

NICKEL REVISTA

LA REVISTA DEDICADA AL NÍQUEL Y SUS APLICACIONES

NICKEL, VOL. 40, N.º 2, 2025

Cuarenta años de la revista Nickel

*Evolución de la industria del níquel
en los últimos cuarenta años*

*El níquel en pediatría:
stents de nitinol diminutos*

*Cuarenta años de desarrollo
de baterías*





RK&K

ESTUDIO DE CASO 34 PUENTE RODANTHE, CAROLINA DEL NORTE

NEW RIVER ELECTRICAL CORPORATION



Se usaron aproximadamente 2268 toneladas de acero inoxidable

Se usaron 1505 toneladas en la superestructura

Se usaron 694 toneladas en la subestructura

Proyecto adjudicado en 2017

Coste del proyecto: 145 millones de USD

Vida útil del puente Jug Handle: 100 años

Situado cerca de uno de los hábitats de pastos marinos contiguos más importantes del este de Estados Unidos, el puente Rodanthe 'Jug Handle', de 3,9 km, es un testimonio de construcción innovadora mediante el uso de componentes prefabricados y una técnica de alternancia de tareas para acelerar la construcción. Inaugurado en 2022, el nuevo puente es el segundo del estado de Carolina del Norte que utiliza refuerzos de acero inoxidable que contienen níquel, elegido para protegerlo del agua salada.

Para resistir los efectos corrosivos del agua salada, el acero inoxidable fue un componente clave en muchas áreas, incluidas las barras de refuerzo del hormigón colado in situ en el tablero, los herrajes expuestos, como pernos de anclaje y señalización, y el revestimiento de las tuberías de servicios públicos con sistemas de soportes de acero inoxidable. En total, en este proyecto se utilizaron unas 2268 toneladas de acero inoxidable de grado XM-28 (UNS S24100) de los tamaños n.º 4 a n.º 10.

El equipo de diseño y construcción eligió hormigón prefabricado para los pilotes, las vigas y los paneles del tablero. Se utilizó hormigón colado in situ para las tapas dobladas

interiores y de los extremos, el tablero y las barreras.

Finalmente, la estructura de 107 vanos se componía de cinco secciones: la transición sur, el puente principal de la curva sur, el puente principal tangente, el puente principal de la curva norte y la transición norte.

La extraordinaria topografía planteaba numerosos retos de diseño, como la adaptación a vientos huracanados de hasta 170 km/h, la posible colisión de buques, las mareas de tempestad, la erosión generalizada y la vigilancia medioambiental para preservar las praderas marinas protegidas. ¿El resultado? Una estructura resiliente diseñada para soportar los retos que plantea la naturaleza.

NI

EDITORIAL: EL NÍQUEL: 40 AÑOS DE EVOLUCIÓN, DE COMPONENTE BÁSICO DEL ACERO A POTENCIA EN BATERÍAS

Hace cuatro décadas, cuando la revista Nickel salió por primera vez de las imprentas, el mundo del níquel era muy diferente al actual. En 1985, el níquel era sobre todo el héroe anónimo del auge del acero inoxidable: más de la mitad del níquel primario se destinaba a la fabricación de cubertería, la construcción y la maquinaria industrial. Los minerales de sulfuro de Canadá, la URSS y Australia satisfacían la demanda mundial, y la noción del níquel como actor fundamental en la transición energética aún no existía.

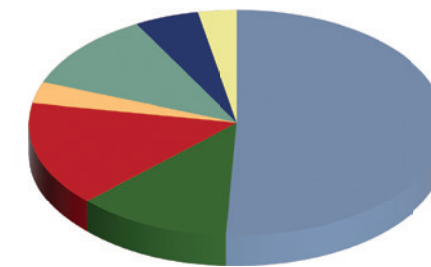
Avanzando rápido hasta 2025, la transformación del níquel es sencillamente extraordinaria. La producción se ha multiplicado por seis. El acero inoxidable sigue a la cabeza, con cerca del 65 % del uso mundial de níquel, pero han surgido nuevos sectores. En la actualidad, las baterías, que en 1985 representaban una ínfima parte del mercado del níquel, representan más del 15 % de la demanda, ya que la revolución de los vehículos eléctricos y el almacenamiento de energía están cambiando el panorama del níquel.

Geográficamente, la migración del corazón del níquel es igualmente sorprendente. Hoy en día, Indonesia domina la producción. Los cambios políticos y las inversiones han impulsado al país a producir cerca de la mitad del níquel primario del mundo, una hazaña inimaginable en 1985.

Lo que no cambia es la adaptabilidad del níquel. En 1985, se adaptó al ascenso meteórico del acero inoxidable; en 2025, hará lo mismo con la movilidad eléctrica y las tecnologías verdes. Los retos que se avecinan (cambios en la cadena de suministro, escrutinio medioambiental y volatilidad del mercado) son de gran envergadura. Pero si algo nos han enseñado los últimos cuarenta años es que el níquel, siempre resiliente, seguirá evolucionando y ayudando a forjar el futuro.

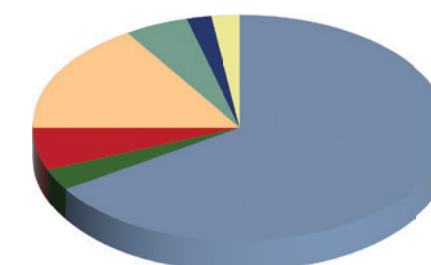
Clare Richardson
Editora, *Nickel*

Primer uso del níquel en 1985



- 51 % acero inoxidable
- 12 % aceros aleados
- 15 % aleaciones a base de níquel
- 3 % aleaciones a base de cobre
- 11 % galvanoplastia
- 5 % fundiciones
- 3 % Otros

Primer uso del níquel en 2024



- 66 % acero inoxidable
- 3 % aceros aleados
- 6 % aleaciones a base de níquel
- 16 % baterías
- 5 % revestimientos
- 2 % fundiciones
- 2 % otros

H. PARISER

SMR GMBH

ÍNDICE

02 Estudio de caso n.º 34

Puente Rodanthe, Carolina del Norte

03 Editorial

El níquel: 40 años de evolución

04 Actualidades de Nickel

06 La industria del níquel

40 años de cambios

09 El níquel en pediatria

Stents de nitinol diminutos

10 Recubrimiento duro

El níquel alarga la vida de los equipos

12 40 años de innovación en baterías

El papel fundamental del níquel

14 Preguntas y respuestas técnicas

15 ¿Por qué el níquel?

