

# NICKEL REVISTA

LA REVISTA DEDICADA AL NÍQUEL Y SUS APLICACIONES

---

NICKEL, VOL. 36, NÚM. 2, 2021

## Níquel esencial: aportando soluciones sostenibles

*Captura y almacenamiento  
de carbono*

*Energía limpia  
¿Qué papel desempeña el níquel?*

*La energía eólica en  
el Ártico*





KIYANSOO E&CCO. LTD



Inaugurado en marzo de 2020, el puente Temburong, en Brunéi Darussalam, atraviesa parte de la bahía de Brunéi. Consta de enormes viaductos y dos puentes de navegación atirantados. Se seleccionaron barras de acero inoxidable para las partes fundamentales de las estructuras de concreto armado. Las barras de refuerzo de acero inoxidable, fuertes y resistentes a la corrosión, se utilizan actualmente de forma generalizada para prolongar la vida útil de importantes estructuras de concreto, como los puentes, que deben resistir entornos difíciles.

## ESTUDIO DE CASO 22 PUENTE TEMBURONG

*Con 30 km de longitud, el puente Temburong es uno de los puentes marítimos más largos del sudeste asiático y es el mayor proyecto de infraestructura jamás realizado por el Gobierno de Brunéi. El puente atraviesa una parte de la bahía de Brunéi y conecta el distrito de Brunéi-Muara con la Reserva Forestal de Labu, en la orilla oriental. Antes de la apertura del puente en marzo de 2020, los vehículos se veían obligados a atravesar una parte de Sarawak (Malasia) cuando viajaban entre estos dos distritos. El puente ha reducido la duración del viaje de dos horas a unos 40 minutos. El Sultanato de Brunéi prevé que este enorme proyecto de 1600 millones de dólares estadounidenses supondrá un aumento del turismo en la hermosa Reserva Forestal de Labu.*

La construcción del puente, que comenzó en 2014, corrió a cargo de la empresa conjunta Daelim-Swee de Corea del Sur y la China State Construction & Engineering Corp. Su formidable tarea supuso la construcción de un viaducto terrestre de 12 km para atravesar los manglares de la Reserva Forestal de Labu, un largo viaducto marino y dos puentes de navegación. Estos espectaculares puentes son estructuras de vigas tubulares atirantadas. Para prolongar en

gran medida la vida útil en este entorno marino tropical, se especificó el uso de barras de refuerzo de acero inoxidable en las partes fundamentales de las estructuras de concreto armado. Este requisito llevó a la selección de un total de aproximadamente 3500 toneladas de barras de refuerzo de acero inoxidable, incluyendo barras de refuerzo de tipo 304 (UNS S30400) y de tipo 2304 (S32304).

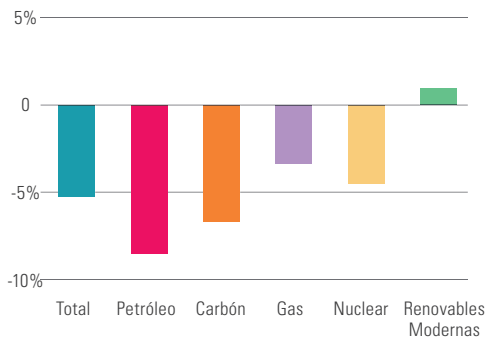
NI

# EDITORIAL: SOLUCIONES SOSTENIBLES

FUENTE: EL PAPEL DE LOS MINERALES CRÍTICOS EN LAS TRANSICIONES DE ENERGÍA LIMPIA (AIE 2021) TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS.

“Asegurar el cero neto global para mediados de siglo y mantener 1.5 grados al alcance” es el llamamiento de la cumbre del cambio climático COP26 de noviembre de 2021 en Glasgow. Los cambios en las políticas gubernamentales, la dinámica de las inversiones y las decisiones de los consumidores impulsan cada vez más una gran revisión de los sistemas y las tecnologías energéticas que alimentan el mundo.

## Cambio en la demanda de energía por tipo en 2020 con respecto a 2019



Mientras que la demanda de energía procedente del petróleo, el gas y el carbón disminuyó el 5 % durante 2020 en comparación con 2019, la demanda de energía procedente de nuevos sistemas energéticos, como las renovables, se mantuvo fuerte. Teniendo en cuenta que 2020 fue un año en el que la mayoría de los sectores económicos no tuvieron crecimiento ni contracción debido a la pandemia de COVID 19, un crecimiento del 1 % en el sector de las renovables presenta una perspectiva positiva.

A pesar de requerir energía para su producción, el níquel es uno de los minerales que desempeña un papel fundamental en la transición energética necesaria para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Sus propiedades singulares facilitan el despliegue con éxito del espectro de tecnologías de energía limpia, como la geotérmica, las baterías para vehículos eléctricos y el almacenamiento de energía, el hidrógeno, la energía eólica, la energía solar de concentración y la nuclear. Además, a medida que aumenta la disponibilidad de energías más ecológicas gracias al níquel, también se reduce la huella de carbono de su producción.

En esta edición de *Nickel* analizamos de cerca dónde se encuentra el níquel y su papel fundamental en cuatro de las tecnologías que formarán parte de la combinación de soluciones para la descarbonización.

A menudo, un poco de níquel sirve de mucho en las tecnologías de reducción de emisiones, contribuyendo a ofrecer soluciones sostenibles que nos ayuden a alcanzar el cero neto.

Clare Richardson  
Editora, *Nickel*



“Se necesitan medidas más contundentes para contrarrestar la presión al alza de las emisiones de la producción de minerales, pero las ventajas climáticas de las tecnologías de energía limpia siguen siendo claras”.

— El papel de los minerales críticos en las transiciones de energía limpia  
Agencia Internacional de Energía



Portada: Una de las dos turbinas eólicas de la mina Glencore Raglan con la aurora boreal.

