





REMKO DE WAAL EPA-EFE

MX3D

## ESTUDIO DE CASO 23 PUENTE PEATONAL IMPRESO EN 3D, AMSTERDAM



*Acero inoxidable: Arcelor Mittal*  
*Arquitectos: Joris Laarman Lab*  
*Ingenieros principales: Arup*  
*Fabricante: MX3D, una empresa holandesa centrada en la fabricación aditiva por arco de alambre robótico a gran escala (WAAM)*

*Ubicación: Oudezijds Achterburgwal, uno de los canales más antiguos y famosos del centro de Ámsterdam*

*Longitud: 12.2 m*

*Anchura: 6.3 m*

*Altura: 2.1 m*

*Probado bajo una carga de 17 toneladas, se utilizaron 4500 kg de acero inoxidable tipo 308LSi.*

*Tiempo de impresión: 6 meses*

### IMPRESO EN 3D, AMSTERDAM

*El primer puente de acero inoxidable impreso en 3D del mundo está abierto en los Países Bajos. Los diseñadores aprovecharon las ventajas de la fabricación aditiva, que permite construir rápidamente casi cualquier diseño con poca chatarra y con opciones de fabricación in situ o en fábrica. En este caso, el puente de 12 m se construyó fuera de las instalaciones.*

Con 4500 kilos de alambre para soldar, de acero inoxidable tipo 308LSi (UNS S30888), la fabricación se llevó a cabo con cuatro robots industriales de 6 ejes equipados con antorchas de soldadura para imprimir la estructura en 3D. Estas máquinas producen las secciones del puente mediante un intrincado proceso de estratificación que da lugar a un acabado de acero sin pulir. El níquel hace que el acero inoxidable de la serie 300 sea soldable, fuerte y resistente, por lo que es muy apto para las construcciones de impresión 3D.

Los diseñadores utilizaron dos métodos de impresión en 3D: la deposición directa de energía (DED) y la fusión por lecho de polvo (PBF). Con la DED, la impresora

alimenta el material, normalmente en forma de polvo o alambre, a través de una boquilla en forma de bolígrafo y una intensa fuente de calor funde el metal al contacto. De forma similar, la PBF permite una mayor resolución, lo que ofrece a los diseñadores una mayor precisión para lograr su visión.

Para soldar el puente impreso en 3D se utilizó un proceso conocido como sinterización digital por láser, realizado por grandes robots. Se ha dotado de sensores para recoger datos que permiten controlar su rendimiento.

El 15 de julio de 2021, la reina Máxima lo desveló oficialmente, con ayuda de nada menos que un robot para cortar la cinta. **NI**

# EDITORIAL: EL NÍQUEL SOCIAL POSIBILITA LA VIDA SOCIAL

*El níquel es un metal social. Una idea extraña, pero cuando se piensa en ella, es la base de lo que hace que el níquel sea realmente útil.*

En esta edición de *Nickel*, examinamos el carácter social del níquel, desde sus propiedades químicas y físicas hasta la forma en que permite aplicaciones que ayudan a la humanidad a conectarse.

El níquel se mezcla fácilmente con la mayoría de los metales. Esto permite producir una amplia gama de aleaciones resistentes al calor y a la corrosión, fuertes, duras, dúctiles y soldables, con diversas propiedades físicas útiles e incluso críticas. También permite que los metales trabajen juntos en acabados sobre metales y plásticos, y todas estas habilidades sociales están resolviendo problemas en casi todos los aspectos de nuestra vida.

¿Y qué hay de las aplicaciones del níquel que facilitan nuestra propia red social? Nos fijamos en el papel del níquel en los condensadores en miniatura que ayudan a alimentar nuestros teléfonos inteligentes, la herramienta esencial para cualquier persona social.

Una vez que esos aparatos electrónicos que nos mantienen conectados llegan al final de su vida útil, ¿qué ocurre con ellos? Hablamos de la creciente presencia del níquel en los residuos electrónicos y de cómo se recupera de estas aplicaciones para que vuelva a servir. El níquel recuperado se reutiliza a menudo en aleaciones como el acero inoxidable, donde los productores pueden aprovechar de nuevo su naturaleza sociable.

También examinamos cómo el acero inoxidable que contiene níquel ha ayudado al sector farmacéutico a afrontar el reto de producir las vacunas que tanto se necesitan para combatir enfermedades como la Covid-19, permitiéndonos socializar de nuevo.

Este número celebra las numerosas y diversas aplicaciones a las que contribuye el níquel. Incluso la más pequeña cantidad de níquel en tantas aplicaciones, supone colectivamente una enorme diferencia. Y ahora que empezamos a reunirnos de nuevo, recordamos que a menudo son las pequeñas cosas las que importan.

Clare Richardson  
Editora, *Nickel*



*El níquel permite aplicaciones que ayudan a la humanidad a conectarse, gracias a sus propiedades químicas y físicas.*

# ÍNDICE

- 02 **Estudio de caso n.º 23**  
*Puente impreso en 3D*
- 03 **Editorial**  
*El níquel social que posibilita la vida social*
- 04 **Actualidades de Nickel**
- 06 **En su bolsillo**  
*Minicondensadores*
- 08 **Minería de residuos electrónicos**  
*Una nueva vida para los metales usados*
- 10 **Níquel vital**  
*Producción de vacunas*
- 12 **Níquel**  
*El metal sociable*
- 13 **Aleaciones de níquel**  
*Invar*
- 14 **Preguntas y respuestas técnicas**  
*Tubos de acero inoxidable enterrados*
- 15 **Nuevas publicaciones**
- 15 **Detalles UNS**
- 16 **Torre LUMA Arles**  
*Inspirada en van Gogh*

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, Jim Fritz, Richard Matheson,  
Geir Moe, Kim Oakes, Odette Ziezold

Diseño: Constructive Communications

El material aquí contenido ha sido preparado para información general del lector y no deberá 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, su personal y sus consultores no afirman ni garantizan que sea adecuado para ningún uso general o específico ni aceptan ningún tipo de obligación o responsabilidad respecto a la información aquí contenida.

