

NICKEL REVISTA

LA REVISTA DEDICADA AL NÍQUEL Y SUS APLICACIONES

NICKEL, VOL. 38, N.º 3, 2023

El níquel lidera la carga

*El níquel en las baterías
recargables de aviación*

*Charla sobre baterías con el
Dr. Stanley Whittingham*

*El níquel comercialmente puro:
excelente resistencia a la corrosión*



ESTUDIO DE CASO 29 PUENTE CONMEMORATIVO IOWA-ILLINOIS



Los arcos están fabricados con una combinación de acero ASTM A709 HPS70W y ASTM A709 HPS50W que contiene níquel, recubierto con un sistema de revestimiento de fluoropolímero. Las tuercas de anclaje y acoplamiento son de acero inoxidable dúplex tipo 2507 (UNS S32750) con un límite elástico de 116 ksi para reducir las necesidades de mantenimiento y prolongar la vida útil de los arcos. En el pavimento se utilizó acero intemperizado sin revestimiento. También se utilizó acero inoxidable para las barras de refuerzo del tablero del puente.

Se trata de una de las mayores inversiones jamás realizadas por los dos estados, Iowa e Illinois. ¿Las prioridades clave del proyecto de 1000 millones de dólares? Construir un puente diseñado para una vida útil de 100 años, así como crear un hito emblemático que transformaría y embellecería la ribera del río en las Quad Cities, las cuatro ciudades a lo largo del río Mississippi.

Los puentes gemelos originales ya no eran capaces de soportar con eficacia las crecientes exigencias del tráfico de la bulliciosa región. El primero se construyó en la década de 1930 y su gemelo en 1959. No había arcos y la anchura de los carriles era inferior a la de los estándares actuales. En una labor conjunta, el equipo de los Departamentos de Transporte de Iowa e Illinois, las empresas de ingeniería y diseño de infraestructuras Alfred Benesch and Company y Modjeski and Masters desarrollaron un diseño de arco de acero de «asa de cesta» con un apuntalamiento mínimo.

El constructor Lunda Construction Co. comenzó las obras en 2017 y el puente se inauguró a finales de 2021. La necesidad de mantener el flujo de tráfico entre ambos estados exigía una compleja puesta en escena y métodos de construcción únicos.

Para facilitar la construcción entre dos puentes, Lunda trajo dos de las grúas torre independientes más altas (casi 122 metros de altura) jamás utilizadas para construir un puente en el Medio Oeste.

La construcción de un puente con arcos en forma de asa de cesta de casi 75 metros de altura exigía materiales de alta calidad y tecnología emergente. Para ensamblarlos, el fabricante Industrial Steel Construction creó 30 secciones de caja de acero soldadas para cada uno de los dos vanos en sus instalaciones de Gary, Indiana. Las secciones del arco se cargaron en barcas y camiones y se entregaron en las Quad Cities. En total, los dos vanos suman más de 35 000 toneladas de acero estructural.

Este proyecto transformador obtuvo los máximos honores en los America's Transportation Awards. **NI**

EDITORIAL: EL NÍQUEL LIDERA LA CARGA

Víctor Hugo dijo una vez: «No hay nada más poderoso que una idea a la que le ha llegado su hora». Y la tecnología de las baterías —especialmente su papel en la transición hacia un futuro eléctrico— es una de esas ideas. Así es como la Dra. Parvin Adeli, experta en baterías del Nickel Institute, inauguró el Día de la Batería del Nickel Institute en julio de 2023. Encontrará más información sobre este acontecimiento en la página 5.

El Día de la Batería fue una rica fuente de información actualizada sobre las baterías que contienen níquel y de inspiración para esta edición de *Nickel*. Las baterías que contienen níquel están conformando el futuro del almacenamiento de energía y el transporte, y la carga hacia un mundo más ecológico y conectado está impulsada por las baterías de níquel.



EVATION ILLUSTRATION

Las composiciones químicas basadas en el níquel representan casi dos tercios de la capacidad de las baterías para el sector de los vehículos eléctricos, y se están desarrollando continuamente nuevas aplicaciones para el transporte. El límite es el cielo. Literalmente.

Con cerca del 12 % de las emisiones relacionadas con el transporte, la aviación está en el punto de mira. ¿Serán comunes en el futuro los aviones que funcionen con baterías? En este número sopesamos los avances y los retos en la búsqueda de la electrificación de la aviación.

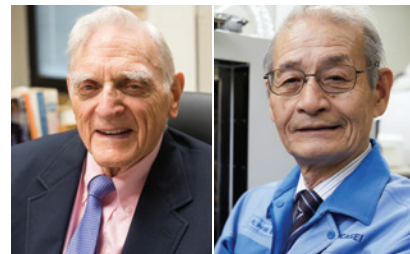
El Dr. Stanley Whittingham nos cuenta su propia trayectoria en el campo de las baterías desde la década de 1970 y los avances que le llevaron a recibir el Premio Nobel de Química en 2019 por el desarrollo de las baterías de iones de litio. Su trabajo y el de sus colegas, los doctores John Goodenough y Akira Yoshino, es la base de gran parte de la actual tecnología de baterías.

Y en nuestra serie explicativa, ¿Por qué el níquel? el tema es, por supuesto, ¡las baterías!

Aunque este número de *Nickel* se centra en las baterías, no olvidamos otras aplicaciones de los materiales que contienen níquel. Pase a la contraportada para conocer el impresionante Salmon Eye, un proyecto encargado para inspirar e informar sobre cómo proporcionar al mundo alimentos sostenibles procedentes del mar.

Otra idea a la que le ha llegado su hora.

Clare Richardson
Editora, *Nickel*



JOHN B. GOODENOUGH

AKIRA YOSHINO



STANLEY WHITTINGHAM

Los doctores John Goodenough, Akira Yoshino y Stanley Whittingham fueron galardonados con el Premio Nobel de Química en 2019 por su trabajo en el desarrollo de las baterías de iones de litio.

