

# NICKEL REVISTA

LA REVISTA DEDICADA AL NÍQUEL Y SUS APLICACIONES

---

NICKEL, VOL. 39, N.º 1, 2024

## Níquel omnipresente

*Minerales de níquel  
lateritas y sulfuros*

*Adaptación del transporte  
marítimo al GNL*

*Preguntas y respuestas con  
Heather Allain,  
Materials Technology Institute*





# ESTUDIO DE CASO 30

## PUENTE INTERNACIONAL GORDIE HOWE



© 2022 PUENTE INTERNACIONAL GORDIE HOWE

*El diseño, la construcción, el mantenimiento y la explotación de este proyecto de 6400 millones de dólares canadienses han corrido a cargo de un consorcio formado por ACS Infrastructure, Fluor, Aecon y Dragados Canada. Cuando esté terminado, contará con seis carriles de circulación, así como carriles para bicicletas y peatones realizados por bellas obras de arte.*

*Longitud total: 2,5 km  
Anchura: 37,5 m  
Altura: 220 m  
Tramo más largo: 853 m*

*Bautizado con el nombre de uno de los jugadores de hockey más resilientes e icónicos de todos los tiempos, el puente internacional Gordie Howe está abocado a la excelencia; proporciona una ruta de transporte visualmente impresionante que atraviesa el río Detroit, conectando Canadá y Estados Unidos.*

Contará con una longitud de 2,5 km y seis carriles, lo que lo convertirá en el puente atirantado más largo de Norteamérica, con un tramo principal de más de 850 m que unirá Detroit (Michigan) y Windsor (Ontario). Dará servicio al paso fronterizo internacional más transitado de Norteamérica en lo que respecta a volumen comercial.

A principios de la década del 2000, ambos países estaban cada vez más preocupados por el hecho de que el actual puente Ambassador, de propiedad privada y construido en 1929, necesitaba importantes reparaciones y la estructura de cuatro carriles no podría soportar el aumento del volumen de tráfico en el futuro.

La Windsor-Detroit Bridge Authority (WDBA) creó una colaboración público-privada con Bridging North America, un consorcio de empresas con la experiencia necesaria para encargarse de esta ingente obra de infraestructura.

La construcción comenzó en julio de 2018, con un diseño para una vida útil de 125 años. Era necesario un plan de evaluación exhaustivo para garantizar la selección de los materiales adecuados. Los ingenieros de esta colaboración público-privada eligieron las extraordinarias propiedades de resistencia a la corrosión del acero inoxidable ASTM 955 tipo 2304 (UNS S32304) o tipo 2205 (S32205) para garantizar la durabilidad a largo plazo de los elementos de hormigón armado vitales para la estructura expuestos directamente a sales de deshielo y zonas de salpicaduras.

El comercio entre los dos países vuelve a estar en auge tras la ralentización sufrida durante la pandemia de COVID, por lo que se espera con gran expectación su finalización e inauguración en otoño de 2025.

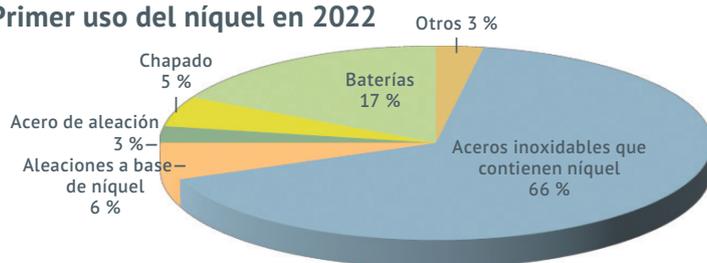
Un gran éxito para Canadá y Estados Unidos.



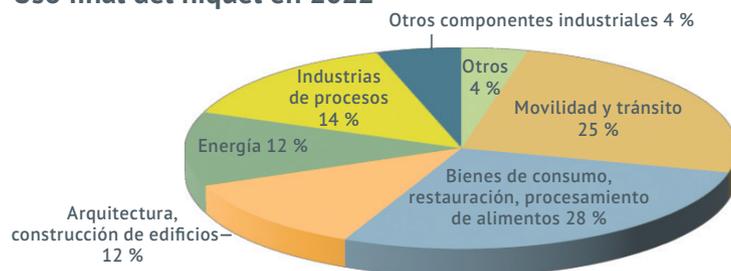
# EDITORIAL: NÍQUEL OMNIPRESENTE

El níquel se valora por sus propiedades únicas en innumerables aplicaciones, que abarcan diversos sectores de aplicación. La mayor parte del níquel se utiliza para fabricar acero inoxidable, que tiene una gran variedad de usos finales. Contribuye a la funcionalidad y sostenibilidad de todo tipo de aplicaciones, desde bienes de consumo hasta proyectos de construcción a gran escala. Además, la aplicación del níquel que más crece es en las baterías: un 30 % más en 2022.<sup>1</sup>

## Primer uso del níquel en 2022



## Uso final del níquel en 2022



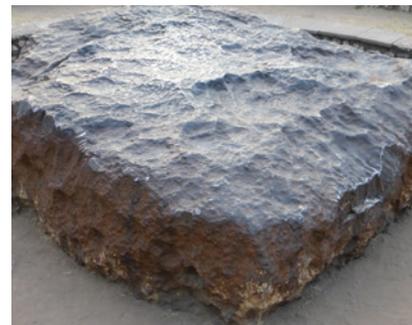
En esta edición de *Nickel* presentamos una gran variedad de aplicaciones del níquel y profundizamos en algunas de las innumerables funciones que desempeña este versátil metal en todos los sectores, desde el desarrollo tecnológico hasta el aumento de la resistencia.

Descubra un innovador producto sanitario, una revolucionaria técnica de reciclaje de baterías, así como aplicaciones de acero inoxidable respetuosas con los peces, espectaculares obras de arte callejero y métodos para aumentar la durabilidad de los puentes; el níquel juega un papel en todos ellos.

También en esta edición se lanza una nueva serie de artículos sobre la producción de níquel. Hablaremos sobre sostenibilidad, procesos de tratamiento y avances innovadores, empezando por el principio, en la página 6, con los minerales de níquel.

En esta edición de *Nickel* exploramos el polifacético mundo del níquel y celebramos su indispensable papel en la configuración del mundo actual.

