

## Aluminio, una Industria en Desarrollo



**“Como afecta su sistema de combustión a su horno”**  
de Salvador Tovar

**“Mezclado de polvos de aluminio en procesos pulvimetalúrgicos”**  
de Dr José Luis Ortiz

**“Aplicación de la deformación severa en aleaciones de aluminio”**  
de José Luis Hernández Rivera y Ana Claudia González Castillo



**42** años transformando la industria del aluminio y metales no ferrosos.



Contacto:

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

81 8288 0000

[comercial@arzyz.com](mailto:comercial@arzyz.com)

**ARZYZ**<sup>®</sup>  
METALS

# Editorial



**ENERO 2023**

Estimado Lector:

Bienvenido a nuestra edición de enero; espero que al igual que nosotros estés iniciando el año 2023 con una gran actitud, alegría y mucho entusiasmo, al tener 365 oportunidades nuevas para lograr lo que te propongas. Para nosotros en ALUMINIA e IMEDAL, es un año especial y buscamos que nuestras siguientes ediciones de este 2023 sean el medio ideal para recapitular desde ALUMINIA, los primeros 50 años de IMEDAL representando orgullosamente a nuestra industria del aluminio en México.

La edición 44 lleva por título Aluminio, una industria en desarrollo y en ella hemos dejado la tinta suelta a nuestros articulistas, permitiéndoles que nos den a conocer las más recientes investigaciones y aspectos técnicos de verdadera relevancia para nuestra industria.

Querido lector, seguidor, amigo, si — como nosotros en ALUMINIA — te declaras adicto a conocer cómo sigue creciendo el aluminio en cada sector y ver lo inesperado de la industria, sigue esta y las siguientes ediciones donde el mundo del aluminio te sorprenderá cada vez más.

Esperamos que, con los artículos presentes en esta edición, logremos entretenerte, llenarte de más inquietudes, procurando cultivarnos juntos y hablando sobre el aluminio y lo que lo rodea, dándote herramientas que puedas utilizar en tu emprendimiento o empresa.

Te invitamos como en cada edición, a que ¡seas cómplice de ALUMINIA! ¿Cómo? Participando, dándonos comentarios, escribiendo artículos, anunciándote en los espacios, para que siga adelante como hasta ahora y podamos conocer tus intereses.

Disfruta de esta entrega, ¡Feliz lectura!

Nos leemos pronto en la edición 45 con temas que te interesan y recuerda seguirnos en nuestras redes sociales y sitio web para enterarte de los eventos que envolverán la gran celebración del 50 aniversario del IMEDAL.

Te dejo esta tu edición 44 **¡Feliz lectura!**

Nos leemos en la edición 45.



## CONSEJO DIRECTIVO

Ing. Eugenio Clariond Rangel  
**Presidente**

## CONSEJO EJECUTIVO

Propietario	Cargo	Suplente	Empresa
Ing. Eugenio Clariond Rangel Ing. Fernando Artemio García Martínez Lic. Joaquín González Sánchez Ing. Héctor Welsh Lic. Susana Elizondo Anaya Lic. Carlos Suárez Flores	Presidente Vicepresidente De Operaciones IMEDAL Vicepresidente De Extrusión Vicepresidente De Fundición Y Die Casting Vicepresidente De Aluminio Plano Vicepresidente De Materias Primas	Ing. Arnulfo Muzquiz Cantú  Lic. Laura González Hernández Ing. Benjamín González Tovar Cp. José Ramón Elizondo Anaya Sr. Mario Sergio Ramírez Zablah Zimery	GRUPO CUPRUM IMEDAL GRUPO ALUMINIO DE OCCIDENTE CORPORATIVO NEMAK ALMEXA ALUMINIO ARZYZ
Lic. Daniel Iván Puente Medina Ing. Artemisa Alba Aguilar	Secretario Directora Ejecutiva		GRUPO CUPRUM IMEDAL

## CONSEJO DIRECTIVO

Propietario	Cargo	Suplente	Empresa
Fernando Díaz Martínez Lic. Rodrigo Sánchez Revilla C.P. Miguel Angel Luna Rodriguez Ing. Norberto Vidaña Romero Ezequiel Vivas O'connor Lic. Mauricio Martínez Garza Ing. Javier Enrique Autrique Esquer Lic. Eugenio Salinas Morales	Consejero Consejero Consejero Consejero Consejero Consejero Consejero Consejero	Ing. Luis Roberto Díaz Dorantes Ing. Bernardo Sánchez Revilla Ing. María Del Pilar Garduño Martínez Ing. Guillermo Rangel Sada Marcus Federico Baur Neuburger Ing. Mauricio Martínez Cárdenas Ing. Mauricio Gasca Peña Lic. Mariana Alva Cal Y Mayor	ALUMINITRADE ALYEX AZINSA ALUMINIO DEACERO GRUPO BOCAR INDALUM PROMOTORA INDUSTRIAL GIM VIALUTEK (CONDUCTORES MONTERREY)

## COMITÉ EDITORIAL IMEDAL

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



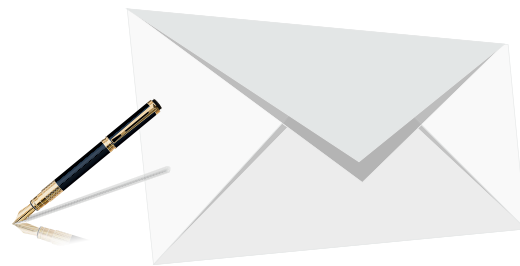
**ALUMINIA**, año 14, No. 44, Febrero - Mayo 2023, es una publicación cuatrimestral editada por el Instituto Mexicano del Aluminio A.C., calle Francisco Petrarca, 133 Piso 9, Col. Polanco, Alcaldía Miguel Hidalgo, C.P. 11560, Tel: (55) 5531-7892, [www.imedal.org](http://www.imedal.org), [imedal@imedal.org](mailto:imedal@imedal.org) Editor responsable: Ing. Artemisa Alba Aguilar. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo en trámite por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: en trámite ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Directora Ejecutiva, Ing. Artemisa Alba Aguilar, calle Francisco Petrarca, 133 Piso 9, Col. Polanco, Alcaldía Miguel Hidalgo, C.P. 11560, fecha de última modificación, 26 de mayo de 2023.

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

# Carta del Presidente



## Estimados Amigos

Les saludo en la apertura de este nuevo año, reiterando mis mejores deseos de salud, prosperidad y bienestar para todos ustedes, tanto en el plano personal y familiar, así como en los negocios y proyectos que emprendan.

Antes que nada, me alegra compartir que, gracias a la participación de todos, este año celebraremos 50 años de la fundación de nuestro querido IMEDAL, por lo que estaremos desarrollando un programa de eventos y actividades especiales, cuyos detalles iremos comunicando oportunamente por separado.

En lo que corresponde al ambiente económico, se presenta ante nosotros un mosaico de factores que influirán en nuestros negocios, tanto en el aspecto positivo como en el que no lo parece tanto.

En el lado positivo y luminoso, sin duda aparecen las enormes oportunidades de crecimiento que se presentan en nuestro país gracias a la intensa relación comercial que mantenemos con Estados Unidos y Canadá, debido a la fortaleza del TMEC y la clara estrategia común recién anunciada, en la que se plantea impulsar las cadenas de suministro dentro de la región para depender menos de China.

Particularmente en áreas de nuestro interés, creemos que habrá muy buenas oportunidades, dada la estrategia de la industria automotriz y la relevancia que tiene el aluminio en este sector.

Otro factor positivo que se empieza a notar es la robusta tendencia de frenado y reducción de la inflación, tanto en los Estados Unidos como en México, por lo que es de esperar que las tasas de interés dejen de incrementarse en los altos valores que lo venían haciendo en los últimos meses, lo cual sin duda podría ser un gran estímulo para las inversiones.

Por otro lado, La fortaleza que ha mostrado el peso frente al dólar, posee dos caras; el mayor aspecto positivo en el que influye es en la contención de la inflación y resulta ser un indicador que da confianza al mercado, pero, por lo contrario, es evidente que desfavorece a nuestras exportaciones las cuales se encarecen y por ende su competitividad se ve desfavorecida.

En el lado oscuro en temas económicos, se presenta la amenaza de una recesión mundial, y puesto que la exportación de manufacturas es un importante motor de la economía de nuestro país, de ocurrir ésta de forma enérgica o prolongada, tendría importantes efectos adversos en la economía mexicana.

Finalmente nos esperan intensos tiempos políticos, ya que en este año se llevarán a cabo las elecciones para gobernador en el estado de México y en el de Coahuila, así como la designación de candidatos para la contienda presidencial de 2024, las cuales, sin duda, marcarán el rumbo que tomará nuestro país en los próximos años.

En resumen, dado este ambiente dispar, nos toca nuevamente saber identificar las buenas oportunidades y tomar ventaja de ello, no solo para solventar los momentos difíciles sino para salir más fortalecidos, es decir ¡saber ganar! Con la seguridad de mi aprecio permanente, les saludo con afecto.



Ing. Eugenio Clariond Rangel  
Presidente IMEDAL

# CONTENIDO

Carta Editorial

3

Consejo Directivo

4

Carta del Presidente

5

Últimas noticias

8

Empresas asociadas

16

**Tendencias de desarrollo en las aleaciones termoendurecibles base aluminio**  
Jorge García Rocha, Martha Alejandra Lomelí Pacheco,  
Lorena Hernández Hernández

19

**Aplicación de la deformación severa en aleaciones de Aluminio**  
José Luis Hernández-Rivera, Ana Claudia González-Castillo

24

30

**Mezclado de polvos de aluminio en procesos pulvimetalúrgicos**

José Luis Ortiz Rosales

35

**Dominar la distorsión: Enderezamiento 3D inteligente de grandes piezas fundidas**

Philipp Hettich, Martin Hartlieb

43

**Haz todo lo que puedas**

José Luis Ortiz Rosales

46

**Estudio de la termoestabilidad y su efecto en la microdureza en un Al1050 procesado por forja continua cerrada**

Sandra L. Rodríguez-Reyna, Díaz-Aguilera J.H., Fidencio Tapia Rodríguez

52

**Cómo afecta su sistema de combustión a su horno**

Salvador Tovar F.

55

**Reseña de Comida de Fin de Año 2022**

61

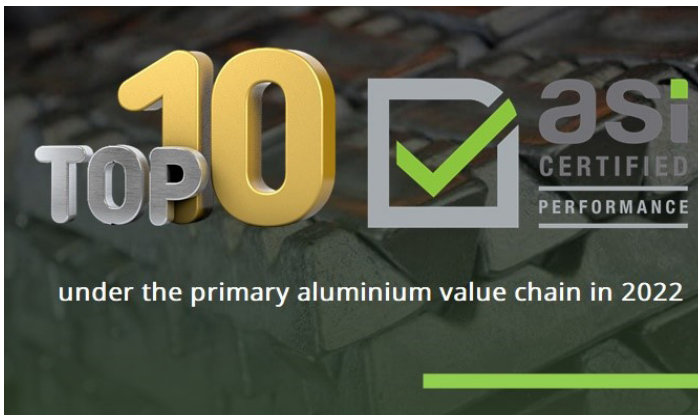
**Toys**

# ÚLTIMAS NOTICIAS

## EN MÉXICO Y EN EL MUNDO

### Las 10 mejores certificaciones ASI en la cadena de valor del aluminio primario en 2022

Aluminium Stewardship Initiative (ASI), una organización multinacional sin ánimo de lucro con la misión de maximizar la contribución del aluminio a una sociedad sostenible, busca avanzar en la sostenibilidad en toda la cadena de valor del aluminio. ASI Aluminium es un metal fabricado y obtenido de acuerdo con los estándares ASI, comenzando con su fuente extraída o reciclada y continuando a través de cada etapa de la cadena de valor.



ASI es la única iniciativa de abastecimiento responsable que cubre los procedimientos a lo largo de la cadena de suministro de aluminio. Esto abarca industrias que incluyen empaque, transporte, construcción e ingeniería, así como la producción aguas arriba y los sectores de uso aguas abajo.

La Aluminium Stewardship Initiative (ASI) tiene como objetivo avanzar en la sostenibilidad a lo largo de toda la cadena de valor del aluminio. Al demostrar su dedicación a las normas sociales, ambientales y éti-

cas, la acreditación ASI beneficia tanto a la industria del aluminio como a los usuarios de aluminio.

Estas son las principales certificaciones ASI en 2022 para el sector del aluminio primario:

**Emirates Global Aluminio:** La planta de Al Taweelah de Emirates Global Aluminium recibió el 19 de mayo la certificación Performance Standard de la Aluminium Stewardship Initiative por su rendimiento sostenible.

La recertificación cubrió el puerto, la planta de energía, la planta de carbono, las macetas, el casique y la gestión de residuos de EGA, incluido el revestimiento de macetas desperdiciadas y la escoria.

La primera certificación de estándar de desempeño ASI para Al Taweelah se emitió en 2019. Después de una evaluación exhaustiva e independiente in situ de su desempeño ambiental, social y de gobernanza, que abarca la biodiversidad, los derechos humanos, la transparencia, la participación de la comunidad, las emisiones y la gestión de residuos, Al Taweelah recibió la acreditación una vez más.

**INALUM:** Asahan Aluminium (Persero), un fabricante estatal de aluminio en Indonesia, se unió a la Iniciativa de Administración de Aluminio como nuevo miembro de Producción y Transformación.

Con esta unión, el número total de miembros de ASI llegó a 217. La primera empresa estatal de fundición de aluminio primario en el sudeste asiático es PT Indonesia Asahan Aluminium (Persero), también conocida como INALUM. Su capacidad de fundición anual es de 250.000 toneladas, y sigue siendo el único productor de aluminio primario de Indonesia.



S.A.V. S.p.A. Societa' Alluminio Veneto: Para facilitar la fabricación de lingotes de aleación de aluminio en las instalaciones de Colombo y Dell'Artigianato en Italia, S.A.V. S.p.A. Societa' Alluminio Veneto obtuvo la certificación ASI Performance Standard. Cerca de 100.000 toneladas del producto se pueden producir anualmente en las fábricas de S.A.V. S.p.A. en el norte de Italia.

Qatalum: Qatalum, una empresa conjunta de fundición de aluminio entre Qatar Petroleum y Norsk Hydro, había obtenido certificaciones dobles de la Iniciativa de Administración del Aluminio. La fundición fue certificada bajo el Estándar de Desempeño y el Estándar de Cadena de Custodia para sus operaciones de fundición de aluminio primario en la Ciudad Industrial de Mesaieed, Qatar, así como la producción de aleaciones de fundición y lingotes de extrusión. La certificación fue un hito importante que reflejó la continua dedicación de la compañía a las prácticas comerciales éticas y sostenibles en toda su cadena de valor. Declararon que están felices de poder proporcionar productos de aluminio con certificación ASI, lo que permite a sus clientes y partes interesadas la certeza de un estándar reconocido mundialmente.

ALUCAM: Según los informes, la compañía camerunesa de aluminio ALUCAM fue recibida como nuevo miembro de producción y transformación de la Iniciativa de Administración de Aluminio el martes 22 de marzo. El número total de miembros de la ASI ahora es de 215. La empresa industrial de fabricación de aluminio ALUCAM está situada en Edéa, una ciudad que sirve como centro para el Litoral, el Centro y el sur de

Camerún había comenzado a operar en 1957 y actualmente emplea a 600 personas permanentemente para fabricar 100,000 toneladas de aluminio anualmente. El negocio también depende de un número significativo de empleos indirectos.

Aluminerie Alouette: Para su fundición de aluminio y fundición en Sept-Îles, Quebec, Aluminerie Alouette, una de las fundiciones de aluminio más grandes de América del Norte, adquirió la certificación Estándar de Cadena de Custodia (CoC) de la Iniciativa de Administración de Aluminio (ASI). La compañía obtuvo la Certificación Estándar de Desempeño en julio de 2020. El 19 de octubre, la ASI verificó a través de la Oficina de Normalización de Quebec, una autoridad independiente y auditor, que el personal de Aluminerie Alouette producía 630.000 toneladas de aluminio anualmente siguiendo sus especificaciones y altos estándares en adquisiciones y siguiendo las fases de la cadena.



Yunnan Sunho Aluminio: Yunnan Sunho Aluminum Co. Ltd., un proyecto de aluminio hidroeléctrico verde con una capacidad de producción de aproximadamente 900,000 toneladas, se registró con éxito como miembro de Producción y Transformación de la Iniciativa de Administración de Aluminio (ASI).

Prensa Metal Bintulu: Press Metal Bintulu Sdn Bhd, una división de Press Metal Aluminium Holdings Berhad, fue certificada con éxito por la Aluminium Stewardship Initiative contra la certificación Performance Standard V2 (2017) el martes 22 de noviembre. La fundición de aluminio, la refundición / refinación,

la fundición y la recuperación interna de escoria de aluminio de la compañía en las instalaciones de Sarawak en Malasia han sido reconocidas por ASI a través de la certificación. Una subsidiaria anterior de Press Metal, Press Metal International Ltd en Foshan, China, obtuvo la certificación ASI Performance Standard con estado provisional para actividades de extrusión en septiembre de 2022.

**Hammerer Aluminio Industrias:** La fabricación de perfiles de aluminio extruido en las instalaciones de Hammerer Aluminium Industries (HAI) Extrusion SRL en Chisineu-Cris, Rumania, había logrado la certificación ASI Performance Standard V2 (2017), según un comunicado publicado el miércoles 14 de diciembre por Aluminium Stewardship Initiative. La compañía fabrica perfiles extruidos para sistemas eléctricos, ingeniería de máquinas y sistemas, disipadores de calor, intercambiadores de calor y sistemas eléctricos. La fábrica de HAI tiene cuatro líneas de extrusión con una capacidad de producción anual de alrededor de 22.000 toneladas. TÜV Rheinland Cert GmbH realizó una auditoría imparcial e independiente de la empresa Hammerer Aluminium Industries Extrusion SRL.

**Associação Brasileira do Alumínio:** La industria brasileña del aluminio está impulsada por la sostenibilidad, que impulsa la implementación de proyectos y la toma de decisiones. La Associação Brasileira do Alumínio (ABAL) apoya a las empresas en toda la cadena de valor, desde la minería hasta el reciclaje. En este punto, las empresas involucradas en toda la cadena de valor de la industria brasileña del aluminio, desde la fabricación de aluminio primario hasta la minería de bauxita y la producción de alúmina, todas habían logrado la acreditación ASI. Las empresas de las industrias de reciclaje y procesamiento de metales primarios también han recibido la certificación. Para alentar a sus afiliados a obtener la acreditación ASI, que es bien conocida en el mercado de consumo de aluminio, se unió a ASI. Las mejores prácticas sostenibles son apoyadas y promovidas por ASI, que es más que una simple certificación. Debido a que reconoce y recompensa las acciones de gestión responsable, se está volviendo cada vez más crucial.