FOTO DE JUSTIN BULOVA © TUULIK ENERGY

# ÍNDICE

- 02 **Estudio de caso n.º 22**  
*Puente Temburong*
- 03 **Editorial**  
*Soluciones sostenibles*
- 04 **Actualidades de Nickel**
- 06 **Viento y agua**  
*El níquel en la energía limpia*
- 10 **El proyecto Northern Lights**  
*Captura y almacenamiento de carbono*
- 13 **Aleaciones de níquel**  
*Familia "C" de aleaciones*
- 14 **Preguntas y respuestas técnicas**  
*Manchas de té*
- 15 **Nuevas publicaciones**
- 15 **Detalles UNS**
- 16 **Centro Rey Abdulaziz**  
*Cultura mundial*

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: Parul Chhabra, Gary Coates,  
Richard Matheson, Geir Moe, Kim Oakes, Frank Smith,  
Benoît Van Hecke, 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: Foto de Justin Bulota, © Tugliq Energy  
Créditos de imágenes de Stock: pág. 3 iStock@Petmal,  
pág. 7 iStock@Burben\_Images, pág. 8 Shutterstock  
©encikmohdfirdaus, pág. 13 iStock@typo-graphics

# NICKEL

ACTUALIDADES



## Una solución más clara



Es una idea brillante con mucho futuro. Vidrio con paneles solares invisibles que generan electricidad. En un estudio reciente publicado en el *Journal of Power Sources*, el profesor Joondong Kim y sus colegas de la Universidad Nacional de Incheon (Corea), detallan su último invento: células solares transparentes que pueden integrarse en ventanas, edificios o incluso pantallas de teléfonos móviles. El óxido de níquel, abundante y fácil de fabricar, juega un papel fundamental.

Hasta ahora, las células solares solían ser opacas, lo que limitaba su uso. El profesor Kim y su equipo desarrollaron una técnica innovadora, centrándose en la heterojunción, que comprende finas capas de materiales responsables de absorber la luz. Para hacer la unión, los investigadores eligieron el óxido de níquel, un semiconductor conocido por su gran transparencia óptica. Al combinar semiconductores de dióxido de titanio y óxido de níquel, generaron una célula solar eficiente y transparente. Según el profesor Kim, "estas células fotovoltaicas transparentes podrían tener varias aplicaciones en la tecnología humana".

JOONDONG KIM DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INCHEON

# Una cola sorprendente

Aunque no es inusual encontrar diversos metales en las colas de polvo de los cometas, ahora se ha encontrado níquel y hierro en cometas fríos alejados del Sol. ¿Qué tiene esto de inusual? Los metales sólidos no suelen “sublimarse” (volverse gaseosos) a bajas temperaturas. Los astrónomos polacos identificaron por primera vez vapor de níquel en la cola del cometa interestelar helado 2I/Borisov en 2019. Ahora, los astrónomos belgas J. Manfroid, D. Hutsemékers y E. Jehin han identificado níquel gaseoso similar en cometas fríos del sistema solar, lo que sugiere un posible origen organometálico. Estos vapores se han detectado en cometas situados a más de 480 millones de kilómetros del Sol, el triple de la distancia entre la Tierra y el Sol.



WIKIMEDIA COMMONS



BALLYMORE PROPERTIES LIMITED

## Sumérjase

El estudio de arquitectura HAL ha creado una piscina transparente de diez plantas (35 metros) de altura que también sirve de puente entre dos edificios en la urbanización Embassy Gardens de Battersea (Londres). Con el nombre de Sky Pool, la piscina de 25 metros de largo está hecha de paneles acrílicos, que permiten a los nadadores disfrutar de amplias vistas del barrio, incluido el Támesis.

Cubas de acero inoxidable de tipo 316L (UNS S31603) anclan la piscina a cada edificio. Las cubas se apoyan en cojinetes de puente que permiten a la estructura responder al movimiento de los edificios y soportar el peso del agua. Dos barras de acero inoxidable de alta resistencia y 38 mm de diámetro pasan por debajo de la piscina para conectar las dos cubas y reducir las cargas sobre la estructura acrílica. El resultado no es solo una maravilla de la arquitectura y la ingeniería, sino que es un espectáculo asombroso para la vista.



SMARTTIRECOMPANY.COM

## De Marte a la Tierra

La empresa Smart Tire Company, de Los Ángeles (California), se dispone a presentar la tecnología radial de aleación con memoria de forma (SMART) para bicicletas. Esta nueva y revolucionaria tecnología ha evolucionado a partir de los neumáticos de aleación con memoria de forma desarrollados para la próxima generación de vehículos exploradores de Marte y otros vehículos de exploración espacial. Estos neumáticos incorporan el avanzado material de níquel-titanio, Nitinol (UNS N01555), una aleación con memoria de forma (SMA) que es elástica y a la vez resistente para afrontar los retos extremos a los que se enfrenta la NASA en Marte, como la ausencia de carreteras y las temperaturas extremas que pueden alcanzar los  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

De vuelta a la Tierra, el diseño de carga patentado aprovecha las propiedades únicas de las SMA, ya que estos metales especiales pueden expandirse, contraerse, doblarse o desdoblarse a un ritmo muy rápido. Se prevé que salga a la venta en 2022, y la empresa afirma que será un neumático para toda la vida que no necesitará ser sustituido nunca, sólo un recauchutado ocasional.

# VIENTO Y AGUA

## EL NÍQUEL EN LA ENERGÍA LIMPIA

*Incluso pequeñas cantidades de níquel en una aplicación pueden suponer una gran diferencia para el éxito de la implantación.*

Tecnología de energía limpia	La importancia del níquel
Solar fotovoltaica	Baja
Energía solar de concentración (CSP)	Moderada
Eólica	Moderada
Hidroeléctrica	Baja
Bioenergía	Baja
Geotérmica	Alta
Nuclear	Moderada
VE y almacenamiento de baterías	Alta
Hidrógeno	Alta

*En su reciente informe emblemático, The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions (El papel de los minerales críticos en las transiciones de energía limpia), la Agencia Internacional de Energía documenta las necesidades previstas de diferentes metales y minerales para que las tecnologías de baja emisión de carbono puedan sustituir a los actuales métodos de generación eléctrica no sostenibles. El informe muestra la importancia del níquel (alta, media, baja) para algunas de las tecnologías limpias.*

Incluso una pequeña cantidad de níquel puede ser decisiva para ofrecer resiliencia y permitir el despliegue exitoso de tecnologías limpias. Tomemos como ejemplo la hidroeléctrica. Aunque se indica que el níquel tiene poca importancia (poca cantidad) en la hidroeléctrica, su uso es fundamental en la soldabilidad de los álabes de las turbinas y en la larga vida de otros componentes utilizados en las compuertas de las presas. En algunas aplicaciones, podemos incluso decir que el níquel es esencial para estas tecnologías. Aunque el informe de la AIE solo habla de la generación de energía eléctrica, algunas otras tecnologías limpias producen energía en forma de calor. Un ejemplo es la producción de biocombustibles, que depende en gran medida del uso del níquel en forma de aceros inoxidables. De hecho, gran parte de la combinación energética requiere níquel de una forma u otra, y todas las tecnologías de energía limpia utilizan níquel. A continuación, analizamos con más detalle el papel del níquel en tres de las tecnologías de energía limpia: la geotérmica, la hidroeléctrica y la eólica.

