

Simplificar la Selección de Materiales

Su guía para tomar decisiones que reduzcan el impacto de la corrosión



Swagelok®

Índice

Elija con Confianza	3
Qué es la Corrosión	4
Medidas para Controlar la Corrosión	5
Identificar los Tipos de Corrosión y Seleccionar los Materiales	6
Encontrar Materiales Adecuados	6
Corrosión General (o Uniforme)	7
Corrosión Localizada: Corrosión por Picaduras y Corrosión Intersticial	8
Corrosión por Picaduras	9
Corrosión Intersticial	10
Rotura por Corrosión bajo Tensión, (SCC)	11
Agrietamiento por Gas Sulfuroso o Agrietamiento bajo Tensión de Sulfuros (SSC)	12
Debilitamiento por Hidrógeno	13
Corrosión Intergranular (IGC)	14
Corrosión Galvánica	15

Acero inoxidable 316	16
Aleaciones 6-Moly	17
Aleación Acero Inoxidable 2507 Súper Dúplex	18
Aleación 825	19
Aleación 625	20
Aleación C -276	21
Aleación 400	22
Aleaciones de Titanio	23
Combinaciones Diseñadas	24
Entender los Requisitos y Normas	25
Requisitos de NACE®	26
NACE MR0175/ISO 15156 Descripción General	27
Requisitos de NACE sobre los Racores para Tubo de 2507 Súper Dúplex	28
Requisitos de NACE sobre los Racores para tubo estándar y de Media Presión de Aleación 625	29
Requisitos de NACE sobre el Tubo, Tubería y Accesorios para Soldar de Aleación 6-Moly	30
Normativas de NORSOK	31

Más información	33
Formación en Ciencias de los Materiales	33
Más Recursos	34
Calidad y Fiabilidad	34
Formación en Producto y en Sistemas	35
Servicios de Evaluación y Asesoramiento	35
Custom Solutions	35
Encuentre a su Asesor Técnico	35
Artículos	36
Guía de Referencia	36
Informes de Ensayos de Producto	36
NACE	36
Selección Fiable de un Componente	37

Una plataforma marítima puede tener cerca de 15.000 metros de tubo, más de 20.000 componentes para sistemas de fluidos, no menos de 10.000 racores, y unas 8.000 conexiones mecánicas.

No es de extrañar que elegir un material no sea fácil.

En realidad, hay mucho en qué pensar al especificar materiales para líneas de instrumentación, energía hidráulica, inyección química, sistemas contra incendios, y otras muchas áreas.

Aquí es donde Swagelok puede ayudar. Llevamos combatiendo la corrosión desde 1947. Nosotros simplificamos la selección gracias a nuestro profundo conocimiento de los factores que favorecen la corrosión, y también de las propiedades de los materiales que ayudan a afrontarla. Utilizamos aleaciones con al menos dos, pero frecuentemente hasta diez elementos diferentes en concentraciones optimizadas que dan a nuestros materiales una resistencia superior a la corrosión que ayuda a nuestros productos a tener un mejor rendimiento. Por ejemplo:

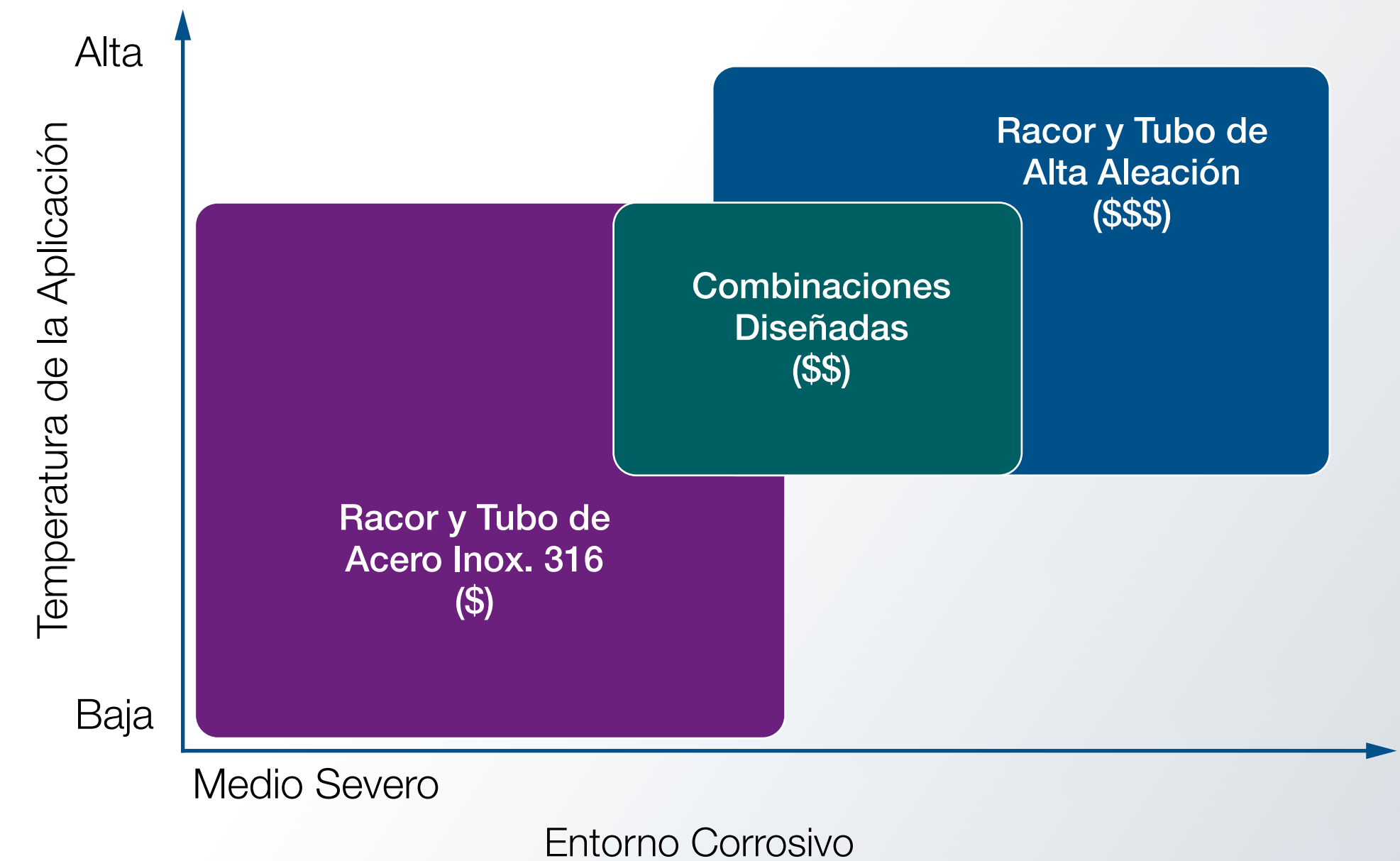
Níquel [Ni] + Cobre [Cu] = Aleación 400 (Monel®)

Hierro [Fe] + Níquel [Ni] + Cromo [Cr] + Molibdeno [Mo] = Acero Inoxidable 316 Austenítico

Gracias a las estrictas medidas de control de calidad, a la formación dirigida por expertos y al apoyo de los centros autorizados de ventas y servicio, Swagelok ofrece una inigualable experiencia en los entornos más duros del mundo. Hacemos de la selección de los materiales, una cuestión de confianza para nuestros clientes. Swagelok puede ser la diferencia material en su operación.

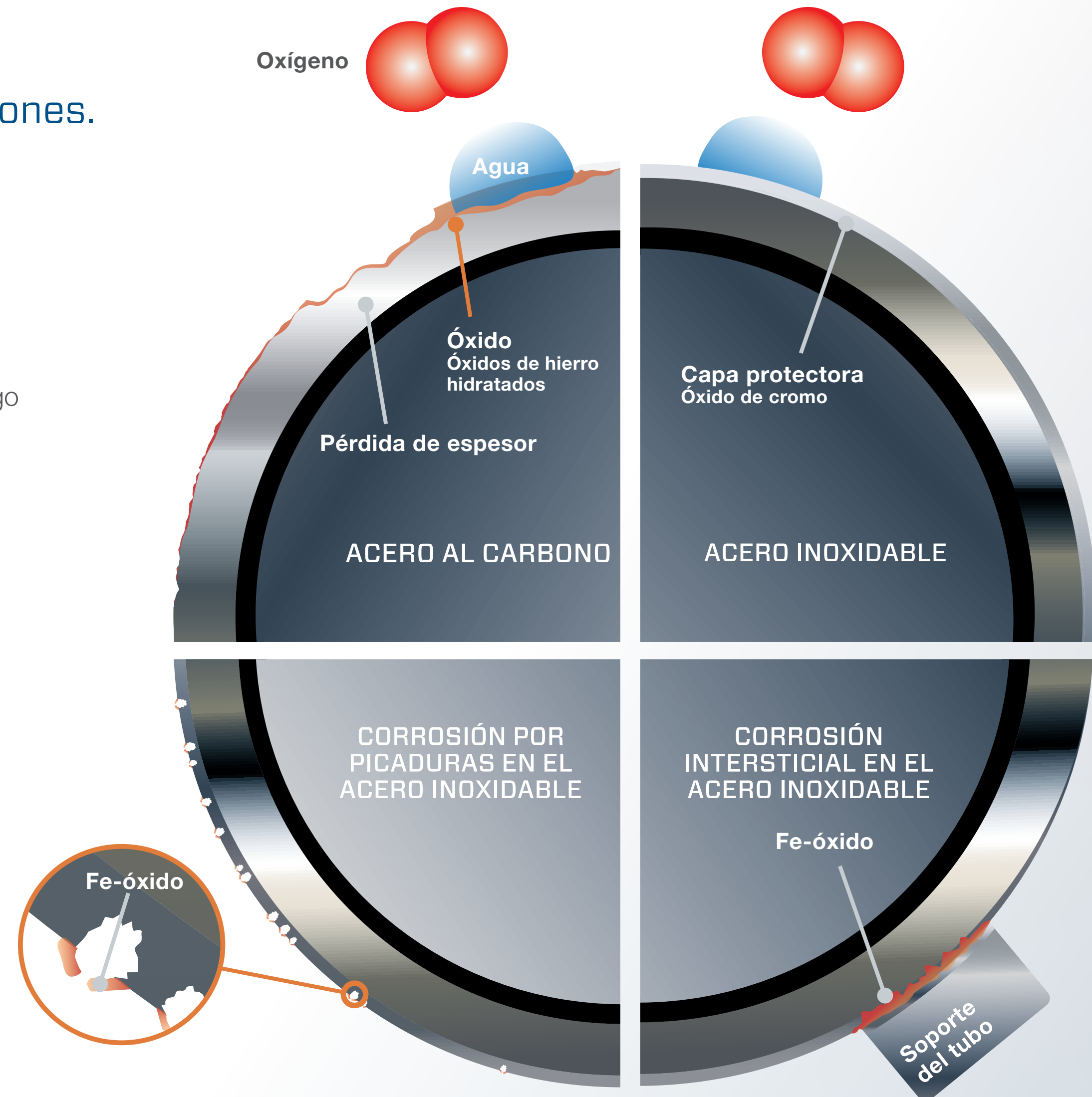
Selección de Aleaciones para los Racores y el Tubo

Consideraciones de Aplicación y Costes



Casi todos los metales se corroen bajo ciertas condiciones.

La corrosión es la degradación física de un material debido a la interacción con su entorno. La corrosión se da cuando un átomo metálico es oxidado por un fluido, provocando la pérdida de material en la superficie del metal. Esa pérdida reduce el espesor de la superficie y lo hace más propenso al fallo mecánico. Casi todos los metales se corroen bajo ciertas condiciones. Por ejemplo, el óxido es un frecuente subproducto de la corrosión, resultado de la corrosión del hierro que forma óxido de hierro. Sin embargo, hay muchos otros tipos de corrosión. Cada uno supone un riesgo que debe ser valorado al seleccionar el material óptimo para su aplicación.



Los costes totales anuales de la corrosión se estiman en 1.300 millones de dólares para toda la industria de producción de petróleo y gas.

Para los productores de petróleo y gas, el problema puede ser especialmente caro. NACE, (por sus siglas en Inglés, de National Association of Corrosion Engineers) estima unos costes anuales por corrosión de 1.300 millones de dólares para toda la industria de producción de petróleo y gas. Pero si el personal puede identificar visualmente y saber dónde buscar la corrosión, puede minimizar el riesgo. Mejor aún, si los ingenieros pueden prever la corrosión y elegir las mejores opciones, mejoran la integridad del sistema, la longevidad de los bienes, el rendimiento y la seguridad.

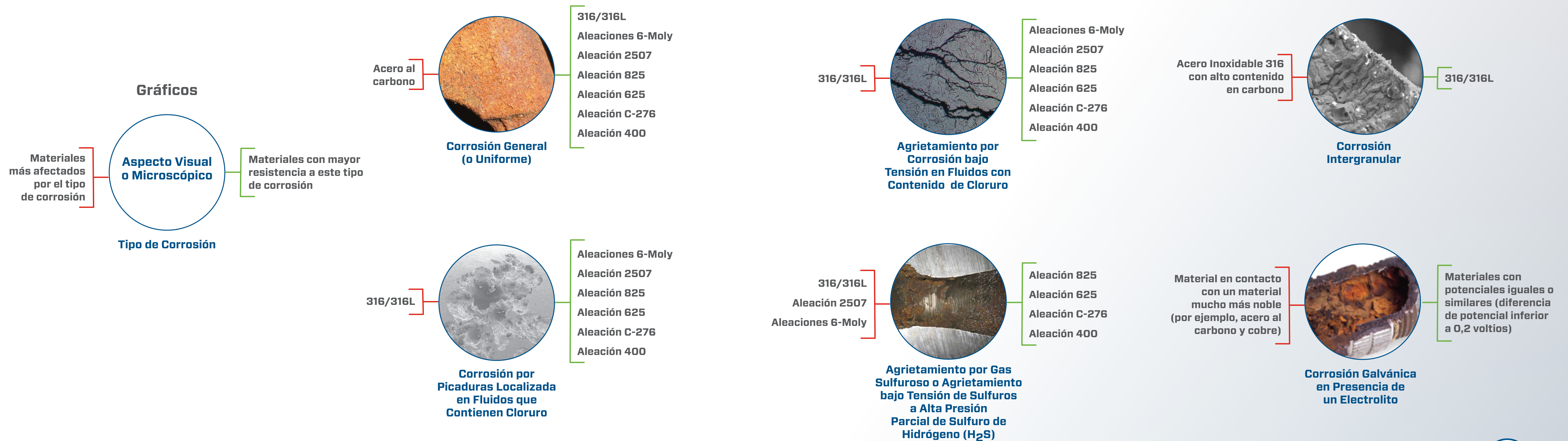
Siga estos pasos para reducir el impacto de la corrosión en sus aplicaciones:

- *Identificar los tipos de corrosión*—qué aspecto tiene, dónde se produce y por qué
- *Seleccione materiales* resistentes a la corrosión
- Minimice las ubicaciones donde la *corrosión intersticial* puede producirse
- Evite el contacto entre metales distintos, que pueda producir *corrosión galvánica*
- Especifíquelo todo, desde los *soportes y abrazaderas* hasta el *tubo*, para reducir el potencial de corrosión
- *Entender los requisitos y normas*
- *Mejore sus conocimientos con la formación y otros recursos*



Para encontrar una solución sobre los materiales adecuados hay que empezar por el origen del problema.