ÍNDICE

- 02 **Estudio de caso n.º 29**
Puente conmemorativo Iowa-Illinois
- 03 **Editorial**
El níquel lidera la carga
- 04 **Novedades de Nickel**
- 06 **Aviación eléctrica**
¿Acercándose a la velocidad de despegue?
- 09 **Baterías de estado sólido**
en los VE
- 10 **Charla sobre baterías**
*Entrevista con
el Dr. Stanley Whittingham*
- 13 **Aleaciones de níquel**
El níquel comercialmente puro
- 14 **Preguntas y respuestas técnicas**
- 15 **¿Por qué el níquel?**
- 15 **Detalles UNS**
- 16 **Salmon Eye**
Instalación flotante

La revista Nickel es una publicación del Nickel Institute

www.nickelinstitute.org

Dr. Hudson Bates, Presidente
Clare Richardson, Editora

communications@nickelinstitute.org

Colaboradores: Parvin Adeli, Gary Coates, Richard Matheson,
Colin Mackay, Geir Moe, Kim Oakes, Odette Ziezold

Diseño: Constructive Communications

Este material ha sido preparado para proporcionar información general al 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 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: iStock©Just_Super
pág. 13. Shutterstock©Lakeview Images

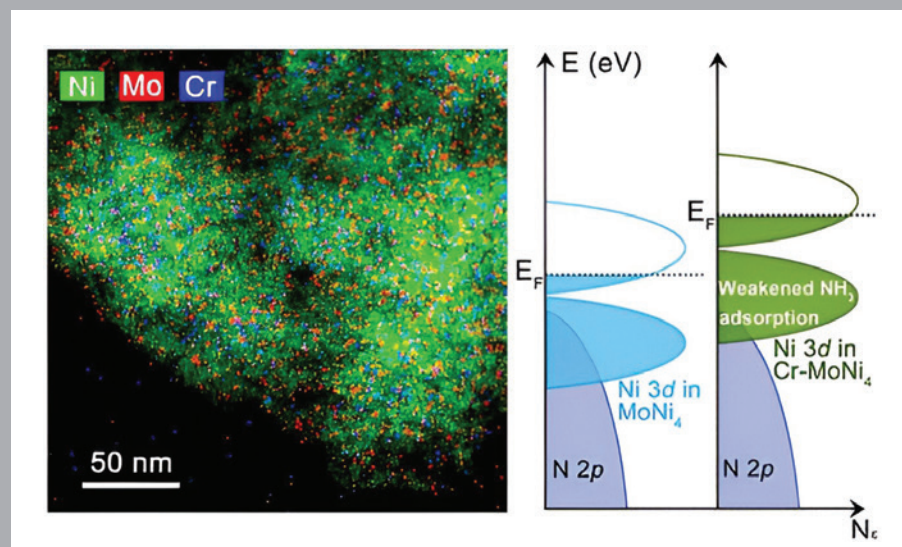
NICKEL

ACTUALIDADES



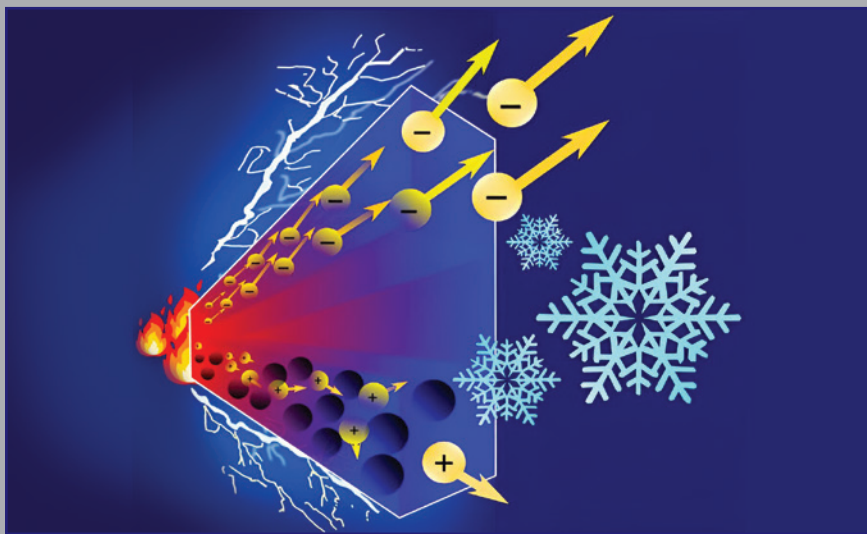
Ayuda para pilas de hidrógeno

Es un paso importante para que las pilas de combustible de hidrógeno sean más limpias, rentables y eficientes. Un equipo de investigación de la Universidad de Ciencia y Tecnología de China (USTC) ha desarrollado un catalizador anódico a base de níquel para pilas de combustible de membrana de intercambio aniónico (AEMFC) con alta resistencia a la toxicidad del amoníaco (NH_3). Los catalizadores de platino sobre carbono (Pt/C) han demostrado su propensión a la toxicidad por amoníaco, que provoca una degradación del rendimiento. El equipo fue capaz de abordar este problema mediante el enriquecimiento de electrones alrededor de los sitios de níquel y el dopaje de cromo en el eficiente catalizador de oxidación de hidrógeno con aleación de molibdeno-níquel (MoNi_4), debilitando en gran medida la adsorción de amoníaco. Los hallazgos se publicaron en el *Journal of the American Chemical Society*.