ISSN 0829-8351

Impreso en papel reciclado en Canadá por Hayes Print Group

Portada: [iStock@coffeekai](mailto:iStock@coffeekai)

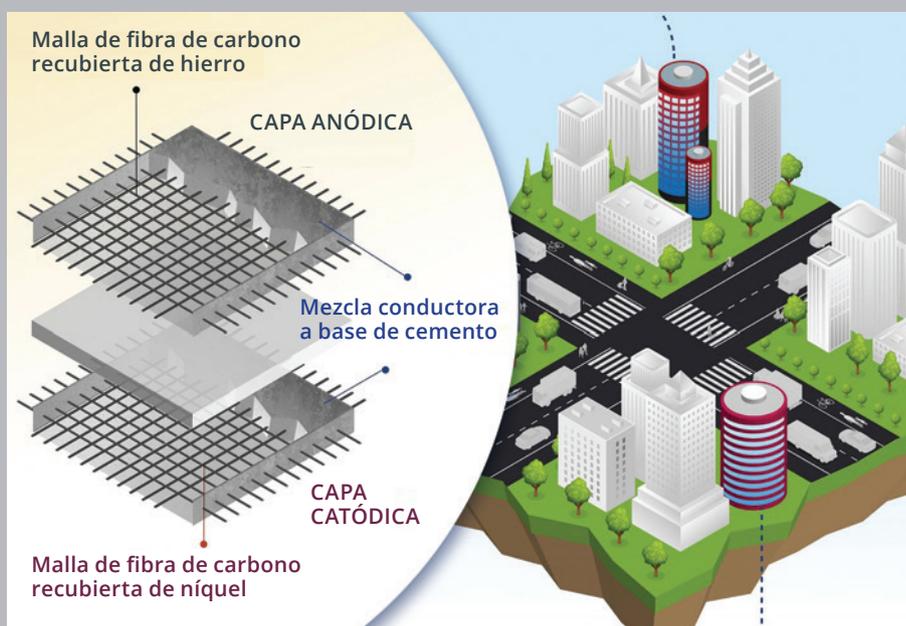
Créditos de imágenes de Stock: pág. 3 [iStock@Orbon](mailto:iStock@Orbon) Alija  
pág. 6 [Shutterstock@OlegDoroshin](mailto:Shutterstock@OlegDoroshin) pág. 8. [iStock@Lya\\_Cattel](mailto:iStock@Lya_Cattel),  
pág. 9. [iStock@pagadesign](mailto:iStock@pagadesign) pág. 10 [iStock@SDI](mailto:iStock@SDI) Productions,  
pág. 11 [iStock@DrazenZigic](mailto:iStock@DrazenZigic), pág. 12 [iStock@maki\\_shmaki](mailto:iStock@maki_shmaki)

# NICKEL

ACTUALIDADES



## Más poder para el hormigón



¿Convertir un apartamento en una batería gigante? Los investigadores Tang y Zhang, de la Universidad Chalmers (Suecia), han desarrollado un prototipo de batería recargable a base de cemento. El avance consistió en incrustar una mezcla de hormigón con fibras cortas de carbono, una malla de fibra de carbono recubierta de hierro y una malla recubierta de níquel, utilizando hierro para el ánodo y níquel para el cátodo. La investigación generó una densidad energética media de 7 vatios-hora por metro cuadrado. Es baja en comparación con las baterías comerciales, pero por su volumen, la técnica es capaz de almacenar y suministrar una cantidad sustancial de energía. El hormigón es el material de construcción más utilizado en el mundo, por lo que cuando la batería basada en cemento se incorpore a edificios, puentes y aceras en el futuro, podría ser un cambio en la construcción hacia una mayor sostenibilidad.

# La ramificación en China

Es un bosque futurista donde la arquitectura caprichosa se une al ingenio tecnológico. Situado en Nanjing (China) y formando parte de la Exposición de Jardines de Jiangsu, el Jardín del Futuro cuenta con 42 árboles de acero inoxidable que actúan como paraguas que sostienen el techo. Todos los árboles son iguales y están conectados entre sí. El panel acrílico es la parte superior de la hoja de loto, la primera de este tipo en el mundo. La zona, transformada a partir de minas recuperadas y una planta de cemento abandonada, es ahora un deleite para la vista, a pesar de las complejas condiciones del terreno y los desafíos de la construcción. Se completó con éxito utilizando 1000 toneladas de acero inoxidable que contiene níquel tipo 316L (UNS S31603).



CHINA ARCHITECTURE DESIGN & RESEARCH GROUP FOTO: ZHANG GUANGYUAN

# Vuelos con aviones



ELECTRICAIR

En un paso importante hacia los cielos más ecológicos, el fundador de ElectricAir, Gary Freedman, registró el vuelo más largo del mundo sobre agua realizado por un avión puramente eléctrico, con un trayecto de 40 minutos a través del estrecho de Cook, en Nueva Zelanda. Alimentado por dos baterías de litio que contienen níquel para impulsar el motor eléctrico, puede durar hasta 90 minutos y recargarse en menos de una hora. El vuelo en solitario se produjo 101 años después del primer vuelo de un avión convencional sobre el estrecho que separa las dos islas principales de Nueva Zelanda, y fue programado para coincidir con la inauguración de la Cumbre del Clima de la ONU en octubre de 2021 en Escocia. "El inicio de un cambio radical". Freedman afirma que "están en camino aviones eléctricos más grandes y de mayor autonomía, ideales para rutas de corta distancia."