15 Detalles UNS

16 El Sun Life Centre

Sigue brillando

La revista *Nickel* es una publicación del Nickel Institute
www.nickelinstitute.org

Dra. Veronique Steukers, Presidenta
Clare Richardson, Editora
communications@nickelinstitute.org

Colaboradores: Parvin Adeli, Parul Chhabra, Jill Ciminillo,
Gary Coates, Geir Moe, Kim Oakes, Lyle Trytten,
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 papel reciclado en Canadá por Hayes Print Group

Créditos de imágenes de Stock:

Portada: Composición Constructive Communications;
pág. 9 iStock©FatCamera, iStock©Pijitra Phomkham;
pág. 11 Shutterstock©GajokFilm, iStock©Sanya Kushak;
pág. 13 VectorStock©serdiukigor;
pág. 15 VectorStock©macrovectors, composición
Constructive Communications;
pág. 16 iStock©Elijah-Lovkoff, Alamy©William Caram

NICKEL

ACTUALIDADES



La expectación es real

Un equipo de investigación de POSTECH (Universidad de Ciencia y Tecnología de Pohang) ha desarrollado un nuevo tipo de aleación de alta entropía (HEA) a base en níquel, conocida como "Hyperadaptor". La innovadora aleación mantiene tanto la resistencia como la ductilidad en una amplia gama de temperaturas, de -196 °C a 600 °C. Este avance es muy prometedor para aplicaciones que implican cambios bruscos o extremos de temperatura, como motores de cohetes o reactores, sistemas de escape de automóviles, turbinas de centrales eléctricas y tuberías. Dará lugar a materiales de nueva generación con un comportamiento mecánico coherente, lo que mejorará enormemente tanto la seguridad como la eficacia en entornos exigentes. Los resultados se publicaron en la revista internacional *Materials Research Letters*.

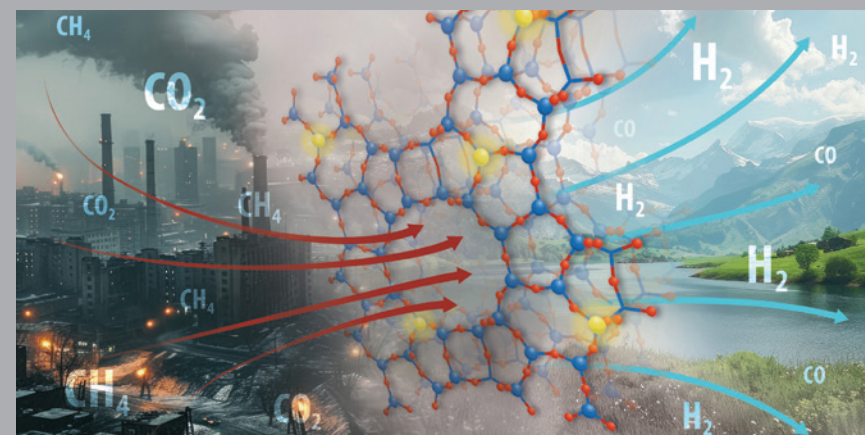
A toda máquina



RENSHAW

La colaboración entre Renishaw, fabricante mundial de máquinas de fabricación aditiva (AM) para metales, y Metaltine, proveedor austriaco de polvo metálico, ha dado como resultado una solución probada para uno de los mayores retos de las piezas de AM metálicas en aplicaciones marinas. Para combatir el efecto corrosivo del agua salada, sobre todo en los sistemas hidráulicos, han optimizado los parámetros del proceso para CuNi 10 (90 % de cobre, 10 % de níquel) y CuNi 30 (70 % de cobre, 30 % de níquel). Aprovechando la avanzada tecnología de fusión láser de Renishaw y perfeccionando los parámetros de entrada de energía, superaron los desafíos que presentan los materiales, garantizando piezas duraderas de alta calidad y una mayor resistencia y longevidad en los duros entornos marinos. Esto permitirá a los clientes navales fabricar sus propias piezas según sus necesidades, lo que acelerará el plazo de entrega.

Una solución de gas de síntesis

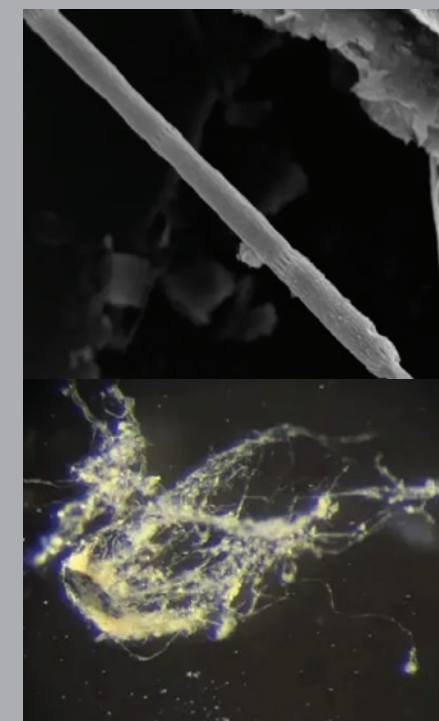


PHILIP GRAY/ORNL DEPARTAMENTO DE ENERGÍA DE EE.UU.

