

# NICKEL REVISTA

LA REVISTA DEDICADA AL NÍQUEL Y SUS APLICACIONES

---

NICKEL, VOL. 39, N.º 2, 2024

## La cantidad justa de níquel

*El níquel en  
aceros de baja aleación*

*El níquel en Marte  
SpaceX lanza un megacohete*

*Preguntas y respuestas con  
Maria Jose Landeira Oestergaard,  
de Topsoe*





# EDITORIAL: LA CANTIDAD JUSTA

Desarrollar nuevas aleaciones es un asunto complicado. Determinar la combinación de elementos de aleación para producir el mejor acero aleado para una aplicación determinada es un arte, además de una ciencia. Encontrar la cantidad «justa» de níquel para una aplicación determinada es un reto para metalúrgicos e ingenieros. El objetivo es alcanzar el contenido óptimo de níquel que proporcione las propiedades requeridas con la mejor relación calidad-precio. Y como muestra el gráfico siguiente, a menudo es solo una pequeña cantidad de níquel la que marca la diferencia, añadiendo a una aleación la cantidad adecuada de tenacidad, resistencia, resistencia a la temperatura y soldabilidad. En esta edición de Nickel abordamos la búsqueda de las mejores aleaciones para soportar las exigencias de unos aerogeneradores marinos cada vez más altos.



RICHARD WOODGETT



## ESTUDIO DE CASO 31 ICON OF THE SEAS DE ROYAL CARIBBEAN

Icon of the Seas es un crucero construido para Royal Caribbean International. Entró en servicio el 27 de enero de 2024 en el puerto de Miami y, con 365 metros de eslora, 50 metros de manga y 248 663 toneladas de arqueo bruto, es el mayor crucero del mundo. El buque tiene una tripulación de 2350 personas y una capacidad de 5610 pasajeros en ocupación doble, o 7600 pasajeros a máxima capacidad.

Se eligió acero inoxidable con contenido en níquel para determinados elementos, a fin de que resistieran las condiciones climáticas más severas.

Stalutube, fabricante de productos de acero inoxidable, colaboró con su socio a largo plazo, Tuteka, proveedor de la industria marítima. Stalutube suministró vigas y perfiles de acero inoxidable para Tuteka, que se utilizaron para construir barandillas para los tramos de escaleras y paravientos con paredes de vidrio para las zonas del parque acuático de la cubierta superior del barco. Los cortavientos están diseñados para resistir condiciones

meteorológicas extremas, como vientos de 270 km/h (170 mph). Además, los paneles de vidrio de los cortavientos son pesados, lo que exige que las columnas no solo sean rígidas, sino también resistentes a la corrosión del entorno marino. También se utilizaron productos estructurales de acero inoxidable para construir los conductos de ventilación en forma cónica del buque, que están integrados en el diseño visual del barco. Los socios están preparando la construcción de dos nuevos cruceros de última generación en los astilleros de Turku (Finlandia) en los próximos años.



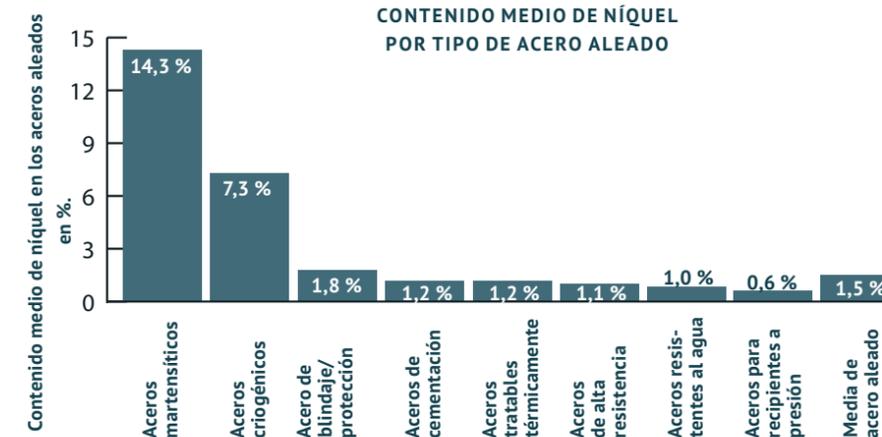
Entre los productos de Stalutube utilizados para este proyecto figuran:

Perfiles huecos de tipo 316L (UNS S31603) (EN 1.4404) de 100 x 60 x 5,0 mm y 100 x 100 x 5,0 mm

Perfil hueco de tipo 316Ti (UNS S31635) (EN 1.4571) de 80 x 60 x 5,0 mm

Perfiles huecos soldados con dos soldaduras longitudinales de tipo 316 (UNS S31600) (EN 1.4401) de 120 x 80 x 5 x 6000 mm

© SIMP - STEEL & METALS MARKET RESEARCH GMBH 2023 / NICKEL INSTITUTE



Podría decirse que las brutales condiciones de los viajes espaciales son aún más exigentes que el corrosivo entorno de alta mar. En el artículo de la página 8 se explica cómo Elon Musk confía en el acero inoxidable que contiene níquel para llevar su Starship más lejos, hasta Marte y de regreso.

Esto contrasta con otro uso brillante del níquel en el acero inoxidable en condiciones difíciles. La estructura artística submarina del escultor británico Jason deCaires Taylor en Australia, que aparece en la contraportada, sirve de santuario a especies vulnerables. Eche un vistazo a su invernadero oceánico para «jardinería de corales», a 12 metros de profundidad.

Estos son solo algunos ejemplos de cómo la cantidad justa de níquel puede ayudar a llegar más alto, más lejos y más profundo.

Clare Richardson  
Editora, Nickel

**Invernadero de corales**  
El acero inoxidable que contiene níquel proporciona un marco estable para el invernadero submarino, favoreciendo el crecimiento de corales y la vida marina en el arrecife John Brewer, en la Gran Barrera de Coral (Australia).