# Midiendo el dulzor en el sudor

Científicos de la Universidad Estatal de Pensilvania han publicado en *Biosensors and Bioelectronics* los detalles de un innovador sensor no invasivo y de bajo costo capaz de detectar la glucosa en el sudor. Construido primero con grafeno inducido por láser (LIG), no era "sensible a la glucosa en absoluto". Entonces eligieron el níquel por su "robusta sensibilidad a la glucosa". Colocando el dispositivo reutilizable en el brazo una hora y tres horas después de una comida, el sujeto realizó un breve entrenamiento. Aunque la concentración de glucosa en el sudor es unas 100 veces menor que en la sangre, el nuevo dispositivo midió con precisión la glucosa, tal y como verifican los

monitores disponibles en el mercado. "Queremos trabajar para ver cómo podemos aplicar esta tecnología para la monitorización diaria de un paciente", dijo Cheng.



UNIVERSIDAD ESTADAL DE PENNSILVANIA

# NÍQUEL EN SU BOLSILLO

## LOS CONDENSADORES EN MINIATURA NOS MANTIENEN CONECTADOS

*El níquel ha permitido reducir el tamaño de los condensadores cerámicos multicapa (MLCC, por sus siglas en inglés) al disminuir el grosor de la capa dieléctrica, manteniendo los mismos valores de capacitancia.*



*El teléfono inteligente que llevamos en el bolsillo es un complejo sistema electrónico que incorpora muchas funciones diferentes, todas ellas alimentadas por la misma batería interna. Un circuito electrónico está compuesto por componentes electrónicos individuales, como resistencias, transistores, condensadores, inductores y diodos, conectados por cables o trazos conductores por los que puede circular la corriente eléctrica. El condensador es un componente que tiene la capacidad de almacenar energía en forma de carga eléctrica, como una pequeña batería recargable.*

Los condensadores son esenciales para que un circuito electrónico funcione. Si las fuentes de alimentación pudieran proporcionar un voltaje constante independientemente de la corriente consumida y no hubiera componentes que produjeran ruido eléctrico, los condensadores no serían necesarios. Pero la fluctuación de la tensión es una realidad y hay que suavizarla. El condensador proporciona un almacenamiento intermedio que asegura que siempre haya suficiente corriente para todos los componentes y filtra el "ruido" para garantizar que los distintos subcircuitos electrónicos funcionen según lo previsto.

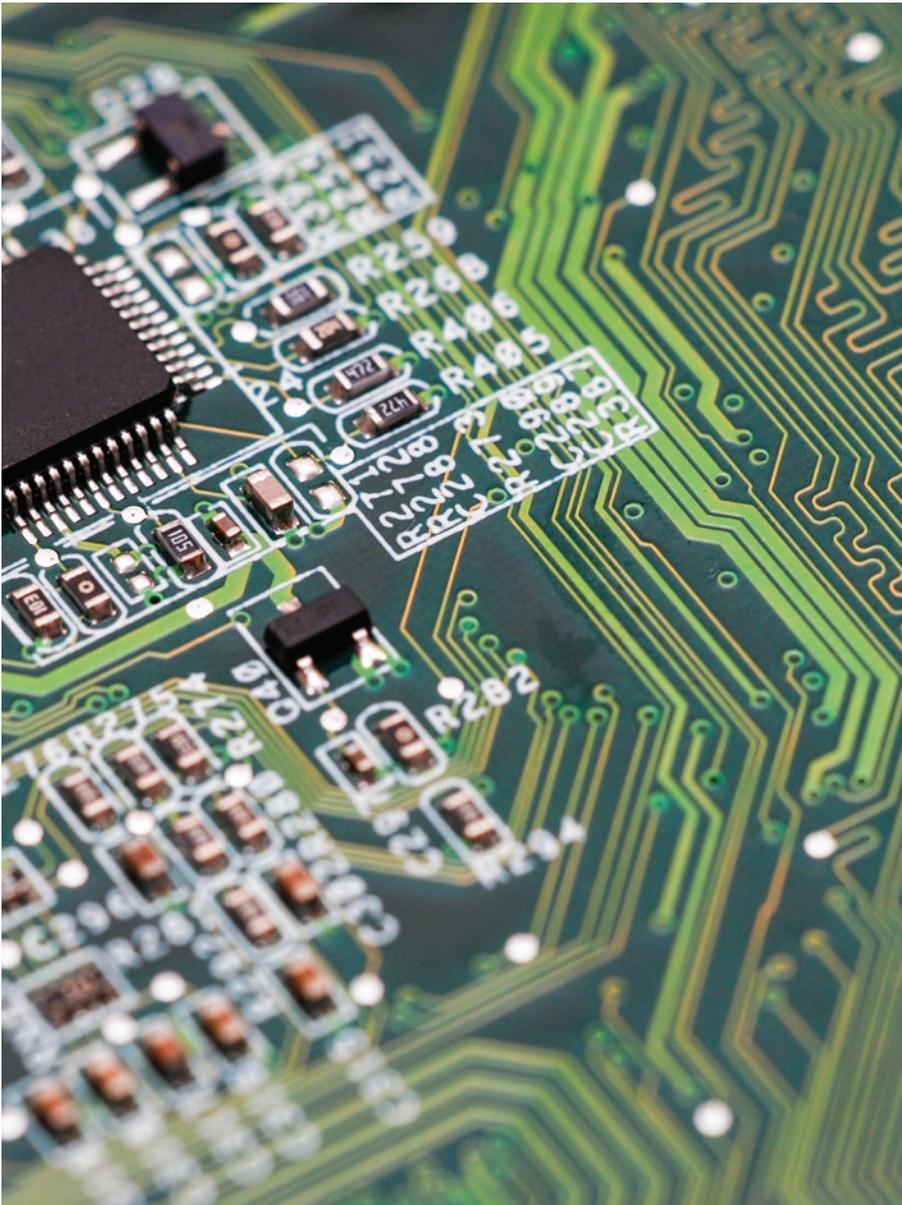
En los aparatos electrónicos de consumo suele haber cientos y, en el caso de los teléfonos inteligentes de alta gama como el iPhone, más de mil condensadores en miniatura. Conocidos como condensadores cerámicos multicapa (MLCC), pueden ser tan pequeños como un grano de arena en su playa de vacaciones favorita. Su función es desacoplar subcircuitos entre sí, de modo que no se vean afectados por

inconsistencias en la alimentación eléctrica, causadas por la actividad en otro subcircuito.