### **Energía geotérmica**

El calor de las profundidades de la tierra puede utilizarse para generar electricidad y para calentar viviendas y otros edificios. El concepto es sencillo: el vapor o el agua

caliente presurizada a más de 150 °C se sube por tuberías hasta la superficie, donde impulsa turbinas para generar electricidad y luego se enfría. El agua, ahora a menor temperatura, se envía a través de tuberías para los sistemas de calefacción urbana y posteriormente se devuelve a la fuente para ser recalentada de forma natural. Una de las principales ventajas de la energía geotérmica es que la energía obtenida es fiable y está disponible en todo momento, a diferencia de la solar o la eólica. La producción de energía geotérmica hoy en día es bastante limitada, quizás solo 16 GW de capacidad, y está limitada a lugares donde las fuentes de agua están relativamente cerca de la superficie de la tierra, normalmente a menos de tres kilómetros de profundidad. El coste de capital de una central geotérmica suele ser mayor que el de otras tecnologías sostenibles, pero los costes pueden justificarse por el funcionamiento continuo del sistema.

La calidad del agua o del vapor varía considerablemente según la ubicación. Algunas de las aguas son muy corrosivas, ya que contienen altas cantidades de cloruros y sulfuro de hidrógeno. Aquí es donde el uso de aleaciones que contienen níquel es fundamental. Algunas instalaciones, como el proyecto del Mar de Salton en California, utilizan mucho

las aleaciones de níquel como la C-22 (N06022), pero la mayoría de las demás pueden utilizar materiales de menor aleación.

Por ejemplo, la central eléctrica de Hellisheiði, en Islandia, cerca de la capital, Reikiavik, es la sexta mayor central geotérmica del mundo. Produce 303 MW de electricidad y 400 MW de energía térmica que se utiliza para calentar los hogares y las empresas, transportada por una tubería de 19.5 km de longitud hasta la ciudad. Los pozos extraen agua a una temperatura de unos 200 °C con una baja cantidad de cloruro y algo de sulfuro de hidrógeno. Los materiales utilizados en el sistema van desde las típicas aleaciones de acero al carbono para las tuberías de revestimiento, pasando por varios tipos de aceros inoxidables, hasta aleaciones de alto contenido en níquel. Incluso el titanio es necesario para ciertos componentes críticos. Algunos de los componentes clave en los que se encuentra el níquel son las turbinas, los condensadores, los intercambiadores de calor, las bombas y los sistemas de tuberías que utilizan, por ejemplo, aceros inoxidables del tipo 630 (S17400), 316L (S31603), diversas aleaciones dúplex,

6%Mo (S31254) y la aleación de níquel 625 (N06625). En la central eléctrica puede haber hasta cien toneladas de níquel en las aleaciones utilizadas. Estos materiales, todos ellos en su correcta aplicación, proporcionan resistencia a la corrosión, solidez y superficies limpias para una excelente transferencia de calor, lo que se traduce en un servicio rentable.

### Energía hidroeléctrica

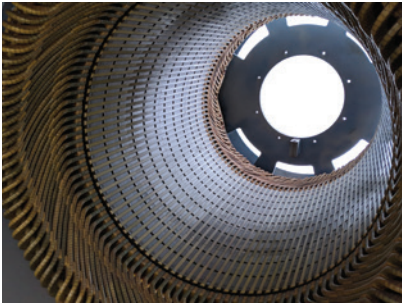
La energía hidroeléctrica es actualmente la mayor fuente de electricidad renovable. Según la AIE, se prevé que su capacidad aumente el 70 % de aquí a 2040, sobre todo en la región de Asia-Pacífico. Seguirá siendo una importante fuente de energía renovable en el futuro. Habrá más centrales, pero además, las más antiguas necesitarán reformas y mejoras de eficiencia, lo que ofrece la oportunidad de incorporar la tecnología actual para alargar la vida útil y aumentar la producción de energía.

La mayoría de los sistemas hidroeléctricos tienen presas que alimentan las turbinas para generar la electricidad. El níquel se utiliza en estos sistemas para algunos componentes clave y parece que desempeñará un papel aún mayor en el futuro. En el corazón de la central

*Algunas de las aguas geotérmicas son muy corrosivas, ya que contienen altas cantidades de cloruros y sulfuro de hidrógeno. Aquí es donde el uso de aleaciones que contienen níquel es fundamental.*



*La energía hidráulica es la mayor fuente de electricidad renovable. Y las turbinas más duraderas se fabrican con acero inoxidable que contiene níquel.*



*A menudo nos referimos al níquel como el “metal oculto”. En las turbinas eólicas, efectivamente está oculto, pero también es un elemento que permite generar energía de forma fiable y rentable.*

eléctrica se encuentra el generador, que consiste en una turbina (corredor) impulsada por el agua que fluye a presión, con un rotor móvil que contiene imanes dentro de un estator fijo con bobinas de alambre de cobre que luego produce electricidad. Normalmente, la turbina se fabrica con acero inoxidable que contiene níquel. Necesita resistencia a la corrosión y a la cavitación. Las turbinas varían en tamaño, pero suelen ser muy grandes, y su capacidad para ser soldadas y reparadas es fundamental para la selección del material. Por estas razones, las turbinas más duraderas se fabrican con aceros inoxidables martensíticos y austeníticos que contienen níquel, como el 410NiMo (UNS S41500), el EN 1.4488 (sin UNS), el tipo 304 (S30400) y sus equivalentes fundidos.

Los estatores también son grandes y aquí las cualidades no magnéticas del acero inoxidable austenítico que contiene níquel son clave para su rendimiento, especialmente aleaciones como la XM-19 (S20910).