# ÍNDICE

- 02 **Estudio de caso n.º 31**  
*Icon of the Seas de Royal Caribbean*
- 03 **Editorial**  
*La cantidad justa*
- 04 **Actualidades de Nickel**
- 06 **Procesamiento del níquel**  
*Lateritas y sulfuros*
- 08 **Megacohete de SpaceX**  
*Despegue con níquel*
- 10 **Topsoe**  
*Entrevista con la Dra. Maria Jose Landeira Oestergaard*
- 12 **La cantidad justa**  
*El níquel en aceros de baja aleación*
- 13 **Las aleaciones de níquel**  
*Nitinol: el metal que recuerda*
- 14 **Preguntas y respuestas técnicas**
- 15 **¿Por qué el níquel?**
- 15 **Detalles UNS**
- 16 **Museo submarino**  
*Jason deCaires Taylor*

La revista *Nickel* es una publicación del Nickel Institute

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

Dr. Hudson Bates, presidente  
Clare Richardson, editora

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

Colaboradores: Gary Coates, Richard Matheson, 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.

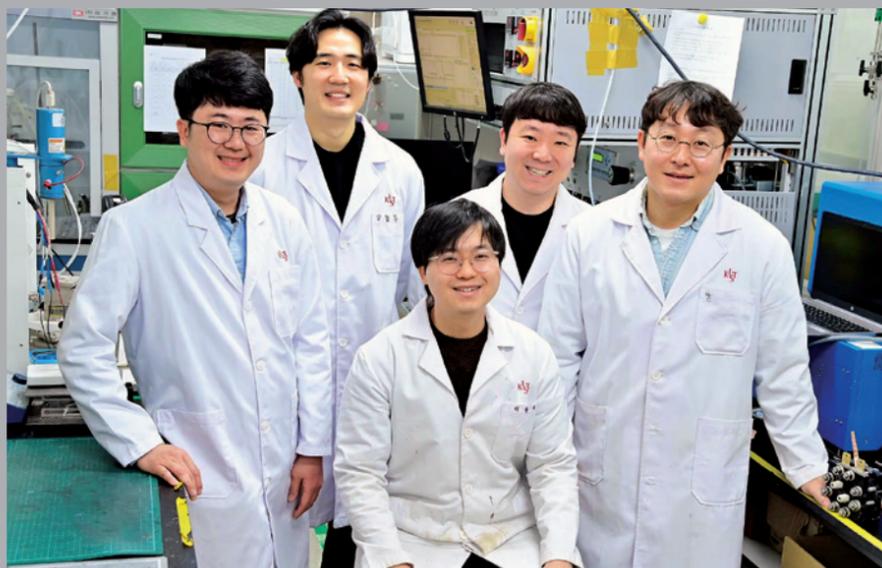
ISSN 0829-8351

Impreso en Canadá con papel reciclado por Hayes Print Group

Créditos de imágenes de Stock:  
Portada: bytecodeminer  
pág. 6 iStock@enviromantic,  
pág. 12 iStock@ratpack223

# NICKEL

ACTUALIDADES

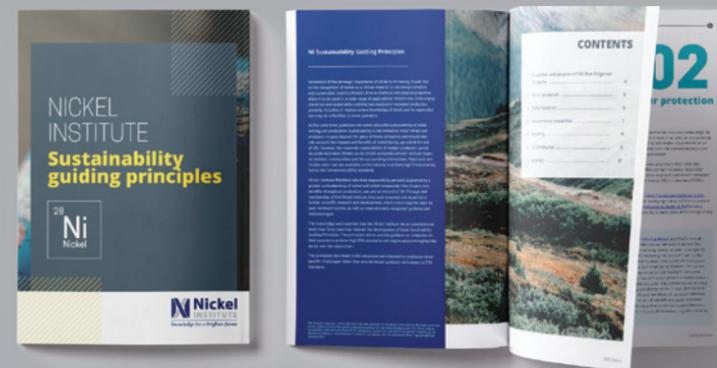


## Mejora de los catalizadores bifuncionales

Un grupo de investigadores coreanos ha ideado una metodología innovadora que utiliza catalizadores bifuncionales de aleación de platino y níquel para mejorar la reversibilidad y durabilidad de los electrodos. El equipo de POSTECH y la Universidad de Yonsei, junto con el Centro de Investigación de Energías Limpias del Instituto de Ciencia y Tecnología de Corea (KIST, por sus siglas en inglés), sustituyeron los catalizadores separados por los catalizadores bifuncionales de platino-níquel. Estos catalizadores de aleación recién creados poseen una estructura octaédrica que presenta reacciones tanto de reducción como de generación de oxígeno. Este trabajo proporciona una nueva dirección para el desarrollo de catalizadores bifuncionales, una tecnología importante para la conversión electroquímica de la energía. También contribuirá a la comercialización y neutralidad en carbono de sistemas electroquímicos como las pilas de combustible renovables unificadas (URFC, por sus siglas en inglés) en el futuro.

INSTITUTO COREANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (KIST)

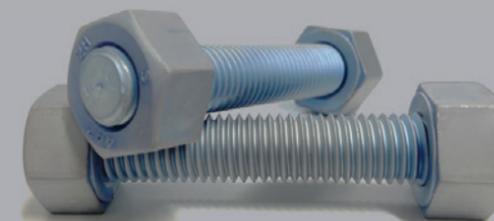
## Principios rectores de la sostenibilidad



Cada vez es mayor la conciencia de la importancia estratégica del níquel como material esencial en la transición energética y la movilidad sostenible. La producción de níquel está aumentando en todo el mundo, incluso en regiones donde hay menos conocimientos sobre él y su uso responsable. El Nickel Institute ha acumulado conocimientos y experiencia durante más de 40 años que han servido de base para el desarrollo de los *Principios rectores de la sostenibilidad*. El objetivo de los principios es ofrecer a las empresas una orientación específica sobre el níquel en su camino hacia la consecución de unos elevados estándares medioambientales, sociales y de gobernanza (ASG) e inspirar la acción en todo el sector del níquel y en la cadena de valor. La nueva publicación está disponible en [www.nickelinstitute.org](http://www.nickelinstitute.org) y contiene recursos y referencias útiles.