### **La anatomía de un MLCC**

En su forma básica, un MLCC consta de dos o más placas metálicas paralelas (electrodos) que están separadas eléctricamente por un material aislante conocido como dieléctrico. Actualmente, los MLCC pueden tener 600 electrodos paralelos de menos de un micrómetro de grosor.

Los MLCC se inventaron hace más de 40 años para sustituir a los condensadores cerámicos de disco. Los condensadores cerámicos de disco tienen dos cables solitarios que suelen montarse a través de agujeros en la placa de circuito impreso. No favorecían la instalación rápida ni la miniaturización de los aparatos electrónicos. La forma rectangular de los MLCC permitía un montaje superficial de alta velocidad. Los MLCC utilizaban inicialmente plata-paladio (Ag-Pd) como electrodo, y fueron sustituidos por níquel a principios de la década de 2000. Los



electrodos de níquel ofrecían varias ventajas sobre la Ag-Pd, entre ellas:

- Capas dieléctricas más finas
- Mayores valores de capacitancia (mayor eficiencia volumétrica)
- Menor costo

El níquel es ahora el material elegido para la fabricación de los MLCC. Ha permitido reducir el tamaño de los MLCC al disminuir el grosor de la capa dieléctrica, manteniendo los mismos valores de capacitancia. Los MLCC que contienen níquel se encuentran en los teléfonos inteligentes; en los dispositivos electrónicos portátiles como los relojes inteligentes

y las bandas de fitness; en los sistemas aeroespaciales y en los coches inteligentes, especialmente en los que cuentan con sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS). De hecho, se pueden encontrar MLCC en cualquier lugar donde haya aparatos electrónicos miniaturizados. Cada año se fabrican hasta cuatro billones de MLCC, de los cuales el 40% se utiliza en el montaje de teléfonos inteligentes. En 2020, se utilizaron 4800 toneladas de níquel en la fabricación de MLCC para crear los diminutos componentes que nos mantienen conectados y sin los cuales nuestros dispositivos electrónicos no funcionarían.

Ni



*En 2020, se utilizaron 4800 toneladas de polvo de níquel para fabricar condensadores cerámicos multicapa, que pueden ser tan pequeños como un grano de arena.*

# LA MINERÍA DE LOS RESIDUOS ELECTRÓNICOS

## UNA NUEVA VIDA PARA LOS METALES USADOS

*"Nuestros procesos se basan en la compleja metalurgia del plomo, el cobre y el níquel, utilizando estos metales básicos como colectores de metales preciosos y otros metales, denominados "impurezas", como el antimonio, el bismuto, el estaño, el selenio, el telurio y el indio"*  
—Umicore

*"La chatarra electrónica, incluida la chatarra LIB, se coloca en un convertidor de fundición de cobre tras un tratamiento previo. Después, se separa en sulfato de níquel crudo mediante electrólisis y se envía a una refinería de níquel para convertirlo en sulfato de níquel puro, que se utiliza como materia prima para las baterías".*  
—Sumitomo Metal Mining

*"Gracias a la estructura modular de nuestros nuevos sistemas de reciclaje, podemos reaccionar con gran flexibilidad al mercado y a las necesidades y, por tanto, devolver al ciclo de materiales cada vez más materiales con contenido metálico".*  
—Aurubis



*Piense en el mayor barco de crucero. Imagínese cuánto pesa: algo más de 100 000 toneladas. Ahora piense en 500 de esos barcos y lo que pesan. Esa es la asombrosa cantidad de nuevos residuos electrónicos que generamos cada año.*

Más de 53 millones de toneladas sólo en 2020, según el Global E-waste Monitor. Y cada año habrá más, con 74 millones de toneladas previstas para 2030. Pero hoy en día, sólo unos 10 millones de toneladas de residuos electrónicos se reciclan realmente, lo que significa que recuperamos los metales y otros materiales valiosos, incluido el níquel. Los 43 millones de toneladas restantes de residuos electrónicos, que se calcula que contienen material recuperable por valor de unos 55.000 millones de dólares estadounidenses, no se reciclan y se depositan en los vertederos. Teléfonos móviles, computadoras, televisores, electrodomésticos y otros componentes electrónicos que utilizamos a diario encuentran un final de vida insatisfactorio.

### **Recuperación compleja**

Hay níquel en los residuos electrónicos, aunque la cantidad depende de los componentes electrónicos concretos que se reciclen. La recuperación es bastante compleja, ya que el níquel es un "metal social" que se mezcla bien con la mayoría de los demás metales. Normalmente, el contenido de níquel puede estar entre el 0,5 y el 2% del peso total de un componente, mucho menos que su contenido de cobre y hierro. El níquel se utiliza en la electrónica por sus atributos clave, como demuestra su uso en los MLCC (véase la página 6). Los metales preciosos –el oro, el paladio y la plata–, aunque estén presentes en cantidades mucho menores, pueden tener un valor monetario mayor. Pero en la economía circular hay que recuperar todo lo que se pueda, y los miembros del Nickel Institute están poniendo de su parte.