Clare Richardson  
Editora, *Nickel*



WIKIMEDIA COMMONS

### En portada

Situado en Namibia, se calcula que el meteorito Hoba, de  $2,7 \times 2,7 \times 0,9$  m ( $8,6 \times 8,6 \times 3$  pies), pesa más de 60 toneladas. Se clasifica como un meteorito de hierro compuesto por aproximadamente un 84 % de hierro y un 16 % de níquel.

FUENTE: SMR GMBH

<sup>1</sup> Benchmark Mineral Intelligence

# ÍNDICE

- 02 **Estudio de caso n.º 30**  
*Puente internacional Gordie Howe*
- 03 **Editorial**  
*Níquel omnipresente*
- 04 **Actualidades de Nickel**
- 06 **Procesamiento del níquel**  
*Lateritas y sulfuros*
- 08 **Instalación de extracción de agua**  
*respetuosa con los peces*
- 10 **Materials Technology Institute**  
*Entrevista con Heather Allain*
- 12 **Saneamiento marítimo**  
*Adaptación a GNL*
- 13 **Aleaciones de níquel**  
*Aleaciones resistentes al calor*
- 14 **Preguntas y respuestas técnicas**
- 15 **¿Por qué el níquel?**
- 15 **Detalles UNS**
- 16 **Squashed bean (Frijol aplastado)**  
*Anish Kapoor*

La revista *Nickel* es una publicación del Nickel Institute

[www.nickelinstitute.org](http://www.nickelinstitute.org)

Dr. Hudson Bates, presidente  
Clare Richardson, editora

[communications@nickelinstitute.org](mailto:communications@nickelinstitute.org)

Colaboradores: Gary Coates, Rick Husa, Richard Matheson, Geir Moe, Kim Oakes, Lissel Pilcher, Lyle Trytten, Benoît Van Hecke, Odette Ziezold

Diseño: Constructive Communications

Este material ha sido elaborado para proporcionar información general al lector y no debe utilizarse ni tomarse como base para aplicaciones específicas sin antes obtener asesoramiento. Aunque se considera que el material es técnicamente correcto, el Nickel Institute, sus miembros, personal y consultores no afirman ni garantizan que sea adecuado para ningún uso general o específico, ni asumen ningún tipo de obligación o responsabilidad respecto a la información aquí contenida.

ISSN 0829-8351

Impreso en Canadá con papel reciclado por Hayes Print Group

Créditos de imágenes de Stock:

Portada: iStock@fabio lamanna  
pág. 4 iStock@selimaksan, pág. 6 iStock@Nanang Sugianto,  
pág. 8 iStock@DaveAlan, pág. 13 iStock@pricelessphoto,  
pág. 15 VectorStock FancyTapis, Sergio34

# NICKEL

ACTUALIDADES



## La evolución de las válvulas

El profesor Dong Nianguo y su equipo del Peking Union Medical College Hospital han logrado crear una válvula «viva» que permite su endotelización, lo que la hace más resistente y duradera que las actuales, fabricadas íntegramente con tejido animal porcino. La válvula porcina se calcifica con el tiempo, provocando que la «puerta» al corazón permanezca abierta y la sangre vuelva hacia atrás. Para corregirlo, los científicos fabricaron un esqueleto con nitinol (UNS N0155), que tiene propiedades de memoria de forma, creando una «red» con la válvula cardíaca porcina cercana a la válvula humana, lo que permite que las células del cuerpo se adhirieran y crezcan lentamente en la válvula.

Con el tiempo, esta «válvula viva» permite extraer todas las células porcinas, eliminando la calcificación y el posible rechazo de la válvula porcina. ¿Cuál es el resultado? Una «puerta al corazón» que se abre y se cierra con más fuerza, con una estructura tisular muy similar a la de la válvula cardíaca humana. «Nunca nos dimos por vencidos y, al fin, llegamos a un nuevo amanecer lleno de esperanza», afirma Qiao Weihua, miembro del equipo de investigación.



## Solución ganadora

Galardonada con el Premio Earthshot a finales de 2023, la empresa Green, Renewable, Sustainable Technology (GRST) (Tecnología ecológica, renovable y sostenible), con sede en Hong Kong, ha ideado un proceso, ganador de un premio, utilizado para fabricar baterías de vehículos eléctricos más limpias utilizando componentes fácilmente reciclables.

Fundado por William, Príncipe de Gales, en 2020, este acontecimiento anual premia las soluciones innovadoras a los retos medioambientales mundiales más acuciantes: la contaminación del aire y el agua, la degradación del medio ambiente, los residuos y el cambio climático. GRST ideó una forma de construir la batería utilizando un compuesto aglutinante soluble en agua en lugar de emplear disolventes volátiles y materiales difíciles de reciclar. El resultado es que, al final de la vida útil de la batería, el litio, el cobalto y el níquel pueden recuperarse de forma más económica y reutilizarse de nuevo en otra batería, lo que reduce la demanda de nuevas extracciones. Se trata de otra importante victoria para los vehículos eléctricos y el medio ambiente.

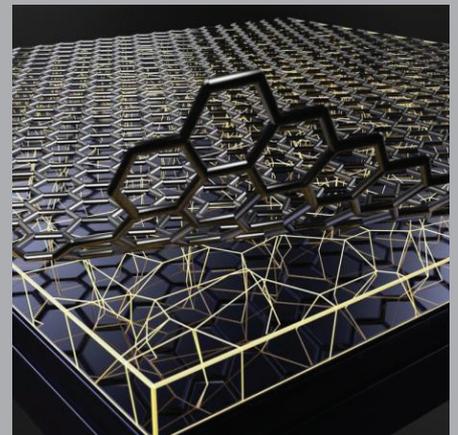
## Conocer el níquel

*Knowing Nickel (Conocer el níquel)* es el último vídeo del Nickel Institute. Esta breve animación pretende ofrecer una visión clara de dos importantes conceptos científicos, la biodisponibilidad y la bioelución, que sustentan el uso seguro del níquel. Aunque la ciencia subyacente es una cuestión seria, el cortometraje pretende entretener e informar sobre el níquel. Si despierta su interés, hay más información en el sitio web del Nickel Institute. [www.nickelinstitute.org](http://www.nickelinstitute.org)