## Un nuevo revestimiento apto para el mar

En un trabajo conjunto, las empresas estadounidenses Sigma Fasteners, Dipsol e Integran han desarrollado un sistema de revestimiento de zinc-níquel nanoestructurado para las industrias del petróleo y el gas en alta mar, donde las condiciones difíciles exigen soluciones innovadoras. Con la marca comercial ZNnGard™, este revestimiento de ingeniería está diseñado para sustituir al cadmio convencional, eliminando así los problemas medioambientales y de seguridad de los trabajadores, al tiempo que mejora significativamente el rendimiento y reduce los costes del ciclo de vida. Gracias a una tecnología propia, el revestimiento se produce mediante electrodeposición pulsante con un baño químico alcalino de Zn-Ni. Algunas de sus ventajas son una mayor dureza, resistencia a la corrosión, excelente adherencia del revestimiento, alta consistencia dimensional, ausencia de fragilización por hidrógeno y acabado superficial superior. Steve Cabral, de Sigma Fasteners, afirma: «Estamos entusiasmados por llevar esta tecnología al mercado, resolviendo problemas de larga evolución y satisfaciendo demandas».



SIGMA FASTENERS, INTEGRAN TECHNOLOGIES © 2023

## Una primicia para la India

Con 62 metros de altura, el primer edificio de estructura diagrid de acero inoxidable de la India es un testimonio de innovación, además de ser antisísmico y eficiente desde el punto de vista energético. Situada en Chennai, la nueva sede de United India Insurance Company tiene un característico perfil curvilíneo fabricado con unas 1000 toneladas de acero inoxidable de alta calidad de grado 316L (S31603). Esta estructura redefine la construcción convencional, pues no tiene columnas. Los marcos de acero inoxidable son la principal estructura portante del edificio. El Sr. Abhyuday Jindal, de Jindal Stainless, declaró: «Es una maravilla arquitectónica de vidrio y acero inoxidable, y sin duda un regalo para la vista».



CONSTRUCTION CATALYSERS PVT.LTD.

# INDUSTRIA DEL NÍQUEL PARTE 2

## TRATAMIENTO DE FUNDICIÓN DE LATERITAS DE NÍQUEL

En la segunda parte de esta serie profundizamos en los detalles de las lateritas, uno de los dos principales tipos de mineral de níquel, y examinamos la fundición, la técnica de procesamiento más común.



Las lateritas representan más del 70 % de la producción de níquel y de los recursos terrestres conocidos en la actualidad, y desde hace algún tiempo son la fuente de níquel de más rápido crecimiento.

### Yacimientos de laterita

Los yacimientos de laterita se forman a partir de la meteorización del lecho rocoso por el paso del agua, creando capas sobre la roca original. Otras variantes de estos yacimientos pueden contener aluminio (bauxita) u oro, y su composición viene determinada por la roca madre y el grado de meteorización. Las lateritas de níquel proceden de lechos rocosos con alto contenido de magnesio y bajo contenido de níquel en rocas silicatadas. Durante la meteorización, los elementos se disuelven, se movilizan y vuelven a cristalizar. Estos procesos pueden crear depósitos lateríticos en menos de un millón de años, aunque algunos depósitos expuestos en zonas templadas y boreales no están totalmente alterados después de más de mil millones de años.

Los dos principales métodos de tratamiento de los minerales lateríticos son la fundición y la lixiviación ácida a alta presión (HPAL, por sus siglas en inglés). La fundición se utiliza principalmente en los minerales de saprolita para obtener una aleación de hierro y níquel (ferroníquel: FeNi, arrabio de níquel: NPI), mientras que la HPAL se utiliza principalmente para procesar limonita o para productos finales de mayor pureza.

### Fundición de laterita

En la actualidad, la industria está dominada por el enfoque del horno

rotatorio eléctrico (RKEF, por sus siglas en inglés). Actualmente los altos hornos se utilizan con menos frecuencia. La ruta del RKEF consta de tres pasos principales: secar, reducir y fundir. El mineral de saprolita es la alimentación normal, pero también pueden fundirse minerales de limonita. La mayoría de las instalaciones siguen el proceso descrito a continuación, aunque hay excepciones.

### Ruta del RKEF

El mineral preparado (triturado y mezclado según sea necesario) se seca en un secador rotatorio, que suele funcionar con carbón o gas para proporcionar el calor necesario para eliminar parte de la humedad libre del mineral calentándolo por encima de 100 °C. El objetivo es producir un material que no sea pegajoso ni polvoriento para las siguientes fases de procesamiento.

Tras el secado, el mineral pasa a un horno rotatorio para seguir secándose e iniciar el tratamiento químico. En el horno rotatorio se aumenta el calor mediante la combustión de combustibles fósiles para elevar la temperatura a unos 900 °C. También se añade un producto con alto contenido en carbono, como el carbón antracita, como reductor químico, para eliminar el oxígeno de los minerales de óxido de hierro y óxido de níquel y poder producirlos como

metales. También puede añadirse piedra caliza para ajustar la química de la fundición. Ambos equipos de volteo en caliente generan polvo, que debe ser capturado de los gases de ventilación y los sólidos reciclados, lo que añade complejidad tanto a la captura de polvo como a la mezcla de polvo con la alimentación fresca.

A continuación, el mineral caliente y parcialmente reducido pasa al horno eléctrico, donde se completa la reducción química. El mineral se funde a una temperatura de unos 1500 °C mediante el uso de electricidad y la reacción continua del carbono añadido en el horno, así como la reacción de los electrodos de carbono que se consumen lentamente. El resultado final es un producto líquido de hierro-níquel «metalizado» que se queda en el fondo del horno, de donde se extrae, mientras que los materiales de escoria más ligeros flotan en la parte superior. La aleación fundida de hierro y níquel se refina para eliminar los materiales perjudiciales para los procesos posteriores de fabricación del acero y, a continuación, se transforma en formas sólidas para su transporte o, en algunas operaciones integradas recientes, se transporta en caliente a la acería.

Los grandes equipos rotatorios tienen que funcionar continuamente, a alta temperatura, en sistemas de rodillos bien mantenidos. Los hornos eléctricos requieren un suministro continuo de energía muy grande, ya

que algunas instalaciones necesitan hasta 40 MWh/t de Ni producido. La mayoría de los hornos requieren sofisticados sistemas de refrigeración para garantizar una larga vida útil del revestimiento del horno.