Un descubrimiento de oro

Físicos de la Universidad Tecnológica de Viena han descubierto excelentes propiedades termoeléctricas de aleaciones de níquel y oro que pueden utilizarse para convertir eficazmente el calor en energía eléctrica. La combinación única de estos metales, que supera a los semiconductores convencionales, permite una elevada conductividad eléctrica y un importante coeficiente Seebeck. Mezclando el metal magnético níquel con el metal noble oro, consiguieron cambiar radicalmente las propiedades electrónicas. En cuanto desaparece el color amarillento del oro al añadir aproximadamente un 10 % de níquel, el rendimiento termoeléctrico aumenta rápidamente. Debido a las propiedades electrónicas particulares de los átomos de níquel, las cargas positivas se dispersan con más fuerza que las negativas, lo que dio lugar al desequilibrio deseado para crear un alto voltaje termoeléctrico. Fabian Garmroudi, primer autor del estudio, explica: «Con la misma geometría y un gradiente de temperatura fijo, se podría generar muchas veces más energía eléctrica que en cualquier otro material conocido». La alta densidad de potencia puede, en el futuro, permitir aplicaciones cotidianas en el sector a gran escala, lo que abre las puertas a otras aleaciones metálicas prometedoras y rentables para uso termoeléctrico.



THE DAILY SCIENCE



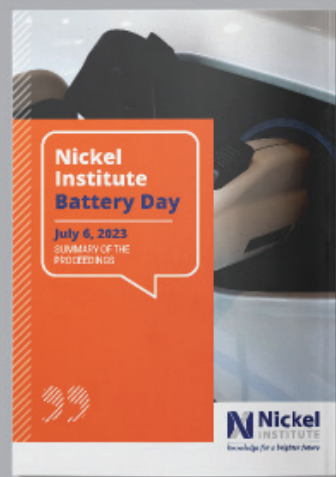
UNSPASH+

Una buena dosis de vitamina C

Lo que es bueno para la salud humana ha demostrado ser un ingrediente eficaz para el reciclado de baterías de vehículos eléctricos. Investigadores de la Universidad de Birmingham han desarrollado un método para separar los materiales de mayor valor utilizando ácido ascórbico. Para probar el concepto, se trataron celdas de batería de Nissan Leaf con más de 64 000 km con ácidos orgánicos, tal como el ácido ascórbico (vitamina C), como agentes de lixiviación. Los resultados, publicados en *ChemRxiv*, demostraron que el ácido ascórbico lixivía selectivamente el material de electrodo de bajo valor (óxido de litio y manganeso) y deja el material de mayor valor a base de níquel y cobalto en estado sólido, a partir del cual puede reciclarse directamente. Su proceso, ahora patentado, consume menos energía y utiliza menos productos químicos peligrosos que los métodos de reciclaje actuales.

Presentación potente

En julio de 2023, el Nickel Institute reunió a algunas de las mentes más brillantes del mundo de las baterías para compartir sus ideas y conocimientos sobre los avances en las tecnologías de baterías que contienen níquel. Ocho ponentes expertos, entre ellos el profesor Stanley Whittingham, Premio Nobel de Química, y el Dr. Jeff Dahn, Investigador Principal NSERC/Tesla Canada Alliance Grant de la Universidad Dalhousie, exploraron las tecnologías de las baterías que contienen níquel, debatieron sobre las aplicaciones emergentes y examinaron el papel del reciclaje. El informe resumido del Día de la Batería ya está disponible en el sitio web del Nickel Institute. El próximo Día de la Batería del NI está previsto para el 6 de junio de 2024. www.nickelinstitute.org



AVIACIÓN ELÉCTRICA: ¿ACERCÁNDOSE A LA VELOCIDAD DE DESPEGUE?



El Pipistrel Velis Electro, la primera certificación mundial de un avión totalmente eléctrico y un hito importante en la apuesta por una aviación sostenible desde el punto de vista medioambiental.

— Agencia Europea de Seguridad Aérea

En la batalla por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, prácticamente todos los medios de transporte están explorando y desplegando alternativas a los vehículos propulsados por combustibles fósiles. La energía de las baterías desempeña un papel fundamental en este sentido, sobre todo en las aplicaciones para la carretera. Hasta ahora, el sector de la aviación se ha resistido en cierto modo a este cambio. Sin embargo, ya es responsable de cerca del 12 % de las emisiones relacionadas con el transporte. La demanda de transporte aéreo, tanto de pasajeros como de mercancías, ha vuelto a crecer rápidamente tras la pandemia. Sin medidas de mitigación, parece probable que este nivel de emisiones aumente. Por tanto, es comprensible que la aviación esté sometida a una presión cada vez mayor para reducir su impacto ambiental mediante fuentes de energía alternativas.

Rediseños radicales necesarios

Hasta ahora, el sector ha preferido explorar el potencial de opciones como la energía de hidrógeno y los combustibles de aviación sostenibles. Hasta cierto punto, esto refleja la inercia existente en el mercado: la industria aeronáutica está bien establecida, los fabricantes de equipos originales producen fuselajes compatibles con los motores a reacción convencionales propulsados por combustible, mientras que los fabricantes de motores aeronáuticos fabrican grupos motores compatibles con los fuselajes modernos. El cambio a los grupos motores eléctricos exigiría rediseñar radicalmente los fuselajes de los aviones comerciales, lo que sería costoso y llevaría mucho tiempo.

Por otro lado, se ha considerado que las baterías carecen de la densidad energética suficiente para compensar su peso. Este aspecto se considera

especialmente difícil dado que, a diferencia del combustible para aviones, su peso no disminuye a medida que se consume la energía. No obstante, conviene señalar que se trata en parte de una tergiversación; la energía eléctrica puede suponer una disminución del peso en otros muchos aspectos de la aviación.

Prueba de concepto

Entonces, ¿tiene cabida la energía de las baterías en la aviación? Claramente, la respuesta es sí. De hecho, en el ámbito de los aviones ligeros, la energía eléctrica ya es una realidad; el Pipistrel Velis Electro –un avión ligero monomotor biplaza– está autorizado para operar en Europa desde 2020. Con un aspecto casi indistinguible de una avioneta convencional, sus dos baterías de alto rendimiento le permiten volar hasta 50 minutos (y puede funcionar con una sola batería en caso de avería). Aunque la certificación del primer

avión verdaderamente eléctrico no vaya a cambiar por sí sola las reglas del juego, representa una importante prueba de concepto. Ha demostrado que los aviones propulsados por baterías pueden funcionar y, de hecho, lo hacen. Esto está sirviendo de estímulo para el desarrollo de nuevos avances.

