

## Investigación y Tecnología de Vanguardia en el Procesamiento del Aluminio



Explorando los límites del endurecimiento por deformación en aleaciones de aluminio  
de Francisco Alfredo García Pastor

Homenaje al Dr. José Alejandro García Hinojosa



La inteligencia artificial y el desafío de las bases de datos en la industria del aluminio

de Javier Covarrubias García, Francisco Alfredo García Pastor y Mario Castelán



# WARZYZ<sup>®</sup>

LA EMPRESA DE ALUMINIO EN MÉXICO

## NUESTRAS CERTIFICACIONES



ESCANEA PARA  
MÁS INFORMACIÓN

Septiembre 2024

# Editorial



## Estimado Lector:

¡Bienvenido a nuestra edición número 47! Ya estamos en la recta final de este 2024, un año que ha sido movido por los temas económico-políticos en nuestra industria. A pesar de los desafíos, seguiremos trabajando de la mano con las autoridades para buscar beneficios para nuestra querida industria del aluminio.

Nos complace compartir contigo esta edición de ALUMINIA, que en lugar de centrarse en un solo tema, destaca una colaboración inédita con Cinvestav Saltillo. Sus principales investigadores nos han compartido sus valiosas líneas de investigación, mostrando el gran trabajo que se realiza en la institución y lo importante que es para IMEDAL difundirlo en toda la industria. Además, ALUMINIA se estrena oficialmente como revista científica en esta edición, ¡un paso que nos llena de orgullo!

En esta edición encontrarás artículos tan variados como fascinantes. El Dr. Francisco Pastor, con toda su experiencia como director del Cinvestav Saltillo, nos habla sobre la exploración de los límites del endurecimiento por deformación en aleaciones de aluminio, y cómo mejorar sus propiedades para aplicaciones en sistemas de suspensión automotriz.

Por otro lado, el Mtro. Javier Covarrubias nos ofrece una perspectiva técnica de vanguardia con su artículo sobre Inteligencia Artificial y el Desafío de las Bases de Datos en la Industria del Aluminio, donde explora cómo la IA está optimizando los procesos de nuestra industria.

En la portada, también destacamos un homenaje al Dr. José Alejandro García Hinojosa, quien se retira después de una destacada trayectoria como docente en la UNAM. Tuvimos el honor de asistir a la emotiva ceremonia en la que se reconoció su legado en la formación de generaciones de ingenieros químicos metalúrgicos. Te invitamos a leer más sobre este homenaje y a formar parte de este merecido reconocimiento.

Agradecemos enormemente la colaboración del Cinvestav y de todos los autores que aportaron sus artículos para esta edición. No quiero arruinar la sorpresa, así que te invito a descubrir página a página lo que han compartido con nosotros.

Además, te dejamos un vistazo de lo que se vivió en el ALUMEXICO SUMMIT & EXPO 2024. Si no pudiste asistir, vívelo a través de la reseña y si estuviste con nosotros, ¡disfruta recordando esos momentos que hicieron de Cintermex Monterrey un éxito rotundo!

Por último, no olvides marcar en tu agenda nuestra Comida de Fin de Año 2024, que se llevará a cabo en The St. Regis Mexico City el próximo 4 de diciembre. ¡No te lo pierdas! Como siempre, te invitamos a ser cómplice de ALUMINIA y a compartir con nosotros los temas que te gustaría ver en nuestras próximas ediciones

¡Nos leemos en la edición 48!

# Carta del Presidente



## Estimados Amigos del IMEDAL

Los últimos meses han sido de gran trascendencia para nuestro país. Tras el reciente proceso electoral, se vislumbran importantes cambios en la política pública que, sin duda, afectarán diversas áreas de nuestra vida diaria. La contundente victoria del partido oficial en las elecciones federales y estatales han abierto la puerta a reformas constitucionales significativas, como la Reforma al Poder Judicial y la posible desaparición de organismos autónomos. Esto implicaría una mayor concentración de poder en el Ejecutivo y limitaría las capacidades de defensa de los particulares frente a posibles abusos de autoridad.

Estos cambios, junto con la continuidad en la política energética, han generado preocupación entre nuestros principales socios comerciales, quienes han manifestado públicamente sus inquietudes sobre los impactos de estas medidas en el TMEC, cuya revisión está prevista para 2026. Además, el inminente cambio en la presidencia de Estados Unidos añade otro factor de incertidumbre que podría afectar nuestra relación comercial.

Para nuestra industria, también ha sido un periodo complejo. El aluminio ha sido protagonista de las noticias económicas, comenzando con el Decreto Presidencial del 22 de abril de 2024, que aumentó los impuestos generales de importación para países sin tratados comerciales con México. Este decreto incluía un arancel de hasta el 35% para el aluminio primario, lo cual afectaba gravemente a los sectores productivos que dependen de este metal, ya que México no lo produce. Afortunadamente, tras intensas negociaciones con las autoridades, logramos revertir este arancel, y el 8 de mayo se restableció la condición anterior de cero aranceles.

Otro evento relevante ocurrió el 10 de julio de 2024, cuando el presidente Biden emitió una proclama que condiciona a México a no utilizar aluminio proveniente de Rusia, China, Bielorrusia o Irán en sus exportaciones de ciertos productos de aluminio listados en la Sección 232, si desea mantener la exención del arancel del 10%.

Finalmente, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a los asistentes, patrocinadores, expositores y conferencistas que participaron en el evento exclusivo \*ALUMEXICO SUMMIT & EXPO 2024\*, celebrado en Monterrey del 27 al 29 de agosto. Gracias a su apoyo, el evento fue un éxito rotundo, logrando un récord de 1,360 asistentes. Nuestro agradecimiento especial a la Secretaría de Economía del Estado de Nuevo León por su decidido y constante respaldo.

Con el respeto y afecto de siempre.



**Eugenio Salinas Morales**  
*Presidente IMEDAL*

# CONTENIDO

**3** Carta Editorial

**4** Carta del Presidente

**6** Últimas Noticias

**14** Empresas Asociadas

**18** Explorando los límites del Endurecimiento por deformación de aleaciones de Aluminio  
Francisco Alfredo García Pastor

**22** Homenaje al Dr. José Alejandro García Hinojosa

**26** La Inteligencia Artificial y el Desafío de las Bases de Datos en la Industria del Aluminio  
Javier Covarrubias García, Francisco A. García Pastor y Mario Castelán

**Estudios Innovadores de Filtros Cerámicos para Aluminio**  
Dr. Francisco Andrés Acosta González

**31**

**Fabricación de Aleaciones a partir del Reciclaje de latas para bebidas**  
Dr. Alfredo Flores Valdés, Dr. Jesús Torres Torres y Alejandra Aranda Bautista

**36**

**Incorporación de Escorias resultantes de la Fundición de Aluminio a cementos**  
Jesús López Salas

**39**

**Métodos rápidos para Estimación de tiempos de incorporación de Adiciones Aleantes en baños de metal fundido**  
Dr. Edgar Ivan Castro Cedeño

**44**

**Recubrimientos base escorias de Aluminio resistentes a la Corrosión por aluminio líquido**  
Irving Carlos Carreón Mendoza

**49**

**Reseña: ALUMEXICO 2024**

**53**

**Toys**

**69**

## COMITÉ EDITORIAL IMEDAL

Artemisa C. Alba Aguilar  
Fernando Artemio García Martínez  
Brigni Amairani Ceron Rangel  
Felipe Soria Lugo  
Inbar Bustani Cueto  
Karina Navarrete Nájera

**IMEDAL**<sup>®</sup>  
Instituto Mexicano del Aluminio, A.C.

**ALUMINIA**, año 15, No. 47, junio - septiembre 2024, 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](http://www.imedal.org), [imedal@imedal.org](mailto: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: 2992-8729. 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, 18 de septiembre de 2024.

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

# ÚLTIMAS NOTICIAS

## EN MÉXICO Y EN EL MUNDO

### **El mercado del aluminio volvió a caer, con transacciones spot activas y una base estrecha (Revisión del mediodía del SMM Spot Aluminium)**

En la primera sesión de negociación de hoy, el aluminio de la SHFE fluctuó a la baja. En el mercado al contado de China Oriental, los tenedores tuvieron envíos limitados, las cotizaciones del mercado fueron firmes, la reposición descendente fue activa, las transacciones generales fueron buenas y los descuentos al contado se redujeron. Hoy, el precio del aluminio SMM A00 tuvo un descuento de 40 yuanes / tm frente al contrato 2409, 20 yuanes / tm más que el día de negociación anterior. El precio al contado registró 19.330 yuanes / tm, 160 yuanes / tm menos que el día de negociación anterior. En la segunda sesión de negociación, los precios de futuros aumentaron ligeramente, la adquisición del mercado fue activa y los tenedores ajustaron principalmente los precios. Las transacciones de alto precio fueron limitadas y las transacciones principales se concentraron en una prima de 0-50 yuanes / tm sobre los precios del aluminio SMM A00.



En la primera sesión de negociación de hoy, el rango de cotización en el mercado spot de China central

varió significativamente. Más tarde, el mercado vio más compras y menos ventas, con descuentos de transacción que seguían reduciéndose. Los bienes de bajo precio eran difíciles de encontrar. Las industrias downstream como las placas y las tiras tuvieron buenas tasas de operación, las empresas estuvieron activas en la reposición de inventarios y las transacciones de mercado fueron relativamente activas. Con el continuo estrechamiento de los descuentos spot recientemente, la cancelación de garantías de depósito en Gongyi aumentó y la circulación de bienes de garantía de depósito aumentó. Hoy, el precio del aluminio SMM en China central tenía un descuento de aproximadamente 50 yuanes / tm frente al contrato 2409, 40 yuanes / tm más que el día de negociación anterior, y un descuento de aproximadamente 10 yuanes / tm frente al SMM A00. El precio spot promedio en China central registró 19.320 yuanes / tm, 140 yuanes / tm menos que el día de negociación anterior. Las transacciones principales se concentraron en una prima de 0-50 yuanes/tm sobre el precio del aluminio SMM Central China.

Según los datos de inventario de SMM, el inventario social de aluminio nacional disminuyó ligeramente el lunes de esta semana, con el inventario de lingotes de aluminio bajando 1.000 toneladas métricas desde el jueves pasado a 810.000 toneladas métricas. De acuerdo con los datos de salida, las salidas de los almacenes de la semana pasada aún mantuvieron una disminución intermensual, pero desde una perspectiva regional, las salidas semanales aumentaron en Wuxi y Gongyi, lo que llevó a un estado de desabastecimiento, mientras que Foshan todavía mostró un desabastecimiento deficiente. Al entrar en septiembre, se espera que las tasas operativas de los productos de procesamiento primario nacionales, como las palanquillas de aluminio, se recuperen, y la

producción de lingotes de fundición puede mostrar una disminución intermensual, lo que es favorable para la futura reducción de los descuentos spot de aluminio.

Para saber más: <https://news.metal.com/newscontent/102939051/The-aluminum-market-declined-again-with-active-spot-transactions-and-narrowed-basis%E3%80%90Spot-Aluminum-Mid-day-Review%E3%80%91>

## **Expectativas de una mejor demanda de aluminio apoyadas por la recuperación del sector automotriz**



La industria automotriz en Japón, un importante contribuyente a la demanda de aluminio, se vio afectada por una serie de obstáculos en el primer semestre de 2024, lo que obstaculizó su esperada recuperación. Pero los participantes del mercado aún esperan que la industria automotriz respalde una recuperación de la demanda de aluminio.

Los participantes esperan que la demanda del metal ligero por parte de la industria automotriz se acelere en la segunda mitad de 2024, después de que la demanda derivada de la producción automotriz se viera frenada por problemas de certificación y retiros a principios de año.

Está previsto que tres modelos de Toyota que estuvieron suspendidos desde el 3 de junio reanuden su producción a principios de septiembre y el Ministerio de Tierra, Infraestructura, Transporte y Turismo ha confirmado que cumplen las normas.

“El sector automotriz enfrentó problemas de producción en el segundo trimestre debido a las pruebas de certificación, pero con el reciente anuncio de que las pruebas de certificación concluyeron, estamos viendo que los volúmenes de producción aumentarán en el tercer trimestre [del año financiero]”, dijo un comerciante a Fastmarkets.

“La demanda de aluminio de la industria automotriz se ha mantenido estable, pero aún anticipamos una recuperación gradual”, dijo un segundo comerciante.

En sus últimos resultados, Toyota, el principal fabricante de automóviles de Japón en 2023, produjo 1.508.416 unidades en el país en los primeros seis meses de 2024, un 8,2% menos que en el mismo período de 2023 en medio de problemas de certificación y suspensiones de producción.

La producción nacional en junio se situó en 254.010 unidades, lo que supone una caída interanual del 18,8%.

El sector automotriz sigue siendo el mayor impulsor de la demanda de aluminio en Japón, representando el 42,9% de la demanda total del metal ligero en los primeros cinco meses de 2024, con 642.300 toneladas utilizadas en el sector del transporte en ese período, un aumento del 0,2% desde las 640.700 toneladas en el mismo período en 2023, según la Asociación Japonesa del Aluminio.

Por otra parte, los automóviles japoneses se enfrentan a una creciente competencia de los automóviles chinos, en particular con la transición hacia vehículos de nueva energía y la intensa competencia de precios.

Varios fabricantes de automóviles japoneses informaron en informes recientes caídas en sus ventas globales, incluso a China.

Mientras tanto, las exportaciones de unidades de vehículos de motor de Japón en enero-junio de 2024 se situaron en 2.017.660 unidades, un 0,3% menos que las 2.023.425 unidades del mismo período de

2023, según la Asociación de Fabricantes de Automóviles de Japón.

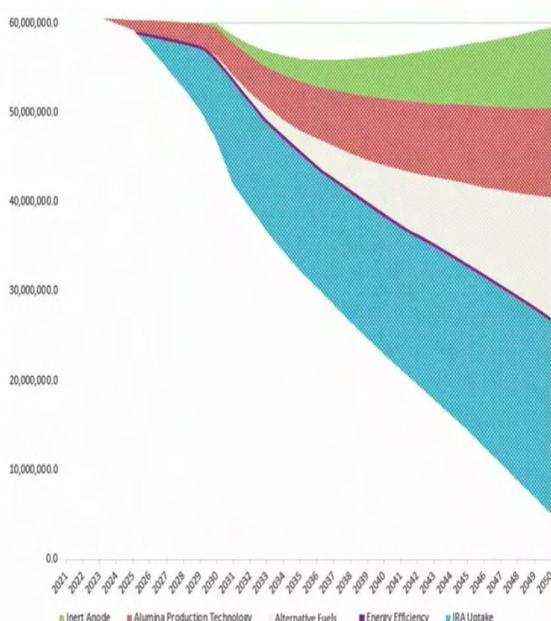
Como reflejo del potencial de crecimiento del metal ligero proveniente del sector automotriz en Japón, Fastmarkets modificó su publicación spot premium de aluminio P1020A (MJP), cif Japón, de una publicación dos veces por semana a una publicación diaria a partir del miércoles 7 de agosto, luego de una consulta de mercado.

La evaluación de Fastmarkets de la prima spot del aluminio P1020A (MJP) incluye licitaciones y acuerdos nacionales del mercado japonés tras los comentarios de la consulta de que mejoraría la liquidez y proporcionaría más información de respaldo al proceso de fijación de precios.

Para saber más: <https://www.fastmarkets.com/insights/expectations-for-improved-aluminium-demand-supported-by-automotive-recovery/>

## Descarbonización de la industria del aluminio para 2050

Un nuevo informe destaca posibles estrategias para reducir drásticamente las emisiones de carbono en la industria del aluminio de América del Norte (EE. UU. y Canadá) para mediados de siglo.



El informe, Pathways to Decarbonization: A North American Aluminum Roadmap (Caminos hacia la descarbonización: una hoja de ruta del aluminio en América del Norte), encargado por la Asociación del Aluminio y realizado por la consultora medioambiental ICF, también concluye que la región de América del Norte tiene una importante ventaja de pionero en términos de su huella de carbono de productos de aluminio, alrededor de un 50% inferior a los promedios mundiales. Esta ventaja se atribuye al uso de aluminio primario con bajas emisiones de carbono, al aumento del reciclaje y a los esfuerzos voluntarios de reducción de emisiones durante las últimas décadas. Sin embargo, cumplir con esos objetivos agresivos de reducción de emisiones para mediados de siglo requerirá un enfoque de descarbonización de toda la sociedad y decenas de miles de millones de dólares en inversiones públicas y privadas.

Según la hoja de ruta, para alcanzar los objetivos de cero emisiones netas será necesario reducir las emisiones en la producción de aluminio en un 24 % para 2030, un 63 % para 2040 y un 92 % para 2050, en comparación con la línea de base de emisiones de 2021. Se prevé que la producción aumente alrededor de un 80 % durante este período, impulsada por la creciente demanda del metal para apoyar los esfuerzos de sostenibilidad en varios sectores.

### Vías clave

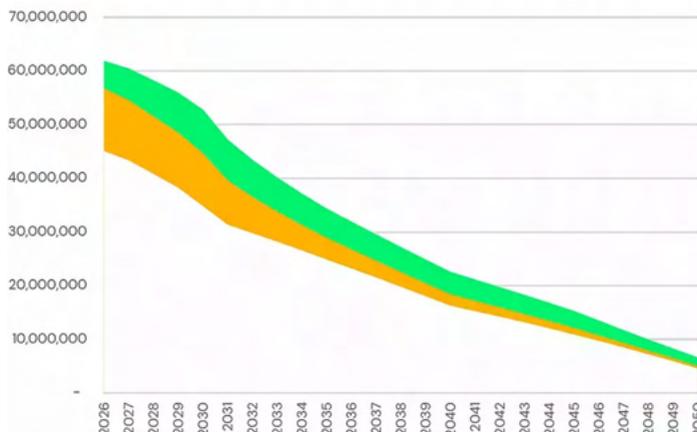
La hoja de ruta identifica varias vías clave para alcanzar los dramáticos objetivos de reducción de emisiones para 2050:

Tecnología de producción de aluminio y mejoras en la eficiencia: el desarrollo y la implementación de nuevas tecnologías de producción primaria de aluminio, como la fundición de ánodo inerte y el proceso de cloruro, eliminan las emisiones directas; se introducen cambios en los métodos actuales de producción de alúmina y se mejoran la eficiencia energética a nivel de planta.

Combustibles alternativos y captura de carbono: transición a nuevas fuentes de energía como el hidrógeno

verde, la electrificación de hornos y el despliegue de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono.

Descarbonización de la red: Implementación de tecnologías de energía limpia para descarbonizar la red eléctrica de EE. UU. con base en el escenario de alta adopción de la Administración de Información Energética (EIA) de EE. UU. habilitado por la Ley de Reducción de la Inflación (IRA).



### Centrarse en el reciclaje

Además de las vías señaladas aquí, el informe destaca que reciclar más aluminio de manera más eficiente puede acelerar drásticamente la reducción de las emisiones de la industria. El modelo incluye tanto un escenario de utilización de chatarra restringida (como base) como un escenario de utilización óptima de chatarra. Este último elimina 160 millones de toneladas adicionales de emisiones de CO2 para 2050, además de las 127 millones de toneladas de emisiones de CO2 reducidas asumidas en el escenario restringido. Esta reducción total equivale a retirar más de 68 millones de automóviles de la circulación durante un año.

En total, aproximadamente un tercio de las reducciones de emisiones necesarias para 2050 pueden derivarse de mejoras en la tecnología de producción sobre las que la propia industria tiene el mayor control. Los otros dos tercios de la reducción deben ser el resultado de una combinación de tecnologías de fabricación nuevas y asequibles; la implementación de investigaciones e inversiones en infraestructura

a nivel estatal y federal, y una política nacional que apoye la transición hacia la energía limpia.

Los analistas independientes estiman que se necesitarán alrededor de USD 1 billón en toda la cadena de valor de la producción primaria mundial, principalmente en el suministro de energía y las fundiciones, para cumplir los objetivos climáticos globales de cero emisiones netas para 2050. Dado que el aluminio primario de América del Norte representa alrededor del 6% de la producción mundial, se necesita una estimación conservadora de aproximadamente USD 60 mil millones en inversión pública y privada para la región para cumplir los objetivos climáticos globales de cero emisiones netas solo en el segmento de producción primaria. La Asociación del Aluminio (AA) agrega: "Lograr estos ambiciosos objetivos para mediados de siglo requerirá un enfoque de toda la sociedad".