## Aluminium in shipbuilding: Top 10 projects in 2022

El aluminio tiene una larga historia en la industria de la construcción naval. Aunque el aluminio pesa menos que otros metales, su resistencia es similar, y se considera un material excelente para aplicaciones marítimas debido a esta combinación. El uso de aluminio hace posible la construcción de cascos y superestructuras, haciéndolos al mismo tiempo fuertes y ligeros. Un casco de aluminio es adecuado para la navegación en mar azul debido a su fuerza, resistencia y capacidad para resistir el martilleo.



Debido a su resistencia inherente al óxido y la corrosión, el aluminio se destaca de otros metales y materiales y produce resultados atractivos y duraderos. Esta es la razón principal por la que la extrusión y fabricación de aluminio se utilizan a menudo en muchos sectores de la industria marítima. El aluminio es considerado como el claro vencedor en comparación con los artículos de acero, a menudo metales elegidos en las regiones de construcción en muchos sectores.

La industria de la construcción naval fue testigo de muchos proyectos importantes en 2022, de los cuales los 10 principales se enumeran a continuación:

**Infinito Nueve:** Infinity Nine, un yate de 35 metros de AvA Yachts, ha sido uno de los proyectos más esperados de la compañía desde que se erigió en 2018. Este yate, que fue construido en un astillero en Antalya, Turquía, es el segundo casco de la serie AvA

Kando110. Un casco de acero superior y una compleja superestructura de aluminio conforman la construcción del barco. El yate fue un pedido particular del jugador de la NBA Tony Parker, quien realizó múltiples visitas al astillero con su equipo especializado de asesores de construcción desde que el proyecto comenzó a tomar forma.

Arksen 65: El nuevo Arksen 65, presentado por el especialista en aventuras oceánicas destinado a que operen los propietarios de yates, incluirá sistemas de navegación incorporados que son mejores para la navegación atrevida fuera de la red. El Arksen 65 contendrá un 40% de aluminio reciclado, y si se vende el barco, sería fácil desmontar la estructura y crear otro producto para el usuario final.

Superyate Reina Tati: El superyate de aluminio Queen Tati de 37,4 metros de MCP Boats es considerado el segundo yate más grande construido por MCP Yachts, después del Raffaella II de 43,76 metros, también diseñado en colaboración con Vripack. El casco de semidesplazamiento de las 316 toneladas brutas Queen Tati incluía una manga de 8,1 metros y un calado de 2,2 metros.



El barco de Snow and Company: Un nuevo barco piloto de aluminio fue presentado a la Asociación de Pilotos de Savannah de Georgia por el constructor de barcos con sede en Washington Snow and Company. La empresa de diseño naval Camarc, con sede en el Reino Unido, produjo el Savannah de cubierta enrasada de una sola barbilla. Tenía una longitud de 64 pies (19,5 metros), una manga de 19,5 pies (5,9 metros), un calado de carga total de 3,63 pies (1,1 metros), un peso de 51 toneladas (46,2 toneladas)

y asientos para dos tripulantes y siete pilotos. Dos motores MTU 12V2000M86, que impulsan los chorros de agua Hamilton HTX52 a través de cajas de cambios ZF 3055, permiten que el barco alcance una velocidad máxima de 35 nudos. Los motores son alimentados por 1.200 litros de tanques de combustible combinados (4.540 litros).

Ciao: Tras el debut de un superyate de 62 metros, Rio, en mayo, CRN, un destacado constructor italiano de superyates, presentó Ciao, un barco de 52 metros construido de aluminio. El lanzamiento se llevó a cabo en las instalaciones de Ancona del Grupo Ferretti, una empresa internacional de construcción naval con sede en Italia. CRN describió el interior del buque como "hecho a medida con una fuerte marca artesanal". El barco se llamaba anteriormente CRN 124, y el modelo actualizado presenta un exterior elegante de Omega Architects y un interior acogedor de Massari Design. Este último también construyó las áreas exteriores del barco para el ocio.

Perini Navi: Finalmente se dio a conocer el velero Perini Navi de 47 metros del Italian Sea Group, que tiene un casco de aluminio y ha sufrido modificaciones recientes. Este yate mejorado, programado para ser entregado en 2024, tiene una amplia proa en forma de V que ayuda a mantener un ángulo de talón constante. Además, incluye un mástil de 200 pies hecho de fibra de carbono que soporta una vela principal y un foque con una superficie total de más de 13,000 pies cuadrados. Mientras tanto, el nuevo e inteligente sistema de gestión de velas rastrea y controla las velas utilizando cabrestantes cautivos debajo de la cubierta.



Archipiélago 47: El Archipelago 47 powercat se está construyendo actualmente en la Isla de Wight y está programado para estrenarse en el Southampton Boat Show este año. El uso de aluminio del yate permite futuras modificaciones y reduce el peso y los gastos de desarrollo. Además, es un material duradero que se puede reciclar infinitamente. Los imponentes mástiles de triple iluminación de 62,5 m fueron una agradable adición al horizonte nocturno para muchas personas.

Perla MEFK: El segundo barco construido en Asyad Drydock, que tiene sitios adyacentes al puerto comercial de Duqm, se desarrolló con éxito, según Asyad Group, un proveedor de soluciones logísticas con sede en Omán. El barco MEFK Pearl de 24 metros de largo viajará a través del puerto de Fujairah una vez que esté operativo. Asyad es el líder de la industria en la producción de buques completos de acero y aluminio con capacidades tecnológicas excepcionales. El mejor metal para la carcasa exterior de un recipiente de agua es el aluminio, ya que es más ligero que el acero.

VisionF 80: El VisionF 80 BLCK construido totalmente en aluminio, el tercer casco de la familia Firstline de VisionF Yachts, se exhibió tanto en el Cannes Yachting Festival como en el Monaco Yacht Show. Uno de los aspectos más destacados del yate son sus líneas exteriores, que se ven increíblemente impresionantes cuando se combinan con la pintura negra mate en la edición negra. A diferencia de un barco compuesto, que se calentaría incómodamente, el casco de un barco de aluminio absorbe rápidamente el exceso de calor en el agua.

Buque de Fassmer : Con sede en Alemania, Fassmer recibió el encargo del Instituto Oldenburg de Ingeniería de Sistemas para la Movilidad del Futuro del Centro Aeroespacial Alemán para construir un nuevo buque eléctrico de aluminio (Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR). El barco de aluminio hecho a medida de 8 metros de largo se hizo para cumplir con los requisitos del estudio. La embarcación es notablemente ágil, y debido a que está hecha de aluminio ligero, puede navegar fácilmente por lagos y

océanos. El barco de aluminio propiedad de Fassmer incluye dos unidades de cápsulas azimutables que le permiten girar a lo largo de su longitud y propulsión totalmente eléctrica. Dos baterías de 12kWh que se instalaron permiten al piloto tener más de dos horas de aceleración continua a seis nudos.

## **Dominar los precios de los metales: 5 estrategias de abastecimiento que solo los profesionales conocen**



Es un hecho en el que los investigadores se han establecido: la regla de las 10,000 horas es una clave definitiva para el éxito".

– Malcolm Gladwell, 'Outliers'.

Para aquellos de ustedes que no han leído "Outliers" de Gladwell, no se preocupen. Esencialmente, el tema clave del libro involucra el concepto de práctica. Establece que aquellos que dedican 10,000 horas o más a cualquier cosa pueden convertirse en expertos.

Esto también es cierto para convertirse en un experto en abastecimiento de metales. Los mejores gerentes y directores de adquisiciones han pasado años estudiando los precios y movimientos de sus metales. En muchos casos, lo han hecho a través de un implacable ensayo y error. Algunos de esos "errores" resultaron en compras deficientes, márgenes más bajos (o posiciones al revés), ahorros reducidos y / o evitación de costos.

El equipo de MetalMiner tiene un atajo para aquellos de ustedes que trabajan en perfeccionar su oficio a través de 10,000 horas de experiencia. Hemos

consolidado las cinco estrategias principales de abastecimiento necesarias para llevarlo a usted y a su organización al éxito. Hemos dedicado tiempo a estudiar los precios, los mercados y los movimientos de los metales. Ahora, estamos compartiendo nuestros secretos contigo.

### **Precios de los metales: las 5 mejores estrategias de abastecimiento y por qué son importantes**

Después de 10,000 horas, el equipo de MetalMiner puede resumir cinco estrategias que, una vez dominadas, harán de un gerente de adquisiciones novato un miembro del equipo altamente calificado y valioso. Los precios de los metales se mueven rápidamente y con frecuencia. Con estas estrategias, puede compensar las pérdidas y maximizar cada dólar.

1. Siempre compre por el peso, nunca por el "cada uno". Además, nunca compre por pie cuadrado. Sí, esto incluye a los compradores de tubos y tuberías.

2. Siempre divida la porción de valor agregado de su metal del costo subyacente de la materia prima. El corolario siempre divide su gasto en metal semiacabado.

3. Siempre otorgue contratos utilizando alguna combinación de TCO (Costo Total de Propiedad) o TLC (Costo Total de Aterrizaje). Nunca otorgue basándose solo en el precio de la pieza. Esta es quizás la más importante de las cinco estrategias.

4. Mantenga siempre el número mínimo de proveedores necesarios para servir a su organización. Conseguir una categoría no es como comprar zapatos, ¡no necesitas tres docenas!

5. Nunca compre todo su metal utilizando un solo mecanismo de contratación. Piense en ello como una cartera de inversiones. ¿Pondrías todo tu dinero en una sola acción? El mismo concepto se aplica aquí.

Con estas cinco estrategias dominadas, cualquier gerente de categoría o director de adquisiciones

podrá administrar mejor los precios de los metales. Esto incluye eludir la volatilidad, mejorar los márgenes, obtener ahorros de costos y maximizar la evitación de costos. Por último, pero no menos importante, puede sentirse más seguro en las negociaciones de su contrato.

### **Premian a marcas mexicanas por Calidad Automotriz**



La Confederación Nacional de Talleres de Servicios Automotrices y Similares (CNT) distinguieron a AKRON, marca mexicana de lubricantes para automóviles, con el Premio Nacional a la Calidad Automotriz 2022.

Este premio se entrega a empresas mexicanas elegidas a través de encuestas que se aplican en todo el territorio nacional para determinar aquellas que ofrecen productos de calidad con soporte técnico y garantía, de acuerdo con el portal de este reconocimiento.

La presea surgió ante la preocupación de este sector por el incremento de comercialización y fallas en autopartes e insumos de mala calidad y manufactura extranjera.

El incremento en la compra de estos productos también derivó en el aumento de demandas ante la Procuraduría Federal de Consumidor (Profeco) por parte de automovilistas en contra de talleres mecánicos que utilizaban estos productos atraídos por los bajos costos.

“En respuesta... (se) institucionaliza un programa de apoyo sectorial para fortalecer a las empresas que fabriquen o comercialicen autopartes que estén establecidas en nuestro territorio nacional, y que ofrezcan la mayor calidad, el mejor servicio técnico y la cobertura de garantía que avale el trabajo de los técnicos reparadores de vehículos”, detalla la página.

En la edición de este año del premio, AKRON fue distinguido en las líneas de Aceite para Motocicletas, Aceite para Transmisión Automática y Aceite para Transmisión Manual.

Vale la pena destacar que la Comisión Nacional de Talleres tiene por objetivo apoyar y fortalecer a los técnicos automotrices de México y Latinoamérica para generar su crecimiento como empresas de servicio de reparación y mantenimiento automotriz. Además, trabajan en coordinación con los tres niveles de Gobierno, con el que impulsan programas de capacitación y certificación.

La industria automotriz es responsable del 2.77 por ciento del Producto Interno Bruto (PIB) del país. Sin embargo, durante los últimos años el sector ha pasado por diversos baches, por ejemplo, la suspensión de sus actividades desde la segunda quincena de marzo y hasta el 1 de junio de 2020 como parte de las medidas de confinamiento establecidas para tratar de contener la pandemia por COVID-19.

Este paro de actividades significó una caída de 24.2 por ciento en su Producto Interno Bruto (PIB) durante el segundo trimestre de 2020 comparado con el trimestre anterior, cuando alcanzó 3.17 billones de pesos, de acuerdo con datos de la Secretaría de Economía.

## La era digital llega al sector automotor: Renault lanza primer metaverso industrial

Este metaverso industrial del fabricante de vehículos generará ahorros en inventario, reducción de tiempo

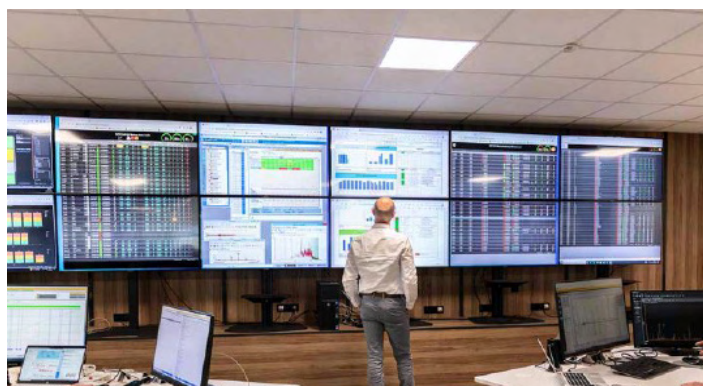
en entrega de unidades y disminución en la huella de carbono.



El tema de metaversos cada vez más resuena en diversos mercados. Luego de que Mark Zuckerberg anunciara que Facebook ya no tendría este nombre, sino que se llamaría Meta, por sus avances digitales, se han llevado a cabo todo tipo de desarrollos en cuanto a este universo.

El metaverso se ha colado en diversas industrias y, ahora, el turno es para la automotriz. Pues bien, el Grupo Renault dio este gran paso en su senda hacia la transformación digital, siendo el primer creador de un metaverso industrial.

El fabricante francés se basa en cuatro dimensiones: recopilación masiva de datos, gemelos digitales de procesos, conexión del ecosistema Supply Chain y un conjunto de tecnologías avanzadas.



El Metaverse de Renault

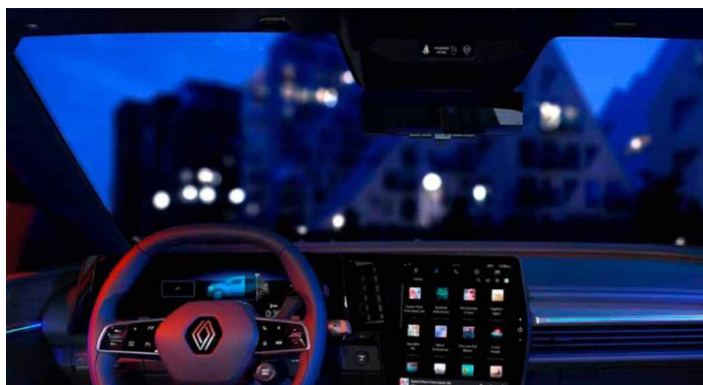
Actualmente, la compañía aloja en su Metaverse el 100% de los datos de la cadena de suministro.

Así mismo, el 100% de las líneas de producción se encuentran conectadas (8.500 equipos) y el 90% de los flujos de suministro se monitorean constantemente.

Lo anterior denota una franca réplica del mundo físico que se controla en tiempo real. Todo este desarrollo del Grupo Renault en tecnología digital ha desembocado en un ahorro de €780 millones.

La proyección de la compañía para 2025, con el tema digital, es que se presente un ahorro de €320 millones, más €260 millones en inventarios. Así como una reducción del 60% en el tiempo de entrega del vehículos y una reducción del 50% en la huella de carbono de la fabricación de los autos.

“Cada día se recopilan mil millones de datos dentro de los sitios industriales del Grupo Renault. El Metaverse proporciona supervisión en tiempo real que aumenta la agilidad y adaptabilidad de las operaciones industriales. Así como la calidad de la producción y la Supply Chain”, destacó José Vicente de los Mozos, EVP, grupo Industrial y Head of country Iberia.



### Las cuatro dimensiones del metaverso

De acuerdo con Renault, su Metaverse está basado en cuatro dimensiones. En primera medida los datos, los cuales se recopilan de manera masiva para alimentar el metaverso industrial y así mejorar el rendimiento del proceso de producción en tiempo real.

En segunda instancia está el modelado de activos físicos, que ahora cuentan con gemelos digitales. Es

decir, cada fábrica tiene su réplica en el mundo virtual. Así se pasa a la tercera dimensión: el ecosistema extendido, donde el uso de los gemelos digitales se enriquece con datos de proveedores, previsiones de ventas e información de calidad, entre otros.

El objetivo es que, a través de Inteligencia Artificial, se desarrollen escenarios predictivos. Y, finalmente, el Grupo Renault incluyó tecnologías avanzadas. En estas convergen todos los factores necesarios para ejecutar los gemelos digitales y sus ecosistemas “de una manera resiliente”.

Así pues, la unión de estas cuatro dimensiones constituye el Metaverse industrial de la compañía, el cual indica es completo, persistente y en tiempo real.

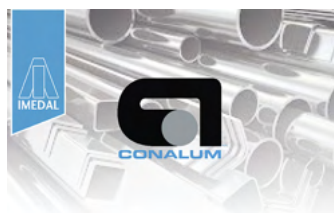


### Al servicio de los clientes

Grupo Renault afirma que la supervisión que ofrece su metaverso permite ganar agilidad y autonomía en la toma de decisiones. Por lo que algoritmos de Inteligencia Artificial facilitan la capacidad de sus empleados de anticiparse. Así como optimizar el flujo y las funciones de gestión para los expertos en Supply Chain.

“La madurez tecnológica del Grupo Renault permite a la compañía alcanzar un paso importante en su digitalización y transformación: el control de nuestros datos, la elección de tecnologías avanzadas y la experiencia de nuestros equipos son palancas para acelerar hacia una empresa tecnológica”, destacó Frédéric Vincent, EVP, sistemas de Información y Digital.

# EMPRESAS ASOCIADAS A IMEDAL





## Miembros Honorarios - Universidades y Centros de Investigación



# PERENNIAL



## EL PROVEEDOR DE ALUMINIO DE **VALOR AGREGADO** DE SU ELECCIÓN

Se formó una nueva compañía estadounidense a través de un (MBO) de Rusal América, propiedad de Brian Hesse y Andre Donets. También hemos formado una Entidad Mexicana en Monterrey, México para atender mejor a nuestra base de clientes en México. **PerenniAL** quiere ser su proveedor preferido de productos de valor agregado de aluminio en las Américas. Nuestra relación con los clientes, la experiencia, la capacidad de realizar transacciones internas y un historial comprobado nos convierten en su socio dominante!

