disposición equiaxial, a diferencia de las áreas de solidificación fina. Es relevante señalar que en las áreas gruesas no se observa una dirección de crecimiento significativa hacia el centro de las AF. A pesar de que la longitud de α -Al es mayor en comparación con las áreas finas, la anchura en las áreas gruesas es aproximadamente el doble.

Finalmente, las ZAT se presentan justo detrás de las áreas de solidificación gruesa, abarcando una extensión de aproximadamente $0.17 - 0.73 \mu\text{m}$. En estas zonas, la red fibrosa de silicio experimenta una fragmentación en pequeñas partículas, aunque aún es posible rastrear la estructura original de la red como se muestra en la Figura 6.

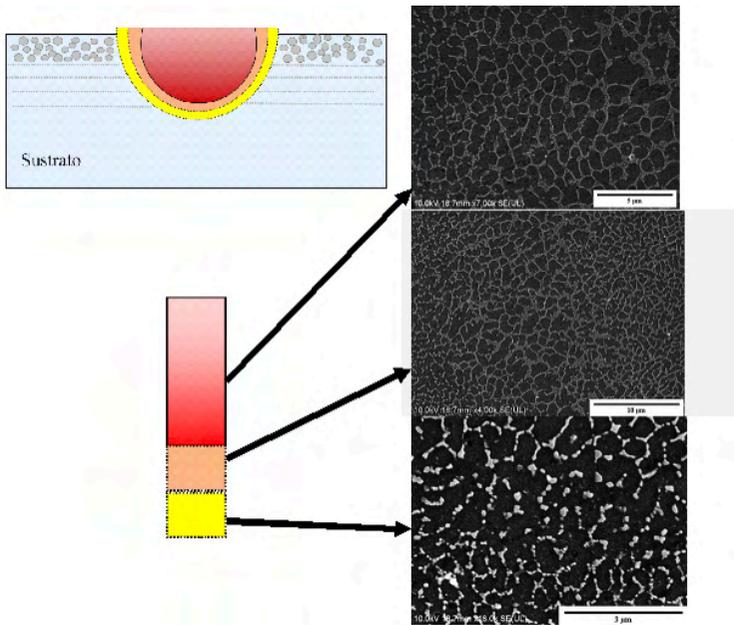


Figura 6. Zonas de diferentes microestructuras presentes en la AF

Conclusiones

Se realizó una caracterización de la microestructura en muestras de AlSi10Mg en las albercas de fusión. En las zonas centrales se observaron granos celulares finos, mientras que los límites de las albercas de fusión mostraron granos más gruesos. Las Zonas Afectadas por la Temperatura se ubican inmediatamente detrás de las áreas de solidificación gruesa, extendiéndose en un rango de 0.17 a 0.73 micrómetros. En estas áreas críticas, se observa que la red fibrosa de silicio sufre un proceso de fragmentación, resultando en la formación de pequeñas partículas.

La investigación reveló una microestructura distintiva en las muestras estudiadas, caracterizada por la presencia de granos finos en el centro de la alberca de fusión y granos gruesos en el límite de la alberca de fusión. Este hallazgo es particularmente significativo ya que subraya la influencia de los parámetros de proceso en la morfología microestructural de las piezas fabricadas, lo que a su vez afecta sus propiedades mecánicas finales.

Referencias:

- [1] V. Lavaert, M. Moors, E. Wettinck, R. Castañeda, y L. Goyos, «Evaluación del efecto de modificadores y refina-dores en el comportamiento mecánico y magnitud del rechupe de aleaciones Al-Si-Mg.», Ing. Mecánica, vol. 5, n.o 2, pp. 37-46, 2002.
- [2] T. DebRoy et al., «Additive manufacturing of metallic components – Process, structure and properties», Prog. Mater. Sci., vol. 92, pp. 112-224, mar. 2018, doi: 10.1016/j.pmatsci.2017.10.001.
- [3] L. Yang et al., Additive manufacturing of metals: the technology, materials, design and production. Springer, 2017.
- [4] N. Limbasiya, A. Jain, H. Soni, V. Wankhede, G. Krolczyk, y P. Sahlot, «A comprehensive review on the effect of process parameters and post-process treatments on microstruc-ture and mechanical properties of selective laser melting of AlSi10Mg», J. Mater. Res. Technol., vol. 21, pp. 1141-1176, nov. 2022, doi: 10.1016/j.jmrt.2022.09.092.
- [5] X. Li et al., «Effect of construction angles on microstruc-ture and mechanical properties of AlSi10Mg alloy fabricated by selective laser melting», J. Alloys Compd., vol. 881, p. 160459, nov. 2021, doi: 10.1016/j.jallcom.2021.160459.
- [6] A. Boschetto, L. Bottini, y D. Pilone, «Effect of laser remel-ting on surface roughness and microstructure of AlSi10Mg selective laser melting manufactured parts», Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 113, n.o 9, pp. 2739-2759, abr. 2021, doi: 10.1007/s00170-021-06775-3.
- [7] Q. Yan, B. Song, y Y. Shi, «Comparative study of perfor-mance comparison of AlSi10Mg alloy prepared by selective laser melting and casting», J. Mater. Sci. Technol., vol. 41, pp. 199-208, mar. 2020, doi: 10.1016/j.jmst.2019.08.049.
- [8] X. Liu, C. Zhao, X. Zhou, Z. Shen, y W. Liu, «Microstruc-ture of selective laser melted AlSi10Mg alloy», Mater. Des., vol. 168, p. 107677, abr. 2019, doi: 10.1016/j.mat-des.2019.107677.
- [9] A. Pascual, N. Ortega, S. Plaza, L. N. López de Lacalle, y E. Ukar, «Analysis of the influence of L-PBF porosity on

- the mechanical behavior of AlSi10Mg by XRCT-based FEM», *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 22, pp. 958-981, ene. 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2022.11.172.
- [10] J. C. Hastie, M. E. Kartal, L. N. Carter, M. M. Attallah, y D. M. Mulvihill, «Classifying shape of internal pores within AlSi10Mg alloy manufactured by laser powder bed fusion using 3D X-ray micro computed tomography: Influence of processing parameters and heat treatment», *Mater. Charact.*, vol. 163, p. 110225, may 2020, doi: 10.1016/j.matchar.2020.110225.
- [11] L. Zhao et al., «Review on the correlation between microstructure and mechanical performance for laser powder bed fusion AlSi10Mg», *Addit. Manuf.*, vol. 56, p. 102914, ago. 2022, doi: 10.1016/j.addma.2022.102914.
- [12] P. Ferro, R. Meneghello, S. M. J. Razavi, F. Berto, y G. Savio, «Porosity Inducing Process Parameters in Selective Laser Melted AlSi10Mg Aluminium Alloy», *Phys. Mesomech.*, vol. 23, n.o 3, pp. 256-262, may 2020, doi: 10.1134/S1029959920030108.
- [13] Z. Wu et al., «The effect of defect population on the anisotropic fatigue resistance of AlSi10Mg alloy fabricated by laser powder bed fusion», *Int. J. Fatigue*, vol. 151, p. 106317, oct. 2021, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2021.106317.
- [14] J. Delahaye, J. T. Tchuindjang, J. Lecomte-Beckers, O. Rigo, A. M. Habraken, y A. Mertens, «Influence of Si precipitates on fracture mechanisms of AlSi10Mg parts processed by Selective Laser Melting», *Acta Mater.*, vol. 175, pp. 160-170, ago. 2019, doi: 10.1016/j.actamat.2019.06.013.
- [15] C. Weingarten, D. Buchbinder, N. Pirch, W. Meiners, K. Wissenbach, y R. Poprawe, «Formation and reduction of hydrogen porosity during selective laser melting of AlSi10Mg», *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 221, pp. 112-120, jul. 2015, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2015.02.013.
- [16] M. Giovagnoli, G. Silvi, M. Merlin, y M. T. Di Giovanni, «Optimisation of process parameters for an additively manufactured AlSi10Mg alloy: Limitations of the energy density-based approach on porosity and mechanical properties estimation», *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 802, p. 140613, 2021.
- [17] G. K. Lewis y E. Schlienger, «Practical considerations and capabilities for laser assisted direct metal deposition», *Mater. Des.*, vol. 21, n.o 4, pp. 417-423, ago. 2000, doi: 10.1016/S0261-3069(99)00078-3.
- [18] P. Mercelis y J. Kruth, «Residual stresses in selective laser sintering and selective laser melting», *Rapid Prototyp. J.*, vol. 12, n.o 5, pp. 254-265, ene. 2006, doi: 10.1108/13552540610707013.
- [19] J. A. T. Rios, P. Zambrano-Robledo, J. D. T. Taborda, J. A. G. Espinoza, C. J. Isaza, y A. Juárez-Hernández, «Process parameters effect and porosity reduction on AlSi10Mg parts manufactured by selective laser melting», *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 129, n.o 7-8, pp. 3341-3351, dic. 2023, doi: 10.1007/s00170-023-12521-8.
- [20] W. E. King et al., «Observation of keyhole-mode laser melting in laser powder-bed fusion additive manufacturing», *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 214, n.o 12, pp. 2915-2925, dic. 2014, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2014.06.005.
- [21] S. Marola et al., «A comparison of Selective Laser Melting with bulk rapid solidification of AlSi10Mg alloy», *J. Alloys Compd.*, vol. 742, pp. 271-279, abr. 2018, doi: 10.1016/j.jallcom.2018.01.309.
- [22] M. Giovagnoli, G. Silvi, M. Merlin, y M. T. Di Giovanni, «Optimisation of process parameters for an additively manufactured AlSi10Mg alloy: Limitations of the energy density-based approach on porosity and mechanical properties estimation», *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 802, p. 140613, 2021.
- [23] J. Praneeth, S. Venkatesh, y L. Sivarama Krishna, «Process parameters influence on mechanical properties of AlSi10Mg by SLM», *Mater. Today Proc.*, p. S2214785322075940, ene. 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2022.12.222.
- [24] A. Maamoun, Y. Xue, M. Elbestawi, y S. Veldhuis, «Effect of Selective Laser Melting Process Parameters on the Quality of Al Alloy Parts: Powder Characterization, Density, Surface Roughness, and Dimensional Accuracy», *Materials*, vol. 11, n.o 12, p. 2343, nov. 2018, doi: 10.3390/ma11122343.
- [25] L. Cui et al., «Porosity, microstructure and mechanical property of welded joints produced by different laser welding processes in selective laser melting AlSi10Mg alloys», *Opt. Laser Technol.*, vol. 150, p. 107952, jun. 2022, doi: 10.1016/j.optlastec.2022.107952.
- [26] K. G. Prashanth y J. Eckert, «Formation of metastable cellular microstructures in selective laser melted alloys», *J. Alloys Compd.*, vol. 707, pp. 27-34, jun. 2017, doi: 10.1016/j.jallcom.2016.12.209.

Vinculación entre la Industria y la Academia, más de 35 años de Trabajo Conjunto

P. Zambrano Robledo

Acerca del Autor



32 años en docencia, investigación y desarrollo tecnológico en la UANL, donde obtuvo su título de Ingeniero Mecánico Administrador, Maestría en Ciencias de Ingeniería Mecánica con Especialidad en Materiales y el grado de Dra. en Ingeniería de Materiales.

G. M. Hernández Muñoz

Acerca del Autor

Profesor de Tiempo Completo Titular de la Universidad Autónoma de Nuevo León, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.



O. Covarrubias Alvarado

Acerca del Autor

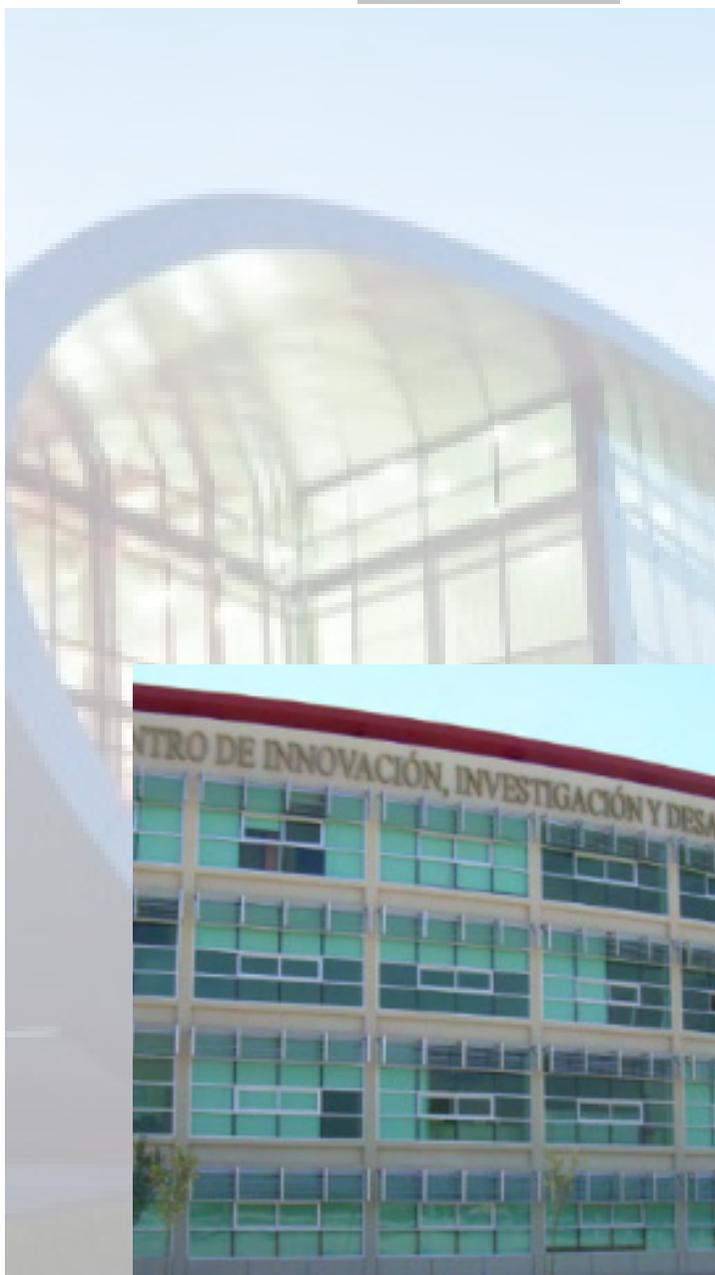
Ingeniero Mecánico Metalúrgico por la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UANL. Doctorado en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con Especialidad en Materiales. Más de 22 años de experiencia como docente a nivel licenciatura y posgrado.



A.R. Rivas Velázquez

Acerca del Autor

Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME), Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL).



Abstract:

La Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) cuenta con una gran tradición de colaboración y vinculación con la industria no solo de Nuevo León, sino de todo el país. Esta relación data desde el año 1986 cuando se fundó el Programa Doctoral en Ingeniería de Materiales, el cual surgió como una respuesta a las necesidades industriales. Los objetivos fueron los de colaborar con el entorno industrial en la formación de recursos humanos y en la generación del conocimiento tecnológico que requería la apertura del país.

Desde sus inicios se logró la interacción con la industria a través de proyectos conjuntos de investigación. Los resultados han sido promisorios, los cuales han incidido en la solución de problemas, en la formación de recurso humano de alto nivel y en el incremento de la productividad y la innovación.

Introducción

Las actividades de vinculación se han dado desde diferentes ámbitos, que van desde la impartición de cursos especializados, la consultoría y los servicios de laboratorio dentro del área de especialidad que los investigadores de la FIME trabajan, y dentro del área estudiantil podemos mencionar, las prácticas profesionales y el servicio social entre las actividades tradicionales y en los últimos años, han surgido desde hackathones, hasta concursos patrocinados por las empresas y que fomentan el emprendimiento en los jóvenes con temas de interés para las empresas. Parte importante de las diferentes actividades podemos visualizarlo en la tabla 1.

La fortaleza de la FIME se centra en la investigación que en los diferentes campos del conocimiento desarrollan sus 145 investigadores e investigadoras reconocidos por el Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras (SNI) [1], quienes desarrollan su actividad en los 3 Centros de Investigación pertenecientes a la Facultad: Centro de Investigación

y Desarrollo Tecnológico (CIDET) que se encuentra en las instalaciones de la Facultad en Ciudad Universitaria, el Centro de Investigación e Innovación en Ingeniería Aeronáutica (CIIA) que se encuentra en las instalaciones de la Facultad en el Aeropuerto del Norte y el Centro de Innovación, Investigación y Desarrollo en Ingeniería y Tecnología (CIIDIT) que se encuentra en las instalaciones de la Facultad en el Parque de Investigación e Innovación Tecnológica (PIIT) en Apodaca (ver Figura 2).

- Consultoría
- Asesoría
- Cursos especializados
- Pruebas de Laboratorio
- Certificaciones
- Mantenimiento
- Proyectos de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico
- Operación de Servicios
- Bolsa de Trabajo
- Práctica profesional
- Servicios Social
- Organización de Hackathon

Tabla 1. Diferentes actividades de vinculación desarrolladas por la FIME UANL en conjunto con empresas.



Figura 2. Centros de Investigación de FIME UANL a) Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CIDET) b) Centro de Investigación e Innovación en Ingeniería Aeronáutica (CIIA) c)

Centro de Innovación, Investigación y Desarrollo en Ingeniería y Tecnología (CIIDIT).