El siguiente paso ideal sería aumentar la densidad energética de las baterías; si se amplía, la autonomía y el rendimiento aumentarán en consecuencia. Es probable que el níquel desempeñe un papel cada vez más importante. En la actualidad, el níquel tiene numerosas aplicaciones en aeronaves convencionales, sobre todo en turbinas de reactores, con superaleaciones que proporcionan una excepcional resistencia a altas temperaturas, resistencia a la corrosión y estabilidad térmica. En la aviación del futuro, será la capacidad del níquel para aumentar la densidad energética de las baterías lo que pasará a desempeñar su papel dominante.

Un impulso significativo

Casi todas las baterías utilizadas en los aviones eléctricos, tanto las que están en servicio como las que están en fase de desarrollo, utilizan composiciones químicas con alto contenido en níquel para obtener una energía específica elevada. En las baterías de alta energía específica, el níquel suele utilizarse en combinación con cobalto y bien manganeso, «NCM», o aluminio, «NCA». Cuando estos metales se distribuyen por la capa de metales de transición de un cátodo, actúan conjuntamente para mejorar el rendimiento. Los fabricantes se han dado cuenta de que aumentar el nivel de níquel aumenta la capacidad de almacenamiento de una batería sin incrementar significativamente el peso, lo que mejora la densidad energética global. Ahora que se ha demostrado que la energía de las baterías es viable para los aviones, este progreso supondrá un nuevo e importante impulso.

La cuestión de la seguridad de las baterías en la aviación es fundamental. Los primeros días del 787 Dreamliner de Boeing, aunque se trata de un avión de propulsión

En el futuro, será la capacidad del níquel para aumentar la densidad energética de las baterías lo que pasará a desempeñar su papel dominante.

Especificaciones del Joby JAS4-1

Tipo de aeronave: tiltrotor eVTOL

Asientos: piloto + 4 pax

Peso máximo al despegue: 2177 kg

Longitud: 6,4 metros

Envergadura: 11,9 metros

Altitud máxima de crucero: 15 000 pies

Velocidad máxima de crucero: 170 kt (200 mph)

Autonomía: hasta 150 sm (130 nm)

Propulsión: seis motores eléctricos, cuatro en las alas y dos en la cola en V. Los motores incluyen inversores dobles redundantes, control variable de la hélice, inclinación y refrigeración de la góndola y bobinados dobles.

Potencia/almacenamiento de energía: cuatro baterías de iones de litio.

-jobyaviation.com





El Maeve 01 es el primer avión eléctrico del mundo con capacidad para más de 44 personas, lo que establece un nuevo estándar para los viajes aéreos sostenibles y ecológicos. Con un tiempo de recarga de solo 35 minutos, el avión eléctrico Maeve permite operaciones de vuelo rápidas y ágiles.

- Maeve Aerospace B.V.



convencional, estuvieron marcados por los incendios provocados por problemas de desbordamiento térmico en las baterías de litio que utilizaban para la energía de a bordo. Se trata de un problema grave en tierra y mucho mayor en el aire. La industria ha reconocido estos problemas, y las baterías certificadas para uso aeronáutico deben demostrar su resistencia al desbordamiento térmico. En caso de que se produzca un incendio, éste se contiene y no se propaga a otras baterías o a la aeronave. Además, cualquier riesgo potencial debe sopesarse con el riesgo que supone transportar grandes cantidades de combustible de aviación altamente inflamable.

Más ligeros, silenciosos y fiables

En cuanto al potencial de mercado de las baterías de aviación y el uso del níquel, es importante no ver esta oportunidad únicamente a través del prisma de las aplicaciones de aviación existentes. Los aviones de pasajeros convencionales tienen inmensas restricciones de diseño impuestas por su dependencia de (normalmente) dos grupos motores cada vez más grandes, pesados y ruidosos, lo que determina en gran medida su despliegue, que requiere importantes infraestructuras por

lo que respecta a los aeropuertos. A pesar de ello, no es probable que desaparezcan en un futuro próximo; las baterías eléctricas aún no son una alternativa.

En otros entornos, sin embargo, sí lo son. Los motores eléctricos son más ligeros, silenciosos y fiables, tienen menos piezas móviles y ofrecen una relación potencia-peso relativamente constante, independientemente de su tamaño. Como resultado, se puede optar por más motores en lugar de motores más grandes, con muchas menos limitaciones en cuanto a su ubicación en el fuselaje. Esto significa que los aviones eléctricos de despegue y aterrizaje vertical (eVTOL) se están convirtiendo en una realidad. El funcionamiento silencioso de sus motores abre un abanico de aplicaciones potenciales, como taxis aéreos, servicios de reparto y servicios de emergencia.

Además del interés de las empresas existentes, como Airbus y Boeing, muchos nuevos fabricantes están intentando entrar en el mercado. Entre ellos, Maeve (44-50 pasajeros) y Eviation (nueve pasajeros), que pretenden fabricar aviones regionales con una autonomía de 250-330 millas náuticas. Durante su vida útil utilizarán unas 30 y 9 toneladas de níquel, respectivamente. Además, las empresas estadounidenses Joby Aviation y Archer Aviation, así como el fabricante alemán Lilium, están desarrollando taxis aéreos, al igual que Velis, fabricante del Pipistrel.

La previsión de todo el potencial de mercado de las baterías depende de una serie de variables, principalmente el número de aviones y baterías. Sin embargo, con la creciente presión para cumplir los objetivos de emisiones y el aumento de la demanda de transporte aéreo, es probable que las oportunidades para el níquel sean significativas. Ni

LA CARRERA HACIA LAS BATERÍAS DE ESTADO SÓLIDO EN LOS VE

Las baterías de estado sólido (SSB, por sus siglas en inglés) que tienen cátodos ricos en níquel han captado una enorme atención en los últimos años y este interés sigue creciendo. La diferencia más significativa entre las baterías de iones de litio convencionales y las baterías de estado totalmente sólido es el paso de un electrolito líquido a uno sólido. La seguridad es el principal argumento de venta de las baterías de estado sólido, que emplean electrolitos sólidos en lugar de líquidos orgánicos inflamables. Además, una batería de estado sólido ofrece mayor densidad energética al permitir un ánodo de metal de litio, cuya energía específica es diez veces superior a la del grafito utilizado en las baterías de iones de litio.