Investigadores del Laboratorio Nacional Oak Ridge del Departamento de Energía de Tennessee han desarrollado un nuevo catalizador, un material cristalino llamado zeolita que contiene silicio, aluminio, oxígeno y níquel. Las soluciones anteriores que transformaban dos gases de efecto invernadero nocivos, el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂), en componentes valiosos para combustibles y materias primas más limpias se veían obstaculizadas por las altas temperaturas. Para sintetizar el catalizador de zeolita, los investigadores eliminaron algunos átomos de aluminio y los sustituyeron por níquel, creando así un fuerte enlace entre el níquel y la zeolita huésped. Esto hace que el catalizador sea resistente a la degradación a altas temperaturas. Los investigadores afirman que se trata de un avance que acelerará la producción de gas de síntesis, lo que repercutirá en la seguridad energética mundial, en combustibles más limpios y en materias primas químicas. El equipo ha solicitado una patente para su invento.

Revuelo bacteriano

Científicos de la Universidad Estatal de Oregón han descubierto una nueva especie de bacterias cable en un lodazal costero que actúa como un cableado eléctrico. Compuesta por moléculas únicas a base de níquel que albergan fibras altamente conductoras, esta bacteria destaca por su potencial metabólico y sus características estructurales distintivas. Bautizada *Electrothrix yaqonensis* en honor de los nativos americanos de la región, su descubrimiento está a punto de marcar el comienzo de una nueva era de dispositivos bioelectrónicos para su uso en medicina, industria, seguridad alimentaria y limpieza medioambiental. "Estas bacterias pueden transferir electrones para limpiar contaminantes, por lo que podrían utilizarse para eliminar sustancias nocivas de los sedimentos", afirma el investigador Cheng Li. "Además, su diseño de una proteína de níquel altamente conductora puede inspirar una nueva bioelectrónica". Los hallazgos se publicaron en *Applied and Environmental Microbiology*.



OSU

LA INDUSTRIA DEL NÍQUEL, PARTE 5

CUARENTA AÑOS DE CAMBIOS EN LA INDUSTRIA DEL NÍQUEL

La parte 5 de la serie de artículos sobre la industria del níquel analiza los cambios tecnológicos, el crecimiento del mercado y las aperturas y cierres de instalaciones. Aunque no es exhaustiva, ofrece una "curva de evolución" de la industria durante las últimas décadas.

La industria del níquel ha experimentado una gran transformación en los últimos 40 años. Los avances en la tecnología de producción, el desarrollo de yacimientos conocidos desde hace tiempo y la creciente atención prestada a las cuestiones ASG han reconfigurado el sector. Los resultados medioambientales han mejorado considerablemente en muchos países productores, impulsados por la reglamentación, la presión social y la evolución de las normas.

Nuevos descubrimientos de recursos
En las últimas cuatro décadas se han producido pocos descubrimientos importantes de níquel, pero se han explotado en gran medida recursos ya conocidos, sobre todo en Asia. En cuanto a los sulfuros, Voisey's Bay, en Canadá, es el descubrimiento más notable que alcanzó la producción durante este período.

Los yacimientos de laterita, más fáciles de identificar por su exposición superficial, han experimentado un desarrollo generalizado. Muchos se conocían desde hacía décadas, antes de los avances recientes. Se

trata de recursos en Australia, Nueva Caledonia, Filipinas, Papúa Nueva Guinea y Madagascar. Weda Bay, en Indonesia, aunque descubierta en 1996, representa una de las explotaciones de laterita a gran escala más recientes.
El auge de Indonesia ha definido los últimos 20 años de producción de níquel. Desde 1990, la producción mundial de níquel extraído ha crecido a una tasa anual compuesta del 4 %, por encima del crecimiento del PIB mundial. Esta expansión ha ido acompañada de una disminución general de la ley del mineral,

como muestran los estudios a largo plazo¹, aunque la ley de los sulfuros canadienses se ha mantenido relativamente estable.

Los tonelajes de recursos presentan un panorama desigual. Los yacimientos de sulfuros se han mantenido prácticamente estables a pesar de la producción en curso, probablemente debido a los continuos descubrimientos durante la explotación. En cambio, los yacimientos de laterita suelen disminuir con la producción, lo que refleja su naturaleza más definida al inicio.

Avances en el procesamiento
Aunque pocos métodos de procesamiento son totalmente nuevos, se han producido avances significativos. Un cambio importante ha sido el resurgimiento de la lixiviación ácida a alta presión (HPAL) para minerales de limonita de níquel a partir de finales de la década de 1990. Aunque se utilizó por primera vez en Cuba en 1959, la tecnología permaneció inactiva durante décadas. En torno al cambio de milenio se inició una oleada de nuevos proyectos australianos de HPAL, aunque solo uno tuvo éxito a largo plazo. Siguió una generación posterior de plantas de HPAL en Filipinas, Nueva Caledonia, Madagascar, Papúa Nueva Guinea, Turquía y, más recientemente, Indonesia, donde la tecnología se está implantando y ampliando con creciente confianza.

Otra innovación significativa se produjo con el desarrollo de la lixiviación ácida a presión asistida por cloruro para los concentrados de sulfuro de Voisey's Bay. Si bien la lixiviación directa de concentrados de níquel se remonta a los años cincuenta, Long Harbour marcó el primer uso comercial de cloruros para gestionar la lixiviación de sulfuros en soluciones ácidas, un concepto conocido desde los años setenta.

El cambio más transformador se produjo durante el repunte del precio del níquel a mediados de la década de 2000: la aparición de aleaciones de hierro-níquel de menor ley, como el arrabio de níquel (NPI, <15 % Ni). Inicialmente producida en altos hornos reutilizados en China con

mineral importado, la producción de NPI se expandió rápidamente mediante el uso de la tecnología de horno rotatorio-horno eléctrico (RKEF) en Indonesia. El RKEF, utilizado desde hace tiempo para producir ferroníquel (FeNi, >15 % Ni) a partir de saprolitas de alta ley, fue adaptado para procesar minerales de ley media (1,6-2 % Ni) en aleaciones aptas para el sector del acero inoxidable.

Este crecimiento de la producción de NPI redujo la demanda de níquel de clase 1 en la producción de acero inoxidable. Sin embargo, al aumentar la demanda de material para baterías, algunos productores de NPI y FeNi empezaron a convertir su producción en níquel mate mediante la adición de azufre, un proceso utilizado por primera vez en Nueva Caledonia.