### **PerenniAL**

800 Westchester Ave  
Suite S-308  
Rye Brook, NY 10573  
+1.914.670.5771

[info@theperennial-group.com](mailto:info@theperennial-group.com)

[www.theperennial-group.com](http://www.theperennial-group.com)



# Tendencias de desarrollo en las aleaciones termoendurecibles base aluminio



**Martha Alejandra  
Lomelí Pacheco**

## **Acerca del Autor –**

Licenciada en Ingeniería química (2004), Maestra en Metalurgia e Ingeniería de Materiales (2009) ambas por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.



**Dr. Jorge García  
Rocha**

## **Acerca del Autor –**

Ingeniero Metalurgista (1979) por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Maestro en Ingeniería Metalúrgica por el Instituto Politécnico Nacional (1983), Dr. en Física de Materiales por la Universidad de les Illes Balears (1998).



**Lorena Hernández  
Hernández**

## **Acerca del Autor –**

Licenciatura en Ingeniería química (2014), Maestra en Metalurgia e Ingeniería de Materiales (2018) ambas por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

## Abstract:

*El endurecimiento por envejecimiento es un proceso crucial en el desarrollo de aleaciones de aluminio para industrias como la aeroespacial, automotriz y de la construcción. La precipitación en estas aleaciones es compleja y está influenciada por diversos factores como temperatura, tiempo y composición química. Se forman diferentes fases en equilibrio, como  $\alpha+\theta$ ,  $\alpha+S$  o  $\alpha+S+T$ , cuya aparición depende de la temperatura de envejecimiento.*

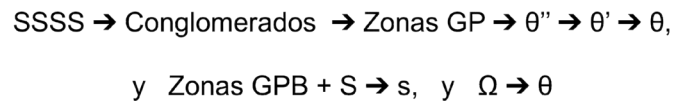
*Las técnicas de deformación plástica severa (SPD) han sido clave para producir microestructuras con grano ultrafino (MGU o UFG), incluso en aleaciones endurecidas por envejecimiento. Los tratamientos térmicos son esenciales para obtener propiedades deseadas, pero pueden causar cambios dimensionales indeseables. La investigación actual se enfoca en comprender los mecanismos de endurecimiento a nanoescala y en el desarrollo de nuevas aleaciones, como Al-Li de tercera generación y materiales compuestos de aluminio. Estos avances tienen el potencial de mejorar la resistencia, la formabilidad y la aplicación de las aleaciones de aluminio en diversas industrias.*

---

El endurecimiento por envejecido es uno de los más importantes mecanismos utilizados para el desarrollo de aleaciones de aluminio con aplicaciones en la industria aeroespacial, automotriz y de la construcción. Sin embargo, la precipitación en las aleaciones de nuestro preciado metal es un proceso complicado; la temperatura, el tiempo, la composición química, los elementos traza, la adición de microaleantes, entre otros factores, tienen una influencia significativa en la ruta de precipitación.

Las aleaciones ternarias de aluminio (ejemplo Al-Cu-Mg) dependiendo de su composición, pueden formar diferentes fases en equilibrio, sin embargo, frecuentemente se obtiene una de las siguientes fases:  $\alpha+\theta$ ,  $\alpha+S$  o  $\alpha+S+T$ , cada una con diferentes respuestas de envejecimiento. La descomposición de la solución

sólida sobresaturada (SSSS) sucede con el siguiente mecanismo:



Es importante recalcar, que la formación de fases anteriormente descritas no solo es consecuencia de la composición química si no que además esta fuertemente asociada a las temperaturas de envejecido, donde en la primera etapa de este se forman las zonas Guinier-Preston (GP), las cuales son regiones enriquecidas con soluto extremadamente finas (3-10 nm), que ofrecen obstrucciones físicas al movimiento de dislocaciones.

En la figura 1 a) y 1 b) se presentan micrografías de las zonas GP y precipitados y obtenidos en una aleación Al-Ag envejecida artificialmente. Posteriormente, las fases  $\theta'$  y  $\theta''$  son precipitados intermediarios metaestables. En una segunda etapa se forman las zonas GPB que representan una aglomeración de unidades subatómicas similares a varillas.

Con envejecidos prolongados a temperaturas específicas se induce la formación de la fase en equilibrio S. Finalmente, se forma la fase  $\Omega$  que es un precipitado con forma hexagonal. Las fases  $\theta$  y  $\Omega$  contienen la misma composición química pero diferente estructura cristalina [1].

Un avance importante en la ciencia moderna de materiales ha sido la aplicación de técnicas de deformación plástica severa (SPD, por sus siglas en idioma inglés) para producir microestructuras con grano ultrafino (MGU o UFG, por sus siglas en inglés) con un tamaño de grano promedio en el intervalo submicrométrico.

Una ventaja significativa de las técnicas SPD, es que se pueden aplicar a la mayoría de las aleaciones base Al de uso comercial, ya sea, endurecidas por precipitación o "envejecimiento" y aquellas no endurecidas por precipitación. El desarrollo de técnicas SPD para

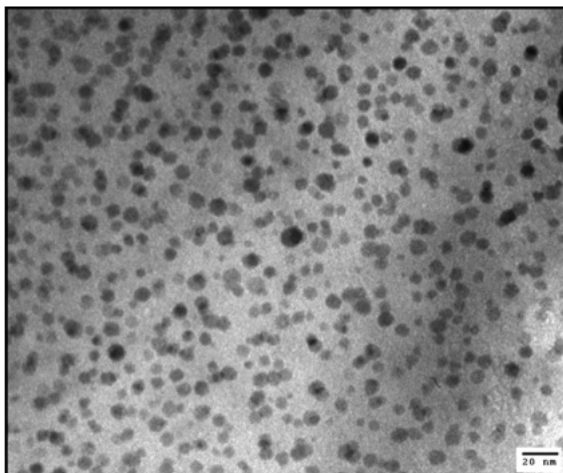
el procesamiento de aleaciones de aluminio con el objetivo de producir una microestructura con grano ultrafino, requiere tanto de juegos de dados de diseño especial, optimización de parámetros de proceso con respecto a la ruta de procesamiento, así como temperatura, presión aplicada y velocidades de deformación específicas [1].

Por solo mencionar algunos de los resultados, en las primeras investigaciones, donde se busca el máximo refinamiento de grano y un aumento de la resistencia en las aleaciones base Al, estas deben someterse a un tratamiento de solución sólida antes del procesamiento del SPD.

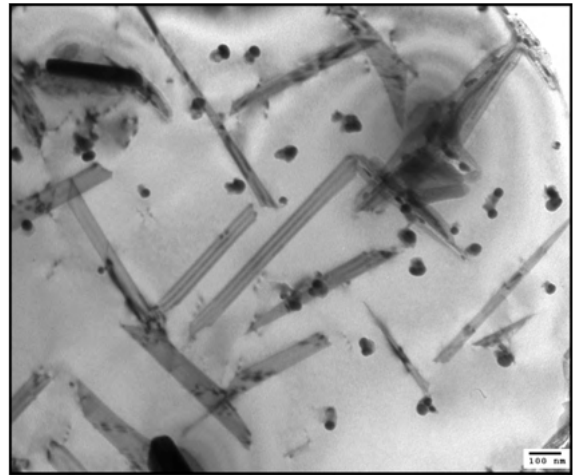
Sin embargo, también se ha reportado que el mayor refinamiento de grano en Al y sus aleaciones puede lograrse mediante el procesado HPT, obteniendo una microestructura con UFG con un tamaño de grano promedio de unos 100 nm, lo que conduce a un aumento de la resistencia en un factor de 2-2.5. Mediante HPT también es posible mejorar la resistencia de las aleaciones sometidas a un endurecimiento por envejecimiento.

En los primeros trabajos sobre el procesamiento ECAP de aleaciones base Al, una serie de características aparte de las rutas y el número de pasadas, pueden afectar la producción de aleaciones con UFG obtenidas por esta técnica, por ejemplo, las aleaciones endurecidas por envejecimiento muestran un aumento mucho más prominente de la resistencia después de ECAP que las no endurecibles, figura 1 c).

a).



b).



c).

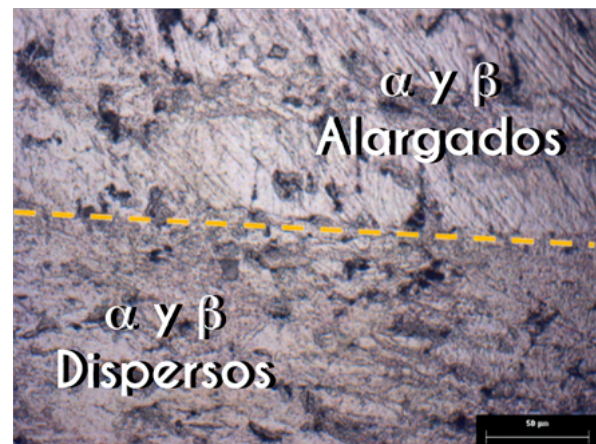


Figura 1. Micrografías de MET presentando las distintas fases en una aleación Al-8%Ag en el pico de dureza, envejecida a) 777600 s a 150 °C, Zonas GP, b) 86400 s a 200 °C, placas g'/g, c): Micrografía en MO de una aleación Al-7%Ag-3%Cu sometida a deformación plástica severa (3 pasos), por extrusión por canal angular constante (ECAP), se puede observar el cambio de trayectoria del flujo entre las dos franjas características. Intermetálicos  $\alpha$  [ $Al_{12}(FeMn)_3Si$ ] y  $\beta$  ( $AlFeSi$ ) [2-3].

Un aspecto importante en aplicaciones industriales de las aleaciones de aluminio es que durante el calentamiento y enfriamiento, los metales y sus aleaciones sufren cambios dimensionales durante los tratamientos térmicos de solubilización y templeado.

Como se ha mencionado anteriormente, los tratamientos térmicos son de suma importancia para obtener las propiedades deseadas y la calidad superficial adecuada; esta se considera la etapa

postratamiento más sensitiva ya que puede causar cambios dimensionales indeseables, los cuales pueden tener un origen mecánico; por ejemplo, esfuerzos residuales, o microestructural asociado con las transformaciones de fase en sus microconstituyentes o por la recristalización de la matriz rica en aluminio.

En ambos fenómenos influyen marcadamente los diferentes elementos aleantes que se han empleado comúnmente en el aluminio, pero habría que controlar las impurezas lo cual resulta actualmente costoso y complicado. De la misma forma, deberá ser objeto de estudio los diferentes refinantes de grano además del efecto de ciertos elementos como el Sc o Ce (que ya se aplican).

Con el avance de la tecnología, no sería de extrañar que se desarrollaran nuevas técnicas de caracterización de materiales (además de o mejorando las de difracción de rayos X, microscopía electrónica de transmisión de alta resolución, calorimetría diferencial de barrido, etc. por mencionar algunas, las cuales nos brindan información sobre la cinética y la termodinámica de la precipitación), que permitan en un futuro, comprender de forma completa y correcta los mecanismos de endurecimiento a esta escala nanométrica, debido una gran diversidad de fases metaestables y dispersoides así como el papel fundamental que juegan los defectos estructurales (por ejemplo las vacancias), los tratamientos térmicos no isotérmicos y los enfriamientos llamados en etapas.

La precipitación a nano escala es un área de oportunidad ya que esta "modalidad de precipitación" es actualmente uno de los procesos más utilizados para alcanzar las propiedades deseadas en las aleaciones, mediante la generación, por ejemplo, de lo que se conoce como conglomerados que se forman en las etapas iniciales, debido a las complejas transformaciones de fase en estado sólido que se presentan [4].

Una de las aleaciones más estudiadas es la Al-1.7Cu-0.3Mg encontrándose que al poseer pequeñas adiciones de plata y litio se obtiene un alto nivel

de endurecimiento. Al adicionar litio a contenidos mayores al 2.5 % at, se promueve la aparición de la fase  $\Omega$  (precipitados con morfología hexagonal), sin embargo, con adiciones de litio entre el 2.5 y 5 % at se promoverá la fase T1. Además, adiciones mayores de litio estimulan la precipitación de la fase  $\delta'(Al_3Li)$ .

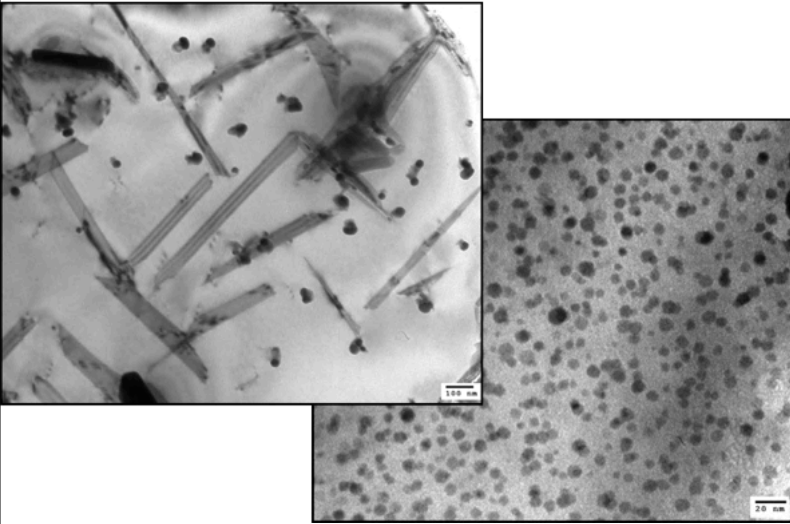
La caracterización por dispersión de energía de rayos X confirma que el magnesio y la plata están asociados a los precipitados T1 y se segregan con la interfaz T1/ $\alpha$ . La dispersión uniforme de la fase T1 puede ser similar que la de la fase  $\Omega$ , la cual tiene la misma composición que la fase  $\theta$  pero con diferente estructura cristalina (ortorrómbica centrada en las caras).

La tercera generación de aleaciones Al-Li proporciona no solo ahorro en peso, debido a la menor densidad, sino que también supera las desventajas de corrosión, fatiga, una buena combinación de resistencia y tenacidad, así como compatibilidad con técnicas de conformado termomecánico estándar.

En estudios recientes J. Ma [7] ha caracterizado e identificado unas nuevas zonas Guinier-Preston ricas en litio, en aleaciones envejecidas naturalmente por cinco meses, lo que podría ser una nueva senda para diseñar aleaciones Al-Li de alta resistencia, por medio de la modificación de la relación de Cu a Li y en este contexto, sí actualmente se emplean las aleaciones Al-Li de tercera generación, quizá en algunos años se empiece a desarrollar una cuarta generación de estas. Nuestro país tiene yacimientos importantes de ciertos minerales con litio y sería deseable que la aplicación de este elemento se diversificara más allá del de baterías de iones de litio.

Otra línea de investigación que se está siguiendo actualmente, es el uso de materiales compuestos base aluminio, por ejemplo, la utilización del  $ZrO_2$  en la AA 7075, o el reforzamiento de la AA 2024 con litio y nitruro de silicio con tendencia a su aplicación futura en las industrias automotriz y aeroespacial [6,7]. Por otro lado, no podemos dejar de considerar el uso del aluminio y sus aleaciones en la industria automotriz,

en la cual actualmente se utiliza la serie 5000 y 6000 pero se estima que en unos años la aleación 7075 incrementará su uso en porcentaje importante del orden de 16%. En todas ellas la formabilidad es un aspecto importante que considerar.



## Referencias:

1. Fundamentals of aluminium metallurgy (FAM), Production, processing and applications, chapters 12 and 16; and FAM: Recent advances, chapter 13, Edited by Roger Lumley, Woodhead Publishing Limited, 2011 and 2018.

2. Sergio E. Hernández Martínez, J. García Rocha, J. J. Cruz Rivera, J. L. Hernández Rivera, "Precipitation

hardening analysis of an Al-8%Ag alloy, Advanced Materials Research Vol. 976 (2014) pp 154-158, Trans Tech Publications, Switzerland.

3. Salazar Muñoz Verónica E., "Análisis estructural y microestructural de una aleación Al-7%Ag-3%Cu sometida a deformación plástica severa, por extrusión por canal angular constante, y envejecida artificialmente, Tesis de Maestría, Posgrado en Metalurgia e Ingeniería de Materiales, UASLP, 2015.

4. A. Deschamps, C. R. Hutchinson, Precipitation kinetics in metallic alloys: Experiments and modeling, Acta Materialia, vol. 220, 2021, 117338.

5. Hernández Martínez Sergio E., J. J. Cruz R, et al., "Comparative study of synthesis of AA 7075-ZrO<sub>2</sub> metal matrix composite by different mills, J. of Alloy and Comp. 643, (2015) S107-S113.

6. N. Parthipan G. Navaneethakrishnan et al. "Study on Al 2024, SiC and lithium metal matrix composites in heat treatment process", Materials today: Proceedings, vol. 69, Part 3, 2022, pp. 674-678

7. Juan Ma, Xiaochun Liu, Desheng Yan and Lijian Rong , "A novel GP-Li precursor and the correlated precipitation behaviors in Al-Cu-Li alloys with different Cu/Li ratio", Acta Materialia, Volume 243, 15 January 2023, 118442.



# Aplicación de la deformación severa en aleaciones de Aluminio



**José Luis  
Hernández-Rivera**

## **Acerca del Autor –**

El Dr. José Luis Hernández-Rivera es investigador comisionado al Instituto de Metalurgia de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí mediante el programa de Investigadores por México, es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I desde el 2014 y autor de 25 artículos científicos en revistas indexadas y arbitradas internacionalmente.



**Ana Claudia  
González-Castillo**

## **Acerca del Autor –**

La Dra. Ana Claudia González-Castillo es recién egresada del Doctorado Institucional en Ingeniería y Ciencia de Materiales de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y es autora de 4 artículos científicos indexados y arbitrados.

## Abstract:

*El presente estudio investiga el refinamiento del tamaño de grano en aleaciones de aluminio mediante la técnica de deformación severa, en particular, la extrusión en canal angular constante (ECAC). Se analizan dos enfoques principales para la formación de materiales nanoestructurados: el método "bottom-up", que implica el ensamblaje a partir de átomos o nanopartículas, y el método "top-down", que consiste en el refinamiento de la microestructura de materiales preexistentes. Se destacan varios procesos de deformación severa, como la molienda mecánica, la extrusión en canal angular constante (ECAC), la torsión a alta presión (HPT) y la laminación acumulativa (ARB).*

*Se presenta evidencia experimental, incluyendo imágenes de microscopía electrónica y de transmisión, que demuestran la fragmentación de granos y la formación de subgranos en aleaciones de aluminio procesadas por ECAC. Además, se emplean técnicas de simulación computacional, como el método del elemento finito (FEM), para analizar la relación entre la deformación aplicada y el tamaño resultante del grano. Los resultados sugieren que el ECAC es altamente efectivo en la reducción del tamaño de grano, lo que conlleva a mejoras en las propiedades mecánicas de los materiales. Se discuten las posibles aplicaciones industriales de estos materiales nanoestructurados, particularmente en la fabricación de componentes de alta resistencia para sectores como la industria automotriz y aeronáutica.*

---

## Introducción

Los materiales nanoestructurados son aquellos que poseen tamaños de grano por debajo de 100 nm [1]; estos materiales, han despertado un creciente interés en la actualidad debido a que sus propiedades mecánicas y físicas, son mejoradas al disminuir el tamaño de sus componentes microestructurales, especialmente en su tamaño de grano.