La selección del material de los electrodos influye directamente en la densidad energética de las celdas de las baterías para la automoción. En una batería convencional de iones de litio (LIB), los componentes comunes son el cátodo de óxido metálico de litio, el electrolito líquido orgánico y el material típico del ánodo es el grafito. Sin embargo, en términos de densidad de energía teórica, el material de ánodo más deseado es el litio metálico. El litio metálico tiene la ventaja de ser ligero y poseer el potencial más bajo de todos los elementos, lo que significa que permite almacenar más energía.

El litio metálico es muy reactivo y, si se incorporara a un electrolito líquido, se producirían problemas de seguridad extremos. A diferencia de las baterías de iones de litio, las baterías de estado totalmente sólido proporcionan una plataforma para la integración del litio metálico, ya que el electrolito líquido (+ separador) se sustituye por una capa sólida. Esta capa rígida impide las fugas y reduce la formación de estructuras no deseadas. Además, los electrolitos sólidos tienen mayor estabilidad térmica que los líquidos. Esto significa que las SSB pueden ofrecer una gama más amplia de aplicaciones y una mayor seguridad. Las baterías de estado sólido

también tienen la ventaja de eliminar los costosos pasos de producción de las celdas, como el llenado del electrolito.

En ambos tipos de baterías, el cátodo está formado por material activo catódico más un agente conductor (por ejemplo, aditivo de carbono) y posiblemente un aglutinante (a base de polímeros). Por lo tanto, en una SSB, la incorporación de un ánodo metálico de Li en combinación con un cátodo rico en Ni ofrece una gran capacidad práctica. Los cátodos ricos en Ni de alta capacidad complementan las baterías de estado sólido. Además, una mayor seguridad significa que se pueden implementar cátodos ultra ricos en Ni para proporcionar una batería con una densidad energética muy alta.

Aunque las baterías de estado sólido despiertan entusiasmo y ofrecen muchas ventajas, todavía hay que superar algunos retos técnicos. Los vehículos eléctricos basados en SSB aún tienen un largo camino por recorrer antes de que el mercado los adopte de forma generalizada, hay mucho en juego. Las baterías de estado sólido ricas en níquel pueden eliminar la preocupación por la autonomía y facilitar la transición a los vehículos eléctricos. **Ni**

Varias empresas se apresuran a colocar una batería de estado sólido práctica en los vehículos eléctricos y han hecho anuncios atrevidos. Varios fabricantes de automóviles, entre ellos Toyota, NIO, General Motors (GM), Nissan, Ford y BMW, aspiran a fabricar vehículos con baterías de estado sólido y se están asociando con fabricantes de baterías.



Un prototipo de las próximas baterías para vehículos eléctricos de Toyota Motor Corp., presentado en un acto mediático previo al Salón de la Movilidad de Japón en octubre de 2023.

CHARLA SOBRE BATERÍAS: UNA ENTREVISTA CON EL DR. STANLEY WHITTINGHAM



SEBASTIAN GOLLNOW, AP IMAGES

El Dr. Stanley Whittingham es Premio Nobel de Química, cuenta con más de 200 publicaciones en las principales revistas académicas y tiene 16 patentes. Se ha ganado una reputación nacional e internacional como científico prolífico.

El Dr. Stanley Whittingham es un distinguido profesor de química de SUNY y Premio Nobel de Química en 2019 por su investigación pionera que condujo al desarrollo de las baterías de iones de litio. La Dra. Parvin Adeli, especialista en baterías del Nickel Institute, se reunió con él para hablar de su larga carrera en la investigación sobre baterías y de lo que está por venir.

P: Háblenos de su trayectoria en la investigación sobre baterías. ¿Qué le hizo embarcarse en la carrera de las baterías y seguir adelante?

En los años setenta, el interés se centraba en los vehículos eléctricos, los aparatos electrónicos y el almacenamiento de reserva para aplicaciones como la telefonía, pero no en el almacenamiento en grandes redes. En esa época, yo trabajaba para Exxon, y tenían interés en ser una empresa de energía, no de petróleo. Querían explorar los vehículos eléctricos y continuar con los de combustión interna.

P: ¿Cuándo se dio cuenta de la importancia que tenía para el panorama energético su descubrimiento de la intercalación (alojamiento) de iones de litio en un material huésped?

Desde el principio. Porque nuestro primer trabajo se publicó en *Science* y no es algo fácil de conseguir. El material concreto en el que trabajamos fue el disulfuro de titanio que, a nivel molecular, tiene espacios que pueden

albergar –intercalar– iones de litio. Exxon fabricaba células pequeñas para algunas aplicaciones. El precio bajó y Exxon perdió interés y concedió la licencia a Sony. Sony desarrolló entonces la batería recargable de iones de litio para todos los aparatos electrónicos. Ahora mismo, la mayoría de los sistemas tienen un 80 % de níquel, un 10 % de manganeso y un 10% de cobalto.

P: ¿Cree que el Premio Nobel llegó con retraso?

La gente lo ha comentado. John Goodenough fue la persona de más edad en recibir un Premio Nobel. Nos alegramos de que viviera lo suficiente para aceptarlo.

P: ¿Cuáles fueron los principales retos a los que se enfrentaron durante el proceso de desarrollo de la batería de iones de litio?

El mayor reto fue que todos los inventos los creamos nosotros. Toda la propiedad intelectual de las baterías es estadounidense o británica,

pero luego todo se trasladó a Asia porque europeos y estadounidenses no quisieron invertir el dinero en aprender a fabricar. El gran problema al que nos enfrentamos ahora es que en Estados Unidos no tenemos cadena de suministro de materiales, personal cualificado o instalaciones de fabricación.