## Revestimiento sólido

Su aplicación refuerza la resistencia del acero inoxidable y otras aleaciones metálicas, aumentando sus capacidades. Investigadores del Laboratorio Nacional Oak Ridge (ORNL) de Tennessee (EE. UU.) han demostrado que un recubrimiento de nitruro de boro hexagonal (hBN) mejora la protección contra la corrosión intensa durante un periodo prolongado, además de mitigar la oxidación a alta temperatura en el aire. Mediante un proceso denominado deposición química de vapor a presión atmosférica, los recubrimientos de hBN se producen a partir de una combinación de fuentes sólidas de boro y nitrógeno molecular. Esta capa protectora de hBN añadida a las aleaciones que contienen Ni y Fe abre un abanico de posibilidades de aplicaciones industriales a gran escala para mejorar la eficacia de elementos como paneles solares, semiconductores y álabes de turbinas aeroespaciales. Ivan Vlassiuk, del ORNL, que dirigió el estudio, señala otra ventaja: «El uso de este proceso para sintetizar hBN de una o pocas capas podría mejorar el rendimiento de los dispositivos electrónicos y fotónicos bidimensionales emergentes». El trabajo se publicó en *Advanced Materials Interfaces*.

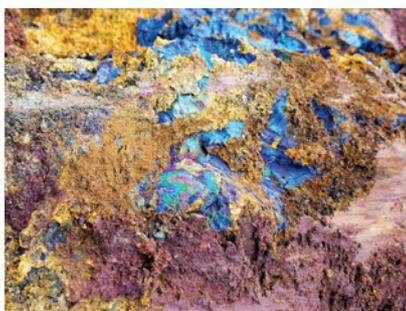


# INDUSTRIA DEL NÍQUEL PARTE 1

## PROCESAMIENTO DEL NÍQUEL

### LATERITAS Y SULFUROS

*Este es el primero de una nueva serie de artículos sobre el sector del níquel, escritos desde una perspectiva interna para ofrecer una visión más profunda de lo que hacemos, cómo lo hacemos y algunos de los retos que plantea la producción de este importante y versátil elemento. Hablaremos sobre los minerales, los procesos de tratamiento, la sostenibilidad y los avances en curso. Empezamos con los minerales.*



*En la actualidad, el níquel se utiliza principalmente en dos ámbitos: el acero inoxidable y otras aleaciones por una parte, y los usos químicos por otra, incluidas las pilas y baterías. El acero inoxidable es la parte más importante del mercado del níquel, mientras que las baterías son la parte que crece más rápidamente.*

Para satisfacer la demanda mundial de níquel, éste se produce a partir de dos fuentes principales: minerales sin procesar y materiales reciclados. El reciclaje, ya sea de acero inoxidable y aleaciones de níquel o de pilas y baterías, es una parte importante de la cadena de valor del níquel. La gran capacidad de reciclaje del níquel es una parte fundamental de su perfil de sostenibilidad, pero la mayor parte del mercado del níquel se centra en el material sin procesar que se introduce en la cadena de suministro, actualmente unos 3 millones de toneladas al año.

#### **Dos grandes tipos de mineral**

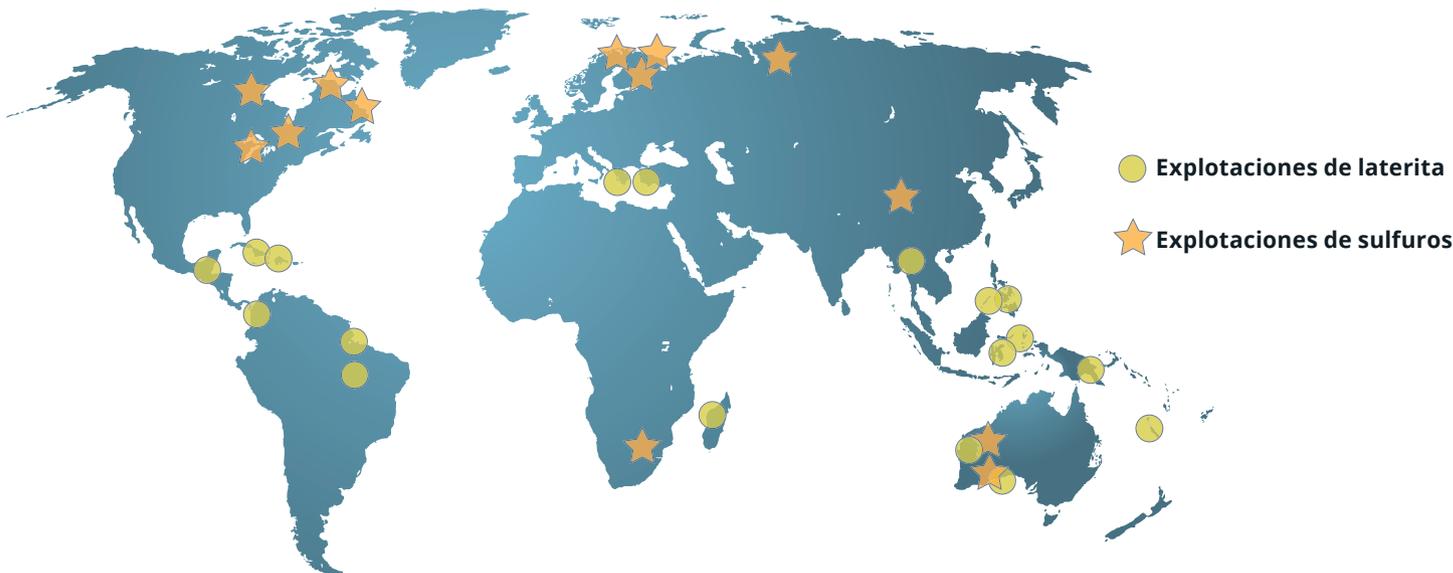
El níquel se presenta en dos grandes tipos de minerales: los lateríticos (óxidos), que se encuentran principalmente en las zonas tropicales y subtropicales, y los sulfurosos, en las regiones templadas y subárticas. En el mapa se muestran los principales yacimientos de níquel, aunque en algunos de ellos hay muchas explotaciones y en otros solo una. Más del 50 % del níquel que se produce hoy en día se extrae en Indonesia. El mineral suele procesarse cerca de la mina, pero existe un importante comercio regional y mundial de minerales lateríticos de níquel, y algo de comercio de concentrados de sulfuro de níquel.