### **Procesamiento propio**

Cada productor de níquel que participa en el reciclaje tiene su propia ruta de procesamiento, a menudo exclusiva, para

los residuos electrónicos. Comienza con el preprocesamiento, ya que los residuos electrónicos contienen una gran cantidad de plásticos, cerámica y otros materiales no metálicos que tienen un camino separado; la fracción metálica es la que interesa principalmente. Incluso ahí, el acero de los aparatos puede separarse magnéticamente y enviarse a las acerías para su reciclaje directo. La trituración de, por ejemplo, placas de circuitos e incluso teléfonos móviles enteros en pequeños trozos puede ayudar en el proceso de separación. Algunas empresas tienen una línea de reciclaje separada para los distintos tipos de baterías, cuyo suministro para el reciclaje se espera que aumente rápidamente a medida que las baterías de los vehículos eléctricos lleguen al final de su vida útil.

Los procesos de recuperación de los metales, el cobre, el níquel y los metales preciosos, implican la pirometalurgia (alta temperatura), la hidrometalurgia (disolución en ácidos) o ambas. Algunas empresas pueden recuperar otros metales utilizados en la electrónica, como el indio, el selenio, el bismuto y otros metales presentes en cantidades aún más pequeñas.

### **Materia prima importante**

Algunos de nuestros miembros manipulan los residuos electrónicos desde hace más de 30 años. Es una materia prima importante, y están dispuestos a procesarla en mayores cantidades en el futuro. Este material, que ahora es un residuo, extraído hace muchos años, puede convertirse en nuevos y esenciales componentes electrónicos para que todos los disfrutemos. Aunque la cantidad de níquel en los desechos electrónicos es relativamente pequeña, la industria del níquel es un valioso socio de la sociedad para lograr el objetivo de crear una economía circular.



*"Vale tradicionalmente ha procesado pirometalúrgicamente los materiales reciclados, pero está evaluando también rutas hidrometalúrgicas. Tenemos un sólido diagrama de flujo con varias opciones para procesar este material y seguiremos avanzando en nuestra capacidad de procesar Black Mass".*

—Vale

*"Nuestra fundición de Rönnskär, en el norte de Suecia, es uno de los mayores recicladores de metal de material electrónico del mundo. La instalación también minimiza sus emisiones y genera calefacción urbana a partir de material electrónico".*

—Boliden

*"Hemos reciclado más de un millón de toneladas de chatarra electrónica desde los años 90".*

—Glencore

NI

# EL NÍQUEL VITAL EN LA PRODUCCIÓN DE VACUNAS



*Patín de filtración de flujo tangencial utilizado en la producción de vacunas*



COTTER BROTHERS CORP

*Aunque los años 2020 y 2021 estuvieron llenos de muchas malas noticias y sufrimiento causados por la COVID-19, el desarrollo de vacunas fue el único aspecto positivo que sigue dando esperanzas de que la pandemia pueda ser controlada. El rápido desarrollo de vacunas altamente eficaces por parte de las empresas farmacéuticas, los científicos y los gobiernos será sin duda recordado como uno de los mayores logros de nuestro tiempo.*

Con el desarrollo de estas vacunas, el siguiente reto es producir cientos de millones de dosis lo más rápidamente posible, pero la capacidad de producción de vacunas farmacéuticas tradicionales no está fácilmente disponible. La construcción y aprobación de una nueva planta farmacéutica con biorreactores y los sistemas de apoyo de "agua para inyección" (WFI) y limpieza in situ (CIP) pueden tardar 18 meses o más en estar operativos. Durante una pandemia, este tiempo es demasiado lento.

Para acelerar la producción de vacunas, la industria ha recurrido a las tecnologías de un solo uso. Con este enfoque, se

utilizan materiales poliméricos para los biorreactores que se desinfectan mediante irradiación gamma y se desechan después de un uso. Esta tecnología no requiere los sistemas de apoyo WFI y CIP y la producción puede ponerse en marcha en un periodo de tiempo mucho más corto.

El material de construcción más utilizado en las plantas farmacéuticas tradicionales es el acero inoxidable de tipo 316L (UNS S31603) que contiene níquel y, cuando se necesita una mayor resistencia a la corrosión, se seleccionan aceros inoxidables de mayor aleación o aleaciones de níquel.

Con el enfoque de un solo uso se utiliza una bolsa de polímero como biorreactor. Este método emplea menos acero inoxidable y otras aleaciones resistentes a la corrosión que la producción tradicional. Aunque la producción de un solo uso desplaza algunos aceros inoxidables, los aceros inoxidables austeníticos que contienen níquel siguen desempeñando un papel fundamental en la producción de vacunas. Las bolsas de polímero de los biorreactores deben colocarse dentro de contenedores metálicos denominados "totes" para el soporte mecánico y el control de la temperatura. Los "totes" se construyen con acero inoxidable pulido del tipo 304L (S30403) para mantener la higiene y la limpieza del entorno de producción.

La purificación del producto vacunal es un paso importante y necesario en el proceso de producción. En la producción de un solo uso, la purificación se consigue mediante la filtración de flujo tangencial (TFF). Esta técnica emplea la filtración por membrana, en la que una corriente de alimentación pasa en paralelo a una cara de la membrana. Una

parte de la corriente pasa a través de la membrana, el permeado, y el resto de la corriente, el retentado, se recircula de nuevo a la alimentación. Durante la producción de vacunas, este proceso se lleva a cabo en un patín de purificación. El marco estructural del patín se construye con acero inoxidable pulido del tipo 304L y la tubería, que está en contacto con el producto se construye con acero inoxidable electropulido del tipo 316L.