Empiece aquí para conocer mejor los diversos tipos de corrosión, los materiales más afectados y los materiales con mayor resistencia a cada tipo.



Corrosión General (o Uniforme)

Se reconoce fácilmente: la superficie se ve afectada uniformemente por la formación de "óxido rojo".

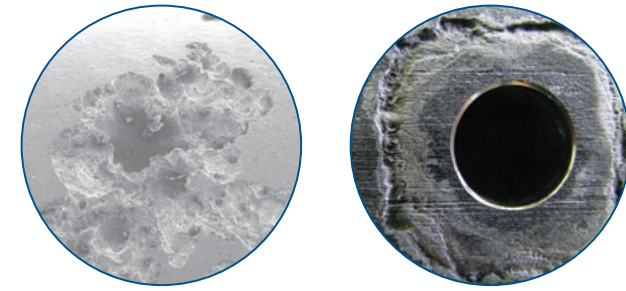
Qué es: El tipo de corrosión más conocido y también el más fácil de detectar y prever. Es inusual—aunque no inaudito—que la corrosión general produzca fallos desastrosos. Por esa razón, la corrosión general se ve más como una cuestión estética que como un problema serio. La corrosión general se produce de manera relativamente uniforme a través de una superficie metálica. La disminución gradual del grosor de la pared del componente debe ser tomada en cuenta al calcular los índices de presión.

Cómo se forma: En un ambiente marino u otro ambiente corrosivo, la superficie del acero al carbono o de baja aleación comienza a romperse, permitiendo la formación de una capa de óxido de hierro que se hace más gruesa con el tiempo, hasta que se desprende y se forma una nueva capa.

La corrosión general se puede medir según:

- La velocidad anual de retroceso del material. Por ejemplo, un acero al carbono desprotegido puede desaparecer en un entorno marino cerca de 1 mm al año.
- La pérdida de peso sufrida por una aleación en contacto con fluidos corrosivos, normalmente medida en miligramos por centímetro cuadrado de material expuesto por día.





Corrosión Localizada: Corrosión por Picaduras e Intersticial

Frecuente en entornos marinos

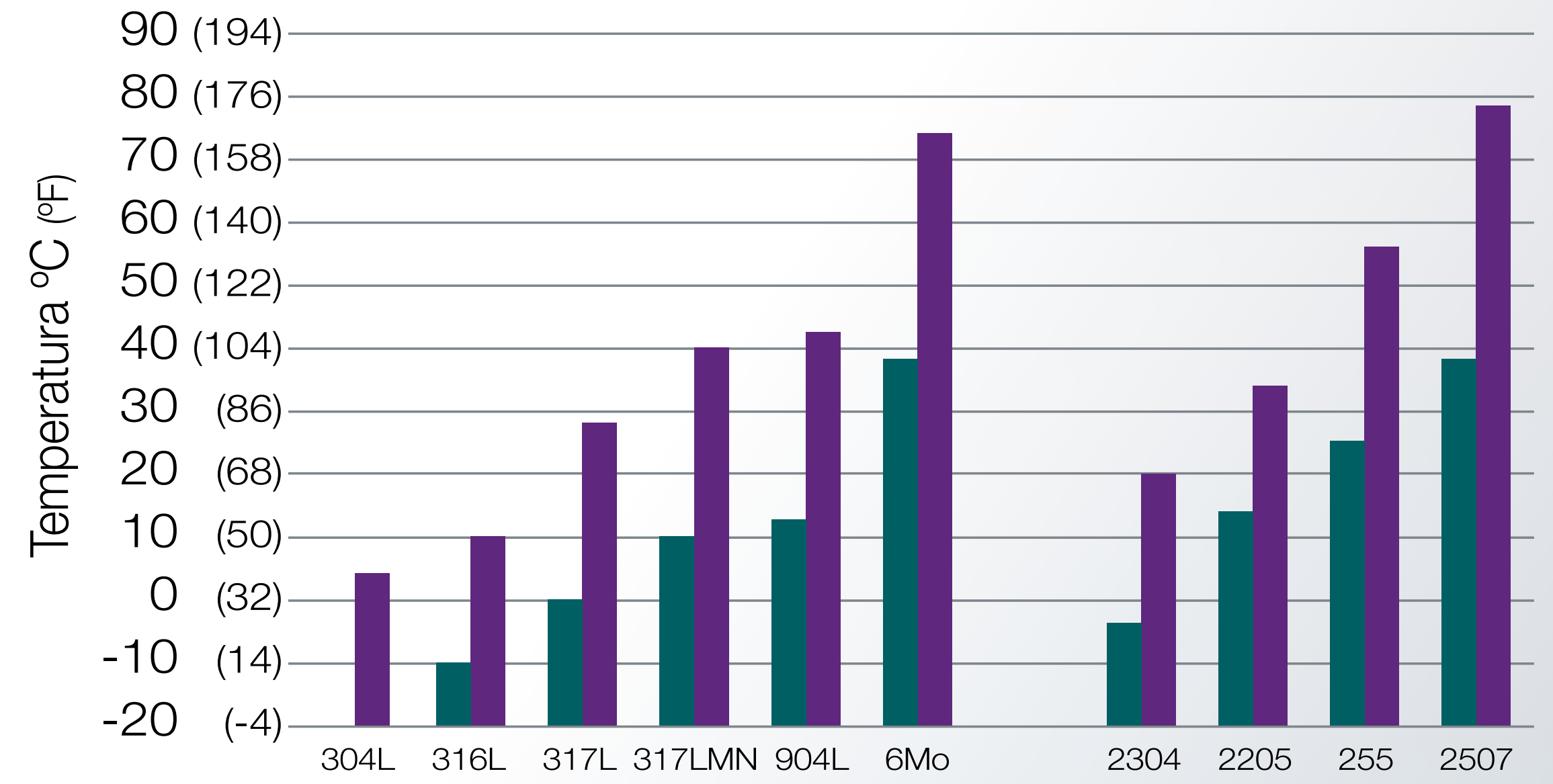
Qué es: La corrosión por picaduras y la corrosión intersticial son más difíciles de detectar que la corrosión general, y por tanto suponen un mayor desafío a la hora de identificarlas, preverlas y de diseñar en base a éstas.

Cómo se forma: La capa protectora de óxido del material puede romperse cuando se expone a fluidos que contienen cloruros. Un material es más resistente a la corrosión localizada cuanto más alta es su Temperatura Crítica de Picadura (CPT según sus siglas en Inglés, de «Critical Pitting Temperature»), y su Temperatura Crítica de Corrosión Intersticial (CCCT según sus siglas en Inglés, de «Critical Crevice Corrosion Temperature»). Estas son las temperaturas mínimas a las cuales se pueden observar la corrosión por picaduras y la corrosión intersticial. Los métodos para medir la CPT y la CCCT están descritos en la normativa ASTM G48.

➤ **Conozca mejor la corrosión por picaduras**

➤ **Conozca mejor la corrosión intersticial**

El Material importa: Para más información, vea [Preventing Pitting and Crevice Corrosion \(Prevenir la Corrosión por Picaduras y la Corrosión Intersticial\)](#) publicado en World Oil.

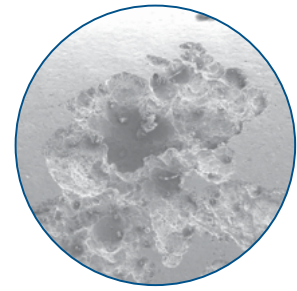


• Medida por ASTM G48 al 10% de cloruro férrico

■ CPT ■ CCCT

La corrosión intersticial se produce a temperaturas inferiores que la corrosión por picaduras. Por ejemplo, en el acero inoxidable 316L en un entorno del 10% de cloruro férrico, la corrosión por picaduras puede iniciarse a 10°C (50°F), mientras que la corrosión intersticial puede hacerlo a -10°C (14°F).

Fuente: Directrices Prácticas para la Fabricación de Aceros Inoxidables Dúplex, Int. Molybdenum Assoc., 2001



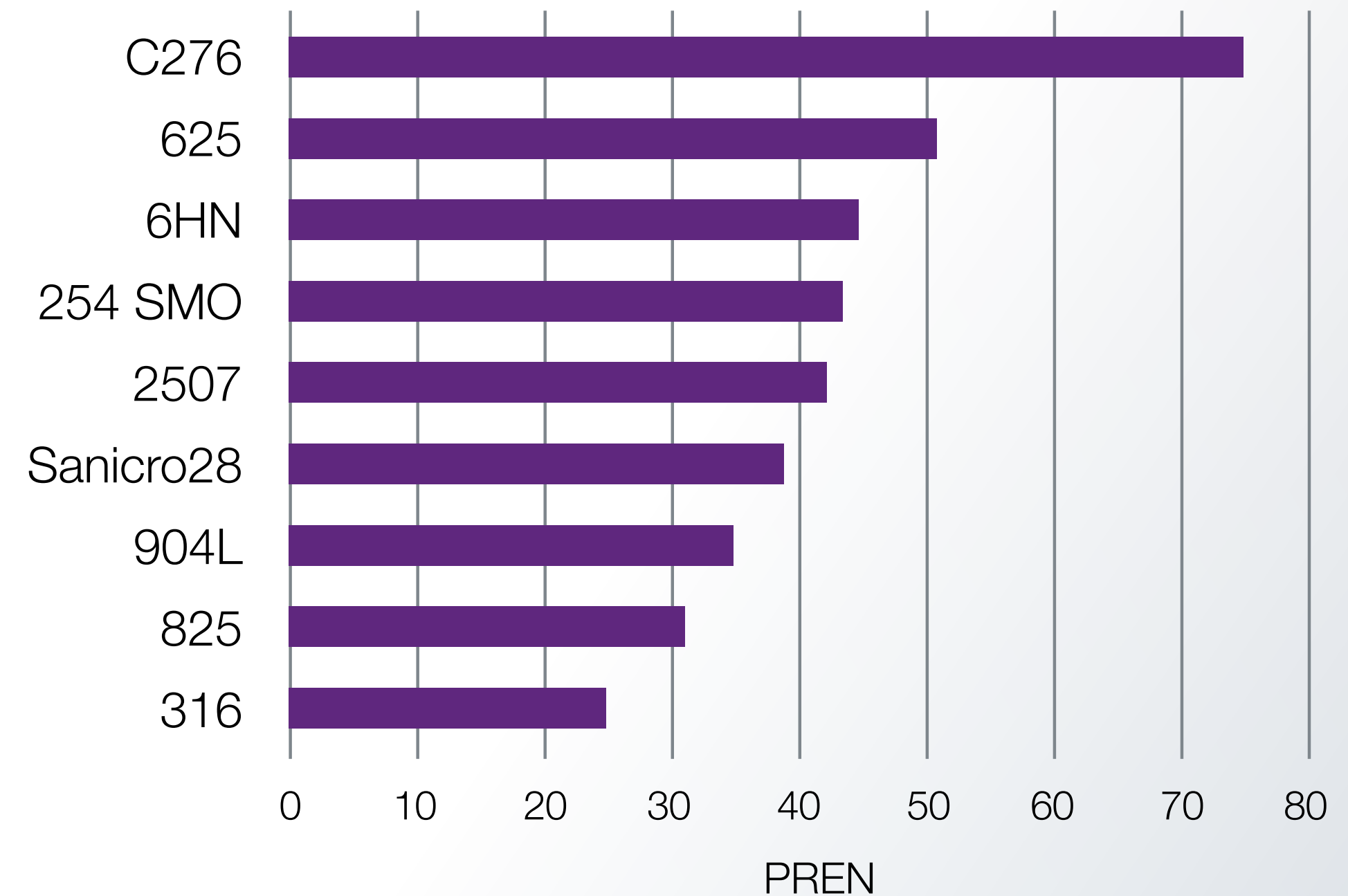
Corrosión por Picaduras

Común en entornos altos en cloruros a elevadas temperaturas

Qué es: La corrosión por picaduras produce la formación de pequeñas cavidades o fisuras en la superficie del material.

Aunque hace falta una minuciosa inspección visual para detectarlas, las fisuras pueden crecer hacia dentro lo suficiente como para perforar la pared del tubo. La corrosión por picaduras se observa más frecuentemente en entornos altos en cloruros a elevadas temperaturas.

Cómo se forma: Cuando la capa protectora de óxido (o capa de óxido pasiva) de la superficie del material se degrada, el metal se hace propenso a perder electrones. Eso hace que el hierro del metal se convierta en una solución en el fondo más anódico de la fisura, se difunda hacia la parte superior y se oxide dando lugar al óxido de hierro u oxidación. La concentración de la solución de cloruro de hierro en una fisura puede aumentar y acidificarse a medida que la fisura se hace más profunda. Esos cambios producen una aceleración del crecimiento de la fisura, perforación de las paredes del tubo, y fugas.



$$PREN = \%Cr + 3.3 \times (\%Mo + 0.5W) + 16 \times \%N$$

Altos valores PREN indican una mayor resistencia a la corrosión por picaduras.

La mejor prevención de la corrosión por picaduras es una buena selección de la aleación. Se pueden comparar diferentes metales o aleaciones a través de su Número Equivalente de Resistencia a Picaduras (PREN, de «Pitting Resistance Equivalence Number»), calculado en base a la composición química del material. El PREN aumenta con niveles más altos de cromo, molibdeno y nitrógeno.