Para saber más: <https://www.aluminium-journal.com/aluminium-industry-decarbonisation-by-2050>

## Un avance de la Universidad de Alberta: un material de revestimiento de aluminio y níquel con gran potencial para los motores de combustión de hidrógeno

Las innovaciones que abren el camino hacia un futuro mejor son cruciales para el avance de la tecnología, la mejora de la calidad de vida y la solución de los desafíos globales. Un equipo de investigación de ingeniería de la Universidad de Alberta (U of A) ha descubierto un nuevo material de recubrimiento compuesto por metales como el aluminio y el níquel que muestra un gran potencial para aplicaciones de alta temperatura, como los motores de combustión de hidrógeno.

### Atributos de AlCrTiVNi5

El nuevo material de aleación, denominado AlCrTiVNi5, es ideal para recubrir superficies que soportan altas temperaturas, como las que se encuentran en turbinas de gas, centrales eléctricas y motores de

vehículos y aviones. También cuenta con propiedades termomecánicas superiores, como alta estabilidad, baja expansión térmica, tolerancia a la fractura y una combinación excepcional de resistencia y ductilidad.



Estos atributos le permiten funcionar bien en entornos de alta temperatura y alta presión. Según el supervisor del proyecto, Jing Liu, profesor adjunto del Departamento de Ingeniería Química y de Materiales, este nuevo material de recubrimiento supera a las aleaciones disponibles comercialmente que se utilizan en aplicaciones de alta temperatura. Es muy prometedor para su uso en motores de hidrógeno.

"Si se quiere utilizar un motor de combustión que funcione con un 100% de hidrógeno, la temperatura de la llama es extremadamente alta. Hasta ahora, ninguno de los recubrimientos metálicos existentes ha sido capaz de funcionar en un motor de combustión con un 100% de hidrógeno", dijo Liu, el supervisor del proyecto.

#### Desventajas del hidrógeno como fuente de energía

El hidrógeno se considera una de las fuentes de energía más limpias porque produce únicamente agua cuando se quema o se utiliza en una pila de combustible. Es fundamental para los objetivos de reducción de emisiones de Canadá y Alberta, y tiene aplicaciones en el transporte, la calefacción doméstica y la industria pesada.

Sin embargo, un gran desafío en la adopción del hidrógeno es su alta temperatura de combustión,

que oscila entre 600 y 1500 grados Celsius. Estas temperaturas extremas requieren que todos los componentes mecánicos involucrados en la combustión del hidrógeno soporten altas temperaturas y resistan la corrosión por vapor.

En la actualidad, la mayoría de los motores de combustión de hidrógeno comerciales funcionan con una mezcla de combustibles, como gas natural e hidrógeno o diésel e hidrógeno. Sin embargo, a medida que más industrias se esfuerzan por adoptar el hidrógeno como fuente de combustible principal, Liu enfatiza la necesidad de prepararse para las condiciones de temperatura ultraalta de los motores alimentados completamente con hidrógeno.

"A medida que avanzamos hacia un motor de combustión de hidrógeno al 100 por ciento, queremos saber qué aleaciones pueden soportar las condiciones. Ninguna de las existentes lo hizo, pero aprendemos información valiosa de estos fracasos. Esta aleación supera a cualquier otra que haya en el mercado en este momento. Abre la puerta a nuevas posibilidades y esperamos que haga avanzar la economía canadiense del hidrógeno", comentó el supervisor del proyecto, Jing Liu.



#### Cómo se desarrolló el AlCrTiVNi5

El equipo de investigación evaluó las fortalezas y debilidades de cada aleación disponible en el mercado. Luego, utilizó simulaciones teóricas para identificar nuevas combinaciones que pudieran ofrecer la resistencia y durabilidad deseadas. En colaboración con

colegas como Hao Zhang de la Facultad de Ingeniería, el equipo empleó modelos informáticos para comprender las propiedades de cada nueva aleación potencial.

"Entendemos cómo reaccionan las cosas cuando se calientan. Por eso, utilizamos estas simulaciones y cálculos para entender cómo cambia la interfaz entre la materia y el entorno si modificamos la composición. Realizamos nuestro experimento en estos entornos corrosivos durante hasta 100 horas a 900 grados Celsius y sobrevivió, por lo que es una gran mejora", añadió Zhang.

Después de identificar el AlCrTiVNi5, el equipo sometió la nueva aleación a las mismas pruebas de alta temperatura que se utilizan en las aleaciones comerciales existentes. Si bien todas las aleaciones existentes fallaron en un plazo de 24 horas en el ambiente caliente y corrosivo, la nueva aleación compleja concentrada resistió el desafío con éxito.

Aunque la nueva aleación parece ser capaz de soportar el calor de un motor de combustión con un alto porcentaje de hidrógeno, Liu subraya que se necesitan más estudios antes de que pueda adoptarse de forma generalizada. No obstante, sigue siendo optimista sobre su potencial.

Para saber más: <https://www.alcircle.com/news/breakthrough-by-university-of-alberta-aluminum-nickel-coating-material-a-great-potential-for-hydrogen-combustion-engines-111319>

## **La Asociación del Aluminio y la AEC valoran la decisión de Biden de imponer un arancel del 10% al aluminio chino que llega a través de México**

Además de Century Aluminum, muchas asociaciones de aluminio con sede en Estados Unidos también han aplaudido la decisión del Presidente de imponer un arancel adicional del 10 por ciento a las importaciones de aluminio en coordinación con México.

Esta medida estratégica del presidente estadounidense, Joe Biden, tiene como objetivo comprobar cómo eludir los aranceles que pesan sobre las importaciones de aluminio procedentes de China, Irán, Rusia y Bielorrusia. Para evitar pagar los aranceles estadounidenses, estos países estaban transbordando sus productos de aluminio a través de México.

Por ello, la administración estadounidense ha aplicado un arancel adicional del 10% a los productos de aluminio primario fundidos o moldeados en China, Irán, Rusia y Bielorrusia que lleguen a través de México.



La Asociación del Aluminio dijo que esta medida era importante para combatir el impacto del comercio injusto que se había practicado en toda América del Norte.

Charles Johnson, presidente y director ejecutivo de la Asociación del Aluminio, afirmó: "El anuncio de hoy ayudará a salvaguardar a América del Norte como uno de los mejores lugares del mundo para fabricar aluminio y productos de aluminio. Durante la última década, la industria ha invertido más de 10 mil millones de dólares en plantas nuevas y ampliadas en los Estados Unidos, incluidos casi 200 millones de dólares solo este año.

## Implicaciones de una Administración Trump en los mercados de materias primas



Las empresas de aluminio de América del Norte disfrutan de varias ventajas estructurales importantes, incluida una de las producciones de aluminio con menor contenido de carbono del mundo. Al trabajar con nuestros países socios del T-MEC en una aplicación estricta del comercio, podemos ayudar a impulsar el crecimiento y la inversión continuos en la región, creando puestos de trabajo y captando la mayor demanda prevista para los próximos años. Este plan es un ejemplo de cómo sigue funcionando la cooperación regional. Apreciamos el arduo trabajo de la administración en este tema y esperamos trabajar con ellos en un plan de implementación sólido”.

El Consejo de Extrusores de Aluminio (AEC) también acogió con satisfacción la iniciativa estratégica de Biden de descartar las importaciones de aluminio de China y otros países a través de México.

Jeff Henderson, presidente de la AEC, dijo: “La AEC agradece a la administración Biden por su apoyo a la industria. Este es un buen paso inicial de la administración para abordar el comercio injusto que se está produciendo, en el camino hacia un requisito general de fundición y fundición en América del Norte en el T-MEC”.

Jason Weber, vicepresidente de operaciones y asuntos gubernamentales de la AEC, comentó: “La AEC y sus miembros esperan continuar trabajando con la administración en cuestiones de comercio justo. El requisito de fundición y colada negociado aquí como parte del programa 232 reconoce el comercio injusto inherente que se produce cuando nuestros socios comerciales pueden procesar metales altamente distorsionados y subsidiados de países como China y Rusia, y los efectos adversos que esto tiene sobre la industria de extrusión de aluminio de los EE. UU.”

Para saber más: <https://www.alcircle.com/news/aluminum-association-and-aec-appreciate-bidens-move-to-impose-a-10-tariff-on-chinese-aluminum-arriving-via-mexico-111415>

México podría alcanzar un récord nacional de producción de vehículos ligeros este año, con un incremento de entre 2.6% y 5%, lo que abre oportunidades para México que se podrían ver potenciados con el uso de soluciones en la nube.

Ciudad de México, 24 de julio de 2024.- La industria automotriz en México experimenta una recuperación sustancial, con expectativas de alcanzar las metas de producción proyectadas antes de la pandemia, incluso, podría romper sus marcas de producción de autos y autopartes este año.

De acuerdo con las proyecciones dadas a conocer esta semana, México podría alcanzar este año un récord nacional en producción de vehículos ligeros, lo que implica un incremento de entre 2.6% y 5%, respecto a 2018, fecha con el registro más alto hasta ahora.

En este sentido, la Asociación Mexicana de la Industria de Automotriz (AMIA) estima que la fabricación de vehículos ligeros alcanzará hasta 4 millones de unidades, por encima del máximo registrado en 2018, lo que refleja que la recuperación pospandemia quedó solventada y el sector está en una nueva etapa de expansión en producción y exportación.

Este sector es un pilar fundamental en la economía nacional, ya que es un importante generador de empleo, aporta significativamente al PIB del país,

atrae importante IED, promueve el desarrollo tecnológico, forma parte de cadenas globales de suministro, fomenta el desarrollo regional generando clusters industriales que impulsan la infraestructura local, así como adoptar nuevas tecnologías y prácticas sostenibles para reducir el impacto ambiental y cumplir con regulaciones globales.

Al respecto, Alejandro Luna, country manager de Infor México opina que 'La adopción de soluciones basadas en la nube son fundamentales para que la industria automotriz mexicana mantenga su competitividad en el mercado global.

Estas tecnologías no solo mejoran la agilidad y la capacidad de respuesta ante los cambios del mercado, sino que también son cruciales para cumplir con los estándares de calidad y sostenibilidad cada vez más exigentes'.

La actual demanda pública de vehículos eléctricos (EV) está generando el renacimiento de la industria automotriz. El impulso en torno a los EV está vinculado a dos factores:

\* Cumplir con el objetivo del sector energético mundial de lograr cero emisiones netas de dióxido de carbono (CO2) para 2050

\* Reducir la dependencia de EE. UU. en las compras de petróleo extranjero

Alejandro Luna, explica que la transición a una producción de EV de mayor volumen no es tan fácil como simplemente activar un interruptor. "Hay cambios necesarios importantes para facilitar nuevas formas de trabajar juntos para ofrecer con éxito la próxima generación de transporte personal de alta tecnología, lo que incluye abordar nuevos diseños de ingeniería, herramientas, estándares de seguridad y procesos de manufactura".

Los fabricantes que forman la cadena de valor de esta industria, pueden tomar ventaja de soluciones integrales construidas en torno a una plataforma ERP

central, las cuales proporcionan un hilo digital conectado, visibilidad completa y una única fuente de la verdad para la toma de decisiones comerciales.

Sobre ello, el directivo señala que esto permitirá aprovechar la ola de crecimiento que está viviendo la industria en nuestro país, desde los OEM, los proveedores y los fabricantes de autopartes. La demanda de vehículos ligeros, incluidos los eléctricos, abre oportunidades para el ecosistema automotriz en México que se podría ver potenciado con el uso de soluciones en la nube.

Si bien algunas organizaciones ya se están adaptando a los cambios rápidos, muchas no están preparadas, aseguró el country manager de la empresa. Enfatizó que "para aprovechar las oportunidades en EV, los fabricantes OEM y proveedores pueden utilizar soluciones basadas en la nube para gestionar la innovación y la disrupción con mayor eficacia".

Alejandro Luna agregó "una plataforma ERP central ofrece visibilidad completa y una fuente única de información para decisiones comerciales. Funcionalidades avanzadas incluyen inteligencia artificial, aprendizaje automático, análisis predictivos, acceso remoto a datos y seguridad cibernética".

La industria automotriz en México reconoce la necesidad de adaptarse rápidamente a un entorno empresarial cada vez más digitalizado y competitivo. La implementación de soluciones basadas en la nube no solo es una inversión en tecnología, sino también en la capacidad de las empresas para innovar, adaptarse y liderar en el mercado global.

Para saber más: <https://www.clusterindustrial.com.mx/noticia/7889/la-industria-automotriz-impulsa-la-eficiencia-mediante-la-adopcion-de-soluciones-en-la-nube>

# EMPRESAS ASOCIADAS A IMEDAL





## Miembros Honorarios - Universidades y Centros de Investigación



# BIENVENIDOS

## El Instituto Mexicano del Aluminio

Da la bienvenida a su nuevo asociado:



# FRACSA ALLOYS

ALTA INGENIERIA EN ALEACIONES DE ALUMINIO

Fracsa es una empresa fundada en 1990 y es actualmente la fundidora mexicana líder en aleaciones secundarias de aluminio para el mercado automotriz, teniendo una capacidad de producción de 60,000 TM anuales.

Durante los últimos 34 años Fracsa Alloys se ha consolidado como sinónimo de tecnología, crecimiento y constante evolución.

# ¡Bienvenidos!





# MÁS QUE EXTRUSIÓN SOMOS:



Calidad



Tecnología



Ingeniería



Valor Agregado



Servicio



Sustentabilidad

**“Alcanzando lo inalcanzable  
en soluciones de Aluminio”**

[cuprum.com](http://cuprum.com)

[infocuprum@cuprum.com](mailto:infocuprum@cuprum.com)

[f](#) [@](#) [in](#) / GrupoCuprum

# Explorando los límites del **Endurecimiento** por deformación en aleaciones de **Aluminio**

## Acerca del Autor



**Francisco  
Alfredo  
García Pastor**

Originario de San Juan del Río, Qro. Tras concluir sus estudios de ingeniería industrial, comenzó la maestría en ciencia de materiales en la Unidad Querétaro de Cinvestav. Trabajó en la industria de la fundición durante un año y prosiguió sus estudios doctorales en ciencia de materiales apoyado con una beca Conacyt en la universidad de Manchester en el 2005, donde fue supervisado por los profesores Phil Withers (Regius Professor en ciencia de materiales) y Michael Preuss. Después de defender exitosamente su tesis, fue ganador de una fellowship PhD+ por parte del EPSRC. En 2010 se incorporó como Profesor Investigador en Cinvestav Unidad Saltillo, en el grupo de ingeniería metalúrgica. Desde esa fecha ha sido titular de las materias "Estructura y caracterización de materiales" y "Microestructura y metalografía cuantitativa". Fue miembro de la Comisión para la promoción y estímulos para los investigadores de Cinvestav en el período 2016-2017. De 2017 a 2021 se desempeñó como Coordinador Académico del programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Metalúrgica. En enero de 2022 fue designado como director de la Unidad Saltillo. Ha dirigido hasta su conclusión las tesis de 6 estudiantes de doctorado, 17 de maestría y 3 de licenciatura. Adicionalmente, ha coordinado las estancias académicas de dos asociados postdoctorales y es autor de más de 20 artículos en revistas indizadas. Ha mantenido también una intensa vinculación con la industria, siendo responsable de 10 proyectos por más de 10 millones de pesos. Participa activamente en labores de divulgación científica, habiendo publicado artículos de esta naturaleza principalmente en Revista C2 y en Avance y Perspectiva. En esta última revista, órgano de divulgación y difusión del Cinvestav, funge como miembro del Consejo Editorial desde 2018. Sus intereses de investigación incluyen la relación entre microestructura y propiedades mecánicas, así como el procesamiento de materiales metálicos mediante deformación plástica severa.

## Abstract:

*Las aleaciones de aluminio pertenecientes a la serie 7000 presentan excelentes propiedades de resistencia mecánica, gracias al endurecimiento por la precipitación de partículas intermetálicas de MgZn<sub>2</sub> en la escala nanométrica. Una alternativa para mejorar aún más estas propiedades es usar una combinación entre el endurecimiento por precipitación y por deformación, haciendo uso de las técnicas de deformación plástica severa (SPD). La mejora en propiedades permitiría ampliar el rango de uso de estas aleaciones para poder utilizarlas en sistemas de suspensión automotriz.*

*En este artículo se reporta el trabajo experimental para mejorar la resistencia de la aleación 7075 mediante el uso de unión por rolado acumulativo (ARB) una de las técnicas de SPD. Además de mostrar la correspondiente mejora en resistencia, se encuentra que la microestructura de deformación es suficientemente estable para ser usada en diversas aplicaciones donde se requiere mayor resistencia mecánica.*

---

## Introducción

Es bien sabido que una de las principales ventajas de las aleaciones de aluminio cuando se compara con el acero es su baja densidad. En aplicaciones automotrices, la reducción de peso está relacionado con un mayor rendimiento de combustible. Esta propiedad, junto con la excelente formabilidad y fluidez al vaciarse, han permitido que múltiples piezas del automóvil sean ahora fabricadas a partir de aleaciones de aluminio. Sin embargo, en aplicaciones que requieren alta resistencia, como en los sistemas de suspensión, no ha sido posible usar al aluminio para reemplazar al acero.

En el caso particular de los sistemas de suspensión, se suelen usar aceros endurecibles por temple, los cuales tienen resistencias superiores a los 1,000 MPa. En comparación, las aleaciones endurecibles por precipitación, como las de la serie 7000, presentan

resistencias menores a los 700 MPa. Si este tipo de aleaciones pudieran endurecerse a niveles cercanos a la de los aceros templables, se abriría la posibilidad de usarlos en aplicaciones más demandantes.

Las aleaciones de aluminio de la serie 7000 son, sin duda, una maravilla de la ingeniería metalúrgica. Con una composición de un poco menos de 90% de aluminio, tiene relativamente pocos elementos aleantes, destacando el cobre, el magnesio y el zinc. Es precisamente la adición de estos dos últimos elementos lo que le da su gran resistencia mecánica. La precipitación del intermetálico MgZn<sub>2</sub> durante el tratamiento térmico T6 como partículas nanométricas genera, efectivamente una barrera para la propagación de las dislocaciones.

Como es el caso en varios sistemas metálicos, los tratamientos térmicos permiten hacer un ajuste fino de las propiedades mecánicas. En este caso, es posible solubilizar a los intermetálicos para alcanzar propiedades de máxima ductilidad y formabilidad para posteriormente, volver a precipitarlos con el citado tratamiento térmico T6.

A pesar del significativo endurecimiento por precipitación, las aleaciones T6 se quedan ligeramente por debajo de la resistencia requerida para aplicaciones de suspensiones automotrices, con una resistencia de aproximadamente 550 MPa.

Es precisamente en este punto donde surge la posibilidad de explorar un efecto combinado entre el endurecimiento por precipitación y por deformación. Particularmente, haciendo uso de las técnicas de deformación plástica severa.

## Deformación plástica severa

La deformación plástica severa es un término que agrupa varias técnicas de procesamiento, las cuales tienen en común que imparten a las piezas de trabajo deformaciones equivalentes por encima de 200%. A

pesar de esta gran deformación en todos los casos la sección transversal se mantiene constante. Esto se consigue haciendo uso de alternativas de procesamiento construidas sobre procesos largamente establecidos.

Por ejemplo, en el prensado angular por canales iguales (ECAP, por sus siglas en inglés), se presiona una pieza de trabajo a través de un dado, haciéndole pasar a través de un canal de sección constante pero con un giro de hasta 90°. La unión por rolado acumulativo (ARB, por sus siglas en inglés), está inspirado en la fabricación de espadas damasquinadas.

En esta técnica, se unen dos láminas iguales y se hacen pasar por un molino de laminación con una reducción del 50%. Esto genera una soldadura en frío entre las dos láminas y una pieza de trabajo con el doble de largo que las originales. Tras un corte transversal, las dos piezas resultantes pueden ser apiladas nuevamente y el proceso se repite tantas veces como lo permita el material. El esquema de este proceso se muestra en la Figura 1.