Los equipos farmacéuticos suelen construirse según la norma ASME BPE (equipos de bioprocésamiento). Ésta abarca los materiales, el diseño, la fabricación, las inspecciones, las pruebas y la certificación cuando se requieren altos niveles de higiene.

La demanda mundial de vacunas contra la COVID-19 continuará en un futuro previsible y se acabarán construyendo grandes instalaciones de producción tradicionales. Hasta que eso se consiga, se seguirá empleando la producción de un solo uso para la fabricación rápida de estos salvavidas. En cualquier caso, las aleaciones que contienen níquel seguirán siendo materiales de construcción vitales. **Ni**

### *Grandes contenedores rectangulares utilizados para la producción de vacunas*



COTTER BROTHERS CORP



# NICKEL EL METAL SOCIABLE

*El níquel se mezcla fácilmente con el hierro, el cobre, el cromo, el molibdeno, el titanio, el cobalto y el tungsteno, produciendo aleaciones de ingeniería útiles y críticas.*



*¿Recuerda sus primeros días de escuela, cuando el profesor podía incluir la frase "juega bien con los demás" en un boletín de notas? Esto también describe al níquel, un elemento versátil que se alea con la mayoría de los metales. La amplitud de las aleaciones que contienen níquel y sus aplicaciones es inigualable.*

El níquel forma aleaciones binarias (de dos elementos) con el cobre, el molibdeno, el titanio, el hierro y el cromo. También forma aleaciones terciarias en las que el hierro es el tercer elemento, ya sea porque el hierro es esencial para las propiedades de la aleación, o porque la presencia del hierro no es objetable para las propiedades de la aleación y, por tanto, se añade para reducir el costo.

También hay aleaciones multielemento que contienen muchos de los elementos mencionados, en particular los aceros inoxidables resistentes a la corrosión y las aleaciones a base de níquel. La presencia

de cromo, molibdeno y otros elementos proporciona resistencia a la corrosión. Pero el níquel es esencial para mantener una microestructura austenítica que da a estas aleaciones sus excelentes características de fabricación y soldadura. Se requieren mayores concentraciones de níquel a medida que aumenta el contenido de estos otros elementos. Gracias a la "sociabilidad" del níquel, son posibles muchas aleaciones resistentes a la corrosión. Sin ellas, la producción de la mayoría de los productos químicos utilizados por la industria sería más difícil y más costosa empleando otros metales menos satisfactorios.

Ni

	Nombre	UNS	Composición, peso %*		Características
			Ni	Otro	
Aleaciones de elementos binarios	Aleación 400	N04400	66	32 Cu	Resistencia a la corrosión
	Cu-Ni 70-30	C71500	30	70 Cu	Resistencia a la corrosión
	Aleación B-2	N10665	72	28 Mo	Resistencia a la corrosión
	Nitinol	N01555	55	45 Ti	Memoria de forma y superelasticidad
	Aleación 36	K93600	36	64 Fe	Baja expansión
	Nicromo 80-20	N06003	80	20 Cr	Elementos de calefacción eléctrica
Aleaciones de elementos terciarios	Kovar®	K94610	29	17 Co, 54 Fe	Baja expansión
	Aleación 80	N14080	80	5 Mo, 14 Fe	Alta permeabilidad magnética
	Aleación 600	N06600	75	15 Cr, 8 Fe	Resistencia a la corrosión
	Aleación 33	R20033	32	33 Cr, 34 Fe	Resistencia a la corrosión
Aleaciones multielementos	MP35N®	R30035	35	35 Co, 20 Cr, 10 Mo	Alta resistencia, resistencia a la corrosión
	Aleación 188	R30188	22	40 Co, 22 Cr, 14 W	Servicio de alta temperatura
	Aleación 617	N06617	54	12,5 Co, 22 Cr, 9 Mo	Servicio de alta temperatura
Aceros inoxidables y aleaciones a base de níquel resistentes a la corrosión	316	S31600	10	16 Cr, 2 Mo, 70 Fe	Resistencia a la corrosión
	6% Mo SS	S31254	18	20 Cr, 6 Mo, 55 Fe	Resistencia a la corrosión
	Aleación 625	N06625	60	21 Cr, 8 Mo, 3,5 Nb, 4 Fe	Resistencia a la corrosión
	Aleación C-276	N10276	58	15 Cr, 16 Mo, 5 Fe, 3,5 W	Resistencia a la corrosión
	Aleación 718	N07718	52	19 Cr, 5 Nb, 3 Mo	Alta resistencia, resistencia a la corrosión
	310	S31000	20	25 Cr, 52 Fe	Servicio de alta temperatura
	330	N08330	35	19 Cr, 1,2 Si, 44 Fe	Servicio de alta temperatura

\* Composición aproximada de los elementos significativos

# INVAR : UNA ALEACIÓN NOBLE

En el rango de temperaturas que va desde la temperatura ambiente hasta la temperatura máxima del horno de su cocina, unos 260 °C (500 °F), el acero, que es una aleación de hierro y carbono, se dilata. Por lo general, esta expansión no es perceptible ni lo suficientemente grande como para causar un problema, pero para algunos equipos, como los dispositivos de medición de precisión y los relojes mecánicos, la expansión térmica en este rango de temperatura es un problema significativo. En 1895, el físico suizo Charles Edouard Guillaume descubrió el coeficiente de dilatación excepcionalmente bajo de la aleación de hierro y níquel con un 64% de hierro y un 36% de níquel, por el que recibió el Premio Nobel de Física en 1920. Esta aleación recibió el nombre de Invar, que viene de la palabra invariable, en referencia a su relativa falta de expansión o contracción en este rango de temperaturas. Entre 20 °C y 100 °C (68 °F y 212 °F) la tasa de expansión térmica del Invar es aproximadamente una décima parte de la del acero ordinario.