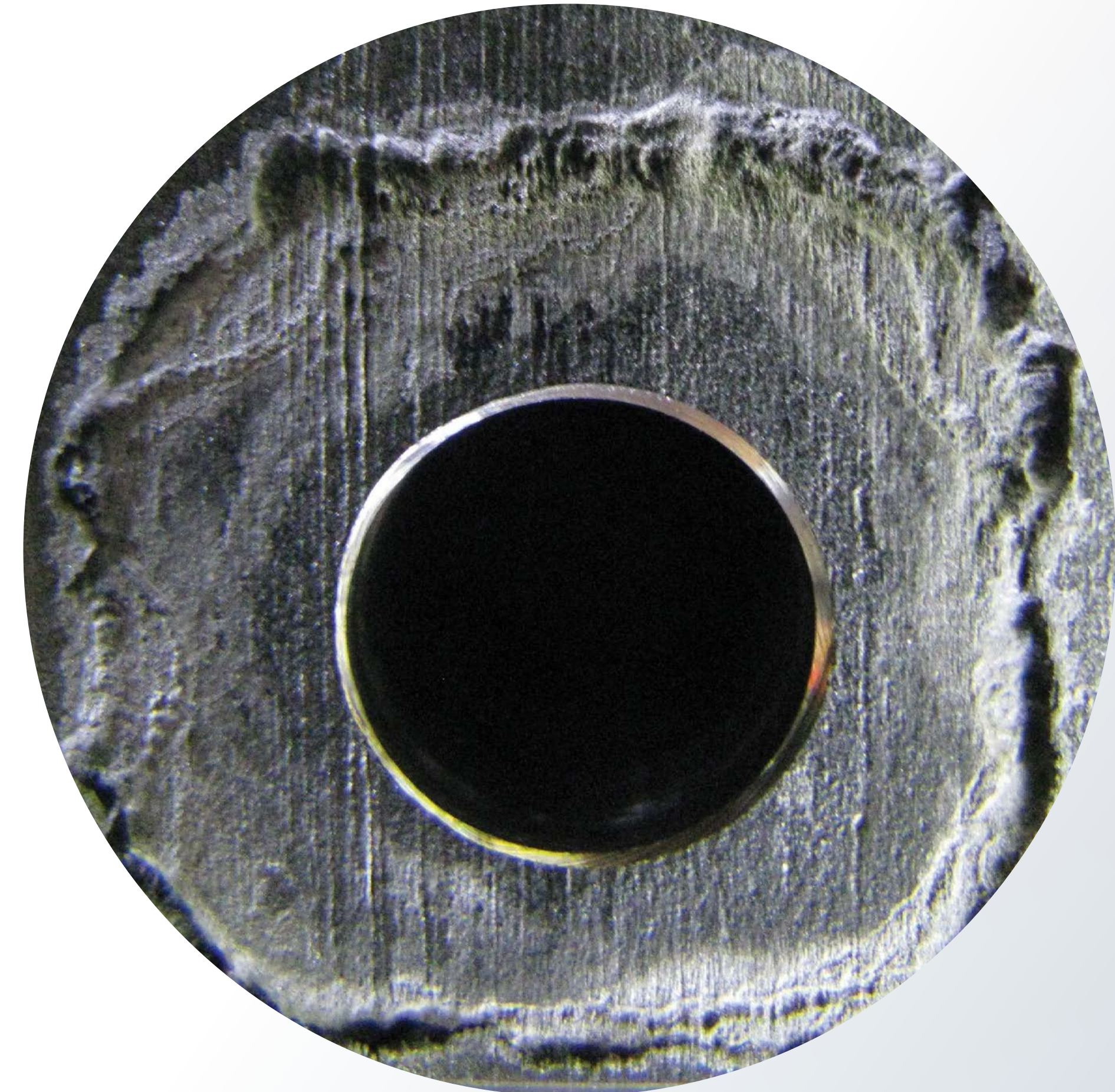
Corrosión Intersticial

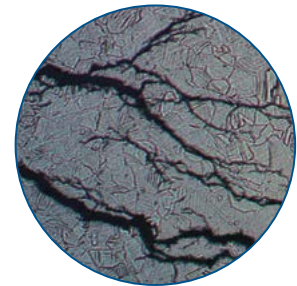
Corrosión localizada asociada a espacios muy pequeños

Qué es: En un sistema de fluidos común, existen intersticios entre el tubo y los soportes o bridas del tubo, entre tiradas de tubo adyacentes o bajo restos y depósitos acumulados en las superficies. Los intersticios son prácticamente imposibles de evitar en instalaciones de tubo, y cuando son muy estrechos suponen el mayor riesgo de corrosión.

Cómo se forma: Al igual que la corrosión por picaduras, la corrosión intersticial se inicia con la ruptura de la capa de óxido pasiva que protege el metal. Esta ruptura provoca la formación de pequeñas fisuras. Las fisuras crecen en tamaño y profundidad hasta que cubren toda la superficie intersticial. En algunos puntos, el tubo puede perforarse. La corrosión intersticial se produce a temperaturas muy inferiores que la corrosión por picaduras.

El Material importa: Cuando el agua marina se dispersa hacia un intersticio, algunos iones de Fe^{++} se disuelven y quedan atrapados sin poder salir rápidamente de ese estrecho espacio. En agua salada, cargada negativamente, los iones de cloro (Cl^-) son atraídos por los iones de Fe^{++} cargados positivamente y comienzan a dispersarse hacia el intersticio. A medida que la concentración de cloruro aumenta, la solución en el intersticio se hace más corrosiva provocando una mayor disolución de hierro, que a su vez atrae más iones de cloro que se dispersan hacia el intersticio. Finalmente la solución en el intersticio se convierte en una solución ácida con alta concentración de cloruro, que es muy corrosiva.





Agrietamiento por Corrosión bajo Tensión (SCC)

Común en aceros inoxidable (inducida por cloro), acero templado (inducida por alcalinos) y latón (inducida por amoníaco)

Qué es: El agrietamiento por corrosión bajo tensión (SCC según sus siglas en inglés de "stress corrosion cracking") es peligroso porque puede destruir un componente a niveles de tensión inferiores a la resistencia a la tracción de una aleación. En presencia de iones de cloruro, los aceros inoxidable austeníticos son propensos al SCC. Los iones interactúan con el material en el extremo de una grieta, donde el esfuerzo de tracción es el máximo, facilitando el crecimiento de la grieta. Durante el proceso, el SCC puede ser difícil de detectar y el fallo definitivo puede producirse repentinamente.

Cómo se forma: Para que ocurra el SCC, deben darse tres condiciones simultáneamente:

- El metal debe ser susceptible de SCC
- Debe haber condiciones medioambientales (fluido o temperatura) favorables al SCC
- El esfuerzo de tracción (aplicado + residual) debe estar por encima del nivel crítico

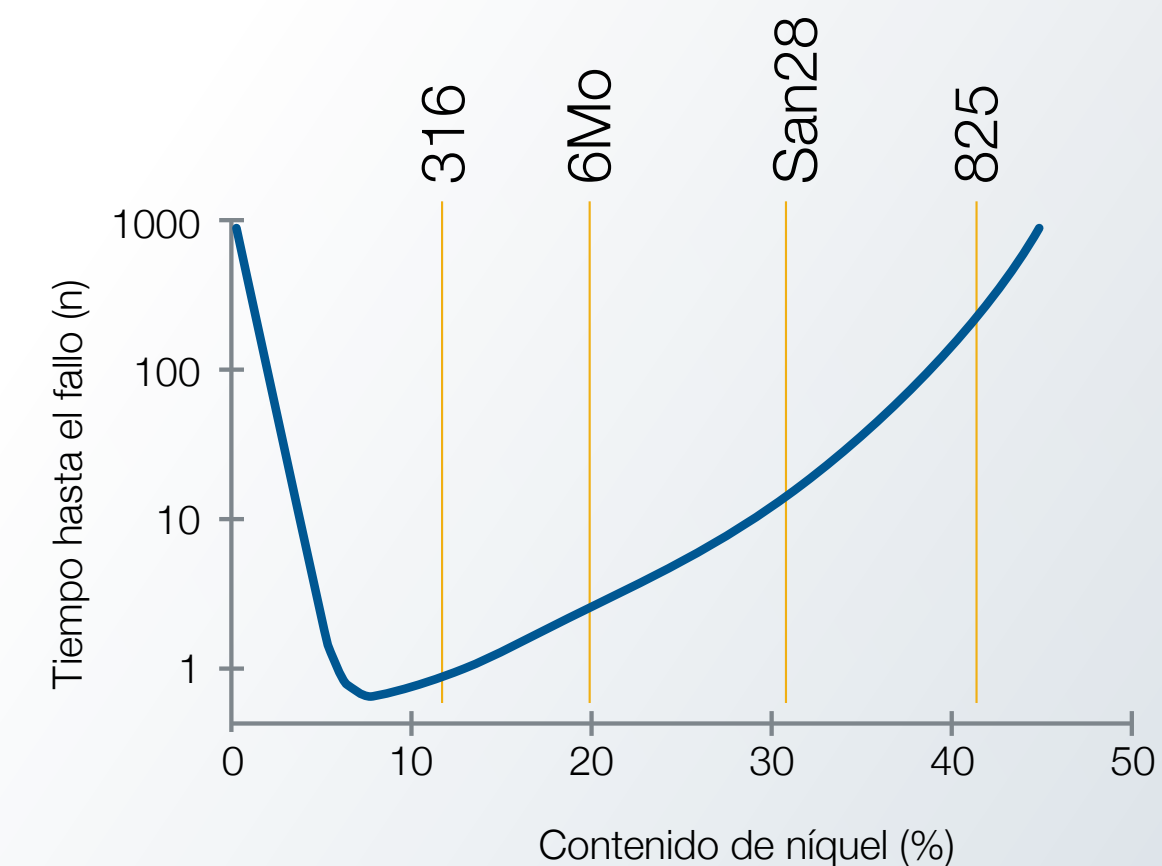
Entre los materiales resistentes al SCC inducido por cloruro se incluyen:

- Aleaciones con base de níquel
- Aceros inoxidable Dúplex

El Material importa: Mas información sobre la selección de componentes para sistemas de fluidos para yacimientos con entornos sulfurados con Swagelok. Lea los consejos publicados por nuestro experto líder para los suscriptores de [Offshore Magazine](#).



Contenidos mayores de níquel muestran una mayor resistencia al SCC inducido por cloro.



Agrietamiento por Gases Sulfurosos o Agrietamiento bajo Tensión de Sulfuros (SSC, de Sulfide Stress Cracking)

Es frecuente en los nuevos yacimientos sulfurosos y en los antiguos donde se ha inyectado agua de mar para mejorar la recuperación del petróleo.

Qué es: El agrietamiento por gases sulfurosos, también conocido como Agrietamiento por Corrosión bajo Tensión de Sulfuros (SSC de "sulfide stress cracking"), es el deterioro del metal debido al contacto con sulfuro de hidrógeno (H_2S) y humedad. El H_2S es muy corrosivo en presencia de agua. Esta condición puede provocar el debilitamiento del material, produciendo agrietamiento bajo la acción combinada del esfuerzo de tracción y la corrosión.

Cómo se forma: Para que ocurra el SSC, deben darse tres condiciones simultáneamente:

- El metal debe ser susceptible de SSC
- El medioambiente debe ser suficientemente sulfuroso (alto en H_2S)
- El esfuerzo de tracción (aplicado + residual) debe estar por encima del nivel crítico

El riesgo de SSC aumenta cuando aumentan los siguientes factores:

- Dureza/resistencia a la tracción del material
- Resistencia total a la tracción (aplicada + residual)
- Concentración de iones de hidrógeno (menor pH)
- Tiempo de exposición
- Presión parcial de H_2S

El riesgo de SSC aumenta a temperaturas más bajas, a las que los materiales tienden a ser menos dúctiles.

El Material importa: La normativa [NACE MR0175/ISO 15156](#) describe los materiales adecuados para los entornos sulfurosos de la producción de petróleo y gas. Para obtener más ayuda en la selección de componentes para yacimientos petrolíferos sulfurosos, consulte este [artículo](#) publicado en *Offshore Magazine*.



Reproducido de Science Direct, Volumen 1, Edición 3, S.M.R. Ziaei, A.H. Kokabi, M. Nasr-Esehani, Caso Práctico de Agrietamiento por Corrosión bajo Tensión inducida por Sulfuros, y Rotura del Cuerpo de la Válvula de Control de la Cabeza de Pozo A216-WCC inducida por Hidrógeno, Páginas 223-224, Julio de 2013 con permiso de Elsevier.



Debilitamiento por Hidrógeno

Puede ocurrir con hidrógeno gaseoso a alta presión o cuando en una superficie metálica se genera hidrógeno atómico

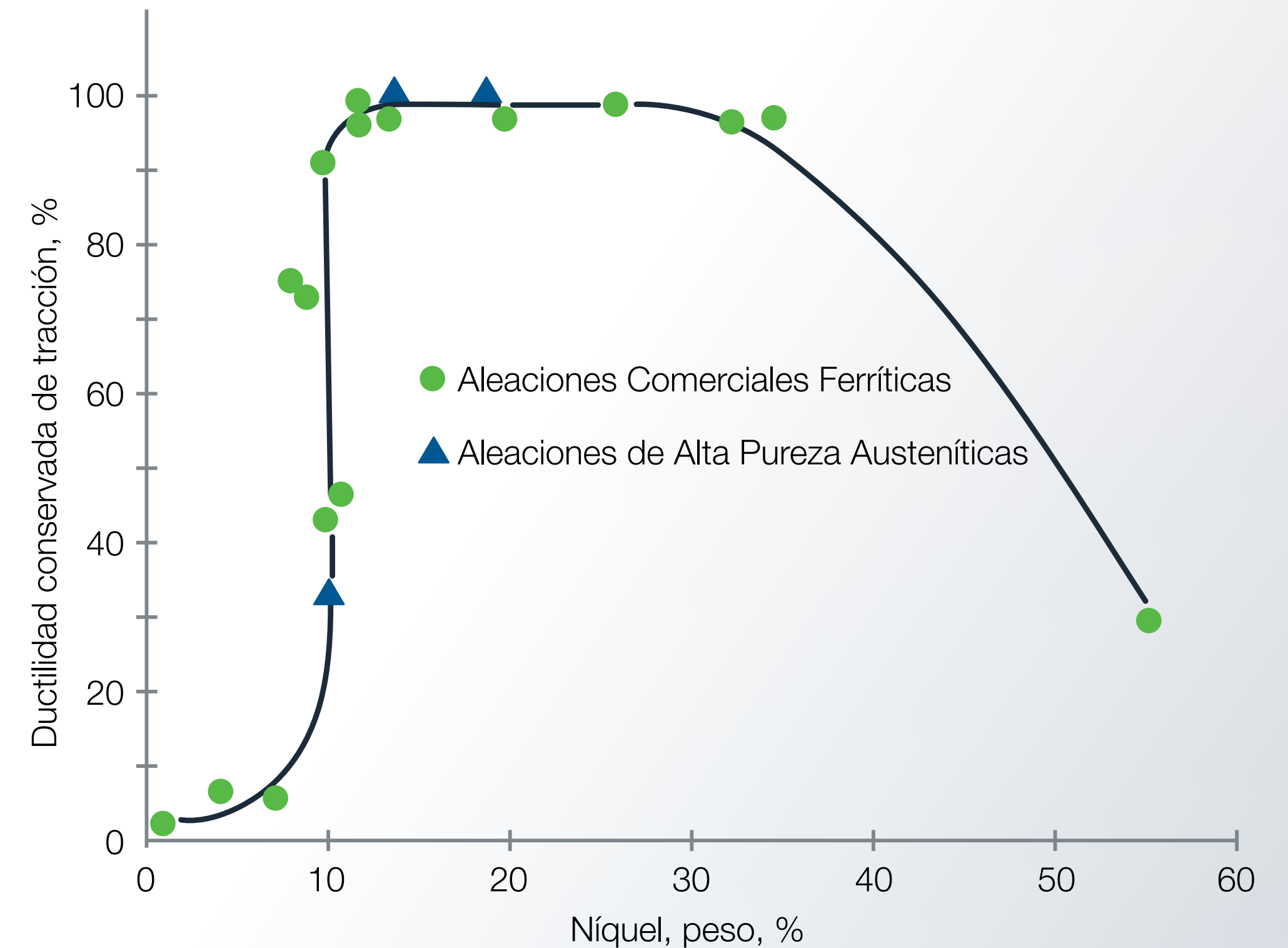
Qué es: Los átomos de hidrógeno pueden dispersarse hacia el interior de los metales, debilitándolos. Todos los materiales susceptibles de debilitamiento por hidrógeno son muy propensos al agrietamiento por tensión de sulfuros.