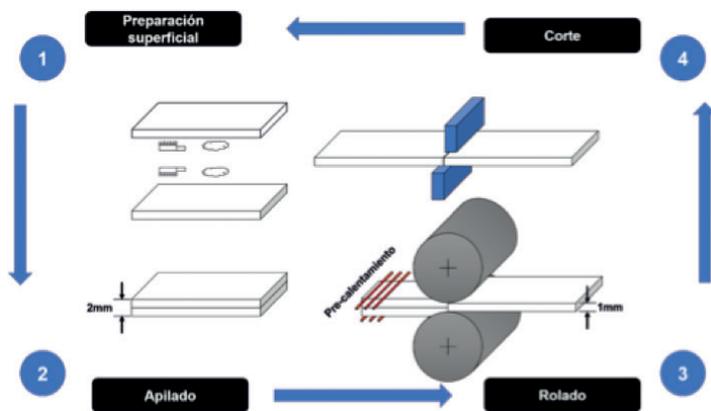


Fig. 1. Esquema del método de procesamiento ARB [1].

En este trabajo, se realizaron 3 ciclos de ARB y se combinaron con un tratamiento T6. El esfuerzo de cedencia fue incrementado hasta alcanzar 600 MPa con una resistencia a la tracción de 670 MPa. En comparación, en la condición T6, el esfuerzo de cedencia típico es de 500 MPa, con una resistencia a la tracción

de 570 MPa. Esto representa una mejora de aproximadamente un 20%.

Esta mejora en las propiedades mecánicas fue resultado, como se esperaba, de un efecto combinado entre la precipitación y el refinamiento de grano causado por la gran deformación plástica. En la Figura 2 se presenta una imagen de microscopía electrónica de transmisión en modo campo oscuro angular de alto ángulo donde aparecen los precipitados de MgZn<sub>2</sub> interactuando con los granos nanométricos.

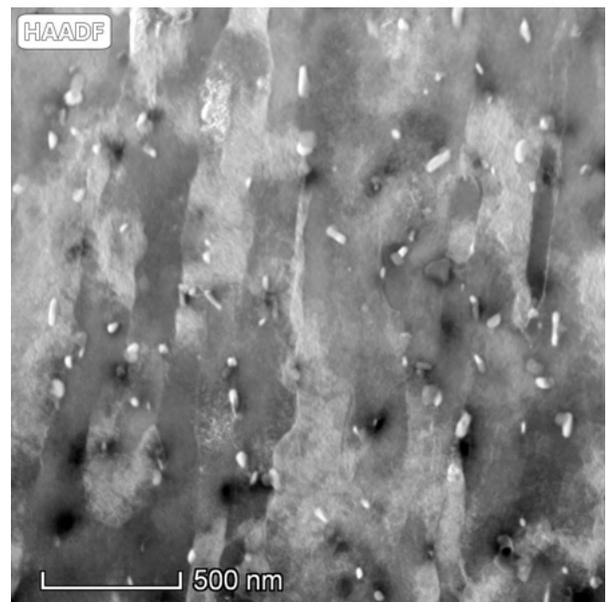


Fig. 2. Granos nanométricos y precipitados de MgZn<sub>2</sub> (partículas blancas). Imagen de microscopía electrónica de transmisión, modo campo oscuro angular de alto ángulo (HAADF)

Una de las grandes interrogantes de la deformación plástica severa es la estabilidad térmica de la microestructura. Con una deformación acumulada tan grande, ¿es posible que la microestructura se mantenga estable sin sufrir una recrystalización espontánea? En la Figura 3 se presenta la evolución de las propiedades mecánicas ante diferentes temperaturas de tratamiento térmico.

Puede verse que las propiedades mecánicas obtenidas por el proceso propuesto se mantienen constantes hasta aproximadamente 150°C por una hora. Posteriormente, el material pasa por un proceso de recristalización que la reblandece.

## Conclusiones

Se ha demostrado que es posible usar un proceso combinado de ARB y T6 para mejorar aún más las propiedades mecánicas de la aleación 7075. Estas propiedades presentan buena estabilidad térmica, lo cual permitiría su uso en varias aplicaciones, incluyendo las automotrices. Sin embargo, se requiere de trabajo adicional para poder alcanzar los esquivos 1000 MPa que permitirían usarlas en sistemas de suspensión.

## Agradecimientos

Los resultados mostrados en este artículo pertenecen a la tesis del Dr. Omar Alejandro Velázquez Carrillo, egresado del programa de Doctorado en Ciencias en Ingeniería Metalúrgica y Cerámica de Cinvestav Saltillo.

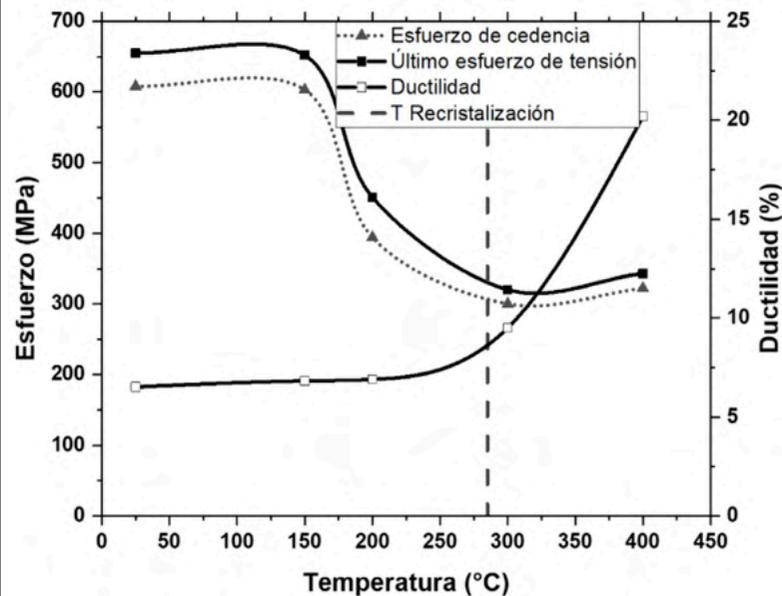


Fig. 3. Estabilidad térmica de las propiedades mecánicas de la aleación procesada por ARB y T6.

## Referencia:

1. Velazquez-Carrillo Omar Alejandro, García-Pastor, F. A. (2021). Thermal stability of microstructure , mechanical properties , formability parameters and crystallographic texture in an Al-7075 alloy processed by accumulative roll bonding. Journal of Materials Research and Technology, 11, 2208–2220. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.02.041>



# Homenaje al Dr. José Alejandro García Hinojosa



El homenaje al Dr. José Alejandro García Hinojosa se llevó a cabo en el auditorio del edificio D de la Facultad de Química, su alma mater. Este evento fue organizado principalmente por la M. en M. Balbina Ojeda Ramírez y la IQM Clara Saraíd Flores Rosas.

El evento inició a las 10:30 de la mañana con la presencia de diversas personalidades en el podio:

- \* El director de la Facultad de Química, Dr. Carlos Amador Bedolla.
- \* El coordinador de la carrera de Ingeniería Química Metalúrgica, Dr. José Antonio Barrera Godínez.
- \* El jefe del Departamento de Ingeniería Metalúrgica (DIM), Dr. Marco Aurelio Ramírez Argaéz.
- \* El M. en I. Diego Enrique González González, quien fungió como moderador del evento.
- \* El homenajeado, Dr. José Alejandro García Hinojosa.

El M. en I. Diego Enrique González González abrió el evento presentando al Dr. Carlos Amador, quien dio unas palabras de bienvenida y agradeció al Dr. Hinojosa por sus más de 40 años como docente en la Facultad de Química, formando a numerosas generaciones de Ingenieros Químicos Metalúrgicos.

El Dr. José Alejandro Hinojosa tomó la palabra, agradeciendo a su familia, exalumnos y colegas que lo han acompañado tanto dentro como fuera de la UNAM por su presencia, mencionando también al Instituto Mexicano del Aluminio, A.C. (IMEDAL) y a la Sociedad Mexicana de Fundidores, A.C. (SMFAC), en este espacio agradeció también a la M. en C. María Eugenia Noguez ya que, de acuerdo con las palabras del Dr., es gracias a ella que él es IQM.





Aunque el evento principal fue en honor al Dr. José Alejandro, también se homenajeó a varios profesores que se retiran, como el IQM Leopoldo Abelardo Rodríguez Reyes, la M. en C. María Eugenia Noguez Amaya (asesora de tesis del Dr. Hinojosa), el M. en C. Antonio Huerta Cerdán y la Dra. Guillermina González Mancera.

El Dr. Marco Aurelio Ramírez Argaéz fue el primero en dar unas palabras en honor al Dr. Hinojosa, agradeciéndole su invaluable ayuda al departamento y señalando

que, aunque es difícil creerlo, su retiro ya es justo y merecido.

El Dr. José Antonio Barrera Godínez también dio unas palabras, recordando algunas anécdotas compartidas con el Dr. Hinojosa durante sus años como maestro. Después de esto, Mauricio Giovanni nos deleitó con música de violín, interpretando "Concierto en La menor" de Oskar Rieding.

El Dr. Enrique Salas Reyes ofreció unas palabras en homenaje no solo al Dr. Hinojosa, sino también a la M. en C. María Eugenia Noguez Amaya y a la Dra. Guillermina González Mancera, destacando el apoyo que recibió de ellas cuando se unió a la UNAM como profesor.

La Dra. Guillermina González Mancera recordó los logros alcanzados como profesora en la UNAM y agradeció a todos los colegas con quienes trabajó, especialmente a la M. en C. María Eugenia Noguez Amaya, con quien coescribió el libro "Principios de Microscopía Electrónica de Barrido y Microanálisis por Rayos X Característicos." La música continuó con la interpretación de "Merry-Go-Round of Life" y "Concierto en La menor" de Antonio Vivaldi, tercer movimiento, por Mauricio Giovanni en el violín.

Terminando esta pieza pasó de nuevo el Dr. José Antonio a dar unas palabras para los profesores que se están retirando de dar clases al igual que el Dr. Hinojosa, haciendo un recordatorio de la misión y visión de la carrera de Ingeniería Química Metalúrgica y haciendo un recuento de los alumnos graduados durante el tiempo de la coordinación del M. en C. Antonio Huerta Cerdán.

Posteriormente se tuvo la participación del M. en C. Antonio Huerta quien agradeció a los maestros presentes y recordó algunas de las anécdotas que pasó con el Dr. Hinojosa, terminó dando las gracias a todos por los años de servicio que pudo brindarle a la UNAM.





El Dr. Francisco Javier agradeció a todos sus colegas y recordó su tiempo como jefe del Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Química, destacando la importancia del IQM Leopoldo Abelardo en su vida profesional.

El IQM Leopoldo Abelardo compartió unas palabras con el Dr. Hinojosa y sus colegas, recordando algunas anécdotas y agradeciendo las palabras del Dr. Francisco Javier.

La M. en I. María Gabriela agradeció al Dr. Hinojosa, quien fue su maestro y mentor, ayudándola a realizar su sueño de convertirse en profesora en la UNAM de la carrera Ingeniería Química Metalúrgica.

El evento incluyó una presentación del Dr. Hinojosa, mostrando imágenes desde sus inicios en la UNAM como estudiante hasta su carrera como profesor, incluyendo su tiempo en la Escuela Militar de Ingenieros de la SEDENA y su participación en diversos congresos. Destacó el logro de conseguir un edificio anexo para la Facultad de Química, dedicado a la carrera de Ingeniería Química Metalúrgica.

Como sorpresa, la Dra. Silvia Patricia García Galván, hija del Dr. Hinojosa, ofreció unas palabras en representación de la familia.

El evento concluyó con la entrega de reconocimientos a los profesores jubilados y un reconocimiento especial del Ing. Fernando, vicepresidente del IMEDAL, al Dr. Hinojosa por su destacada labor en el instituto. El Dr. Hinojosa, junto con el IQM Alfonso Vázquez de Posshel, dirigieron el conocido "Goya" de la UNAM en honor a los profesores que se retiran.

El homenaje finalizó con una comida y un pastel en honor al Dr. Hinojosa y a los profesores presentes.



# La Inteligencia Artificial y el Desafío de las Bases de Datos en la Industria del **Aluminio**



**Javier Covarrubias García**

## **Acerca del Autor**

Investigador de temas relacionados con la aplicación de inteligencia artificial, deep learning & machine learning enfocados a la industria metalúrgica y de la transformación.



**Francisco A. García Pastor**

## **Acerca del Autor**

Profesor titular de las materias "Estructura y caracterización de materiales" y "Microestructura y metalografía cuantitativa". Ha mantenido también una intensa vinculación con la industria siendo responsable de 10 proyectos por más de 10 millones de pesos.



**Mario Castelán**

## **Acerca del Autor**

Doctor en Ciencias de la Computación por la Universidad de York, Reino Unido. (2006) Profesor investigador en el Cinvestav, Unidad Saltillo. Intereses: análisis de patrones para investigación multidisciplinaria, con aplicación en robótica, etc. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI).

## Abstract:

*La inteligencia artificial (IA) depende fundamentalmente de la calidad de los datos utilizados para entrenar los modelos. En la industria del aluminio, la IA ya optimiza procesos de fundición, mantenimiento predictivo, análisis de producción y detección de defectos en tiempo real, además de contribuir a la sostenibilidad. Sin embargo, la calidad y cantidad de datos disponibles son críticas para el éxito de estos modelos. En el Pattern Analysis and Geometry Lab (PAGL) del Cinvestav, se han desarrollado metodologías para generar micrografías sintéticas realistas de aleaciones de aluminio a partir de imágenes de ruido blanco, replicando características morfológicas clave. Este avance permite ampliar las bases de datos necesarias para el aprendizaje profundo, mejorando la precisión y efectividad de los modelos de IA en diversas aplicaciones industriales.*

---

El elemento más crucial en inteligencia artificial es la obtención de bases de datos de alta calidad. Aunque se podría pensar que la magia ocurre en los complejos modelos de aprendizaje profundo y en sus sofisticados algoritmos de optimización, el pilar fundamental de los resultados de la IA son los datos, enormes cantidades de datos. Tus datos y los de miles más, procesados por estos modelos pueden producir resultados tan sorprendentes como el estado anímico de una ciudad entera [1] o la “decisión” de compra perfecta [2]. Los modelos de inteligencia artificial ya están aquí e interactuamos con ellos todos los días; está en nuestras manos cómo los aprovechamos y qué usos les damos.

En la industria del aluminio, la IA ya tiene aplicaciones concretas en la optimización de procesos de fundición [3], mantenimiento predictivo [4], análisis de datos de producción y detección de defectos en tiempo real [5] [4] [6]. También contribuye a la sostenibilidad optimizando el uso de recursos y reduciendo las emisiones de carbono. Los sistemas basados en aprendizaje automático pueden optimizar la logística

de transporte de materias primas y productos terminados, minimizando así el consumo de combustible. La IA es una herramienta nueva, amada por unos y temida por otros. Los entusiastas de la tecnología la ven como la solución a todos los problemas y la presentan al público como una panacea infalible, prácticamente aplicable a todos los sectores. Sin embargo, las personas más cautas y conservadoras advierten sobre los posibles riesgos y peligros de este nuevo instrumento, que también causa temor en algunos trabajadores ante la posibilidad de que transforme o elimine ciertos puestos de trabajo: ¿Cómo competir contra una herramienta que puede hacer un análisis en microsegundos y con una precisión muy superior a la humana?

No obstante, aunque tengamos las redes neuronales más grandes y complejas o los algoritmos mejor optimizados, estos siguen dependiendo de los humanos y de los datos que les proporcionemos. Si los datos son de mala calidad, es decir, no representan con suficiente variabilidad la naturaleza del fenómeno a ser modelado, entonces los resultados serán erróneos o inútiles. Para un aprendizaje óptimo, las bases de datos deben ser consistentes, estandarizadas, equilibradas, diversas, representativas, relevantes y estructuradas. Gran parte del trabajo en la implementación de algoritmos de IA se centra en obtener, etiquetar y validar estas bases de datos, evaluando que su estructura y cantidad sean adecuadas y estén libres de sesgos.

Hablando de bases de datos, una pregunta muy común al comenzar a trabajar con estas tecnologías es: ¿Cuántos datos son suficientes? ¿Cuántas imágenes necesito? No hay una respuesta concreta para estas preguntas, ya que todo depende de la complejidad del problema. Por ejemplo, si se quiere entrenar una red neuronal para diferenciar entre un perro y un gato, bastarán un par de cientos de imágenes. En cambio, si se desea entrenar un modelo para detectar defectos sutiles en piezas de aluminio, podrían requerirse miles de micrografías ordenadas y etiquetadas.

En la manufactura del aluminio, surge otro problema interesante cuando se analizan metalografías. La microestructura proporciona información crucial sobre su calidad, posibles defectos e inclusiones, efectividad de los tratamientos térmicos y precisión en la modificación de los procesos de refinación.

Sin embargo, la formidable cantidad de morfologías, tamaños, colores y métodos de fabricación lo convierte en un problema desafiante debido a la dificultad de obtener muestras en todas las condiciones, así como al tiempo y costo necesarios para realizar estudios metalográficos de cada una.

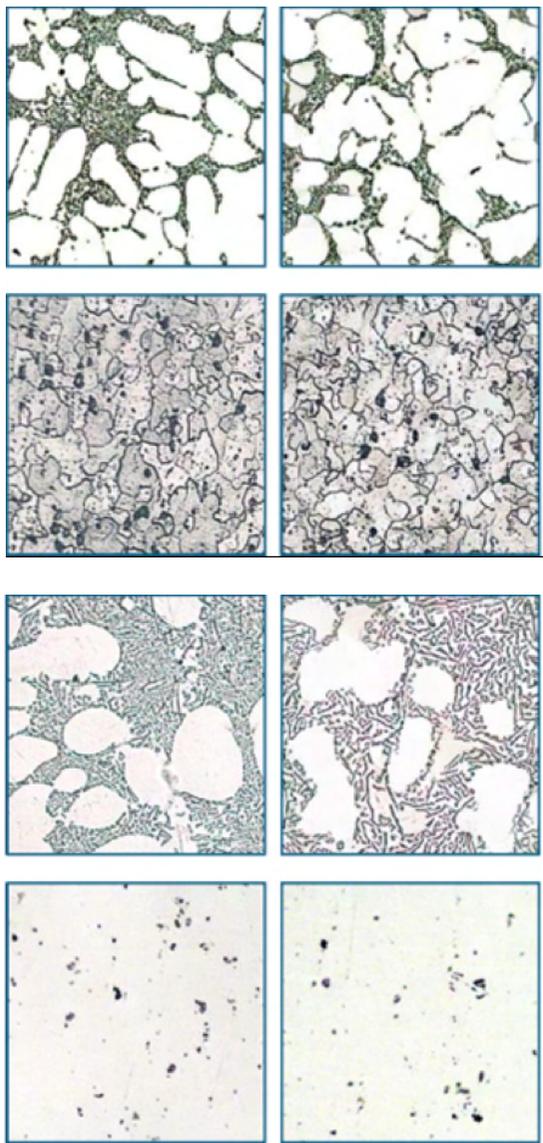


Figura 1. Micrografías de aleaciones de aluminio reales y sintéticas. Se presentan cuatro aleaciones: 356 (superior

izquierda), 361 (superior derecha), 2024 (inferior izquierda) y 5086 (inferior derecha). En cada par presentado, la imagen izquierda es una metalografía real y la imagen derecha es una metalografía sintética obtenida a partir de ruido blanco.

Lo anterior plantea el problema de la falta de micrografías en el conjunto de datos de entrenamiento o aprendizaje. En el Pattern Analysis and Geometry Lab (PAGL) de la Unidad Saltillo del Cinvestav, se han desarrollado metodologías para reproducir las características principales de cada una de las metalografías de aluminio.

El resultado son imágenes como las mostradas en la figura 1, donde se observa que el algoritmo desarrollado logra un realismo notable al replicar la variedad morfológica, desde morfologías dendríticas hasta la cantidad y dispersión de los precipitados en varias aleaciones.

Gracias a este trabajo de investigación, es posible ampliar las bases de datos de micrografías de aleaciones mediante la generación de imágenes sintéticas realistas. Utilizamos micrografías originales de diferentes aleaciones y condiciones de procesamiento, extraídas de un atlas metalográfico [7]. Nuestro enfoque consiste en extraer las características representativas de una micrografía real y aplicarlas a una imagen de ruido blanco en cada iteración, generando así una nueva imagen similar a la original.

Esta metodología, lejos de ser trivial, es el resultado de investigaciones en biotecnología [8] [9], producto de una tesis doctoral. La ejecución del algoritmo requiere una computadora con alta capacidad de procesamiento de imágenes (unidad de procesamiento gráfico, GPU) y conocimientos avanzados en programación, álgebra lineal y técnicas de visión por computadora. Además para evaluar los resultados, se necesita experiencia en el análisis de metalografías.