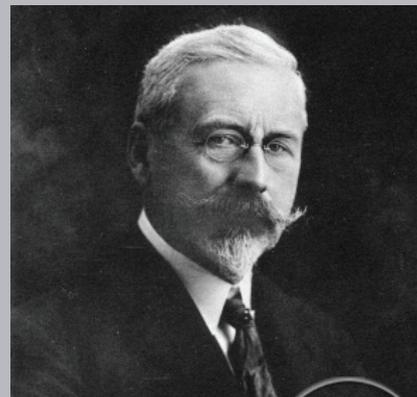
A medida que el níquel aumenta del 36 al 50%, la tasa de expansión térmica aumenta. Esto ha llevado al desarrollo de toda una familia de aleaciones de hierro-níquel con su índice de expansión térmica optimizado para rangos de temperatura específicos, que se conocen colectivamente como aleaciones de expansión controlada.

Estas aleaciones permiten adaptar los índices de dilatación a los de diversos vidrios y cerámicas para producir juntas herméticas de vidrio-metal y cerámica-metal que protejan los aparatos electrónicos de los gases y líquidos. Se pueden producir moldes para fabricar

materiales compuestos para aplicaciones aeroespaciales con tolerancias estrictas. Las tiras bimetálicas con una aleación de baja expansión en una cara y una aleación de alta expansión en la otra funcionarán como un interruptor activado térmicamente. El invar también conserva una buena resistencia y tenacidad a temperaturas criogénicas y se utiliza para fabricar membranas de contención de gas natural licuado (GNL).

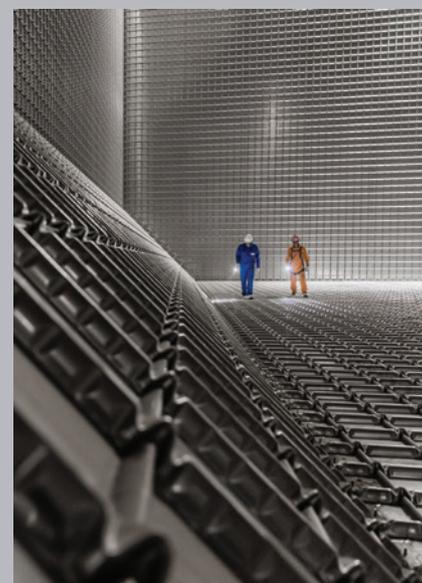
Este sistema de aleación de hierro y níquel es fundamental para fabricar equipos de medición de precisión e interruptores térmicos y para proteger los aparatos electrónicos.

Ni



El físico suizo y premio Nobel Charles Edouard Guillaume

Invar® puede utilizarse como capa de membrana para el transporte de buques de GNL.



Aleaciones de expansión controlada		Ni	Fe	Co
Invar 36®	K93600	36	bal.	
Kovar®	K94610	29	bal.	17
Aleación 42	K94100	41	bal.	
Aleación 52	N14052	52	bal.	



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/>

# NICKEL

REVISTA DIGITAL

[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 Twitter [@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](http://www.youtube.com/user/NickelInstitute)

# Pregúntele a un experto

## Preguntas más frecuentes de la Línea de asesoramiento técnico del Nickel Institute

**P:** Me gustaría saber si las tuberías de acero inoxidable enterradas necesitan medidas de protección contra la corrosión para las superficies exteriores de las tuberías (lado del suelo).

**R:** Esta no es una pregunta sencilla porque los tipos de suelo varían en su corrosividad que puede variar según la época del año. Generalmente, las tuberías y tanques de acero enterrados sufren corrosión cuando el suelo presenta una o más de las siguientes condiciones:

- Alto contenido de humedad
- Un valor de pH inferior a 4,5
- Una resistividad inferior a 1000  $\Omega$ -cm
- Presencia de cloruros, sulfuros y bacterias
- Presencia de corrientes parásitas

Si el suelo está bien compactado para excluir el oxígeno, la corrosión se vería sofocada. Los suelos de drenaje libre que pierden rápidamente el contenido de agua, normalmente por encima del nivel freático, son menos corrosivos que los suelos que mantienen la humedad durante mucho tiempo. La presencia de cloruro en los suelos de las zonas marinas o adyacentes a las carreteras donde se aplican sales de deshielo también puede ser problemática. Y la materia orgánica o los sulfuros pueden proporcionar nutrientes para la actividad microbiana que puede causar una corrosión con influencia microbiológica.

En la mayoría de las circunstancias, el tipo 316L (UNS S31603) es una aleación adecuada. Pero si las condiciones corrosivas del suelo no pueden mitigarse mediante el uso de un relleno bien drenado o debido a la presencia

de especies corrosivas, como el cloruro, las opciones son utilizar un acero inoxidable más resistente a la corrosión, como el tipo 2205 (S32205), 2507 (S32750) o 6Mo (S31254) o envolver en cinta de petrolato. Los revestimientos no son habituales debido a la probabilidad de daños mecánicos.

Las referencias útiles que tratan este tema, incluyen:

*Soil Corrosion Test for Stainless Steel Pipes – 10-year Burial Test Result Report (Prueba de corrosión del suelo para tubos de acero inoxidable - Informe de resultados de pruebas de enterramiento de 10 años)* disponible para su descarga gratuita desde: [www.nickelinstitute.org](http://www.nickelinstitute.org)

*Corrosion Resistance of Stainless Steels in Soils and Concrete* por Pierre-Jean Cunat disponible para su descarga gratuita desde: [www.worldstainless.org](http://www.worldstainless.org)

NI



# Nuevas publicaciones

## Se publican dos nuevas normas de acero inoxidable del AISC

El AISC (siglas en inglés del Instituto Americano de Construcción en Acero) ha publicado dos nuevas normas sobre acero inoxidable.