Con el aumento de las presiones y los volúmenes de agua, otros componentes del sistema pueden reducir su peso y aumentar su durabilidad con el níquel. Los aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA) siguen siendo un gran candidato para el desarrollo futuro de las tuberías forzadas (tuberías de gran diámetro que alimentan de agua a la turbina). Las tuberías forzadas pueden tener hasta 10 m de diámetro. Los aceros de mayor resistencia reducen el peso y tienen la ventaja de aumentar el diámetro interior. El níquel en estas aleaciones favorece la formación de martensita necesaria para obtener la alta resistencia. El níquel tiene la ventaja añadida de mejorar la soldabilidad de los materiales de la tubería forzada. Estas ventajas, menor costo, menor uso de acero y mayor eficiencia, son clave para el futuro de este importante sector renovable.

### **Energía eólica**

El uso del viento para generar energía se ha acelerado recientemente hasta alcanzar una capacidad de casi 750 GW en todo el mundo. El costo de la energía de las turbinas eólicas ha bajado, mientras que el tamaño de las turbinas individuales ha aumentado hasta el punto de que hoy se ofrecen turbinas de 10 MW y más grandes. Las turbinas eólicas de mayor tamaño permiten una menor

intensidad de uso de materiales, lo que significa que se utiliza menos material por MW de energía, un importante criterio de sostenibilidad. En este sentido, el níquel también desempeña un papel fundamental.

El uso del níquel suele asociarse a los aceros inoxidables, y en las turbinas eólicas, muchos elementos críticos para la seguridad, como las escaleras, los paneles de control y las fijaciones, utilizan efectivamente aleaciones de acero inoxidable. Pero el principal uso del níquel en la energía eólica será en pequeñas cantidades para aumentar la resistencia y mejorar la tenacidad de los aceros de baja aleación. Muchos elementos de aleación aumentan la resistencia y la dureza del acero, pero el níquel es uno de los pocos que también mejora la tenacidad —la capacidad de absorber energía mecánica sin fracturarse—, que es fundamental para el funcionamiento de las turbinas eólicas.

La caja de engranajes de una turbina contiene las piezas móviles más críticas. La caja de engranajes de una turbina de 8 MW puede pesar 86 toneladas. Si algo importante falla, la sustitución de piezas o incluso de toda la caja de engranajes en una turbina eólica terrestre es un ejercicio muy costoso, pero en las instalaciones en alta mar, los costos y el tiempo de inactividad pueden ser enormes. Por ello, la fiabilidad y la larga vida útil son factores esenciales para que la energía eólica sea económicamente viable. El peso de la caja de engranajes también es importante, ya que la estructura debe soportar el peso de la góndola, donde se encuentra la caja de engranajes, en las condiciones de viento más fuertes. Una reducción de un kilo de peso en la góndola puede ahorrar hasta 10 kg de material en la estructura de soporte. El diseño es fundamental, pero también lo es la selección de las aleaciones. Gran parte del acero de la caja de engranajes actual contiene níquel, hasta el 2 % en el caso de algunos componentes. Se están sugiriendo aceros de aleación de níquel aún más altos, ya que se están considerando tamaños de turbina de hasta 20 MW. Los componentes que hoy no contienen níquel pueden contener en el futuro alrededor del 0.5 %, con el fin de disminuir el peso y aumentar la fiabilidad. Ni





JUSTIN BULOVA

## La energía eólica en el Ártico

El suministro de energía eléctrica y calor a los emplazamientos remotos del norte de Canadá es siempre un reto, sobre todo si no hay carreteras para llegar al lugar. Tal es el caso de la mina Raglan, una mina de níquel propiedad de Glencore en Nunavik, que abarca el tercio norte de la provincia de Quebec. Un gran suministro de gasóleo se trae por mar durante una corta temporada de navegación. Los inviernos son oscuros y muy fríos, por lo que disponer de calefacción y electricidad es absolutamente esencial. La energía eólica es una de las pocas fuentes potenciales de energía alternativa. Pero, ¿puede esa tecnología funcionar con seguridad en las condiciones extremas del Ártico, incluidas las ventiscas?

Se construyeron e instalaron dos turbinas eólicas en 2014 y 2018, junto con un sofisticado sistema de almacenamiento de

energía que incluye baterías de iones de litio. La integración de la turbina eólica y los sistemas de energía diésel también era obligatoria. Estos primeros pasos fueron muy exitosos, probando el concepto, y ahora se están realizando estudios para instalar potencialmente dos nuevas turbinas eólicas de 3 MW. Cada turbina permite ahorrar más de dos millones de litros de gasóleo al año, lo que supone la reducción de 3600 toneladas de dióxido de carbono. El níquel contribuye al éxito. En cada turbina eólica se utilizan unos 2000 kg de níquel. Las aplicaciones en las que se utiliza el níquel en la zona de la góndola son los rodamientos, los ejes, los engranajes y los componentes hidráulicos, y en otras zonas, las fijaciones, las carcasas de los armarios de control y muchos otros componentes.

Ni

*Cada turbina permite ahorrar más de 3600 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales y requiere unos 2000 kg de níquel*

# EL PROYECTO NORTHERN LIGHTS

## CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO PARA REDUCIR LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO



EQUINOR

*Para que la CAC marítima alcance todo su potencial se necesitará una flota de buques dedicados al transporte de CO<sub>2</sub>.*