A lo largo del tiempo, se han empleado 2 principales metodologías para promover que los materiales puedan adquirir una microestructura en el tamaño mencionado, y así, poder llamarles materiales nanoestructurados.

La primera metodología está representada por el enfoque "bottom-up", mediante el cual, los materiales son ensamblados a partir de átomos o de grupos de nanopartículas. La segunda es denominada "top-down", la cual consiste en el refinamiento de la microestructura de un material que originalmente, tiene un tamaño de grano grande y éste es disminuido mediante la aplicación de procesos de fabricación en los que el material, es sometido a deformaciones reales mayores a 4 [2].

La deformación plástica, refina y disminuye el tamaño de grano mediante la creación de arreglos de dislocaciones, siendo una dislocación un defecto cristalino que normalmente se representa como un plano incompleto de átomos. Cuando un material es deformado plásticamente, la cantidad de estos defectos aumenta significativamente y comienzan a interactuar entre ellos.

Estas interacciones originan ciertos arreglos o combinaciones que tienen lugar en el interior de un grano, dividiéndolo en partes más pequeñas llamadas subgranos. Si la aplicación de la deformación plástica continúa, los subgranos que se originaron se dividen a su vez en otros subgranos más pequeños, y así, continúa este proceso hasta que el tamaño de grano ha alcanzado valores del orden de nanómetros.

En la literatura se han establecido varios procesos de deformación severa, mediante los cuales se pueden aplicar deformaciones muy altas, con el afán, de reducir el tamaño de grano de la microestructura; entre ellos se encuentran la molienda mecánica, la extrusión en canal angular constante (ECAC), la torsión a alta presión (HPT) y la laminación acumulativa (ARB) [3].

La diferencia fundamental entre un proceso de deformación severa y un proceso de formado plástico convencional (laminación, extrusión, forjado, etc.), es que en el primer grupo no existe un cambio en la forma de la pieza, mientras que en el segundo grupo la geometría cambia a medida que un material es procesado, como consecuencia, este hecho impone un límite en la máxima deformación que se puede aplicar en los procesos convencionales a diferencia de los procesos de deformación severa.

### Investigación acerca de la deformación severa en el aluminio

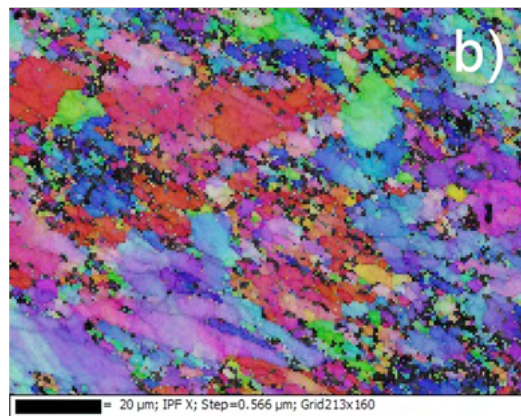
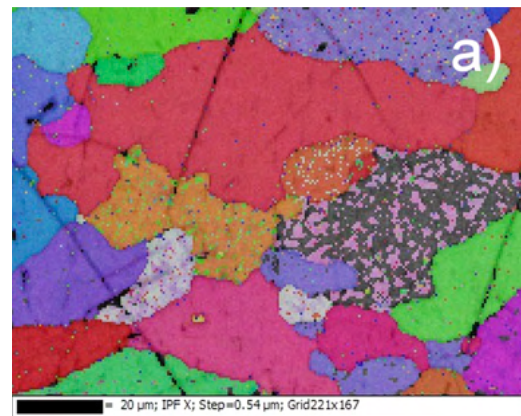
Es bien sabido, que algunas aleaciones de aluminio pueden ser endurecidas mediante la aplicación de tratamientos térmicos, y, también mediante la incorporación de elementos aleantes que forman una solución sólida con el aluminio.

No obstante, en años recientes, se ha aplicado el concepto de refinamiento de tamaño de grano mediante la aplicación de técnicas de deformación severa; particularmente, la técnica de ECAC ha sido estudiada en el grupo de investigación de uno de los autores de esta publicación (JLHR). Lo anterior, con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas.

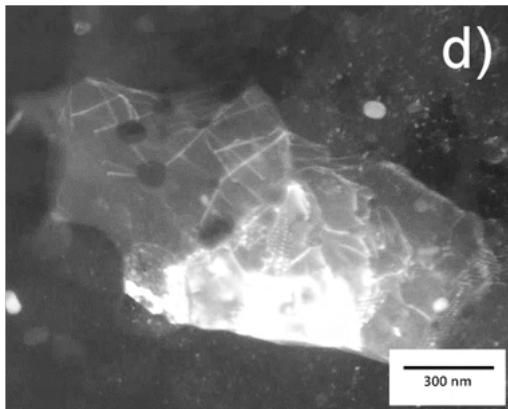
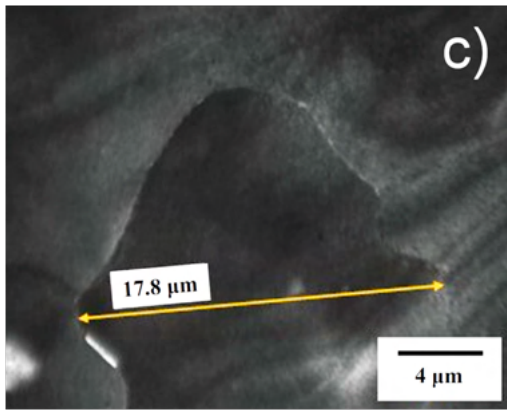
No solamente se ha demostrado la alta capacidad de refinamiento en el tamaño de grano de las aleaciones de aluminio, sino que también el proceso ECAC ha sido usado para consolidar (formar un material sólido a partir de polvos) materiales compuestos con matriz de aluminio y reforzados con partículas cerámicas [4].

En las Figs. 1a y 1b se muestran imágenes generadas mediante la técnica de difracción de electrones retrodispersados (EBSD), en las que se observa, la microestructura de una aleación 7075 de aluminio que fue procesada mediante 4 pasos de ECAC. Si se

comparan ambas imágenes, se puede notar como en la microestructura original (inciso a), los granos tienen un tamaño mayor que el material deformado (inciso b). En esta última imagen, se puede ver como los granos originales han comenzado su fragmentación a subgranos, conduciendo con esto, a una disminución de su tamaño.



Micrografías de microscopía electrónica de transmisión (TEM) se presentan en las Figs. 1c) y 1d); dichas imágenes, presentan evidencia de 1 grano en el material no deformado en el que no se encontraron interacciones entre dislocaciones (inciso c), y de cómo en el material procesado por 4 pasos, se observa un subgrano de dimensiones menores con dislocaciones interactuando en su interior (líneas delgadas brillantes en la micrografía del inciso d) [5].



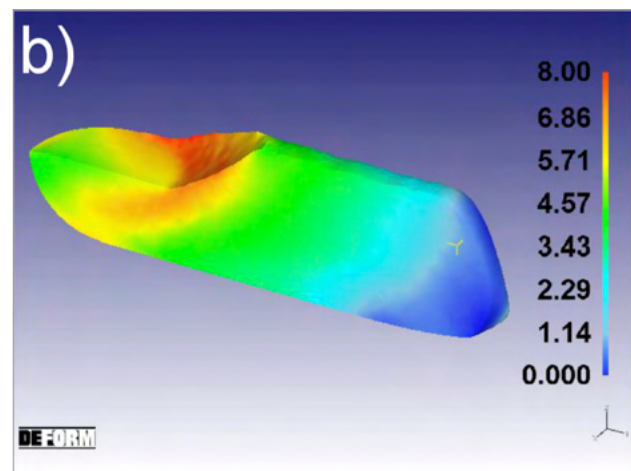
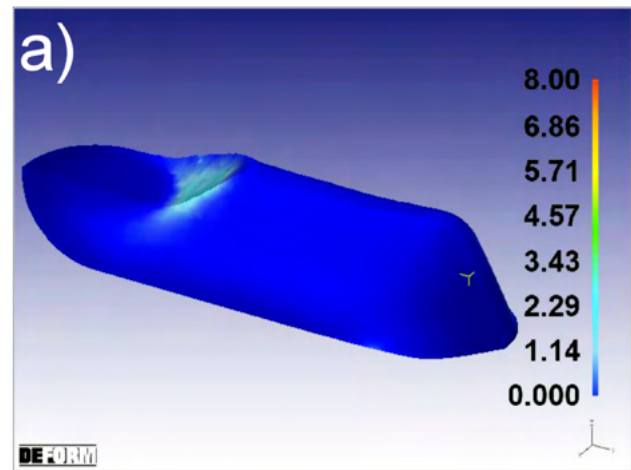
**Fig. 1 – Imágenes adquiridas mediante EBSD de los granos de una aleación de aluminio 7075, a) sin deformación, y b) deformada por 4 pasos de ECAC. Micrografías adquiridas mediante TEM, c) de un grano sin deformación, y d) de subgranos generados por la aplicación de 4 pasos de ECAC de la misma aleación 7075.**

En el desarrollo de las investigaciones realizadas, ha sido crucial la utilización de técnicas de simulación computacional para obtener datos cuantitativos que permitan correlacionar el nivel de deformación con el grado de disminución del tamaño de grano que se va obteniendo en la probeta a medida que ésta es procesada por ECAC.

En las Figs. 2a) y 2b), se presentan mapas de contorno obtenidos a partir de una simulación hecha mediante el método del elemento finito (FEM) de una pieza procesada por ECAC por 1 y 4 pasos, respectivamente.

El código de colores que se observa, significa el valor de la deformación que tiene el material de acuerdo a la escala que acompaña las imágenes. Se puede apreciar que para 1 paso de ECAC, el nivel de deformación es muy bajo en comparación con el obtenido para 4 pasos, condición en la que en promedio se alcanzan deformaciones reales de 4.5 y 5.2.

Los resultados de esta simulación, permiten tomar decisiones en cuanto al diseño de las dimensiones y geometría de las herramientas con las que el proceso se llevará a cabo de manera real y también permite conocer, las regiones de la muestra en las que se logrará el mayor refinamiento de grano.



**Fig. 2 – Mapas de contorno de la deformación real, obtenidos mediante simulación numérica por FEM, a) 1 paso y b) 4 pasos de ECAC**

Los resultados obtenidos hasta el momento con estas investigaciones, comprueban que el refinamiento de grano es evidente en las aleaciones de aluminio para 4 pasos de deformación por el método ECAC, motivando con esto, la extensión del análisis para mayores valores de deformación así como para evaluar la repercusión en las propiedades mecánicas que estos materiales exhibirán.

Finalmente, se puede mencionar que una de las aplicaciones potenciales de las geometrías producidas por el método de ECAE, en las aleaciones de aluminio investigadas, es en la producción de tornillos y/o pernos de alta resistencia mecánica usados de manera específica en la industria automotriz y aeronáutica.

## Referencias:

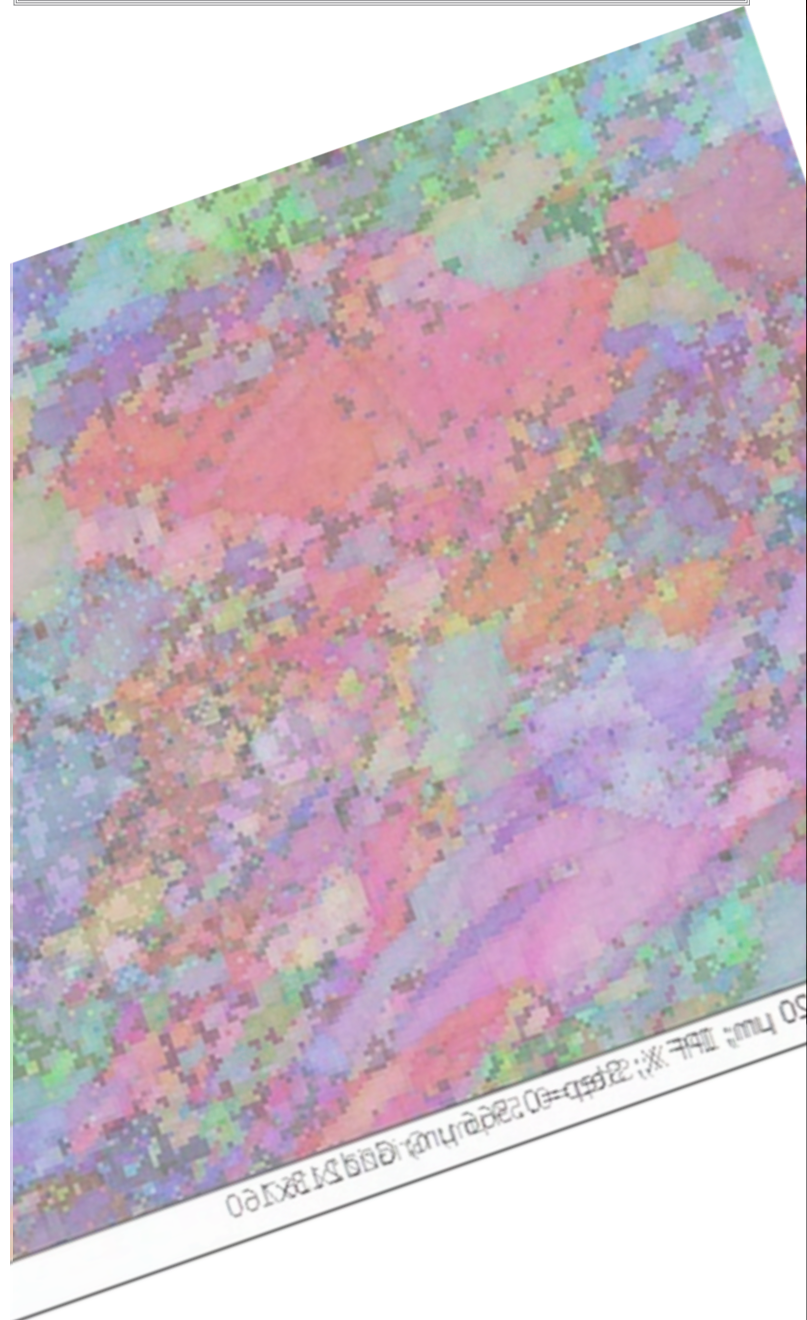
1. Ruslan Z. Valiev et al., Producing bulk ultrafine-grained materials by severe plastic deformation, *Journal of Metals*, 58, 2006, pp. 33-39

2.- Alexei Vinogradov et al., Analytical and numerical approaches to modelling severe plastic deformation, *Progress in Materials Science*, 95, 2018, pp. 172-242

3.- I. Sabirov, et al., Nanostructured aluminium alloys produced by severe plastic deformation: New horizons in development, *Materials Science & Engineering A*, 560, 2013, pp. 1-24

4.- S.E. Hernández-Martínez et al., Experimental and numerical analyses of the consolidation process of AA 7075–2 wt.% ZrO<sub>2</sub> powders by equal channel angular pressing, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 28, 2019, pp. 154-161

5.- P.J. Cerda-Vázquez, Simulación computacional de la deformación severa y la recristalización de una aleación de aluminio 7075 y su validación experimental, Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 2017.



**Estamos aquí:** en cada esfuerzo que dedicas para alcanzar tus objetivos, presentes en la energía que te permite seguir adelante.

**Estamos aquí, para brindarte soluciones que energizan tu vida y la sociedad.**



**estamos aquí**



**energiza  
la vida**

Viakable prolec Voltrak Qualtia BYD SA

# MIEZCLADO DE POLVOS DE ALUMINIO EN PROCESOS PULVIMETALÚRGICOS



**José Luis Ortiz**

## **Acerca del Autor**

Dr. José Luis Ortiz Rosales. Doctor en Ciencias Químicas por la Universidad Politécnica de Valencia, España.

Ha sido director de los Posgrados en Ingenierías y Tecnologías y Director de la Carrera de Ingeniería Mecánica del ITESM CQ.

[jlortiz@itesm.mx](mailto:jlortiz@itesm.mx)

## Abstract:

La fabricación de materiales pulvimetalúrgicos de aluminio es crucial en industrias como la aeronáutica y automotriz. La mezcla de polvos de aluminio, paso fundamental en el proceso, puede influir significativamente en las propiedades finales de los materiales compuestos. Las partículas pequeñas presentan desafíos debido a la aglomeración, que puede ser mitigada con tratamientos superficiales.

Las fuerzas de aglomeración incluyen atracciones de Van der Waals y condensación de vapores atmosféricos. La mezcla adecuada es esencial para evitar la segregación de partículas y lograr homogeneidad. Las velocidades y técnicas de mezclado deben ser cuidadosamente controladas para optimizar el proceso. La heterogeneidad de las mezclas se evalúa mediante varios métodos, incluido el análisis microscópico, y se puede cuantificar utilizando un Índice de Homogeneidad.

La fabricación de materiales pulvimetalúrgicos base aluminio, cada día gana mayor importancia debido a su incorporación en la industria aeronáutica y automotriz, entre otras.

La Figura 1 representa la secuencia típica de los procesos pulvimetalúrgicos. Puede incluirse además la fabricación de los polvos.

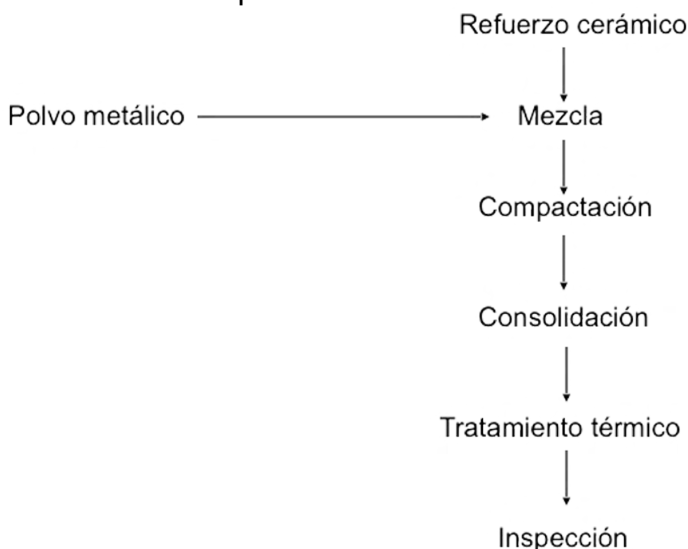


Figura 1. Secuencia de los procesos pulvimetalúrgicos.