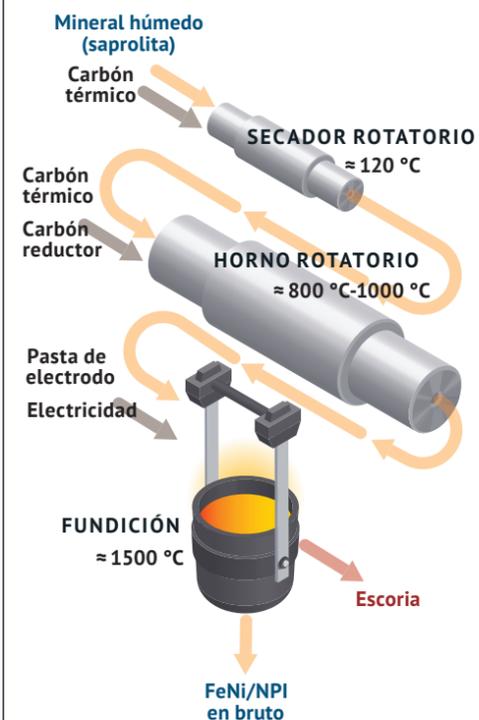
La fundición conlleva un alto consumo energético, ya que utiliza combustibles fósiles para la energía térmica y la reducción química, así como para la generación de energía eléctrica. La contaminación atmosférica provocada por la combustión del carbón es similar a la de las centrales eléctricas, siempre que los polvos metálicos estén bien controlados. La escoria producida es razonablemente estable y suele utilizarse como material de construcción.

### Enfoque de ciclo de vida completo

En el caso de los metales muy reciclados, como el níquel, el impacto ambiental asociado a la producción inicial puede amortizarse con el tiempo, en función de la frecuencia con que se recupere el níquel al final del ciclo de un producto (por ejemplo, baterías de níquel o acero inoxidable que contiene níquel) y se reutilice en otro. El «ciclo de vida» completo del níquel suele ser mucho más largo que el de los productos en los que se ha incorporado.

En la próxima edición de *Nickel* hablaremos de la HPAL, que está aumentando su capacidad para suministrar productos intermedios de níquel al mercado de las baterías.

### Proceso del RKEF simplificado



Los secadores rotatorios suelen tener un diámetro de 3 a 5 m y una longitud de 30 a 50 m, mientras que los hornos rotatorios pueden superar ampliamente los 100 m de longitud.

### Composición típica de un yacimiento de laterita de níquel

Tipo de mineral	Grados típicos		
	Fe	MgO	Ni
Ferricreta (sobrecarga)	>50 %	<0,5 %	<0,5 %
Limonita (alimentación de HPAL)	40-50 %	0,5-5 %	0,8-1,5 %
Transición	25-40 %	5-15 %	1-2 %
Saprolita (alimentación de fundición)	10-25 %	15-35 %	1,5-3 %
Lecho rocoso	5 %	35-45 %	0,30 %

# DESPEGUE CON NÍQUEL SPACE X LANZA UN MEGACOHETE

*La NASA confía en el éxito de Starship para el regreso de los humanos a la Luna. La última misión lunar tripulada fue el Apolo 17 en 1972. El objetivo de SpaceX no es solo que los seres humanos regresen a la Luna, sino ir más allá y llegar a Marte.*

*Mientras SpaceX sigue poniendo a punto su Starship, en junio de 2024 tuvo lugar el cuarto vuelo de prueba de su megacohete de dos etapas, y el níquel estaba a bordo. El níquel fue fundamental para proporcionar una resistencia y una resiliencia óptimas al tiempo que ofrecía economías de escala.*

Los vuelos de prueba sirven de plataforma para aprender y avanzar en los elementos de éxito del programa. El cuarto lanzamiento marca un hito importante, ya que se trata del cohete más grande y potente jamás lanzado.

El Starship consta de dos etapas: el propulsor Super Heavy y la nave espacial Starship. Su estructura principal es de acero inoxidable con níquel de la serie 300. Los primeros prototipos se construyeron con 304L (UNS S30403), que podría seguir siendo el caso, aunque SpaceX ha insinuado que una variante de la

serie 300 con propiedades optimizadas podría ser el material definitivo.

Ambas etapas están equipadas con motores Raptor, que utilizan la aleación de base níquel 718 (N07718) en la cámara de combustión debido a su excepcional fuerza y resistencia al calor.

En un principio, el plan era construir el cohete con fibra de carbono, elegida por su alta resistencia a la tracción y su baja densidad. Sin embargo, en diciembre de 2018, el material estructural pasó a ser acero



SPACE X

inoxidable de la serie 300. Elon Musk citó varias razones para este cambio, como el menor coste, la facilidad de fabricación, la mayor resistencia del acero inoxidable a temperaturas criogénicas y su capacidad para soportar altas temperaturas.

Según Musk, la fibra de carbono es increíblemente cara: cuesta unos \$135/kg (o 2,2 libras), y solo en el proceso de corte y moldeado se desperdicia hasta un 35 % del material. El acero inoxidable cuesta menos de \$3/kg y produce muy pocos residuos.

El acero inoxidable también se beneficia de un alto punto de fusión, lo que le permite resistir las altas temperaturas que se alcanzan durante la reentrada y reducir así la necesidad de aislamiento de protección térmica.

Además, la fabricación es mucho más fácil y rápida. Se fabrica apilando y soldando cilindros de

acero inoxidable, lo que no es más difícil que la soldadura utilizada para construir depósitos de acero inoxidable, que se realiza de forma rutinaria. Dado que el cohete está concebido para ser reutilizable, las reparaciones son posibles y fáciles de realizar.

En general, el acero inoxidable que contiene níquel está ayudando a Starship a alcanzar sus principales objetivos: controlar los costes de lanzamiento, permitir la reutilización de las dos etapas del cohete, aumentar la masa de carga útil hasta la órbita, facilitar la frecuencia de lanzamiento y crear una cadena de fabricación en serie, todo ello adaptable a una amplia gama de misiones espaciales.

Considerado un éxito, el último lanzamiento hace avanzar la ambiciosa misión de SpaceX de establecer asentamientos humanos en la Luna y Marte.