#### **Minerales lateríticos**

Los minerales lateríticos se encuentran en depósitos superficiales y tradicionalmente se dividen en dos tipos principales: limonitas (bajo contenido en níquel y alto contenido en hierro) y saprolitas (alto contenido en níquel y bajo contenido en hierro). Las limonitas suelen tener cobalto como componente de valor adicional, mientras que la saprolita se trata solo por su valor en níquel.

En la actualidad, los minerales de limonita se tratan principalmente por lixiviación, en la que el mineral reacciona con ácido sulfúrico y el níquel y el cobalto disueltos se recuperan como productos intermedios de níquel-cobalto. Estos productos intermedios pueden refinarse para obtener níquel metal o introducirse directamente en la cadena de suministro de baterías. Este tratamiento basado en la disolución en agua se denomina hidrometalurgia.

Los minerales de saprolita se tratan mediante fundición, en la que el mineral se seca y se funde utilizando energía procedente del carbón y la electricidad —a menudo a base de carbón— para recuperar el níquel en forma de aleación de hierro y níquel. La aleación de hierro y níquel suele utilizarse directamente para fabricar



acero inoxidable. Con la creciente demanda de baterías, hemos visto resurgir una antigua práctica para convertir la aleación en un material de mayor calidad (mate de níquel) para su refinado. El procesamiento basado en la fusión de materiales a altas temperaturas se denomina pirometalurgia.

### Minerales sulfurosos

Los minerales sulfurosos pueden encontrarse en la superficie (o cerca de ella) o en el subsuelo profundo, y a menudo contienen otras fuentes de valor además del cobalto, como cobre, platino y paladio. Juntos, pueden valer más que el níquel. Estos minerales se tratan de forma diferente a las lateritas. Casi siempre se pueden convertir en concentrado de

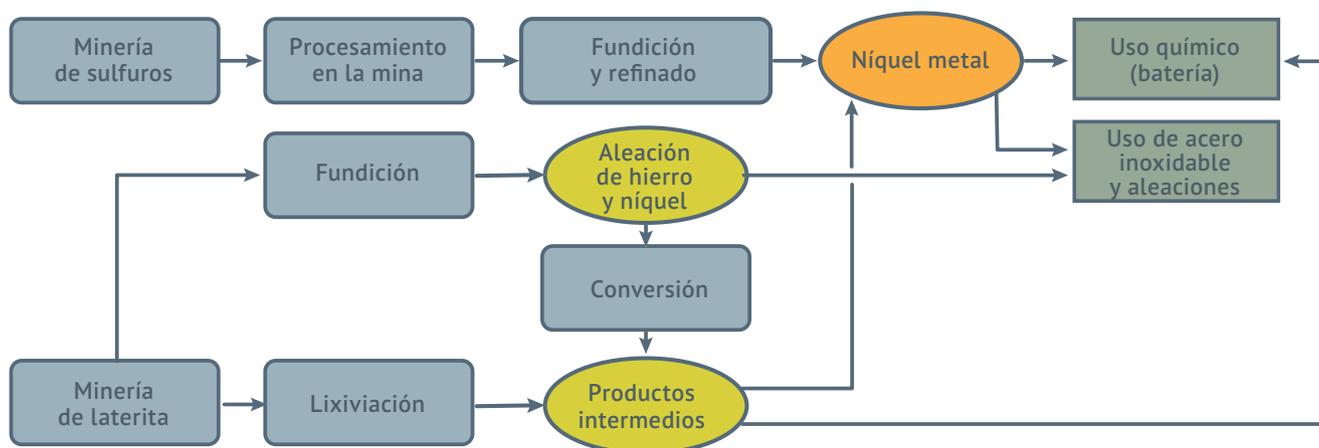
níquel en la mina. A continuación, el concentrado puede tratarse en instalaciones centralizadas. La mayoría son fundiciones de níquel, en las que el concentrado se funde utilizando la energía del azufre contenido y la electricidad para crear mate de níquel que se somete a un refinado posterior, pero también se utilizan métodos hidrometalúrgicos directos.

En futuros artículos se profundizará un poco más en estas tecnologías, identificando algunas de las mejoras históricas y en curso, ciertos retos de sostenibilidad a los que se enfrenta la industria y una serie de posibles rutas alternativas que podrían llegar a fructificar junto a los enfoques comerciales actuales.

*El níquel se presenta en dos grandes tipos de mineral: laterita y sulfuro*

Ni

### Flujograma general de la industria para materiales de níquel sin procesar



# UNA INSTALACIÓN DE EXTRACCIÓN DE AGUA RESPETUOSA CON LOS PECES



*AWMA Water Control Solutions diseñó y construyó uno de los mayores sistemas de extracción de agua del mundo, respetuoso con los peces, utilizando acero inoxidable que contiene níquel.*

*La Rangitata Diversion Race (RDR), terminada en 2022, desempeña un papel crucial en la extracción de agua del río Rangitata, en la Isla Sur de Nueva Zelanda, atendiendo a las necesidades de riego, agua de reserva y generación hidroeléctrica durante todo el año. Sin embargo, el impacto medioambiental sobre las poblaciones de peces autóctonos fue un motivo de preocupación que instigó el desarrollo de una nueva e innovadora solución de cribado.*

Para hacer frente a este reto, se diseñó y fabricó un sistema de desviación del agua sostenible desde el punto de vista medioambiental a partir de aceros inoxidables que contienen níquel de los tipos 304 (UNS S30400) y 316 (S31600). Esta solución de cribado suministra los caudales requeridos al tiempo que garantiza el paso seguro de peces de pesca deportiva, como el salmón y la trucha, así como de diversas especies de peces autóctonos en peligro de extinción, de vuelta al sistema fluvial.

Una investigación exhaustiva condujo a la selección de un sistema de cribado físico, autolimpiable y de alambre en cuña, de eficacia probada durante décadas. Esta eficaz solución

incluía una estructura de cribado de acero inoxidable que no solo era autolimpiable y respetuosa con los peces, sino que también proporcionaba caudales de agua fiables con un bajo coste durante toda su vida útil.

El proyecto requería siete cribas en T (un total de 14 cribas cilíndricas), una criba de panel plano y una compuerta LayFlat, todas ellas fabricadas en acero inoxidable.

Las tres principales características de diseño prioritarias para las cribas de protección de peces fueron el tamaño de la abertura, la velocidad de aproximación y la función de autolimpieza. El tamaño de abertura de las cribas se adaptó a la vida acuática específica presente, teniendo en



cuenta las especies de peces y sus pautas de reproducción. Las bajas velocidades de aproximación evitan el arrastre y el impacto de residuos y peces gracias a una distribución del caudal baja y uniforme en toda la zona de la criba.