Acabamos de recibir 113 millones de dólares del gobierno federal del estado de Nueva York para construir una planta de prototipos en un antiguo edificio de IBM y 12 millones para formar a la mano de obra. Eso es lo que falta en Norteamérica.

P: Actualmente trabaja en el impacto del recubrimiento/sustitución de Nb en materiales catódicos ricos en Ni. ¿Cómo afecta la modificación con Nb al rendimiento general de la batería?

Sabemos que el níquel al 60 % es estable en el aire y funciona bien. Sin embargo, una vez que el contenido de níquel alcanza el 80 %, la estabilidad en el aire se ve comprometida. Esto significa que tenemos que controlar más la atmósfera, ya que la reactividad con el electrolito de la batería aumenta, por lo que perdemos capacidad con bastante rapidez. Empezamos a estabilizar el 80 % de níquel añadiendo elementos de valencia. Hemos descubierto que el niobio funciona mejor. Conseguimos varios cientos de ciclos con un 90 % de Ni (NMC 9055) con aproximadamente un 1 % de Nb. No se necesita más que eso. Parece que el Nb detiene el agrietamiento de esas partículas del cátodo, y no hay pérdida de capacidad a lo largo de varios cientos de ciclos. Los resultados se publicaron en nuestro artículo de acceso abierto de 2022: *Caracterización electroquímica y evolución de la microestructura de materiales catódicos estratificados ricos en Ni por recubrimiento/sustitución de niobio*.

P: ¿Cuáles son los próximos pasos de esta investigación?

El siguiente paso es estudiar el comportamiento a diferentes temperaturas y ver si podemos llegar a los 800-1000 ciclos. Esto implica construir celdas más grandes para los vehículos eléctricos. La densidad energética teórica posible para los cátodos de alto contenido en níquel debería ser de 1000 Wh/kg. En realidad, la celda está a 250 Wh/kg, por lo que obtenemos únicamente un 25 %. El objetivo es llegar a los 500 Wh/kg para duplicar la densidad energética. También estamos realizando una investigación financiada por el ejército estadounidense para comprobar el comportamiento del NMC recubierto de Nb a temperaturas más altas y más bajas.

P: ¿Dispone Binghamton de la infraestructura necesaria para lograrlo?

Disponemos de una de las pocas salas secas e instalaciones de fabricación de celdas tipo bolsa de EE. UU. dentro de una universidad.

Trabajo en Battery 500, un gran consorcio de laboratorios nacionales e instituciones académicas, por lo que colaboramos estrechamente con ellos. Vamos a ampliar.

P: Hemos hablado de los cátodos, pero sabemos que los electrolitos también son importantes. ¿Puede hablarnos de sus recientes estudios sobre el impacto de distintos electrolitos en cátodos ricos en níquel?

Una de las cosas que estamos haciendo en Battery 500 es deshacernos del ánodo de grafito, por lo que estamos utilizando litio metálico puro. El litio metálico puro no se separa bien del electrolito de carbonato que se utiliza actualmente en el ion de litio. Hemos desarrollado un nuevo electrolito basado en el



EVATION

Eviation, una empresa con sede al norte de Seattle, está diseñando un avión de despegue estándar, no un VTOL.



El objetivo es conseguir un contenido más alto de Ni. La pregunta es: ¿cuánto es demasiado?

antiguo electrolito Exxon. El nuevo electrolito es éter orgánico, con una nueva sal LiFSI incluida. El éter de deposición de litio es mucho mejor que el carbonato. Hemos estudiado la estabilidad de esos sistemas.

¿Reaccionan con litio o alto contenido de níquel? Así que nos embarcamos en un estudio de estabilidad térmica. Ahora mismo, nuestros principales objetivos en Battery 500 son estudiar la estabilidad de todo el sistema, comprender las reacciones secundarias que no deseamos y cómo eliminarlas.

El estudio de estabilidad empezó hace quizá un año y publicamos el primer artículo en 2023: *Enabling Long Cycling with Excellent Structure Stability for High-Nickel Layered Cathodes in Lithium Metal Batteries*.

P: ¿Cuál es la vía de comercialización de los materiales NMC dopados con Nb?

Mi sospecha es que la gente ya lo está mirando y aún no nos lo han dicho. Cuando quieran comercializarlo, vendrán a hablar con nosotros sobre la concesión de licencias. Todos los detalles están en la publicación mencionada anteriormente.

P: Dos empresas estadounidenses de reciente creación trabajan en la ampliación de materiales para cátodos con alto contenido de níquel (Ni > 90 %). ¿Cuál es su opinión?

La mayoría de las baterías comerciales de la última década han sido de $\frac{1}{3}$ Ni, $\frac{1}{3}$ Co, $\frac{1}{3}$ Mn y luego se pasó al 60 % de Ni. Luego tenemos a Tesla utilizando NCA de alto contenido en níquel en los VE. Antes el 85 % Ni y ahora va a pasar a 90 % Ni. Hoy en día hablamos de NMCA [óxido de níquel-manganeso-cobalto-aluminio]. El objetivo es conseguir un contenido más alto de Ni. La pregunta es: ¿cuánto es demasiado?

P: ¿Cuál es su perspectiva sobre las diversas aplicaciones que las baterías de níquel aportan a un futuro sostenible más allá de los vehículos eléctricos?

Más allá de los vehículos eléctricos, baterías para drones. El siguiente paso lógico es la búsqueda, el rescate y el traslado de personas en situaciones de emergencia. También aplicaciones de tipo aeroespacial.