Más recientemente, ha ganado terreno un nuevo producto intermedio, el precipitado de hidróxido mixto (MHP). Producido mediante HPAL, el MHP se ha convertido en la materia prima preferida para los materiales de las baterías, especialmente en Asia, ya que ofrece una ruta más rentable que el refinado del níquel metálico puro.

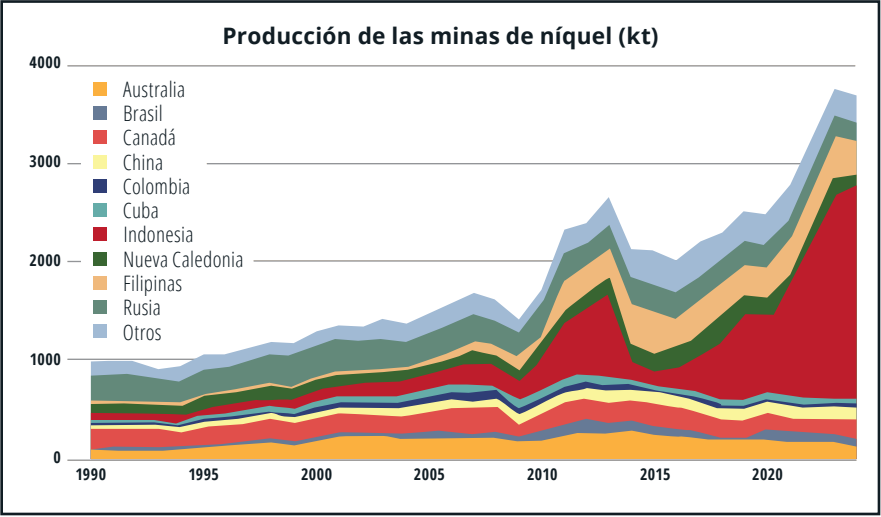
Mayor atención a los criterios ASG
En los últimos 40 años, las consideraciones ambientales y sociales han pasado a ocupar un lugar central, con una normativa más estricta y unas expectativas públicas cambiantes que han impulsado el cambio. Se han hecho grandes inversiones en el control de la contaminación atmosférica y del agua, sobre todo en las jurisdicciones con leyes medioambientales más estrictas.

La captura de dióxido de azufre y su conversión en ácido sulfúrico se ha convertido en algo habitual en las fundiciones con acceso al mercado para el subproducto, mientras que otras han cerrado por falta de dicho acceso. El tratamiento del agua y la recuperación de las minas también han mejorado en muchas regiones.

De cara al futuro
Disponemos de suficientes recursos terrestres de níquel para satisfacer la demanda mundial, tanto en forma de sulfuro como de laterita. Aunque siguen siendo posibles nuevos

El Nickel Institute ha desempeñado un papel clave en el avance de los resultados ASG mediante el desarrollo de evaluaciones del ciclo de vida (ECV) durante las dos últimas décadas. Estos análisis ayudan a los productores a identificar "puntos críticos" medioambientales y lagunas en los datos, lo que favorece la mejora continua.

Crecimiento de la producción minera mundial y principales países productores desde 1990



SERVICIO GEOLOGICO DE EE.UU.

¹ Mudd, G., & Jowitt, S. (2022). *The new century for nickel resources, reserves, and mining: Reassessing the sustainability of the devil's metal*. Society of Economic Geologists.



Voisey's Bay, en Canadá, es el descubrimiento más notable que alcanzó la producción durante este período.

descubrimientos de sulfuros, suelen estar enterrados y son más difíciles de encontrar. La IA y el aprendizaje automático se utilizan ahora para mejorar las capacidades de exploración.

Los recursos oceánicos, como los nódulos de aguas profundas y las costras hidrotermales, también son prometedores, pero su desarrollo se ve limitado por la falta de un marco regulador acordado internacionalmente.

El procesamiento seguirá evolucionando mediante la adaptación de métodos probados de otras industrias, como las técnicas avanzadas de fundición del cobre. La lixiviación oxidativa a presión de concentrados de sulfuro podría expandirse más allá de su única instalación actual. La lixiviación en pilas de minerales lateríticos sigue despertando interés, con una reciente operación comercial a pequeña escala en Brasil, que se espera que alcance su plena producción en los próximos años.

Otras tecnologías innovadoras—como la molienda fina para la lixiviación a baja temperatura, la extracción directa con disolventes de los licores de lixiviación HPAL y la fundición de saprolita por corriente continua—no han alcanzado hasta ahora el éxito comercial. No obstante, la búsqueda de mejores resultados económicos y avances en ASG mantiene viva la innovación.

Se prevé que la producción de níquel siga creciendo, incluso a medida que aumenten las existencias mundiales de níquel reciclable

en acero inoxidable, aleaciones y baterías. Debido a la larga vida útil de los productos que contienen níquel, aún faltan décadas para lograr una cadena de suministro totalmente circular. Sin embargo, crece el interés por recuperar el níquel de los depósitos de residuos antiguos mediante técnicas como la biolixiviación, aunque estas sigan siendo una pequeña parte del suministro total.

Los esfuerzos de descarbonización en todo el sector minero también están influyendo en las operaciones de níquel. En la medida de lo posible, se utilizan energías renovables y equipos electrificados. Sin embargo, muchas fundiciones, especialmente las que no están conectadas a la red y funcionan con carbón, se enfrentan a importantes obstáculos para la transición a una energía baja en carbono. La energía hidroeléctrica y la nuclear siguen siendo opciones a largo plazo que requieren mucho capital y que pueden ser viables en algunos casos.

Las fundiciones de laterita, que dependen en gran medida de combustibles y reactivos basados en el carbono, son especialmente difíciles de descarbonizar. Es poco probable que el hidrógeno verde tenga un impacto a corto plazo en las regiones donde se lleva a cabo la mayor parte del procesamiento de lateritas.