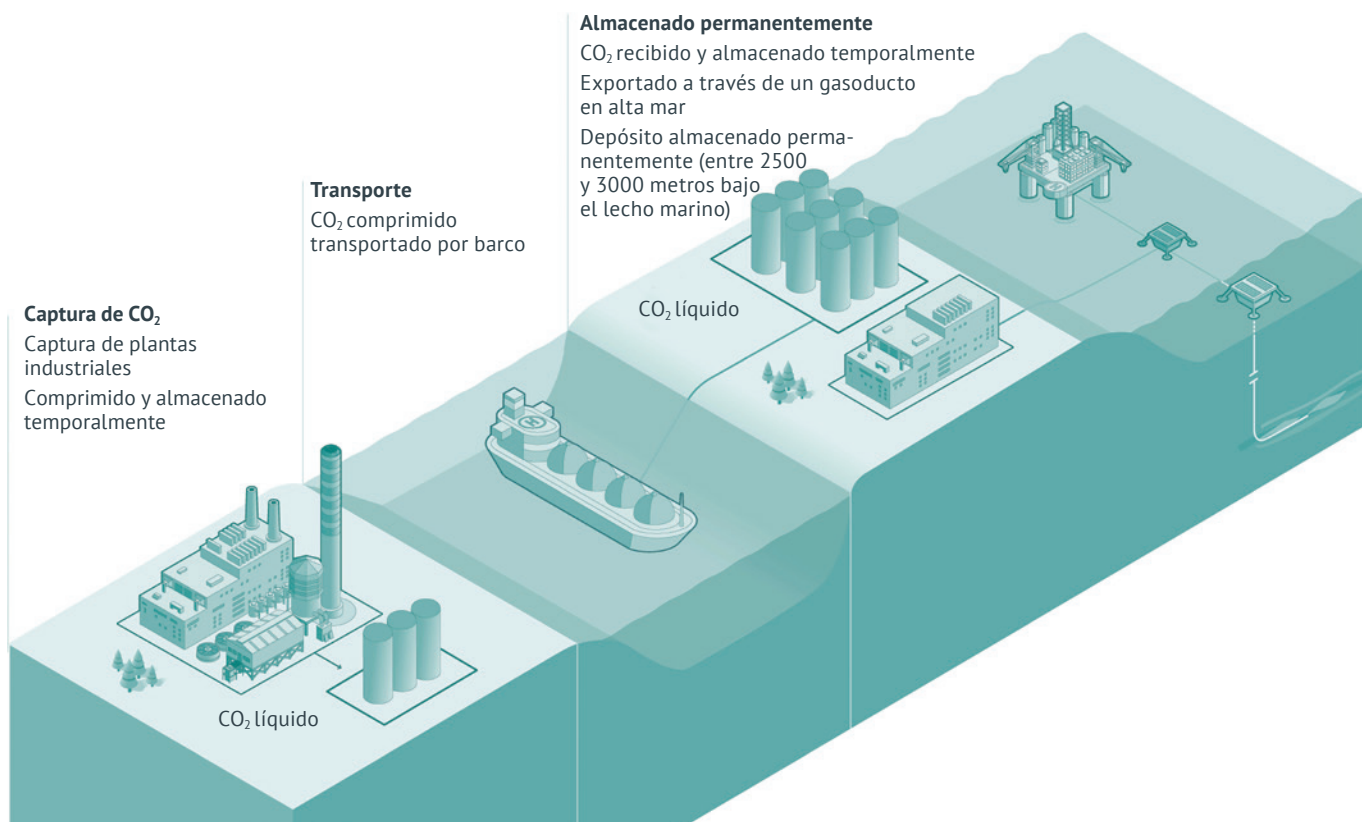
*La captura y el almacenamiento de carbono (CAC) es una parte vital de la descarbonización de la sociedad. Uno de estos procesos consiste en capturar el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de las grandes plantas industriales, transportarlo en gasoductos o barcos y depositarlo, generalmente bajo tierra, para evitar que entre en la atmósfera. Tiene un papel que desempeñar en la transición energética, ya que las fuentes de energía renovables por sí solas no permitirán cumplir los objetivos internacionales en materia de energía y clima para 2050 ni detener por completo las emisiones de gases de efecto invernadero. En primer lugar, hay que tener en cuenta la (lenta) velocidad a la que se está llevando a cabo la ecologización de la combinación de energías o combustibles. En segundo lugar, el dióxido de carbono puede emitirse por razones no relacionadas con el consumo de energía, como en la producción de cemento.*

Los lugares donde se puede almacenar el dióxido de carbono de forma segura no suelen estar en las zonas donde se produce. El almacenamiento en alta mar —a pesar de su complejidad— parece estar ganando terreno frente al almacenamiento en tierra, al que a menudo se resisten los residentes locales. Para salvar la distancia entre el lugar de emisión y el de almacenamiento, existen dos opciones: el transporte marítimo o el transporte por gasoducto. El transporte marítimo es más económico cuando el volumen es bajo y la distancia es larga, mientras que los gasoductos son la opción más viable para grandes volúmenes a distancias inferiores a 700 km. Además, en una actividad emergente, como la CAC, el transporte marítimo requiere menos gastos de capital, por lo que es la opción preferida para enviar los volúmenes inicialmente bajos de CO<sub>2</sub> a las pocas instalaciones de almacenamiento disponibles.

### ¿Cómo se construye un buque de dióxido de carbono?

Existen tres tipos de estructuras de tanques para los buques de transporte de gas líquido: totalmente presurizados, a baja temperatura (atmosféricos) y semirefrigerados (semipresurizados). El CO<sub>2</sub> líquido sólo puede existir en una combinación de baja temperatura y presiones muy superiores a la atmosférica. Por lo tanto, un tanque de carga de CO<sub>2</sub> debe ser del tipo presurizado o semirefrigerado.

El tipo semirefrigerado, que incluye los pocos buques de CO<sub>2</sub> existentes, está diseñado para tener en cuenta las condiciones combinadas de temperatura y presión necesarias para que el gas de carga se mantenga como líquido. Los diseñadores de buques prefieren este tipo, ya que permite construir buques más grandes y menos costosos. El tanque de carga debe funcionar entre -54 °C / 6 bares y -50 °C / 7 bares. Esto está cerca del “punto triple” del CO<sub>2</sub>, donde coexisten el gas, el líquido y los sólidos,



pero la tecnología no está actualmente en el punto en el que este diseño pueda ser implementado de manera eficiente y segura. En la actualidad, los buques para el transporte de CO<sub>2</sub> funcionan a mayor presión y a unos -20 °C. Transportan CO<sub>2</sub> líquido para aplicaciones de alimentos y bebidas y productos presurizados, como los extintores. El níquel es esencial para la resistencia y la dureza de estos recipientes a presión de paredes gruesas a temperaturas bajo cero.

### Acerca de Northern Lights

A pesar de los retos, los proyectos de CAC están empezando a materializarse. Northern Lights es el componente de transporte y almacenamiento del proyecto Longship, promovido y apoyado por el gobierno noruego, que incluye la captura de CO<sub>2</sub> de fuentes industriales en el sureste de Noruega (Brevik y Oslo). Cuando comience a funcionar en 2024, Northern Lights, propiedad de Equinor, Shell y Total, será la primera red transfronteriza de infraestructura de transporte y almacenamiento de CO<sub>2</sub> de libre acceso. Enviaré el CO<sub>2</sub> capturado a una terminal terrestre en la costa occidental noruega y, desde allí, lo transportará por gasoducto hasta un lugar de almacenamiento

subterráneo en el Mar del Norte. Este almacenamiento intermedio en tierra del gas licuado garantiza un flujo constante hacia el gasoducto y el lecho marino y es preferible a una alimentación de arranque y parada que se produciría sin esta terminal en tierra.