Los investigadores de la facultad desarrollan su trabajo colaborativo en 43 cuerpos Académicos reconocidos por el Programa para el Desarrollo Profesional Docente [2] de la Secretaría de Educación Pública, los

cuales cuentan con 93 líneas de generación y aplicación del conocimiento. De estos la Facultad cuenta con 8 cuerpos académicos que dentro de sus actividades trabajan temas relacionados al mundo del aluminio, los mismos son:

- Ciencia e Ingeniería de Materiales Aeronáuticos Avanzados
- Ciencias Aplicadas a la Ingeniería Avanzada
- Deterioro e Integridad de Materiales Compuestos
- Ingeniería de Materiales
- Procesamiento de Aleaciones Metálicas Avanzadas
- Metalurgia
- Materiales Funcionales
- Ingeniería en Manufactura Avanzada

Los autores de este trabajo colaboramos conjuntamente en el Cuerpo Académico de Ingeniería en Manufactura Avanzada, y desde el mismo hemos estado vinculados con diversas empresas en temas acerca del estudio del aluminio, entre las que podemos mencionar:

- FRISA: Maquinado de piezas forjadas de aluminio para disminuir fenómenos de corrosión localizada
- CONMET: Mejora de procesos de fundición en molde permanente para disminuir porosidad por gases
- CONTITECH: Caracterización física y mecánica de aleaciones de aluminio para determinar su comportamiento
- QUIMMCO: Evaluación de materiales ligeros para electromovilidad
- KATCON: Estudio de sistemas de control de emisiones
- SCHNEIDER: Caracterización física y mecánica de aleaciones de aluminio para determinar su comportamiento estructural
- VESUVIUS: Caracterización de materiales
- ARZYZ: Caracterización de materiales

En todos los trabajos desarrollados para empresas se involucran estudiantes de licenciatura y posgrado que se encuentran estudiando en la Facultad, quienes a través de su participación en estas actividades desa-

rollan un amplio conocimiento que les da un valor agregado al insertarse en el mercado laboral.

Dentro de estos programas se han formado recursos humanos de alto nivel que hoy día se encuentran laborando en la iniciativa privada, la academia y organismos gubernamentales, contribuyendo con esto al desarrollo del país. Algunos han seguido una carrera de investigación tanto en México como en el extranjero.

Conclusiones

La vinculación ha sido exitosa en la medida en que todos participan activamente: estudiantes, profesores y personal de planta. La misma se desarrolla tanto en los laboratorios de la Universidad como en la Planta.

Los resultados de la vinculación han permitido elevar el nivel tecnológico de las empresas y así mismo los indicadores de desempeño de los programas doctorales de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

La Facultad ha recibido ingresos extras extraordinarios, los cuales han incidido directamente en la mejora de la infraestructura de investigación, licenciatura y posgrado. Esta Vinculación ha generado a su vez que los programas se encuentren siempre tendientes a integrar las nuevas tecnologías y conocimientos en sus currículas.

Solo a través del trabajo conjunto se logrará elevar la competitividad del País mediante una fórmula en la que todos los entes involucrados ganan.

Referencias:

[1] <https://secihti.mx/sistema-nacional-de-investigadores/>

[2] <https://dgesui.ses.sep.gob.mx/programas/programa-para-el-desarrollo-profesional-docente-para-el-tipo-superior-s247-prodep>

Análisis de la Influencia de los Soportes en la Fabricación por Manufactura Aditiva de Componentes Desarrollados con la Aleación $AlSi_{10}Mg$

G. L. Alfaro Hinojosa

Acerca del Autor



Estudiante de Ingeniería Mecatrónica en la Universidad Politécnica de Victoria, participante del programa Delfín de Verano Científico 2025 en la UANL.

E. U. Rojo Rodríguez

Acerca del Autor



Ingeniero Mecánico Administrador con Maestría en Ciencias de la Ingeniería Aeronáutica y estudios de Doctorado en Ingeniería de Materiales.

X. G. Rojas Rosales

Acerca del Autor

Estudiante del Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Serdán de la carrera en Ingeniería Industrial, participante del Programa Delfín de Verano Científico 2025 en la UANL.



J. G. Ramírez Rodríguez

Acerca del Autor

Ingeniero multidisciplinario con un Doctorado (Ph.D.) en Ingeniería Aeronáutica, con experiencia en sistemas de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAVs), robótica aplicada, tecnología educativa y manufactura aditiva.



J. F. López García

Acerca del Autor

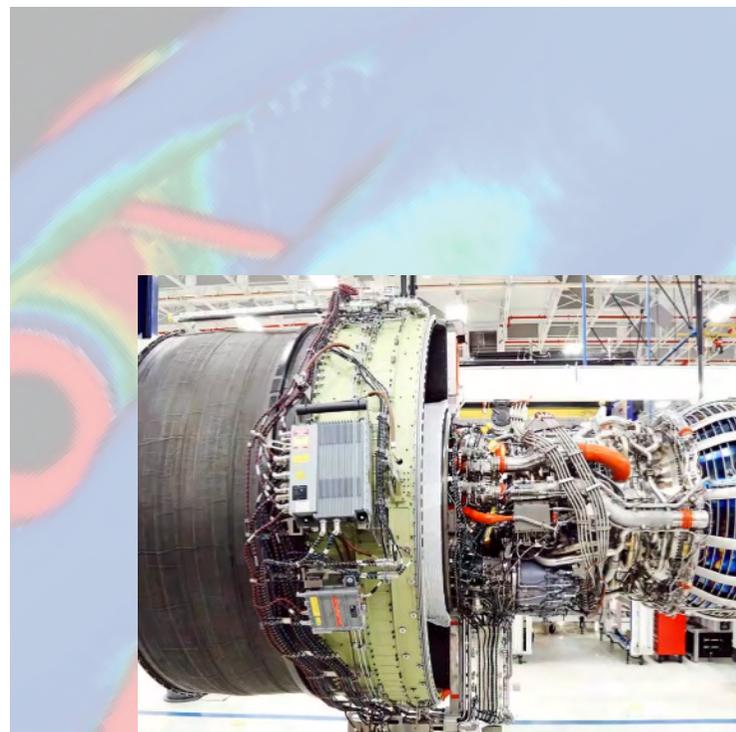
Estudiante de la Licenciatura en Ingeniería en Procesos Industriales, participante del Programa Delfín de Verano Científico 2025 en la UANL.



P. Zambrano Robledo

Acerca del Autor

32 años en docencia, investigación y desarrollo tecnológico en la UANL, donde obtuvo su título de Ingeniero Mecánico Administrador, Maestría en Ciencias de Ingeniería Mecánica con Especialidad en Materiales y el grado de Dra. en Ingeniería de Materiales.



Abstract:

En el mundo de la industria, los avances tecnológicos mejoran cada día, y con esto, la producción y resultado de muchos procesos. En este caso, el tema de interés se centra en la manufactura aditiva (MA), que es una herramienta que ha brindado la posibilidad de crear piezas con mejores características y por esto mismo, ha tomado relevancia en los últimos años. Uno de los factores más importantes para el resultado de las piezas, es el uso de los soportes que deben colocarse durante el proceso de manufactura, por esto, se analizaron dos geometrías distintas que se desarrollaron con la aleación AlSi10Mg, mediante la comparación de la pieza base utilizando imágenes de escaneo tridimensional para identificar cómo los soportes cónicos utilizados influenciaron en el resultado final, observando que, en el caso de ambas piezas, se presenta una compresión con respecto al modelo CAD.

La manufactura aditiva es una herramienta relativamente nueva, creada para facilitar la producción de objetos con figuras complejas que tiene el objetivo de disminuir el costo de fabricación, así como el tiempo de producción. Debido a su reciente aplicación en la industria, se presentan diversos problemas en la creación de piezas, como porosidades, deformaciones en el diseño, cambios estructurales, entre otros. Estas deformaciones se deben a distintos factores que influyen en la estructura de la pieza y en el proceso de impresión, si bien, se sabe que el tipo de material a utilizar y el método de impresión afectan significativamente el resultado, todavía hay factores no estudiados en este tipo de procesos. Por este motivo, este artículo se centra en el análisis de la influencia de los soportes en la integridad geométrica de la pieza.

Revisión de literatura. La innovación de métodos de impresión 3D que se ha experimentado en los últimos años, abre paso también a la creación de nuevos materiales compuestos que mejoran las propiedades mecánicas y estructurales de los productos [1].

Una de las bases para crear piezas utilizando manufactura aditiva, es emplear softwares de diseño CAD, pues estos permiten definir la estructura geométrica de la pieza, alguno de los softwares con los que se está más familiarizado en este ámbito son SolidWorks y AUTOCAD.

Las herramientas CAD abarcan desde opciones de modelado geométrico hasta aplicaciones a medida para el análisis u optimización de un producto específico. Por otro lado, el CAE (ingeniería asistida por computadora), que es otra herramienta utilizada en este proceso, se refiere a las tareas de análisis, evaluación, simulación y optimización desarrolladas a lo largo del ciclo de vida del producto. Por último, el término CAM (Computer-Aided Manufacturing) se puede definir como el uso de herramientas para la planificación, gestión y control de las operaciones de un proceso productivo mediante una interfaz entre un software y los recursos de producción [2].

Oshima et al. (2024) menciona que en el diseño de fabricación aditiva (DfAM por sus siglas en inglés), es necesario determinar numerosos parámetros del proceso, como la potencia del láser, la velocidad de escaneo láser, la distancia de trama, la temperatura del lecho, la separación entre capas, etc. Generalmente, se determina un conjunto de estos parámetros para cada material. Por otro lado, el usuario debe determinar la orientación del recorrido del láser y la estructura de soporte, si es necesario, especialmente para la forma de este en función de la forma del componente de destino [3].

En la manufactura aditiva los soportes juegan un papel crucial para lograr la producción de geometrías complejas. Estos elementos son esenciales para garantizar la estabilidad y precisión óptimas durante el proceso de fabricación de las piezas. Existen varios tipos de soportes comúnmente utilizados, por ejemplo, los soportes de cuadrícula, en cruz, en forma de árbol y soportes cónicos. Cada uno de estos ofrece ventajas que se adaptan a la necesidad de la creación de la pieza, considerando el material empleado, así

como su facilidad para desmontar una vez finalizado el proceso de impresión. Estos factores hacen que la elección de tipo de soporte sea clave para asegurar la creación de una pieza eficiente y exitosa [4].

Según Capasso, I., Andreacola, FR, y Brando, G. (2024) la producción de metales con manufactura aditiva, para piezas completamente complejas .se utilizan especialmente en industrias como aeronáuticas, automovilísticas y de salud [5].

Las dos partes principales de un proceso de manufactura aditiva para A. Balbás, M. Espinosa, M. Domínguez (2018) son la materia prima y la fuente de energía que se utiliza para fabricar la pieza, dependiendo el método y herramienta ocupada en la producción. En cuanto a las materias primas, podemos encontrarlas en forma líquida creada por partículas de polvo y de algún agente líquido, además se encuentra en sólida la cual es la más utilizada por la mayoría de los equipos, esta puede ser mediante una cama de polvo o inyectada directamente sobre la pieza [6].

El material de interés en este caso, debido a que es ampliamente utilizado en procesos de manufactura aditiva, es la aleación AlSi10Mg, la cual contiene aproximadamente 10% de silicio, 0.3-0.5% de magnesio, siendo el balance aluminio, estas características se pueden observar en la siguiente ilustración (Ver tabla 1).

Composición química		Propiedades mecánicas	
Aluminio (Al)	Balance	Densidad	2.7 g/cm ³
Silicio (Si)	9-11%	Módulo de Young	25,804 MPa
Cobre (Cu)	≤0.05%	Relación de Poisson	0.33
Manganeso (Mn)	≤0.45%	Resistencia rendimiento	170 MPa
Magnesio (Mg)	0.2-0.45%	Resistencia máxima	230 MPa
Zinc (Zn)	≤0.10%		
Hierro (Fe)	≤0.55%		

Tabla 1. Características de la aleación AlSi10Mg

Dentro de este proceso, existen diversos métodos que se utilizan para llegar a los resultados óptimos, entre ellos la inyección de aglutinante, la inyección de material, el sinterizado selectivo por láser y la fusión selectiva por láser. La principal diferencia entre los distintos procesos radica en el uso de diferentes fuentes de energía, principalmente láser o haces de electrones. Dentro de este campo los métodos más conocidos incluyen la fusión por haz de electrones y la fusión selectiva por láser (SLM por sus siglas en inglés), la cual se aplicó en este caso de estudio y se centra en la fabricación de piezas metálicas, como aleaciones de aluminio, acero, titanio, cobalto, cromo y níquel. Este proceso se caracteriza por condensar polvos metálicos, a diferencia de otros procesos que optan por fundirlos completamente, lo que implica que se forman capas gracias a un rayo láser que funde el material según la geometría indicada. Este proceso da espacio a un producto más compacto y homogéneo que el que ofrece la sinterización. Otro método, el cual se centra solamente en las aleaciones metálicas es la sinterización directa de metales por láser [5].

1. Metodología

Para analizar la influencia de los soportes en el proceso de manufactura aditiva se analizaron dos geometrías manufacturadas con la aleación AlSi10Mg y con soportes cónicos. Las mismas una vez fabricadas fueron escaneadas con un equipo láser Konica Minolta Range 7, el cual se utiliza como herramienta de digitalización tridimensional de alta precisión, especialmente en aplicaciones industriales y de metrología (Ver figura 1).



Figura 1. Imagen del equipo Konica Minolta Range 7, con el cual se realizaron los escaneos de esta investigación.

En muchos casos, especialmente al escanear superficies metálicas brillantes, transparentes o de bajo contraste, se emplea un aerosol revelador. Este producto crea una capa mate temporal sobre la superficie del objeto, eliminando reflejos o transparencias que podrían afectar la precisión del escaneo. Su aplicación mejora de forma significativa la calidad de los datos capturados, lo que garantiza una reconstrucción digital más precisa y fiel al objeto original. Con base en ello, las geometrías fueron sometidas a este proceso, tal como se muestra en la Figura 2.



Pieza A

Pieza B

Figura 2. Piezas A y B roseadas con el aerosol revelador para eliminar el reflejo de la pieza y tener un mejor escaneo.

Posteriormente se procedió a la calibración del equipo de escaneo (ver figura 3) ajustando la cámara a los ángulos de visión que cada pieza proyectaba. Este paso fue fundamental para garantizar que el software capturara la mayor cantidad de información geométrica posible, optimizando así la precisión del modelo digital resultante.

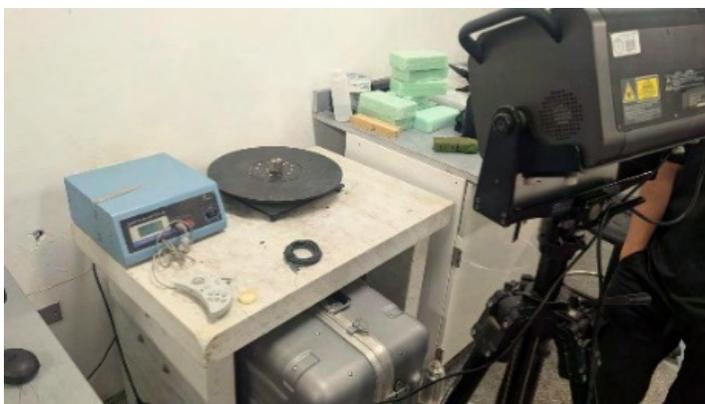


Figura 3. Calibración del equipo de escaneo tridimensional y de la base rotatoria.

Durante el proceso, el objeto se coloca en una plataforma rotatoria, apoyada sobre una mesa de mármol que brinda estabilidad y se realizaron múltiples

capturas en un rango de 30° para cubrir toda la circunferencia de la base donde se colocó la muestra como se muestra en la figura 4. Al realizar el proceso, es importante tener en cuenta que las piezas deben ser colocadas ligeramente inclinadas en un rango menor de 40° para capturar de forma precisa la información.



Figura 4. Escaneo de objetos de estudio.

Posteriormente, las imágenes se integran en un software especializado que genera el modelo digital en formato tridimensional, analizándolas con el software GeomaticDesing X el cual es compatible con entornos CAD.

Una vez escaneadas las piezas, se procedió a alinear manualmente cada una de las figuras obtenidas para crear una sola geometría (Ver figuras 5 y 6). Cabe destacar que de la pieza A se fabricaron tres muestras y de la pieza B dos, las cuales fueron analizadas en este trabajo.



Figura 5. Modelo digital del formato tridimensional de la pieza B sin alinear.

Figura 6. Modelo digital del formato tridimensional de la pieza A alineada.



Con esta información, se procedió a importar al programa la pieza original en formato .stp (Ver imagen 7).



Figura 7. Pieza original en formato .stp abierto en SolidWorks.

Para crear una superposición de ambas figuras utilizando la herramienta de Datum Match align, con la herramienta best fit, se crea una alineación entre ambas (Ver figura 8).



Figura 8. Alineación de la pieza A.

En esta alineación se ocultaron las mallas de las figuras y se seleccionó la opción deviation for body que permite visualizar la diferencia de dimensiones en la pieza fabricada (ver figura 9), lo cual se analiza en el apartado de resultados.

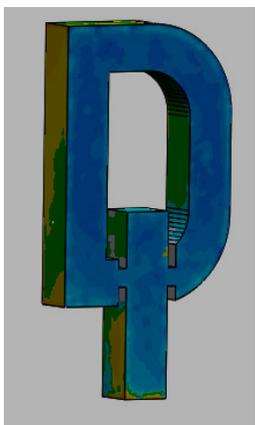


Figura 9. Diferencia de dimensiones de la pieza A.

Para la pieza B se siguió el mismo procedimiento mostrado en las figuras 5 a 9.

2. Resultados

A continuación, se describen los resultados obtenidos durante los procesos de análisis mencionados anteriormente.

I. Análisis de escaneos

Con los datos obtenidos en el programa Geomagic-Design X, se lograron identificar las características geométricas de las piezas analizadas, así como el margen de error que se produjo durante el proceso de manufactura (Ver figuras 10 y 11).

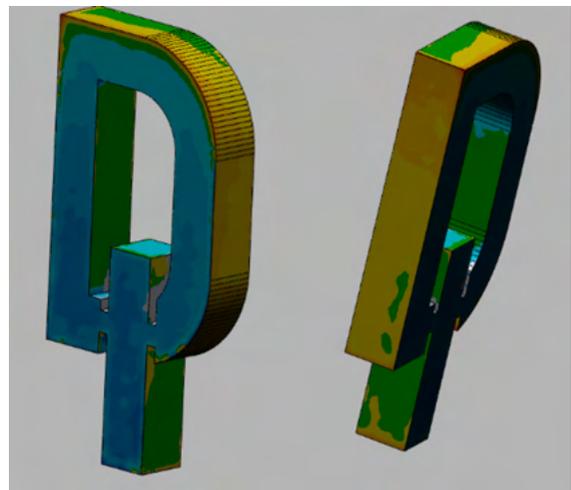


Figura 10. Áreas de análisis de características físicas pieza A vs. CAD original.