Cómo se forma: El agrietamiento inducido por hidrógeno puede ocurrir si el metal está sujeto a esfuerzo de tracción estático o cíclico.

El hidrógeno puede provocar cambios en las propiedades mecánicas y en el comportamiento del metal, incluyendo:

- Reducción de la ductilidad (elongación y reducción del área)
- Reducción de la resistencia a los impactos y las fracturas
- Aumento del fallo de fisuración por fatiga

El debilitamiento por hidrógeno puede evitarse seleccionando materiales resistentes al hidrógeno, como las aleaciones austeníticas con un contenido de níquel de entre el 10% y el 30%.



Las aleaciones ferríticas con un contenido muy bajo de níquel se debilitan considerablemente, mientras que las aleaciones austeníticas con un contenido de níquel entre el 10% y el 30% muestran una fragilidad relativamente pequeña.

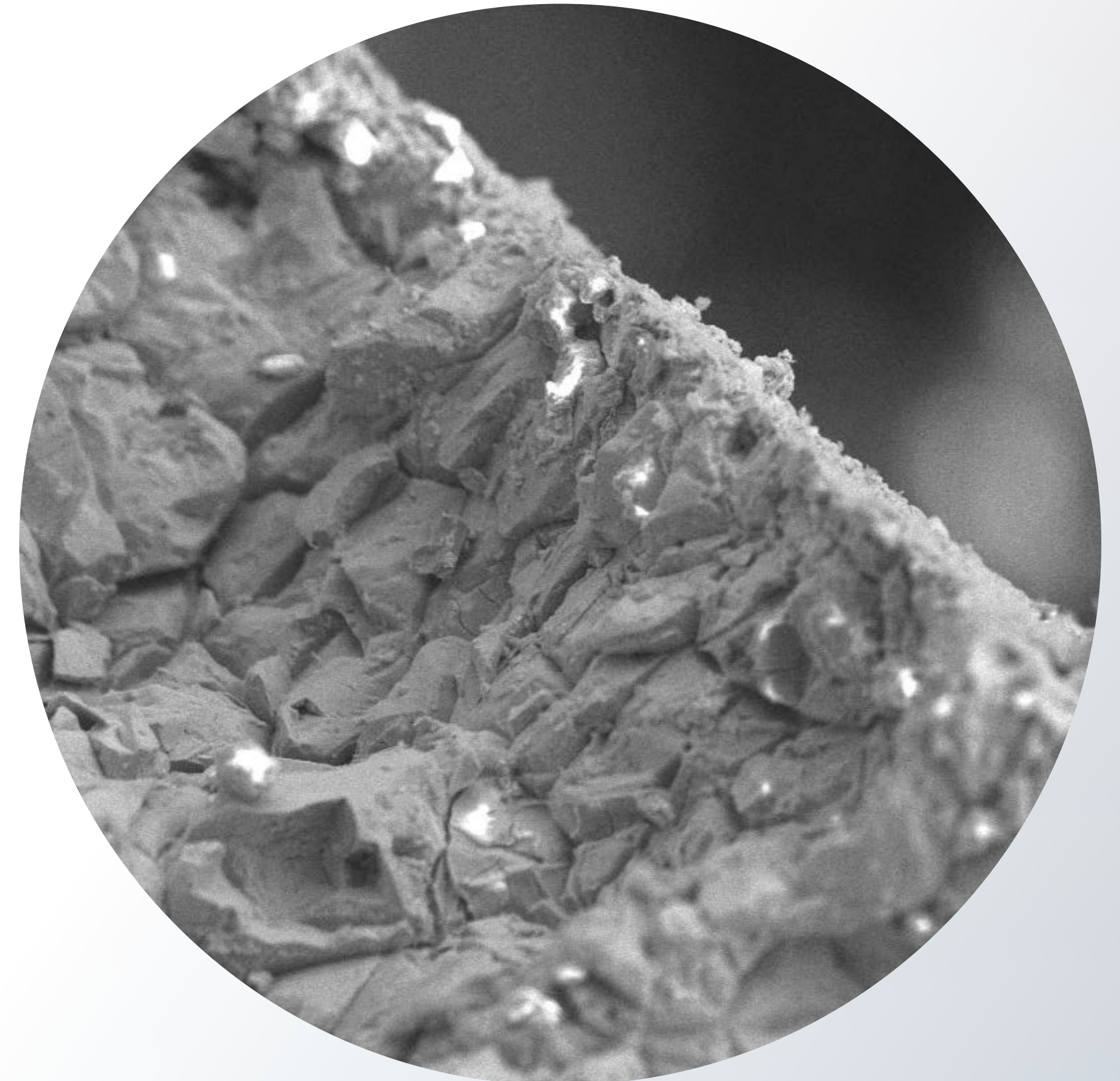
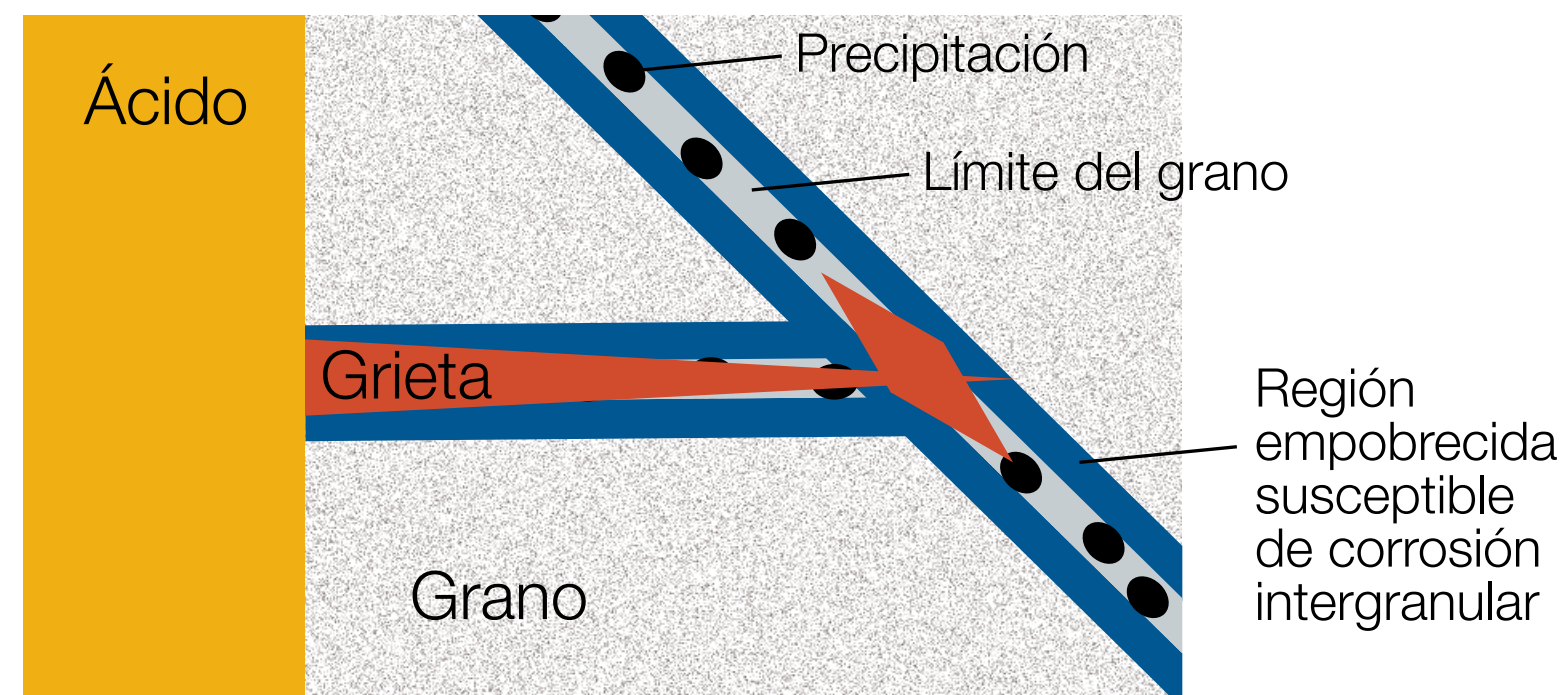
Fuente: G.R. Caskey, Manual de Compatibilidad de los Acero inoxidable con el Hidrógeno (1983)

Corrosión Intergranular (IGC)

Común en operaciones de soldadura, tratamiento térmico y aplicaciones de alta temperatura

Qué es: Para entender la corrosión intergranular (IGC según sus siglas en inglés), piense en que todos los metales están formados de granos sueltos. En cada grano, los átomos están ordenados sistemáticamente formando un entramado de tres dimensiones. La IGC ataca al material a lo largo de los límites de los granos (donde se unen los granos que forman el metal).

Cómo se forma: Durante la soldadura, el tratamiento térmico o la exposición a altas temperaturas, en los límites de los granos pueden empezar a formarse carburos. Estos precipitados de carburos pueden crecer con el tiempo. La formación de carburos afecta a la uniforme distribución de los elementos que componen el metal, robando el material adyacente a los límites de los granos de elementos importantes como el cromo. Cuando fluidos corrosivos (como los ácidos) atacan a regiones empobrecidas en cromo, se pueden formar grietas intergranulares. Esas grietas pueden propagarse por todo el material y permanecer ocultas, haciendo de la IGC una forma peligrosa de corrosión.





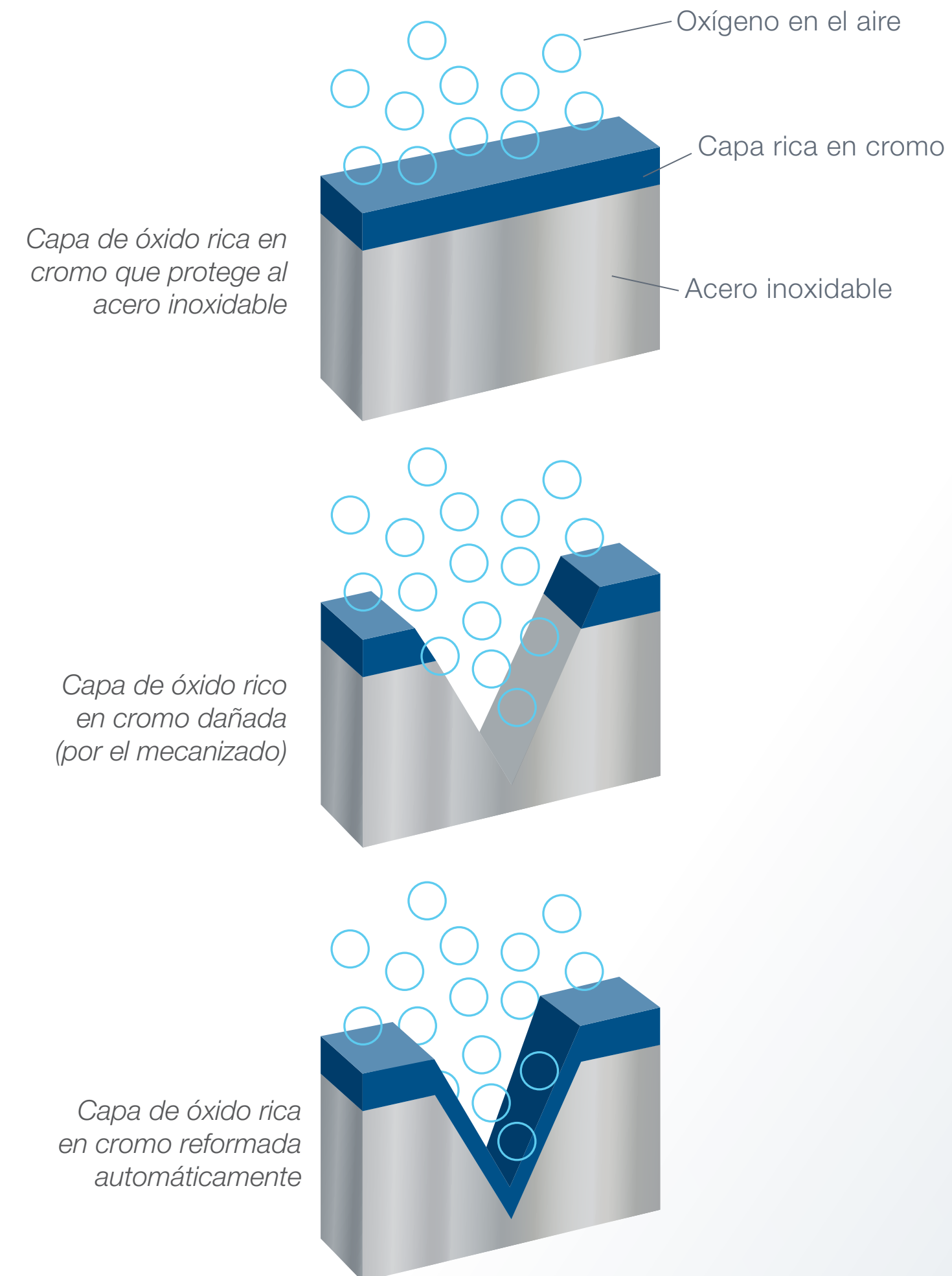
Corrosión Galvánica

Puede aparecer cuando dos materiales diferentes están en contacto directo en presencia de un electrolito

Qué es: La corrosión galvánica se produce cuando materiales con potencial de electrodo desigual están en contacto en presencia de un electrolito. La capa pasiva del acero inoxidable consiste en una película muy fina de óxido rico en cromo que se forma automáticamente en el aire ambiental y protege el material de la corrosión. La capa pasiva hace al material más noble y menos propenso a la corrosión. La compatibilidad de los metales se puede medir por el Índice Anódico, que describe la diferencia de potencial o voltaje de los metales medida en agua de mar frente a un electrodo estándar.