Como parte de la primera fase de operaciones, Northern Lights está construyendo dos buques de transporte de CO<sub>2</sub> de 130 m de longitud y 7500 m<sup>3</sup> de capacidad. Estos tomarán el CO<sub>2</sub> capturado y licuado de varios emisores y lo transportarán al emplazamiento de almacenamiento en tierra antes de conducirlo 100 kilómetros mar adentro y a 2600 m bajo el lecho marino para su almacenamiento permanente. La primera fase pretende almacenar gradualmente hasta un millón y medio de toneladas al año bajo el lecho marino, que es la cantidad que los dos buques pueden transportar anualmente.

### Níquel esencial

Dado que existen muy pocos buques de transporte de CO<sub>2</sub>, el diseño de los dos buques de Northern Lights exigió que los ingenieros y las sociedades de clasificación de transporte marítimo se pusieran de acuerdo sobre el material de

*La cadena de valor de la CAC marítima propuesta, desde la emisión hasta el almacenamiento submarino.*

*El CO<sub>2</sub> emitido en los emplazamientos del sureste de Noruega se enviará a una instalación de almacenamiento temporal en tierra antes de ser transportado por gasoductos hasta el almacenamiento submarino en el Mar del Norte.*

construcción de los recipientes a presión de a bordo. Tenía que ser fácil de fabricar y capaz de soportar altas presiones y bajas temperaturas. El resultado fue la selección de un acero para recipientes a presión P690QL2 (EN 10028-6 tipo 1.8888) de 50 mm de espesor y hasta un 2.50 % de Ni. Dos recipientes a presión de cada buque funcionan a 15 bares y -26 °C, a salvo del punto triple. Esto representa unas 3000 toneladas de acero que contienen 75 toneladas de níquel.

#### La cadena de valor de la CAC se compone además de:

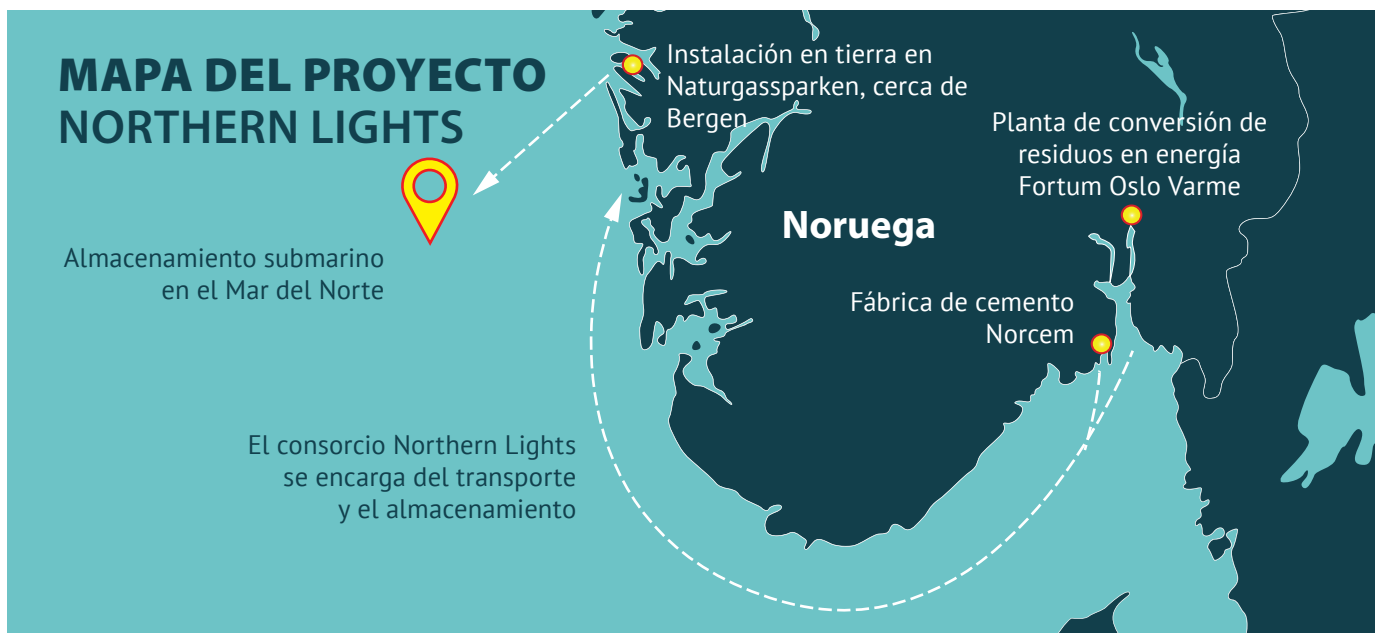
- Almacenamiento en tierra: 12 recipientes a presión con una capacidad total de 8250 m<sup>3</sup>. El níquel es de nuevo necesario para hacer frente a la presión y la baja temperatura. Todo el parque de tanques representa 2000 toneladas de acero para recipientes a presión P460ML1 (EN 10028-5) y P355NL1 (EN 10028-3) que contienen hasta un 0.50 % de níquel.
- Un gasoducto de 100 km y 323.8 mm de diámetro exterior mantiene el CO<sub>2</sub> en fase líquida. Esto también implica presión y baja temperatura. Discurre por el lecho marino, hasta llegar a la ubicación en alta mar desde donde se inyecta el CO<sub>2</sub> en un depósito geológico, a 2.6 km bajo el lecho marino. El

gasoducto está fabricado con acero para tuberías DNV 450 FPDS (similar al API 5L X65) con el 0.50 % de níquel. Como la mayor parte de la longitud tiene un grosor de unos 16 mm, esto representa unas 13 000 toneladas de acero y 65 toneladas de níquel.

- La gestión de un gasoducto tan largo en un entorno de alta mar requiere un conjunto de tubos auxiliares que se agrupan en un “umbilical”. Los pequeños tubos del interior del umbilical transportan el sistema hidráulico para el funcionamiento a distancia de las válvulas y otros productos químicos. Estos tubos, con un grosor de pared de sólo 1.42 mm, son de difícil acceso una vez instalados y deben resistir el agua de mar. Para su resistencia, se fabrican con acero inoxidable superdúplex de tipo 2507 (S32750). 35 km de un umbilical con cuatro tubos 2507 representan unas 10 toneladas de níquel.