Sin duda, la generación realista y sintética de metalografías es un enfoque prometedor, ya que ofrece

la posibilidad de ampliar bases de datos pequeñas que, ya sea por falta de presupuesto, tiempo o condiciones, requieren más imágenes para entrenar adecuadamente modelos de IA basados en aprendizaje profundo y obtener resultados óptimos.

Estas imágenes sintéticas tienen un sinfín de posibles aplicaciones para la ciencia y sobre todo, para la industria: segmentación de precipitados para su análisis morfológico, clasificación de microestructuras con miras en control de calidad computarizado, detección automatizada de defectos, optimización del uso de recursos mediante minería de datos y regresiones, ingeniería inversa, estudios con aprendizaje no supervisado de morfologías características de cada aleación y cualquier otra problemática que involucre inteligencia artificial avanzada.

## Referencias:

[1] L. Manovich, S. Moritz, Y. Mehrdad, B. Dominikus, G. Daniel, T. Alise, H. Nadav y C. Jay, «Selfiecity,» 2024. [En línea]. Recuperado de: <https://selfiecity.net/>. [Último acceso: Junio 2024].

[2] H. Chen, S. Chan-Olmsted, J. Kim y I. Mayor, «Consumers' perception on artificial intelligence applications in marketing communication,» *Qualitative Market Research*, vol. 25, nº 1, pp. 125-142, 2021. <https://doi.org/10.1108/QMR-03-2021-0040>

[3] Autor desconocido, «alcircle.com,» (2024, mayo 15). RUSAL implements artificial intelligence at its aluminium smelters [En línea]. Recuperado de: <https://www.alcircle.com/press-release/rusal-implements-artificial-intelligence-at-aluminium-smelters-110877>.

[4] Autor desconocido, «eitmanufacturing.eu,» (2023, febrero 28) [En línea]. D-Cube Immersive Solutions is pioneering AI-driven in-line quality assurance for aluminium extrusion Recuperado de: <https://www.eitmanufacturing.eu/news-events/>

[news/ai-driven-in-line-quality-assurance-for-aluminium-extrusion/](https://www.eitmanufacturing.eu/news-events/news/ai-driven-in-line-quality-assurance-for-aluminium-extrusion/). [Último acceso: abril 2024].

[5] Autor desconocido, «aimlprogramming,» (2024, 24 mayo) Ai Enabled Quality Control For Aluminium Products [En línea]. Recuperado de: <https://aimlprogramming.com/services/ai-enabled-quality-control-for-aluminum-products/>. [Último acceso: abril 2024].

[6] Autor desconocido, «aluminium-journal.com,» (2024, marzo 11) Efficient surface inspection of aluminium profiles [En línea]. Recuperado de: <https://www.aluminium-journal.com/efficient-surface-inspection-of-aluminium-profiles>. [Último acceso: abril 2024].

[7] R. Arrabal, M. Marta y M. Endzhe, «A Web-Based Metallographic Atlas for teaching Materials Science,» *J. Chem. Educ*, 2022. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00644>

**AFÍLIATE**  
**¡Solo Faltas Tú!**  
**Súmate**  
A nuestra familia y obtén grandes beneficios  
Más información en:  
[www.imedal.org](http://www.imedal.org)  
E-mail: [imedal@imedal.org](mailto:imedal@imedal.org) Whatsapp: 55-3069-4577  
Teléfono: 55-5531-3176 / 55-5531-2614

# *Creando un Producto de Alta Calidad*

Nuestro objetivo es desarrollar nuestras capacidades al máximo potencial y hacer una contribución positiva al mundo y a nuestro negocio. Nos mueve nuestra pasión por innovar y optimizar nuestros procesos, lo que nos permitirá consolidar nuestra posición en la industria altamente competitiva y dinámica.





# Estudios **Innovadores** de Filtros Cerámicos para **Aluminio**



**Dr. Francisco  
Andrés Acosta  
González**

## **Acerca del Autor**

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN-Unidad Saltillo.  
Programa de Ingeniería Metalúrgica.

### **Escolaridad**

Doctor en Ciencias en Ingeniería Metalúrgica, Cinvestav – Unidad Saltillo  
Master of Science in Metallurgical Engineering, The University of Alabama – U.S.A.  
Ingeniero Químico Metalúrgico, Facultad de Química, U.N.A.M.

### **Actividad Profesional**

Investigador Cinvestav desde 1990 a la fecha.  
Miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1989.  
Miembro de la AIST, ASM, TMS.  
Su área de interés es el estudio de los fenómenos de transferencia de masa, momentum y energía durante el procesamiento de los materiales.

## Abstract:

*Este artículo presenta una síntesis de las investigaciones realizadas en la Unidad Saltillo del Cinvestav, centradas en el análisis de filtros cerámicos empleados en procesos de tratamiento de aluminio fundido. Los estudios se enfocaron en dos características críticas: la permeabilidad y la eficiencia de filtración. Estas propiedades son fundamentales para el diseño de nuevos filtros o la selección de uno adecuado para aplicaciones específicas. La permeabilidad, que indica la facilidad con la que un fluido puede atravesar un medio poroso, fue evaluada utilizando un permeámetro especialmente diseñado y construido para este propósito. Por otro lado, la eficiencia de filtración depende de la velocidad del metal fundido, las dimensiones del filtro y las características del medio poroso, lo que llevó al desarrollo de un modelo matemático para su predicción. Estos estudios pioneros han resultado en la obtención de dos patentes y numerosas publicaciones en revistas y congresos internacionales de investigación.*

---

## Introducción

Los filtros cerámicos, utilizados como medios porosos, juegan un rol crucial en la industria metalúrgica. Se colocan tanto en la salida de los hornos de fusión como en la entrada de las cavidades de molde para cumplir dos funciones primordiales: la purificación del metal fundido y/o la obtención de un flujo laminar.

El proceso de purificación ocurre cuando las partículas sólidas en suspensión, como el  $TiB_2$ , impactan contra las paredes internas del filtro y se adhieren a éstas, quedando así retenidas. Si la concentración de partículas suspendidas es alta, se forma una capa densa en la entrada del filtro conocida como "torta filtrante". Por el contrario, con concentraciones más bajas, las partículas tienden a dispersarse a lo largo del filtro, resultando en una "filtración en lecho profundo".

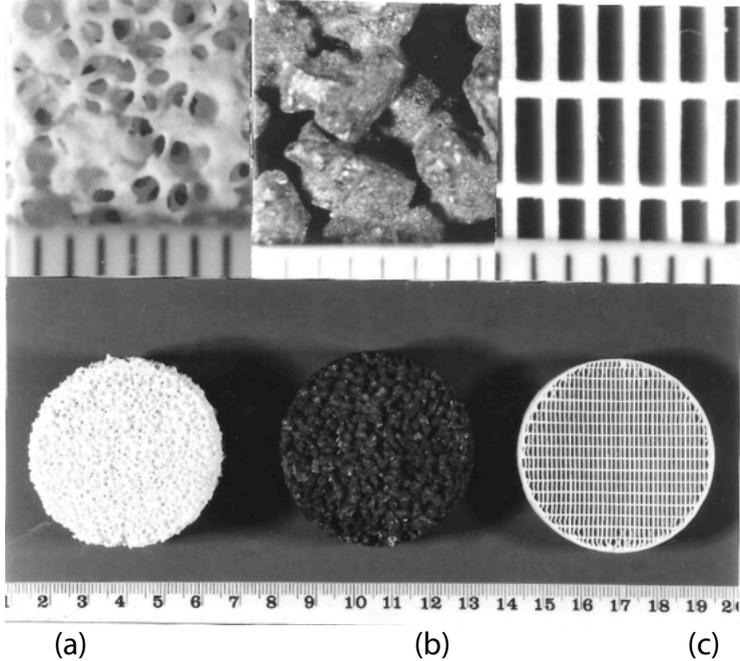
La función de laminación del flujo, por su parte, es esencial para reducir o eliminar la turbulencia del metal líquido. Esta turbulencia puede provocar la absorción de oxígeno del aire, generando escoria. Además, un control adecuado de la laminación es vital para asegurar tiempos óptimos de llenado de los moldes, evitando demoras en el proceso de fundición. Este equilibrio asegura la eficiencia y la calidad en la producción de metales.

## Tipos de Filtros y sus Propiedades

Los filtros cerámicos disponibles en el mercado se dividen en tres categorías principales, ilustradas en la Figura 1 mediante fotografías de cada tipo: espumas cerámicas, lechos de partículas consolidadas y monolitos. Las espumas y los lechos son comúnmente utilizados para purificar el metal, mientras que los monolitos se emplean principalmente para laminar el flujo de metal en la entrada de los moldes.

Estos filtros pueden ser fabricados de diversos materiales, incluyendo alúmina, carburo de silicio, mulita y zirconia, siendo éstos algunos de los más comunes. La elección específica de un filtro para una aplicación dada dependerá de un equilibrio entre el costo de filtración por unidad de masa de metal y el valor agregado obtenido por la purificación del metal.

Los proveedores de filtros generalmente proporcionan información detallada sobre sus productos, que incluye las dimensiones del filtro, su porosidad (expresada como el porcentaje de espacio vacío), el tamaño de los poros, la temperatura máxima de operación, la resistencia a la compresión en frío y otros datos cualitativos como la resistencia al choque térmico y la pérdida o desprendimiento de material durante el transporte y manejo. Esta información es crucial para asegurar que el filtro elegido cumpla con las necesidades específicas de cada proceso metalúrgico, garantizando así una operación eficiente y resultados de alta calidad.



(a) (b) (c)  
 Figura 1. Fotografías de filtros cerámicos usados para metales fundidos. Las fotografías de la parte superior muestran magnificaciones para apreciar los detalles de la estructura y las de la parte inferior son las respectivas piezas completas. a) Espuma cerámica, b) lecho de partículas consolidadas y c) monolito. Referencia [1].

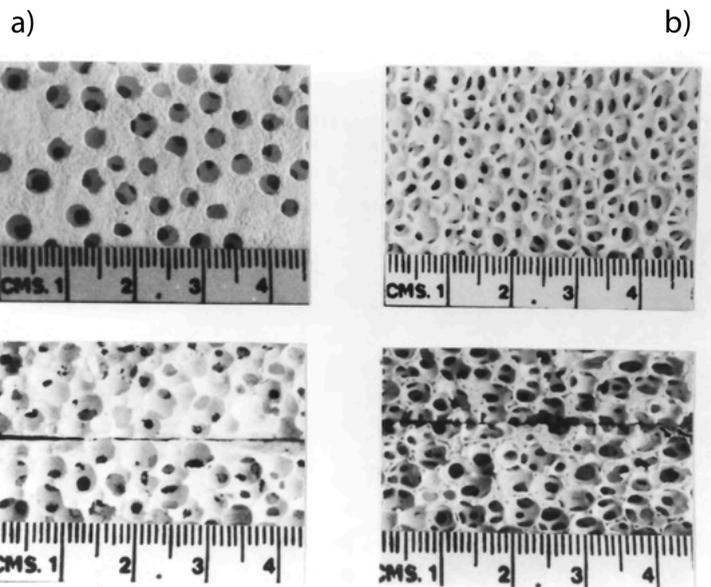
### Investigación de Vanguardia en el Cinvestav

A principios de la década de los 90, la Unidad Saltillo inició una de sus primeras líneas de investigación centrada en estudiar la eficiencia de filtración de los filtros cerámicos. Esta eficiencia se define como el porcentaje de volumen de partículas atrapadas por el filtro respecto al volumen total de partículas suspendidas en el metal filtrado. La eficacia de estos filtros varía dependiendo de varios factores, incluyendo la velocidad del flujo del metal a través del filtro, el tamaño de los poros y las partículas, la superficie interna del filtro, el espesor del mismo, entre otros, fluctuando usualmente en la producción entre un 20% y un 90%.

Realizar un estudio puramente experimental en laboratorio para determinar esta eficiencia implicaría una serie extensa y costosa de experimentos debido a la gran cantidad de combinaciones posibles de estas variables. Además, sería aplicable solo bajo condiciones específicas que coincidieran con los rangos estudiados experimentalmente. Por estas razones, la investigación decidió centrarse en dos aspectos fundamentales:

1. Cualquier estudio de laboratorio requiere tener

un control razonablemente preciso de las variables consideradas. Desafortunadamente, los filtros comercialmente disponibles tienen una estructura interna compleja, con tamaño de poro no uniforme, interconexión entre poros muy variable, superficie interna irregular. Por lo anterior, se desarrolló un nuevo filtro cerámico cuyas características estructurales, tales como tamaño de poro, porosidad, y área superficial interna, fueran fáciles de controlar con precisión. **Este desarrollo condujo a la generación de varias publicaciones y una patente [2-4].** La Figura 2 muestra fotografías donde se aprecia la diferencia entre el medio poroso desarrollado (FICELEP, Filtro Cerámico de Lecho Empacado Perdido) y un filtro comercial de espuma cerámica. Claramente el FICELEP es un filtro cerámico con geometría interna mejor controlada que las espumas cerámicas.



a) b)  
 Figura 2. Fotografías de a) filtros FICELEP y b) espumas cerámicas. Las fotografías superiores muestran el plano de entrada de fluido al interior de los filtros, mientras que las fotografías inferiores representan una vista de una sección longitudinal de los filtros, es decir un corte a lo largo del espesor de las piezas. Referencia [1].

2. La introducción del nuevo filtro cerámico fue clave para el desarrollo y validación de un avanzado modelo matemático diseñado para calcular la eficiencia de filtración en una región representativa del filtro. Este modelo innovador se fundamenta en la solución numérica integrada de las ecuaciones diferenciales que rigen la continuidad y el movimiento del alumi-

no fundido, junto con la ecuación Lagrangiana para determinar la trayectoria de las partículas suspendidas. Además, el modelo incorpora la consideración de cómo la obstrucción de los poros afecta al flujo del metal, específicamente el bloqueo causado por el atrapamiento de partículas en los cuellos entre poros adyacentes.

La Figura 3 ilustra ejemplarmente algunos de los resultados obtenidos con este modelo. Los cálculos realizados permitieron proporcionar explicaciones claras a mediciones que previamente parecían contradictorias y que habían sido reportadas por diversos expertos en el campo. Los frutos de esta labor de modelización han sido difundidos ampliamente, encontrando su lugar en las páginas de prestigiosas memorias de congresos y revistas científicas de alcance internacional [5-8].

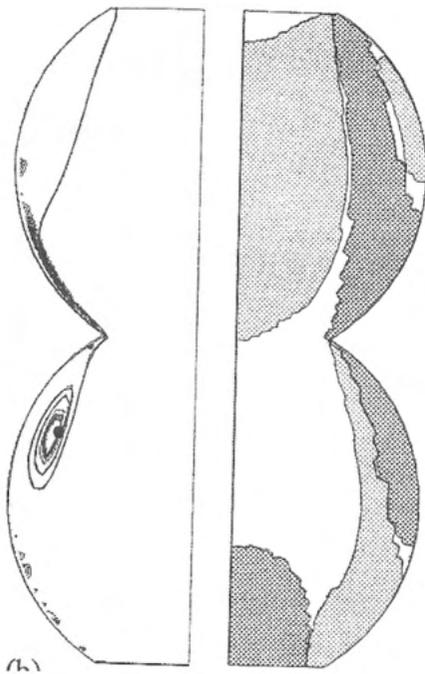


Figura 3. Sección izquierda: trayectoria calculada de partículas suspendidas en aluminio fundido y atrapadas en las paredes de un filtro. Sección derecha: Las zonas de color gris representan regiones donde la velocidad del líquido cambia como resultado de la obstrucción provocada por las partículas atrapadas. Referencia [1].

La publicación de estos estudios captó la atención de reconocidas empresas internacionales, entre ellas

Metallics Inc. y Foseco NorAm, ambas con sede en Estados Unidos. Específicamente, Foseco NorAm mostró un interés particular en el desarrollo de un permeámetro de laboratorio para caracterizar sus productos. Este equipo, diseñado y patentado especialmente para esta empresa, facilitó un análisis detallado del impacto que la porosidad y el tamaño de poro tienen sobre la permeabilidad de los filtros. Los resultados obtenidos proveyeron a la empresa de valiosas perspectivas sobre las características críticas que deben ser controladas para asegurar una permeabilidad consistente y predecible en sus productos.

## Conclusiones

La Unidad Saltillo del Cinvestav ha liderado investigaciones de vanguardia que han mejorado significativamente el entendimiento del funcionamiento de los filtros cerámicos en la purificación del aluminio fundido. Los avances logrados incluyen:

- 1) El desarrollo de un innovador filtro cerámico, denominado FICELEP, que ofrece una estructura interna más controlada y uniforme en comparación con los filtros de espuma cerámica disponibles comercialmente.
- 2) La creación y validación de un modelo matemático para simular el flujo de metal en una región representativa del filtro FICELEP, facilitando cálculos precisos sobre la trayectoria y atrapamiento de partículas suspendidas en el metal.

Estos estudios no solo se han publicado en revistas de prestigio internacional, sino que también han motivado a empresas líderes en la fabricación de medios porosos a buscar la colaboración de los investigadores para desarrollar herramientas especializadas como el permeámetro para filtros cerámicos. Las mediciones realizadas con este equipo han sido fundamentales para entender cómo la porosidad y el tamaño de poro afectan la permeabilidad de los filtros, contribuyendo así al desarrollo de productos más eficaces y predecibles.

# Referencias:

1. 'A Study of the Fluid-dynamics of Aluminum Depth Filtration in Ceramic Foam Filters', Francisco Andrés Acosta González, Tesis de Doctorado en Ciencias en Ingeniería Metalúrgica, Cinvestav-Unidad Saltillo, México, (1999).
2. 'Microstructure and Properties Characterization of a New Ceramic Filter – CEFILPB', (ISSN: 0261-3069), J.M. Almanza R., A.H. Castillejos E., F.A. Acosta G., and A. Flores V., Materials & Design, Vol. 15, (1994), pp. 135-140.
3. 'Metal Filtration with a New Ceramic Porous Medium – CEFILPB', (ISBN: 0-87339-146-2), A.H. Castillejos, F.A. Acosta G., y J.M. Almanza R., Light Metals 1992 - TMS-AIME Annual Symposium, San Diego, U.S.A., Marzo 1-5, (1992), pp.1113-1122.
4. 'Procedimiento para la fabricación de un medio cerámico poroso mediante la utilización de un lecho empacado perdido', A.H. Castillejos E., M. Méndez N., F. A. Acosta G., y J. M. Almanza R. Título de Patente Número 9203671. Diciembre (1993), México.
5. 'A Mathematical Model of Aluminum Depth Filtration with Ceramic Foam Filters: Part I. Validation for Short Term Filtration', (ISSN: 1073-5615), F.A. Acosta G. and A.H. Castillejos E., Metallurgical and Materials Transactions 'B', Vol. 31, (2000), pp. 491-502.
6. 'A Mathematical Model of Aluminum Depth Filtration with Ceramic Foam Filters: Part II. Application to Long Term Filtration', (ISSN: 1073-5615), F.A. Acosta G. and A.H. Castillejos E., Metallurgical and Materials Transactions 'B', Vol. 31, (2000), pp. 503-514.
7. 'A Mathematical Model to Study Filtration Efficiency of Ceramic Foam Filters', (ISBN: 0-87-339-424-0), F.A. Acosta G. and A.H. Castillejos E., Fluid Flow Phenomena in Metals Processing - TMS Annual Meeting, San Diego, CAL., U.S.A., February 28 – March 4, (1999), pp. 229-236.
8. 'A Study of the Role of Fluid Velocity and Particle Size on Deep Bed Filtration Behaviour', (ISBN: 0-87339-312-0), F.A. Acosta G., A.H. Castillejos E., E. Ruíz A., M. Méndez N. and J.C. Escobedo B., Light Metals 1996 - TMS-AIME Annual Symposium, Anaheim, CAL., U.S.A., Febrero 4-8, (1996), pp. 823-830.
9. 'Analysis of Liquid Flow Through Ceramic Porous Media Used for Molten Metal Filtration', (ISSN: 0360-2141), F.A. Acosta G., A.H. Castillejos E., J.M. Almanza R. and A. Flores V., Metallurgical Transactions 'B', Vol 26, (1995), pp. 159-171.
10. 'Método y Aparato para la Medición en Línea de la Resistencia al Flujo de Fluidos de Medios Porosos Consolidados', A.H. Castillejos E. and F. A. Acosta G., Título de Patente Número 270597. Fecha de Expedición 5/Oct/ (2009), México.