Cómo se forma: Cuando la diferencia de potencial entre dos metales distintos en presencia de un electrolito es demasiado grande, la capa pasiva del material comienza a descomponerse.

Para evitar la corrosión galvánica, seleccione materiales con una diferencia de potencial no superior a 0,2V. Por ejemplo, un racor de acero inoxidable 316 (-0,05V) con tubo de 6-Moly (0,00V) resultaría en un voltaje de 0,05V entre las dos aleaciones. Este voltaje es significativamente inferior a 0,2V, lo que significa que el riesgo de corrosión galvánica es bajo.



Voltios vs ECS	Material
-1.60	Magnesio
-1.00	Zinc
-0.95	Aluminio
-0.70	Cadmio
-0.60	Acero al carbono
-0.50	Tipo 304 (activo)
-0.40	Tipo 316 (activo)
-0.35	Latón Naval
-0.30	Metal Muntz
-0.30	Cobre
-0.30	Bronce Manganeseo
-0.25	Cu-Ni 90-10
-0.20	Cu-Ni 70-30
-0.20	Plomo
-0.15	Níquel
-0.10	Tipo 304 (pasivo)
-0.05	Tipo 316 (pasivo)
0.00	Aleación E-BRITE(r)
0.00	Aleación AL 29-4C(r)
0.00	Aleación AL-6XN(r)
0.05	Aleación 625, Aleación 276
.010	Titanio
.025	Grafito

ECS se refiere a Electrodo de Calomel Estándar.

Índice Anódico
Los materiales nobles con "superficies pasivas" no son tan susceptibles de corrosión galvánica como los materiales menos nobles, o los materiales nobles con "superficies activas". En este gráfico, el magnesio es el material menos noble, y el grafito el más noble.

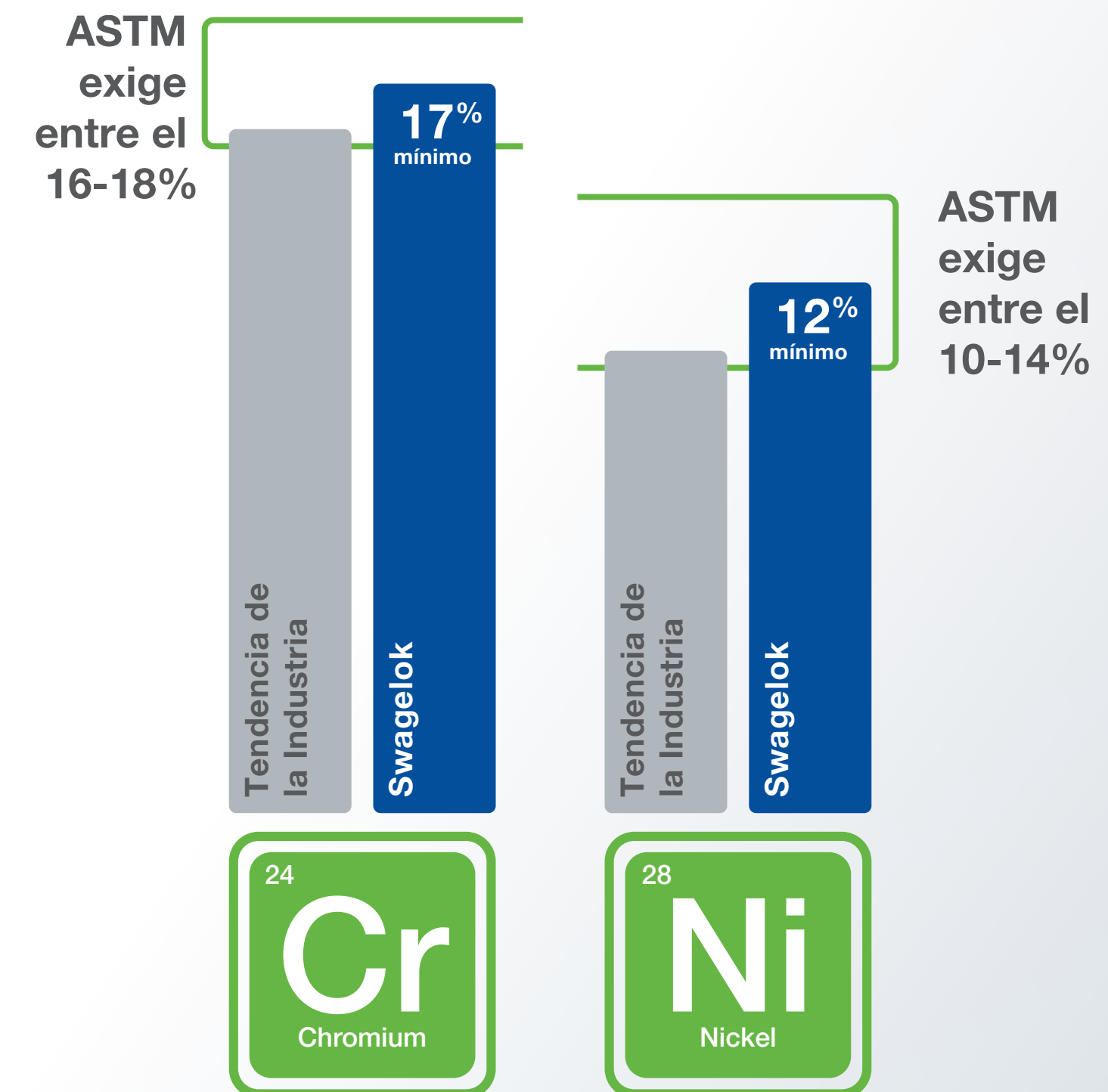
Acero inoxidable

Acero inoxidable 316

En todos los aceros inoxidables, el cromo y el níquel son críticos para la resistencia a la corrosión y la ductilidad. La incorporación de >10% de cromo transforma el acero en acero inoxidable, creando una capa de óxido invisible y adherida rica en cromo. Esta capa de óxido se forma cuando el cromo de la aleación reacciona con el oxígeno del aire. Esta capa da al acero su carácter inoxidable. La incorporación de níquel da una buena ductilidad y facilidad de modelado y soldadura.

Pero no todo el material de barra es el mismo. Los racores y válvulas Swagelok de acero inoxidable 316/316L para instrumentación contienen más níquel y cromo que el mínimo requerido por las normas ASTM para material de barra y forjados.

Tenga en cuenta que aunque los aceros inoxidables no sufren corrosión general, pueden verse afectados por corrosión localizada.



Los racores y válvulas Swagelok de acero inoxidable 316 para instrumentación superan las especificaciones mínimas de ASTM.

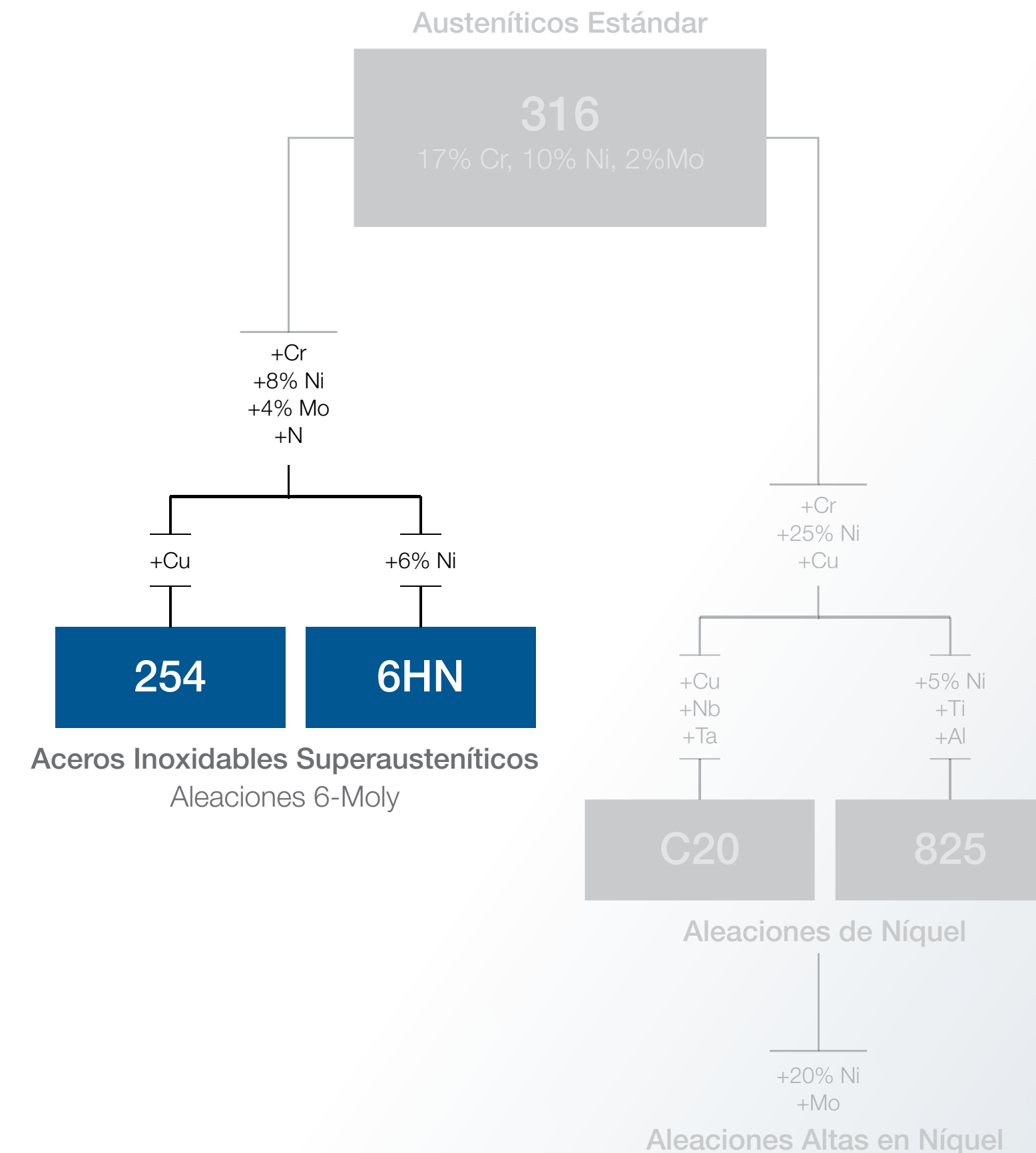
El Material importa: El riesgo de Agrietamiento por Corrosión bajo Tensión (SCC) aumenta cuando las concentraciones de cloruros, las temperaturas y los esfuerzos de tracción son altos. Ningún acero inoxidable es completamente inmune al SCC. Hemos realizado amplias pruebas SCC a los racores Swagelok con excelentes resultados. [Vea los resultados de las pruebas.](#)

Acero inoxidable

Aleaciones 6-Moly

Las aleaciones 6-Moly (6Mo) son aceros inoxidables superausteníticos que contienen al menos un 6% de molibdeno y tienen un PREN de al menos 40. La aleación 6HN (UNS N08367) contiene un 6 por ciento más de peso de níquel (Ni) que la aleación 254 (UNS S31254). Este aumento en el contenido de níquel da a la 6HN una estabilidad añadida en relación a la formación de fases intermetálicas indeseables. Se ha comprobado que la aleación 6HN tiene mejor resistencia a la corrosión en medios que contienen cloro que la aleación 254.

- Resistente a la corrosión por picaduras e intersticial
- Resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión de cloruros (CSCC)
- El rendimiento del material es un 50% mayor que el de los aceros inoxidables austeníticos de la serie 300
- Resistente a los impactos, moldeabilidad, soldabilidad
- Idoneidad para aplicaciones de gases sulfurosos (NACE MR0175/ISO 15156)
- Los productos Swagelok 6-Moly están disponibles en material de barra 6HN (UNS N08367) y en forjados que cumplen los requisitos de la norma de calificación de la cadena de suministro NORSOK M-650.