Las cribas, fabricadas con alambre en cuña de acero inoxidable, tienen la capacidad de autolimpieza que incorpora mecanismos de limpieza con cepillos internos y externos para eliminar eficazmente los residuos y las algas, respetando al mismo tiempo la protección de los peces y manteniendo un caudal óptimo.

Las 14 cribas cilíndricas se fabricaron con medios de criba de alambre en cuña de acero inoxidable de tipo 304, de 2,1 m de diámetro y 3 m de longitud.

Los siete sistemas de recuperación de 8,75 m de altura estaban equipados con cabezales de acero inoxidable tipo 304 para proteger los ejes de transmisión de acero inoxidable tipo 316 de 100 mm de diámetro. Se necesitaron 140 m de cables de acero inoxidable tipo 316, con tensores y accesorios de acero inoxidable, para bajar y subir las cribas de entrada. La criba de panel plano de acero

inoxidable de 8 toneladas medía 30 m x 3,5 m (105 m<sup>2</sup>).

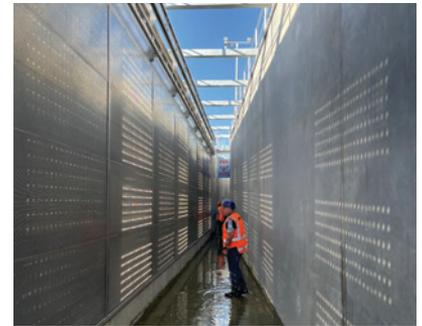
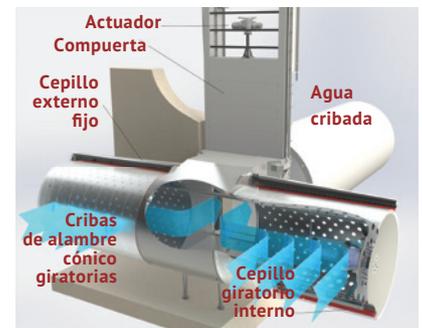
Se utilizaron aproximadamente 1,8 toneladas de acero inoxidable para fabricar la compuerta de control del agua LayFlat, utilizada al final del canal de derivación como compuerta de regulación y control del agua que no daña a los peces.

Antes de la instalación, se realizó un tratamiento superficial de decapado en todos los componentes de acero inoxidable.

En total, se utilizaron más de 55 toneladas de acero inoxidable para la fabricación del sistema de cribado. El acero inoxidable ha garantizado la durabilidad, el rendimiento y la longevidad de la instalación de extracción de agua, con una vida útil de más de 50 años en agua dulce. La combinación de materiales de acero inoxidable de alta calidad y un diseño innovador de la infraestructura ha dado como resultado una solución medioambiental que proporciona una producción de agua de gran calidad, un consumo energético reducido y un caudal fiable, al tiempo que garantiza la protección de los peces autóctonos.

**Ni**

*Resumido de un artículo aparecido en Australian Stainless Magazine, N.º 78.*



*El proyecto requería siete cribas en T (un total de 14 cribas cilíndricas), una criba de panel plano y una compuerta LayFlat, todas ellas fabricadas con acero inoxidable níquelado.*

# ENTREVISTA CON **HEATHER ALLAIN**, DIRECTORA EJECUTIVA EN MATERIALS TECHNOLOGY INSTITUTE



MATERIALS TECHNOLOGY INSTITUTE

*Heather Allain trabaja en el MTI desde 2008. Antes de ser directora ejecutiva, trabajó durante 14 años como directora asociada de apoyo a proyectos y a la región europea del MTI.*

*Allain es licenciada en Ciencias de los Materiales por la Universidad Rice. Su primer trabajo fue en DuPont, donde trabajó 14 años antes de pasar al MTI.*

*El Nickel Institute apoya con entusiasmo al Materials Technology Institute (MTI) (Instituto de Tecnología de Materiales) desde hace más de dos décadas. El Nickel Institute aporta información y conocimientos sobre aceros inoxidables, aleaciones, soldadura y fabricación de níquel que han facilitado la aplicación con éxito de estas aleaciones en la industria. Le preguntamos a Heather Allain, directora ejecutiva del MTI, sobre su pasión por los materiales y la importancia del trabajo del MTI para concienciar sobre el uso seguro, fiable y sostenible de los materiales.*

**P: Háblenos de usted y de cómo empezó a interesarse por los materiales.**

Me encantaba la química en la escuela secundaria, lo que me animó a estudiar en la Universidad Rice la especialidad de Ingeniería Química. En mi primera asignatura sobre ciencia de los materiales, me cautivó el hecho de que el tamaño de los átomos y sus cargas determinen las estructuras cristalinas de los metales y, por tanto, las propiedades resultantes de los materiales. Esto me llevó a cambiar de especialidad a ciencias de los materiales, donde los cursos, especialmente los de corrosión, acrecentaron mi interés por este campo, y muchos años después me llevaron al MTI.

**P: ¿Qué es el MTI y por qué es importante?**

El MTI es una organización única de colaboración de empresas miembros de las industrias de transformación, que financia estudios y proyectos no exclusivos sobre los problemas comunes que los miembros identifican

como prioritarios. Los proyectos del MTI han desempeñado un papel importante a la hora de captar conocimientos sobre ingeniería de materiales y hacerlos accesibles a una nueva generación de ingenieros, y de desarrollar recursos que no existen en ningún otro lugar. Estos proyectos abordan lagunas tecnológicas o de conocimientos técnicos haciendo hincapié en la seguridad, la fiabilidad y la sostenibilidad de las industrias de procesos.

**P: ¿Por ejemplo?**

Algunos ejemplos son nuestra serie de libros *Materials Selector* (*Selector de materiales*), ampliamente considerada como una referencia para tipos específicos de medios corrosivos, y la serie de *Atlases of Microstructures* (*Atlas de microestructuras*), que ilustran prácticamente todas las formas de producto de una aleación o familia de aleaciones determinada.