En cuanto a las emisiones, más operaciones de sulfuro están invirtiendo en la captura de azufre para reducir la contaminación, y continúa el impulso hacia normas ASG más estrictas. Ni

EL NÍQUEL EN PEDIATRÍA

STENTS DE NITINOL DIMINUTOS

Se calcula que cada año nacen en el mundo 1,3 millones de niños con cardiopatías congénitas. Y uno de cada cuatro de esos bebés padecerá una cardiopatía congénita crítica que requerirá cirugía u otros procedimientos durante su primer año de vida, muchos de ellos en los primeros días o semanas tras el nacimiento.

En la década de 1990, la colocación de stents pediátricos surgió como una alternativa mínimamente invasiva a las cirugías tradicionales, que ofrecía tiempos de recuperación más rápidos y menos complicaciones. Sin embargo, la implantación de stents en niños requiere consideraciones especiales debido al crecimiento de sus cuerpos y al pequeño tamaño de sus vasos; el stent debe poder expandirse a medida que el niño crece, ya sea mediante dilatación con balón o utilizando materiales bioabsorbibles. Uno de estos materiales adecuados para la colocación de stents pediátricos es el nitinol (UNS N01555), una aleación de níquel y titanio (NiTi), conocida por su memoria de forma única y sus propiedades superelásticas.

Reparar corazones rotos

A medida que avanza la investigación, el nitinol sigue siendo de gran interés para la colocación de stents pediátricos debido a su flexibilidad y capacidad para adaptarse a la anatomía de los vasos, especialmente en vasos retorcidos o estirados (conocidos como vasos tortuosos), al tiempo que resiste eficazmente las fuerzas de compresión externas. El último desarrollo de nitinol de "alta pureza" ofrece una excepcional resistencia a la fatiga, lo que lo hace adecuado para anatomías complejas con grandes radios de curvatura y elevadas tensiones de funcionamiento.

Un futuro más prometedor

Una empresa de tecnología médica de San Diego está desarrollando un

sistema de stents de nitinol para el conducto arterioso y un reductor percutáneo del flujo pulmonar. El conducto arterioso es un vaso temporal del feto que permite que la sangre oxigenada eluda los pulmones en el útero. Al nacer, este vaso se cierra cuando los pulmones se llenan de oxígeno durante la primera respiración del bebé. A veces, el vaso no llega a cerrarse, y el stent de nitinol en el conducto arterioso proporciona un flujo sanguíneo esencial a los pulmones o al organismo, sustituyendo la cirugía a corazón abierto en los recién nacidos.

Los reductores del flujo pulmonar permiten la colocación de dispositivos mediante cateterismo percutáneo (a través de una pequeña incisión) para limitar el flujo sanguíneo a los pulmones. Un almacén de nitinol autoexpandible es esencial, ya que permite la expansión a lo largo del tiempo para satisfacer las cambiantes necesidades de flujo sanguíneo mediante técnicas de dilatación con balón.

Cuando se utilizan conjuntamente, pueden tratar una de las cardiopatías congénitas más graves y convertir una intervención quirúrgica de alto riesgo en un procedimiento mínimamente invasivo en recién nacidos.

A medida que la investigación avanza en nuestra comprensión del desarrollo cardiovascular y las estrategias de intervención, seguimos siendo optimistas en cuanto a que el nitinol podría ser la clave del asunto. Ni



El nitinol ha experimentado un aumento de la demanda para su uso en dispositivos médicos menos invasivos, como stents de diversos tamaños, catéteres y agujas superelásticas.



RECARGUE DURO

EL NÍQUEL PROLONGA LA VIDA ÚTIL DE LOS EQUIPOS

Las aleaciones a base de níquel se utilizan cada vez más en aplicaciones de recargue duro debido a su excelente resistencia al desgaste y a las altas temperaturas.

Ventajas del recargue duro:

- Mayor resistencia al desgaste
- Capacidad para reconstruir piezas desgastadas
- Mayor resistencia a la corrosión
- Mayor vida útil de los componentes
- Reducción del tiempo de inactividad
- Menores costes de mantenimiento
- Mayor eficacia
- Elección rentable del material

Las piezas metálicas suelen fallar en su uso previsto no porque se fracturen, sino porque se desgastan, lo que hace que pierdan dimensión y funcionalidad. Las piezas metálicas que se mueven unas contra otras, como los componentes de un motor o una válvula, pueden sufrir desgaste. Al igual que las piezas de los equipos de movimiento de tierras y minería y los rodillos que trituran materiales que van desde la caña de azúcar hasta el mineral en una mina.

Para prolongar la vida útil de estos equipos, se puede aplicar un material duro y resistente al desgaste a la superficie de un metal menos resistente al desgaste para reducir la pérdida de metal debida a mecanismos como el gripado, la abrasión, la erosión, el impacto o la corrosión, aunque normalmente se trata de alguna combinación de estos mecanismos. El recargue duro, también conocido como revestimiento duro, puede realizarse en una pieza nueva para aumentar su resistencia al desgaste, o puede utilizarse para restaurar una superficie desgastada.

La mayoría de los materiales de recargue duro son a base de hierro, cobalto y níquel. La base de hierro constituye el uso de mayor volumen y produce una amplia gama de propiedades deseables al menor coste. Sin embargo, las aleaciones a base de cobalto y níquel pueden ser ventajosas cuando la corrosión y la formación de incrustaciones a alta temperatura pueden tener un efecto importante en la tasa de pérdida de metal, a pesar de su mayor coste.

Un invento centenario

El proceso de recargue duro se inventó en 1922 y se llevó a cabo utilizando la aleación 6, una aleación a base de cobalto. En 1937 se desarrolló

la primera aleación de recargue duro a base de níquel.

El recargue duro de aleaciones a base de cobalto y níquel puede aplicarse normalmente mediante los mismos procesos de soldadura utilizados para soldar el metal base subyacente y mediante diversos procesos de proyección térmica que utilizan polvos o alambres de dichas aleaciones de recargue.