Ni



*Nave espacial Starship  
Propulsor Super Heavy  
Motor Raptor*

SPACE X

*¿Podría ser así la vida en Marte?*



SPACE X

# ENTREVISTA CON LA DRA. MARIA JOSE LANDEIRA OESTERGAARD DIRECTORA DE EXCELENCIA OPERATIVA, TOPSOE



Maria Jose Landeira Oestergaard  
Directora de excelencia operativa, Topsoe

La empresa tecnológica danesa Topsoe es conocida por su experiencia en catálisis y tecnologías avanzadas para las industrias química y de refinado. Hablamos con la Dra. Maria Jose Landeira Oestergaard, especialista en materiales y directora de excelencia operativa, sobre el papel del níquel en los procesos de Topsoe y su curiosidad por los materiales.

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

La decisión de seguir el camino de la ciencia y la tecnología fue calculada; la química parecía abrir el mayor número de oportunidades laborales. En la universidad me especialicé en electroquímica. Me fascinaba el hecho de que partículas tan pequeñas como los electrones gobernarán todas las reacciones. La electroquímica me condujo a la corrosión tras leer *8 formas de corrosión* de Fontana & Greene. Mi doctorado en corrosión en plantas de desulfuración me llevó a mi primer trabajo en la cementera FLSmidth.

**P: ¿Cuándo empezó a trabajar en Topsoe?**

En 2001, fui la primera ingeniera de materiales y corrosión que comprobó si era beneficioso para la empresa disponer de esos conocimientos internamente. Enseguida me di cuenta de que había una enorme necesidad de formar a ingenieros no especializados en materiales para que pudiéramos entendernos. Así que creé la formación interna sobre materiales y corrosión, que se imparte en Dinamarca, la India y otros centros de Topsoe según las necesidades, por término medio cada año y medio.

**P: Háblenos más de la empresa y del papel del níquel en las tecnologías de las que Topsoe es pionera.**

El compromiso de Topsoe con la sostenibilidad queda patente en su I+D, centrada en la creación de tecnologías que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero y fomenten el uso de recursos renovables. Nuestras soluciones innovadoras abordan el cambio climático y la escasez de recursos. Topsoe desempeña un papel crucial en el apoyo a la transición hacia un paisaje industrial más sostenible y respetuoso con el medio ambiente mediante la mejora de la eficiencia energética y el desarrollo de alternativas energéticas limpias.

Uno de los primeros éxitos de la empresa llegó en 1948 con el desarrollo del primer catalizador de níquel.

En la actualidad, Topsoe suministra una amplia gama de catalizadores a base de níquel y tecnología de procesos esenciales para producir combustibles limpios a partir de petróleo crudo y residuos, eliminar las emisiones nocivas de las centrales eléctricas y aumentar la eficiencia de los procesos industriales.

**P: ¿Por ejemplo?**

Basándonos en décadas de investigación científica e innovación, algunas de las áreas clave en las que trabajamos son: hidrógeno verde; procesos para convertir electricidad renovable en combustibles y productos químicos verdes; captura y utilización de carbono: procesos electroquímicos para producir productos químicos y combustibles de forma más sostenible; y conversión de biomasa.

**P: ¿Qué materiales que contienen níquel se utilizan ampliamente en los procesos de Topsoe y por qué?**

Los materiales que contienen níquel forman parte integral de muchos de los procesos de Topsoe, principalmente por sus propiedades catalíticas y su durabilidad en condiciones extremas.

Por ejemplo:

Catalizadores de hidrogenación: el níquel es un componente crucial en la mayoría de los catalizadores de hidrogenación de la industria del refinado. Favorece la eliminación de azufre, nitrógeno y otras impurezas del petróleo crudo, y sus excelentes propiedades catalíticas potencian las reacciones de hidrogenación esenciales para producir combustibles más limpios como el gasóleo, la gasolina y el carburante para aviones con bajo contenido en azufre.

Catalizadores reformadores: los catalizadores a base de níquel se utilizan ampliamente en el reformado de metano por vapor (SMR, por sus siglas en inglés) para la producción de hidrógeno. El níquel facilita eficazmente la conversión de metano y vapor en hidrógeno y monóxido de carbono, un proceso fundamental para producir hidrógeno destinado a diversas aplicaciones industriales.

**P: ¿Cuáles son los otros usos del acero inoxidable y las aleaciones de níquel de Topsoe?**

Seleccionamos las aleaciones para todos los equipos y tuberías en función de los posibles mecanismos de

degradación en el entorno dado y las propiedades mecánicas necesarias a temperatura ambiente y alta temperatura. Las aleaciones también deben soportar arranques y paradas, así como picos de temperatura y presión.

Las aleaciones de níquel son especialmente importantes para entornos húmedos con altas concentraciones de cloruro en entornos de hidrogenación o para entornos secos a temperaturas muy altas, como algunos componentes de quemadores en tecnologías de gas de síntesis.

**P: ¿Qué es lo más interesante de su trabajo? ¿Qué le ilusiona de cara al futuro?**

En mis anteriores funciones como especialista y gestora de materiales, lo más emocionante era seleccionar las aleaciones más adecuadas para entornos agresivos, realizar análisis de fallos y adquirir conocimientos sobre los materiales y sus mecanismos de degradación en las tecnologías Topsoe. Mi objetivo era prescindir de mí creando un equipo de expertos en materiales y corrosión en las tecnologías Topsoe existentes y nuevas.

Crear un departamento de expertos con metalúrgicos, ingenieros de soldadura y especialistas en elementos finitos ha sido realmente gratificante, sobre todo el espíritu de equipo a pesar de estar en tres lugares distintos.

En mi puesto actual en el equipo de Excelencia Operativa, disfruto planificando y facilitando proyectos de la ingeniería de valor y FMECA (siglas en inglés de Análisis Modal de Fallos, Efectos y Criticidad) para los equipos propiedad de Topsoe. Motivar al equipo para que contribuya positivamente a mejorar el diseño sin poner en peligro la calidad y la fiabilidad, crear resultados valiosos y presentarlos a las partes interesadas es enormemente emocionante.