**P: ¿Quiénes son sus miembros?**

Las empresas miembros del MTI se dedican tanto a la producción de

productos químicos intermedios como al refinado de petróleo y gas, e incluyen a las que se encargan de los procesos más exigentes, con la excelencia operativa y la seguridad como prioridades. Estamos perfectamente estructurados para apoyar a nuestros miembros, permitiéndoles tomar decisiones de ingeniería gracias a nuestros recursos y nuestra red.

---

**P: ¿Cuáles son las ventajas de afiliarse?**

Muchas empresas se unen porque están interesadas en un tema específico que el MTI está investigando, o para proponer un proyecto de investigación: esta es la principal propuesta de valor del MTI.

Una vez dentro, el valor de la propia red se hace indispensable. EL MTI organiza un foro en línea en el que los miembros pueden hacer preguntas y recibir respuestas, a menudo en cuestión de horas. Más de 30 empresas miembros buscaron soluciones y orientación en 2023, y más de 10 000 mensajes de debate están archivados y pueden consultarse.

También se valora mucho la biblioteca de recursos técnicos. Los miembros tienen acceso ininterrumpido a nuestro archivo de publicaciones, presentaciones, seminarios web a la carta y mucho más.

Algunos de los beneficios adicionales para los miembros incluyen nuestros cursos de formación del sector, mesas redondas, seminarios web técnicos de una hora y nuestro pódcast mensual, *Corrosion Chronicles* (*Crónicas de corrosión*), que cubren temas de interés para los miembros. Estas propuestas también se ponen a disposición de los no miembros como un servicio a la industria. Gary Coates, del Nickel Institute, ha contribuido a muchos de nuestros actos como ponente y presentador, o ayudando a organizarlos, y tenemos la suerte de compartir su experiencia en estos formatos.

---

**P: ¿Cómo funciona el MTI?**

El MTI comenzó su andadura en Norteamérica en 1976. Como muchos de nuestros miembros son internacionales, a principios de la década de 2000 nos expandimos a Asia y Europa. Solemos reunirnos siete veces al año con reuniones presenciales del consejo técnico consultivo (CTC). Cada reunión regional ofrece contenidos formativos y técnicos, oportunidades de compartir fracasos y retos en sus centros y formas de afrontarlos. Además, cada dos años celebramos un simposio mundial abierto al público.

---

**P: ¿Qué valor tienen las reuniones en persona?**

La lluvia de ideas y el desarrollo del alcance, los objetivos y los resultados de los proyectos son tareas que se realizan de forma más eficiente y eficaz en persona. Las reuniones del MTI también incluyen regularmente componentes de creación de redes y formación, que tienen más éxito en persona.

---

**P: ¿Cómo se eligen los proyectos que se financiarán?**

Cualquier miembro del MTI puede proponer una idea de proyecto. Nuestro proceso proporciona un examen exhaustivo por parte de los miembros, lo que mejora el apoyo general. El miembro líder (defensor) presenta el proyecto examinado al CTC para que vote en función de sus méritos técnicos. Tras la aprobación técnica, el consejo de administración autoriza la financiación. Los proyectos suelen financiarse y ponerse en marcha en el plazo de un año. En nuestro sitio web, [mti-global.org](http://mti-global.org), se pueden consultar los proyectos del MTI en marcha y los potenciales de llevarse a cabo.

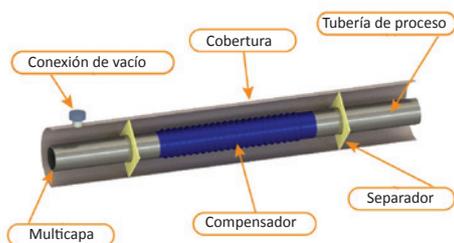


MATERIALS TECHNOLOGY INSTITUTE

*El MTI organiza cada año varios cursos y mesas redondas sobre diversos temas relacionados con los materiales. El programa completo de actos puede consultarse en [www.mti-global.org](http://www.mti-global.org).*



# EL NÍQUEL AYUDA A LIMPIAR EL TRANSPORTE MARÍTIMO



CRYOSPAIN

*Las tuberías aisladas al vacío se fabrican a partir de dos tuberías concéntricas: una tubería de proceso interior, encargada de transportar el fluido, y una tubería de cobertura exterior, que contiene el vacío. La adaptación a combustibles limpios (retrofit) es un reto, ya que los equipos tienen que trabajar en espacios reducidos alrededor de los equipos existentes.*



CRYOSPAIN

Desde enero de 2020, la Organización Marítima Internacional (OMI) ha establecido un límite de azufre en el fuelóleo utilizado para propulsar los buques, con el fin de mitigar la contaminación por óxidos de azufre.

Este nuevo tope mundial de azufre obliga al sector naviero a replantearse sus opciones de combustible, que pueden clasificarse en tres opciones principales: combustibles alternativos, fuelóleo bajo en azufre y depuradores para eliminar los óxidos de azufre de los gases de escape.

Entre los combustibles alternativos figuran el amoníaco, el metanol, el hidrógeno y el gas natural licuado (GNL), un combustible bajo en azufre. Cryospain, especialista español en equipos criogénicos, ha adaptado recientemente el motor y el sistema de combustible de un buque para que utilice GNL.

Un proyecto de adaptación consiste en suministrar tanto GNL como gasoductos de gas natural para el transporte, almacenamiento y alimentación de motores con este combustible. El GNL tiene un punto de ebullición de  $-162\text{ °C}$  ( $-260\text{ °F}$ ), lo que requiere el uso de acero inoxidable que contenga níquel. Cryospain suministró tecnología de tubo en

tubo de tipo 316L (UNS S31603), que garantiza que el GNL permanezca en estado líquido. El tipo 316L garantiza la resistencia a la corrosión en una atmósfera marítima, así como la resistencia a las bajas temperaturas.

Se instalaron aproximadamente 275 m de tuberías, de los cuales 160 m estaban aislados por vacío (doble pared sin aire entre las dos capas de tuberías). Cuando el gas natural debe permanecer licuado (por ejemplo, desde las estaciones terrestres de aprovisionamiento hasta los tanques de a bordo), el aislamiento al vacío garantiza el rendimiento de refrigeración necesario. Las secciones que no requieren líquido, como los quemadores de a bordo, pueden equiparse con tuberías de doble pared (sin aislamiento de vacío). En total se utilizaron unas 6 toneladas de acero inoxidable de tipo 316L.

Actualmente, el buque en cuestión navega de forma más limpia, ecológica y eficiente que antes.