Eviation, una empresa con sede al norte de Seattle, está diseñando un avión de despegue estándar, en lugar de un VTOL. NI

Stanley Whittingham es licenciado y doctor en Química por la Universidad de Oxford, donde es miembro honorario del New College. Lleva trabajando en el campo de las baterías de litio desde 1971, cuando ganó el Premio al Autor Joven de la Sociedad Electroquímica por su trabajo sobre la beta-alúmina. En 1972, se incorporó a Exxon y descubrió el papel de la intercalación en las reacciones de las baterías, lo que dio lugar a las primeras baterías comerciales recargables de litio construidas por Exxon Enterprises. Tras 16 años en Exxon, regresó al mundo académico en 1988. En la Universidad de Binghamton (SUNY) ha iniciado un programa de química de materiales. Premio Nobel de Química, con más de 200 publicaciones en las principales revistas académicas y 16 patentes, Whittingham se ha ganado una reputación nacional e internacional como científico prolífico.

EL NÍQUEL COMERCIALMENTE PURO

Si bien el elemento níquel es la base de una gran variedad de aleaciones que lo contienen, ¿qué ocurre con el níquel por sí solo? ¿Qué sabemos del níquel comercialmente puro (C.P.)?

El níquel comercialmente puro (99,0 % mín.) está disponible en dos calidades: níquel 200 (UNS N02200) y níquel 201 (N02201). El níquel 201 tiene un menor contenido de carbono que se especifica cuando se trabaja por encima de 315 °C (600 °F) para evitar la fragilización por formación de grafito.

El níquel C.P. tiene una resistencia a la corrosión que resulta útil en varias aplicaciones de procesamiento químico. Una característica destacada es su resistencia a la sosa cáustica (hidróxido de sodio) y otros álcalis. En sosa cáustica, el níquel C.P. presenta una excelente resistencia a todas las concentraciones, incluso hasta el estado fundido. Por debajo del 50 % de concentración, los índices de corrosión son insignificantes, incluso en soluciones en ebullición. El níquel C.P. es uno de los mejores metales para resistir la corrosión cáustica y, al mismo tiempo, evitar una contaminación metálica inaceptable. El níquel C.P. se utiliza

en muchas aplicaciones en la producción de sosa cáustica, en evaporadores y cristalizadores de sosa cáustica, tubos en U en intercambiadores de calor y separadores de sal.

La sosa cáustica se utiliza en muchas industrias importantes, como la extracción de alúmina de la bauxita para producir aluminio, la fabricación de papel a partir de la madera, la transformación de grasas en jabón y la fabricación de tejidos artificiales como el rayón.

Además, el níquel C.P. tiene una excelente resistencia al gas cloro seco a alta temperatura. El límite superior del níquel 201 es de unos 540 °C (1000 °F). El níquel C.P. se utiliza para reactores, serpentines, agitadores y tuberías en el rango de 250-500 °C (480-930 °F) en la producción de cloro.

Mientras que el elemento níquel es la base de una amplia variedad de aleaciones que contienen níquel, el níquel C.P. es también un importante material industrial. Ni



El níquel C.P. es uno de los mejores metales para resistir la corrosión cáustica y, al mismo tiempo, evitar una contaminación metálica inaceptable.

Grado	UNS	%Ni	%C	Resistencia, mín., MPa (ksi) (recocido)	
				Rendimiento	Tracción
Níquel 200	N02200	99,0 mín.	0,15 máx.	100 (15)	380 (55)
Níquel 201	N02201	99,0 mín.	0,02 máx.	80 (12)	345 (50)



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 del 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: Un cliente solicita tubos 316L con mayor contenido de azufre (0,005-0,017 %) para una aplicación farmacéutica. Después de soldar hay escoria en la soldadura. Mi pregunta es: ¿por qué es necesario un mayor contenido de azufre? ¿qué medidas se pueden tomar para evitar la formación de escoria durante la soldadura?

R: El azufre es un elemento complicado en los aceros inoxidable que contienen níquel. En la mayoría de los casos es indeseable. El azufre favorece el agrietamiento central en soldaduras austeníticas. Las inclusiones de sulfuro son lugares potenciales de corrosión por picadura por cloruro y pueden producir imperfecciones superficiales antiestéticas indeseables, especialmente si el acero inoxidable se va a pulir. Por ello, las fábricas de acero inoxidable se han esforzado por reducir al máximo los niveles de azufre, hasta el 0,001 % o menos. Sin embargo, el azufre es un agente tensoactivo y tiene una gran influencia en el flujo del baño de soldadura.

El intervalo de azufre de 0,005–0,017% es un requisito de la norma sobre equipos de bioprocesamiento de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos para garantizar una

penetración óptima de la soldadura, en particular para las soldaduras orbitales por arco de tungsteno con gas, que es el método de soldadura preferido utilizado por la industria farmacéutica. El azufre promueve un flujo de masa convergente que, a su vez, promueve el flujo de calor hacia el centro de la soldadura en la superficie, que luego se desvía hacia abajo en el centro de la soldadura para facilitar una penetración más profunda de la soldadura.

La escoria consiste principalmente en sulfuros que flotan en la superficie del baño de soldadura y, por lo tanto, se acumulan en la superficie del baño de soldadura que avanza. La escoria se debe al mayor contenido de azufre y la cantidad de escoria presente al final de la soldadura aumentará a medida que aumente el diámetro del tubo. La escoria no puede evitarse, pero puede eliminarse fácilmente. **NI**

NICKEL

EN LÍNEA


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

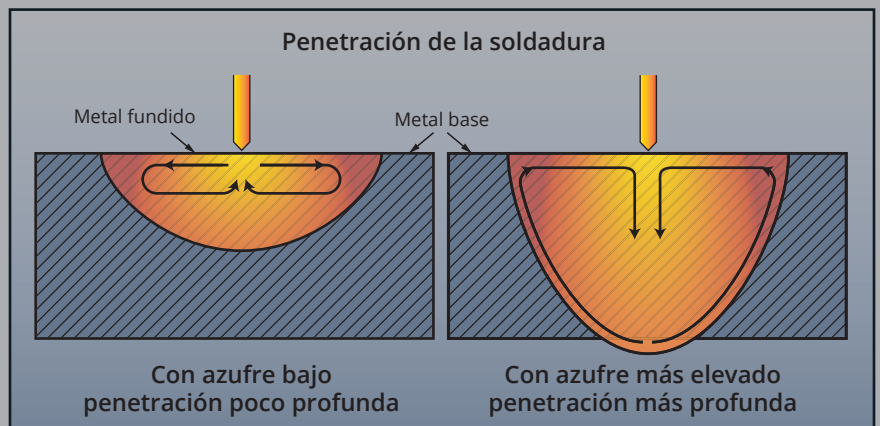
LEA la revista digital *Nickel* en varios idiomas. www.nickelinstitute.org/library/

CONSULTE LOS NÚMEROS ANTERIORES de la revista *Nickel*, desde julio de 2009, en nuestra hemeroteca digital. 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



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?