En el proceso pulvimetalúrgico (P/M), después de producir los polvos, el siguiente paso consiste en mezclarlos<sup>1-3</sup> lo cual puede ser realizado en húmedo o en seco. Aunque este es un paso relativamente simple, la mezcla adecuada de los componentes repercute de forma determinante en las propiedades finales de los materiales compuestos.

La Figura 2 presenta polvos mezclados de una aleación de aluminio AA6061.

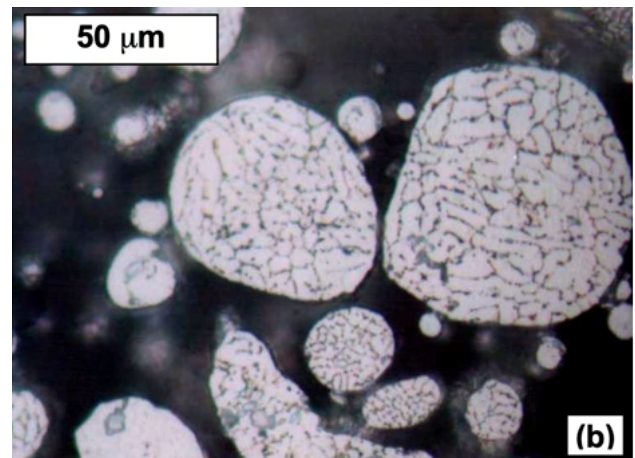
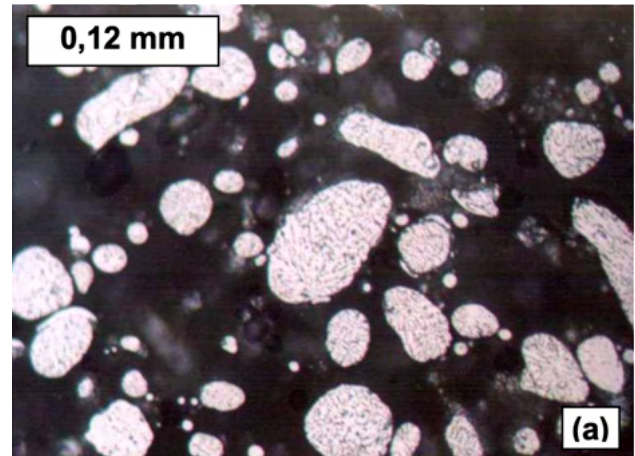


Figura 2: Fotomicrografías ópticas de polvos de aleación AA6061 después del mezclado.

Las partículas pequeñas, presentan dificultades en su procesamiento pulvimetalúrgico debido a la posibilidad de formación de aglomeraciones; cuando los tamaños de los polvos cubren distintos rangos de medidas, las partículas más finas presentan un efecto mucho más pegado a la formación de aglomeraciones.

nes que las partículas gruesas. Dichas aglomeraciones provocan que el proceso de mezcla, flujo y compactación sean más difícil.

El proceso de desaglomeración de polvos puede realizarse ya sea mediante molienda o por tratamientos superficiales; para partículas pequeñas, el mejor tratamiento consiste en crear fuerzas de repulsión entre ellas empleando recubrimientos delgados de moléculas polares.

El proceso de aglomeración se presenta como consecuencia de fuerzas débiles que comúnmente son de atracción de *Van der Waals*, cargas electrostáticas, enlace químico o fuerzas magnéticas. Las fuerzas de *Van der Waals* actúan en distancias del orden de 100 nm y son más significativas para partículas de tamaños menores a 0,05  $\mu\text{m}$ .

La aglomeración también puede producirse durante la mezcla, debido a la soldadura fría de las partículas. Una causa no controlada de esta, consiste en la condensación de los vapores atmosféricos (generalmente agua) sobre la superficie de los polvos.

La cantidad de agua absorbida dependerá de la humedad relativa y de la superficie de curvatura del polvo<sup>4</sup>. Posteriormente, el líquido condensado formará puentes localizados mediante capilaridad entre las partículas de contacto.

La resistencia de estas acumulaciones generalmente es baja, sin embargo, los esfuerzos efectivos son altos debido a que las fuerzas de aglomeración actúan en los puntos de contacto. Los esfuerzos de enlace resisten tanto el deslizamiento como la deformación debido a las fuerzas entre partículas en estos puntos<sup>5</sup>.

Una técnica sencilla de desaglomeración de polvos gruesos, consiste en molerlos ligeramente en una atmósfera seca ya que los pequeños impactos habitualmente logran romper las aglomeraciones estables. Por otro lado, los molinos que consisten en jarras con bolas, cilindros o barras son generalmente adecuados para diversas variedades de polvos.

La finalidad de dicho proceso es crear las suficientes fuerzas cortantes para romper las aglomeraciones evitando la fractura, deformación o el trabajo excesivo en los polvos de las partículas involucradas. La rapidez de desaglomeración varía con el número de colisiones por unidad de tiempo.

La mezcla de los polvos es necesaria tanto para preparar polvos del mismo tipo, combinar polvos para generar nuevas aleaciones durante la sinterización, añadir lubricantes para la compactación, así como para preparar mezclas homogéneas de polvos de diferente naturaleza.

Una de las principales razones para mezclar, es la reducción del proceso de segregación de las partículas como producto del almacenamiento y/o transporte. En un molino de bolas de laboratorio (Figura 3), el principal mecanismo de molienda es la difusión, existiendo además convección y corte.

Una mezcla difusional se presenta mediante el movimiento de las partículas dentro de toda la masa del polvo. El plano inclinado de la cama de polvos se va renovando continuamente provocando un flujo sobre la superficie; a su vez, el giro continuo del tambor provee al plano inclinado de polvo fresco, generando una mezcla difusional de las partículas.



Figura 3: Molinos de bolas de laboratorio y equipo motriz.

El volumen del polvo durante la mezcla determina la eficiencia de mezclado; cuando un mezclador se llena de polvo se inhibe el movimiento relativo de este. Un porcentaje relativo del 20 al 40% del polvo con respecto a la capacidad del molino generalmente es un intervalo óptimo para la mezcla<sup>6</sup>.

La velocidad angular también tiene un efecto marcado sobre la eficiencia de mezclado. Una rotación lenta, prolongará el tiempo necesario para alcanzar una mezcla adecuada y la caída libre acusada de los polvos bajo el efecto cascada, provocará un acomodo preferencial por tamaños y molienda por impacto mientras que una rotación rápida, impartirá una fuerza centrífuga al polvo que interferirá con su flujo.

La mejor mezcla se presenta cuando las fuerzas centrífugas son pequeñas, pero no tan bajas como para que la turbulencia se elimine.

Una velocidad angular deseable es aquella en la cual las fuerzas gravitacionales y centrífugas se encuentren balanceadas. La velocidad angular óptima  $N_o$  (en RPM) para un mezclador cilíndrico puede estimarse por medio de la siguiente ecuación<sup>7</sup>:

$$N_o = \frac{32}{\sqrt{d}} \quad (1)$$

Donde  $d$  es el diámetro interno del tambor giratorio en metros.

La velocidad de mezclado varía de acuerdo con la heterogeneidad de los polvos. Inicialmente se observa una mezcla rápida, pero este proceso disminuye aceleradamente de forma asintótica, de aquí que la mezcla no mejore con el tiempo, especialmente para las segregaciones de polvos.

Existen algunos aspectos negativos relativos a la mezcla de polvos. Las partículas metálicas pueden endurecerse con el movimiento prolongado, generando de esta forma una compactación más difícil.

Un ciclo de mezclado diseñado de forma inapropiada puede conducir a la segregación de las partículas que involucra generalmente más de un aspecto tal como forma, tamaño y densidades entre dos polvos diferentes. Este paso conlleva una excelente oportunidad para contaminar el material. De igual forma, se vuelve posible la atrición del polvo, lo que conduce a menores tamaños de partícula y generación de formas redondeadas debido a la acción prolongada del mezclado.

La importancia del tamaño de las partículas de refuerzo se ha investigado de manera profunda por *Hunt et al.* en Alcoa<sup>8</sup>. Se ha demostrado que, en materiales compuestos en matriz de aluminio reforzados con partículas, el desempeño óptimo requiere de una adecuada selección de la relación de tamaños de partícula del refuerzo y del metal.

Afortunadamente, una vez determinada esta relación, esta puede especificarse en los Al-MMCs reforzados con partículas. Por ejemplo, de acuerdo con los resultados obtenidos por *Cebulak*<sup>9</sup> para mezclas con 15%v de SiC<sub>p</sub>, la relación de tamaños entre refuerzo y matriz que proporciona una combinación resistencia-tenacidad a la fractura mayor es 0,33:1.

## HETEROGENEIDAD DE LAS MEZCLAS<sup>10</sup>

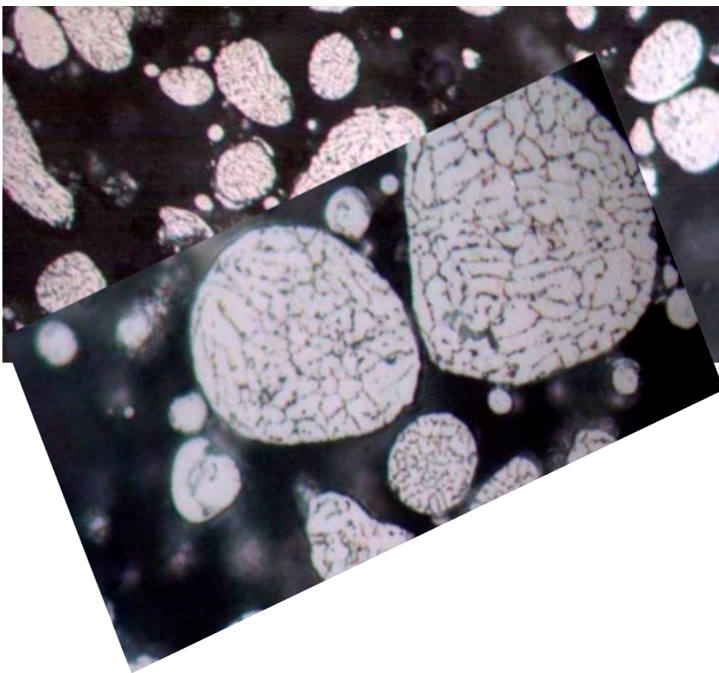
El grado de heterogeneidad de las mezclas se determina por medio de la variación composicional entre varios puntos del sistema; aunque otras formas de medir la uniformidad consisten en determinar variaciones de densidades, capacidades caloríficas, conductividades eléctricas, entre otras, también puede llevarse a cabo mediante análisis microscópico.

Existen tres niveles de heterogeneidad, que van desde el máximo, el cual puede ser identificado cuando los constituyentes se encuentran estratificados (segregación a gran escala) pasando por un estado intermedio de aglomeraciones de partículas que exhiben una homogeneización parcial hasta llegar al estado ideal de una estructura homogéneamente dispersa.

Puede determinarse un Índice de Homogeneidad (M) de la mezcla, basado en la desviación estándar de la concentración del polvo entre muestras  $S^2$ , la desviación estándar preestablecida para un mezclado perfecto en muestras aleatorias  $S_r^2$  y la desviación estándar inicial de la muestra segregada  $S_o^2$ .

$$M = \frac{S_o^2 - S^2}{S_o^2 - S_r^2} \quad (2)$$

En esta ecuación, el Índice de Homogeneidad varía de 0 a 1, donde 1 representa a una mezcla homogénea. La precisión en los cálculos varía con la raíz cuadrada del número de muestras tomadas para calcular la desviación estándar.



## Referencias:

1. M.H. Cooke, D.J. Stephens y J. Bridgwater, Powder Mixing, A Literature Survey, Powder Technology, 15 (1976), pp. 1-20.

2. K. Kendall, Agglomerate Strength, Powder Metallurgy, 31 (1988) pp. 28-31.

3. N.G. Stanley-Wood, Size Enlargement en Principles of Powder Metallurgy, Ed. por M.J. Rhodes, John Wiley and Sons, New York (1990), pp. 193-226.

4. R.M. German, Powder Metallurgy Science, 2nd. Ed. MPIF (1994) p. 161.

5. K.S. Hwang, R.M. German y F.V. Lenel, Capillary Forces Between Spheres During Agglomeration and Liquid Phase Sintering, Metallurgical Transactions, 18A (1989), pp. 11-17.

6. R.M. German, Powder Metallurgy Science, MPIF (1994), p. 172.

7. Ibíd., p. 174.

8. W.H. Hunt, Jr., C.R. Cook, K.P. Armanie y T.B. Garganus en Powder Metallurgy Composites, Ed. por: P. Kumar, A. Ritter y K. Vedula, The Metallurgical Society, Warrendale, PA (1991).

9. S. Cebulak en International Encyclopedia of Composites, vol. 4, Ed. por S.M. Lee, VCH, New York (1990), p. 384.

10. R.M. German, Powder Metallurgy Science, MPIF (1994), pp. 176-177.

# DOMINAR LA DISTORSIÓN: ENDEREZAMIENTO 3D INTELIGENTE DE GRANDES PIEZAS FUNDIDAS



## Martin Hartlieb

### Acerca del Autor

Experto de aluminio con más de 25 años de experiencia en la industria. Fundador y gerente de Viami International Inc.  
[martin.hartlieb@viami.ca](mailto:martin.hartlieb@viami.ca)



## Philipp Hettich

### Acerca del Autor

Tiene 20 años de experiencia profesional relevante, es gerente de ventas global y gerente de la filial del Laubinger & Rickmann en EUA, el líder de la industria de sistemas de enderezado automáticos y semiautomáticos para piezas fundidas y extruidas.  
[Hettich@lr-q.com](mailto:Hettich@lr-q.com)

## Abstract:

*La demanda de piezas fundidas de aluminio en la industria automotriz está en aumento, especialmente para componentes grandes y complejos que integran múltiples funciones en una sola pieza. Sin embargo, el tratamiento térmico y el enderezamiento de estas piezas presenta desafíos significativos, como la distorsión y la necesidad de tolerancias estrechas. Los procesos manuales de enderezamiento son costosos y consumen mucho tiempo, por lo que los sistemas automáticos e inteligentes están ganando terreno. Estos sistemas utilizan algoritmos de autoaprendizaje para adaptarse y lograr resultados precisos, reduciendo el tiempo de ciclo y mejorando la eficiencia en la producción de piezas fundidas grandes y complejas.*

---

## INTRODUCCIÓN

Para piezas grandes y complejas en la industria automotriz se utilizan cada vez más piezas fundidas de aluminio. Estas permiten producir componentes grandes y muy complejos, integrando diferentes piezas y funciones en una sola pieza fundida, reduciendo así el costo y complejidad de los montajes. Además, el crecimiento rápido de la electrificación de los vehículos está cambiando el mercado de las piezas fundidas aún más, reduciendo el volumen de las piezas tradicionales del tren motriz y siendo aumentando en aplicaciones dentro de las estructuras de vehículos, piezas de chasis, travesaños, cajas de baterías, etc.

Precisamente esas piezas nuevas, que requieren tolerancias estrechas y propiedades mecánicas elevadas para mejorar la resistencia a los impactos, plantean ahora nuevos desafíos para los proveedores de piezas fundidas: (1) Expulsión de piezas fundidas tan grandes del molde, así como (2) tratamiento térmico y, en especial el temple (enfriamiento rápido para lograr las propiedades requeridas) es a menudo inevitable, lo que puede distorsionar fácilmente las piezas fundidas.<sup>1</sup>

Incluso cuando los tratamientos térmicos se evitan por completo mediante el uso de aleaciones de envejecimiento natural o cuando un simple T5 es suficiente, las piezas estructurales grandes generalmente no pueden cumplir con los requisitos de tolerancia estrictos y, por lo tanto, requieren un enderezamiento.

A menudo los procesos convencionales como el enderezamiento manual ya no son suficientes para dominar esas distorsiones y simplemente no son factibles en piezas fundidas muy grandes. Los procesos manuales y semiautomáticos de enderezado de piezas grandes y complejas suelen consumir mucho tiempo y resultan costosos; además pueden crear fácilmente otros problemas en las piezas y contribuir a tasas de rechazo más altas. Los sistemas de enderezamiento automáticos e inteligentes que se adaptan a través de algoritmos de autoaprendizaje (Inteligencia Artificial - IA) son, por lo tanto, cada vez más la solución para los fundidores ya que permiten la producción económica de piezas fundidas grandes y complejas con altas propiedades mecánicas y tolerancias estrictas.

## DISTORSIÓN EN PIEZAS FUNDIDAS

En la fundición de aluminio, la distorsión ocurre típicamente cuando la pieza está fundida y sale del molde, cuando se calienta, y estando a alta temperatura se enfría rápidamente:

- Esta se presenta durante el proceso de fundición (en el molde/máquina de fundición a presión), por ejemplo, debido a:
  - pegado/soldadura de la pieza/defectos en la superficie del molde
  - sistemas de alimentación inadecuados
  - solidificación desequilibrada, tensiones residuales
- También puede ocurrir durante la eyección/extracción,<sup>2</sup> p. ej. debido a:
  - fuerzas de eyección desiguales
  - ángulos de desmoldeo insuficientes

De igual forma puede ocurrir durante:

- El tratamiento térmico (cuando está caliente y, por lo tanto, blando), específicamente cuando la temperatura de solución es más alta y se calientan las piezas fundidas más rápido a la temperatura de solución.
- Especialmente durante el temple (cuando el enfriamiento es más rápido, por ejemplo, con agua, la distorsión de la pieza es mayor).<sup>3</sup>

Así como puede ocurrir en procesos posteriores como aserrado, mecanizado, y soldadura.

El enfriamiento rápido y eficiente después de la expulsión de el molde o del tratamiento térmico de solución, puede ser muy crítico para lograr altas propiedades mecánicas. Este suele ser el mayor factor que contribuye a la distorsión, especialmente cuando el enfriamiento no es homogéneo.