En el futuro, mi deseo es que crezcan los equipos de facilitadores de análisis de causa raíz, ingeniería de valor y FMECA. Ni

**El consejo de Maria para los jóvenes que buscan una carrera relacionada con los materiales**

1. Nunca dejen de ser curiosos. Estén abiertos a nuevas ideas y desafíen el statu quo.
2. Piensen antes de actuar. Cuando nos enfrentamos a un reto, a menudo nos sentimos mejor haciendo algo al respecto, pero existe el riesgo de no seleccionar la forma más inteligente de resolver el problema para llevar a cabo la tarea.
3. Para las mujeres en este campo, es importante no tener miedo de expresar sus pensamientos y opiniones y demostrar su valor. Los estereotipos de que «la ciencia es solo para hombres» siguen existiendo. Las mujeres científicas no somos aceptadas en varios países y, en otros, solo se nos toma en serio una vez que hemos demostrado nuestros conocimientos y capacidades.
4. Elijan una actividad/afición/pasión. A menudo, los aprendizajes adquiridos fuera del lugar de trabajo son directamente aplicables a situaciones laborales y contribuyen a hacer del especialista en materiales una persona íntegra.

Creo que debemos seguir la visión del Dr. Topsoe de dejar el mundo en mejores condiciones que cuando lo recibimos, y hago todo lo que puedo cada día —tanto en el trabajo como fuera de él— para contribuir a alcanzar esa visión.

# LA CANTIDAD JUSTA EL NÍQUEL EN ACEROS DE BAJA ALEACIÓN



Muchos se sorprenden al oír que se está trabajando activamente en el desarrollo de aceros de baja aleación. Pero, ¿acaso no hemos descubierto todo lo que hay que saber sobre los aceros, que se producen y utilizan desde hace miles de años? Aunque ciertamente sabemos muchísimo, siempre hay nuevas aplicaciones en las que se necesitan aceros con propiedades que superan los límites existentes.

Por ejemplo, las torres de los aerogeneradores marinos deben hacer frente a condiciones extremas. Deben soportar un gran estrés cíclico por la acción del viento y las olas, y tolerar tanto temperaturas gélidas como cálidas. Necesitan cierta resistencia a la corrosión y, lo que es más importante, deben mantener estas propiedades después de la soldadura. Al soportar góndolas cada vez más grandes, el grosor de las paredes de las torres puede llegar a 150 mm con alturas de hasta 140 m o más.

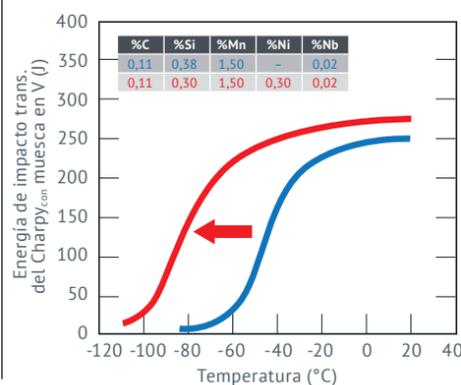
Es bien sabido que el níquel aporta propiedades excepcionales al acero, siendo una de las más importantes la mejora de la tenacidad (ausencia de fragilidad), especialmente a bajas temperaturas. El níquel también aumenta la resistencia de las aleaciones. Además, el níquel es el único elemento de aleación que mejora simultáneamente estas

dos propiedades sin tener un efecto significativamente negativo sobre la soldabilidad. El níquel mejora las propiedades de fatiga tanto en el metal base como en la zona afectada por el calor de una soldadura.

Sin embargo, el papel del níquel en los aceros de baja aleación es complejo, especialmente cuando se combina con otros elementos de aleación. El reto consiste en determinar el punto óptimo de contenido de níquel que maximice la relación coste-beneficio. Por su parte, el Nickel Institute y dos grandes productores de chapa de acero están a la altura.

Colaboran en un importante proyecto de investigación de tres años de duración para estudiar el efecto del níquel en la zona afectada por el calor y las propiedades de fatiga de la chapa de acero gruesa, incluidas las soldaduras, basándose en la aleación que se utiliza actualmente en las torres de aerogeneradores. Salzgitter Mannsmann Forschung está llevando a cabo la investigación, con resultados útiles tras el primer año. Se están buscando socios adicionales. El objetivo es desarrollar una aleación que se ajuste a la especificación existente con propiedades mejoradas que den como resultado un menor coste de fabricación con «la cantidad justa» de níquel.

NI



El gráfico de la derecha muestra que solo una cantidad muy pequeña de níquel (0,30 %) mejora drásticamente la tenacidad a baja temperatura de los aceros simples al carbono.

# NITINOL EL METAL QUE RECUERDA

El nitinol (UNS N01555) es una aleación metálica de níquel y titanio, en la que los dos elementos están presentes en porcentajes atómicos aproximadamente iguales (55 a 56 % en peso de níquel). El nitinol presenta las propiedades únicas de la memoria de forma (MF) y la superelasticidad (SE). Su propiedad de memoria de forma le permite doblarse y recuperar su estructura original al calentarse por encima de su «temperatura de transformación».

Estas propiedades se deben a una transformación de fase (un cambio en la estructura cristalina). Por debajo de la temperatura de transformación, la microestructura se conoce como martensita, mientras que por encima de esta temperatura se conoce como austenita.

El nitinol presenta SE por encima de su temperatura de transformación, debido a la formación de martensita en las zonas sometidas a tensión. Cuando se elimina la tensión, esta martensita vuelve al estado de austenita no deformada. Mientras que la mayoría de los metales solo pueden tolerar una pequeña fracción de un porcentaje de tensión sin sufrir una deformación permanente, el nitinol puede soportar hasta un ocho por ciento de tensión y recuperar su forma original.

Del mismo modo, la MF permite que el nitinol recupere su estructura original tras la deformación. Para fijar la «forma madre» original, la aleación debe mantenerse en posición y calentarse a unos 500 °C (930 °F). Este proceso se denomina ajuste de la forma. El nitinol recupera su forma original cuando se deforma por debajo de su temperatura de transformación. El simple calentamiento del nitinol hace que la martensita se transforme de nuevo en austenita

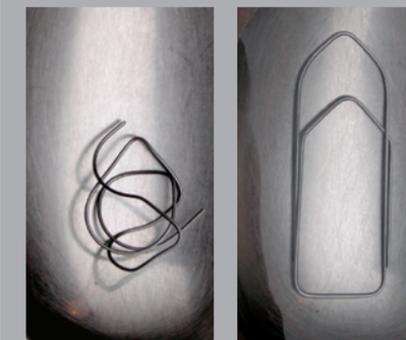
no deformada. Introducir pequeños cambios en la composición puede modificar significativamente la temperatura de transición de la aleación. Las temperaturas de transformación en nitinol pueden controlarse dentro de un rango de aproximadamente -20 a +110 °C (-4 a 230 °F).