### La ANSI/AISC 370-21 Especificación para edificios de acero inoxidable estructural y la ANSI/AISC 313-21 Código de Práctica Estándar para Edificios de Acero Inoxidable

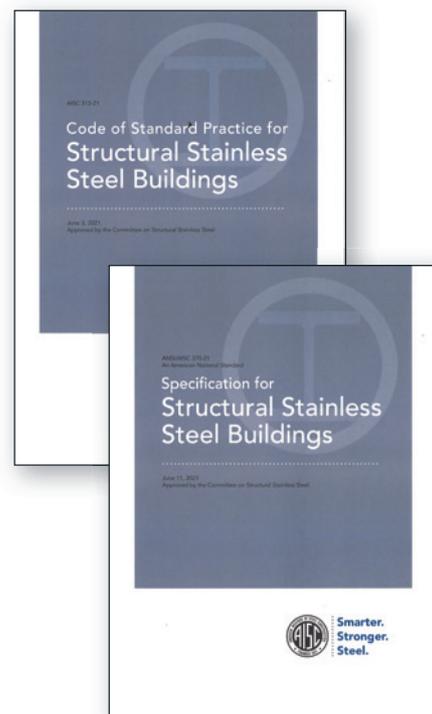
**Estructural** están disponibles para su descarga gratuita en: [www.aisc.org/publications/steel-standards/](http://www.aisc.org/publications/steel-standards/)

La disponibilidad de estas normas tan esperadas ayudará a los ingenieros, especificadores de materiales y diseñadores a aprovechar al máximo las extraordinarias propiedades del acero inoxidable

en la edificación, la construcción y los grandes proyectos de infraestructuras, como los puentes. Estos códigos son importantes porque son las primeras especificaciones estadounidenses para el uso estructural de secciones de acero inoxidable laminado en caliente y soldado de mayor calibre. Los códigos AISC también son utilizados por los ingenieros estructurales de muchas otras regiones del mundo.

Los consultores del Nickel Institute y del Team Stainless, Nancy Baddoo (Steel Construction Institute, Reino Unido) y Catherine Houska, junto con los productores de acero y los fabricantes de productos, han trabajado estrechamente con el AISC durante los últimos tres años para desarrollar estas nuevas e importantes normas.

Ni



## Nuevo video: El níquel al servicio de la energía limpia

El Nickel Institute ha creado un video breve, divertido y dinámico que muestra la contribución del níquel a las tecnologías que ayudan a combatir el cambio climático. El video presenta una industria que asume sus responsabilidades, reconoce que hay que

hacer más y produce un producto que tiene un papel fundamental en las tecnologías de energía limpia. Disponible en el canal de YouTube y el sitio web del Nickel Institute.

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

Ni



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

UNS	C	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	N	Ni	P	S	Si
<b>S30403</b> pág. 11	0.03 máx.	18.0- 20.0	-	bal.	2.00 máx.	-	-	8.0- 12.0	0.045 máx.	0.030 máx.	1.00 máx.
<b>S30888</b> pág. 2	0.03 máx.	19.5- 22.0	0.50 máx.	bal.	1.0- 2.5	0.75 máx.		9.0- 11.0	0.03 máx.	0.03 máx.	0.65 1.00
<b>S31254</b> pág. 14	0.020 máx.	19.5- 20.5	0.50- 1.00	bal.	1.00 máx.	6.0- 6.5	0.18- 0.22	17.5- 18.5	0.030 máx.	0.010 máx.	0.80 máx.
<b>S31603</b> págs. 5, 10, 11, 14, 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.
<b>S32205</b> pág. 14	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.
<b>S32750</b> pág. 14	0.030 máx.	24.0- 26.0	-	bal.	1.20 máx.	3.0- 5.0	0.24- 0.32	6.0- 8.0	0.035 máx.	0.020 máx.	0.80 máx.



© IWAN BAAIJ

## UN ICONO LUMINOSO TORRE LUMA ARLES



© ADRIAN DEVEERDT

*La base cilíndrica evoca el anfiteatro romano de dos niveles de Arles, construido en el año 90 dC. Los niveles superiores, revestidos de acero inoxidable brillante, se inspiran en La noche estrellada de Vincent van Gogh, pintada en 1889 durante su estancia en el asilo de Saint-Paul-de-Mausole.*

*Se trata de una nueva y llamativa pieza central en la ciudad francesa de Arles, una torre de 56 metros de altura. Su retorcida fachada se compone de 11 000 paneles de acero inoxidable dispuestos de forma irregular, salpicados de jardineras de vidrio que sobresalen de un tambor circular de vidrio. Diseñada por el arquitecto Frank Gehry, ganador del Premio Pritzker, rinde homenaje al paisaje circundante y a los que quizá fueron, en su momento, los residentes más famosos de Arles: los romanos y el artista Vincent van Gogh. El centro del "campus creativo" se encuentra en un antiguo astillero ferroviario que quedó vacío en 1986.*

Gehry explicó su visión de la Torre: "La fachada del nuevo edificio se inspira en los picos de piedra caliza de Les Alpilles. El edificio cambia de aspecto a medida que uno se desplaza por él, ya que cada uno de los paneles refleja la luz de forma diferente. Realizados en acero inoxidable, los paneles del edificio hacen referencia simultáneamente a la tradición de la construcción de mampostería de la

región y al patrimonio industrial de su emplazamiento inmediato".

El edificio está revestido con 220 toneladas de acero inoxidable estampado de tipo 316L (UNS S31603). El acero inoxidable estampado es un proceso de laminación en frío en el que se graba un patrón específico en la chapa. El proceso de estampado libera la tensión de las chapas para conseguir la máxima reflectividad de la luz.

NI