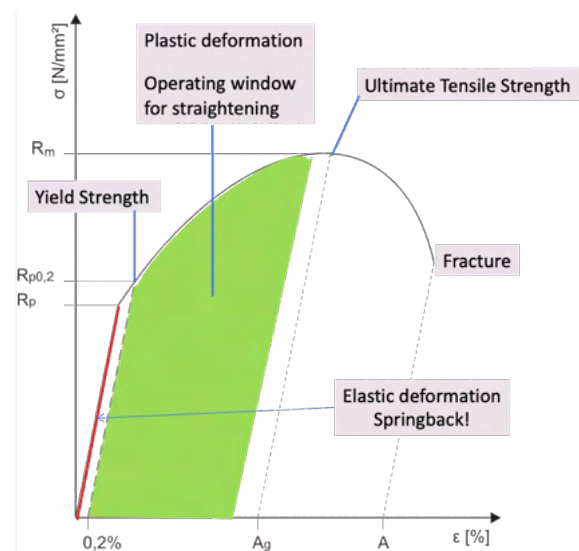
Buscamos una “tasa de enfriamiento óptima” que dará el mejor compromiso entre las propiedades mecánicas deseadas y la distorsión permitida. Sin embargo, en muchos casos, es muy difícil encontrar este compromiso, y es poco probable que los clientes estén dispuestos a ceder en propiedades o tolerancias, por lo cual se debe encontrar una solución para manejar y dominar las distorsiones.

Para controlar y minimizar lo anteriormente descrito, se han realizado avances y mejoras técnicas respecto a la simulación del proceso<sup>4</sup> (y de la pieza), hornos de tratamiento térmico mejorados, soportes adecuados durante el tratamiento térmico, nuevas técnicas de temple, así como su temperatura y agitación. Desafortunadamente todos estos son insuficientes para cumplir con todas las propiedades y los requisitos de tolerancia. Por lo tanto, las innovaciones en el enderezado de las piezas fundidas se están implementando cada vez más en las plantas de fundición y ensamblaje.

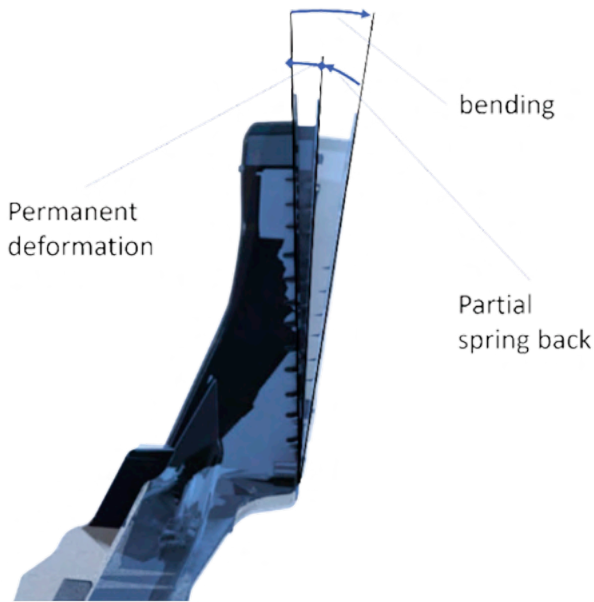
## FUNDAMENTOS DEL ENDEREZAMIENTO

Enderezar significa la corrección de la distorsión con deformación plástica de una pieza para devolverla a su forma y tolerancias previstas; es decir que una sección de una pieza es empujada más allá de la deformación elástica (que simplemente retrocede) pero claramente por debajo de su resistencia a la tracción. Es importante compensar el retroceso elástico básicamente a través de la “flexión excesiva” de una pieza fundida, lo que significa que se dobla más de lo necesario para que tenga la forma y la tolerancia correctas, y solo llegará allí una vez que esté bien “saltado hacia atrás”.

Como esta recuperación elástica no siempre es idéntica (y tampoco lo es la distorsión de la pieza), este proceso de doblado (enderezamiento) a veces debe repetirse varias veces, puntualmente en el proceso de enderezamiento manual o semiautomático. Esto hace que sea casi imposible simplemente enderezar una pieza fundida grande con sistemas de enderezado que utilizan parámetros fijos, como una prensa de recorte con un solo paso de prensado.



**Figuras 1 y 2: Diagrama de tensión-deformación que muestra la ventana de operación para enderezar y un ejemplo práctico**



Según la especificación individual y el tipo de distorsión, se pueden aplicar diferentes técnicas de enderezamiento:

- Enderezamiento global (general, la pieza entera)
- Enderezamiento local
- Enderezamiento de puntos de referencia/datos

El enderezamiento global es importante para corregir distorsiones generales de la pieza, como la torsión o una flexión completa de toda la pieza, o de un gran segmento de ella. Por el contrario, el enderezado local se refiere principalmente a superficies de unión, superficies de sellado o áreas críticas para la función donde se requiere un trazo de enderezado muy específico.

El enderezamiento de un punto de referencia alude a una técnica especial que logra un efecto general en la pieza mediante la aplicación de fuerzas locales. En esta técnica, el área alrededor del punto de referencia, (¡nunca un punto de referencia en sí mismo!) se deforma localmente con el objetivo de cambiar la posición relativa de este con respecto a otros puntos de medición. Esta forma mixta es especialmente importante cuando es más efectivo manipular un punto de referencia en lugar de orientar muchos

puntos de medición con respecto a un punto de referencia.

Además, se puede distinguir entre enderezar por:

- flexión
- presionando
- enderezamiento torsional

En cualquier caso, las zonas de la pieza fundida que no se van a corregir deben permanecer siempre por debajo del límite de deformación elástica durante cualquier proceso de enderezado. Por lo tanto, el soporte y manejo adecuados de toda la fundición en todo momento durante el proceso de enderezado es clave, lo que hace que sea muy difícil enderezar piezas fundidas estructurales complejas con un solo operador o incluso con un robot, y un sistema más sofisticado ofrece ventajas significativas (y a menudo puede ser la única solución posible).

## ENDEREZAMIENTO DE PIEZAS FUNDIDAS

En las piezas fundidas, especialmente en las grandes, la distorsión generalmente no ocurre solo en una sección y una dirección, por lo que frecuentemente se tiene que enderezar progresivamente en una serie de operaciones (incrementales) de doblado, rotación y prensado en varias secciones más cortas y la pieza necesita estar bien apoyada para evitar pandeos.

Cada uno de ellos puede volver a causar cierta distorsión en otras secciones de la pieza de fundición, lo que hace evidente que esto se está convirtiendo rápidamente en un proceso complejo que requiere muchos ajustes y precisión. Usar la segmentación correcta de la pieza puede ser vital para lograr el enderezamiento deseado:

Es necesario conocer la gama completa de posibles distorsiones de la pieza y su comportamiento. Solo entonces, en combinación con la segmenta-

ción correcta y una combinación ideal de técnicas de enderezamiento, se puede lograr el “movimiento simultáneo de enderezamiento perfecto”, en el que todos los pasos individuales incrementales se ejecutan paralelamente para obtener una pieza dentro de las especificaciones de tolerancia en un tiempo de ciclo mínimo con un solo trazo de enderezado.

También es necesario determinar qué tolerancias realmente se deben alcanzar mediante el enderezado y cuáles se pueden alcanzar posteriormente mediante el mecanizado de ciertas áreas de la pieza fundida.

En ciertos casos, una distorsión posterior, p. ej. en el proceso de soldadura, se puede anticipar y corregir mediante un “enderezamiento excesivo” de antemano, de modo que el proceso de unión básicamente distorsione la pieza en su forma y tolerancia previstas.

Otro elemento al que se debe prestar atención para enderezar las piezas fundidas es el hecho de que los moldes de fundición cambian con el tiempo, lo que puede tener un impacto significativo en la forma exacta y las tolerancias en las piezas e incluso pequeños cambios en el proceso pueden provocar variaciones en las tensiones residuales en la pieza o alteraciones en su forma y tolerancias.

## **SISTEMAS DE ENDEREZAMIENTO AUTOMÁTICO**

Los sistemas inteligentes de enderezamiento automático son muy complejos, requieren ingeniería e inversión significativas, ¡pero pueden valer la pena! Especialmente cuando el fundidor no necesita comprometer las características del material y al mismo tiempo puede ahorrar dinero cuando se vuelve obsoleto para optimizar cada paso y así reducir la distorsión.

Estos sistemas utilizan fuerzas sincronizadas en la parte donde y cuando se requiere, para asegurar resultados locales y generales. El sistema contrarres-

tará de inmediato una deformación no deseada en un área de la pieza, aplicando una fuerza contraria en el lugar correcto, trabajando con la pieza y no contra ella. Estos sistemas pueden aprender y optimizar el proceso de enderezamiento por sí mismos, logrando resultados que de otro modo serían imposibles de obtener.

El procedimiento básico del enderezamiento automático es como el del enderezamiento manual. La pieza se mide, se endereza y se vuelve a medir para determinar el resultado obtenido. Esto se repite, si es necesario, hasta que la pieza esté completamente dentro de la tolerancia. Al evaluar los efectos del enderezado anteriores y aprender de ellos, la máquina es capaz de minimizar el tiempo necesario para dicho proceso.

Para una medición precisa de la pieza, es vital un soporte adecuado en ubicaciones bien definidas. Instintivamente, uno apoyaría la pieza de fundición en puntos de referencia, pero esto podría influir la posición relativa de los puntos cero y otros puntos de medición debido a la gravedad, lo que haría que todas las demás mediciones en la pieza fueran incorrectas y llevaría a una suposición básica equívoca para el enderezado de la pieza. Además, expone estos puntos elementales al riesgo de daños mecánicos.

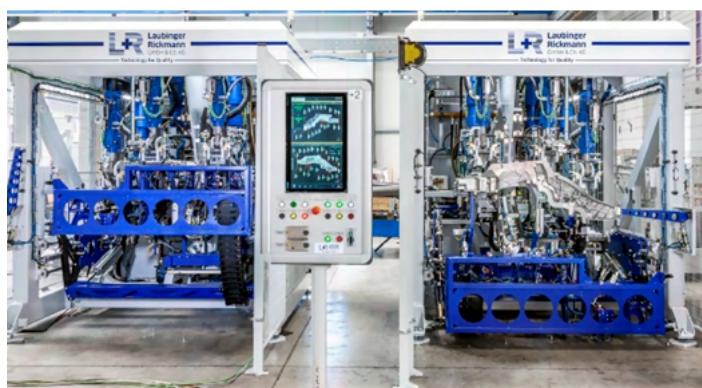
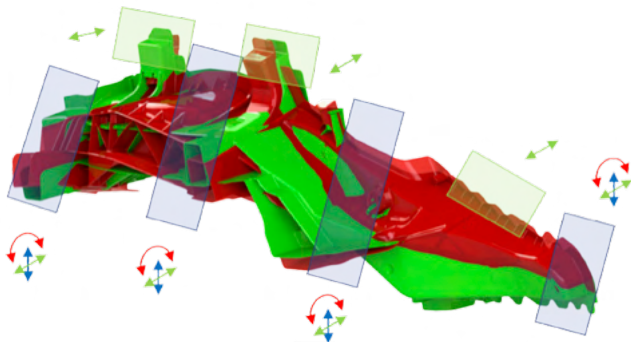
Por lo tanto, la clave es crear un estado de bloqueo forzado de la pieza y luego determinar los puntos de referencia (protegidos) mediante la medición. En fracciones de segundo, a partir de esta determinación de la posición de la pieza en el espacio, los demás valores medidos de la superficie se transforman matemáticamente para obtener una imagen virtual completa de la pieza y sus distorsiones.

La medición en sí generalmente se realiza de forma táctil (para máxima velocidad y precisión) y, en casos excepcionales, con sensores láser (por ejemplo, para la planitud de las superficies). Basándose en la medida de entrada y el modelo virtual resultante, la máquina

lo compara con la pieza del modelo CAD y decide qué elementos de enderezamiento (y qué unidades de la máquina) se utilizarán y en qué medida.

Es comprensible que el número y la posición de estos elementos de enderezamiento en la máquina sean cruciales para un procedimiento exitoso. Para que esta tome las acciones correctas, se debe combinar la experiencia de las piezas recibidas, medidas (incluyendo todas las deformaciones posibles) así como la experiencia de enderezarlas para poder determinar la segmentación de la pieza y configurar las herramientas para las técnicas de enderezado correspondientes (locales, globales o de desplazamiento del punto de referencia).

Para conseguir esto, un sistema de enderezamiento 3D tiene tres grados de libertad: Y, Z y torsión alrededor del eje X.



**Figuras 3 y 4: Miembro longitudinal con ubicaciones de enderezamiento específicas y herramientas para las técnicas relevantes (verde = alisado local, azul = alisado total) y el respectivo sistema de alisado)**

El enderezamiento en cada elemento en sí está controlado por la distancia y no por la fuerza, ya que esto, en combinación con la medición repetida (en línea) del efecto, permite determinar los componentes plásticos y elásticos de la deformación aplicada.

Después de cada ciclo de este proceso (medición - enderezamiento - medición) el software crea un registro de todos los puntos y parámetros de enderezamiento: combinación de unidades de enderezamiento, trayectoria de enderezamiento, número y efecto de cada trazo de enderezamiento, etc. Esto permite al fundidor sacar conclusiones adicionales sobre el proceso de fabricación con respecto a su impacto en las tolerancias de la pieza, pero, también con respecto a los cambios en las características del material (cambio en las propiedades/tensiones residuales/etc.).

La Figura 4 muestra el sistema de enderezamiento para nuestro ejemplo de un miembro longitudinal. Los tiempos de ciclo típicos están en el rango de 40 a 150 segundos, dependiendo de la calidad entrante y la complejidad de la pieza. Dichos sistemas solo requieren 1 operador para 2 a 4 sistemas.

Se puede integrar un sistema en una línea de producción y las piezas se cargan y descargan automáticamente (por ejemplo, con robots), de modo que solamente se requiere un operador para configurar una nueva pieza. En comparación con los sistemas manuales o semiautomáticos, los sistemas automáticos pueden reducir significativamente el espacio necesario y provocar muy poco tiempo de inactividad (falta de tiempo).

Se distinguen por su excelente precisión, calidad y repetibilidad. Sin esos sistemas, muchas de esas piezas fundidas complejas como piezas estructurales de chasis, miembros longitudinales, cajas de batería, etc, no podrían producirse de manera competitiva con los procesos tradicionales de fundición de aluminio.

## CONCLUSIONES

Las fundiciones de aluminio estructural han visto un crecimiento significativo en la industria automotriz en las últimas 2 décadas y ahora se está acelerando con la electrificación de los vehículos. Las piezas nuevas, como las estructuras completas de la carrocería delantera, trasera, o bien las cajas de las baterías, se pueden fabricar idealmente con piezas fundidas grandes y complejas. Para cumplir con las propiedades y los objetivos de tolerancia/dimensionales, las piezas fundidas requieren cada vez más operaciones de enderezado extensas.

Como las distorsiones pueden variar significativamente de una pieza a otra y el enderezamiento manual o semiautomático puede ser muy difícil, lento y costoso, se han desarrollado nuevos sistemas de enderezamiento automático y su implementación en la industria de la fundición va en aumento.

Estos sistemas inteligentes se ajustan a distorsiones variables e incluso pueden alertar al operador si algo en el molde o el proceso de fundición (o tratamiento térmico) está cambiando y requiere ajustes o una reparación. Estos sistemas reducen el espacio requerido, la mano de obra y ofrecen una alta disponibilidad técnica con un tiempo de ciclo muy bajo. Con eso, los fundidores pueden cumplir con los requisitos de propiedades mecánicas y requisitos de tolerancia muy estrictos, lo que les permite producir esas piezas nuevas de manera competitiva y penetrar este mercado de rápido crecimiento con piezas fundidas de aluminio de alto valor agregado.

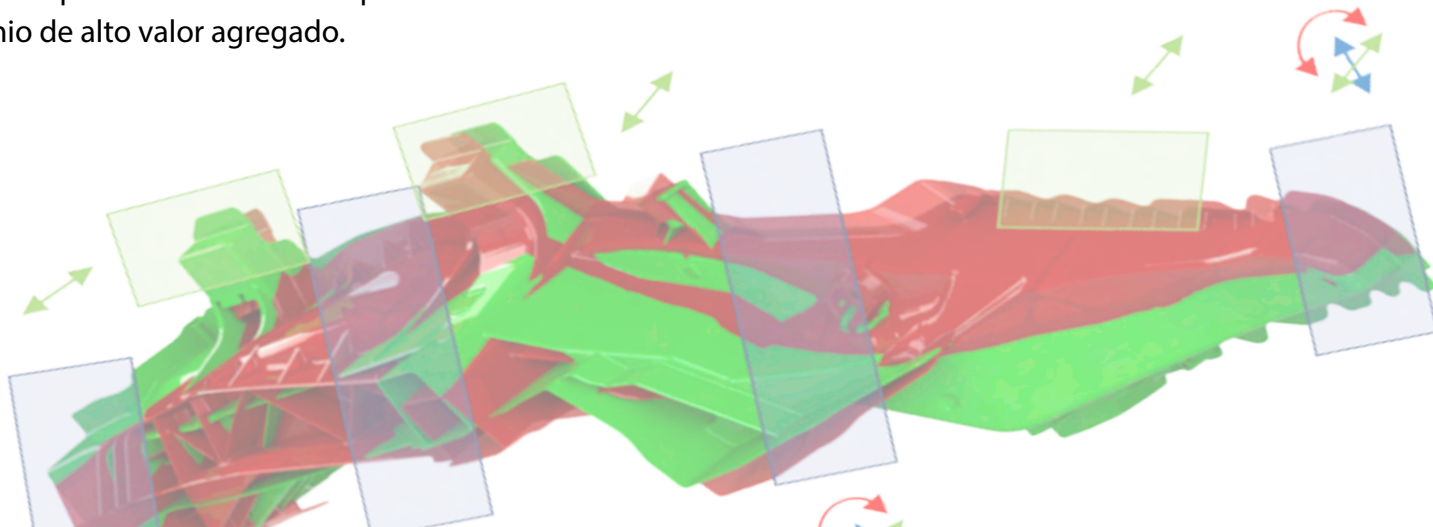
## Referencias:

<sup>1</sup> Wiesner, S, Kniewallner, L, Miller, R, "Aluminum HP-DC Alloys with High Conductivity", NADCA Transactions 2021

<sup>2</sup> Schnur, M, Whealy, G, Mussler, P, Hartlieb, M, "Challenges and Innovations in Die Cast Tooling", NADCA Transactions 2017

<sup>3</sup> Amiotte, C, Desrosiers, S, Beaulieu, S, Hartlieb, M, "Heat Treatment of Structural High Integrity Die Castings", NADCA Transactions 2015

<sup>4</sup> Kalkunte, B., Sholapurwalla, A, Valente, L, Viscandi, C, "Predict and Control of Final Casting Shape through Virtual Dimensional Inspection", Die Casting Engineer, July 2021, p 12-15 and Gaddam, D, Jesper, T, "Integrated Modelling of Deformations and Stresses in the Die Casting and Heat Treatment Process Chain", NADCA Transactions 2019, and Bramann, H, Leineweber, L, Sturm, J, Gaddam, D, "Innovative Product Design and Robust Layout in Die Casting with autonomous Engineering", NADCA Transactions 2018



# Almexa

**ALMEXA** es la empresa número uno en producción de Aluminio plano en Hispanoamérica con más de 78 años de experiencia.

Participa principalmente en 4 segmentos comerciales:

**AUTOMOTRIZ, CONSTRUCCIÓN, ENSERES DOMÉSTICOS y AIRE ACONDICIONADO.**

Produce más de **50,000 MT anuales en 2 plantas** en zona metropolitana y próximamente inaugurará una nueva planta en Veracruz con una capacidad de **90,000 MT anuales.**

Desarrolla productos con una baja huella de carbono utilizando los lingotes de aluminio más verdes del mundo al igual que aluminio reciclado y cuenta con certificaciones de calidad líderes en la industria **incluyendo: IATF 16949, ISO 9001 e Industria Limpia.**



■ **No. 1**  
En **ALUMINIO**  
Plano de  
**Hispanoamérica**

VENTAS [ventas@almexa.com.mx](mailto:ventas@almexa.com.mx)

Tel 55 11658500

[www.almexa.com.mx](http://www.almexa.com.mx)



**José Luis Ortiz**

## **Acerca del Autor**

Dr. José Luis Ortiz Rosales. Doctor en Ciencias Químicas por la Universidad Politécnica de Valencia, España.