# Fabricación de aleaciones a partir del reciclaje de latas para bebidas



**Dr. Alfredo Flores Valdés**

## **Acerca del Autor**

Investigador Cinvestav 3C. Línea de investigación: Tratamiento de metales líquidos, procesos de refinación de metales, termodinámica y cinética metalúrgicas.



**Dr. Jesús Torres Torres**

## **Acerca del Autor**

Investigador Cinvestav 3C. Línea de investigación: Ingeniería de Fundición. Cinética y fisicoquímica de procesos a alta temperatura. Tratamientos térmicos.



## **Acerca del Autor**

Ing. Química Metalúrgica egresada de la Universidad de Colima. Actualmente estudiante de Doctorado en Ciencias en Ingeniería Metalúrgica y Cerámica en el Cinvestav.

**Alejandra Aranda Bautista**

## Abstract:

*Actualmente, el reciclaje de aluminio es una necesidad imperativa, dado que la producción de aluminio primario es uno de los procesos más contaminantes. Este procedimiento consiste en reprocesar y fundir componentes fabricados de aluminio y sus aleaciones una vez que han cumplido su función y se convierten en chatarra. El aluminio es un material altamente versátil, ampliamente utilizado en envases, latas de bebidas, construcción, electrónica y otros productos. Las latas de dicho metal, principalmente empleadas como envases para bebidas individuales, registran ventas anuales de millones de unidades.*

*Con el tiempo, su diseño ha evolucionado para reducir costos, mejorar el rendimiento y realizar refinamientos ecológicos que faciliten su recuperación y promuevan el reciclaje. Dado que todas las latas de aluminio son reciclables, es crucial generar conciencia social sobre este tema. En México, el elemento ha sido reciclado desde hace 25 años y hoy en día, el reciclaje de latas de aluminio ha crecido hasta convertirse en toda una industria.*

El reciclaje de latas de aluminio es una práctica ampliamente extendida que ha ganado relevancia en los últimos años, debido a su impacto positivo tanto en el medio ambiente como en la economía del país. Según datos del Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), se consumen en promedio 5 millones 400 mil latas, lo que equivale a 240 toneladas. Esto refleja que cada persona desecha aproximadamente 13 kilos de latas de aluminio al año, es decir, unas 180 latas. Si cada individuo reciclara 10 latas de aluminio, se ahorrarían anualmente 150 millones de pesos en materias primas.

El reciclaje de latas de dicho metal permite un ahorro del 95% de la energía necesaria para producir aluminio primario. Además, reciclar 1 kg de aluminio ahorra 8 kg de bauxita, 4 kg de productos químicos y 14 kW de electricidad.



A nivel mundial, el consumo de latas es extremadamente alto y hoy en día, el reciclaje de latas de aluminio se ha convertido en una industria que genera una gran cantidad de empleos. Además, se ha logrado reducir significativamente el consumo energético en la producción de diversos materiales. Esto conlleva beneficios no solo a nivel nacional, sino también a nivel global, debido al impacto positivo en los aspectos ambientales relacionados con la generación de energía. Las aleaciones de dicho metal, fabricadas a partir de materiales reciclados, son cruciales tanto desde una perspectiva ambiental como económica. Por esta razón, se está poniendo mayor énfasis en satisfacer los requisitos específicos de aplicaciones industriales y en obtener las propiedades mecánicas y físicas deseables.

### **Aleaciones de aluminio a partir de la fusión de latas de bebidas**

En el Cinvestav-IPN, Unidad Saltillo, uno de los temas de investigación destacados es la producción de aleaciones base aluminio a partir del reciclaje de latas de bebidas. Este proceso comienza con la recolección de las latas, ya sea a través de programas formales de reciclaje o mediante la recolección informal. Las latas son transportadas a plantas de reciclaje, donde se separan de otros materiales y se someten a un proceso de limpieza para eliminar cualquier contaminante. Posteriormente, las latas se funden y el aluminio resultante se utiliza para fabricar nuevos productos. Alternativamente, se emplea el metal líquido como material base, ajustando su composición química mediante la adición de elementos aleantes, con el objetivo de obtener aleaciones con propiedades mecánicas adecuadas para su aplicación en diversas industrias.

Una lata de aluminio está compuesta por tres aleaciones, la parte superior está fabricada por una aleación



A5082, el cuerpo corresponde a la aleación A3004 y el sello a la aleación A5082.

Al fundir las latas de aluminio

estas tres aleaciones son mezcladas obteniéndose una aleación fuera de norma, por lo que se requiere de un ajuste de composición de elementos aleantes para obtener una aleación dentro de una las series establecidas. La composición química de esta mezcla se muestra en la Tabla 1.

Elemento	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Traza	Al
% e. p.	0.28	0.62	0.17	0.85	1.15	0.16	0.06	Resto

Tabla 1. Composición química de la aleación base.

En la aleación base se ajusta el contenido elementos aleantes como Zn y Mg, para la elaboración de aleaciones que corresponde a la serie 7xxx (sus principales elementos aleantes son Zn y Mg). Las proporciones exactas de los elementos de aleación pueden variar según la especificación y las aplicaciones previstas. Además, diferentes aleantes de la serie 7xxx pueden tener ligeras diferencias en la composición, pero en general, el zinc y el magnesio son los principales constituyentes de estas aleaciones.

La composición química de la aleación obtenida a partir del reciclaje de latas para bebidas y después del ajuste de Zn y Mg se muestra en la Tabla 2. Por otro lado, en la Tabla 3 se muestra la composición química de la aleación 7005 comercial, la cual es muy similar a la composición obtenida utilizando el reciclaje de latas para bebidas.

Elemento	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Traza	Al
% e. p.	0.23	0.70	0.14	0.66	1.89	5.17	0.02	Resto

Tabla 2. Composición química de la aleación secundaria.

Elemento	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Al
<b>Min.</b>	-	-	-	0.20	1.0	4.0	Resto
<b>Máx.</b>	0.35	0.40	0.10	0.7	1.8	5.0	Resto

Tabla 3. Composición química de la aleación 7005 (Smiths, 2020).

A la aleación obtenida del proceso de reciclaje se le aplica un tratamiento térmico T6. Se realizan ensayos de tensión para determinar el valor del UTS (Ultimate Tensile Strength), el cual se compara con las aleaciones comerciales. Se obtuvo un valor de UTS de 362 MPa, que se compara con el de la aleación comercial 7005, la cual tiene un UTS de 395 MPa. Estos resultados indican que los valores de UTS de ambas aleaciones son muy similares, lo que sugiere que, mediante el reciclaje de latas de bebidas y el ajuste de su composición, es posible producir aleaciones con un comportamiento comparable al de las aleaciones comerciales.

La reciclabilidad infinita es una de las muchas razones por las que el aluminio es esencial para el desarrollo de una sociedad más sostenible. Aunque el aluminio ya es uno de los materiales más reciclados del mundo, gran parte de este valioso recurso aún se desecha. Aumentar las tasas de reciclaje requiere políticas gubernamentales de apoyo y el desarrollo de la infraestructura necesaria.

## Referencias:

- National Geographic España. (2024, 23 mayo). National Geographic. <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2024/05/dia-mundial-del-reciclaje-los-2-materiales-que-no-sabias-que-se-pueden-reciclar-en-su-totalidad>
- García, G. (2023, 20 diciembre). Reciclar el 100% para 2050, la meta de la industria del aluminio. THE FOOD TECH - Medio de Noticias Líder En la Industria de Alimentos y Bebidas. <https://thefoodtech.com/insumos-para-empaque/reciclar-el-100-para-2050-la-meta-de-la-industria-del-aluminio/>
- Avanmex Comercio, Soluciones e Innovación en Tecnología Avanzada, S.A. de C.V. (2023, 24 abril). Industria del aluminio crecerá 18% en 2023: Can alum. Mining México. <https://miningmexico.com/industria-del-aluminio-crecera-18-en-2023-canalum/>
- Reciclaje de aluminio. (s. f.). [https://www.hydro.com/es-MX/aluminium/sobre-el-aluminio/reciclaje-de-aluminio/?gad\\_source=1&gclid=Cj0K-CQjw6auyBhDzARIsALIo6v-vMhYdDd2g3d9dPdy5QrFuQHGF5Op-C0ixxOhrNOoVVDh5PbhSHAaAjvAEALw\\_wcB](https://www.hydro.com/es-MX/aluminium/sobre-el-aluminio/reciclaje-de-aluminio/?gad_source=1&gclid=Cj0K-CQjw6auyBhDzARIsALIo6v-vMhYdDd2g3d9dPdy5QrFuQHGF5Op-C0ixxOhrNOoVVDh5PbhSHAaAjvAEALw_wcB)

# Incorporación de **escorias** resultantes de la **fundición** de **aluminio** a cementos



**Jesús López  
Salas**

## **Acerca del Autor**

Estudiante de doctorado en ciencias en ingeniería metalúrgica y cerámica, Cinvestav - Unidad Saltillo.

Maestro en ciencias en sustentabilidad de los recursos naturales y energía.

Área de investigación de desarrollo de cementos sustentables aprovechando con materiales de desechos naturales, industriales y domésticos.

[jesus.lopez.s@cinvestav.edu.mx](mailto:jesus.lopez.s@cinvestav.edu.mx)

## Abstract:

*La industria del aluminio genera aproximadamente 11 millones de toneladas de escorias como subproducto de sus procesos de fundición, lo que presenta desafíos significativos en cuanto a su gestión y disposición debido a su potencial impacto ambiental. Sin embargo, estas escorias, compuestas principalmente de óxidos de aluminio, silicio y calcio, están siendo investigadas por su posible reutilización en la producción de cemento, un material esencial en la construcción que contribuye significativamente a las emisiones globales de CO<sub>2</sub>. El cemento Portland, producido a altas temperaturas a partir de roca caliza, es responsable de un 8-10% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>, principalmente debido a la descarbonatación de la caliza. La incorporación de escorias de aluminio podría ofrecer una alternativa para reducir estas emisiones mediante la sustitución parcial del cemento. Las escorias pueden actuar como materiales puzolánicos o hidráulicos, reaccionando con el agua y el hidróxido de calcio para formar compuestos cementantes que mejoran las propiedades mecánicas del cemento. Además, se están explorando métodos como la activación alcalina de escorias, que utiliza soluciones alcalinas para mejorar sus características reactivas y la creación de cementos híbridos que combinan escorias con otros materiales. Los estudios han demostrado que la adición de escorias de aluminio puede resultar en cementos con resistencias mecánicas competitivas y menores emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con el cemento Portland convencional. En resumen, la incorporación de escorias de aluminio en cementos representa una solución sostenible con beneficios tanto para el medio ambiente como para la economía.*

La industria del aluminio genera aproximadamente 11 millones de toneladas de escorias como subproducto de sus procesos de fundición [1, 2]. Estos residuos están compuestos principalmente por óxidos de aluminio y en menor medida, por óxidos de silicio y calcio. La gestión segura de estas escorias representa un desafío significativo para las empresas, que deben evitar su impacto ambiental. Sin embargo, la comunidad científica está investigando usos valio-

sos para estos materiales, con el objetivo de reducir su disposición y aprovechar sus propiedades.

Una de las aplicaciones más prometedoras para estas escorias es en la producción de cemento, un material clave en la construcción. El cemento es esencial para unir la arena y los agregados gruesos en el concreto. Aunque el concreto de cemento Portland (**CP**) es el material de construcción con menores emisiones de CO<sub>2</sub> y demanda energética en comparación con otros como el acero, la madera o los plásticos [3], su producción genera entre el 8% y el 10% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> [4]. En las zonas urbanas, el entorno inmediato de cualquier persona está rodeado por concreto. La construcción de viviendas, infraestructura para almacenamiento de agua, saneamiento y transporte de alimentos hace que este material sea indispensable y de alto volumen de uso.

El cemento Portland se produce a partir de roca caliza en un horno rotatorio a 1450 °C [4]. Actualmente, no existen fuentes de energía alternativas que puedan satisfacer las demandas energéticas de este proceso de manera tan eficiente como lo hacen los combustibles fósiles. Además, el 80% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la producción del CP se atribuyen a la descarbonatación de la roca caliza (CaCO<sub>3</sub>), proceso en el cual el CO<sub>2</sub> se libera a la atmósfera y el CaO resultante se utiliza en la producción del Clinker del cemento. Tampoco se disponen de fuentes alternativas de calcio que puedan reducir este impacto ambiental. No obstante, existen otras vías para disminuir los impactos ambientales asociados a la producción de CP. Una de las alternativas más prometedoras son los cementos sustituidos, en los que se incorpora una fracción de materiales de desecho naturales, domésticos o industriales para reducir la cantidad de cemento utilizado [5, 6].

Cuando se agrega agua al CP, se produce una reacción de hidratación en la que inicialmente se forma una pasta que comienza a fraguar y endurecer. El producto final de esta reacción es el silicato de calcio hidratado (C-S-H), responsable de las propiedades mecánicas de la mayoría de los cementos. Algunas

escorias poseen características hidráulicas, lo que significa que los compuestos de CaO y Si-O presentes en ellas pueden reaccionar con agua para formar C-S-H. Otras escorias tienen actividad puzolánica, es decir, la capacidad de los compuestos de Si-O y Al-O en las escorias para reaccionar con Ca(OH)<sub>2</sub> (un subproducto de la reacción de hidratación del CP), y formar silicatos de calcio hidratado que contienen aluminio (C-A-S-H). Estos compuestos cementosos también son responsables de las propiedades mecánicas y en algunos casos, pueden incluso mejorarlas en comparación con el CP convencional.

Otra ruta común para aprovechar las escorias es la activación alcalina; este proceso requiere una solución alcalina, generalmente utilizando silicato de sodio (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) como activador, lo que genera un ambiente altamente alcalino en la pasta cementosa de la escoria molida. Las condiciones alcalinas (pH > 12) son capaces de romper los enlaces Al-O-Si dentro de la escoria, permitiendo la precipitación de productos de reacción del tipo aluminosilicato de sodio hidratado (N-A-S-H) [7]. Se han reportado grandes mejoras en las propiedades mecánicas, térmicas y de durabilidad en los compuestos cementosos del tipo N-A-S-H.

Una de las rutas más recientes son los cementos híbridos, que combinan las propiedades de la actividad puzolánica de los materiales sustituidos en el CP con el uso de compuestos alcalinos para la activación química de distintos materiales, como cenizas volantes, escorias de alto horno, arcillas y materiales volcánicos. Estos cementos híbridos han demostrado poseer buenas propiedades mecánicas y generar menores emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con el CP ordinario [8].

En la figura se presentan varios cementos con diferentes porcentajes de escorias de aluminio. El cemento 1 proviene de un estudio que incorpora un 10% de polvo de escoria de aluminio en concreto de cemento Portland, alcanzando una resistencia de 46 MPa, mientras que el cemento 2, utilizado como referencia

en el mismo estudio, emplea 100% CP y alcanza una resistencia de 50.5 MPa [9].

El cemento 3 incorpora un 20% de escorias de aluminio en concreto, obteniendo una resistencia de 37 MPa y el cemento 4, de referencia en el mismo estudio con 100% CP, presenta una resistencia de 51 MPa. En estos casos, el tiempo inicial de fraguado del concreto con escorias de aluminio se retrasa, mientras que el tiempo final de fraguado se acelera, haciéndolo adecuado para condiciones climáticas cálidas. Además, la incorporación de aire en el concreto provoca una expansión a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo con escorias de aluminio, lo que resulta útil en la producción de subpisos de edificios, losas de pavimento prefabricadas, paneles prefabricados y bloques [10].

El cemento 5 es de tipo alcalino e incorpora un 10% de escorias secundarias de aluminio, 45% de cenizas volantes de incineración de residuos sólidos municipales y 45% de escoria de fósforo, activado con silicato de sodio. Este cemento muestra una resistencia de 12 MPa a los 28 días [11].

El cemento 6 incorpora un 75% de escorias secundarias de aluminio y un 25% de escoria granulada de alto horno (GBFS), activado con un 20% de silicato de sodio y 9 g de NaOH en morteros, logrando una resistencia de 15 MPa a los 28 días. Las mezclas que contienen escorias de aluminio y lodo rojo como únicos aglutinantes mostraron un rendimiento deficiente, registrando valores más bajos de velocidad de pulso ultrasónico (UPV), un indicador indirecto de la porosidad [12].

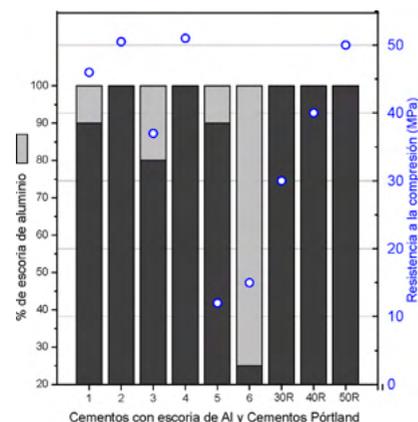


Figura 1

Es notable que todos estos cementos presentan resistencias entre 10 y 46 MPa, lo que los hace útiles para diversas aplicaciones en la construcción. Los cementos Portland convencionales 30 a 50 R generan emisiones de CO<sub>2</sub> de 0.5 g a 0.89 g por cada kg de cemento. Una vía inexplorada son los cementos híbridos, alcalinos, mejorados con caliza o super-sulfatados, que podrían aumentar la resistencia al incorporar escorias en el cemento Portland, como ya han demostrado estudios realizados en el Laboratorio de Cementos y Medio Ambiente (LACyMA) de Cinvestav Saltillo.

Incorporar escorias de aluminio en los cementos también ofrece beneficios ambientales y económicos. Este enfoque valoriza un residuo industrial, evitando su disposición en vertederos y reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la producción de cemento. Al ser un subproducto, las escorias tendrían un coste significativamente menor que las materias primas tradicionales, lo que resultaría en ahorros económicos para las cementeras.

Es necesario continuar optimizando las composiciones y las técnicas de procesamiento de escorias para su uso en cementantes. El empleo de escorias de aluminio en la industria cementera tiene un gran potencial para mejorar la sostenibilidad del sector de la construcción.

## Referencias:

- [1] S. Wilson, Residues from aluminium dross recycling in cement. (2007).
- [2] Y. Liu, B.S. Leong, Z.-T. Hu, E.-H.J.C. Yang, B. Materials, Autoclaved aerated concrete incorporating waste aluminium dust as foaming agent. 148 (2017) 140-147.
- [3] M.F. Ashby, Materials and the environment: eco-informed material choice. 2012: Elsevier.
- [4] L. Barcelo, J. Kline, G. Walenta, E. Gartner, Cement and carbon emissions. Materials and Structures 47 (2014) 1055-1065. 10.1617/s11527-013-0114-5.