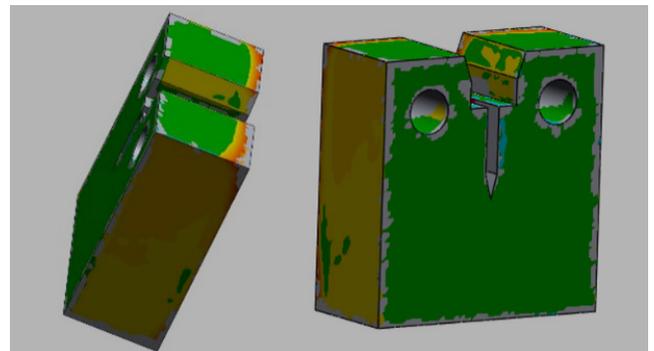


Figura 11.- Áreas de análisis de características físicas pieza B vs. CAD original.

Para la pieza A, se realizaron tres comparaciones diferentes tomando en cuenta veinte áreas distintas de cada una de éstas. En la gráfica de esta pieza (ver

figura 12) se observa que las tres muestras comienzan con desviaciones por encima del valor central, y se encontró que el valor de la desviación estándar promedio en ese caso es de 0.237 mm, lo que indica que las piezas inicialmente presentaron expansión o exceso de material.

Esto, según Bresson et al. (2022) es por el uso de soportes de forma de cono, que, aunque son fáciles de retirar, no ofrecen suficiente estabilidad térmica en las primeras capas. Esa falta de disipación del calor pudo provocar deformaciones, especialmente en las zonas laterales. Los resultados muestran que los soportes cónicos influyen directamente en las dimensiones de las piezas [7].

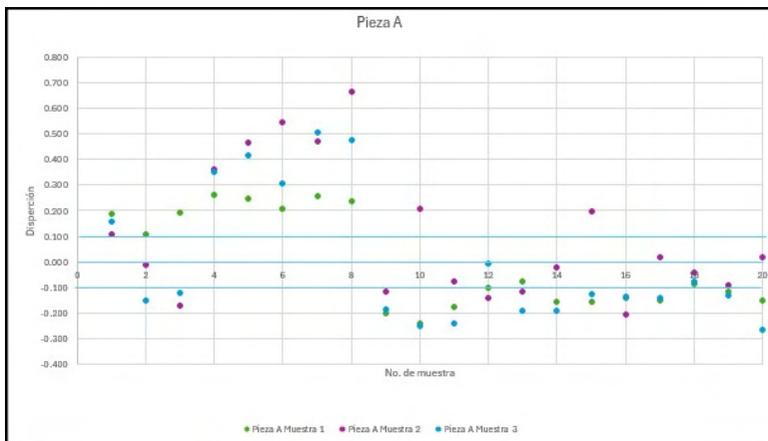


Figura 12. Medidas de dispersión de datos de escaneo de la muestra A.

En el caso de la pieza B, las dos muestras se fabricaron con soportes con forma de conos. En la gráfica se nota que la 1B (verde) tuvo más variación y varias medidas se salieron del rango, mientras que la 2B (morado) fue más estable. Las dos presentaron un ligero encogimiento en los laterales.

Aun así, en la muestra 2B el efecto fue menos marcado, pues su desviación estándar promedio con respecto al CAD original es de 0.076 mm. Esta diferencia de datos sugiere la necesidad de ajustes en los parámetros de proceso o en el control dimensional previo a la manufactura o en su defecto cambios en la geometría de los soportes (Ver figura 13).

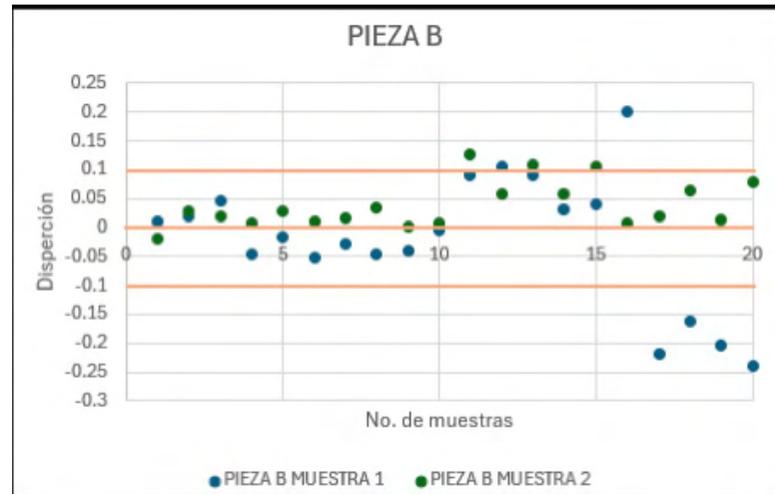


Figura 13. Medidas de dispersión de datos de escaneo muestra B.

Para ambos casos entonces, se observa una deformación por falta de material en los laterales, estos valores varían entre ambas piezas, principalmente por los parámetros utilizados durante el proceso, lo que sugiere que si bien, los soportes cónicos afectan a las piezas derivado de su baja estabilidad térmica; los parámetros y la densidad de la pieza son factores para tomar en cuenta para el resultado final.

4. Conclusión

La MA es una herramienta que continúa avanzando y que los esfuerzos para optimizarla siguen en desarrollo. En la actualidad, el estudio sobre cómo influyen los soportes en piezas creadas con manufactura aditiva debe tomar en cuenta que, a pesar de la amplia libertad geométrica que nos brinda esta tecnología, existen desviaciones dimensionales que deben ser cuidadosamente consideradas.

Durante el análisis comparativo entre las piezas CAD y piezas escaneadas previamente fabricadas con la aleación AlSi10Mg, se observó una desviación estándar que indica ausencia de material y esto lo vemos en mayor medida en la pieza A. Esto significa que existe un leve encogimiento con respecto al CAD, que se detectó superponiendo la pieza escaneada con la original. El software permitió ver estas áreas donde se visibilizaba la ausencia del material. Esta

información se respalda con los valores de desviación estándar obtenidos, ya que, en la tendencia de las áreas analizadas, la mayoría se presenta en el eje positivo, especialmente la zona donde no se colocaron los soportes.

En el caso de la pieza B, se observó un comportamiento similar. Aunque el encogimiento fue menos evidente también se observó una reducción en los laterales.

Todos estos resultados ponen en una posición de importancia crítica los soportes durante la fabricación de las piezas.

A partir de estos hallazgos se concluye que es necesario establecer un control riguroso de los parámetros previos a la fabricación, así como una colocación óptima de los soportes con el fin de garantizar las tolerancias dimensionales requeridas para lograr una fabricación óptima que cubra con todas las necesidades requeridas.

Referencias:

[1] Díaz-Martínez, M. A., Román-Salinas, R. V., Ruíz-Hernández, S., Hernández-Cortés, N. A., & González-Rubín, V. I. (2024). La manufactura aditiva como elemento imprescindible de la industria 4.0 en beneficio de la ingeniería: un análisis bibliométrico. *Ingeniería Industrial*, (47), 209-238. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n47.7153>

[2] N. Sánchez, y I. Lira. "La Manufactura aditiva como potencializador de los sistemas productivos".

Inventum, vol. 15, No. 28, pp 2 - 13. DOI: 10.26620/uniminuto.inventum.15.28.2020.104-112.

[3] Oshima, T., Takano, N. (2024). Apparent properties of porous support structure with imperfections in metal additive manufacturing, *Additive Manufacturing*, Volume 84, 2024, 104090, ISSN 2214-8604, <https://doi.org/10.1016/j.addma.2024.104090>.

[4] Emere G., Erkan G. (2025). Enhanced support structures in conformal additive manufacturing for improved geometric accuracy. *Journal of Manufacturing Processes*. Volume 144, 30 June 2025, Pages 209-226

[5] Capasso, I., Andreacola, F. R., & Brando, G. (2024). Additive Manufacturing of Metal Materials for Construction Engineering: An Overview on Technologies and Applications. *Metals*, 14(9), 1033. <https://doi.org/10.3390/met14091033>

[6] A. Balbás, M. Espinosa, M. Dominguez, "Últimos avances en la fabricación aditiva con materiales metálicos", *Lámpsakos*, no. 19, pp 47-54, 2018 DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.2365>

[7] Bresson, Y., Tongne, A., Selva, P., & Arnaud, L. (2022). Modelado numérico de la distorsión de piezas y la rotura de soportes de vigas durante la fabricación aditiva por fusión selectiva por láser (SLM). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119, 5727–5742. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08501-5>

ANÚNCIATE



Haz que tu empresa destaque en la industria

Visibilidad nacional e internacional

Un espacio consolidado donde tu marca gana autoridad en la industria

Refuerza tu autoridad dentro del mercado

Canal para darte a conocer

 imedal@imedal.org  55 3069 4577

 55 5531 7892 - 55 5531 7907

Fabricación de Soporte mediante Manufactura Aditiva utilizando Diseño Generativo



C. A. Saucedo Castañeda

Acerca del Autor

Ingeniero en Manufactura por la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UANL. Gerente General de PeakNL y Cofundador de Retrak Materials startup cleantech de materiales sostenibles



R. Santiago Robles

Acerca del Autor

Ingeniero en Manufactura por la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UANL. Sr. Design Engineer de Steelcase, además de ser estudiante de Maestría en Diseño Avanzado por la UDEM

A. Cavazos López

Acerca del Autor

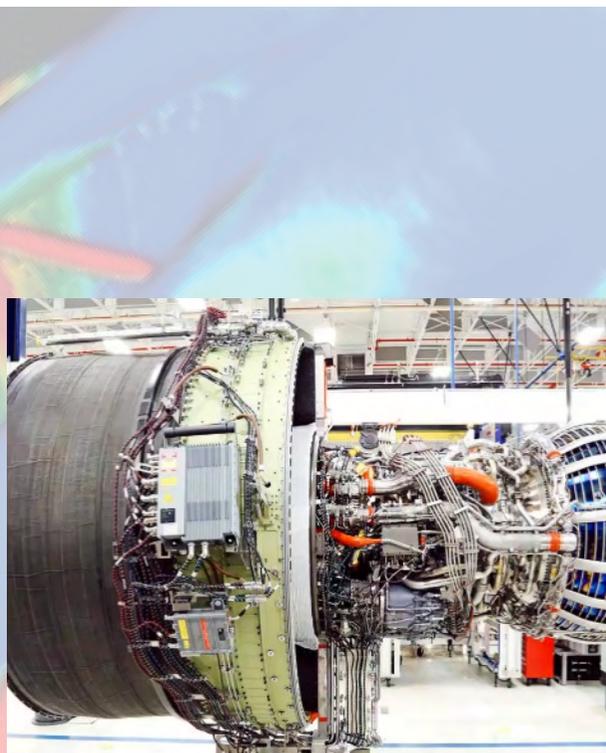
Ingeniero en Manufactura por la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UANL. Sr ME Assembly en John Deere México.



P. Zambrano Robledo

Acerca del Autor

32 años en docencia, investigación y desarrollo tecnológico en la UANL, donde obtuvo su título de Ingeniero Mecánico Administrador, Maestría en Ciencias de Ingeniería Mecánica con Especialidad en Materiales y el grado de Dra. en Ingeniería de Materiales.



C. A. Santana Delgado

Acerca del Autor

Profesor/Investigador de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UANL. Doctor en Ciencias de la Ingeniería Aeronáutica por la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UANL.



H. A. Trujillo Guerra

Acerca del Autor

Ingeniero en Mecatrónica por la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UANL

Abstract:

La Manufactura Aditiva (MA) se ha convertido en una solución para diversas áreas de la ingeniería, desde la biomédica hasta la automotriz, brindando nuevas oportunidades a estas novedosas tendencias industriales. Esta tecnología ofrece una ventaja en peso al fabricar geometrías complejas, donde el mecanizado convencional no es posible. La MA, combinada con una nueva área como el Diseño Generativo (DG), proporciona una forma innovadora de crear y diseñar componentes. Esta se basa en algoritmos matemáticos y software orientado a la Inteligencia Artificial, lo que crea un proceso de fabricación moderno que aumenta la rentabilidad y mejora el diseño. Este análisis demuestra lo que se podría lograr utilizando estas modernas herramientas industriales para procesar y producir productos con fines específicos.

Introducción

La evolución en la industria depende del grado de innovación en actividades de investigación asociadas a los procesos de fabricación, materiales y diseño del producto [1].

Utilizar nuevas tendencias en el desarrollo de componentes como la manufactura aditiva, facilitan el proceso cuando nos encontramos con geometrías complejas.

En la actualidad, el primer paso para fabricar una pieza consiste en modelar la geometría respetando las propiedades físicas de su diseño, del mismo modo que su entorno en forma de cargas o restricciones de su uso [2].

Dicho proceso antes mencionado es llamado ingeniería asistida por computadora (CAE) la cual provee de un método completo al momento de fabricar en donde se pueden encontrar áreas de oportunidad antes de fabricar.

Existen diversos factores como tipo de material, método de fabricación, costo de producción, y tiempo de elaboración de una pieza; variables que son de gran interés para las organizaciones debido al impacto que puede beneficiar o perjudicar la manufactura del producto.

La aplicación de estos procesos crea un área de oportunidad para optimizar el desempeño de cualquier pieza y se pueda albergar un ahorro económico, así como un menor daño al ambiente.

Cuando una pieza presenta áreas de oportunidad ya sea dadas en la geometría o el tipo material, después de obtener el diseño del modelo se prosigue con la optimización topológica, lo cual Gómez et al. [3] afirma "es un método matemático que tiene como objetivo optimizar la distribución de material dentro de un espacio de diseño, satisfaciendo un conjunto de cargas, condiciones de frontera y restricciones dadas".

Posteriormente al diseño generativo, al ser un enfoque reciente tiene como función sintetizar el diseño con distintas alternativas mediante la exploración de todo el espacio para lograr objetivos como el cumplimiento estructural mínimo dado un conjunto de requisitos funcionales y restricciones marcadas de la geometría, inclusive las especificaciones del material y consideraciones de fabricación [4].

Implementar la disponibilidad de la nube al momento de generar un diseño abre ventaja al crear distintas opciones dadas por el software, estas generadas en servidores, algunas ventajas que se pueden operar con la nube sería proporcionar una reducción de masa o un aumento de resistencia sea la necesidad, en un número determinado que sea requerido.

En el área de manufactura aditiva, los objetos son fabricados mediante la adición de material capa por capa hasta generar la pieza deseada, lo inverso a la manufactura sustractiva. Permitiendo una gran liber-

tad en el diseño de piezas que presenten geometrías complejas [5]

Antecedentes

La optimización de piezas mediante la implementación de manufactura aditiva y diseño generativo, da oportunidad de optimizar la geometría del diseño original en relación con su peso y resistencia mecánica. Para este trabajo se utilizó como ejemplo un soporte de cojinete para motor de avión el cual es un componente común en las superficies de control de aeronaves como se ilustra en la Figura 1 que proporciona una plataforma para la aplicación de MA. Este trabajo se desarrolló tomando el caso de estudio dado por la empresa ALCOA mediante GrabCAD [6].



Figura 1. Estructura interna del motor de una aeronave

Como un componente dinámico que interactúa con las partes móviles, dicho soporte debe adaptarse a una geometría determinada, además de ser capaz de sostener grandes fuerzas de carga en varias direcciones.

El rediseño del soporte para MA podría proporcionar un ahorro significativo de peso y ayudar a reducir el consumo de combustible de los aviones. Con la ventaja de implementar este proceso de DG, ayudará a entender los diversos requerimientos que se buscan al momento de fabricar.

Planteamiento del caso de estudio

La función del soporte es llevar el peso de la cubierta durante el servicio del motor (mantenimiento), esta

pieza no desempeña ningún papel activo durante el funcionamiento del motor.

El objetivo es optimizar piezas que contengan una cantidad considerable de ensambles, mediante la aplicación de tecnologías provenientes de la industria 4.0 como la manufactura y el diseño generativo que es un enfoque moderno para diseñar alternativas mediante la aplicación de algoritmos matemáticos (Script), los cuales generan permutaciones hasta la obtención de diferentes modelos que cumplan con los requisitos que el usuario indique.

El soporte de cojinete para motor de avión que será utilizado para obtener una optimización se muestra en la Figura 2.

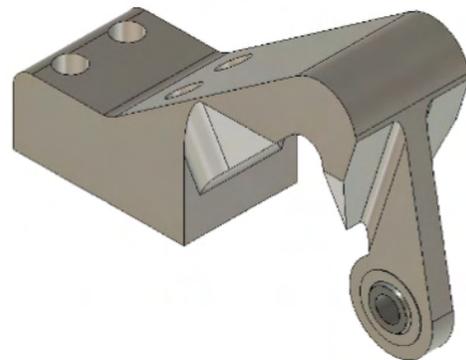


Figura 2. Pieza original sin ningún tipo de modificación.

La información del material utilizado se puede visualizar en la Tabla 1.1. y en la Tabla 1.2 se pueden visualizar las propiedades mecánicas de la pieza.

Optimización topológica. Mediante la optimización topológica es posible lograr una reducción y optimización a la geometría de la pieza, aun que solamente se limitara a disminuir el material en las zonas con el menor estrés por las cargas que se trabajaran en dicha pieza (Ver Figura 3).

Información del material	
Nombre	Aleación Ti 6Al-4V
Tratamiento	Recocido
Tipo	No ferroso

Tabla 1.1 Material de la pieza

Propiedades mecánicas	
Módulo de Young ϵ	113.763 Gpa
Densidad	4.430 g/cm^3
Coefficiente de Poisson	0.35
Módulo de Cizalla	42134.575 Mpa
Límite elástico	882.528 Mpa
Resistencia a la tracción	1034.213 Mpa

Tabla 1.2 Propiedades mecánicas



Figura 3. Modelo de optimización topológica.