Ni

# TEMA CANDENTE

## ALEACIONES RESISTENTES AL CALOR

Normalmente, cuando pensamos en aleaciones que contienen níquel, nos referimos a su resistencia al ataque corrosivo en un entorno acuoso, como el agua de mar, el procesamiento de alimentos y la producción de productos químicos. Sin embargo, hay un grupo de aleaciones que se utilizan casi exclusivamente a temperaturas en el rango de 540-1230 °C (1000-2200 °F), que describimos genéricamente como aleaciones resistentes al calor (ARC).

Existen dos tipos fundamentales de ARC, las ferríticas y las austeníticas. Las austeníticas son las más utilizadas porque su microestructura proporciona una ductilidad y una resistencia a altas temperaturas superiores a las del acero al carbono. Estos atributos se deben a la presencia de níquel, entre el 8 y el 75 %, que produce la microestructura austenítica.

El cuadro que figura a continuación muestra algunas ARC comunes, la más conocida de las cuales es la de tipo 304.

A temperaturas elevadas, el acero forma una capa de óxido (escama) por reacción con el oxígeno, lo que provoca la pérdida de metal. Las ARC poseen altos niveles de cromo que ralentizan el engrosamiento de

la escama, reduciendo esta pérdida de metal. El aumento del contenido de cromo aumenta la resistencia a la incrustación pero, paralelamente, se requiere un aumento del contenido de níquel para mantener la microestructura austenítica. La adición de aluminio o silicio puede mejorar la resistencia a la incrustación proporcionada por el cromo. El níquel también aporta beneficios adicionales. Aumenta la resistencia a la carburización que puede producirse en los hornos de tratamiento térmico y en el procesamiento de hidrocarburos, además de soportar el ataque de gases halógenos, como el cloro.

Estas ARC que contienen níquel son aleaciones esenciales para que los equipos funcionen a altas temperaturas y en la producción de importantes productos químicos. Ni

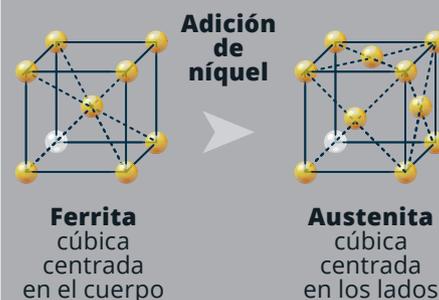


Ejemplos de uso de ARC:

- Hornos de tratamiento térmico
- Hornos de carburización
- Incineración de residuos de plásticos clorados

Composición nominal					Temp. máx.*
Aleación	Ni	Cr	Fe	Otro	
304 (S30400)	8	18	72		925 °C (1700 °F)
310 (S31008)	20	25	52		1150 °C (2100 °F)
330 (N08330)	35	19	43	Si: 1,25	1150 °C (2100 °F)
800H (N08810)	31	21	45		980 °C (1800 °F)
600 (N06600)	76	15,5	8		1090 °C (2000 °F)
601 (N06601)	61,5	22,5	14	Al: 1,4	1200 °C (2200 °F)
602CA (N06025)	63	25	9	Al: 2,2	1230 °C (2250 °F)

\* Temperatura máxima sugerida en el aire, servicio continuo





# PREGÚNTELE A UN EXPERTO

## PREGUNTAS MÁS FRECUENTES DE LA LÍNEA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO DEL NICKEL INSTITUTE

El ingeniero Geir Moe es el coordinador del Servicio de Consultas Técnicas en el Nickel Institute. Junto con otros especialistas en materiales de todo el mundo, Geir ayuda a los usuarios finales y a los especificadores de materiales que contienen níquel que buscan asistencia técnica. El equipo está disponible para brindar asesoramiento técnico gratuito sobre una amplia gama de aplicaciones como el acero inoxidable, las aleaciones de níquel y el niquelado para permitir el uso del níquel con confianza. <https://inquiries.nickelinstitute.org/>

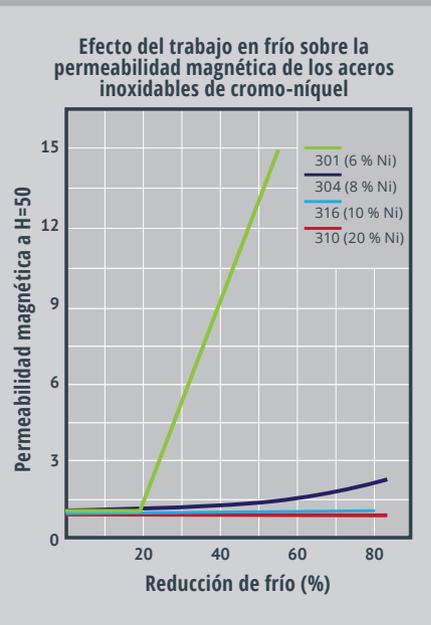
**P:** Hemos conformado en frío una chapa de tipo 304L (UNS S30403) de 10 mm de espesor en forma de cabeza abombada elipsoidal. El tratamiento térmico posterior al conformado (recocido) no es exigido por el código de recipientes a presión. Nuestro cliente ha impuesto un límite máximo de ferrita del 3 %. Utilizando un Feritscope® de Fischer, la parte redondeada mide 35-45 % de ferrita mientras que lejos de la parte redondeada el material mide <3 %. La identificación positiva del material muestra que éste cumple la composición del tipo 304L. ¿A qué se debe esta gran variación en la ferrita y cuál es el remedio?

**R:** Un medidor de ferrita (Feritscope) no mide específicamente la ferrita, mide la presencia de microestructuras magnéticas en el metal. La microestructura magnética más conocida es la ferrita. Los aceros inoxidables austeníticos, como el tipo 304L, en estado totalmente recocido son esencialmente no magnéticos debido a su microestructura austenítica por su contenido en níquel.

Sin embargo, la austenita del 304L es metaestable. Esto significa que parte de la austenita puede transformarse en otra microestructura. Esto se conoce como martensita inducida por deformación, que es magnética cuando se deforma plásticamente (trabajada en frío). Un medidor de ferrita (Feritscope) no puede distinguir entre estas dos microestructuras diferentes, ferrita y martensita, que son ambas magnéticas.

Otros aceros inoxidables con mayor contenido en níquel son resistentes a esta transformación martensítica, como se muestra en la figura.