Ha sido director de los Posgrados en Ingenierías y Tecnologías y Director de la Carrera de Ingeniería Mecánica del ITESM CQ.

jlortiz@itesm.mx

En una de sus múltiples ponencias a la que acudió un amplio grupo de psiquiatras, el Sr. Jim Rohn aseveró conocer lo que causa el mayor daño que sufren las mentes de los hombres.



Algunos preguntaron incrédulos: ¿Cree saberlo Sr. Rohn? ¿Qué es lo que más daña la mente de los hombres?

El gran filósofo contestó:

Creo saberlo: lo que causa el mayor daño a la mente de los hombres es hacer menos de lo que pueden, es decir, no realizar su mejor esfuerzo puesto que esto infringe un profundo daño psíquico, baja la autoestima y poco a poco va mermando la iniciativa, así como su capacidad creativa.

Como lo aseveró Virgilio: “El hombre puede porque cree que puede” y si no cree poder hacerlo, tendrá toda la razón.

Al preguntar, él mismo dio las respuestas enseguida:

• ¿Cuánto estiran los árboles su tronco durante su

crecimiento de acuerdo con las condiciones en las que se encuentran?

- Todo lo que pueden.
- ¿Cuánto profundizan sus raíces?
- Todo lo que pueden
- ¿Cuántas hojas producen?
- Todas las que pueden.

Porque en la naturaleza, todo tiende al máximo.

El caso del ser humano es una excepción a la regla, ya que ha sido dotado de la inteligencia, así como de libre albedrío; de cuyo ejercicio puede optar por ser todo lo que puede – **hacer su máximo esfuerzo** –, o ser solamente una parte – **realizar un esfuerzo menor del que puede hacer al aplicar todo su potencial** –.

Al realizar nuestro mayor esfuerzo, sin importar la situación, ámbito de vida o el resultado que se consiga, lograremos vivir con gran intensidad, seremos productivos y buenos con nosotros mismos porque estaremos entregándonos a todo aquello que nos rodea. La acción es lo que nos hará sentir felices.

Muchas personas van a trabajar y piensan únicamente en el día de pago y en el dinero que obtendrán por su trabajo; están impacientes esperando a que llegue el





Tienen que trabajar porque tienen que pagar el alquiler y mantener a su familia. Son personas frustradas y cuando reciben su paga, no se sienten felices. Tienen dos días para descansar, para hacer lo que les apetezca, ¿y qué es lo que hacen? Intentan escaparse.

Algunos se emborrachan porque no se gustan a sí mismos, no les gusta su vida. Cuando no nos gusta cómo somos, nos herimos de muy diversas maneras.

Sin embargo, si las personas emprenden la acción por el puro placer de realizarla, sin esperar una recompensa, descubrirán que disfrutan de cada cosa que lleven a cabo. Las recompensas llegarán; pues el éxito, el poder, el reconocimiento o el dinero, no se persiguen; se atraen: son el resultado de lo que hacemos y de lo que dejamos de hacer.

fin de semana o el día en el que reciben su salario y puedan tomarse unas horas libres.

Trabajan por su recompensa, y el resultado es que se resisten al trabajo, lo toleran, soportan la acción, no porque les guste, sino porque sienten que es lo que deben hacer.

**ALRETECH**  
*de lo improbable a lo sustentable.*

### HISTORIA

Somos una empresa dedicada al servicio industrial. Tenemos 20 años de presencia en el mercado nacional; nuestro proceso se basa en la recuperación, reciclaje, tratamiento y revaloración de diversos materiales. Nos hemos especializado en el tratamiento de óxidos de aluminio; ofreciendo un servicio integral.

Nuestro objetivo es evitar que todo subproducto termine como residuo.

### PRODUCTOS & SERVICIOS

- ◆ Aleaciones base aluminio.
- ◆ RSI de base aluminio.
- ◆ Maquila.
- ◆ Servicios de retiro.

### CONTACTO

**Laura Yocelyn Pérez Juncal**  
+52 55 6131 7432  
ventas@alretech.com  
www.alretech.com  
Km 4.5 Carretera Jorobas-El Salto Parque Industrial  
Tapejil del Río de Ocampo, C.P 42870  
Hidalgo.

# Estudio de la **TERMOESTABILIDAD Y** su Efecto en la **MICRODUREZA EN UN** A1050 Procesado **POR FORJA CONTINUA** en Matriz Cerrada



**Sandra L.  
Rodríguez-Reyna**

## **Acerca del Autor –**

Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 78290, México.



**Díaz-Aguilera  
J.H.**

## **Acerca del Autor –**

Instituto de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León, 66450, México.



**Fidencio Tapia  
Rodríguez**

## **Acerca del Autor –**

Universidad Panamericana. Facultad de Ingeniería. Álvaro del Portillo 49, Zapopan, Jalisco, 45010, México.

## Abstract:

*El siguiente artículo aporta una comprensión más profunda de la termoestabilidad del Al1050 procesado por FCMC, destacando su comportamiento mecánico en condiciones de temperatura elevada. La Forja Continua en Matriz Cerrada (FCMC) ha demostrado ser una técnica eficaz para mejorar las propiedades mecánicas del Aluminio 1050 (Al1050) mediante el refinamiento del grano. Después de ocho pasadas de FCMC, el tamaño del grano se redujo significativamente a un promedio de 0.8  $\mu\text{m}$ , lo que resultó en un aumento sustancial del límite elástico (YS) y la resistencia última a la tensión (UTS), alcanzando valores de 115 MPa y 141 MPa, respectivamente.*

*Aunque la estabilidad térmica del Al1050 procesado por FCMC no ha sido previamente estudiada, este trabajo investiga la termoestabilidad del material recocido en un rango de temperatura entre 100°C y 350°C durante 30 minutos. Los resultados revelan una sorprendente estabilidad del material hasta temperaturas cercanas a los 250°C, lo que tiene importantes implicaciones en su posible aplicación en entornos con alta exigencia de temperatura.*

---

## INTRODUCCIÓN

La Forja Continua en Matriz Cerrada (FCMC) permite mejorar las propiedades mecánicas del material mediante el refinamiento del grano [1]. Además, puede ampliarse para la producción de aleaciones ligeras. Ya se ha demostrado que el aluminio comercialmente puro (Al1050) puede procesarse con éxito hasta una deformación total de 8.2 con 8 pases mediante FCMC.

Tras el procesamiento, la microestructura se refinó hasta un tamaño de grano medio de 0.8  $\mu\text{m}$ . A partir de una muestra de referencia de Al1050 con un límite elástico (YS) de 20 MPa y una resistencia última a la tensión (UTS) de 50 MPa, los ensayos de tensión mostraron buenas propiedades mecánicas: El YS y el UTS

del aluminio de Grano Ultrafino (GUF) fueron de 115 MPa y 141 MPa, respectivamente, al final del procesamiento.

El alargamiento hasta la rotura fue de aproximadamente el 18%. No obstante, la estabilidad térmica del aluminio de referencia procesado por FCMC no ha sido estudiada. El presente trabajo estudia la termoestabilidad del aluminio recocido entre 100 y 350 °C durante 30 minutos. La contribución científica de este trabajo es la termoestabilidad obtenida para una probeta procesada por FCMC a una temperatura cercana a los 250°C, que se observa a través de su comportamiento mecánico.

## METODOLOGÍA

El material utilizado para este estudio es un aluminio con un 99.5% de pureza y denominación comercial AW-Al-1050A. Este material se sometió a un primer proceso de recocido a 350 °C durante 1 hora, para eliminar las tensiones internas debidas al proceso de extrusión de las barras y para homogeneizar el tamaño de grano.

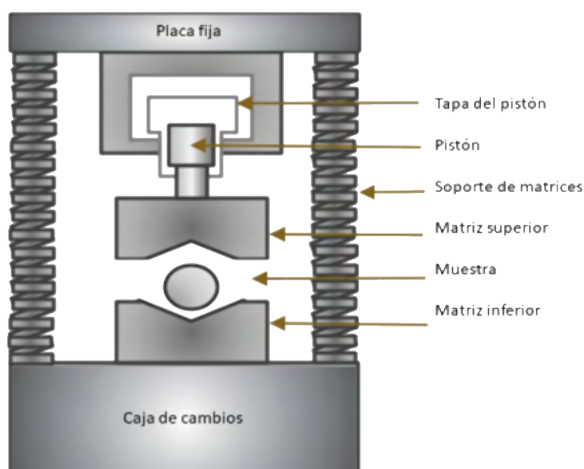
Antes de que las muestras tratadas térmicamente fueran procesadas por FCMC, se realizaron simulaciones de elemento finito tridimensionales rígido-viscoplásticas utilizando el software comercial DEFORM-3D V.6.1, dando como resultado una deformación de 8.2. Posteriormente, las muestras se sometieron a 8 ciclos FCMC [2,3]. Las condiciones de este proceso FCMC se detallan a continuación.

El principio del tratamiento FCMC se muestra en la Fig. 1. La matriz se compone de dos partes, que, a su vez, forman una sección transversal interior romboidal. Las muestras, con una sección circular inicial de 20 mm de diámetro y 100 mm de longitud, se colocan en la cavidad de la matriz, como se muestra en la Fig.

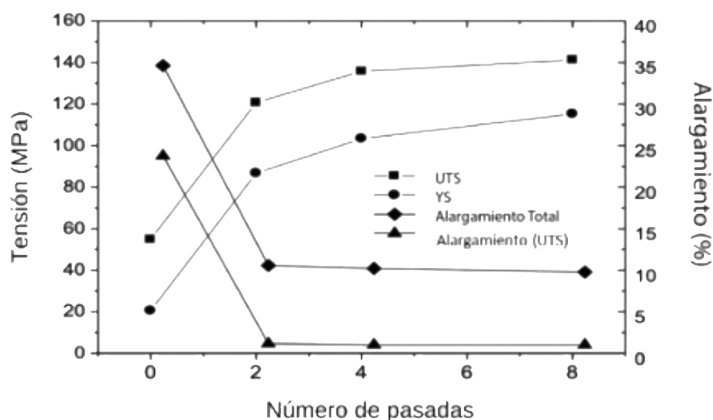
En el primer paso hasta el cierre, se aplica una carga de 44 toneladas a las matrices a través de un émbolo que se mantiene durante 10 segundos, obligando a la

muestra a adquirir la forma interior de la matriz. Tras la retracción del émbolo, las matrices se abren y la muestra se gira 90 grados (segundo paso).

En esta nueva posición de la muestra, se aplica nuevamente una carga de cierre y el material fluye hasta llenar el espacio entre las matrices. La forma final de las muestras después de cada paso de deformación es romboidal con un eje mayor de menos de 15 mm. La velocidad de desplazamiento del émbolo fue de 5 mm/s; siguiendo esta ruta de FCMC, se pudieron aplicar hasta 8 pasos a las muestras.



**Fig. 1. Esquema de la forja continua en matriz cerrada (FCMC).**



**Fig. 2. Propiedades mecánicas de Al1050 con FCMC.**

Tras las 8 pasadas de FCMC, la muestra se cortó transversalmente obteniendo espesores de 5 mm dando como resultado, un total de seis muestras. En ellas se realizó un recocido de 100°C a 350°C con intervalos

de 50°C durante 30 minutos en atmósfera controlada (flujo de argón).

Al final del tratamiento térmico, las muestras se enfriaron hasta alcanzar la temperatura ambiente. Tras el recocido, estas se pulieron siguiendo los procedimientos de la ASTM E-95. Las pruebas de microindentación se realizaron con el microdurómetro Akashi-HO, un penetrador piramidal de cuatro caras Vickers.

Todas las mediciones de microdureza se dibujaron en forma de contorno de la muestra procesada con FCMC, con un tamaño de paso de 1 mm y obteniendo los valores individuales de microdureza en el plano transversal.

## RESULTADOS

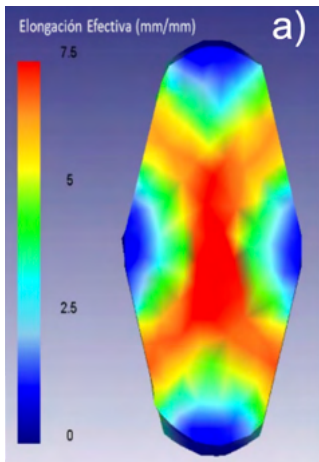
La evolución de las propiedades mecánicas del Al1050 con 0, 2, 4 y 8 pasadas por FCMC se muestra en la Fig. 2. Este gráfico describe la resistencia última a la tensión (UTS), el límite elástico (YS), el alargamiento total y el alargamiento hasta UTS.

Se observan incrementos tanto en el UTS como en el YS a medida que aumentan las pasadas del FCMC; sin embargo, hay una disminución en el alargamiento; siendo el cambio más relevante en el segundo pase. Entre los 4 y 8 pasadas los cambios mantienen la misma tendencia, presentando una variación más estable entre estos valores.

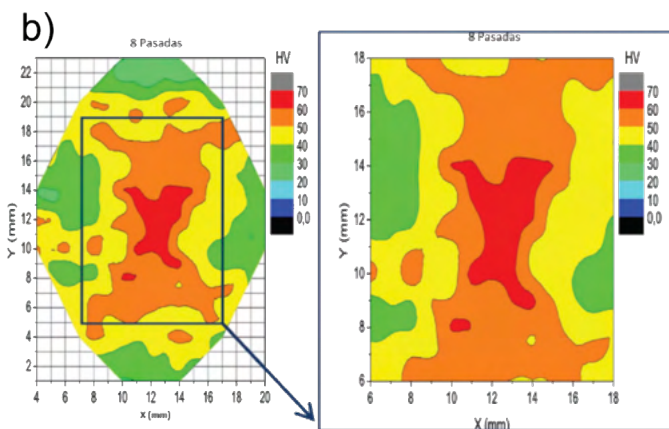
El YS es una de las propiedades que más se beneficia con la FCMC, pasando de 20 MPa a 120 MPa para 0 y 8 pasadas, respectivamente. La deformación severa inducida por el FCMC provocó un gran número de dislocaciones en la pieza, generando un refinamiento en el grano y por lo tanto esto puede explicar el aumento de YS y UTS. No obstante, el deslizamiento y la interacción de la alta densidad de dislocaciones ocasionan una oposición al movimiento, lo que da lugar a la disminución a la deformación por alargamiento [4-7].

A través de la simulación FEM en 3D, se observaron variaciones de la deformación plástica, que con frecuencia están relacionadas con las heterogeneidades de la deformación y, en consecuencia, conducen a una variación de sus propiedades mecánicas [4].

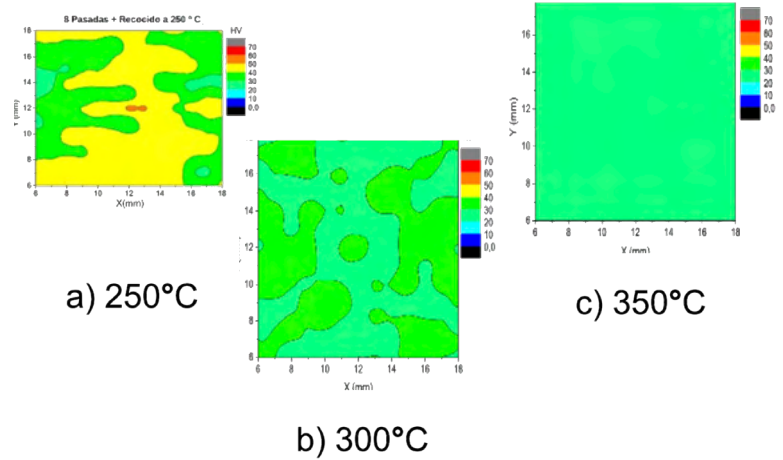
Al comparar la simulación por elementos finitos en 3D con el mapa de microdureza de la misma pieza, se presenta una relación directa con la distribución de la deformación severa con la microdureza Vickers (HV). En la Fig. 3 se hace un acercamiento sobre la sección central de la pieza donde se encuentra la mayor dureza, con valores cercanos a 70 HV y una dureza media de 47 HV. Cabe mencionar que la dureza del material recocido fue de 28 HV. Cabe mencionar que la dureza del



material recocido fue de 28 HV. En una investigación previa, el mejoramiento de las propiedades mecánicas y de corrosión se asociaron con una distribución bimodal de tamaño de grano, lo cual fue corroborado por medio de mapas de orientación a través de la técnica de electrones retrodispersados [8].



**Fig. 3. (a) Distribución de deformación y (b) Mapa de microdureza de Al1050 CON 8 pases de deformación por FCMC.**



**Fig. 4. Mapa de microdureza posterior a FCMC, recocido; a) 250°C, b) 300°C y c) 350°C**

En la Fig. 4 se presenta el perfil de durezas posteriores a los recocidos por 250°C, 300°C y 350°C, después de realizarse la FCMC. A partir de una temperatura de 250°C, la dureza promedio comienza a disminuir ligeramente, obteniéndose durezas incluso superiores a 40HV.