Aplicación del diseño generativo

La herramienta Fusion 360, busca obtener una reducción de material utilizado en la pieza realizando el análisis topológico y cuidando siempre no disminuir las propiedades mecánicas de la misma.

Una vez realizada la optimización topológica (ver Figura 4), la pieza generada cuenta con la menor cantidad de material permisible, sin llegar a comprometer las propiedades mecánicas del diseño.



Figura 4. Modelo generado mediante los algoritmos de diseño generativo de Fusion 360.

Manufactura aditiva

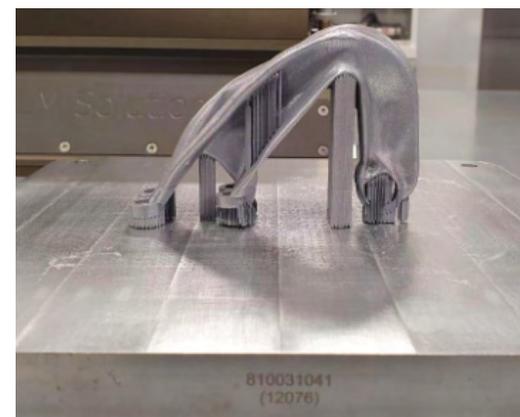
Para el proceso de manufactura de la pieza se utilizó un equipo SLM 280 HL (Ver Figura 5). Esta pieza fue fabricada con la aleación de AlSi10Mg. Durante el proceso se coloca una cama de polvo metálico sobre la superficie de la mesa del equipo y un láser hace el recorrido por toda el área de la geometría deseada. Con esto el laser funde capa por capa todo el volumen de la pieza, a su vez la cama de impresión baja para que un barrido deposite una nueva capa de material, activando nuevamente el láser. Para esta pieza en total se utilizaron alrededor de 14,000 barridos para realizar la manufactura completa de la pieza (Ver Figura 6).

El programa que se utilizó antes de iniciar la SLM 280 HL fue Materialise, el cual es compatible con el equipo. Para realizar una comparativa se manufacturó la geometría optimizada topológicamente. El proceso duró 14 horas 53 minutos, con un tiempo de extracción de 4 horas.



Figura 5. Equipo de manufactura aditiva utilizado en este trabajo.

Figura 6. Proceso de manufactura capa por capa de la pieza hasta completar la geometría completa.



Análisis estructural

Al momento de analizar las posibles fallas en las piezas en una aplicación real y con el objetivo de mostrar las nuevas tendencias se optó por crear un análisis estructural mediante un análisis de tomografía computarizada en el Metrotom 1500 de ZEISS usando software NEO Inshights, esto para observar detalles dentro de la pieza comparada con el archivo CAD. El poder comparar dimensionalmente la pieza, genera una gran ventaja ya que es posible visualizar detalles internos como fisuras y porosidades que no se podrían observar de otra manera. En la figura 7(a) a 7(d) se visualiza el reporte generado por la tomografía llevada a cabo.

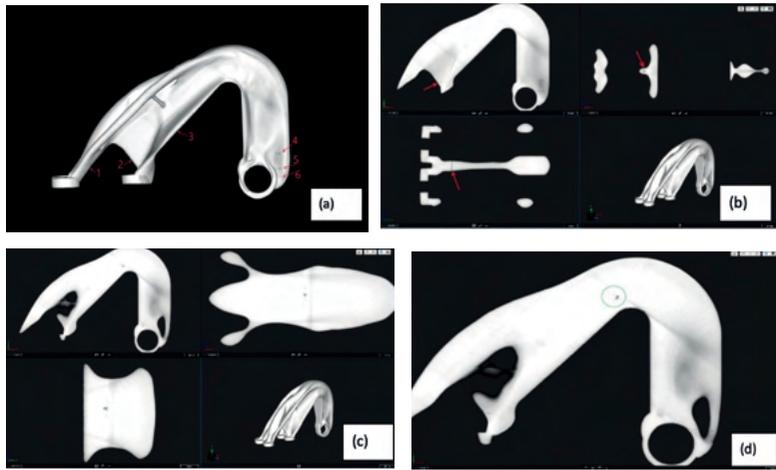


Figura 7(a) a 7(d). Diferentes imágenes de las tomografías llevadas a cabo.

En el plano xy se pueden apreciar los poros en la pieza así como su distribución.

Hasta ahora se han mostrado detalles y defectos encontrados en la superficie y hacia el interior de la pieza. En las imágenes 8(a) a 8(c), se realiza una comparación geométrica de la pieza. Debido a que no se indicó la medición de alguna geometría las siguientes imágenes solo son demostrativas de la diferencia entre las medidas del archivo CAD proporcionado y las medidas de la pieza fabricada en MA y escaneada en el Metrotom 1500.

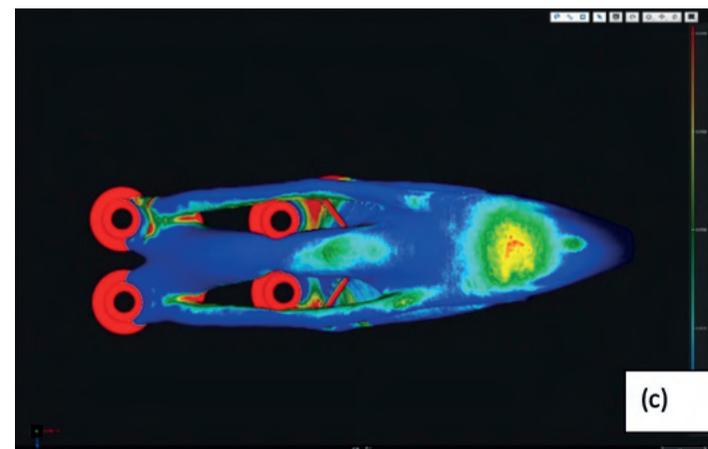
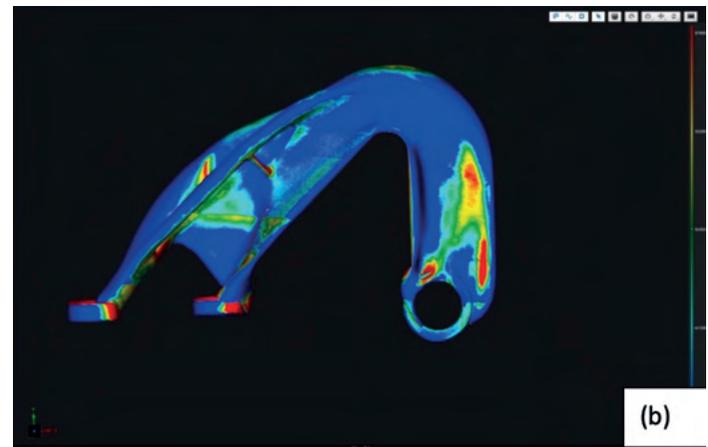
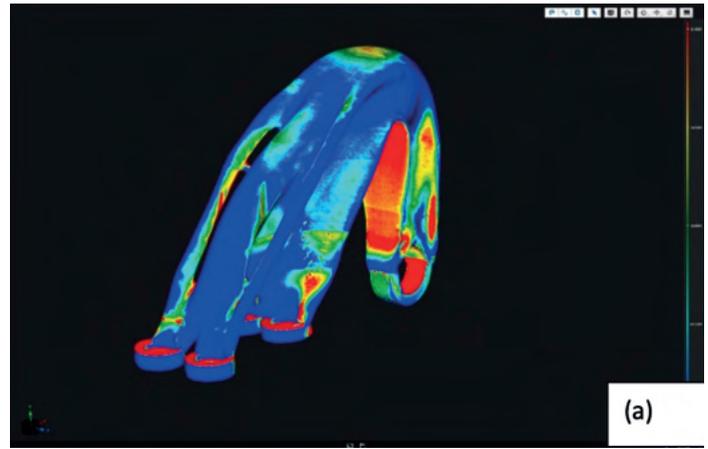


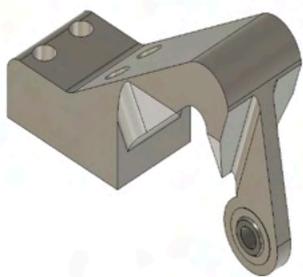
Figura 8(a) a 8(c). Imágenes de las comparativas dimensionales.

Para dicha comparación se consideró solamente que el software mostrara solo aquellas superficies donde el exceso o falta de material fuera de 100 micras. En algunas imágenes se podrá apreciar que hay zonas en donde el exceso de material es mayor a 100 micras y en algunas otras zonas la pieza carece de material por más de 100 micras.

El resultado visible de la utilización del diseño generativo nos lleva a un ahorro en peso del 50.3% (Ver Figura 9).

ORIGINAL

DISEÑO GENERATIVO



485 g



244 g

50.3%
MÁS LIGERO

Figura 9. Comparativa de peso de la pieza original y la pieza rediseñada aplicando MA y DG.

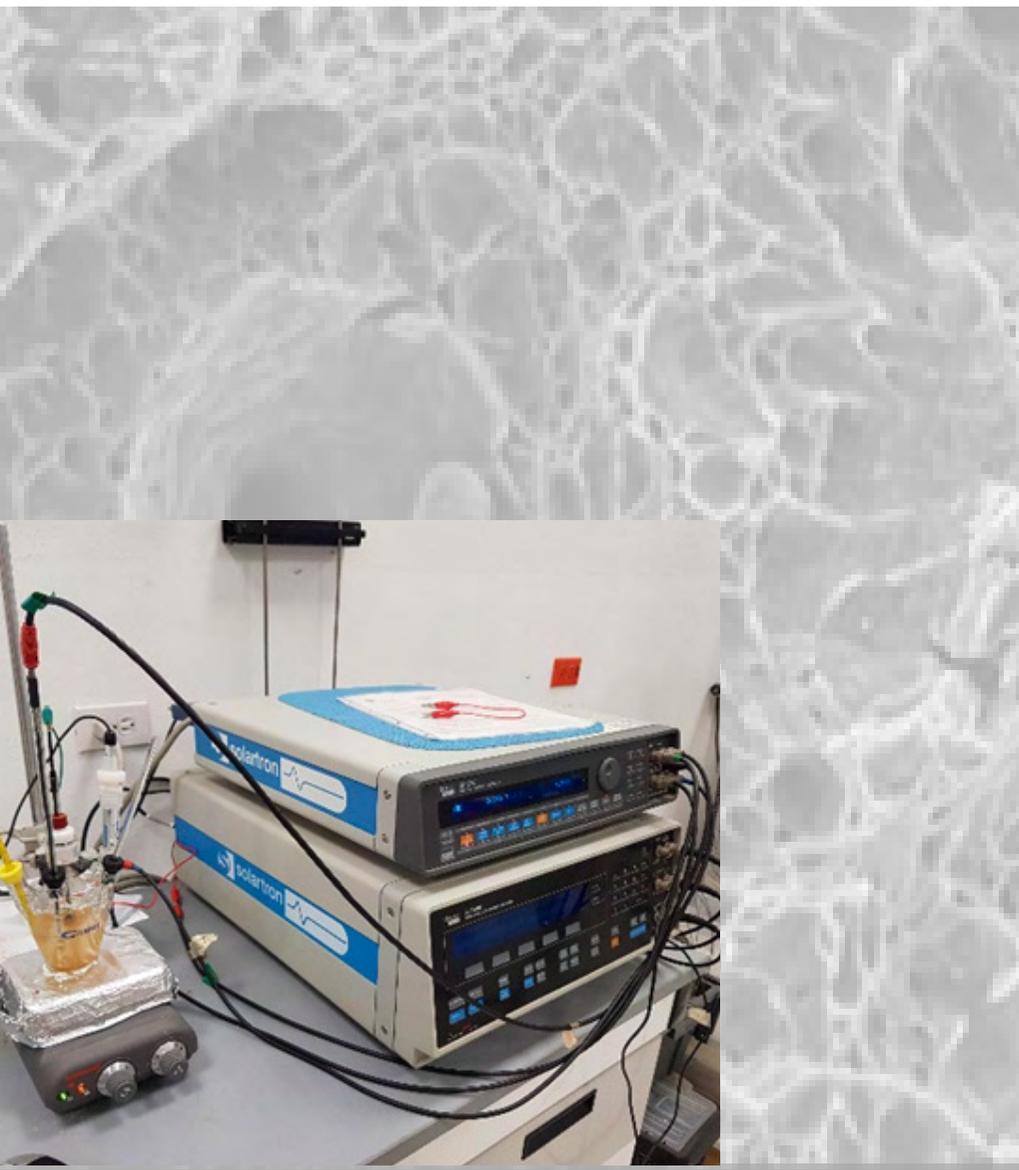
Conclusión

Las nuevas tecnologías de MA que han surgido a raíz de la cuarta revolución industrial han abierto un horizonte con nuevos métodos hacia el diseño y manufactura de piezas que siguen fabricándose mediante procesos tradicionales, los cuales llegan a generar una cantidad considerable de desperdicio de material. Actualmente son limitadas las organizaciones que emplean el DG dentro del diseño en procesos de ingeniería.

Referencias:

1. Abdulhameed, O., Al-Ahmari, A., Ameen, W., & Mian, S. H. (2019). Additive manufacturing: Challenges, trends, and applications. *Advances in Mechanical Engineering*, 1-27.
2. SIEMENS. (2019). Siemens PLM Software. Obtenido de Siemens Web site: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-engineering-cae/13112>
3. Gómez, C. & Medellín, H. (2017). Tema A1: Diseño Diseño y optimización topológica de un implante craneal personalizado. julio 22, 2019, de Facultad de ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
4. Marinov, M., Amagliani, M., Barback, T., Flower, J., Barley, S., Furuta, S., . . . Wolski, P. (3 de Junio de 2019). Generative Design Conversion to Editable and Watertight Boundary Representation. Autodesk Inc.
5. Leach, R. K., Bourell, D., Carmignato, S., Donmez, A., Senin, N., & Dewulf, W. (2019). Geometrical metrology for metal additive manufacturing. *Publicación de CIRP Annals*, 1-24.
6. Aircraft engine bearing bracket, www.simscale.com/forum/t/workshop-2-session-2-homework-aircraft-engine-bearing-bracket-analysis/38711

La Ciencia de la Ingeniería de Corrosión en la UANL



**Dr. Facundo
Almeraya Calderón**

Acerca del Autor

Profesor – Investigador titular B de la Facultad de ingeniería Mecánica y Eléctrica UANL desde 2011. Con más de 28 años de experiencia en la investigación, habiendo trabajado para el Centro de Investigación en Materiales Avanzados CIMAV (17 años), UAM-Azcapotzalco (6 años) y TAMSA (2 años). Jefe del Laboratorio de Corrosión y Protección del CIIIA. Miembro del Cuerpo Académico UANL-CA-316 “Deterioro e integridad de materiales compuestos”

Abstract:

El crecimiento vertiginoso en los últimos años de la industria aeroespacial en México ha creado una demanda de Capital Humano altamente especializado en técnicas avanzadas de ingeniería, capaces de innovar y resolver problemas complejos resultantes de la integración de materiales, componentes y sistemas aeronáuticos. El papel de la industria como exportadora de componentes aeroespaciales requiere de personal específicamente preparado en áreas de la Ingeniería Aero-náutica, especialmente en aquellas de gran demanda en nuestro país como lo son Estructuras, Aerodinámica, Materiales y Sistemas de Vuelo/Navegación/Control.

En este trabajo, se presenta el Laboratorio de Corrosión y Protección del Centro de Investigación e Innovación en Ingeniería Aeronáutica CIIIA de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME) de la UNAL, ubicado en el Hangar de la UANL dentro del aeropuerto internacional del Norte, en Apodaca, Nuevo León. En este Laboratorio se brinda soluciones, para poder abordar la problemática de corrosión en la industria nacional en general, así como realizar investigación de vanguardia en diferentes áreas de la corrosión y métodos de protección. En este Laboratorio se cuenta con un cuerpo académico consolidado, que permitirá abordar líneas de investigación sobre la corrosión y el deterioro e integridad de materiales.

Introducción

La ingeniería de corrosión y protección ha jugado un papel muy importante para las economías desarrolladas, impulsando la actividad crucial de la industria de procesos en forma confiable y segura, aun a pesar de los numerosos productos químicos corrosivos muy difíciles de manejar. Lamentablemente, existen estadísticas generadas a raíz de fallas catastróficas recientes en varios complejos industriales importantes, que enfatizan la necesidad de asegurar la calidad de operación. Es por esta razón que los estudios e investigaciones, fundamentales y dirigidos, en el área de ingeniería de corrosión y protección son de interés

significativo para el sector industrial de nuestro país. Realizar trabajos de investigación en ciencia e ingeniería de corrosión con diferentes alcances y profundidades arrojarán resultados que contribuyan a la solución de aquellos problemas que limitan la productividad industrial y que le ocasionan a la planta productiva severas pérdidas. Los ahorros más evidentes que pueden efectuarse al evitar las pérdidas por corrosión pueden alcanzar entre 30 y 40% de los costos totales con sólo aplicar las tecnologías actualmente disponibles; un 15 % adicional se podría lograr habiendo realizado las consultas a la información disponible en bancos de datos, antes de que los daños ocasionados a las instalaciones se hayan manifestado en mayor o menor grado de severidad.

Los deterioros por corrosión, desgaste y erosión pueden ser solucionados con los diversos métodos de protección que se tienen en el área de la ingeniería, identificando adecuadamente sus mecanismos de deterioro, para poder evaluar su comportamiento en baja y alta temperatura, y poder caracterizar las propiedades de los materiales compuestos utilizados, atendiendo la demanda de servicios y soluciones sobre el comportamiento de materiales aeronáuticos, como las turbinas de avión [1,2,3].

Líneas de Investigación.