- [5] M. Juenger, J.L. Provis, J. Elsen, W. Matthes, R.D. Hooton, J. Duchesne, L. Courard, H. He, F. Michel, R.J.M.O.P.L. Snellings, Supplementary cementitious materials for concrete: characterization needs. 1488 (2012).
- [6] B. Lothenbach, K. Scrivener, R.J.C. Hooton, c. research, Supplementary cementitious materials. 41 (2011) 1244-1256.
- [7] J.L. Provis J.S. Van Deventer, Alkali activated materials: state-of-the-art report, RILEM TC 224-AAM. Vol. 13. 2013: Springer Science & Business Media.
- [8] J. Lopez-Salas J.I. Escalante-Garcia, Hybrid binders based on volcanic pumice: Effect of the chemical composition on strength and microstructures. Cement and Concrete Research 176 (2024) 107393. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107393>.
- [9] S. Javali, A.R. Chandrashekar, S.R. Naganna, D.S. Manu, P. Hiremath, H.G. Preethi, N. Vinod Kumar, Eco-concrete for sustainability: utilizing aluminium dross and iron slag as partial replacement materials. Clean Technologies and Environmental Policy 19 (2017) 2291-2304. 10.1007/s10098-017-1419-9.
- [10] B.J. Panditharadhya, R.H. Mulangi, A.U. Ravi Shankar, Mechanical properties of pavement quality concrete with aluminium industry waste as a binder. Materials Today: Proceedings (2023). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.066>.
- [11] A. Sai, W. Baomin, C. Wenxiu, The cementitious properties of alkali-activated municipal solid waste incineration fly ash-phosphorus slag-secondary aluminium dross matrix composites and the mechanism of solidification of heavy metals. Construction and Building Materials 438 (2024) 137254. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137254>.
- [12] V.R. Chate, N. Palankar, B. Mithun, B. Soumyashree, A. Sreesatya. Investigations on performance of alkali activated mortar mixes containing red mud and aluminium dross. in AIP Conference Proceedings. 2023. AIP Publishing.



riisa



# NUESTRO COMPROMISO CON EL MUNDO ES EL RECICLAJE

37 AÑOS SIENDO EXPERTOS EN EL RECICLAJE  
DE MATERIALES DE DIFÍCIL RECUPERACIÓN

metales ferrosos · metales no ferrosos · plástico · cartón

Nuevo León · Guanajuato · Sinaloa · Hidalgo

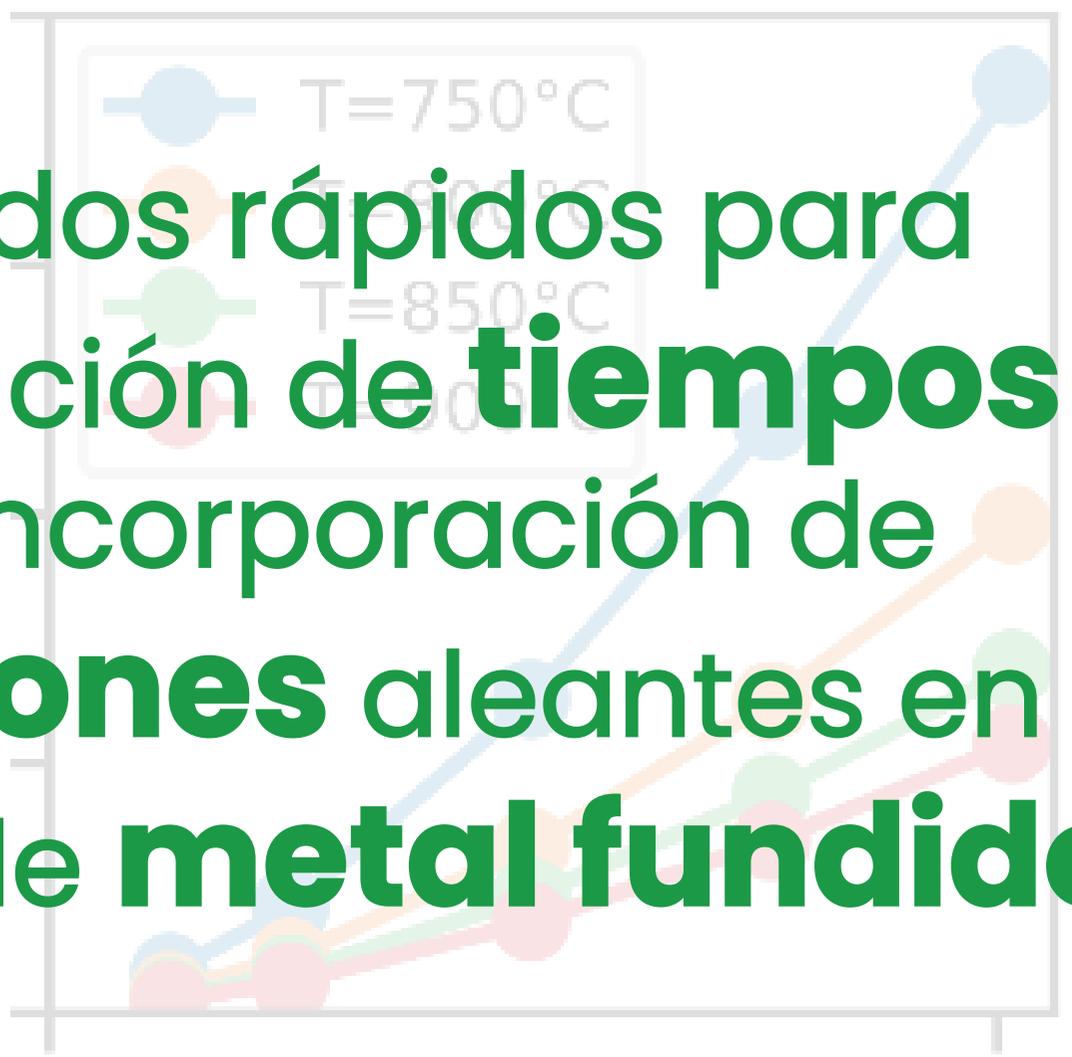


@riisamx

(52) 81 8154 1900

www.riisa.mx

# Métodos rápidos para estimación de tiempos de incorporación de adiciones aleantes en baños de metal fundido



**Dr. Edgar Ivan  
Castro Cedeño**

## Acerca del Autor

Doctor en Ciencia de Materiales por la Universidad de Lorraine, en Francia. Ocho años de experiencia en la industria de inyección de alambre encapsulado para el ajuste de composición química y tratamiento de metales fundidos. Actualmente es investigador de tiempo completo en el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del IPN (Cinvestav), Unidad Saltillo.

## Abstract:

*Este estudio presenta un método ágil para estimar los tiempos de incorporación de adiciones aleantes en baños de metal fundido, utilizando modelos físicos simplificados. Se incluyen dos ejemplos prácticos aplicando el modelo a baños de aluminio fundido, enfocándose en casos de adiciones para ajustar el contenido de silicio en dicho proceso.*

La incorporación de adiciones se define físicamente como un proceso de transferencia de masa entre el aditivo y el baño de metal fundido. Según el mecanismo subyacente, la incorporación puede clasificarse en tres grupos [1]:

### 1. Grupo I

La incorporación está regida por la transferencia de calor. Esto ocurre cuando el punto de fusión del aditivo es menor que la temperatura del baño, lo que permite que el aditivo se derrita e integre en el metal.

### 2. Grupo II

La incorporación está regida por la difusión de especies químicas. En este caso, el punto de fusión del aditivo es mayor que la temperatura del baño, por lo que se disuelve y se incorpora.

### 3. Grupo III

La incorporación se ve acelerada por reacciones exotérmicas, facilitando la disolución del aditivo debido a la formación de compuestos intermetálicos.

La característica en común que comparten los tres grupos de adiciones mencionados anteriormente es que, durante un periodo de tiempo, inmediatamente después de la inmersión de la adición en el baño se solidifica y se refunde alrededor de la adición una costra de metal del baño [1]. Esto se debe a la diferencia entre el calor que llega por convección a la interfase baño/adición, y el calor que calienta a la adición al ser disipado al interior de la misma. Posteriormente, la adición está en contacto directo con el baño de metal fundido, y dependiendo del grupo al que pertenezca

(I, II o III), es incorporada por alguno de los mecanismos mencionados arriba.

Al periodo de tiempo en el que existe una costra alrededor de la adición se le denomina periodo de costra (en inglés, shell period), y al periodo de tiempo que la adición está en contacto directo con el baño de metal fundido se le denomina periodo de disolución libre (en inglés, free-dissolution period) [1]. La suma de estos dos periodos constituye el tiempo de incorporación de la adición [1]. Este trabajo presenta una demostración de un método rápido para estimar ordenes de magnitud de los tiempos de incorporación de distintas adiciones en baños de aluminio fundido, utilizando modelos físicos simplificados.

## DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El modelo que aquí se presenta, y que está basado en el trabajo de Seshadri y Cols. [2], resuelve de forma explícita una serie de ecuaciones, que representan de forma simplificada la física del proceso de incorporación de una adición esférica en un baño de metal fundido. Las ecuaciones del modelo están escritas en términos del radio adimensional de la adición,  $S$ .

### Periodo de costra ( $S > 1$ )

Para el periodo de costra, el modelo considera que:

- 1) La temperatura de la partícula ( $T_P$ ) durante el calentamiento es homogénea.
- 2) El perfil de temperatura en la costra corresponde al de régimen estacionario y la temperatura en la interfase costra/baño es la temperatura equivalente a la de la fusión del baño ( $T_S$ ).
- 3) La capa límite entre la adición y el baño a temperatura ( $T_B$ ) es extremadamente delgada respecto a la curvatura de la adición, por lo que es tratada como si estuviese frente a una placa plana.

El cambio de posición de la interfase durante el periodo de costra (Ecuación 1) es función del flujo de calor por convección que llega del baño a la partícula (Ecuación 2) y el flujo de calor disipado al interior de la partícula (Ecuación 3).

$$\frac{dS}{dt} = \frac{F_{conv} - F_{diff}}{4 r_0^3 s^2 \rho_B H_{lat,B}} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$F_{conv} = -4 (s r_0)^2 h (T_B - T_S) \quad \text{Ecuación 2}$$

$$F_{diff} = -4 \frac{(s r_0)}{s-1} \kappa_B (T_S - T_P) \quad \text{Ecuación 3}$$

En cada paso de tiempo se calcula la tasa de calentamiento de la partícula (Ecuación 4) y su temperatura (Ecuación 5), considerando que esta se calienta de forma homogénea.

$$\frac{dH}{dt} = \frac{-F_{diff}}{\frac{4}{3} r_0^3 \rho_P} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$H_P = C_{P,P} T + g_l H_{lat,P} \quad \text{Ecuación 5}$$

### Periodo de disolución libre ( $S \leq 1$ )

En el periodo de disolución libre se consideran distintos escenarios dependiendo si la adición pertenece al Grupo I o al Grupo II.

Para adiciones pertenecientes al Grupo I (punto de fusión de la adición es inferior a la temperatura del baño), se considera que la adición se calienta hasta alcanzar su punto de fusión usando la ley de Newton, y posteriormente se calcula el cambio de posición de la interfase (Ecuación 6), que está regido por un proceso de transferencia del calor (necesario para superar el calor latente de transformación del material de la partícula), y cuya fuerza motriz es un gradiente de temperatura en la capa límite.

$$\frac{dS}{dt} = \frac{-h}{(s r_0) C_{P,B} \rho_B} \ln \left( 1 + \frac{\rho_B C_{P,B} (T_B - T_P)}{\rho_P H_{lat,P}} \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

Para adiciones pertenecientes al Grupo II (punto de fusión de la adición es superior a la temperatura del baño), se considera que la adición se calienta hasta

alcanzar la temperatura del baño usando la ley de Newton, y posteriormente se calcula el cambio de posición de la interfase (Ecuación 7), que está regido por la difusión de especies químicas y cuya fuerza motriz es un gradiente de composición en la capa límite. La composición en equilibrio en la interfase,  $W_i^*$ , es función de la temperatura del baño, y se obtiene a partir de un diagrama de fases.

$$\frac{dS}{dt} = \frac{-k_c}{(s r)} \frac{\rho_B}{\rho_P} (W_i^* - W_{i,B}) \quad \text{Ecuación 7}$$

### CASO DE APLICACIÓN

Para ilustrar la aplicación del modelo, se consideran dos casos de incorporación de adiciones acotados dentro del sistema *Al-Si*, cuyo diagrama de fases se muestra en la Figura 2, y que fue calculado con el software termodinámico OpenCalphad [3] utilizando la base termodinámica COST507 [4].

El primer caso (Figuras 2a y 3a) es una adición del Grupo I (punto de fusión de la adición menor a la temperatura del baño), y corresponde a una aleación maestra *Al-20%Si*, con temperatura de fusión de 710°C. El segundo caso (Figuras 2b y 3b) es una adición del Grupo II (punto de fusión de la adición mayor a la temperatura del baño), y corresponde al silicio puro, con temperatura de fusión de 1414°C.

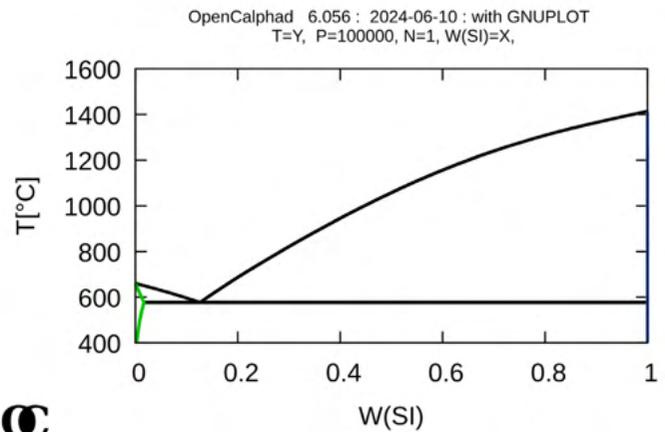


Figura 1. Diagrama binario Aluminio-Silicio. El eje vertical indica la temperatura en °C, y el horizontal la fracción másica de silicio.

En la Figura 2 se observan, para una adición del Grupo I y otra del Grupo II, la evolución de la posición de la interfase entre la adición y el baño (en negro), y de la temperatura (en verde) estimados por el modelo. Se considera para ambos casos una partícula de 2.5 cm de diámetro en un baño a 900°C. Nótese las diferencias en las duraciones relativas del periodo de costra ( $S > 1$ ) y el periodo de asimilación libre ( $S \leq 1$ ), y en la duración total del tiempo de incorporación de la adición. Naturalmente, los procesos gobernados por transferencia de calor (Grupo I) son de menor duración que aquellos gobernados por difusión de especies químicas (Grupo II). También nótese que, según las hipótesis consideradas en la construcción del modelo, durante el periodo de disolución libre, la adición del Grupo I está a la temperatura de fusión de la adición, y la adición del Grupo II está a la temperatura del baño.

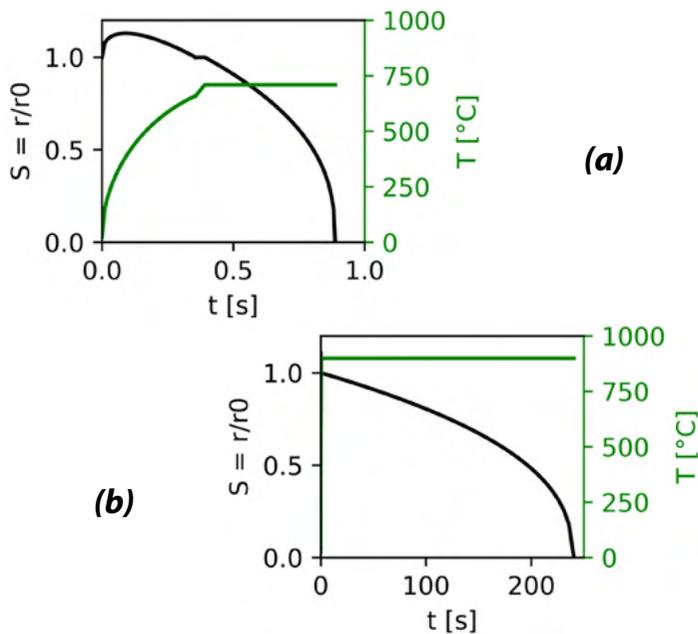


Figura 2. Perfil de posición adimensional de la interfase y de la temperatura de la adición para, (a) adición del Grupo I (Al-20%Si), (b) adición del Grupo II (Si puro), en un baño a 900°C, y con diámetro inicial de 2.5 cm.

En la Figura 3 se presentan los resultados de un estudio paramétrico en los que se explora, para una adición del Grupo I y para una del Grupo II, el efecto del tamaño inicial de la adición y la temperatura del baño sobre el tiempo de incorporación de la misma en un baño de aluminio fundido.

Se observa que la relación con el tamaño de partícula es directamente proporcional, y la relación con la temperatura del baño es inversamente proporcional. En el caso de la adición del Grupo I, un aumento de temperatura del baño,  $T_B$ , supone un incremento de la fuerza motriz para un proceso regido por transferencia de calor (Ecuación 6), por lo que la adición se derrite más rápidamente.

En el caso de la adición del Grupo II, un aumento de la temperatura del baño supone un incremento de la fuerza motriz para un proceso regido por difusión de especies químicas (Ecuación 7), por lo que la adición se disuelve más rápidamente. Para cada temperatura del baño,  $T_B$ , la composición en equilibrio en la interfase,  $W_i^*$  está dada por la curva de liquidus del sistema Al-Si, en el segmento que va del punto eutéctico hasta el punto de fusión del Si puro (Figura 1).

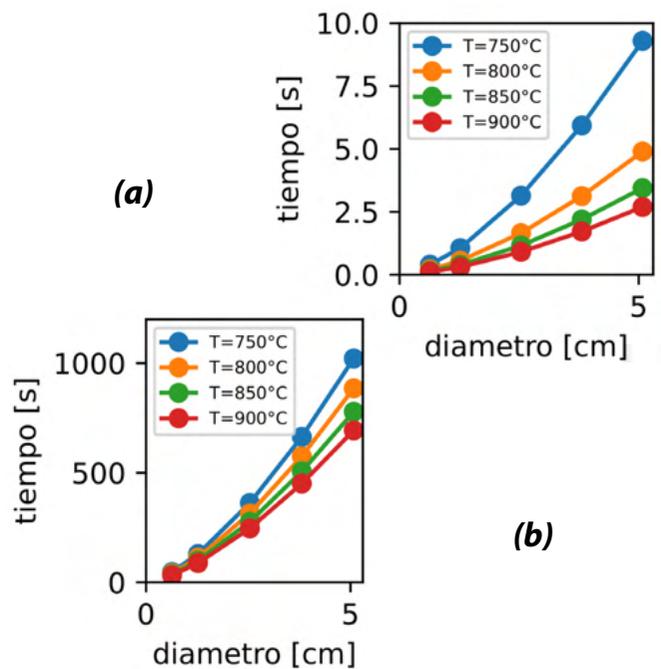


Figura 3. Estimación de tiempos de incorporación para, (a) adición del Grupo I (Al-20%Si), (b) adición del Grupo II (Si puro), a distintas temperaturas de baño y distintos tamaños de partícula.

## CONCLUSIONES

Este estudio presenta un método rápido para estimar los tiempos de incorporación de adiciones aleantes en baños de metal fundido, utilizando modelos físi-

cos simplificados. Los modelos consideran adiciones del Grupo I (donde la temperatura de fusión de la adición es menor que la temperatura del baño) y del Grupo II (donde la temperatura de fusión de la adición es mayor que la temperatura del baño). En su estado actual, estos modelos no pueden representar la incorporación de adiciones del Grupo III (disolución acelerada por reacciones exotérmicas debido a la formación de compuestos intermetálicos).

Se presentan dos ejemplos de aplicación del modelo, centrados en adiciones que contienen silicio en baños de aluminio fundido. Para el caso del Grupo I, se considera la adición de una aleación maestra *Al-20%Si*, mientras que para el Grupo II se utiliza *Si puro*. Así mismo, se destaca la ventaja del uso de aleaciones maestras en términos de velocidad de disolución, siempre que el contenido de elementos residuales en la aleación sea compatible con los requisitos de calidad del grado de aluminio a producir.

## NOMENCLATURA

$C_p$ : calor específico [ $J.kg^{-1}.K^{-1}$ ]

$F_{conv}$ : flujo de calor por convección [W]

$F_{diff}$ : flujo de calor disipado al interior de la partícula [W]

$g_l$ : fracción líquida [-]

$H$ : entalpía [ $J.kg^{-1}$ ]

$H_{lat}$ : calor latente de solidificación [ $J.kg^{-1}$ ]

$h$ : coeficiente de transferencia de calor [ $W.m^{-2}.K^{-1}$ ]

$k_c$ : coeficiente de transferencia de masa [ $m.s^{-1}$ ]

$r_0$ : radio inicial de la adición [m].

$S = r/r_0$ : posición adimensional de la interfase [-]

$T$ : temperatura [K]

$t$ : tiempo [s]

$W_i^*$ : fracción másica de especie química  $i$  en la interfase [-]

$W_{i,B}$ : fracción másica de especie química  $i$  en el baño [-]

$K$ : conductividad térmica [ $W.m^{-1}.K^{-1}$ ]

$\rho$ : densidad del material [ $kg.m^{-3}$ ]

## Subíndices:

$B$ : baño

$P$ : partícula

$S$ : interfase

## Referencias:

[1] Argyropoulos S. A. y Li Z. (2014). Kinetics of Assimilation of Additions in Liquid Metals. En: Seetharaman S. (Ed), Treatise on Process Metallurgy Vol. 2: Process Phenomena (pp. 359 – 426). Elsevier.

[2] Seshadri V., Parreiras Tavares R., Antonio da Silva C. y Alves da Silva I. (2011). Some Applications in Process Modeling. En: Transport phenomena: fundamentals and applications in Metallurgical and materials Engineering (pp. 766 – 792). ABM.