Según el modelo de Northern Lights, la CAC empezará a cumplir su promesa en 2024. Se necesitan entre 150 y 200 toneladas de níquel para capturar y almacenar 1.5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al año de esta forma. Para alcanzar los objetivos climáticos con la CAC y otras tecnologías, el níquel es claramente un componente esencial.

Ni



# ALEACIONES DE NÍQUEL: LAS ALEACIONES CABALLO DE BATALLA A BASE DE NÍQUEL DE LA FAMILIA "C"

A principios de la década de 1930, se introdujo la primera aleación de Ni-Cr-Mo, conocida como aleación C (UNS N10002). Se trataba de una optimización de las aleaciones Ni-Cr, que presentaban una buena resistencia a los ácidos oxidantes, como el ácido nítrico, y de las aleaciones Ni-Mo, con una resistencia superior a los ácidos reductores, como el ácido clorhídrico. Esta combinación dio lugar a una familia de aleaciones con una excepcional resistencia a la corrosión en una amplia variedad de entornos corrosivos severos que suelen encontrarse en el procesamiento químico y petroquímico, superando la de los aceros inoxidable que se habían descubierto en 1913.

A mediados de la década de 1960, los avances en la tecnología de fusión (en concreto, el desarrollo de la descarburación con argón-oxígeno) y la ciencia de la corrosión (conocimiento de la influencia de las adiciones de elementos menores) condujeron al desarrollo de la aleación C-276 (N10276), una versión forjada de la aleación C con bajo contenido en carbono y silicio. La aleación C-276 es ahora un estándar industrial para su uso en el procesamiento químico y petroquímico.

La Ley de Aire Limpio de los Estados Unidos de 1970 condujo a la adopción generalizada de la tecnología de desulfuración de los gases de combustión, principalmente en forma de unidades de depuración húmeda, para reducir las emisiones de gases sulfurosos de las

centrales eléctricas de carbón del país. Estas unidades debían ser resistentes a los ácidos corrosivos formados por los gases de combustión. La aleación C-276 se utilizó en muchas de estas aplicaciones críticas. Además, en esta época se introdujo la aleación C-4 (N06455), diseñada para la industria química europea.

A principios de los años 80 se introdujo la aleación 22, con un mayor contenido de cromo que aumentaba la resistencia a la corrosión en medios oxidantes. En la década de los noventa le siguieron la aleación 59 (N06059), la aleación 686 (N06686) y la C-2000® (N06200), con mejoras adicionales en la resistencia a la corrosión que ampliaron el rango de aplicaciones más exigentes.



90 años después de la introducción de la aleación C, la familia "C" de aleaciones a base de níquel encuentra un amplio uso en aplicaciones como el control de la contaminación, la industria petroquímica/química, la producción de diversos ácidos, el procesamiento de metales y la industria farmacéutica.

Ni

Composición típica de las aleaciones de la familia "C"

Aleación	(UNS)	Década de introducción	Ni	Cr	Mo	W	Cu	Fe
C	(N10002)	1930	Bal.	16	16	4	-	6
C-276	(N10276)	1960	Bal.	16	16	4	-	5
C-4	(N06455)	1970	Bal.	16	16		-	2
22	(N06022)	Mediados de 1980	Bal.	21	13	3	-	3
59	(N06059)	Principios de 1990	Bal.	23	16	-	-	<1
686	(N06686)	Principios de 1990	Bal.	21	16	4	-	2
C-2000	(N06200)	Mediados de 1990	Bal.	23	16	-	1.6	2



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:** La barandilla de acero inoxidable del exterior de nuestro edificio presenta manchas de óxido después de un par de años. ¿Se ha instalado un grado de acero inoxidable incorrecto?

**R:** Es probable que se trate de corrosión atmosférica relacionada con la presencia de sales y se conoce comúnmente como “manchas de té”. Se observa con mayor frecuencia cerca de la orilla del mar o en lugares donde se utiliza la sal para el deshielo de carreteras. Las manchas de té se producen cuando las condiciones locales (como la temperatura, la humedad relativa y la presencia de sustancias corrosivas en la superficie) son demasiado agresivas para esa aleación de acero inoxidable en su estado instalado. La posibilidad de que se produzcan manchas aumenta en las zonas protegidas, como bajo los aleros, que no se benefician del aclarado por la lluvia, lo que permite la concentración de sustancias corrosivas. Además, las superficies horizontales y rugosas pueden retener más fácilmente las sustancias corrosivas, por lo que las superficies más lisas y las que pueden drenar fácilmente son menos susceptibles a la corrosión.

El tipo 304L (UNS S30403) suele ser adecuado lejos de la orilla del mar y en zonas no expuestas a las sales para el deshielo de carreteras. De lo contrario, el 316L (S31603) suele ser adecuado, aunque hay algunas zonas costeras en las que pueden ser necesarios grados más resistentes a la corrosión, como el 2205 (S32205) y el superdúplex (S32750 o S32760).

Una aleación de acero inoxidable adecuada es un material de bajo mantenimiento, pero no siempre está exento de mantenimiento. El lavado con lluvia natural puede ser suficiente, de lo contrario puede ser necesario el lavado manual.

Las manchas de té se analizan con más detalle en la publicación del NI *Stainless Steels in Architecture, Building and Construction – Guidelines for Corrosion Prevention (Aceros inoxidables en la arquitectura, la edificación y la construcción - Directrices para la prevención de la corrosión) (11 024)* disponible para su descarga en el sitio web del Nickel Institute:

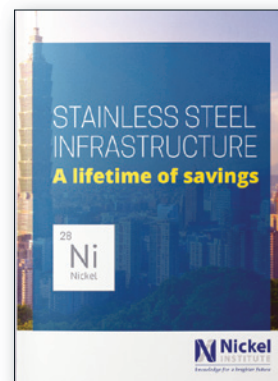
[nickelinstitute.org/library](http://nickelinstitute.org/library)



# Nuevas publicaciones

**Infraestructura de acero inoxidable: toda una vida de ahorros** explica cómo las propiedades únicas del acero inoxidable que contiene níquel lo convierten en una opción rentable de material para una amplia gama de aplicaciones estructurales. Demuestra, a través de una selección de estudios de casos internacionales, que el costo total

de propiedad a lo largo de la vida de un bien de acero inoxidable puede ser muy competitivo, a pesar de su mayor costo de inversión inicial en comparación con otras alternativas menos duraderas. Disponible para su descarga en el sitio web del Nickel Institute. [nickelinstitute.org](http://nickelinstitute.org)