Las aplicaciones en salud y dispositivos médicos utilizan cada vez más las propiedades del nitinol, como los implantes de oído, las monturas de gafas y los stents. Una endoprótesis médica necesita una fuerte compresión para poder introducirse en una arteria, pero cuando se retira la compresión se despliega para sostener y mantener abierta la arteria.

NI



Puente de gafas de nitinol



Un clip deformado recupera su forma tras sumergirlo en agua caliente.

Los stents de nitinol pueden fabricarse a una temperatura, plegarse más pequeños a otra temperatura e insertarse en una arteria, donde el cuerpo calienta el material por encima de su temperatura de transformación y recupera su tamaño original.

WWW.THINOPTICS.COM/FLEXIBLE-REA-DING-GLASSES

WIKIMEDIA COMMONS



## PREGÚNTELE A UN EXPERTO

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

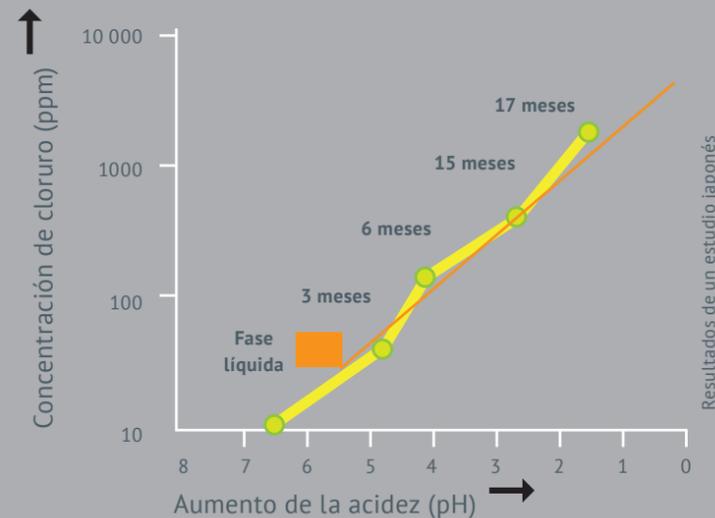
El ingeniero Geir Moe es el coordinador del Servicio de consultas técnicas en el Nickel Institute. Junto con otros especialistas en materiales de todo el mundo, Geir ayuda a los usuarios finales y a los especificadores de materiales que contienen níquel que buscan asistencia técnica. El equipo está disponible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

**P:** ¿Es adecuado el acero inoxidable tipo 316L para un depósito de agua caliente en agua potable con 20 mg/l (ppm) de cloruro?

**R:** El cloruro es un problema para todos los grados de acero inoxidable debido al potencial de corrosión por picaduras, pero cada grado de acero inoxidable tiene un nivel diferente de resistencia basado principalmente en su composición. Aumentar el contenido de cromo y molibdeno es beneficioso. Sin embargo, hay muchos otros factores, como el pH, el contenido de oxígeno, el acabado superficial, otros contaminantes en un fluido y la temperatura, que pueden influir en la posibilidad de que se produzcan picaduras. En el caso del agua a temperatura ambiente, el 316L se considera generalmente resistente hasta 1000 mg/l (ppm) de cloruro. Sin embargo, un depósito de agua caliente suele ser un sistema cerrado con un espacio de vapor en

la parte superior del depósito. La evaporación transportará el cloruro al espacio de vapor, donde se depositará en la superficie y se concentrará con el tiempo. Si la superficie en ese espacio de vapor no se enjuaga periódicamente, ya sea rociando agua sobre la superficie o permitiendo que el agua del depósito enjuague la superficie, el cloruro podría eventualmente concentrarse hasta un nivel en el que podría producirse corrosión por picaduras. Además, por encima de 60 °C (140 °F) existe la posibilidad adicional de agrietamiento por corrosión bajo tensión por cloruros. Si se toman medidas para evitar la concentración de cloruros, el 316L sería un material adecuado. Ni

Acumulación de cloruros y aumento de la acidez en una pared del depósito en el espacio de vapor



# NICKEL

EN LÍNEA

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

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

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

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

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

SÍGANOS en X @NickelInstitute

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)

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 LOS PUENTES DE LAS AUTOPISTAS

## Las barras de refuerzo se utilizan en la mayoría de las estructuras de hormigón para reforzarlas.

¿Por qué? El hormigón es fuerte cuando se comprime, pero débil cuando se estira. También puede agrietarse con facilidad. El acero, sin embargo, es fuerte en ambos sentidos y no se rompe fácilmente a temperaturas normales.

En un puente de autopista se necesitan ambos tipos de resistencia, por lo que las barras de refuerzo se colocan antes de verter el hormigón. Esto hace que el puente sea lo bastante resistente para soportar mucho tráfico.

La sal es mala para el acero. La sal de carretera o la sal marina puede atravesar el hormigón y empezar a corroer el acero. La corrosión hace que el hormigón se agriete y se deshaga, provocando atascos cuando hay que repararlo.

Podemos detener la corrosión utilizando barras de refuerzo de acero inoxidable con níquel. El níquel ayuda a que las barras de refuerzo sean fuertes y resistentes a la sal, y duren más de 100 años.