Con el desarrollo de las líneas de investigación que se practican en la UANL, se encuentran soluciones, para poder abordar la problemática de corrosión en la industria de procesos y metal-mecánica, haciendo uso de técnicas electroquímicas, que proporcionen la velocidad de corrosión en tiempo real, lo cual se traduce como la vida útil de los materiales en condiciones de servicio (figura 1). Se trabaja en:

- (a) El estudio de las causas y mecanismos de corrosión del acero de refuerzo en diferentes ambientes (corrosión localizada, corrosión generalizada, etc.)
- (b) Uso adecuado de las técnicas electroquímicas de evaluación y control (tanto en laboratorio como in situ)

(c) Empleo de métodos de protección o de rehabilitación óptimo

(d) Cuantificación de la vida útil de estructuras afectadas por corrosión



Figura 1. Equipo de corrosión electroquímica para estudio de materiales metálicos.

El monitoreo de la corrosión mediante técnicas electroquímicas ha tornado un importante aspecto en el diseño y operación de las instalaciones industriales y las estructuras modernas. Con el empleo de estas técnicas los ingenieros pueden hoy en día percatarse del grado de deterioro causado por la corrosión y la velocidad con que se está manifestando, bajo diversas condiciones de operación (figura 2).



Figura 2. Monitoreo en Planta para atender problemas de corrosión.

Existe una amplia variedad de materiales metálicos, no metálicos, plásticos, cerámicos y materiales compuestos que podrían elegirse para una aplicación determinada, y cada material candidato posee una combinación específica de propiedades. El propósito de la implementación de esta línea de investigación

es hacer un análisis de los factores que se involucran en la selección de materiales como método preliminar para el control de la corrosión. Se hace énfasis sobre la necesidad patente de sistematizar el proceso de selección considerando como posición inicial la definición de los requerimientos impuestos por el servicio a que se dirigirá los materiales seleccionados.

En el Laboratorio de Corrosión y Protección se realizan caracterizaciones por corrosión de materiales metálicos como; aceros al carbono, aceros Inoxidables, superaleaciones, aceros AHSS, aluminio, cobre, zinc, entre otros) expuestos en diferencia ambientes corrosivos y haciendo uso de técnicas electroquímicas de DC y AC dentro de las cuales están resistencia a la polarización lineal, curvas de polarización, ruido electroquímico y espectroscopia de impedancia electroquímica por mencionar algunas, cada una de las técnicas se fundamenta en estándares internacionales como ASTM G85, G59, G199, G106 y G5.

En cuanto a pruebas aceleradas por corrosión se cuenta con cámara de niebla salina para evaluar materiales metálicos o recubiertos basados en ASTM B-117, G85 y D5894, SAE J2334, entre otros. Los materiales con recubrimiento con pintura pueden ser evaluados los ensayos de la adherencia inicial y final, ASTM D3359; determinación del % de herrumbre, ASTM D610; evaluación del porcentaje de ampolamiento, ASTM D714; evaluación de resistencia al rayado, ASTM D1654; y Dureza inicial y final del recubrimiento orgánico, ASTM D3363 [4,5] .

Una de las líneas de investigación consolidada por más de 25 años ha sido la corrosión en estructuras de concreto reforzado, donde se han formado más de 50 profesionistas y se ha contribuido en inspeccionar, evaluar y diagnosticar estructuras de concreto reforzado como Chimeneas, Puentes, Silos y Muelles; estos últimos proyectos de rehabilitación realizados con la Secretaria de Comunicaciones y Transporte a través del Instituto Mexicano del Transporte donde se evaluaron los muelles de Topolobampo y Altamira y se propuso su rehabilitación, con soluciones ingenieriles para mejorar la infraestructura del país.

También se ha contribuido en investigaciones de ciencia básica y aplicada haciendo uso de materiales de desecho industrial como es el uso de bagazo de caña de azúcar (ingenios azucareros de Veracruz y Sinaloa), escoria de alto horno (siderúrgicas como Altos Hornos de México en Coahuila), ceniza volante como carboeléctricas) entre otros. Estos materiales se utilizan hoy en día como sustitutos de cemento, para reducir la producción de CO₂ en la atmosfera de la industria cementera

La mayoría de las decisiones en la selección de materiales se toma por los Ingenieros de diseño y desarrollo, y para cada diseño en particular, sería satisfactorio poder decir que esas decisiones se basaron en análisis cuantitativos, hechos sobre las características de los diversos requerimientos que se anticipan del servicio. En el CIIA los estudios de corrosión se complementan con la caracterización de las propiedades de los materiales por técnicas como difracción de rayos X, Microscopia óptica y electrónica de Barrido y Trasmisión (figura 3), Ensayos mecánicos. También se trabajará en el diseño de nuevos materiales por medio de simulación matemática, y la respectiva síntesis de muchos de ellos.

Estudiar el deterioro de materiales a alta temperatura, contribuirá con trabajos e investigaciones sobre materiales sometidos en alta temperatura, caracterizando su comportamiento en presencia de gases corrosivos. Cuando un metal es expuesto a un gas oxidante a temperaturas elevadas, la corrosión puede ocurrir por la reacción directa con el gas sin la presencia de un electrolito líquido.

Este tipo de corrosión se refiere como un manchado, oxidación en alta temperatura. La velocidad de ataque se incrementa sustancialmente con la temperatura, la película superficial típicamente aumenta como un resultado de la reacción en las interfases óxido/gas u óxido/metal debido al transporte de cationes o aniones a través del óxido, el cual se comporta como un electrolito sólido. Para un óxido no poroso el transporte iónico a través de la costra es la velocidad que

controla el proceso. La estabilidad termodinámica, la estructura con defectos iónicos y ciertos rasgos morfológicos de la costra formada, son factores claves que determinan la resistencia de una aleación a un medio ambiente específico.

El crecimiento inicial de la película es comúnmente rápido. Si la costra es un sólido no poroso y cubre totalmente la superficie del metal, la velocidad de reacción decrecerá cuando el espesor llegue a unos miles de Angstroms tanto como el transporte de especies reactivas a través de la película sean los que controlen el proceso. La subsecuente velocidad de corrosión dependerá de mecanismos de transporte, los cuales pueden ser debidos a potenciales eléctricos o gradientes de concentración o a emigración a lo largo de trayectorias preferenciales, y de este modo pueden seguir una o varias leyes de velocidad. En Laboratorio se pueden realizar estudios termogravimétricos a diferentes temperaturas en aleaciones (aceros inoxidable, superaleaciones etc.) empleadas en alta temperatura, exponiéndolas en ambientes gaseosos como oxígeno, dióxido de azufre, entre otros.

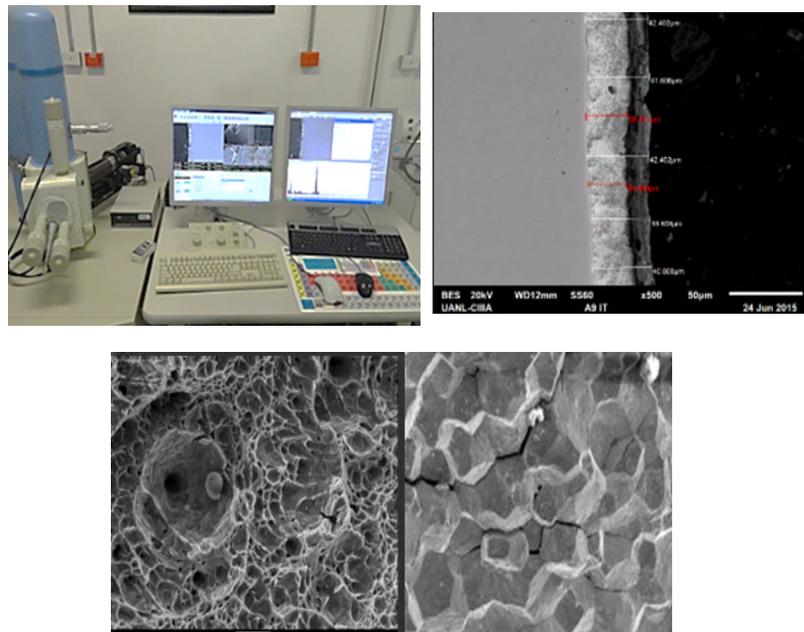


Figura 3. Caracterización de productos de corrosión en fallas de materiales metálicos.

Proyectos de Investigación.

Los proyectos derivados de las líneas de investigación mencionadas, serán dependiendo sus alcances, proyectos de investigación básica o aplicada, y hasta de desarrollo tecnológico, mismos que tendrán entre sus objetivos principales la generación del conocimiento para transmitirlo a la comunidad de la Universidad Autónoma de nuevo León(UANL), y en particular a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica(FIME), todo esto en primer plano, pero con el fin de beneficiar directamente al desarrollo de la sociedad, con Normas, Asesorías, Proyectos, que permitan un desarrollo de infraestructura, mayor integridad y buscar la durabilidad y sustentabilidad.

Además, se tendrá siempre en cada Proyecto como uno de los objetivos principales formar recursos humanos de alto nivel académico, a fin de contribuir con el desarrollo científico, tecnológico, económico y social del país.

El trabajo en conjunto en los proyectos que realizan se puede resumir en la participación entusiasta de cada integrante, en todas las etapas de los proyectos, asesoramiento intensivo a los tesisistas (Licenciatura, Maestría y Doctorado) o alumnos de servicio social y prácticas profesionales, en colaboración en dichos proyectos; y el analizar e interpretar los resultados obtenidos para generar artículos científicos que se sometan para su publicación en revistas indexadas.

Siempre con la visión de generar proyectos nuevos, para asegurar con esto la obtención de resultados constantes que permitirán incrementar la producción científica (artículos en revistas indexadas o arbitradas, libros, capítulos de libros, patentes, exposición de trabajos en congresos nacionales e internacionales), y un punto importante es nuestra labor como académicos que es la formación de recursos humanos, para con ello contribuir con los propósitos de trabajo institucional en el periodo 2012-2020, los cuales fueron planteados en la visión 2040 UANL.

Así también, someter cada proyecto a las convocatorias del SECHyT (Por ejemplo: Ciencia Básica y de Frontera, NSF, y PROMEP), así como a la iniciativa privada, para obtener recursos que beneficien a todos los involucrados y en especial a nuestro programa educativo. El CIIA promueve la creación de proyectos de alto valor en la cadena productiva, que permiten el desarrollo de tecnología avanzada, investigación e innovaciones tecnológicas en el sector industrial.

La realización de proyectos de Investigación puede ser de corto, mediano y largo plazo, se llevan a cabo en conjunto con la industria nacional para solucionar alguna problemática de corrosión, o el desarrollo y validación de nuevas tecnologías, productos o materiales. El Alcance de los proyectos los define la Industria en conjunto con el CIIA.



Capacitación

Por otro lado, la formación de cuadros técnicos especializados es un objetivo fundamental del CIIA. Para coadyuvar a la formación de recursos humanos de alto nivel requerido para los diversos sectores industriales.



En el CIIA-Laboratorio de Corrosión, se ofrece cursos o, diplomados en dos modalidades:

- Abiertos: dirigidos a la industria e instituciones en general, bajo temario Propuesto por CIIA.

• Cerrados: Diseñados para una institución/compañía en exclusiva, con un temario diseñado de común acuerdo para satisfacer necesidades específicas.

• Virtuales: Cursos en modalidad en línea, a través de las plataformas Mteams/Zoom.

Cursos que se imparten al sector industrial

- * Principios de corrosión
- * Corrosión en alta temperatura
- * Selección de materiales
- * Corrosión localizada
- * Protección catódica
- * Recubrimientos
- * Análisis de fallas
- * Técnicas electroquímicas
- * Corrosión en estructuras de concreto
- * Metalurgia básica
- * Tratamientos térmicos
- * Metalografía
- * Propiedades de los materiales

Personal de Investigación

Los profesores investigadores que participan en el Laboratorio de corrosión y Protección del CIIIA, contribuyen al crecimiento de la industria nacional, se encuentran adscritos a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME), y en la unidad académica

del CIIIA (Centro de Investigación e innovación en Ingeniería Aeronáutica).

• **Dr. Facundo Almeraya Calderón**, Doctorado en Ciencia de Materiales con especialidad en Corrosión y caracterización electroquímica de materiales metálicos, y con más de 33 años de experiencia en Investigación. SNII nivel 3, miembro de la académica mexicana de ciencias. Premio Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación 2024 en el Estado de Nuevo León, Premio Nacional de Electroquímica 2022 por la SMEQ, Reconocimiento su trayectoria académica en corrosión y electroquímica por National Trajectory Award 2021 NACE International-Section México. Actualmente Presidente del Consejo Consultivo de la SMEQ

• **Dra. Citlalli Gaona Tiburcio**, Doctorado en Ciencia de Materiales con especialidad en Corrosión y sistemas de protección, y con experiencia de 33 años en investigación y formación de recursos humanos. SNII nivel 2, miembro de la académica mexicana de ciencias. Premio Nacional de Electroquímica 2024 por la SMEQ, Reconocimiento su trayectoria académica en corrosión y electroquímica por National Trajectory Award 2023 NACE International-Section México. Actual presidente de la SMEQ 2023-2025

• **Dr. José Ángel Cabral Miramontes**, Posdoctorado y Doctorado en Ciencia de Materiales. Especialidad en Ingeniería de Materiales. y con experiencia de 12 años en investigación. SNII nivel 1. Presidente de la SMEQ 2019-2023

• **Dr. Francisco H. Estupiñán López**, Doctorado en Ciencia de Materiales. Especialidad en Corrosión. y con experiencia de 12 años en investigación. SNII nivel 1. Certificado por NACE en recubrimientos. Tesorero de la SMEQ

• **Dra. María Lara Banda**, Doctorado en Ciencias en Metalurgia y Ciencia de los Materiales, y con 15 años de experiencia en Docencia e investigación. SNII nivel 1

• **Dra. Patricia Zambrano Robledo**, Doctorado en Ciencias de Materiales con 32 años de experiencia en Docencia e investigación. SNII nivel 2, miembro de la académica mexicana de ciencias. Presidente de la Sociedad Mexicana de Materiales.

El Centro de Investigación e Innovación en Ingeniería Aeronáutica-CIIIA, en un componente fundamental en el desarrollo de altas habilidades tecnológicas con el personal científico calificado, enfatizando las capacidades avanzadas que necesita la industria aeronáutica, de procesos, automotriz y metal mecánica.

En la FIME la subdirección de Vinculación gestiona las acciones de vinculación con los diferentes sectores; privado, público y social, contribuyendo en el desarrollo de profesionales competentes, innovadores y socialmente responsables capaces de generar avances tecnológicos.

Con el desarrollo de nuevos modelos de transferencia de los conocimientos generados en el CIIIA y la UANL dirigidos al sector industrial, ha permitido coadyuvar al desarrollo económico y beneficio social del Estado de Nuevo León y a nivel nacional.

Conclusiones

- La Industria nacional debe tener una mayor sensibilización sobre la problemática de corrosión, para poder tener equipos o componentes metálicos en mejor estado y así no tener paros en la producción
- La capacitación es corrosión, para el sector industrial debe ser importante para tener a sus ingenieros con los conocimientos apropiados y así pueden atender problemáticas de deterioro por corrosión en sus áreas de trabajo.

• Los Proyectos de Investigación sobre el área de corrosión deben de ser definidos en conjunto con la industria para definir el alcance de los mismos.

• Es importante caracterizar el comportamiento de corrosión "In situ" en las plantas industriales, para poder definir alternativas apropiadas a la solución de la degradación por corrosión de equipos o componentes.

• Los ingenieros de las industrias deben de consultar las fuentes de información para formular buenas hipótesis sobre alguna problemática de corrosión.

Referencias:

1. Gaona-Tiburcio C., Zambrano-Robledo P., Martínez-Villafañe A., Almeraya-Calderón F. Corrosión en la industria aeroespacial, Corrosión Y Preservación de la Infraestructura Industrial. Omnia Publisher SL, 2013 doi: 10.3926/oms.36
2. Gialanella, S., Malandrucolo, A. Aerospace Alloys, Springer, Switzerland, 1st ed.; 2020, 129-189.
3. Almeraya-Calderón, F.; Chacon-Nava, J. Corrosion and Protection in Aeronautical Alloys. Metals 2023, 13, 1077. doi.org/10.3390/met13061077
4. Mouritz, P.A. Introduction to aerospace materials, Woodhead Publishing, First published, United Kingdom, 2012. 202-223.
5. Jáquez-Muñoz, et al. Metals 2021, 11, 105. doi.org/10.3390/met11010105

Comportamiento Mecánico de **Aluminio** **6061** Manufacturado Mediante Fusión Selectiva por **Láser**

P. Zambrano Robledo

Acerca del Autor



32 años en docencia, investigación y desarrollo tecnológico en la UANL, donde obtuvo su título de Ingeniero Mecánico Administrador, Maestría en Ciencias de Ingeniería Mecánica con Especialidad en Materiales y el grado de Dra. en Ingeniería de Materiales.

Catalina Jaramillo Isaza

Acerca del Autor

Ingeniera Mecánica por la Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia), Maestría en Ingeniería Aeronáutica con Orientación en Materiales y Doctora en Ingeniería de Materiales por la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), México.



O. López Botello

Acerca del Autor



Profesor de Investigación del Tec de Monterrey y cofundador y CEO de la Asociación Mexicana de Manufactura Aditiva y 3D. Profesor invitado de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en el área de Innovación y Sustentabilidad.



Abstract:

Los procesos de manufactura aditiva en el siglo XXI han venido presentando una gran evolución en la fabricación de piezas complejas en aleaciones de aluminio, las cuales, anteriormente, no se podían obtener, o resultaban muy costosas por medio de manufactura convencional. Entre estos procesos, se encuentra la fusión selectiva por láser (SLM), la cual apoyó la inclusión de la aleación AA6061 en la industria aeronáutica, automotriz y aeroespacial, debido a su baja densidad, lo que permite una reducción considerable del peso de las piezas. Este trabajo se enfoca en analizar las propiedades mecánicas de piezas fabricada por SLM de Aluminio 6061 con el fin de proporcionar piezas con el mínimo de defectos tanto internos como superficiales teniendo una densidad relativa cercana a la teórica. Como resultado principal hubo una optimización de parámetros que superaron la densidad relativa al 99% así como una disminución de porosidad y defectos internos.