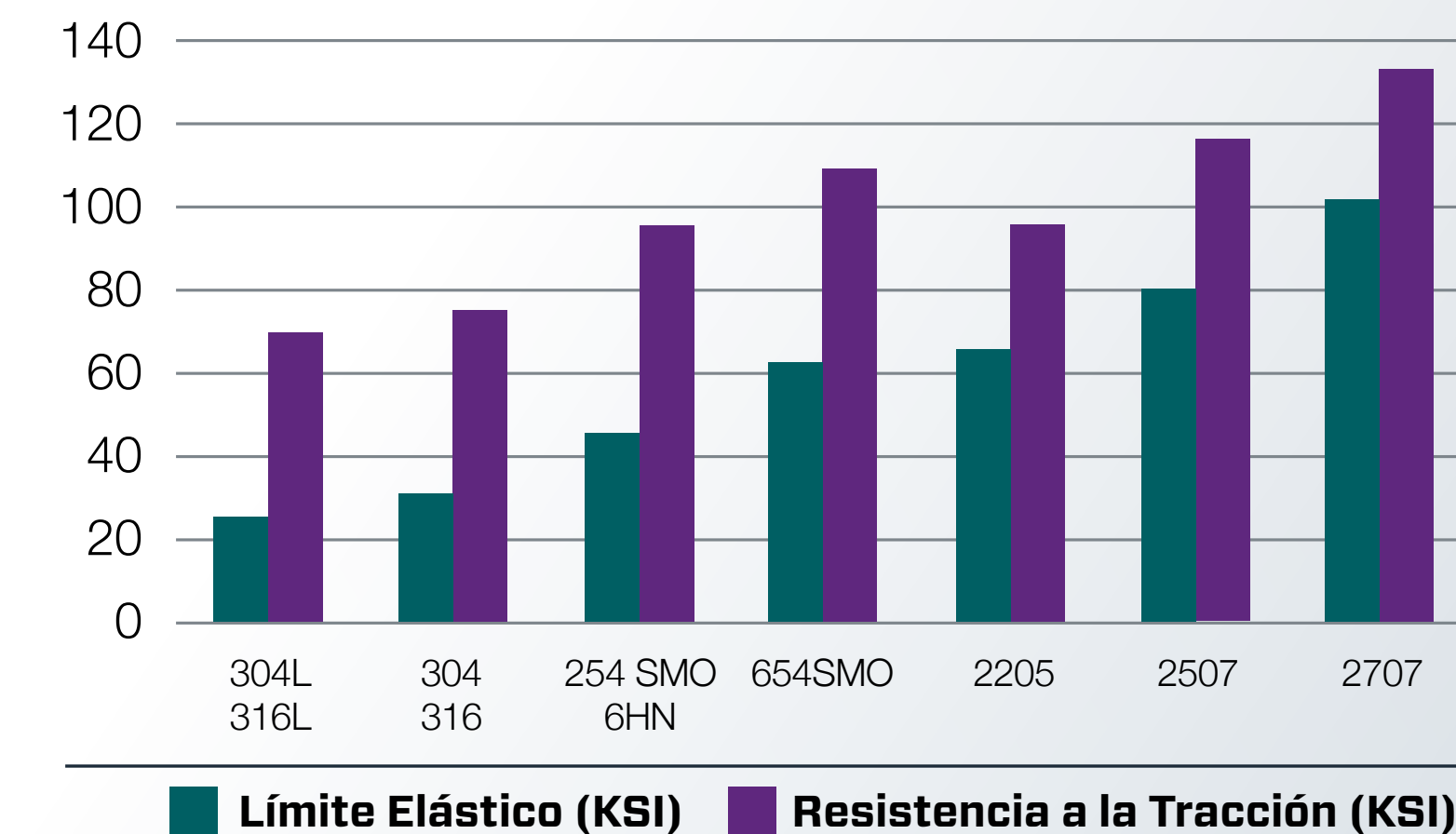
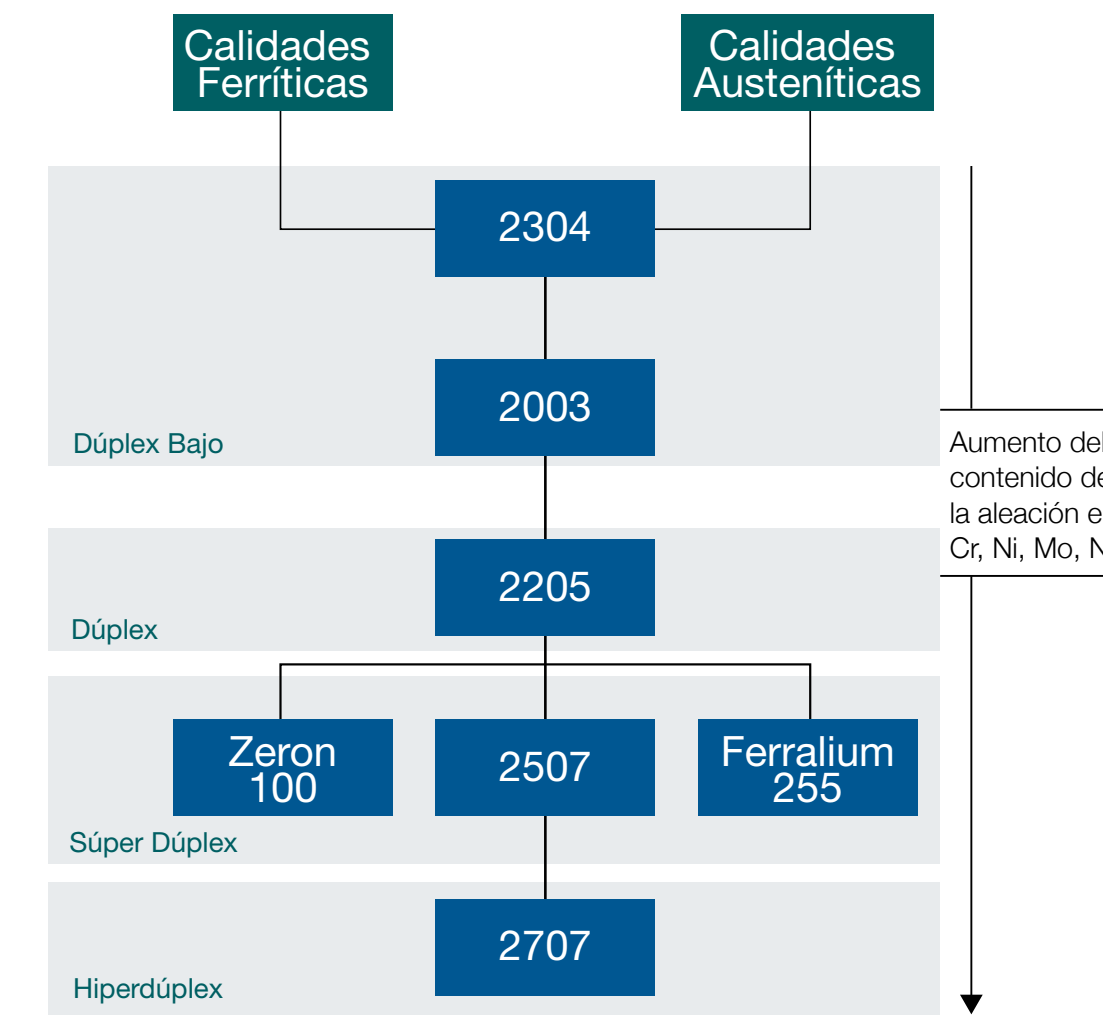
Acero inoxidable

Aleación de Acero Inoxidable 2507 Súper Dúplex

Los aceros inoxidables dúplex tienen una microestructura de grano de austenita y ferrita en dos fases. Esta estructura da a estos materiales una combinación de propiedades interesantes, como la resistencia, ductilidad y resistencia a la corrosión.

La aleación de acero inoxidable 2507 ferrítico-austenítico Súper Dúplex es muy adecuada para servicio en condiciones altamente corrosivas. Su composición incluye níquel, molibdeno, cromo, nitrógeno y manganeso, que ofrecen una excelente resistencia a la corrosión general, a la corrosión por picaduras e intersticial y al agrietamiento por corrosión bajo tensión (SCC), manteniendo además la soldabilidad.

- Mayor rendimiento y resistencia a la tracción para aumentar la presión de servicio
- Comparado con el tubo de 316/316L del mismo diámetro exterior y clasificación de presión, el menor espesor de la pared permite un mayor caudal de fluido
- Soldabilidad
- Aplicaciones hasta 250°C (482°F)
- Conductividad térmica superior/coeficiente de dilatación inferior al acero inoxidable 316
- Idoneidad para aplicaciones de gases sulfurosos (NACE MR0175/ISO 15156)
- Los productos Swagelok de 2507 están disponibles en material de barra y forjados que cumplen los requisitos de la norma de calificación de la cadena de suministro NORSOK M-650.



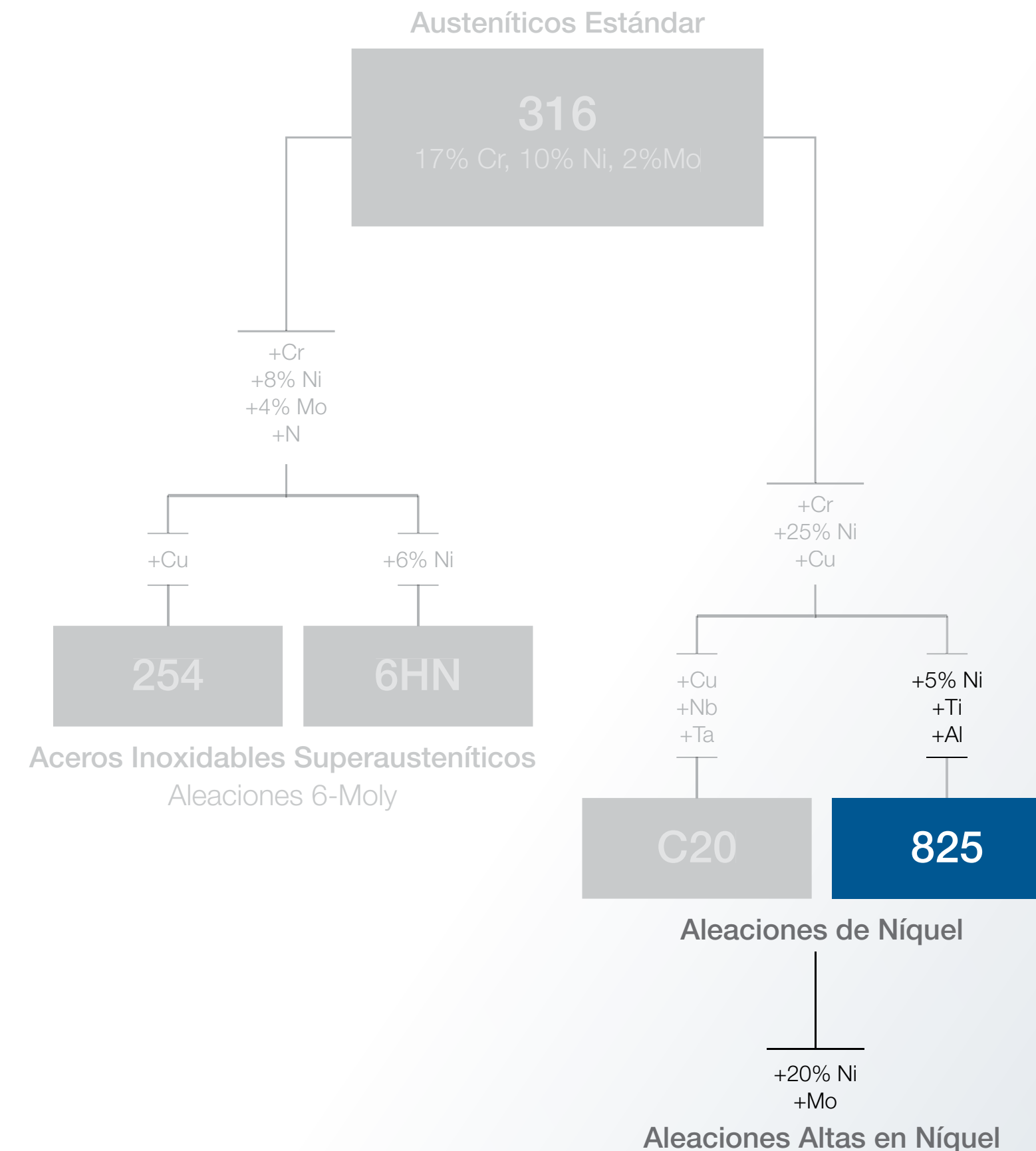
Las propiedades mecánicas de la aleación 2507 la convierten en una muy buena elección para aplicaciones de alta presión en alta mar y sistemas submarinos donde la corrosión, el caudal y el peso son motivo de preocupación.

Aleaciones de Níquel

Aleación 825

La aleación 825 (Incoloy® 825) es una aleación de níquel-hierro-cromo-molibdeno diseñada para resistir la corrosión general, la corrosión por picaduras y la corrosión intersticial, así como el agrietamiento por corrosión bajo tensión (SCC), en una amplia gama de fluidos.

- Resistencia a la corrosión intergranular gracias a la estabilización con titanio
- Idoneidad para aplicaciones de gases sulfurosos (NACE MR0175/ISO 15156)
- Resistente en entornos reductores (por ejemplo, ácido sulfúrico o fosfórico)

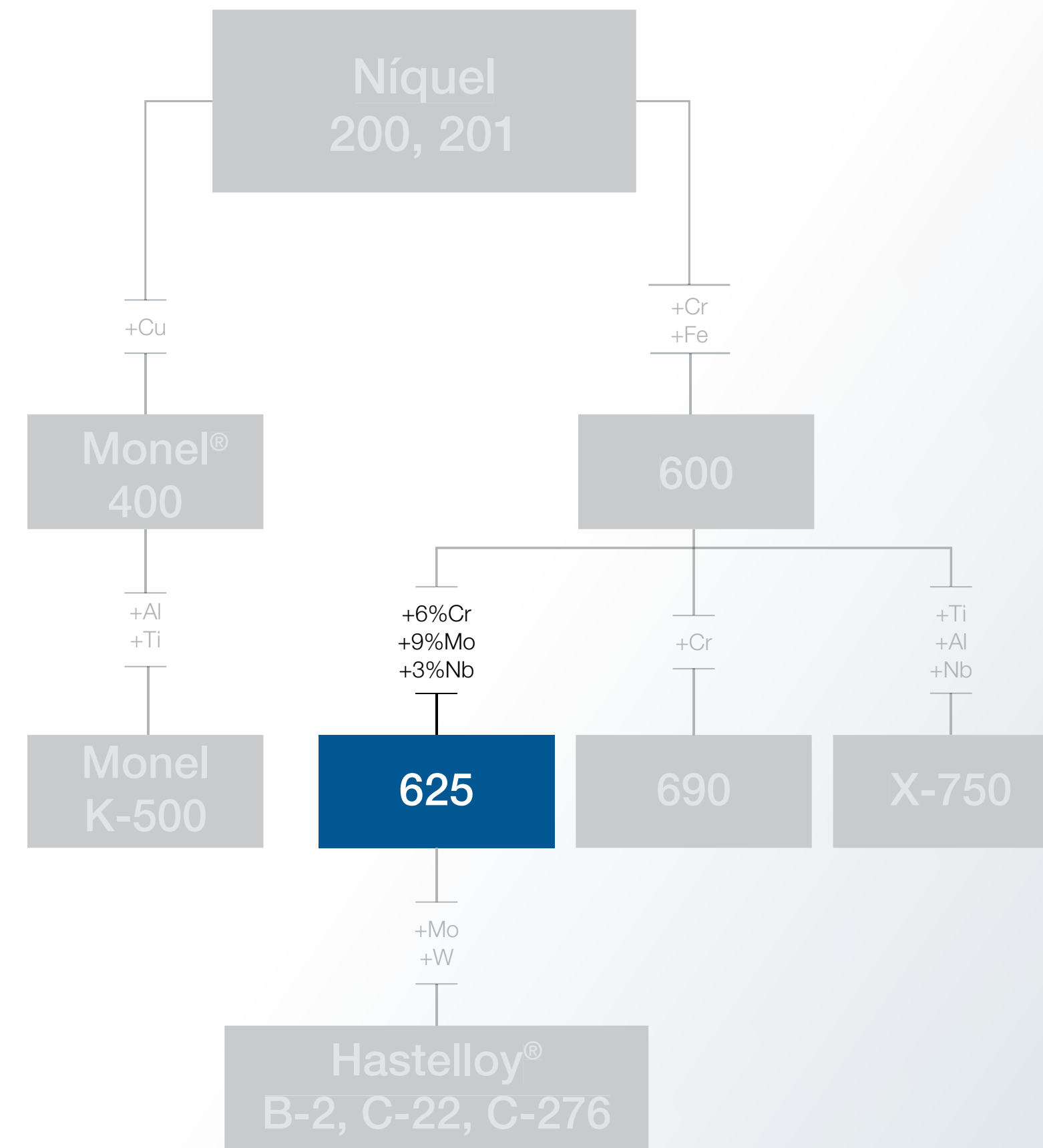


Aleaciones de Níquel

Aleación 625

La Aleación 625 (Inconel® 625) es una aleación de níquel-cromo-molibdeno con una pequeña cantidad de niobio que reduce el riesgo de corrosión intergranular en una gran variedad de entornos severamente corrosivos.