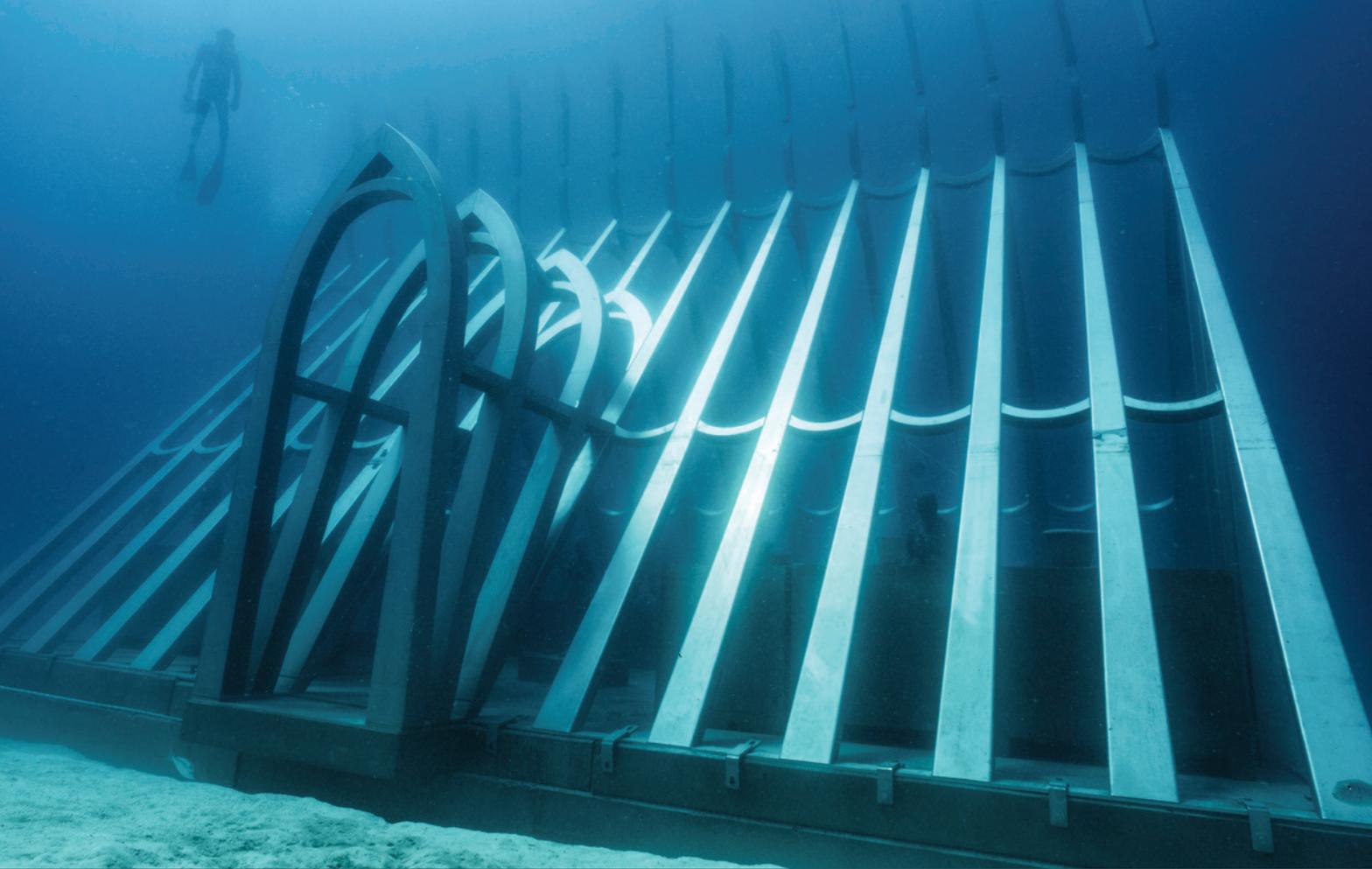
Con níquel en la barra de refuerzo, puede llegar a su destino más rápido y seguro.



## DETALLES UNS

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

UNS	C	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	N	Nb	Ni	P	S	Si	Ti
N01555 pág. 13	0,07 máx.	0,05 máx.	0,01 máx.	0,01 máx.	0,05 máx.	–	–	–	0,05 máx.	54,0- 57,0	–	–	–	bal.
S30403 pág. 8	0,030 máx.	–	18,0- 20,0	–	bal.	2,00 máx.	–	–	–	8,0- 12,0	0,045 máx.	0,030 máx.	1,00 máx.	–
S31600 pág. 2,16	0,08 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.	–
S31603 pág. 2,5	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.	–
S31635 pág. 2	0,08 máx.	–	16,0- 18,0	–	bal.	2,00 máx.	2,00- 3,00	0,10 máx.	–	10,0- 14,0	0,045 máx.	0,030 máx.	1,00 máx.	5x(C+N) mín.- 0,70 máx.



CATWINTON



## EL INVERNADERO DE CORALES

*El primer y único museo submarino de Australia, creado por el escultor británico Jason deCaires Taylor, ostenta el récord Guinness a la mayor estructura artística submarina.*

El Invernadero de Corales pesa 165 toneladas y está construido con acero inoxidable de tipo 316 (S31600) resistente a la corrosión y sustancias de pH-neutro. El invernadero, que descansa en el fondo del arrecife John Brewer, está totalmente sumergido bajo 16 m de agua de mar y mide 12 m de altura. El artista explica que el marco biomórfico se inspira en los patrones de la naturaleza, «poniendo de relieve los diversos campos de estudio, como la ciencia marina, la jardinería de corales, el arte y la arquitectura submarinos y medioambientales. Proporciona un punto de partida y una nueva perspectiva para comprender la Gran Barrera de Coral y su ecología». Para protegerlo en condiciones meteorológicas adversas,

cuenta con una gran base de cemento y anclajes ciclónicos integrados, mientras que sus secciones transversales triangulares están diseñadas para tener un centro de gravedad muy bajo para mayor estabilidad. Además, las secciones elevadas de las vigas ofrecen una resistencia mínima a la energía de las olas, al tiempo que crean un sustrato elevado ideal para que se congreguen organismos filtradores y bancos de peces. Situado a unos 80 km de Townsville (Australia), este magnífico santuario cuenta con intrincadas matrices para peces pequeños que buscan escapar de la depredación y enclaves de vidrio para pulpos y erizos de mar que buscan refugio durante el día. **NI**

*El coral se propaga en una colección de esculturas modeladas a partir de niños de la zona.*

*Encargado por: Townsville (Australia) y financiado con fondos de los gobiernos estatal y federal.*

*Materiales: acero inoxidable con níquel, zinc, cemento con pH neutro, basalto y áridos*

*Ubicación: arrecife John Brewer, Australia, Océano Pacífico*

*Profundidad: 12 m*

*Fecha de instalación: 2019*