Dureza frente a ductilidad

La microestructura de las aleaciones de recargue duro consiste generalmente en precipitados de fase dura como carburos, boruros o intermetálicos ligados a una matriz de aleación más blanda a base de hierro, níquel o cobalto. Las aleaciones a base de cobalto contienen muchos tipos de carburos a base de cromo, tungsteno o molibdeno, mientras que las aleaciones a base de níquel pueden contener boruros, carburos e intermetálicos a base de cromo y silicio.

Como ocurre con la mayoría de los materiales, el aumento de la dureza implica una disminución de la ductilidad. La principal diferencia entre el recargue a base de cobalto y el recargue a base de níquel es su dureza. Los revestimientos a base de níquel son, por lo general, más duros y rinden mejor en condiciones de desgaste



abrasivo, pero pueden ser propensos a agrietarse en caso de impacto. En cambio, los revestimientos a base de cobalto presentan una ductilidad y una resistencia al impacto ligeramente superiores. Además, el aumento de la fracción volumétrica del precipitado duro para aumentar la resistencia al desgaste reduce la fracción volumétrica de la matriz metálica más blanda, reduciendo también la ductilidad.

Elegir la opción adecuada

Que un revestimiento sea más duro no significa que sea el adecuado para todas las situaciones de desgaste. Los revestimientos a base de cobalto se utilizan con frecuencia para vástagos de válvulas, casquillos, varillas de pistones y aplicaciones similares debido a su resistencia al desgaste y a la corrosión a altas temperaturas. Sin embargo, algunos usuarios pueden

optar por revestimientos a base de níquel por su buen rendimiento y menor coste.

Los revestimientos a base de níquel ofrecen una excelente protección en entornos duros y abrasivos, como los que se encuentran en los transportadores de tornillo sinfín para manipulación de materiales y otras aplicaciones como asientos de válvulas, válvulas de bola y otros componentes de válvulas. Ambas familias de materiales tienen una amplia gama de aplicaciones en diferentes sectores. Ninguna familia de materiales es superior a la otra, pero pueden adaptarse mejor a determinados entornos operativos. Los revestimientos soldados y de proyección térmica a base de níquel y cobalto ofrecen una elevada protección contra el desgaste en entornos duros y abrasivos.

Ni



Una aplicación común para el recargue duro es el equipo de movimiento de tierras. Se aplican cordones de recargue duro en forma de rejilla sobre las superficies que estarán expuestas a la abrasión por arrastre en el suelo.

COMPOSICIÓN NOMINAL DE EJEMPLOS DE ALEACIONES DE RECARGUE DURO											
	Nombre/UNS	Fe	Ni	Co	C	Cr	W	Mo	Mn	Si	B
A base de hierro	Aleación 148	bal.	3	-	1,8	30	-	1,5	0,6	1,8	-
A base de níquel	Aleación 60 N99646	4	bal.	-	0,7	13	-	-	-	4,3	3
A base de cobalto	Aleación 6 R30006	<3	<3	bal.	1,2	28	4,5	<1	<1	<2	-

40 AÑOS DE INNOVACIÓN EN BATERÍAS EL IMPACTO DEL NÍQUEL EN LA EVOLUCIÓN DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

A lo largo de las últimas cuatro décadas, las tecnologías de las baterías han transformado profundamente nuestro mundo, alimentando desde los primeros aparatos electrónicos de consumo hasta los vehículos eléctricos y los sistemas de almacenamiento en red actuales. En la década de 1980, las baterías se limitaban en gran medida a aparatos como el Walkman®, pero el panorama cambió radicalmente en 1991 con el lanzamiento de la batería de iones de litio de Sony, un paso revolucionario que permitió el auge de la electrónica móvil y sentó las bases de la movilidad eléctrica.

Durante la década de 2000, las baterías de níquel-hidruro metálico (NiMH) alimentaron vehículos híbridos como el Toyota Prius. Aunque todavía se utilizan en algunos híbridos, fueron sustituidas gradualmente por compuestos de litio-ion como el NMC (óxido de níquel-manganeso-cobalto) y el NCA (óxido de níquel-cobalto-aluminio), que ofrecían una densidad energética mucho mayor para los vehículos enchufables y eléctricos. Para 2020, los vehículos eléctricos representaban alrededor del 4,2 % de las ventas mundiales de automóviles de pasajeros nuevos. De cara al futuro, se prevé que las ventas

de vehículos eléctricos alcancen los 20 millones en 2025, es decir, aproximadamente el 22 % de todos los vehículos nuevos: una aceleración impresionante y un testimonio de los avances en la química de las baterías, especialmente las ricas en níquel.

El papel del níquel en las baterías modernas
Los vehículos eléctricos actuales dependen de baterías avanzadas de iones de litio. Pero, ¿cómo encajan en este panorama elementos como el níquel, el cobalto y el litio? El níquel y el cobalto, a menudo combinados con aluminio o manganeso, son ingredientes clave del cátodo de la batería.



El Mercedes-Benz EQS, un SUV eléctrico de lujo de gran tamaño, utiliza níquel, cobalto y manganeso en la composición de su batería para ofrecer una mayor autonomía.

Estos minerales han transformado los vehículos eléctricos, haciéndolos más prácticos para el uso diario. Una batería consta esencialmente de dos colectores de corriente, un ánodo, un cátodo, un separador y un electrolito. El litio se desplaza entre el cátodo y el ánodo durante la carga y la descarga. El uso de níquel y cobalto en el cátodo mejora la densidad energética y la estabilidad, lo que repercute directamente en la autonomía y el tamaño de la batería.

Reducir la ansiedad por la autonomía
A muchos futuros conductores de VE les preocupa la autonomía, pero las baterías ricas en níquel ayudan a disipar esos temores. Por ejemplo, el Hyundai Ioniq 5 utiliza una proporción 8:1:1 de níquel, cobalto y manganeso, lo que da como resultado una impresionante autonomía de hasta 512 km con una sola carga, superando con creces los 160 km de los primeros vehículos eléctricos. Incluso modelos compactos como el Volvo EX30 pueden alcanzar los 443 km de autonomía, gracias a sus eficientes cátodos de alta energía.