Introducción

Las actuales tendencias de la industria de manufactura se caracterizan por el aumento de la competencia en el mercado global, la complejidad y la personalización de productos debido a las preferencias de los clientes en conjunto con la demanda de esta, a un menor costo y tiempo de producción, según Ghany & Moustafa, 2006 y Sanglas, 2013. Esto ha motivado el desarrollo de nuevas tecnologías para lograr una fabricación rápida, precisa y rentable siguiendo los estándares de las actuales tendencias con productos con un alto valor añadido [1-2].

Una de las tecnologías que permite realizar una fabricación que esté de acuerdo con las tendencias de la industria manufacturera mencionadas, es el proceso Manufactura Aditiva (AM), nombre que engloba comúnmente las tecnologías que utilizan la fabricación de objetos físicos tridimensionales, directamente desde la información de un diseño en 3D [1, 3].

La principal virtud que tiene este tipo de manufac-

tura es la creación de piezas de geometrías complejas en poco tiempo, pero al igual que tiene sus virtudes también puede llegar a tener desventajas, una de las principales, es que no ofrece seguridad de que para ciertas aplicaciones tenga un óptimo desempeño cuando se someten a diferentes cargas y temperaturas. La manufactura aditiva tiene alrededor de 50 años, pero desde el 2014 se incrementó la producción por medio de esta para nuevos materiales como son los metálicos y así incursionar con más fuerza en el mercado automotriz, aeronáutico y aeroespacial.

La fusión selectiva por láser (SLM) es una atractiva tecnología de manufactura aditiva, que fabrica materiales metálicos con estructuras complejas, las cuales contienen gran precisión dimensional y excelentes cualidades mecánicas, eléctricas y químicas, lo que hace que a nivel industrial sea una de las técnicas más utilizadas, posicionándola como la segunda en importancia para la fabricación aditiva de materiales después de los polímeros, debido a que permite un muy bajo desperdicio de material y la implementación de diseños óptimos que no afecta el medioambiente con respecto a la fabricación tradicional [4-5].

Este método funde polvos metálicos mediante el uso de un láser de alta energía, creando una pieza homogénea capa a capa. Los polvos metálicos son ligeros con escasa fluidez y alta reflectividad, esto significa que se requiere una alta potencia del láser para fundirlos y realizar una rápida disipación de calor, lo que permite la oxidación de estos, produciendo piezas porosas [6-7]. Según Zhang J. y Song B., los estudios de investigación de los diferentes aluminios en el proceso de SLM se han desarrollado principalmente en la influencia de los parámetros tecnológicos, en las propiedades mecánicas y microestructurales de las aleaciones Al-Si, excepto para los aluminios serie 2000, Al7075 y Al6061, que presentan solidificación sin equilibrio, lo que dificulta que las piezas fabricadas alcancen las propiedades mecánicas deseadas en comparación a los tradicionales, por lo que los autores recomiendan ampliar el alcance del estudio para estos materiales que tienen buena resistencia a la corrosión y a temperaturas más altas [8].

La aleación de aluminio 6061 es de gran aplicación a nivel aeronáutico, aeroespacial, naval, automovilístico, etc., debido a su buena relación peso/resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y buena conductividad eléctrica y térmica. En la actualidad, estas aleaciones son fabricadas principalmente por métodos tradicionales, tales como fundición, forja y extrusión [9].

A pesar de que esta aleación es fundida de forma tradicional, todavía presenta muchos problemas en su proceso de producción y uso, tales como la obtención de una microestructura con tamaño de grano grueso propio de las bajas velocidades de enfriamiento y la presencia de defectos metalúrgicos, los cuales disminuyen las propiedades mecánicas del material [10].

En contraste, al fabricar piezas de este material por medio de fusión selectiva por láser (SLM), se podrían obtener piezas más complejas en comparación con el método de fabricación tradicional ya que su alta velocidad de enfriamiento inhibe el crecimiento de grano y la segregación de elementos de aleación que ayudan a mejorar las propiedades mecánicas [11].

Metodología Experimental

La metodología llevada a cabo en este trabajo de investigación está encaminada a determinar las mejores variables de fabricación de piezas de la aleación de aluminio AA6061 por medio de la técnica de fusión selectiva láser (SLM), con mínima presencia de defectos de fabricación y así evaluar el comportamiento mecánico de la aleación para su aplicación industrial.

Se realizó un estudio bibliográfico exhaustivo de diferentes publicaciones de las cuales se determinaron los parámetros adecuados para realizar el estudio; a pesar de que hay pocas investigaciones sobre el AA6061 y conclusiones no tan favorables de sus propiedades mecánicas, se obtuvieron los diferentes cambios en los parámetros para poder realizar su estudio estadístico para el diseño de experimentos como se muestra en la Tabla 1 y Tabla 2. Las probetas fueron manufacturadas en un equipo SLM (ver figura 1).

Parámetros/ Experimentos	Potencia (W)	Velocidad (mm/s)	Hatch Spacing (mm)	Scan Pattern (°)	Laser Focus (mm)
1	200	300	0.05	0°	0
2	250	550	0.10	90°	0.10
3	300	800	0.15	45°	0.15
4	350	1050	0.20	0°-90°	0.20
5	400	1100	0.25	0°-45°	0.25

Esesor de capa (µm) 70

Tabla 1. Parámetros seleccionados del estado del arte del AA6061 fabricados por SLM para el diseño experimental.

Muestra	P (W)V	(mm/s)	Espacio entre capas (mm)	Esesor de capa (mm)	Patrón de escaneo	Focos del láser (mm)	Densidad de Energía (J/mm³)
1	200	300	0.05	0.07	0°	01	90.48
2	200	550	0.1	0.07	90°	0.1	51.95
3	200	800	0.150	.07	45°	0.15	23.81
4	200	1050	0.20	.070	°-90°	0.21	3.61
5	200	1300	0.25	0.07	0°-45°	0.25	8.79
6	200	300	0.1	0.07	45°	0.2	95.24
7	250	550	0.150	.070	°-90°	0.25	43.29
8	250	800	0.20	.070	°-45°	0	22.32
9	250	1050	0.25	0.07	0°	0.1	13.61
10	250	1300	0.05	0.07	90°	0.15	54.95
11	300	300	0.150	.070	°-45°	0.1	95.24
12	300	550	0.20	.070	°0	.15	38.96
13	300	800	0.25	0.07	90°	0.25	21.43
14	300	1050	0.05	0.07	45°	0.25	81.63
15	300	1300	0.1	0.07	0°-90°	0	32.97
16	350	300	0.20	.07	90°	0.5	83.33
17	350	550	0.25	0.07	45°	0	36.36
18	350	800	0.05	0.07	0°-90°	0.1	125.00
19	350	1050	0.1	0.07	0°-45°	0.15	47.62
20	350	1300	0.150	.070	°0	.25	25.64
21	400	300	0.25	0.07	0°-90°	0.15	76.19
22	400	550	0.05	0.07	0°-45°	0.25	207.79
23	400	800	0.1	0.07	0°	0.25	71.43
24	400	1050	0.150	.07	90°	0	36.28
25	400	1300	0.20	.07	45°	0.1	21.98

Tabla 2. Diseño de experimentos por el método de Taguchi.



Figura 1. Máquina de fusión selectiva láser del CIIIA-FIME-UANL.

Ensayo de tensión estática

Para la realización de los ensayos se siguieron los lineamientos acorde a los requisitos especificados en la norma ASTM E8/E8M-15A, las muestras se fabricaron por medio de SLM como se muestran en la Figura 2 y las pruebas se realizaron en la máquina universal de ensayos mecánicos servo-hidráulica Instron 5960 que se muestra en la Figura 3 usando un extensómetro MTS 634.12F-24 para determinar los valores de módulo de elasticidad (E), resistencia última (σ_u) y resistencia a la fluencia (σ_F), y, de esta manera, poder hacer la correlación con los datos teóricos del AA6061 fabricado por medio tradicional.



Figura 2. Muestra de tensión fabricada de acuerdo con la norma ASTM E8.



Figura 3. Máquina universal servo-hidráulica Instron 5960.

Ensayo de perfil de dureza

Se aplicó el ensayo de dureza a 3 muestras de AA6061 en condiciones originales con la finalidad de cuantificar la dureza del material comparando con el fabricado por fusión selectiva por láser. También se realizó un perfil de micro durezas para determinar los valores en diferentes puntos de fabricación y correlacionar los datos con las otras propiedades mecánicas

del material; este se realizó con un Durómetro Knoop/Vickers 400 series de Wolpert Wilson Instruments como el que se observa en la Figura 4.



Figura 4. Durómetro Knoop/Vickers 400 series de Wolpert Wilson instruments.

Ensayo de fatiga

Se hicieron ensayos de fatiga en la máquina universal servo-hidráulica Instron 5960 que se muestra en la Figura 5, estos se realizaron para determinar los valores característicos en el diagrama tensión-carga cíclica, donde se representa el número de ciclos hasta la rotura de la probeta frente a la amplitud de las tensiones cíclicas y así determinar la vida útil del material. Los resultados obtenidos se correlacionaron mecánicamente con el fin de establecer mejoras en la metodología de fabricación. En la Figura 6 podemos observar una muestra fabricada por SLM para el ensayo de fatiga, esta se fabricó de acuerdo con los requisitos de la Norma ASTM E466.



Figura 5. Máquina universal servo-hidráulica Instron 5960

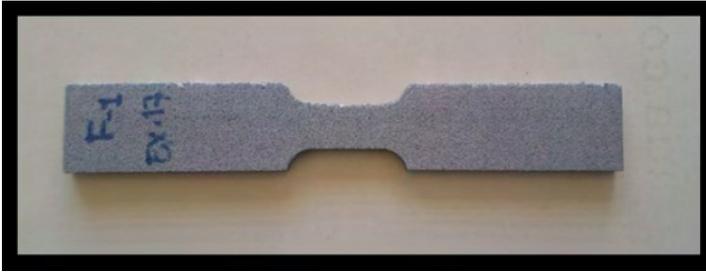


Figura 6. Material de Prueba para ensayo de fatiga fabricado por SLM.

Para determinar la resistencia de materiales bajo la acción de deformaciones de fatiga, las probetas se someten a diferentes deformaciones repetidas o variables de magnitudes especificadas y, así, se cuentan los ciclos o alternaciones de esfuerzos que soporta el material hasta la ruptura. Para determinar los datos iniciales de la prueba se debe tener el esfuerzo de fluencia y esfuerzo de ruptura del material y hallar la curva esfuerzo - deformación tanto ingenieril como real para determinar el coeficiente de endurecimiento (K) y el exponente de endurecimiento (n).

Para determinar la resistencia a la fatiga de un material es necesario un gran número de pruebas debido a la naturaleza estadística de la fatiga. En este caso se utilizaron 24 muestras, de las cuales solo 9 quedaron dentro del rango y a las cuales se les realizará el procesamiento estadístico para hallar los valores iniciales de la prueba.

- a) Se realizaron deformaciones desde 0.001 a 0.004.
- b) Se midieron las muestras de ancho y espesor en la sección reducida.
- c) Se marcó el centro de la muestra y se midió 12.5 mm a ambos lados del centro de la muestra para indicar dónde debía ir el extensómetro.
- d) Se pusieron las muestras en la maquina universal de ensayos y se dispuso a introducir los datos requeridos para iniciar la prueba, se pusieron los límites de deformación de esta y se dejaron hasta los 100,000 ciclos como lo indica la Norma ASTM E606.

Resultados de pruebas de tensión

Se realizaron ensayos de tensión estáticas a 0°, 45° y 90° con base en los requisitos especificados en la norma ASTM E8/E8M-15A, a las dos muestras que presentaron densidades superiores al 99%, al realizar las pruebas de tensión, se pudo observar que las probetas de la muestra 12 presentaba una gran fragilización en el material y no brindaba datos suficientes para generar valores para graficar, mientras que la muestra 17 tuvo su ruptura a un esfuerzo más bajo que el AA6061 tradicional, se obtienen valores de esfuerzo máximo de alrededor de 300 MPa. En la Tabla 3 se pueden observar los datos promedio obtenidos del ensayo de tensión.

Ensayo	% E	Esfuerzo (MPa)		
		Fluencia	Máximo	Ruptura
AA6061 Muestra 12	---	---	---	---
AA6061 Muestra 17	1.2	42.1	52.3	52.3

Tabla 3. Datos de la prueba de tensión estática muestra 12 y 17 fabricadas por SLM.

En la Figura 7 se puede observar las gráficas de 0°, 45° y 90° de la muestra 17, la cual presenta una gran disminución de ductilidad, rompiendo la muestra poco después que el material llegara al límite de fluencia, también se puede observar que cuando se somete la muestra a tensiones en dirección a 0° el esfuerzo cae drásticamente, esta fragilidad no es usualmente esperada para este tipo de material.

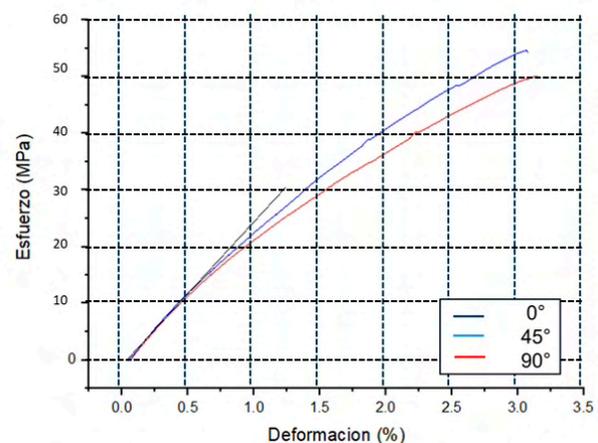


Figura 7. Gráfico de tensión muestra 17 fabricada por la técnica de SLM.

Debido a que las propiedades mecánicas no fueron las esperadas, a cada una de las muestras 12 y 17 se les realizó un tratamiento térmico como se muestra en la Figura 8, se llevaron a 538°C por espacio de 6 horas con temple en agua y luego se realizó un envejecimiento a 220°C por espacio de 1 hora. Se observó que esta aleación tiene alta colabilidad y este tratamiento térmico es de gran ayuda, debido a que se mejoran las propiedades mecánicas, específicamente tensión y ductilidad.

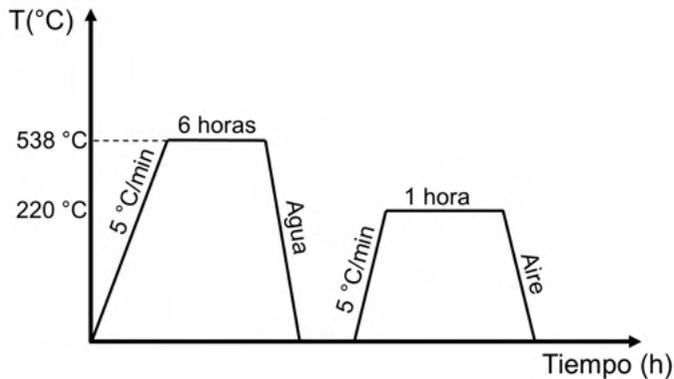


Figura 8. Tratamiento térmico T6 para AA6061 realizadas a las muestras 12 y 17.

Después del tratamiento térmico se puede observar un aumento significativo de propiedades mecánicas, como se muestra en la Tabla 4, donde se encuentran los datos promedios de las pruebas de tensión, se detectó un aumento casi del doble de las pruebas iniciales, soportando esfuerzos de 213.46 MPa y 216.73 Mpa, con un porcentaje de elongación con valores entre 2.9% y 5.1%. También se puede observar en la Figura 9, un aumento de ductilidad en cualquiera de las direcciones que se requieren para corroborar la anisotropía del material.

Ensayo	% E	Esfuerzo (Mpa)		
		Fluencia	Máximo	Ruptura
AA6061 Muestra 12	12.98 7	169.73	213.46	154.13
AA6061 Muestra 17	15.13 9	170.46	216.73	158.36

Tabla 4. Datos de la prueba de tensión estática muestra 12 y 17, después de ser sometidas a tratamiento térmico.

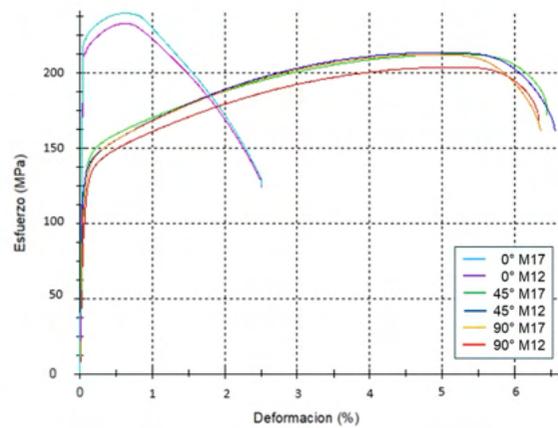


Figura 9. Gráfico de tensión muestras 12 y 17 fabricadas por la técnica SLM y sometidas a tratamiento térmico.

Resultados de pruebas de dureza

El ensayo de microdureza Vickers es un método para medir la dureza de los materiales. La dureza es la oposición que ofrecen los materiales a alteraciones como la penetración o el rayado. Para ensayar la dureza se utiliza una máquina con un penetrador de diamante con forma de pirámide el cual tiene un ángulo de 136°. El ensayo consiste en penetrar la pirámide en el material con una carga conocida, una vez realizada la penetración se mide la dimensión de las diagonales del cuadrado que se dibuja y se realiza un promedio de las dos medidas obtenidas.

Se realizaron pruebas de microdureza en las albercas de fusión y se obtuvo un promedio, se realizaron pruebas en las muestras 12 y 17 con y sin tratamiento térmico y se puede observar en las Figuras 10 y 11 que las muestras sin tratamiento térmico tienen una dureza mucho mayor que las tratadas térmicamente.