- Resistencia a los ácidos clorhídrico y nítrico
- Resistencia y Ductilidad
- Resistencia a la corrosión intersticial y por picaduras en aplicaciones a alta temperatura
- Idoneidad para aplicaciones de gases sulfurosos (NACE MR0175/ISO 15156)



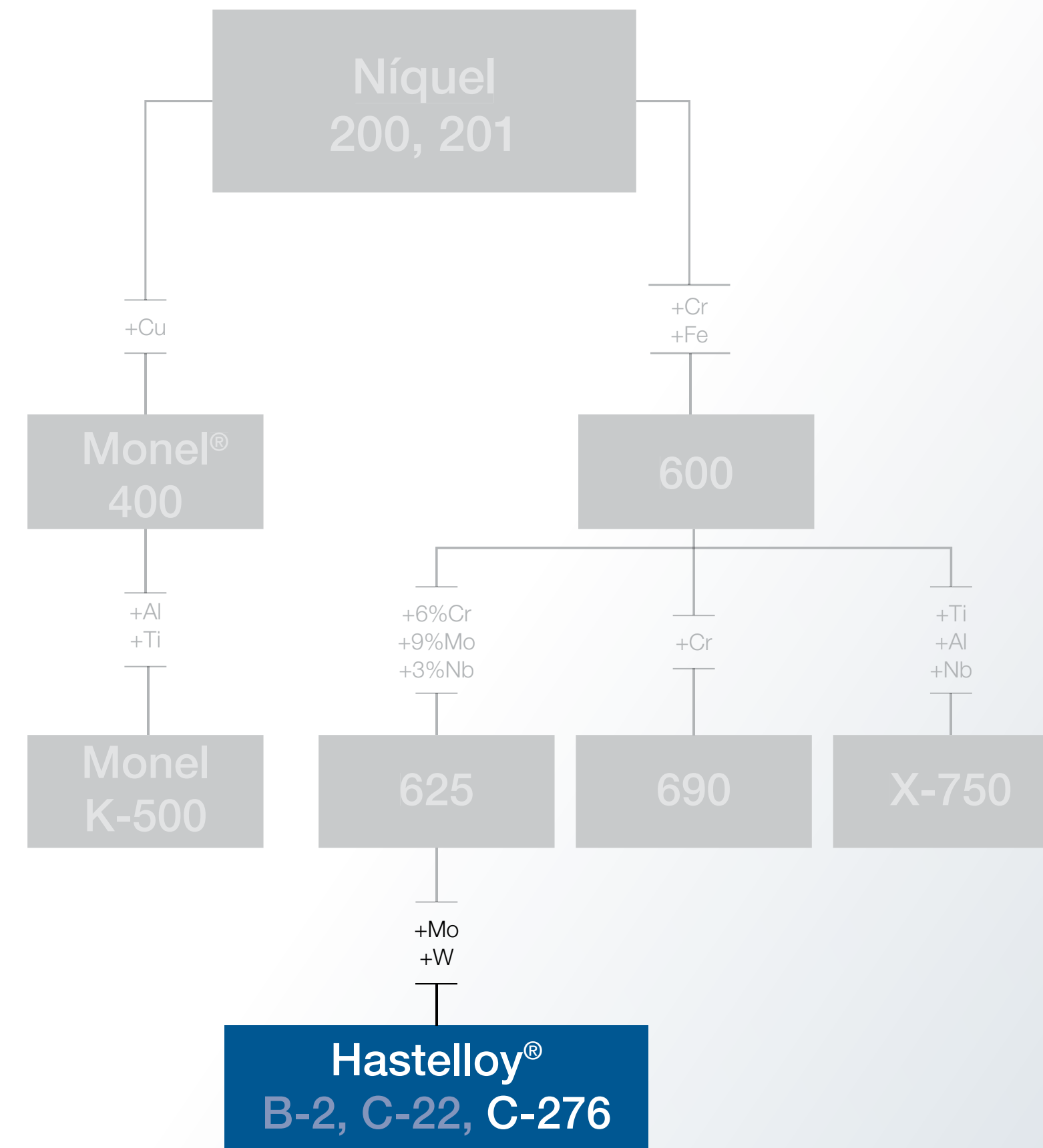
Aleaciones de Níquel

Aleación C-276

La Aleación C-276 (Hastelloy® C-276) contiene níquel, molibdeno y cromo. Su alto contenido en molibdeno la hace excepcionalmente resistente a la corrosión por picaduras e intersticial, y es uno de los pocos materiales que puede soportar los efectos corrosivos del gas de cloro húmedo, del hipoclorito y del dióxido de cloro.

- Resistencia a los entornos oxidantes y reductores
- Ductilidad, dureza y resistencia a altas temperaturas
- Resistencia a la corrosión intersticial y por picaduras, al agrietamiento por corrosión bajo tensión de sulfuros (SSC por sus siglas en inglés "sulfide stress cracking") y a la corrosión intergranular (IGC)
- Idoneidad para aplicaciones de gases sulfurosos (NACE MR0175/ISO 15156)

Tenga en cuenta que esta aleación NO es recomendada para entornos altamente oxidantes como el ácido nítrico caliente y concentrado.



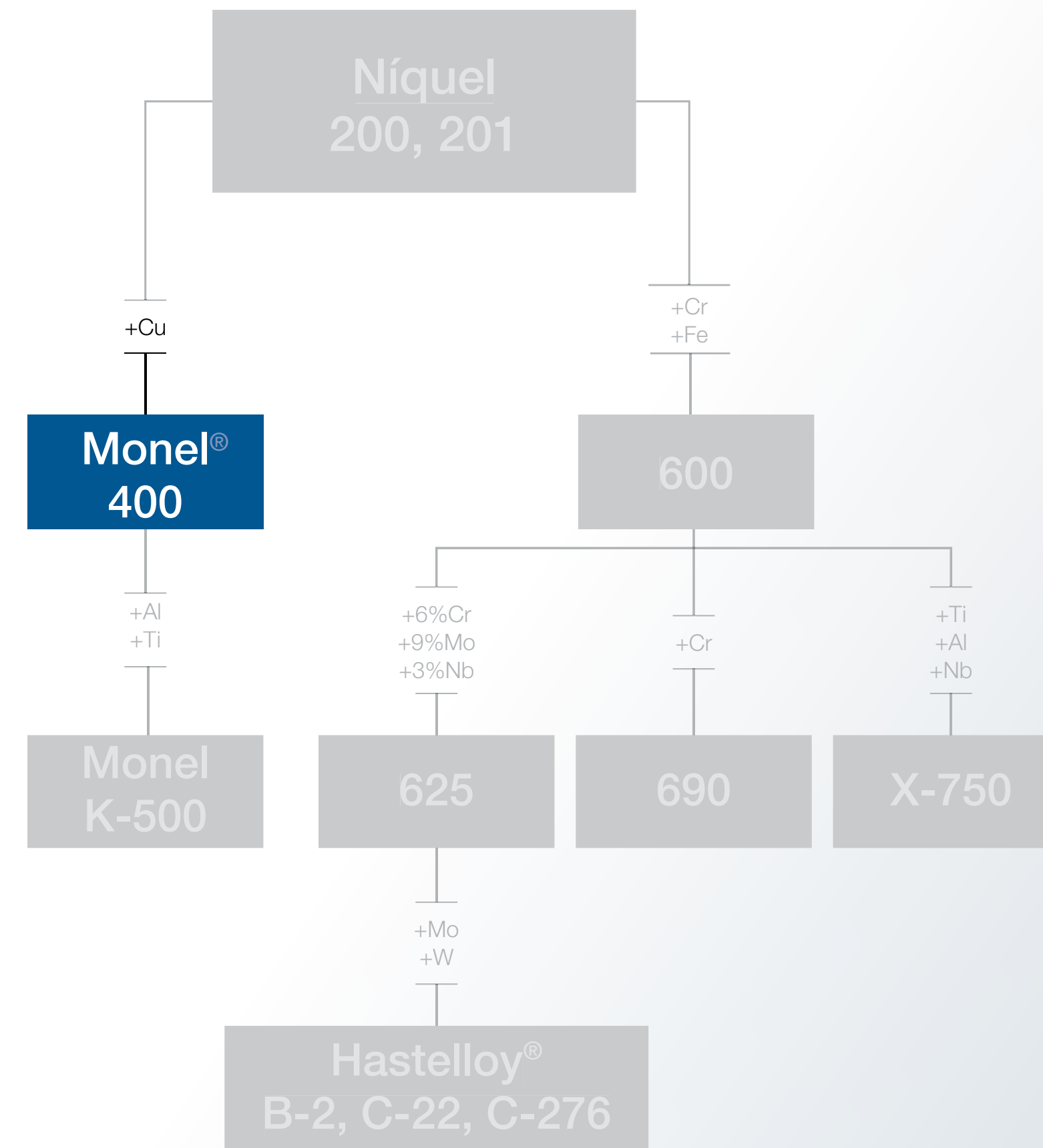
Aleaciones de Níquel

Aleación 400

La Aleación 400 (Monel® 400) es una aleación de níquel-cobre conocida por su excepcional resistencia al ácido fluorhídrico, así como por su resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión y a la corrosión por picaduras en la mayoría de aguas dulces e industriales.

- Resistencia a los esfuerzos y a la corrosión en un amplio rango de temperaturas y entornos
- Mantiene las propiedades mecánicas a temperaturas bajo cero

Tenga en cuenta que el agua de mar estancada se ha identificado como inductora de corrosión intersticial y por picaduras en esta aleación.



Aleaciones de Titanio

Una película de óxido estable y fuertemente adherida protege las aleaciones de titanio de la corrosión. Esta película se forma instantáneamente cuando una superficie virgen se expone al aire o a la humedad. Deben evitarse las condiciones anhidras en ausencia de una fuente de oxígeno, ya que la película protectora puede no regenerarse si se daña.

El titanio se ha utilizado con éxito en muchas aplicaciones debido a su excelente resistencia a la corrosión en:

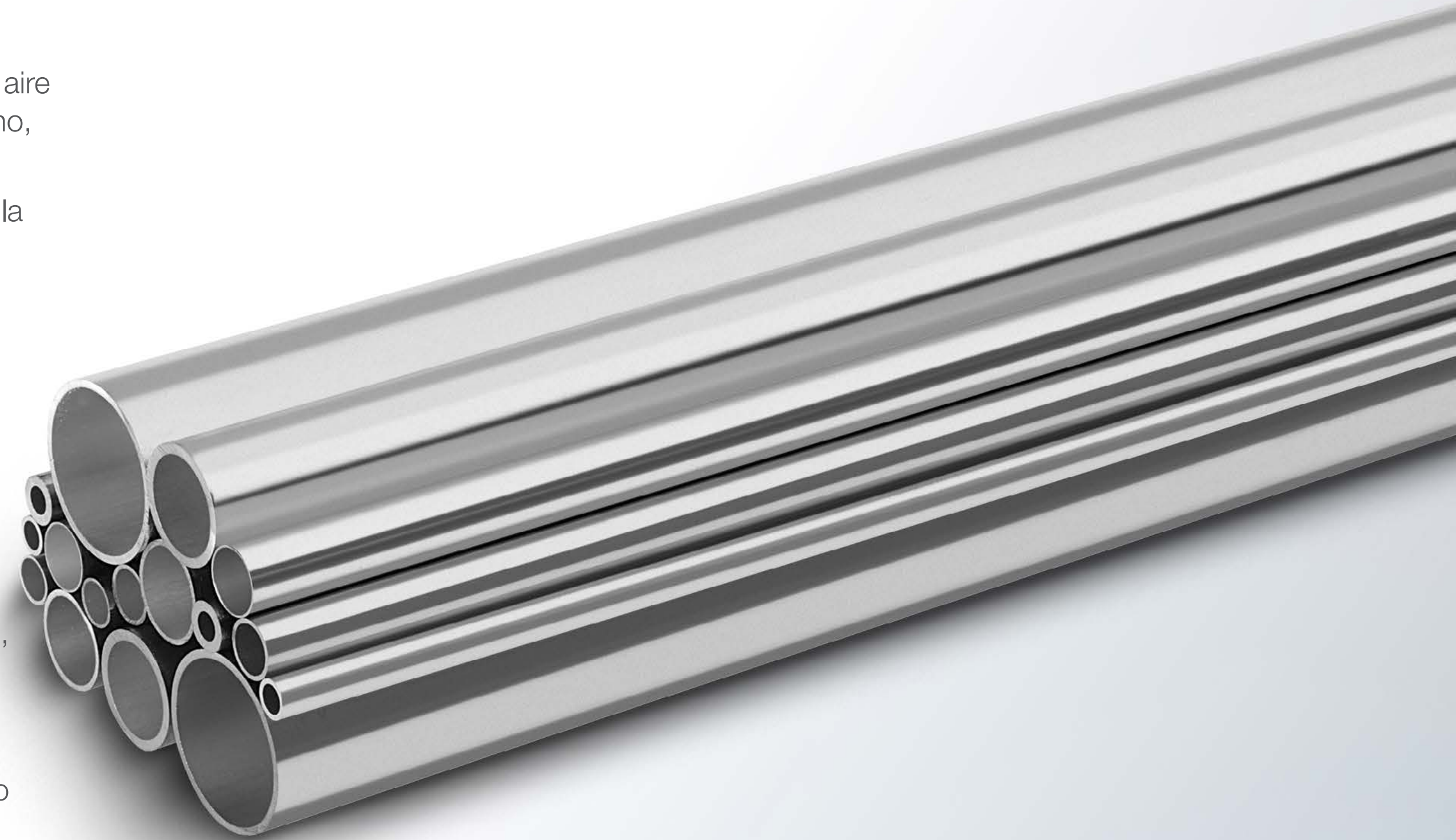
- Soluciones que contienen cloro y gas de cloro húmedo
- Soluciones acuosas de cloritos, hipocloritos, percloratos y dióxido de cloro
- Agua de mar natural y clorada a temperaturas relativamente altas

El titanio y sus aleaciones:

- Tienen una resistencia extremadamente alta a la corrosión inducida por microbios (MIC)
- Son muy resistentes a los ácidos oxidantes en una amplia gama de concentraciones y temperaturas. Los ácidos comunes en esta categoría incluyen los ácidos nítrico, crómico, perclórico e hipocloroso (Cl₂ húmedo).

Los factores que limitan la aplicación del titanio y sus aleaciones son los siguientes:

- El titanio no aleado a veces se corroe en entornos de cloruro acuoso bajo condiciones no previstas por las tasas generales de corrosión.
- El cloro seco puede reaccionar muy rápidamente con el titanio y hasta provocar su ignición.
- El titanio no es apto para su uso con gas flúor, oxígeno puro o hidrógeno



Combinaciones Diseñadas

En instalaciones marinas donde los racores de acero inoxidable 316/316L Swagelok han funcionado bien, pero el tubo de 316/316L ha sufrido corrosión intersticial en las abrazaderas, puede ser rentable utilizar los racores de 316/316L en combinación con tubo de una aleación más resistente a la corrosión. Las combinaciones diseñadas utilizan los racores Swagelok de 316/316L con tubo de aleaciones 254, 904L, 825, o Tungum® (aleación de cobre UNS C69100).