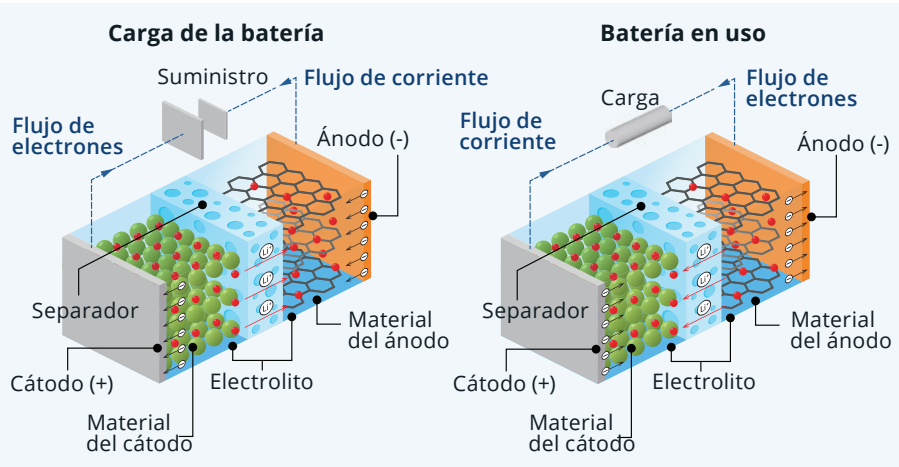
Longevidad y fiabilidad
Los vehículos de gasolina tradicionales suelen durar unos 214.043 km. En cambio, se calcula que los vehículos eléctricos con baterías de níquel y cobalto duran unos 321.869 km, y algunos estudios de flotas muestran una pérdida de capacidad inferior al 10 % tras 200.000 km. Esto significa que los VE pueden conducirse y recargarse durante muchos años sin que disminuya significativamente el rendimiento de la batería.

Capacidad de carga rápida
En los últimos años se han producido mejoras espectaculares en la velocidad de carga. Las baterías con níquel toleran altas velocidades de carga, lo que permite recargas rápidas. El Mercedes-Benz EQS, por ejemplo, puede cargar del 10 % al 80 % en unos 30 minutos, mientras que el Volvo EX30 logra lo mismo en solo 27 minutos. Con la expansión de las redes de recarga rápida, ser propietario de un vehículo eléctrico es más cómodo que nunca.

Reciclabilidad y segunda vida
Debido a su valor económico intrínseco y a las tecnologías de reciclaje bien establecidas, las baterías de vehículos eléctricos con composiciones químicas basadas en níquel y cobalto son más viables y rentables de reciclar en comparación con otras composiciones químicas. Varios fabricantes de equipos originales están trabajando para reutilizar o reciclar las baterías de los vehículos eléctricos. Así se amplía la utilidad de estos minerales y se reduce el impacto ambiental.

El camino por recorrer
La evolución de la tecnología de las baterías en los últimos 40 años ha sido notable, y el papel del níquel ha sido fundamental para hacer posible un transporte eléctrico sostenible y de alto rendimiento. A medida que avanzamos rápidamente hacia un futuro electrificado, el níquel sigue siendo un elemento crucial para las baterías fiables y de alta densidad energética, lo que respalda la próxima era de la movilidad.

Ni



Cómo se utilizan el níquel y el cobalto en las baterías
Los materiales del ánodo y el cátodo almacenan el litio, y la carga/descarga se produce cuando los iones de litio pasan del cátodo al ánodo, o viceversa. El níquel y el cobalto, combinados con aluminio (NCA), manganeso (NMC) o ambos (NCMA), se utilizan a menudo en el cátodo de las baterías de iones de litio y proporcionan varias ventajas en las que los consumidores confían para sus vehículos eléctricos.

PREGÚNTELE A UN EXPERTO – AYUDA TÉCNICA

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: Mi cliente me pide que fabrique un componente utilizando Hastelloy®. ¿Existen alternativas?

R: Hastelloy® es la marca registrada de diversos grados de aleaciones a base de níquel producidas por Haynes International. El nombre se limita normalmente a las aleaciones a base de níquel producidas para aplicaciones anticorrosivas. Y dentro de la familia Hastelloy hay grandes diferencias de resistencia a la corrosión entre los distintos grados. Cada grado suele destacar en una aplicación específica. Por ejemplo, el Hastelloy B-3 se usa principalmente en entornos reductores, en particular los que contienen ácidos fuertes como el ácido clorhídrico, mientras que el Hastelloy C-276 ofrece una gama más amplia de resistencia, que incluye tanto condiciones reductoras como oxidantes. Pero, además, existen otras aleaciones de tipo C, C-4, C-22 y C-2000 con ligeras diferencias químicas que les permiten ofrecer una mayor resistencia a la corrosión en entornos muy específicos.

La aleación Hastelloy más conocida es la C-276 (UNS N10276) (posiblemente éste sea el grado por el que pregunta). Hay muchos productores de esta aleación, en Japón, China, Europa e incluso Estados Unidos.

En la mayoría de los casos, el material se fabrica según las mismas normas comerciales, por ejemplo ASTM, ASME, ISO y EN.

Por lo tanto, si lo que busca es un material equivalente fabricado

conforme a una norma comercial en la que el material solo tiene que ajustarse a una designación de grado industrial como UNS N10276, existen fuentes alternativas. Aunque puede haber limitaciones en la disponibilidad porque estos otros proveedores podrían no vender en regiones específicas o solo producen la aleación en formas de producto específicas o en grosor o anchura limitados debido a la capacidad de sus equipos de procesamiento. Cada productor puede ajustar sus parámetros de producción dentro de los límites de la norma comercial —como la temperatura de recocido o la restricción de elementos de aleación menores— o incluir un proceso de refinado secundario, como el ESR (refusión por electroescoria), de la forma que considere que optimiza la resistencia a la corrosión, la estabilidad térmica de la microestructura o las propiedades mecánicas de la aleación. Esto puede ser importante para determinados usuarios finales. Por lo tanto, si adquiere material a partir de un pedido de un cliente que ha identificado específicamente el Hastelloy, deberá confirmar con su cliente que estas alternativas son aceptables.