**Publicaciones renovadas de INCO**  
Se han renovado y reeditado 28 publicaciones técnicas importantes, producidas originalmente por INCO y mantenidas por el Nickel Institute. La calidad digital de las guías se ha mejorado y todas las publicaciones son consultables. Las publicaciones originales fueron escritas por expertos en su campo y la información que proporcionan sigue siendo muy relevante

hoy en día. Esta información técnica de alta calidad dará a los profesionales confianza para trabajar con materiales que contienen níquel y aprovechar sus beneficios en una amplia gama de aplicaciones. Esta información es valiosa para los especificadores de materiales, soldadores, fabricantes e ingenieros, y está disponible para su descarga gratuita en el sitio web del Nickel Institute. [nickelinstitute.org](http://nickelinstitute.org)



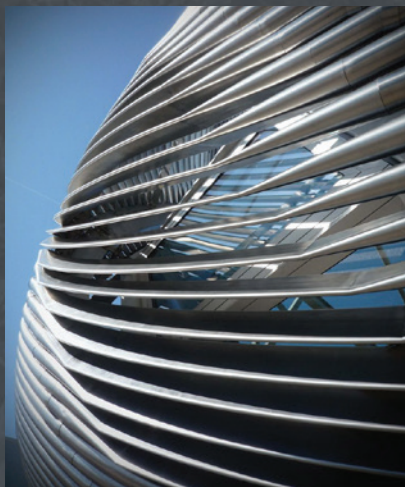
## Detalles UNS

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

UNS	Al	C	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	N	Nb	Ni	P	S	Si	Ti	V	W
<b>N01555</b> pág. 5	-	0.07 máx.	0.05 máx.	0.01 máx.	0.01 máx.	0.05 máx.	-	-	-	0.025 máx.	54.0- 57.0	-	-	-	bal.	-	-
<b>N06022</b> pág. 7	-	0.015 máx.	2.5 máx.	20.0- 22.5	-	2.0- 6.0	0.50 máx.	12.5- 14.5	-	-	bal.	0.02 máx.	0.02 máx.	0.08 máx.	-	0.35 máx.	2.5- 3.5
<b>N06625</b> pág. 7	0.40 máx.	0.10 máx.	-	20.0- 23.0	-	5.0 máx.	0.50 máx.	8.0- 10.0	-	3.15- 4.15	bal.	0.015 máx.	0.015 máx.	0.50 máx.	0.40 máx.	-	-
<b>S17400</b> pág. 7	-	0.07 máx.	-	15.00- 17.50	3.00- 5.00	bal.	1.00 máx.	-	-	0.15- 0.45	3.00- 5.00	0.040 máx.	0.030 máx.	1.00 máx.	-	-	-
<b>S20910</b> pág. 8	-	0.06 máx.	-	20.5- 23.5	-	bal.	4.00- 6.00	1.50- 3.00	0.20- 0.40	0.10- 0.30	11.5- 13.5	0.040 máx.	0.030 máx.	0.75 máx.	-	0.10- 0.30	-
<b>S30400</b> págs. 2, 8	-	0.08 máx.	-	18.0- 20.0	-	bal.	2.00 máx.	-	-	-	8.0- 10.5	0.045 máx.	0.030 máx.	1.00 máx.	-	-	-
<b>S30403</b> pág. 14	-	0.030 máx.	-	18.0- 20.0	-	bal.	2.00 máx.	-	-	-	8.0- 12.0	0.045 máx.	0.030 máx.	1.00 máx.	-	-	-
<b>S31254</b> pág. 7	-	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, 7, 14	-	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> págs. 14, 16	-	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>S32304</b> pág. 2	-	0.030 máx.	-	21.5- 24.5	0.05- 0.60	bal.	2.50 máx.	0.05- 0.60	0.05- 0.20	-	3.0- 5.5	0.040 máx.	0.040 máx.	1.00 máx.	-	-	-
<b>S32750</b> págs. 12, 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.	-	-	-
<b>S32760</b> pág. 14	-	0.030 máx.	-	24.0- 26.0	0.50- 1.00	bal.	1.00 máx.	3.0- 4.0	0.20- 0.30	-	6.0- 8.0	0.030 máx.	0.010 máx.	1.00 máx.	-	-	0.50- 1.00
<b>S41500</b> pág. 8	-	0.05 máx.	-	11.5- 14.0	0.50- 1.00	bal.	-	0.50- 1.00	-	-	3.5- 5.5	0.030 máx.	0.03 máx.	0.60 máx.	-	-	-



# CENTRO REY ABDULAZIZ PARA LA CULTURA MUNDIAL



Las "rocas" están cubiertas con tubos de acero inoxidable poco espaciados para crear un velo que sobresale de los paneles resistentes a la intemperie del edificio.

*Ubicado en Dhahran (Arabia Saudí), el Centro fue diseñado por los arquitectos de Snøhetta de Noruega y se terminó en 2017. Este espectacular complejo de edificios, que se asemeja a cinco "rocas" lisas apiladas al azar, contiene bibliotecas, instalaciones educativas, salas de exposiciones, teatros, museos, una mezquita y comedores. En el punto más bajo del Centro, una exposición reconoce que el petróleo es la base histórica de la prosperidad económica del Reino. La historia da paso al presente en la planta baja, donde el Gran Salón muestra lo mejor de las experiencias culturales mundiales. El futuro se contempla y se prevé en la Torre del Conocimiento, de 90 m de altura.*

Las rocas están cubiertas con tubos de acero inoxidable poco espaciados para crear un velo que sobresale de los paneles resistentes a la intemperie del edificio. Fabricados por Seele (Alemania), los tubos (de 7.6 mm de diámetro y 2 mm de grosor) son de aleación de acero inoxidable dúplex 2205 (UNS S32205). Esta aleación, que contiene el 5.5 % de níquel, fue seleccionada por su excelente resistencia, ductilidad, resistencia a la abrasión y a la corrosión a largo plazo

y aspecto limpio. Cada sección de tubo es única y se curvó hasta alcanzar su posición exacta con una máquina controlada por computadora. Si se colocan de extremo a extremo, las más de 93 000 secciones de tubos, que pesan más de 1000 toneladas, tendrían una longitud total de 360 km. Los tubos ayudan a mantener el edificio fresco, ya que dan sombra a las superficies exteriores y reflejan y conducen el calor.