[3] Sundman B., Kattner U. R., Palumbo M., Fries S. G. (2015). OpenCalphad – a free thermodynamic software. Integrating Materials and Manufacturing Innovation. Vol 4, pp. 1 – 15.

[4] Ansara I., Dinsdale A. T., Rand M. H. (1998). COST 507 Thermochemical database for light metal alloys Vol. 2. EUR 18499 EN. European Commission.

# Recubrimientos base escorias de aluminio resistentes a la corrosión por aluminio líquido



**Irving Carlos  
Carreón Mendoza**

## **Acerca del Autor**

Ingeniero en materiales egresado del Instituto Tecnológico de Morelia, actualmente estudiante de Doctorado en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, desarrollando temas de investigación relacionados con métodos de aplicación para la reutilización de escorias de aluminio, obteniendo compuestos de óxidos utilizados como recubrimientos cerámicos para mejorar el periodo de vida útil de los refractarios utilizados en las industrias de fundición de aluminio.

## Abstract:

En México y en el mundo las escorias de aluminio representan una gran cantidad de desperdicio por parte de las empresas de fundición, llegando al grado de convertirse en un problema de almacenaje lo cual representa costos adicionales para las industrias. Sin embargo, es posible el diseño de una metodología para recuperar y aprovechar elementos presentes en las escorias de aluminio, así como separar y reducir algunos elementos considerados como impurezas como lo son hierro, sodio, potasio, calcio, etc.

## Introducción

La mayoría de las empresas de fundición de aluminio utilizan aluminio secundario en sus procesos, el cual contiene porcentajes de magnesio y otros elementos que favorecen la degradación del refractario. Por ello, se planteó la aplicación de recubrimientos cerámicos para reducir esta degradación y aumentar el período de vida útil de los refractarios [1, 2].

Se propone purificar escorias de aluminio para reducir elementos como Fe, Na, Cl, K, Ca y N, evitando así que perjudiquen la formación de compuestos y conservando elementos como Al, Mg y Si. A través de cálculos estequiométricos, es posible obtener compuestos utilizados en recubrimientos cerámicos, como la anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) [3]. Este recubrimiento se aplica sobre una pastilla de mullita comercial utilizando la técnica conocida como Dr. Blade [5], con el fin de crear una interfaz entre el sustrato y el recubrimiento. Esto permite realizar pruebas de corrosión con una aleación Al-Mg en contacto con el recubrimiento de anortita. Se infiere que el uso de la anortita como recubrimiento sobre un sustrato de aluminosilicato proporcionará protección contra la corrosión por aleaciones de aluminio. Además, estos recubrimientos son compatibles con el sustrato debido a la reacción interfacial, puesto que el sustrato de mullita contiene sílice libre que es reactiva con estos compuestos, lo cual conlleva a una reacción química [4].

## Procedimiento experimental

Para este estudio, se inició con la purificación de escorias, que fueron trituradas y molidas en un molino con pellets de alúmina durante 4 horas. Una vez molidas, las escorias fueron cribadas hasta obtener polvos con un tamaño de partícula de 45 micras. Posteriormente, se lavaron colocando las escorias en un vaso de precipitados, donde se calentaron en una parrilla eléctrica a  $100^\circ\text{C}$  durante 2 horas. Luego, se volcaron sobre un papel filtro y se realizó el filtrado utilizando una bomba de vacío. Después de secar las escorias a  $70^\circ\text{C}$  durante 24 horas, se conformaron pastillas de 1 cm de diámetro a una presión de 68 MPa y se sinterizaron a  $1400^\circ\text{C}$  durante 4 horas. Finalmente, las escorias fueron molidas y se prepararon para ser analizadas mediante DRX.

La síntesis de los compuestos se llevó a cabo mediante la siguiente metodología, descrita esquemáticamente en la Figura 1: Los polvos de cada composición se colocaron en frascos de plástico, se agregó acetona ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ) y pellets de alúmina, después fueron llevados a los rodillos giratorios para homogeneizar por 2 horas, posteriormente se secaron a  $80^\circ\text{C}$  durante 24 horas. Se conformaron pastillas de 4 cm de diámetro a una presión de conformado de 68.65 MPa y finalmente fueron sinterizadas a una temperatura de  $1400^\circ\text{C}$  durante 4 hrs para obtener ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ). El sustrato se preparó utilizando mullita comercial con exceso de sílice, la cual fue conformada en pastillas de 4 cm de diámetro a 68.65 Mpa y sinterizada a  $1450^\circ\text{C}$  durante 4 horas.

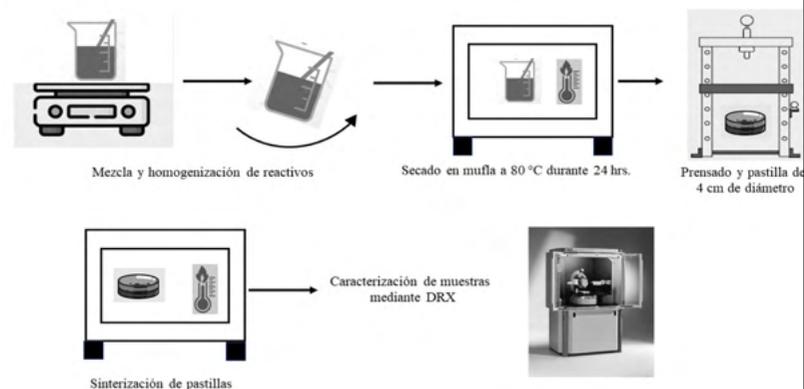


Figura 1. Esquema de la metodología de síntesis de pastillas cerámicas.

Continuando con la aplicación de los recubrimientos, se preparó una suspensión del compuesto de anortita de 60% sólido y 40% líquido (agua), esta suspensión fue mezclada hasta conseguir una pasta cerámica la cual fue aplicada en la superficie de las pastillas de mullita utilizando la técnica Dr. Blade [5], Esta técnica consiste en un dispositivo donde se coloca la pastilla como sustrato, y sobre su superficie se deposita la pasta cerámica del recubrimiento. A continuación, el recubrimiento se aplica mediante una cuchilla que realiza un barrido sobre la superficie, logrando recubrimientos finos con un espesor de 1 mm, como se describe en la siguiente figura 2:

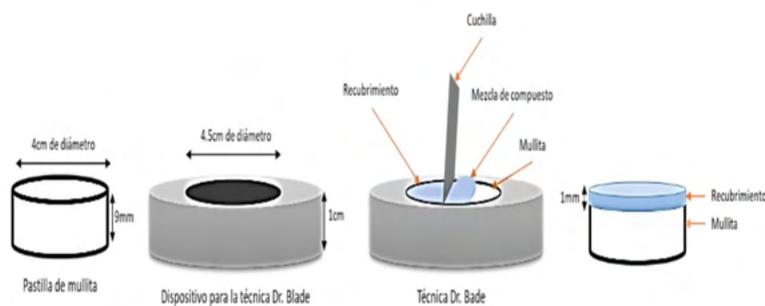


Figura 2. Técnica Dr. Blade para recubrimientos [5].

En la prueba de corrosión las muestras para recubrimientos (anortita  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) fueron fijadas con cemento refractario  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$  en el fondo del crisol, posteriormente se colocaron 400 g de aleación Al-5Mg dentro del crisol, este fue colocado dentro de una mufla la cual se programó a  $1000^\circ\text{C}$  durante 100 horas (Figura 3).

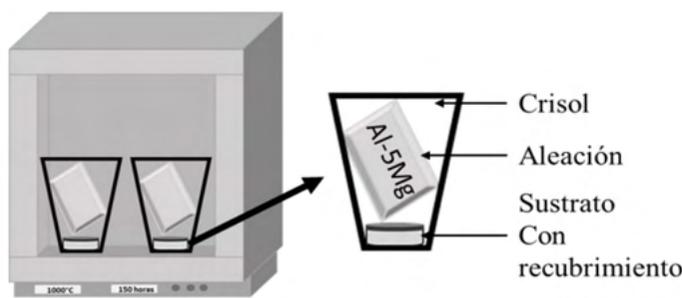


Figura 3. Esquema de la prueba de corrosión.

## Resultados y discusión

A continuación, se presenta el difractograma del compuesto formado a partir de escoria purificada

de aluminio, al ajustar estequiométricamente los porcentajes de los elementos presentes en la escoria purificada ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ,  $\text{SiO}_2$ ), y con la adición de calcio, fue posible la obtención del compuesto anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) (figura 4). En este difractograma se observa que sus principales picos son de anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) y posee picos secundarios menores de gehlenita ( $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ ) y corindón ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

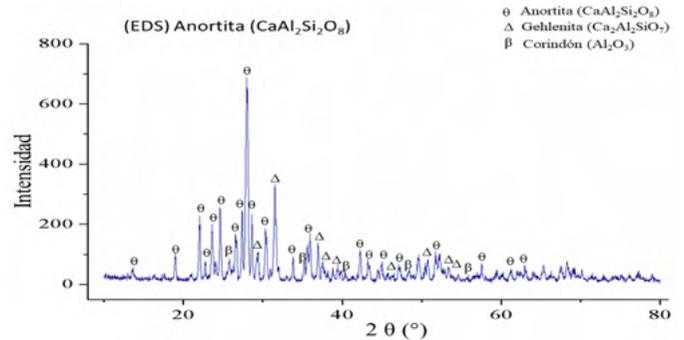


Figura 4. Patrón de difracción para el compuesto anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) obtenido a partir de escoria de aluminio.

A continuación, se presenta el análisis del recubrimiento (anortita  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) base escoria, el cual fue dividido en 3 zonas denominadas Z1 (recubrimiento), Z2 (interfase) y Z3 (sustrato). Esto con la finalidad de confirmar la compatibilidad entre recubrimientos con el sustrato de mullita ( $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ ) y poder observar si existe una unión química mediante la formación de una interfase. En la figura 5, se observa el análisis realizado para el compuesto anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) con prueba de corrosión, el cual fue capaz de resistir las condiciones de la prueba con la aleación preliminar de Al-Mg durante 100 horas a  $1000^\circ\text{C}$  sin presentar degradación alguna.

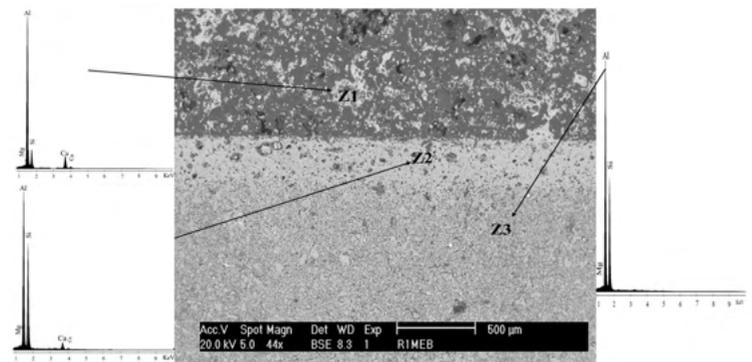


Figura 5. Micrografía por MEB del compuesto anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) con prueba de corrosión.

En Z1 (recubrimiento) se observan los elementos pertenecientes al compuesto anortita, en Z2 (interfase) en la micrografía es posible observar una tonalidad gris claro indicando que ocurrió una unión química, ya que esa zona es la parte superior del sustrato, además, en el análisis en dicha zona se encuentra presente el elemento calcio perteneciente al compuesto del recubrimiento lo cual indica una correcta formación de la interfase.

Finalmente, en Z3 (sustrato) se presentan los elementos aluminio, silicio y magnesio perteneciente al sustrato de mullita ( $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ ), el cual en su parte central su composición se encuentra intacta sin presentar cambios. Por lo tanto, el sustrato se encuentra protegido por las capas de la interfase y recubrimiento por lo que posee una alta resistencia a la corrosión al ser utilizado como recubrimiento en los crisoles para la fundición de aluminio.

## Conclusiones

En conclusión, se logró obtener anortita para recubrimientos a partir de escorias purificadas, con una pureza del 82.50% para el compuesto  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ . Los recubrimientos se adhirieron adecuadamente, evidenciando la formación de una interfaz sustrato-recubrimiento en las micrografías de MEB.

La prueba de corrosión determinó que el compuesto anortita protegió el sustrato de mullita, ya que no se presentó degradación alguna.

## Referencias:

[1] G. Wallace, R. Lumley, "Production of secondary aluminium". en Fundamentals of Aluminium Metallurgy. Australia: Woodhead Publishing, (2011), p.p. 73-80.

[2] E. AdabiFiroozjarei, A. Saidi, A. Monshi, & P. Koshy, Effects of different calcium compounds on the corrosion resistance of andalusite-based low-cement castables in contact with molten Al-alloy. Metallurgical and Materials Transactions B, Vol. [42(2)], (2011), p.p. 400-411.

[3] M.N. Ibarra Castro, J.M. Almanza Robles, D.A. Cortés Hernandez, J.C. Escobedo Bocardo, J. Torres, "The effect of  $\text{SrSO}_4$  and  $\text{BaSO}_4$  on the corrosion and wetting by molten aluminum alloys of mullite ceramics", Ceram. Int. Vol. [36 (4)], (2010), p.p. 1205-1210.

[4] M.N. Ibarra, J.M. Almanza, D.A. Cortés, J.C. Escobedo, M. Pech, R. Martinez "Effect of the addition of alkaline earth sulfates to mullite ceramics on the corrosion and wetting by Al-Mg alloy" J. Eur. Ceram. Soc., Vol. [35], (2015), p.p. 2189-2194.

[5] R. McHenry, "The New Encyclopaedia Britannica", Publisher: Encyclopædia Britannica Inc. Edition: Fifteenth, (1997), p.p. 9-54.

# RESEÑA

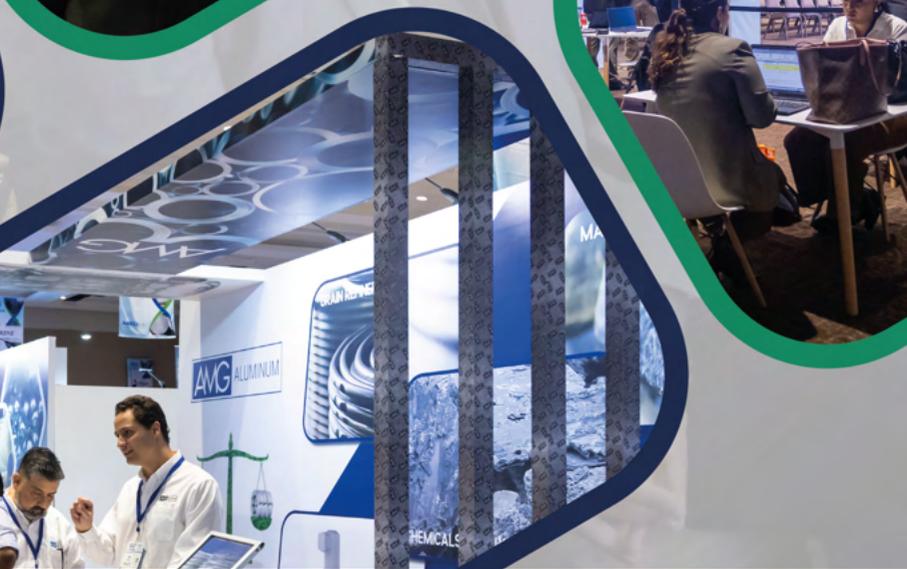


ALUMINIO PARA SIEMPRE

®

# ALUMEXICO

Tu punto de encuentro - SUMMIT & EXPO 2024





ALUMEXICO SUMMIT & EXPO 2024 se consolidó una vez más como el evento de mayor relevancia para la industria del aluminio en México y América Latina.

## Agradecemos a nuestros patrocinadores



Celebrado en el icónico Centro Internacional de Exposiciones CINTERMEX ubicado en Monterrey, del 27 al 29 de agosto, reunió a destacados empresarios, líderes productores, profesionales expertos del sector, técnicos y académicos de la industria del aluminio creando un espacio único para el intercambio de ideas, innovación y desarrollo de negocios.

Con una impresionante asistencia de participantes nacionales e internacionales, ALUMEXICO SUMMIT & EXPO 2024 destacó por su amplia oferta de conferencias magistrales, técnicas y comerciales, donde se abordaron temas clave desde dar un repaso al mercado del aluminio, pasando por los temas económico-políticos e incorporando conceptos como la innovación en procesos de producción, sostenibilidad en la industria del aluminio, el papel del aluminio en la industria automotriz y las nuevas tecnologías aplicadas al sector.

# Reporte de Asistencia



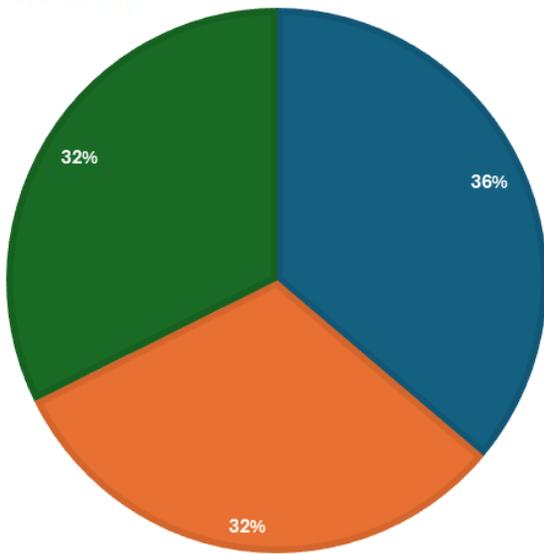
**1,360**  
Asistencia



**677**  
Empresas  
participantes

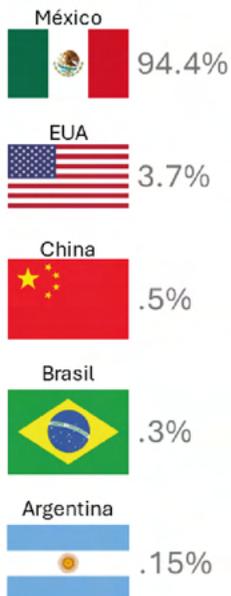


**52**  
Stands



- Raw Material (Chatarra, lingote sin alear, lingote aleado)
- Productos semiterminados (cables, perfiles extruidos, escaleras, latas, tuberías y contenedores, artículos del hogar, construcción)
- Productos terminados (Alambre, cable, papel/foil, extruidos, laminados, Die Casting, polvos y pasta, lámina abre fácil)

## Asistencia país



Además, los expositores presentaron lo último en soluciones, maquinaria y productos, generando un ambiente dinámico de networking que permitió a los asistentes establecer contactos valiosos y explorar nuevas oportunidades de negocio.

## Martes 27 de Agosto

Alrededor de las 7:30 a.m., el programa dio inicio con un caluroso recibimiento del equipo de IMEDAL a nuestros entusiastas asistentes, quienes realizaron su registro en el lobby de nuestro hotel sede, el Grand Fiesta Americana Monterrey.

Cada participante recibió su material de trabajo, cortesía de nuestro patrocinador VIAKABLE, a quien agradecemos profundamente por su confianza y apoyo en esta edición de ALUMEXICO SUMMIT & EXPO 2024.



Con todo listo, comenzamos con la primera actividad del día: la tan esperada y concurrida **visita a las plantas industriales**, donde los asistentes tuvieron la oportunidad de explorar de cerca los avances más innovadores en la industria del aluminio.

## Visitas Industriales

Durante esta edición, nuestros asistentes tuvieron la oportunidad de visitar algunas de las principales empresas de Nuevo León, un estado que lidera la producción de aluminio tanto a nivel nacional como internacional.



Galería  
Visitas industriales

En esta ocasión, contamos con el privilegio de que destacadas compañías como **KIA, CROWN, NEMAK, y CUPRUM** abrieran gustosamente sus puertas a nuestros participantes. Estas empresas confiaron en el prestigio de IMEDAL como organizador y apostaron por la relevancia de **ALUMEXICO SUMMIT & EXPO 2024**.





Las visitas despertaron un gran interés entre los asistentes, quienes respetando rigurosamente las normas y protocolos de seguridad, ocuparon todos los cupos disponibles que cada empresa asignó. Esto les permitió conocer de cerca los procesos y avances tecnológicos de estos importantes industriales, fortaleciendo el vínculo entre los líderes de la industria del aluminio y sus procesos de producción innovadores.