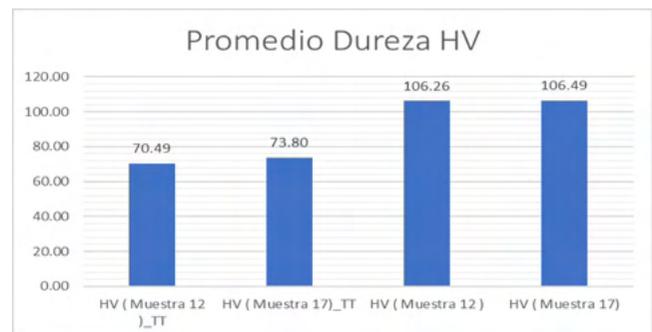


Figura 10. Dureza Vickers muestras 12 y 17 con tratamiento térmico y sin tratamiento térmico.

Como se puede observar, la velocidad de escaneo es uno de los parámetros que tiene más influencia

sobre los valores de microdureza, este factor puede ser atribuido al tiempo en que el rayo láser irradia en la superficie. Si se aumenta el tiempo de incidencia del láser se aumenta la temperatura, y a la vez que el láser se desplaza, la temperatura disminuye rápidamente, estos cambios en la fundición-solidificación permiten aumentar la densidad y consecuentemente la oposición a la penetración.

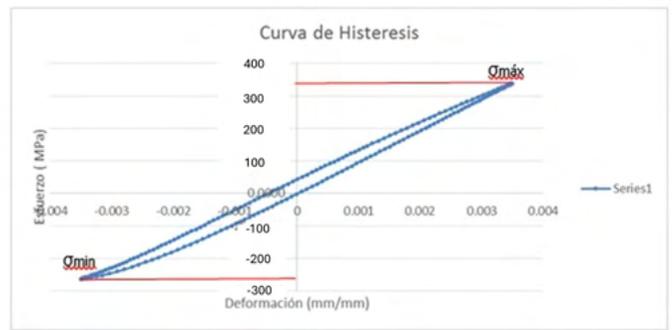


Figura 12. Curva de Histéresis Muestra 17 con deformación de 0.0035.

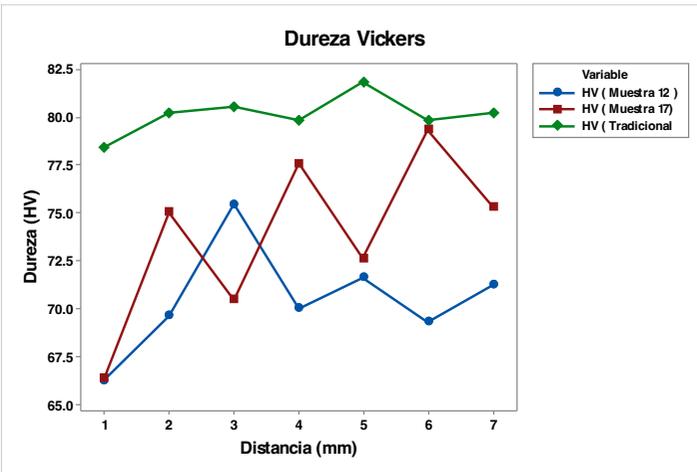


Figura 11. Comparativa dureza Vickers muestras 12 y 17 contra estándar.

Resultados de pruebas de fatiga

Al realizar las pruebas para las muestras 12 y 17 bajo la norma y los procedimientos internos del laboratorio el software de la máquina de fatiga mecánica arrojó los datos mostrados en la Tabla 5.

Designación	ϵ (mm/mm)	Numero de ciclos (N)	Half Life (N)	A (mm ²)
M12	0.0025	810	4500	122.148
M17	0.0033	1255	6000	121.951

Tabla 5. Datos obtenidos de las pruebas de fatiga para la muestra 12 y 17.

Se muestra el paso a paso de la muestra que mostro mejor comportamiento debido a sus mejores características que es la muestra 17 de cada prueba se obtiene la curva de histéresis en el ciclo de vida media debido a que en este punto la prueba se encuentra estabilizada en la Figura 12, se puede observar una de las nueve gráficas para determinar el esfuerzo máximo (σ_{max}) y esfuerzo mínimo (σ_{min}) de la prueba y con las ecuaciones 4 y 5 se halla el esfuerzo promedio (σ_{Prom}) y esfuerzo de amplitud (σ_a).

$$\sigma_{prom} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (4)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (5)$$

Después de obtener los datos de esfuerzo de amplitud se realizará las gráficas para poder hallar las propiedades de vida de la fatiga del material de prueba. En la Figura 13 podemos observar como de la curva Esfuerzo de amplitud Vs Numero de ciclos hallamos σ'_f , A y b. Este también se podría hallar por medio de la ecuación

$$\sigma'_f = A(2Nf)^b \quad (6)$$

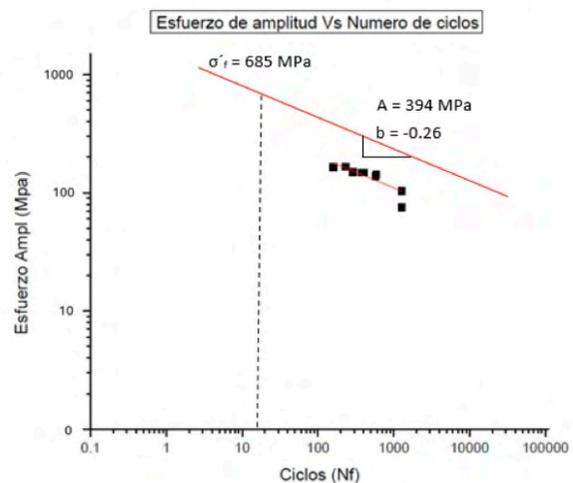


Figura 13. Grafica Esfuerzo Vs Numero de ciclos para hallar σ'_f , A y b de l.

En la Figura 14 se observa la gráfica Deformación plástica Vs Número de ciclos donde se hallará ϵ'_f y el coeficiente c, la cual se representa por la siguiente ecuación

$$\frac{\Delta \epsilon_p}{2} = \epsilon'_f (N_f)^c \quad (7)$$

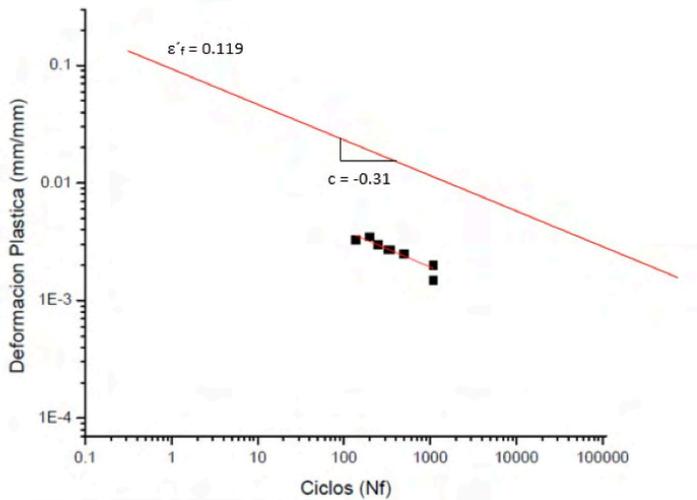


Figura 14. Gráfica Deformación plástica Vs Número de ciclos.

Después de tener todos los coeficientes y exponentes de vida y resistencia a la fatiga se realiza la gráfica Strain-Life (elástico-plástico), donde se encuentra la transición de vida a la fatiga, la cual se representa con las siguientes ecuaciones y la Figura 15.

$$\epsilon_a = \epsilon_L + \epsilon_p \quad (8)$$

$$\epsilon_a = \frac{\sigma'_f}{E} (2N_f)^b + \epsilon'_f (2N_f)^c \quad (9)$$

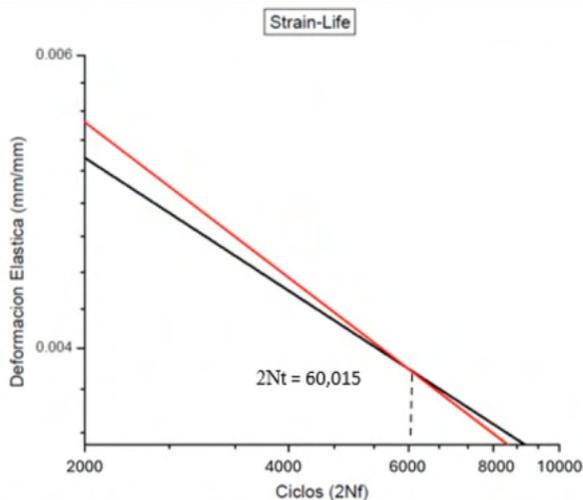


Figura 15. Curva Elástico - Plástico (Strain-Life) de la muestra 17.

En la figura 15 se presenta la curva S-N para la aleación AA6061 fabricada SLM y construida en la dirección XY, se ensayaron a esfuerzo de fluencia alrededor de los de 170 MPa y 350 MPa se rompió antes de alcanzar los 6000 de ciclos para la muestra 17. AA6061 después de varios tratamientos térmicos y AA6061 fabricado y tratado térmicamente con la condición TT (T6), la muestra 17 presenta el alargamiento más elevado, de hasta el 15%.

Las fractografía de la Figura 16 corresponde a la fractura de la aleación de AA6061 con bajo número de ciclos. Esta fractura se inicia en el borde de la muestra y genera una fractura dúctil, este defecto podría haberse ocasionado en los poros de la interfase metal- oxido, que actuarían como desencadenantes de la cohesión entre el metal y el óxido, dando lugar a grietas que favorecerían la rápida propagación de la fractura en el material.

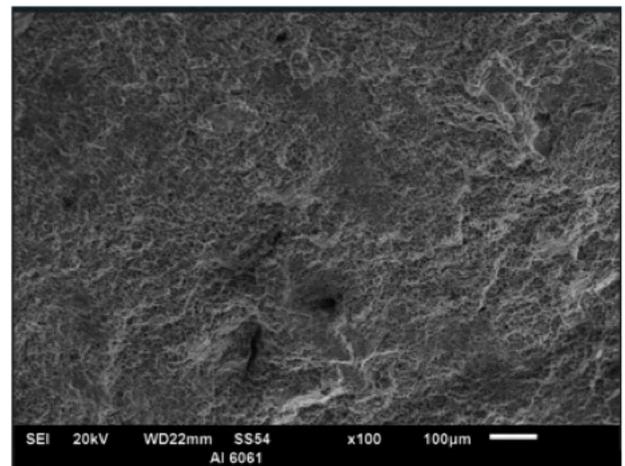
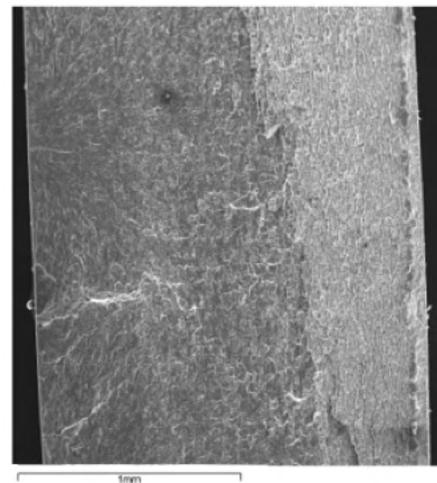


Figura 16. Fractografía del AA6061 cuando es sometido a fatiga. Se visualiza una fractura dúctil.

Conclusiones

En la aleación de aluminio AA6061 el incremento de la temperatura y velocidad, como acción dinámica, generó regiones de transformación de fases muy rápidas que fragilizaron el material, generando una disminución de la ductilidad del material y en la resistencia a la tensión. Al realizar el tratamiento térmico T6, se visualiza el aumento de resistencia a la tensión y mejora de la ductilidad del material, concluyendo que el material a pesar de mejorar su densidad relativa y disminuir la cantidad de defectos, debe de realizársele un post tratamiento para mejorar propiedades, por la naturaleza del proceso.

Como una posibilidad para la reducción a la susceptibilidad al agrietamiento del AA6061 se propone una modificación al material por medio de micropartículas que aporten a reforzar la solución sólida en los espacios Interdendríticos, con los parámetros que incrementaron la densidad de energía mayor a 99% y así mejorar las propiedades de tensión a elevadas temperaturas sin requerir un tratamiento térmico.

Referencias:

1. Ghana KA, Mustafá SF. (2006) "Comparison between the products of four RPM systems for metals" *Rapid Prototyping Journal* Vol 12, No 2, pp 86-94
2. Rosochowski A, Matuszak A. "Rapid tooling: the state of the art" *Journal of Materials Processing Technology* Vol 106, No 1-3, pp. 191-198, (2000).
3. Delgado J, Contribución a la fundición selectiva por láser de pieza metálica mediante el estudio de propiedades mecánicas y de manufactura; Universitat de Girona; Gi. 993-2013.
4. Murr L.E., Gaytan S.M., Ramirez D.A., Martinez E., Hernandez J., Amato K.N., Shindo P.W., Wicker

R.B. Metal Fabrication by Additive Manufacturing Using Laser and Electron Beam Melting Technologies. (2012) *Journal of Materials Science and Technology*, 28 (1), pp. 1-14.

5. H. Zhang, H. Zhu, X. Nie, T. Qi, Z. Hu, X. Zeng, in: B. Gu, H. Helvajian, A. Pique (Eds.), *Fabrication and Heat Treatment of High Strength Al-Cu-Mg Alloy Processed Using Selective Laser Melting*, E-Publishing, Inc., San Francisco, 2016, pp. 97380X1-97380X7.

6. A. Balbás, M. Espinosa, M. Dominguez, "Últimos avances en la fabricación aditiva con materiales metálicos", *Lámpsakos*, no. 19, pp 47-54, 2018.

7. Thijsa. L, Kempenb K, Kruthb J-P, Van Humbeecka J. Fine-structured aluminium products with controllable texture by selective laser melting of pre-alloyed AlSi10Mg powder. *Acta Mater* 2013, Pages 1809-1819.

8. Zhang J., Song B., Wei Q., Bourell D., Shi Y. A review of selective laser melting of aluminum alloys: Processing, microstructure, property and developing trends. (2019) *Journal of Materials Science and Technology*, 35 (2), pp. 270-284.

9. Handbook of Case. Handbook of case histories in failure analysis. ASM. Vol. 2, 1999.

10. ASTM. Determinación de la velocidad de propagación de fisuras en aleaciones de aluminio. Problemática encontrada en la aplicación de la norma ASTM E-647. *Anales de Mecánica de la Fractura*, Vol. 20. España. 2003.

11. Zhang J, Bo Song, Zhang L, Liu J, Shi J; Selective laser melting of Al6061 alloy: Processing, microstructure, and mechanical properties; *Solid Freeform Fabrication 2018: Proceedings of the 29th Annual International*; 2018.



ALUMEXICO SUMMIT & EXPO 2025 se consolidó una vez más como el evento más importante de la industria del aluminio en México y América Latina.

Agradecemos a nuestros patrocinadores



Celebrado en el icónico **Centro Internacional de Exposiciones CINTERMEX** en **Monterrey**, del **9 al 11 de septiembre**, reunió a empresarios, líderes productores, técnicos, académicos y especialistas de talla nacional e internacional, creando un espacio único para el intercambio de ideas, la innovación y el desarrollo de negocios

Reporte de Asistencia



CINTERMEX, Monterrey N.L.

Asistencia por País

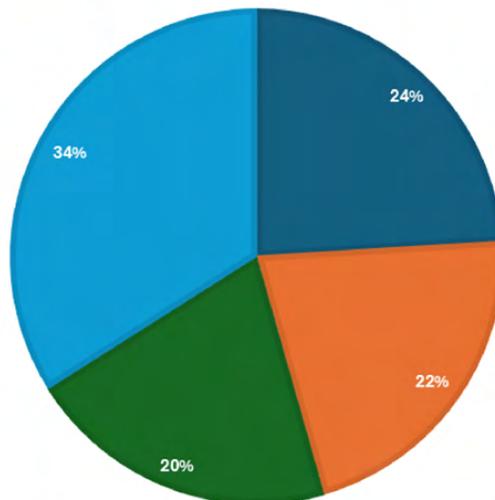


IMEDAL

CINTERMEX, Monterrey N.L.



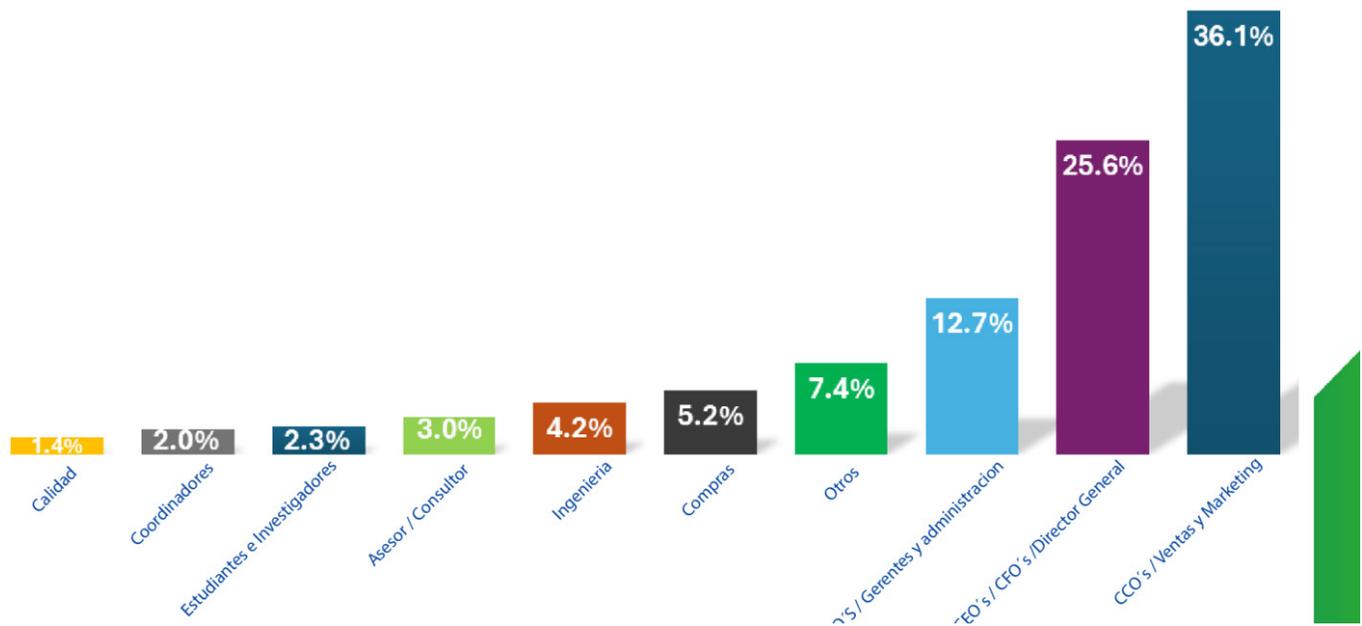
1,086 empresas participantes Segmentación de perfil



- Cadena de suministro y/o proveedores, Maquinaria y equipo, Asociaciones - Cámaras - Instituciones académicas
- Raw Material(Chatarra, lingote sin alear, lingote aleado)
- Cadena de suministro y/o proveedores, Maquinaria y equipo, Asociaciones - Cámaras - Instituciones académicas
- Productos terminados(Alambre, cable, papel/foil, extruidos, laminados, Die Casting, polvos y pasta, lámina abre fácil)

IMEDAL

Perfil del asistente



Con una asistencia destacada de participantes de México y el extranjero, ALUMEXICO 2025 ofreció un programa integral que incluyó conferencias magistrales, técnicas y comerciales, abordando temas clave como el panorama global del mercado, tendencias económico-políticas, innovación en procesos de producción, sostenibilidad, aplicaciones del aluminio en la industria automotriz y nuevas tecnologías aplicadas al sector.