El mismo debate puede plantearse con respecto a la marca comercial Inconel® de Special Metals, que identifica su familia de aleaciones a base de níquel. Y de nuevo hay alternativas equivalentes.

NI

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 LOS TELÉFONOS INTELIGENTES

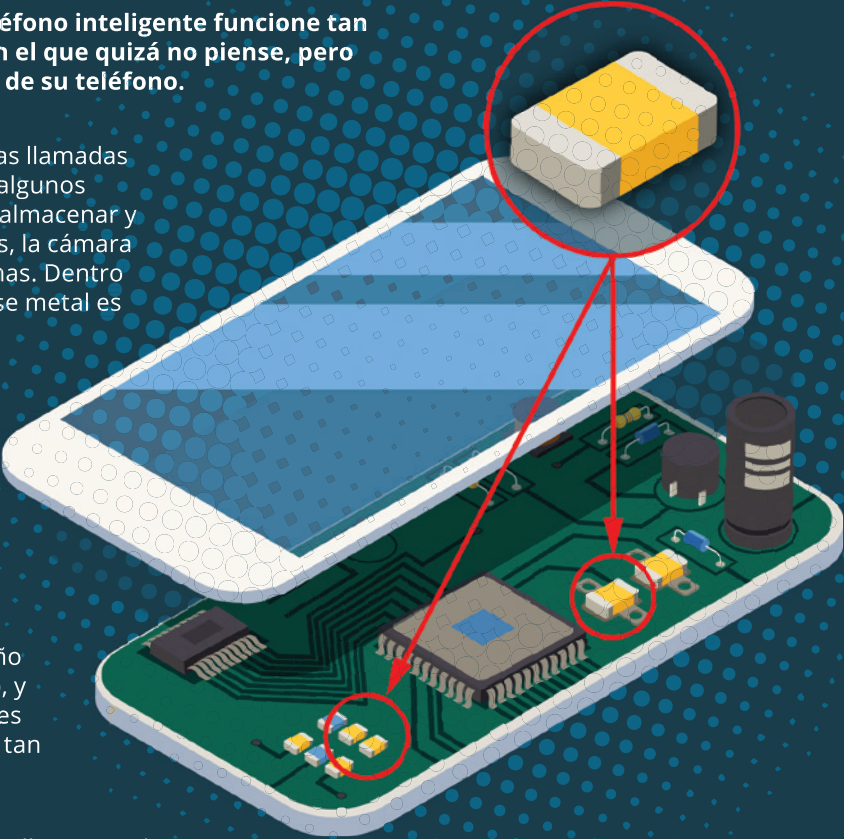
¿Alguna vez se ha preguntado qué hace que su teléfono inteligente funcione tan bien? Uno de los secretos es el níquel, un metal en el que quizá no piense, pero que desempeña un papel muy importante dentro de su teléfono.

Los teléfonos inteligentes utilizan piezas diminutas llamadas **condensadores cerámicos multicapa (MLCC)**, ¡algunos más pequeños que un grano de arena! Ayudan a almacenar y controlar la electricidad, para que las aplicaciones, la cámara y los juegos de su teléfono funcionen sin problemas. Dentro de cada MLCC hay capas de metal, y hoy en día ese metal es principalmente níquel.

El níquel sustituyó a metales más antiguos y caros porque es menos costoso, funciona mejor y permite a los ingenieros fabricar componentes electrónicos aún más pequeños y potentes. Gracias al níquel, su teléfono puede tener más de mil MLCC, ¡todos ellos en un espacio minúsculo!

De hecho, miles de millones de teléfonos inteligentes utilizan toneladas de níquel cada año solo para estas piezas. Sin el níquel, su teléfono, y muchos otros aparatos electrónicos como relojes inteligentes y automóviles, no serían ni de lejos tan rápidos ni fiables.

Así que la próxima vez que deslice el dedo por la pantalla, recuerde: con el níquel está cubierto.



NICKEL

WWW.NICKELINSTITUTE.ORG

SUSCRÍBASE gratis a la revista *Nickel* y recibirá un ejemplar impreso o un aviso por correo electrónico cada vez que se publique un nuevo número.

LEA la revista *Nickel* en línea en varios idiomas.





Diseñado por Webb Zerafa Menkes & Housden Partnership y construido por Eastern Construction, el acero inoxidable de tipo 304 del Sun Life Centre fue suministrado por la empresa canadiense Atlas Steel.

SUN LIFE CENTRE SIGUE BRILLANDO

Situado en una esquina privilegiada del distrito financiero de Toronto (Ontario), el Sun Life Centre brilla como ejemplo de cómo el acero inoxidable desempeña un papel fundamental en la durabilidad, la estética y la facilidad de mantenimiento de la arquitectura moderna.

Más de 40 años después de su construcción, el edificio ha resistido el paso del tiempo y ha recibido reconocimientos medioambientales.

Construido en 1984, este llamativo rascacielos de 28 plantas es propiedad del gigante de los seguros Sun Life. Ha estado sometido a niveles moderados de contaminación y sal de deshielo. Se utilizó acero inoxidable de tipo 304 (UNS S30400) con acabado brillante en todos los componentes, incluido el muro cortina. Mientras que las marquesinas son de vidrio, el revestimiento de

acero inoxidable tipo 304 forma parte del armazón de las marquesinas y de las cubiertas de las columnas. El reluciente exterior se limpia de tres a cuatro veces al año con detergentes neutros y agua y un abrasivo suave en primavera. En 2010, el Sun Life Centre obtuvo la certificación LEED Oro en la categoría de Edificios Existentes del Canada Green Building Council.

En definitiva, Sun Life eligió el material adecuado como seguro para una inversión inteligente a largo plazo. **NI**