## Coctel de Bienvenida

Tras un día lleno de actividades y entusiasmo durante las visitas industriales, cerramos la tarde con el tan esperado **coctel de bienvenida y networking en Top Golf Monterrey**. La cálida atmósfera de Nuevo León fue el escenario perfecto para una convivencia animada en las bahías de juego y el área de bar.



Galería  
Coctel de Bienvenida



El ambiente fue excepcional, ya que los asistentes, tanto principiantes como expertos, mostraron sus habilidades en el golf, todo mientras construían redes de contacto que no se habían dado en mucho tiempo. Este éxito fue posible gracias a la generosa contribución de nuestro fiel patrocinador, **Recuperaciones Industriales Internacionales (RIISA)** empresa que edición tras edición confía su marca a nuestro evento, extendemos nuestro más sincero agradecimiento por su respaldo a RIISA, tanto en esta nueva dinámica como en su apoyo continuo a lo largo de los años.



Con casi 150 asistentes, este cálido encuentro permitió compartir momentos agradables, disfrutar de exquisitos bocadillos y bebidas selectas, y sobre todo, aprovechar cada instante para socializar y fortalecer contactos clave para futuros negocios. Sin duda, una noche que marcó el inicio de una exitosa edición de **ALUMEXICO SUMMIT & EXPO 2024**.

# Miércoles 28 de Agosto

En el segundo día de **ALUMEXICO SUMMIT & EXPO 2024**, nuestro programa arrancó con el ciclo de conferencias magistrales, en el que destacó la participación de **Harbor Aluminum Intelligence**, una empresa mexicana de renombre internacional en el sector del aluminio. Contamos con la presencia de **Jesús Villegas**, quien presentó su conferencia titulada "Una visión para la industria del aluminio 2025". En su exposición, compartió valiosa información y análisis exclusivos, fruto de años de investigación que solo Harbor ha logrado desarrollar. Esta conferencia ofreció una perspectiva estratégica sobre el futuro de la industria, aportando herramientas clave para los líderes del sector.



Como segunda ponencia magistral, tuvimos el honor de contar con el **Dr. Luis de La Calle**, quien presentó la conferencia titulada "Horizonte económico y político para México 2025", conferencia que fue patrocinada por **ALUXITE**, que se ha convertido en tradición que en cada edición nos ayuden a traer a destacadas personalidad para las conferencias. Agradecemos nuevamente a nuestro patrocinador **ALUXITE**.

En esta charla, ofreció una profunda y detallada visión sobre los retos y oportunidades que enfrentará el país en los próximos años, abordando tanto el contexto económico como las implicaciones políticas. Su análisis aportó una perspectiva invaluable para los asistentes, brindando herramientas clave para la toma de decisiones estratégicas dentro de la industria del aluminio y otros sectores económicos.



Posteriormente, al término de la segunda conferencia, nos preparamos para la inauguración oficial de nuestro evento. Dimos la bienvenida a los distinguidos miembros del presidium, quienes nos honraron con su presencia para llevar a cabo el acto inaugural de ALUMEXICO SUMMIT & EXPO 2024.

- *Eugenio Salinas Morales / Presidente del IMEDAL*

- Iván Rivas Rodríguez / Secretario de Economía de Nuevo León
- Jorge Alberto Alvarado Ruiz / Representante de Secretaría de Economía - Titular de la Unidad de Desarrollo Productivo
- Antonio Ramón Elizondo / Presidente del Clúster de Vivienda de N.L.
- Roberto Macías Quintanilla / Representante de CONCAMIN - Presidente CMIC Delegación Monterrey
- Charles Johnson / The Aluminum Association - CEO
- Judith Garza Rangel / Coordinadora Del Cuarto De Junto y Presidenta De La Comisión De Comercio Exterior De La CONCAMIN



Agradecemos sinceramente a cada uno de ellos por acompañarnos en este momento tan importante, contribuyendo a que esta edición se consolide como uno de los encuentros más relevantes de la industria del aluminio en México.

## B2B Encuentro de Negocios

A las 10:00 a.m., dio inicio el proceso de emparejamiento estratégico, basado en los perfiles proporcionados por los participantes, logrando reunir a **compradores y proveedores** clave de la industria del aluminio. El área de **BUSINESS LOUNGE** cobró vida con los primeros negociadores, abarcando todas las etapas de la cadena de valor: desde **recuperadores de metal**, esenciales en el inicio de la cadena, pasando por fundidores y productores de aleaciones, hasta los actores de procesos como **extrusión, laminación, treflado y die casting**. Además, contamos con la participación de consumidores como **tier 1, tier 2** e incluso algunas armadoras y carroceros.

Más de **200 participantes** aprovecharon este espacio para generar citas y dar inicio a nuevos negocios, o bien consolidar relaciones comerciales ya existentes. De esta manera, cumplimos con éxito el objetivo de crear un espacio para la **Generación de Negocios** en primer contacto.

Este enfoque resultó de gran valor tanto para proveedores como para compradores, quienes tuvieron la oportunidad de **presentar productos y servicios** a través de reuniones cara a cara, previamente seleccionadas

y organizadas de manera eficiente por nuestro equipo. La jornada fue testigo de cómo **representantes de diversas empresas** se reunieron con un objetivo claro: **aprovechar las oportunidades de negocio** en un foro diseñado específicamente para facilitar estas conexiones estratégicas.



## Conferencias

En la tercera conferencia magistral, tuvimos el privilegio de contar con Horacio Canales Siller, quien presentó la ponencia titulada "Revolucionando la Industria del Aluminio con IA". Durante su conferencia, expuso cómo la inteligencia artificial está transformando los procesos dentro de la industria del aluminio, ofreciendo nuevas oportunidades para optimizar la producción, mejorar la eficiencia y aumentar la competitividad global. Su visión innovadora dejó claro el papel crucial que la IA jugará en el futuro de la industria, despertando un gran interés entre los asistentes por las tecnologías emergentes.



Galería Conferencias  
28 de Agosto



- Conferencia Comercial "**ARZYZ: La empresa de aluminio en México**" por *Alejandro Guerra*



- Conferencia técnica "**Consideraciones para lograr la fundición de aluminio verde**" por *José Alejandro García Hinojosa*



- Conferencia Comercial "**Metales y Aleaciones Maestras para la fundición de aluminio**" *Fernando Hidalgo*



- Conferencia comercial "**Retos en la industria del Aluminio y análisis con espectrometría**" por *David Brito*



- Conferencia Técnica "**Descarga cero: reciclado de agua en plantas de anodizado y pintura de Aluminio**" por *Margarita Bacab Rodriguez*



- Conferencia técnica "**¿Diecasting o Troquelado? ¡Esa es la pregunta!**" por *Víctor Hiram Vázquez Lasso*



- Conferencia Comercial por **Jorge Arody Romero Hernández**



## Cena de Gala

La noche del **miércoles 28 de agosto**, nuestros distinguidos asistentes disfrutaron de una elegante **Cena de Gala** en el exclusivo **Club Industrial de Monterrey**. Durante esta memorable velada, los participantes compartieron momentos inolvidables en un ambiente de auténtica camaradería y sofisticación. La noche estuvo envuelta en magia gracias a la actuación de Mariana Peregrina, una talentosa cantante, cuya hermosa voz añadió un toque especial, haciendo de este evento algo verdaderamente único.



Galería  
Cena de Gala





La **Cena de Gala**, que ya se ha convertido en una tradición emblemática de ALUMEXICO SUMMIT & EXPO, fue una vez más patrocinada con entusiasmo por **ARYZ**, quien confió plenamente en este evento para destacar su marca durante toda la noche. Agradecemos profundamente a **ARYZ** por su continua colaboración y por ser un fiel aliado y **patrocinador estrella** en cada edición. ¡Gracias por su incondicional apoyo y confianza en nuestro evento!

Jueves 29 de Agosto



Galería Conferencias  
29 de Agosto

**Nuestro tercer día** continuó con gran dinamismo, dando acceso al **área comercial** y retomando el **ciclo de conferencias**, donde se destacó la primera charla del día:

La conferencia titulada "**Mercado Mexicano del Die Casting**" fue presentada por **Norberto Vidaña Jr.**, quien ofreció una perspectiva profunda y detallada sobre las oportunidades, retos y avances tecnológicos de este importante sector. Esta presentación fue sin duda un punto clave para los asistentes interesados en el die casting, un segmento que sigue ganando relevancia dentro de la industria del aluminio en México.



"**Stellantis: Requerimientos de aluminio para proyectos futuros**" Raúl Adrián Ibarra Gutiérrez. Stellantis también presente en B2B generando contactos para el desarrollo de proveedores y con quienes seguimos colaborando para acercar proveedores.



Panel: **La industria del Aluminio en Norteamérica ante nuevas condiciones comerciales con los presidentes de las tres asociaciones del aluminio**

- **IMEDAL** - Eugenio Salinas
- **The Aluminum Association** - Charles Johnson
- **The Aluminium Association of Canada** - Jean Simard





- **"Low CO2-content Aluminium alloys for chassis applications NEMAK"** José Talamantes Silva



- **"La industria automotriz en Norteamérica, vehículo eléctrico y el uso del aluminio en la industria"** Manuel Montoya Ortega CLAUT Cluster Automotriz de Monterrey



- "La granulometría en arenas sílicas de fundición y calidad en Dross de aluminio basado en distribución de granos" *Francisco Manrique Montalvo Puente*



- "Quemadores y Hornos para Reciclado de Aluminio: Hacia Cero Emisiones" *Asis Quecedo GHI*



- "Una mirada a la historia del aluminio: El metal de Julio Verne" *Francisco Alfredo García Pastor Cinvestav Saltillo*



- "Identificación positiva del aluminio a través de XRF" *Alejandro Cancino Salinas EVIDENT*



- "¿Cómo elegir el horno de aluminio adecuado para mi operación?" *Salvador Tovar THE SCHAEFER GROUP*



ALUMEXICO 2024 demostró ser, una vez más, el punto de encuentro indispensable para quienes buscan estar a la vanguardia de la industria del aluminio, dejando claro que el futuro del sector es brillante, innovador y sostenible.

Queremos agradecer a nuestros patrocinadores: **CUPRUM, NEMAK, MARCOMETALES, ARZYZ, ALUMEXICO, RIISA y VIAKABLE**, ya que sabemos que, con su apoyo, se logra el éxito de este evento. Así como agradecer el apoyo y facilidades para los media partners como **SECRETARÍA DE ECONOMÍA DE NUEVO LEÓN**, al Secretario Iván Rivas que en todo momento su equipo estuvo pendiente de apoyar en la difusión de nuestro evento. La **OCV de Monterrey** por los apoyos asignados que hacen que cada vez

crezca más nuestro evento y a **AL CIRCLE** por la difusión a nivel internacional de **ALUMEXICO SUMMIT & EXPO 2024**.

## Agradecemos a nuestros patrocinadores

**ARZYZ**<sup>®</sup>

LA EMPRESA DE **ALUMINIO** EN MÉXICO



## Media Partner



¡Nos vemos en la próxima edición de **ALUMEXICO SUMMIT & EXPO 2025!**



ALUMINIO PARA SIEMPRE

**ALUMEXICO**<sup>®</sup>

Tu punto de encuentro – **SUMMIT & EXPO 2025**

# Toys



## El Aluminio: Innovación y Sostenibilidad en la Moda del Futuro



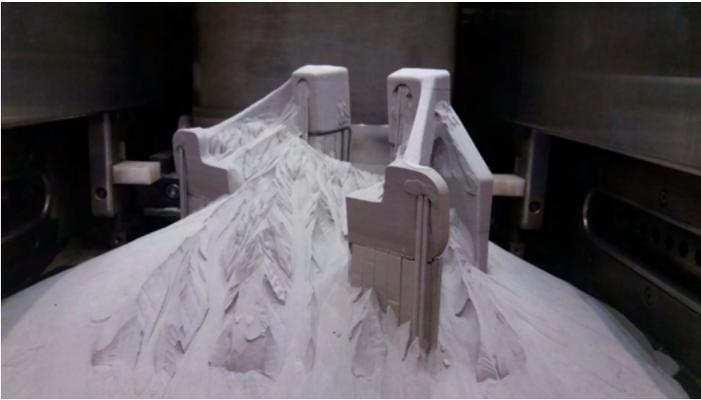
El aluminio juega un papel fundamental en la moda sostenible debido a su capacidad de reciclaje, durabilidad y versatilidad. Como material reciclable, representa una opción innovadora para la creación de accesorios como joyas, bolsos, cinturones, anteojos y componentes estructurales de prendas que impulsan la innovación y la vanguardia. Estas características permiten que las prendas puedan ser recuperadas y reutilizadas, contribuyendo así a un ciclo de vida circular y reduciendo la generación de desechos.

La ligereza y durabilidad del aluminio lo convierten en una opción ideal para disminuir el peso total de los productos, lo que a su vez reduce el consumo de recursos durante la producción y minimiza el impacto ambiental. Además, al mantener sus propiedades intactas durante el proceso de reciclaje, el aluminio es un material clave para el diseño sostenible en la industria de la moda y fomenta el reciclaje.

Este material también ofrece amplias posibilidades creativas para los diseñadores, permitiéndoles crear artículos únicos y estilosos mientras se mantienen comprometidos con la sostenibilidad. Un ejemplo de esto es Stella McCartney, quien presentó modelos con lentejuelas de aluminio reciclado en la Semana de la Moda de París del año pasado. Asimismo, compañías como Elvis & Kresse transforman latas en hebillas y broches para su línea de cinturones y equipajes. En 2021, Chiara Ferragni lució en el Festival de Cine de Cannes un vestido adornado con flores hechas de aluminio reciclado proveniente de cápsulas de café.

El papel de este material en la promoción de la moda sostenible es esencial, ya que su reciclabilidad, ligereza, durabilidad y versatilidad no solo ayudan a reducir el impacto ambiental de la industria, sino que también promueven prácticas más responsables.

## Aluminio en la impresión 3D avanzada



La impresión 3D con aluminio en 2024 ha experimentado avances significativos, consolidándose como una tecnología clave en la fabricación avanzada. Este proceso, también conocido como fabricación aditiva, utiliza polvo de aluminio que se funde capa por capa mediante láseres de alta precisión. Este enfoque permite la creación de estructuras con geometrías complejas que serían difíciles, si no imposibles, de producir con métodos de fabricación tradicionales.

### **1. Optimización de Materiales y Resistencia:**

- En 2024, los investigadores desarrollaron nuevas aleaciones de aluminio diseñadas para la impresión 3D. Estas aleaciones no solo mejoran la resistencia y durabilidad del material, sino que también reducen el peso de los componentes, lo cual es crucial para aplicaciones aeroespaciales.

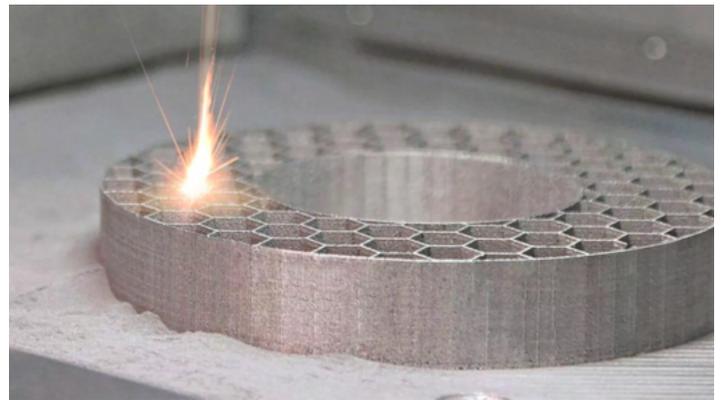
- Los componentes impresos en 3D con estas aleaciones ofrecen un equilibrio ideal entre ligereza y resistencia, permitiendo a los diseñadores crear piezas que pueden soportar cargas extremas sin añadir peso adicional a las aeronaves o cohetes.

### **2. Reducción de Residuos y Eficiencia en la Producción:**

- La impresión 3D con aluminio permite una producción más eficiente en cuanto a materiales. A diferencia de los métodos de fabricación sustractivos, donde gran parte del material se desperdicia al ser eli-

minado, la fabricación aditiva solo utiliza el material necesario para crear la pieza final, lo que resulta en una reducción significativa de residuos.

- Esta eficiencia no solo reduce los costos de producción, sino que también disminuye el impacto ambiental de la fabricación de componentes de aluminio.



### **3. Aplicaciones en la Industria Aeroespacial:**

- La capacidad de imprimir estructuras ligeras, pero extremadamente resistentes ha transformado la fabricación de piezas para aviones y naves espaciales. Los componentes impresos en 3D, como soportes, conductos y estructuras internas, son diseñados para maximizar la eficiencia aerodinámica y minimizar el peso, lo que mejora el rendimiento y reduce el consumo de combustible.

- Además, la impresión 3D permite personalizar los componentes, algo útil para fabricar piezas para misiones espaciales, donde cada gramo cuenta y las piezas deben cumplir con especificaciones exactas.

### **4. Reducción de Tiempos de Producción:**

- La impresión 3D con aluminio también ha acelerado significativamente los tiempos de producción. Ahora las piezas que antes podían tardar semanas o meses en fabricarse y ensamblarse pueden producirse en días o incluso horas, lo que mejora la capacidad de respuesta de los fabricantes ante nuevas demandas o diseños de última hora.

- Esta rapidez también facilita la creación de prototipos funcionales, permitiendo a los ingenieros probar y modificar diseños con una rapidez sin precedentes, lo que acelera la innovación en la industria aeroespacial.

En resumen, la impresión 3D con aluminio en 2024 está redefiniendo lo que es posible en la fabricación de componentes complejos y ligeros. Su impacto es notable en la industria aeroespacial, donde las exigencias de peso y resistencia son máximas, pero sus aplicaciones se expanden rápidamente a otros sectores, como la automoción, la robótica y la medicina.

## Telescopios robóticos: la revolución en la astronomía



Los telescopios robóticos están revolucionando la astronomía moderna al permitir observaciones automatizadas y continuas del cielo, sin necesidad de intervención humana directa. Estos sofisticados instrumentos están equipados con tecnología avanzada, como sistemas automáticos de enfoque, cámaras CCD (dispositivos de carga acoplada) y detectores meteorológicos, que les permiten operar de manera autónoma desde ubicaciones remotas.

### ***Funcionamiento y Ventajas***

Estos telescopios, generalmente de tamaño pequeño o mediano, recopilan datos astronómicos que los científicos pueden acceder en tiempo real a través de internet, sin importar su ubicación geográfica.

Esta capacidad no solo amplía el alcance de la investigación astronómica, sino que también permite el monitoreo continuo de eventos celestiales que pueden ocurrir de manera impredecible o en regiones del cielo que serían difíciles de observar de otro modo.

### ***Redes de Telescopios Robóticos***

Una de las aplicaciones más emocionantes de los telescopios robóticos es su uso en redes interconectadas, que colaboran para estudiar fenómenos astronómicos raros y de corta duración. Un ejemplo notable es el proyecto español BOOTES (Burst Observer and Optical Transient Exploring System), una red de telescopios robóticos que se dedica a la observación de estallidos de rayos gamma, el fenómeno más violento del universo.

### ***Proyecto BOOTES y Telma***

El proyecto BOOTES cuenta con varias estaciones robóticas, y recientemente ha incorporado a Telma, un telescopio robótico instalado en Algarrobo Costa, Málaga. Telma, junto con las otras tres estaciones del programa, se especializa en la búsqueda y estudio de estallidos de rayos gamma. Estos estallidos son explosiones extremadamente energéticas que pueden durar desde milisegundos hasta minutos, y el monitoreo automatizado es crucial para capturar estos eventos efímeros.

### ***Impacto en la Astronomía***

La implementación de telescopios robóticos y su integración en redes globales están cambiando la manera en que los astrónomos estudian el universo. No solo permiten una observación más eficiente y continua, sino que también abren nuevas posibilidades para la colaboración internacional y la recolección de datos de alta calidad en tiempo real. Estos avances tecnológicos están marcando una nueva era en la astronomía, donde la automatización y la conectividad son fundamentales para el descubrimiento científico.

# TRANSMITIMOS ENERGÍA QUE ACTIVA TU VIDA

En Viakable, empresa Xignux, somos líderes en la fabricación y comercialización de conductores eléctricos que facilitan la vida de hogares, negocios y comunidades.



[www.viakable.com](http://www.viakable.com)



Viakable



viakable



somosviakable

 **viakable**<sup>®</sup>



# *Comida de Fin de Año*

**The St. Regis Mexico City**

**04 de diciembre**

**12:00 hrs**

**¡Te esperamos!**