Los expositores, por su parte, presentaron lo último en soluciones, maquinaria y productos especializados, generando un ambiente dinámico de networking que impulsó la creación de valiosas conexiones y nuevas oportunidades de negocio.

Día 1 – Martes 9 de septiembre



Conferencias día 1



La jornada inició con el registro de asistentes y la primera conferencia magistral impartida por Jesús Villegas (Harbor Aluminum), enfocada en tarifas, premios, precios y chatarra en la industria mexicana.



- **"Tarifas, Premios, Precios, Chatarra: ¿Qué esperar para la industria del aluminio en México?"**
por Jesús Villegas / HARBOR ALUMINUM



- **"El empresario estratégicamente optimista: qué del entorno nos debe preocupar y qué sólo nos debe ocupar"** por Mauricio Candiani

Inauguración



Posteriormente, se llevó a cabo la inauguración oficial, con la presencia de nuestro presidente del IMEDAL el Ing. Eugenio Clariond Rangel y acompañado de las autoridades como invitados de honor, formaron el presídium el Gobernador del Estado de Nuevo León, Samuel García; el Subsecretario de Comercio Exterior, Luis Rosendo Gutiérrez; la Secretaria de Economía del Estado de Nuevo León, Betsabé Rocha; el presidente de la CONCAMIN, Alejandro Malagón; el CEO de The Aluminum Association, Chuck Johnson y la Directora Ejecutiva del IMEDAL, Artemisa Alba.

En este honorable presídium, nuestros asistentes tuvieron la oportunidad de escuchar los discursos de nuestros invitados, enfocados a nuestra industria del aluminio. Agradecemos a nuestras autoridades por haber dirigido estos mensajes que nos mostraron la dirección que está siguiéndose de varios de los temas controversiales.



Se realizó el protocolo del corte de listón inaugural y acto seguido la toma de foto concluyendo el acto con el recorrido con las autoridades.





El tan esperado panel de comercio exterior moderado con su estilo inigualable de Mauricio Candiani con los expertos de IQOM Sergio Gómez Lora; del presidenta de la comisión de comercio exterior del CCE y coordinadora del cuarto de junto de la CONCAMIN, Judith Garza y nuestro presidente del IMEDAL Eugenio Clariond; compartieron con el auditorio varios de los puntos más importantes del tema.

En paralelo, sesionando ya en el área de B2B... se dieron cita compradores y vendedores para poder realizar estos encuentros de negocios



B2B - Encuentro de Negocios - La aleación perfecta



Panel de comercio exterior con Sergio Gómez / IQOM; Judith Garza / Presidenta de la comisión de comercio exterior de CONCAMIN y CAINTRA; Ing. Eugenio Clariond / Presidente del IMEDAL - Modera Mauricio Candiani

Asimismo, las conferencias técnicas abarcaron desde la Industria 5.0 hasta innovaciones en fundición y materiales reciclados

- Conferencia Técnica *Horacio Canales / PATOK* **Industria 5.0 en Acción: del Análisis Predictivo al Asistente Cognitivo en Planta**
- Conferencia Comercial **ZION NDT**
- Conferencia Técnica *Francisco Montalvo / PROSODIO MÉXICO* **Mejorando los Rendimientos de Aluminio Secundario en Fundición**
- Conferencia Técnica *Jorge Fernández / RIA CAST HOUSE ENGINEERING* **Cámaras Inteligentes en Hornos optimizan la Productividad y aumentan la Seguridad**
- Conferencia Técnica *Alfredo Flores / CINVESTAV SALTILLO* **Efecto de la Relación Zn/Mg Sobre la Microestructura y Propiedades Mecánicas de Aleaciones Al-Zn-Mg Obtenidas de Materiales Reciclados**
- Conferencia Técnica *Matteo Gregoratti / DANIELI* **Advanced solutions for aluminium can stock material productions**

Visitas Industriales

Como parte del programa, los asistentes tuvieron la oportunidad de conocer de cerca a empresas líderes en Nuevo León, estado referente en producción de aluminio a nivel global. CUPRUM, CROWN, NEMAK, y BALL abrieron sus puertas, demostrando la fortaleza de la región y confiando en el prestigio de ALUMEXICO SUMMIT & EXPO como punto de encuentro.





Visita a CUPRUM



Visita a BALL

Coctel de Bienvenida



Al caer la tarde, se celebró el coctel de bienvenida y networking en Top Golf Monterrey, gracias al patrocinio de Recuperaciones Industriales Internacionales (RIISA). Con la participación de 160 asistentes, la velada combinó entretenimiento, convivencia y generación de contactos estratégicos. Una atmósfera cálida y animada dio inicio a lo que sería una edición memorable.



RIISA - patrocinador oficial de la edición 2025 del COCTEL DE BIENVENIDA Y NETWORKING

Día 2 – Miércoles 10 de septiembre



La segunda jornada arrancó con una visita industrial a KIA, seguida de la apertura de la expo y un ciclo de conferencias técnicas con especialistas nacionales e internacionales, que abordaron temas como estrategias comerciales, aluminio de bajo carbono, tratamientos térmicos y reciclaje.

Uno de los momentos más relevantes y esperado fue el Panel Trilateral de Presidentes de las Asociaciones de Aluminio de México, Estados Unidos y Canadá, moderado por Jorge Vázquez, que ofreció una visión estratégica de la industria en Norteamérica.



Ing. Eugenio Clariond / IMEDAL - Chuck Johnson / The Aluminum Association - Jean Simard / Aluminum Association of Canada

Seguido de las conferencias técnicas programadas del día

- Conferencia Técnica *Norberto Vidaña Jr. / EURO-GUSS Estrategias Comerciales Exitosas en la Industria del Aluminio en Tiempos de Incertidumbre*



- Conferencia Técnica *Letícia Benavides / FAST-MERKETS Exploring the future of low-carbon aluminium pricing*



- Conferencia Técnica *Jesús Mercado / ULBRINOX Designación de Temper en Productos de Aluminio Rolado en Frio*



- Conferencia Técnica *Margarita Bacab / ALCHEM Sistemas de Recuperación de Sosa de Matricería*



- Conferencia Técnica *Alejandro García Hinojosa / UNAM El Reciclaje de Aluminio y sus Retos en México*



- Conferencia Comercial **WM REFRACTORIES**



- Conferencia Técnica *Francisco Pastor / CINVESTAV SALTILLO* **Caracterización microestructural de aleaciones de aluminio**

Además, se llevó a cabo un seminario técnico de cuatro horas, impartido por el Dr. Rafael Colás (UANL), enfocado en tratamientos térmicos de aleaciones.



Cena de Gala

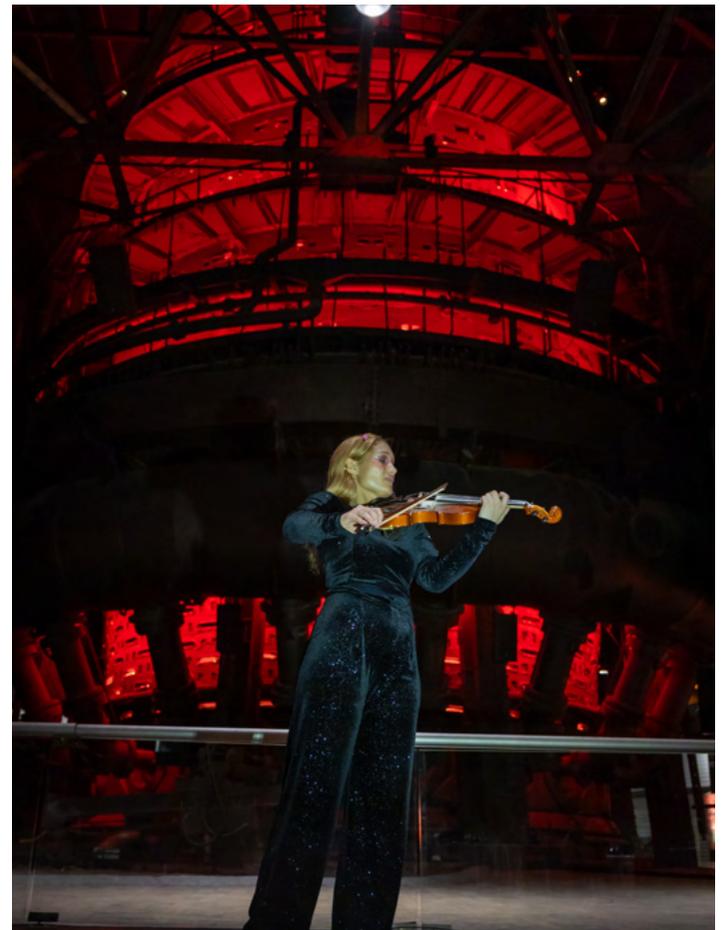


- Conferencia Comercial **INDALUM**



El día concluyó con la tradicional Cena de Gala en el Museo del Acero HORNO3, dentro del Parque Fundidora. El evento combinó gastronomía de primer nivel, un espectáculo cultural y música en vivo, en un ambiente de fraternidad y celebración.

- Conferencia Técnica *Alberto Teixeira / ABB METALLURGY* **Comparación de la eficiencia de agitación en un horno de dos cámaras: Estudio numérico de la agitación electromagnética**





Cena de Gala - HORNO3

Día 2 – Miércoles 10 de septiembre



Conferencias día 3

La última jornada se centró en conferencias técnicas que exploraron soluciones verdes para fundición moderna, optimización de hornos, caracterización de chatarra e innovaciones en tecnología de enfriamiento.

- Conferencia Técnica *Gonzalo Aguirre / Lino Bellantuono / HORMESA Soluciones Verdes para la Fundición Moderna del Aluminio*



- Conferencia Comercial **AMV Soluciones**



- Conferencia Técnica *Salvador Tovar / THE SCHAEFFER GROUP Optimización de los hornos reverbero para ofrecer máximo ROI*



- Conferencia Técnica *Andrea Zanoni / DANIELI Cutting-Edge Quenching Technology: Danieli Breda's Quench System with Real-time Cooling Curve Monitoring*



- Conferencia Técnica *Alberto Montenegro / AMV SOLUCIONES Caracterización de Chatarra: El Primer Paso hacia una Producción de Aluminio Eficiente*



Tras el cierre de la expo y los últimos encuentros B2B, a las 17:00 hrs se dio por concluida la edición 2025, dejando un balance altamente positivo entre asistentes y expositores.

ALUMEXICO SUMMIT & EXPO 2025 reafirmó su posición como el evento de referencia en la industria del aluminio, combinando conferencias magistrales, paneles, sesiones técnicas, visitas industriales y espacios de networking de alto nivel. Sin duda, una edición que marcó un precedente para el crecimiento, la innovación y la integración de la industria del aluminio en México y Latinoamérica.

¿Quieres ver la galería fotográfica completa de ALUMEXICO 2025?
Te la compartimos a través de Google Fotos



¡Nos vemos en ALUMEXICO 2026!



ALUMINIO PARA SIEMPRE

ALUMEXICO®

Tu punto de encuentro - SUMMIT & EXPO 2026

Toys



iPhone 17 Pro: innovación y un cambio clave en su construcción



Apple presentó recientemente el iPhone 17 Pro, un dispositivo que marca un nuevo paso en la evolución de la compañía. Además de las mejoras en cámara, procesador y software, uno de los cambios más comentados es la decisión de construir el chasis de aluminio, dejando atrás el titanio utilizado en las generaciones anteriores.

Este cambio no es casualidad: responde a criterios técnicos, económicos y ambientales que impactan directamente en la experiencia del usuario y en la estrategia de Apple hacia la sostenibilidad.

¿Por qué el iPhone 17 está construido de aluminio?

Mejor disipación térmica

El aluminio tiene una conductividad térmica mayor que el titanio. Eso significa que ayuda mejor a dispersar el calor que genera el procesador (como el chip A19 Pro), la batería, etc. Apple ha priorizado que el teléfono se caliente menos bajo uso intenso.

Menor peso

Aunque el titanio es resistente, es más difícil de trabajar y puede añadir peso o complejidad estructural. El aluminio es más ligero, lo que ayuda a que el dispositivo sea más cómodo en la mano.

Costos de producción

El aluminio es generalmente más barato que el titanio. Fabricar piezas de titanio exige maquinaria especializada, tornos CNC más precisos, mayor tasa de material desperdiciado ("scrap") y mesas de trabajo que toleren su dureza.

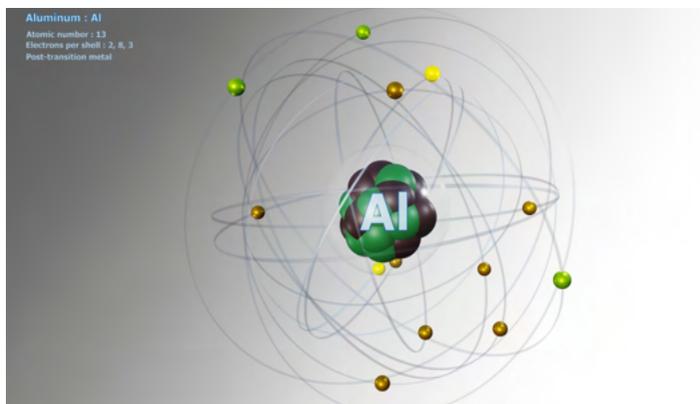
Sostenibilidad y huella de carbono

Apple está bajo presión para reducir la huella de carbono de sus productos. Se dice que el aluminio puede tener una huella más baja si se recicla, y la producción de aluminio reciclado puede ser más eficiente energéticamente que la producción de titanio desde cero.

Flexibilidad en diseño y acabados

El aluminio se puede anodizar y teñir con diversos acabados con relativa facilidad, permitiendo más variedad de colores o tonalidades. También facilita algunos cambios de diseño como bordes, geometrías complejas, etc.

Descubren el aluminio-20: un isótopo exótico y extremadamente inestable



Un equipo internacional de físicos nucleares logró observar por primera vez al aluminio-20 (^{20}Al), un isótopo ultrarraro del aluminio que se desintegra de una manera nunca antes vista: expulsando tres protones casi de inmediato.

¿Qué es el aluminio-20?

- El aluminio estable que conocemos es el aluminio-27 (^{27}Al).

- El aluminio-20, en cambio, tiene solo 13 protones y 7 neutrones, lo que lo hace extremadamente inestable.

- Fue creado en un acelerador de partículas al bombardear núcleos ligeros y observar los productos resultantes.

Su comportamiento único

- El ^{20}Al existe apenas por fracciones de segundo.

- En ese instante, lanza tres protones de manera casi simultánea, un fenómeno muy poco común en física nuclear.

- Este tipo de desintegración múltiple ayuda a comprender mejor la interacción fuerte que mantiene unidos protones y neutrones en el núcleo.



¿Por qué es importante?

- Aporta datos para entender los límites de estabilidad nuclear: hasta dónde puede existir la materia antes de desintegrarse.

- Sirve como modelo para estudiar procesos de nucleosíntesis estelar, es decir, cómo se forman los elementos en estrellas y supernovas.

- Es un ejemplo de cómo la física de isótopos exóticos expande el conocimiento más allá de lo que encontramos en la naturaleza cotidiana.

Contend SL

Giant lanza la nueva Contend SL, una bicicleta de carretera de aluminio de alto rendimiento, diseñada para ser versátil, accesible y con tecnologías heredadas de sus modelos premium.



Fabricada con un ligero cuadro de aluminio ALUXX SL, la Contend SL presenta una geometría equilibrada que la hace versátil y polivalente. El triángulo trasero está diseñado para una aceleración rápida, mientras que la parte delantera proporciona al ciclista una posición segura para mayor comodidad y control. Sus tecnologías únicas, como la tija de sillín de composite D-Fuse y el sistema de ruedas Giant sin cámara, le proporcionan una conducción suave y perfecta en todo tipo de terreno.

Geometría de carretera equilibrada

El cuadro está diseñado específicamente para producir una sensación equilibrada y versátil que combina una posición segura del ciclista con un manejo ágil en la carretera.

Calidad de conducción suave

El innovador diseño de tija de sillín compuesta D-Fuse reduce los impactos y las vibraciones de la carretera, y un sistema de ruedas Giant WheelSystem le permite utilizar neumáticos sin cámara de hasta 28 mm para una conducción más suave y un menor riesgo de pinchazos.

Eficiencia ligera

El cuadro de aluminio ALUXX SL ofrece una subida eficiente y una aceleración ágil.



*Tradicional
Comida de
Fin de Año
2025*



¡Te esperamos!



20 de Noviembre



12:00 hrs



Hacienda de los Morales

Regístrate