En temperaturas superiores a los 300°C, se observa que la diferencia es mínima entre los valores de dureza en la parte central como en la periferia de la sección transversal. Cabe destacar que, a los 250°C, se conserva un 40% de dureza del Al1050 sin procesar. Por otro lado, se ha documentado [5] que cuando se procesa el Al1050 disminuye su dureza a los 175°C, mientras que en este trabajo la dureza que se obtuvo por FCMC se conservó hasta los 250°C. Al comparar nuestros resultados con los publicados por [5] a 250°C, la disminución de la dureza mediante RS es del 20%, mientras que en nuestro trabajo con CCDF dicha disminución es del 12% para la recuperación del Al1050 [6,7].

## CONCLUSIONES

El YS es una de las propiedades más favorecidas cuando se utiliza el FCMC para pasar de 20 MPa a 120 MPa para 0 y 8 pases, respectivamente; con una ligera disminución de su ductilidad.

La deformación severa inducida por el FCMC provocó un gran número de dislocaciones en la pieza que generan un refinamiento en el grano y por tanto, un aumento en sus propiedades mecánicas. Sin embargo, se presenta una microestructura heterogénea hasta el octavo pase en términos de forma y tamaño de grano en su sección transversal tras un flujo de deformación.

Finalmente, con el aumento de la temperatura de recocido, se favorece una mayor homogeneidad en los perfiles de dureza, presentando una alta termoestabilidad hasta una temperatura de 250 °C.

Los resultados de termoestabilidad están relacionados con la microestructura bimodal generada por el FCMC, lo cual fue confirmado con la simulación FEM 3D. Por esta razón, las temperaturas de recuperación y recristalización se desplazan para el Al1050 procesado con FCMC, en contraste con el material de referencia, incluso en el material procesado con la técnica forja por rotación.

## Referencias:

[1] M. Montazeri-Pour, M.H. Parsa, H.R. Jafarian, S. Taieban, Microstructural and mechanical properties of AA1100 aluminum processed by multi-axial incremental forging and shearing, *Mater. Sci .and Eng. A*.639 (2015) 705-716. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2015.05.066>.

[2] M.J. Torres Maldonado, H.D. Cadena Hernández, Modelación de un proceso de severa deformación plástica por Forja Múltiple, Universitat Politècnica de Catalunya, España, 2017.

[3] DEFORM, DEFORM TM 3D Version.6.1 User's manual, Scientific Forming Technologies Corporation ed., Columbus, Ohio, 2011.

[4] M. Ciemiorek, W. Chrominski, L. Olejnik, M. Lewandowska, Evaluation of mechanical properties and anisotropy of ultra-fine grained 1050 aluminum sheets produced by incremental ECAP, *Materials & Design*. 130 (2017) 392-402. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2017.05.069>.

[5] Mustafa A. Abdukstaar, Ehab A. El-Danaf, Nurhadi Waluyo, Lothar Wagner, Severe plastic deformation of commercial purity aluminum by rotatory swaging: Microstructure evolution and mechanical properties, *Materials Science & Engineering A* 565 (2013) 351-358.

[6] Dietrich G. Altenpohl, Aluminum: Technology, Applications and Environment, sixth ed., Warrendale, Pennsylvania, 1999.

[7] L. F. Mondolfo, Aluminum Alloys: Structure and Properties, London, England, 1976.

[8] S.L. Rodríguez R., J.H. Díaz A., L.S. Hernández H., F.G. Pérez-Gutiérrez, A. P. Zhilyaev, J. Calvo, J.M. Cabrera. Enhancement of pitting corrosion resistance for AA1050 processed by continuous closed die forging, *Journal of Materials Research and Technology*. 9 (2020) 13185-13195. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.09.065>



**SINOMETAL  
RESOURCES**

**EL METAL ES NUESTRO NEGOCIO**

**Sinometal Resources Inc.**

Suministra billet de aluminio 6063, 6005 A, 6061 entre otras aleaciones, perfiles de aluminio, láminas, bobinas, componentes de aluminio y acero brindando soluciones completas para las principales industrias desde su creación.

PARA MÁS INFORMACIÓN CONTACTAR CON **DONALD QUIROS** GERENTE DE VENTAS INTERNACIONAL  
**DONALDQ@SINOMETALRESOURCESINC.COM | WWW.SINOBECRESOURCES.COM**

# CÓMO AFECTA SU SISTEMA DE COMBUSTIÓN A SU HORNO



**Salvador Tovar F.**

## **Acerca del Autor –**

**The Schaefer Group Inc. (Hornos y Servicio) - Gerente de Ventas México.**

Correo Electrónico: [salvador.tovar@theschaefergroup.com](mailto:salvador.tovar@theschaefergroup.com) , [saltovar@prodigy.net.mx](mailto:saltovar@prodigy.net.mx)

Ingeniero Químico Metalúrgico.

Director General de Servicios Comerciales Metalúrgicos S.C., empresa dedicada a la prestación de servicios de consultoría Técnica y Comercial.

## Abstract:

*En este artículo se aborda el crucial tema del ajuste adecuado de los sistemas de combustión en hornos de fundición, destacando la importancia de garantizar una relación óptima entre el gas y el aire para lograr una combustión completa. Se identifica la prevalencia de problemas de desajuste en los hornos de fundición en México, los cuales pueden provocar un mayor consumo de combustible, oxidación excesiva, sobrecalentamiento del horno y otros problemas operativos significativos. Se enfatiza la necesidad de contar con personal capacitado para realizar ajustes precisos en los sistemas de combustión y se recomienda la intervención preventiva para evitar futuros inconvenientes. Este análisis ofrece una guía valiosa para empresas dedicadas a la fundición, subrayando la importancia de mantener un sistema de combustión equilibrado para garantizar la eficiencia y la seguridad en el proceso de fundición.*

Los hornos utilizados en fundición representan el corazón de dicho proceso y estos cuentan con diferentes sistemas de combustión, entre los cuales pueden tener:

- sistema con pilotos de gas
- sistema de encendido por chispa directa
- sistema de quemador proporcional (alto/bajo) completo.

Si bien estos tres sistemas son distintos, todos requieren utilizar algún tipo de producto combustible de gas y aire, para llevar a cabo una combustión completa.

En México, se ha observado que muchas empresas dedicadas a este proceso presentan hornos con desajuste en su combustión, lo cual debe ser corregido puesto que esto es extremadamente importante para el correcto funcionamiento de estos.

Reconocer que un horno se encuentra desajustado es relativamente sencillo, puede darse cuenta de ello,

observando lo siguiente:

Si al operar un horno a fuego alto durante un tiempo, en la chimenea puede verse una pared de llamas con salida al 100%, esto indica que se encuentra funcionando sin suficiente aire hacia los quemadores. Dicha pared, es causada debido a que el gas crudo que no se ha encendido dentro del horno, ahora está captando suficiente aire libre en el conducto para volver a encenderse. Ver figura 1.



**Fig. 1. Horno fuera de Ajuste**



**Fig. 2 Quemador fuera de Ajuste**

Recurrentemente, el personal que tiene acceso al sistema de combustión a menudo piensa que debido a que el horno no está fundiendo a la capacidad deseada, debería simplemente incrementar el límite del set Point y por ende el consumo del gas. Esto solo empeorará la situación ya que, si no se realiza el ajuste de la cantidad correcta de aire a los quemadores, pro-

ducirá una llama más fría que es rica en combustible y se desperdiciará energía.

Para evitar lo antes mencionado, se recomienda ampliamente contar con un máximo de tres personas capacitadas en el ajuste correcto del sistema de combustión y con acceso a los controles.

Los quemadores bien ajustados, generalmente deberán tener una proporción de aire a gas de 10-1. A algunas personas les gusta colocarlos ligeramente ricos en combustible para reducir el exceso de aire en el horno (Fig. 2), pero no se ha demostrado que esto sea tan efectivo para detener el crecimiento de óxido. Verá que casi el 100% del aire de combustión se está quemando o se está utilizando en el proceso.

De hecho, si realiza un análisis de gases de combustión con un sensor de O<sub>2</sub>, debería tener menos del 3% de oxígeno en los gases de combustión de uno de los hornos. Lo que indica que el 97% o más está siendo consumido por los quemadores.

### ¿Qué problemas causa un sistema de combustión fuera de relación?

1. Hasta un 15% más de uso de combustible.
2. Más oxidación en el horno si está funcionando pobremente (una generación de escoria mayor).
3. Se obliga al horno a operar a fuego alto con más frecuencia.
4. Cabe la posibilidad de generar una acumulación de carbón en los quemadores y en las paredes.
5. Alta probabilidad de sobrecalentamiento del horno.
6. Daños frecuentes en la pared del horno y problemas prematuros de revestimiento.
7. Cambios bruscos de temperatura en el baño de metal fundido, provocando problemas de fundición.

8. Genera contaminación de gas hidrógeno en el aluminio líquido debido al impacto directo de la llama en el baño.



Fig. # 3 Quemadores en bóveda radiante en proporción de fuego alto.



Fig. # 4 Quemadores de fuego lateral en proporción en fuego bajo.

### CONCLUSIÓN:

La mejor manera de reducir problemas de desbalanceo del sistema de combustión es la prevención. Se recomienda que empresas como The Schaefer Group, Inc., quienes poseen técnicos en hornos altamente capacitados, realicen la evaluación y de ser necesario, ajusten adecuadamente el sistema de combustión.

# Comida de Fin de Año 2022



Para esta edición de nuestra Tradicional Comida de Fin de Año 2022 tuvimos una cifra récord de asistentes, en donde tanto miembros de IMEDAL como amigos y colegas de otras cámaras y asociaciones afines, se congregaron para poder convivir y despedir el año.

Por segunda ocasión, la sede fue: La Hacienda de los Morales en Ciudad de México en el corazón de Polanco. El evento comenzó, al darse cita los invitados al registro, y desde ese momento, tuvimos la oportunidad de reconocer las caras familiares de cada uno y recibirlos como en casa, agradeciéndoles nuevamente que nos permitieran ser sus anfitriones.



En punto de las 12 horas, comenzó el Coctel de Networking, en el cual lo que se busca año con año, es ofrecer un espacio en el que los asistentes tengan la oportunidad de entablar nuevas relaciones comerciales, iniciar nuevos contactos, así como de saludar a los colegas ya conocidos, dentro de la industria en un ambiente relajado y de camaradería.



A las 13 horas, nuestro Vicepresidente el Ing. Fernando García Martínez dirigió unas palabras a nuestros asistentes mientras observaban el video de Logros IMEDAL 2022 de fondo, donde se hace mención del rotundo éxito de ALUMEXICO SUMMIT & EXPO 2022 realizado en Mty, con más de 510 Asistentes, 279 empresas y 30 STANDS, posteriormente, invita a que tome el micrófono a nuestro Presidente, el Ing. Eugenio Clariond Rangel, quien dio la bienvenida a nuestros asistentes y agradeció a nombre de IMEDAL la participación de todos, así como la confianza depositada en el evento por las empresas patrocinadoras que año con año están presentes, así como también a aquellas que confían por primera vez en IMEDAL.

Nuestro agradecimiento a los patrocinadores de esta edición 2022:





Tras las palabras de bienvenida, el Presidente Eugenio Clariond, presentó ante los asistentes a nuestro primer ponente el Dr. Macario Schettino. Su conferencia se tituló: "INCERTIDUMBRE" patrocinada por ARZYZ.

Aproximadamente a las 3:30 de la tarde el Vicepresidente Fernando García, presentó a nuestro segundo ponente, el Lic. Jesús Villegas, con su conferencia "Retos de la industria del Aluminio en México para 2023"



Posteriormente, se llevó a cabo una exquisita cata-maridaje de mezcal y vinos con los 4 tiempos de comida, la cual fue presentada por el Enólogo y Sommelier Flavio A. Servitje Curzio, actividad que los asistentes disfrutaron mucho.



Una de las conferencias más esperadas del cierre de año, toda la perspectiva de Harbor Aluminum Intelligence para nuestros asistentes, Jesús Villegas, quien lleva más de 15 años dando la charla en cada edición, dando información importante y relevante, que ayuda a toma de decisiones dentro de nuestro mercado mexicano del Aluminio. Siempre es un placer contar con la colaboración de Harbor Aluminum Intelligence.



Aproximadamente a las 3:30 de la tarde el Vicepresidente Fernando García, presentó a nuestro segundo ponente, el Lic. Jesús Villegas, con su conferencia "Retos de la industria del Aluminio en México para 2023"

Una de las conferencias más esperadas del cierre de año, toda la perspectiva de Harbor Aluminum Intelligence para nuestros asistentes, Jesús Villegas, quien lleva más de 15 años dando la charla en cada edición, dando información importante y relevante, que ayuda a toma de decisiones dentro de nuestro mercado mexicano del Aluminio. Siempre es un placer contar con la colaboración de Harbor Aluminum Intelligence.

Para Concluir, la Directora Artemisa Alba, dirigió la tradicional rifa de obsequios en la que los asistentes tuvieron la posibilidad de ganar desde eco dot's, smart bands, alexas, audífonos, relojes, escaleras, cafeteras nespresso hasta pantallas de 43". Contando también con una rifa de una pantalla de 55" para aquellos asistentes que nos ayudaron con sus comentarios en las encuestas de satisfacción. El feliz ganador de este obsequio fue César Reyna.





Y, por último, compartimos con orgullo que, como resultado de las encuestas realizadas, el nivel de satisfacción alcanzado en el evento fue de un 95%



El Instituto Mexicano del Aluminio, agradece a todos los asistentes por su participación y reconocimiento especialmente a los patrocinadores:



gracias a ellos tuvimos un inolvidable y excelente evento para todos nuestros asistentes.

En 2023 el Instituto cumple 50 años de su fundación, y por tal motivo estaremos anunciando un programa especial de actividades para celebrarlo.

Entre estas, convocaremos a toda la industria a participar en el Premio Nacional del Aluminio, con el que se buscará reconocer los logros más importantes en todos los sectores que participan en la misma y a todos niveles, desde estudiantes, instituciones educativas y de investigación, así como también empresas y organizaciones interesadas. La convocatoria con las bases se estará anunciando próximamente

A nombre de todo el equipo y staff de IMEDAL, les agradecemos su asistencia y les deseamos una ¡Feliz Navidad! y un ¡grandioso inicio de año!



**¡Nos vemos en la siguiente edición 2023!**

# Toys



## Estadio 974

El estadio se desmantelará por completo y podría enviarse a países que necesitan la infraestructura. Los contenedores de envío multicolores se utilizan como bloques de construcción para el Estadio 974 y también para albergar instalaciones como baños en el interior de la estructura. Como bloques gigantes de Lego, las cajas de acero corrugado de color rojo brillante, amarillo y azul aparecen suspendidas entre capas de acero. El diseño le da al estadio una sensación industrial.



Diseñar para el desmontaje es uno de los principios de la construcción sostenible. Permite la restauración natural de un sitio de construcción o su reutilización para otra función”, dijo Karim Elgendy, miembro del grupo de expertos Chatham House, que trabajó como consultor climático para la Copa del Mundo.

## CES 2023: AMD presenta sus nuevos procesadores para computadores de escritorio y notebooks

En el marco de su presentación en el CES 2023, AMD dio a conocer una nueva serie de nuevos procesa-

dores tanto para computadores de escritorio como portátiles. Es así como en la ocasión fueron presentados los nuevos procesadores de escritorio Ryzen Serie 7000X3D y los procesadores de Ryzen Serie 7000 de 65W, mientras que en el caso de portátiles se presentaron los procesadores Ryzen Serie 7045HX. coches de la empresa



En la ocasión, Saeid Moshkelani, vicepresidente senior y director general de Client de AMD; señaló que “este año, estamos ofreciendo más opciones que nunca entre PC de escritorio y portátiles para crear la experiencia perfecta para cada usuario. Con la nueva tecnología Ryzen AI integrada en nuestros Procesadores Móviles Ryzen Serie 7040, llevaremos el poder de la inteligencia artificial a los dispositivos portátiles, marcando el comienzo de un futuro con nuevas y potentes capacidades, que solo el verdadero hardware de IA puede proporcionar y abriendo la puerta a un nuevo mundo de experiencias”.

En el caso de los nuevos procesadores AMD Ryzen 7000X3D, según señalan desde AMD, “son los más rápidos para jugar en el mundo. Con rendimiento de hasta 14% más rápido que la generación anterior. Los procesadores AMD Ryzen Serie 7000 con tecnología

3D V-Cache estarán disponibles para la plataforma Socket AM5 a partir de febrero de 2023.

## **Detectan una gigantesca estrella de neutrones que existió solo una fracción de segundo**

Un equipo de astrónomos ha examinado datos sobre 700 estallidos cortos de rayos gamma (GRB) detectados con el Observatorio Neil Gehrels Swift de la NASA, el Telescopio espacial de rayos gamma Fermi y el Observatorio de rayos gamma Compton.

Han descubierto -en las simulaciones informáticas- patrones de rayos gamma parpadeantes, llamados oscilaciones cuasiperiódicas, en dos GRB cortos que indican la breve existencia de una estrella de neutrones superpesada poco antes de colapsar en un agujero negro.



Todo este proceso duró solo una fracción de segundo, según explican los investigadores en su estudio publicado en la revista Nature, y puede enseñarnos mucho sobre la naturaleza transitoria de las estrellas de neutrones y la evolución de los colosales agujeros negros.

Cuando las estrellas de cierto rango de masa explotan como una supernova, dejan atrás un núcleo denso conocido como estrella de neutrones. Las presiones que crean estos objetos ultradensos hacen que una gran cantidad de masa ocupe poco espacio.

Así, una estrella de neutrones puede tener una masa máxima de poco más de dos soles, antes de colapsar por su propia gravedad y formar un agujero negro, por lo que si el total de las dos estrellas de neutrones cae por debajo de ese límite, forman una nueva estrella de neutrones; una gigante.

## **Rusia enviará una misión de rescate a la ISS**

Después de muchas deliberaciones, Moscú ha decidido enviar una nave de rescate vacía a la Estación Espacial Internacional el próximo mes de febrero para traer a casa a tres miembros de la tripulación que se encuentran atrapados en órbita después de que su cápsula original, una nave Soyuz, fuera golpeada por un meteorito.

La Soyuz MS-22 acoplada tuvo una fuga importante el mes pasado, rociando refrigerante del radiador al espacio y provocando que un par de cosmonautas abortaran sus siguientes misiones. Dado que la fuga provocó temperaturas poco seguras en la cabina, haciendo peligrosa su reentrada en la atmósfera, el MS-22 se consideró no apto para regresar a casa.



Roscosmos dijo que el diámetro del micrometeorito que golpeó la Soyuz acoplada era diminuto, creando un agujero en la cápsula de solo 1 mm de diámetro pero que causó daños significativos.



## MAS QUE EXTRUSIÓN SOMOS:



Calidad



Tecnología



Ingeniería



Valor Agregado



Servicio



Sustentabilidad

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

# Instituto Mexicano del Aluminio, A.C.

**AÑO 2023**