Si hubieran examinado la chapa antes de conformarla, habrían descubierto que la chapa al completo habría dado un resultado de <3 %. El contenido de ferrita no aumentará durante el conformado en frío. Si se quiere eliminar la martensita, el único remedio es recocer el cabezal, que es un tratamiento térmico que transformará la martensita de nuevo en austenita, que en el caso del 304L debe ser de 1040 °C (1900 °F) como mínimo.



# NICKEL

EN LÍNEA

[WWW.NICKELINSTITUTE.ORG](http://WWW.NICKELINSTITUTE.ORG)

SUSCRÍBASE gratis a la revista *Nickel*. Recibirá un ejemplar impreso o un aviso por correo electrónico cada vez que se publique un nuevo número. [www.nickelinstitute.org](http://www.nickelinstitute.org)

LEA la revista digital *Nickel* en varios idiomas. [www.nickelinstitute.org/library/](http://www.nickelinstitute.org/library/)

CONSULTE LOS NÚMEROS ANTERIORES de la revista *Nickel*, desde julio de 2009, en nuestra hemeroteca digital. [www.nickelinstitute.org/library/](http://www.nickelinstitute.org/library/)

SÍGANOS en X [@NickelInstitute](https://twitter.com/NickelInstitute)

CONÉCTESE en LinkedIn: visite la página del Nickel Institute

VEA videos sobre el níquel en el canal del Nickel Institute en YouTube [www.youtube.com/user/NickelInstitute](https://www.youtube.com/user/NickelInstitute)

El níquel puede encontrarse en muchas formas, desde nanocables hasta aleaciones de acero inoxidable. Pero, ¿cuáles son las propiedades del níquel que lo convierten en un elemento esencial en los objetos cotidianos?

# ¿Por qué el níquel?

## NÍQUEL EN EL FREGADERO DE CASA

### Fregadero de acero inoxidable

El acero inoxidable que contiene níquel es un material ideal para los fregaderos. Presenta una excelente resistencia a la corrosión y, gracias a la adición de níquel, como en el tipo 304 (UNS S30400), puede conformarse en una cuba profunda.

El níquel en el tipo 304 (S30400) produce una estructura con un alto índice de endurecimiento por deformación que ayuda a distribuir la tensión de forma más uniforme, superior al del acero al carbono liso y al del acero inoxidable ferrítico.

El alto índice de endurecimiento por deformación significa que, a medida que el material se estira, la resistencia aumenta significativamente en la zona estirada y, finalmente, se fortalece tanto que resiste un mayor estiramiento y otras zonas más débiles empiezan a estirarse.

Como resultado, el estiramiento se reparte por más superficie del material, lo que permite una cubeta más profunda en lugar de concentrarse en una sola zona. Si se utilizaran materiales con un índice de endurecimiento por deformación inferior, el estiramiento se concentraría en una zona localizada, lo que provocaría la fractura antes de que el material se estirara lo suficiente.



## DETALLES UNS Composición química (en porcentaje del peso) de las aleaciones y los aceros inoxidables mencionados en este número de la revista *Níquel*.

UNS	C	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	N	Nb	Ni	P	S	Si	Ti
N01555 Pág. 5	0,07 máx.	0,05 máx.	0,01 máx.	0,01 máx.	0,05 máx.	-	-	-	0,05 máx.	54,0- 57,0	-	-	-	bal.
S30400 Págs. 8, 15	0,08 máx.	-	18,0- 20,0	-	bal.	2,00 máx.	-	-	-	8,0- 10,5	0,045 máx.	0,030 máx.	1,00 máx.	-
S30403 Pág. 14	0,030 máx.	-	18,0- 20,0	-	bal.	2,00 máx.	-	-	-	8,0- 12,0	0,045 máx.	0,030 máx.	1,00 máx.	-
S31603 Págs. 8, 12, 16	0,030 máx.	-	16,0- 18,0	-	bal.	2,00 máx.	2,00- 3,00	-	-	10,0- 14,0	0,045 máx.	0,030 máx.	1,00 máx.	-
S32205 Pág. 2	0,030 máx.	-	22,0- 23,0	-	bal.	2,00 máx.	3,00- 3,50	0,14- 0,20	-	4,50- 6,50	0,030 máx.	0,020 máx.	1,00 máx.	-
S32304 Pág. 2	0,030 máx.	-	21,5- 24,5	0,05- 0,60	bal.	2,50 máx.	0,05- 0,60	0,05- 0,20	-	3,0- 5,5	0,040 máx.	0,030 máx.	1,00 máx.	-



IMAGEN © IWAN BAAH

# ESPECTACULAR LEGUMBRE APLASTADA



*El proyecto, iniciado por los promotores Alexico Group, es un brillante ejemplo de innovación en arte y arquitectura.*

*Bajo un extraordinario rascacielos, la Torre Jenga, se encuentra la esperada primera instalación permanente del artista británico Anish Kapoor en Nueva York. Conocida como The Half Bean (no es su nombre oficial), la reluciente legumbre parece estar encajada bajo el número 56 de la calle Leonard de Herzog & de Meuron en Tribeca. Se inauguró en enero de 2023, quince años después de su encargo, lo que refleja la complejidad del proyecto, los factores económicos y las restricciones de viaje debido a la Covid.*

Performance Structures, Inc., que también fabricó la Cloud Gate (el Frijol) de Kapoor en Chicago, afrontó los numerosos retos que planteaba el proceso de soldadura y carenado para crear una escultura sin juntas. Cada pieza de la escultura tiene su propia estructura de soporte, con bastidores de apoyo para las partes inferiores atornillados a la plaza y cables que suspenden las propias piezas. Los muelles permiten que la escultura se mueva ligeramente con condiciones como el viento, la nieve y los cambios de temperatura.

Fabricada a partir de paneles de acero inoxidable tipo 316L (UNS S31603)

recortados con precisión y pulidos con una superficie altamente reflectante, el globo de 15 m de largo por 6 m de alto (48' por 19') y 40 toneladas se asienta sobre la acera por su base. La pieza final se ensambló en torno a una enorme estructura interna, soldada, rectificada y pulida in situ.

«Esta obra propone una forma de acero inoxidable que también es blanda y efímera», afirma Kapoor. «Los espejos nos hacen detenernos, ser absorbidos y arrastrados de un modo que altera el tiempo, lo ralentiza quizá; es un material que crea un nuevo tipo de espacio inmaterial». **NI**