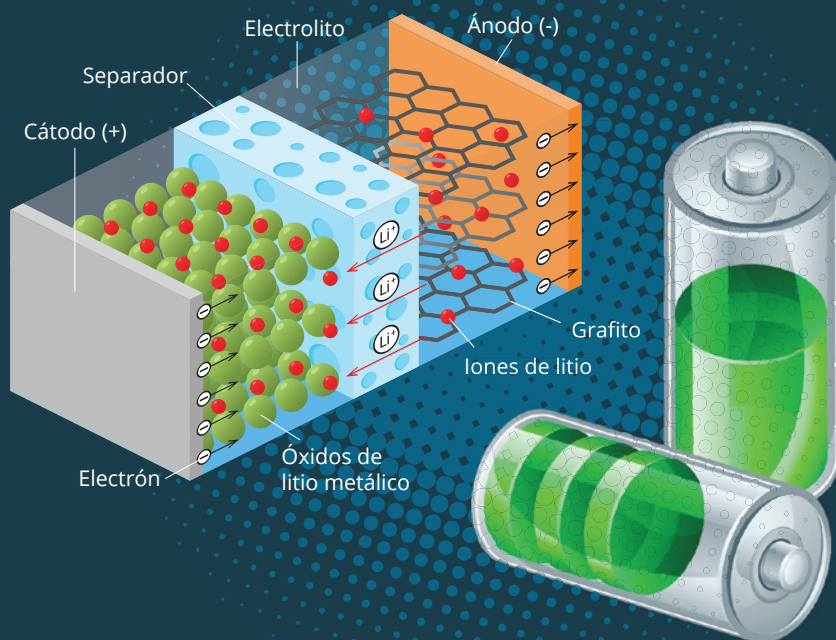
EL NÍQUEL EN SUS BATERÍAS

La batería

Una batería convierte la energía química en energía eléctrica. Proporciona energía a dispositivos como teléfonos inteligentes, herramientas eléctricas portátiles y automóviles. Las baterías se presentan en diferentes composiciones químicas, formas y tamaños, en función del tamaño y las necesidades de energía del dispositivo que alimentan. Consisten en una o varias celdas electroquímicas, compuestas por dos electrodos – un ánodo y un cátodo – y un electrolito. Cuando los dos electrodos están unidos por una vía eléctrica, los electrones fluyen desde el ánodo y suministran energía a un dispositivo externo.

¿Por qué el níquel?

El ion-litio es el tipo de batería más común, pero existen muchas fórmulas diferentes. NMC es el cátodo más popular, que significa óxido de litio, níquel, manganeso y cobalto.



Durante la descarga, los iones de litio (Li^+) migran del ánodo al cátodo a través del electrolito. El cátodo de NMC sirve de anfitrión para estos iones de litio. Además, en el cátodo, los iones de níquel, manganeso y cobalto se reducen aceptando los electrones que pasan por la vía eléctrica. Esta reacción puede invertirse, haciendo que la batería sea recargable.

El secreto del NMC reside en la combinación de níquel y manganeso. El níquel es conocido por su alta energía específica pero su escasa estabilidad; el manganeso tiene una baja energía específica, pero proporciona estabilidad. La combinación de estos metales potencia los puntos fuertes de cada uno.

DETALLES UNS Composición química (en porcentaje del 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
S31254 pág. 16	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.
S32750 pág. 2	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.



SEBASTIAN L. TORJUSEN

SALMON EYE IDEAS PARA REFLEXIONAR

@SALMONEYE



El acero inoxidable con níquel utilizado para la fachada es 6 % Mo (UNS S31254).

- Una experiencia flotante única
- 2 transbordadores eléctricos transportan a los visitantes hasta el pabellón.
- 13 anclajes
- 26 m de diámetro
- Vista de 330° desde el techo

Se trata de un proyecto único, con 9275 elementos de revestimiento de acero inoxidable resistentes al agua de mar, fabricados para soportar una exposición prolongada a la misma. Llamado Salmon Eye (Ojo de salmón), este pabellón flotante de acuicultura de cuatro plantas y 23 m de altura se inauguró en el Hardangerfjord noruego en septiembre de 2022. El Salmon Eye no es sólo una espectacular instalación artística, sino también un centro de visitantes y aprendizaje de categoría mundial, y la sede de un restaurante de alta cocina, Iris.

Con un nivel bajo el agua, el armazón de la estructura es de vigas en H dobladas y revestidas con planchas de acero. Las placas rectangulares con esquinas cortadas se fijan al cuerpo curvo del edificio. Pequeños elementos de acero inoxidable, diseñados para parecerse a escamas plateadas de pescado, reflejan la naturaleza circundante en la superficie exterior del pabellón.

Esta compleja forma elíptica flota en la superficie de la bahía de 100 metros de profundidad, lo que plantea requisitos especiales para las estructuras portantes y envolventes. Amarrado con grandes anclas al

fondo del fiordo, pesa 1000 toneladas y está construido para resistir olas de hasta 5 m de altura. Los tanques de lastre se colocan en la planta baja para mantener estable la estructura flotante.

Este impresionante ejemplo de arquitectura sostenible fue diseñado por la empresa danesa Kvorning Design para la piscifactoría noruega de salmón y trucha Eide Fjordbruk.

El proyecto se encargó para inspirar e informar sobre cómo podemos proporcionar al mundo alimentos sostenibles procedentes del mar. Eso sí que da para reflexionar.

NI