Los elevados niveles de cromo y níquel del 316/316L dan a los racores Swagelok una mayor resistencia a la corrosión localizada. El agarre superior del tubo se consigue gracias al diseño patentado de acción de flexión con collarín de sujeción hinging-colletting™ de la férula trasera Swagelok, que convierte el movimiento axial en una acción de deformación radial sobre el tubo, manteniendo además un bajo par de apriete en la instalación. Para endurecer la superficie de las férulas traseras se utiliza el proceso patentado Swagelok de carburización a baja temperatura SAT12, que favorece una excelente sujeción del tubo de las aleaciones anteriores.

Las combinaciones diseñadas pueden ser una solución rentable y resistente a la corrosión, que ofrece las siguientes ventajas para las instalaciones en entornos marinos:

- Mayor contenido de níquel y cromo en el acero inoxidable 316 Swagelok estándar que el mínimo exigido por la norma ASTM A479, lo que da como resultado un mayor número PREN y una mayor resistencia a la corrosión localizada.
- Alta resistencia a la corrosión por picaduras e intersticial del tubo de aleación especial.
- Bajo riesgo de corrosión galvánica basado en las posiciones del 316, 254, 904L y 825 de la tabla galvánica, o basado en el uso eficaz a largo plazo de los racores de 316/316L con tubo de Tungum.

Como en cualquier instalación con mezclas de materiales, la presión de servicio de los racores y accesorios de diferentes aleaciones es la del material con menor rango de presión. Para las presiones de servicio, vea *Datos de Tubo – Combinaciones Diseñadas* [MS-06-117](#).

Cómo se Calcula la Resistencia a la Corrosión

$$\text{PREN} = \%Cr + 3,3 \times (\%Mo + 0,5W) + 16 \times \%N$$

$$\text{ASTM 316} = 16 + 3,3 \times 2 + 16 \times 0,03 = 23,1 \text{ PREN}$$

$$\text{Swagelok 316} = 17,5 + 3,3 \times 2 + 16 \times 0,03 = 24,6 \text{ PREN}$$

El Número Equivalente de Resistencia a Picaduras (PREN) es la medida de resistencia a la corrosión por picaduras localizada. Altos valores PREN indican una mayor resistencia a la corrosión por picaduras.



Normativas NACE y Norsok

Los componentes para sistemas de fluidos Swagelok fabricados en 316/316L o en aleaciones especiales están disponibles como productos que cumplen los requisitos de la norma para gases sulfurados NACE MR0175/ISO 15156. Las válvulas y racores de las aleaciones 6HN (UNS N08367) y 2507 están disponibles en material de barra y forjados que se fabrican con procesos clasificados según los estrictos requisitos de la norma de calificación de la cadena de suministro Norsok M-650.

Más información:

- › Requisitos de NACE
- › NACE MR0175/ISO 15156 Descripción General
- › Requisitos de NACE sobre los Racores para Tubo de Aleación Súper Dúplex 2507
- › Requisitos de NACE sobre los Racores para Tubo Estándar y de Media Presión de Aleación 625
- › Requisitos de NACE para Tubo, Tubería y Accesorios para Soldar de Aleación 6-Moly
- › Normativas de Norsok



Requisitos de NACE

La normativa NACE MR0175/ISO 15156 detalla los materiales precalificados para utilizar en los equipos "upstream" de los yacimientos petrolíferos, donde el agrietamiento por corrosión bajo tensión inducida por sulfuros es un riesgo en entornos sulfurosos, por ejemplo, en mezclas de petróleo/gas/agua marina donde el sulfuro de hidrógeno (H₂S) está presente.

La normativa permite el uso de racores para tubo fabricados de acero inoxidable 316 estirado en frío y 6-Moly, en sistemas de instrumentación y de control respectivamente. Las aleaciones de níquel endurecidas en frío también se pueden utilizar para sistemas de instrumentación y control y para conducir fluidos de proceso.

El documento incluye:

- Requisitos sobre condiciones y propiedades de los materiales
- Condiciones medioambientales para el uso de los materiales
- Calificaciones sobre el uso del material bajo condiciones específicas de gases sulfurosos

➤ **Conozca mejor NACE**

El Material importa: Amplíe la información acerca de la selección de componentes para sistemas de fluidos en yacimientos con entornos sulfurosos en [*Offshore Magazine*](#).

NACE MR0175/ISO 15156 Descripción General

Aleación	Condición de la Aleación	Tabla NACE Aplicable	Aplicación	Máxima temperatura, °C (°F)	Máxima Presión Parcial del H ₂ S ^① , kPa (psi)
6Mo (254, 6HN)	Recocido por disolución y estirado en frío	A.11	Tubo de instrumentación, tubo para líneas de control y racores de compresión	Sin restricciones; Consulte NACE MR0175/ISO 15156 para observaciones de advertencia.	
	Recocido por disolución	A.8	Cualquier equipo o componente	60 (140)	100 (15)
625	Recocido y estirado en frío	A.14		232 (450)	200 (30)
				218 (425)	2000 (300)
	149 (300)	cualquiera			
	Recocido por disolución o recocido	A.13		Sin restricciones; Consulte NACE MR0175/ISO 15156 para observaciones de advertencia.	
2507	Recocida por disolución y estirada en frío	No de conformidad con NACE		N/A	
	Recocida por disolución	A.24	232 (450)	20 (3)	

> Conozca mejor NACE

① La presión parcial de H₂S es la contribución de la presión del sulfuro de hidrógeno gas a la presión total. Ejemplo de presión parcial: El aire contiene un 21% de oxígeno; si la presión total es 1,00 atm, entonces la presión parcial del oxígeno es 0,21 atm. Consulte ANSI/NACE MR0175/ISO 15156 para ampliar la información sobre los límites medioambientales de las aleaciones.

Requisitos de NACE para los Racores para Tubo de Aleación Súper Dúplex 2507

Para que un racor Swagelok de aleación 2507 funcione correctamente, la tuerca y las férulas deben estar fabricadas de material de barra estirado en frío. Este material tiene la resistencia necesaria para sujetar el tubo de 2507 (de alta dureza superficial) y para contener las altas presiones de servicio listadas en [Datos de Tubo Swagelok, MS-01-107](#).

Los racores para tubo Swagelok 2507 con el indicador -SG2 en la referencia cumplen los requisitos de NACE MR0175/ ISO 15156 para utilizar en cualquier equipo según la Tabla A.24 de la normativa, si en presencia de gases sulfurosos son parte húmeda interna pero no externa.

Requisitos de la normativa NACE MR0175/ISO 15156 para la aleación 2507:

- Los cuerpos de los racores para tubo rectos están fabricados de material de barra de aleación 2507 recocida por disolución
- Los cuerpos de los racores para tubo con forma están fabricados de forjados de aleación 2507 recocida por disolución
- Las roscas externas de los cuerpos de los racores para tubo que no sean parte húmeda del fluido del sistema pueden ser mecanizadas por laminación
- Las roscas internas que son parte húmeda son cortadas
- Las tuercas de los racores para tubo que no son parte húmeda del fluido del sistema son fabricadas de material de barra 2507 estirado en frío
- Las férulas traseras que no son parte húmeda del fluido del sistema son fabricadas de material de barra de 6-Moly estirado en frío
- Las férulas delanteras son fabricadas de material de barra 2507 estirado en frío
- La parte frontal de la férula delantera comprime una parte húmeda; al estar bajo compresión, no es susceptible de agrietamiento por corrosión bajo SCC o agrietamiento por gases sulfurosos, ya que la normativa afirma que es necesario un esfuerzo de tracción que favorezca estas modalidades de agrietamiento
- Las partes frontales de los tubos manguitos conectores y de los tapones para racor están fabricadas de material de barra de aleación 2507 recocida por disolución

El Material importa: Para ampliar la información, consulte la hoja de datos Swagelok completa *Racores para Tubo y Accesorios Roscados y para Soldar 2507 Súper Dúplex de Conformidad con NACE MR0175*, [MS-06-115](#).

> **Conozca mejor NACE**



Requisitos de NACE para los Racores para Tubo Estándar y Accesorios de Media Presión de Aleación 625

Para que un racor o un accesorio de media presión Swagelok de Aleación 625 funcione correctamente, la tuerca y las férulas deben estar fabricadas de material de barra estirado en frío.

Este material tiene la resistencia necesaria para sujetar el tubo de aleación 625 y contener las altas presiones de servicio listadas en el catálogo *Datos de Tubo Swagelok*, [MS-01-107](#) y en el catálogo *Racores y Adaptadores Swagelok para Media y Alta Presión—Materiales de Aleaciones Especiales*, [MS-02-474](#).

Los racores con cuerpos fabricados de material de barra estirada en frío cumplen los requisitos de NACE MR0175/ISO 15156 [Tabla A.14](#). Los racores que cumplen los requisitos de la [Tabla A.13](#) se fabrican según se detalla a continuación:

- Los cuerpos de los racores rectos están fabricados de material de barra recocida
- Los cuerpos de racores con forma están fabricados de forjados recocidos o barra recocida
- Las tuercas están fabricadas de barra recocida por disolución y estirada en frío, pero no son parte húmeda del fluido del sistema
- Las férulas traseras están fabricadas de barra recocida por disolución y estirada en frío, pero no son parte húmeda del fluido del sistema
- Las férulas delanteras están fabricadas de barra recocida por disolución y estirada en frío
- La parte frontal de la férula delantera comprime una parte húmeda; al estar bajo compresión, no es susceptible de agrietamiento por corrosión SCC o agrietamiento por gases sulfurosos, ya que la normativa afirma que es necesario un esfuerzo de tracción que favorezca estas modalidades de agrietamiento
- Los tapones para racor, tubos manguitos conectores y adaptadores a tubo están fabricados de barra recocida



Requisitos de NACE para Tubo, Tubería y Accesorios para Soldar de Aleación 6-Moly

La normativa NACE MR0175/ISO 15156 contiene las tablas que describen los requisitos y límites medioambientales para los materiales utilizados en aplicaciones de extracción con gases sulfurosos. Las tablas de NACE MR0175/ISO 15156 que definen los requisitos de las aleaciones 6-Moly son las [Tablas A.8 y A.11](#).

[La Tabla A.8](#) especifica los límites ambientales y materiales para los aceros inoxidable austeníticos de alta aleación utilizados para cualquier equipo o componente en cualquier tipo de instalación de gas sulfuroso.

[La Tabla A.11](#) define los límites medioambientales y materiales para aceros inoxidable austeníticos de alta aleación utilizados como tubo de instrumentación, tubo de línea de control, racores de compresión y pantallas en superficie y fondo de pozo.



Componente	Material	Especificación ASTM	Grabado
1 Tuerca	Aleación 254 (UNS S31254) o Aleación 6HN (UNS N08367)	A479 ^①	254 o 6HN en la cara frontal
2 Fécula trasera	6HN (UNS N08367)	A479 ^②	6HN en el borde externo
3 Fécula delantera	Aleación 254 (UNS S31254) o Aleación 6HN (UNS N08367)	A479 ^①	254 o 6HN en el borde externo
4 Cuerpo	Aleación 254 (UNS S31254) o Aleación 6HN (UNS N08367)	Cuerpo recto—A479 ^① Cuerpo con forma—A182	Racores para tubo y Accesorios roscados— 254 o 6HN en el cuello Accesorio para soldar— 254 o 6HN en el cuerpo Accesorios roscados y para soldar—SG en el cuerpo

Componentes húmedos mostrados en *cursiva*

① A479 (excepto la elongación, área de reducción y dureza, cuando es material de barra estirado en frío)

② A479 (excepto la elongación y dureza)

El Material importa: Para ampliar la información, consulte la hoja de datos Swagelok completa *Tubo, Tubería y Accesorios para Soldar de Aleación 6-Moly de Conformidad con NACE MR0175/ISO 15156*, [MS-06-122](#).

Normativas de Norsok

Las normativas Norsok (desarrolladas por la industria petrolera de Noruega) definen los requisitos del material y de la cadena de distribución con un enfoque en:

- Garantizar la seguridad y la rentabilidad de las operaciones
- Sustituir las especificaciones de las compañías petroleras
- Ofrecer una base al proceso de normalización internacional
- Revocar una normativa tras la publicación de una normativa internacional

En respuesta al creciente interés por los productos aprobados por Norsok, Swagelok se complace en cotizar pedidos de racores para tubo, accesorios roscados y algunos tipos de válvulas industriales fabricados de material aprobado por Norsok.

Tenemos disponibles productos fabricados de barra y forjados de aleaciones 2507, 254 y 6HN que cumplen los requisitos de calificación de la normativa sobre la cadena de distribución Norsok M-650.

➤ **Conozca mejor Norsok**



Normativas de Norsok

La tabla ofrece información detallada sobre las normativas.

Estándar	Descripción
M-650: Calificación de los Fabricantes de Materiales Especiales	<p>Abarca un conjunto de requisitos de calificación para verificar que el fabricante tiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Buena competencia y experiencia con las calidades de los materiales importantes • Instalaciones y equipo necesarios para fabricar estas calidades en las formas y tamaños requeridos con propiedades aceptables <p>También incluye las hojas de datos de diferentes formas de productos, incluyendo tubo sin soldadura, tubo soldado, racores, forjados, placas, fundidos, barras y tubo.</p>
M-001: Selección de Materiales	<p>Ofrece una guía, en conjunto con ISO 21457 para la selección de materiales para la producción de petróleo y gas en instalaciones costeras, incluyendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Control y Protección contra la corrosión • Limitaciones de diseño para materiales específicos • Requisitos de calificación para nuevos materiales y aplicaciones
M-630: Hojas de Datos de Materiales e Información de Elementos de Tubería	<p>Ofrece hojas de datos de los siguientes materiales:</p> <p>Aceros al carbono: Tipo 235, Tipo 235LT, Tipo 360LT</p> <p>Aceros inoxidables Austeníticos/Ferríticos: Tipo 22Cr, Tipo 25Cr</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cobre/Níquel 90/10 y otras aleaciones de cobre • Aleaciones con base níquel: Tipo 625 • Polímeros, incluyendo los reforzados con fibra • Aceros inoxidables Austeníticos: Tipo 6Mo • Aceros inoxidables Austeníticos: Tipo 316 • Titanio • Aceros de Alta resistencia, baja aleación

Formación en Ciencias de los Materiales

Haga las mejores elecciones para su aplicación

Swagelok tiene disponible *Formación en Ciencias de los Materiales*. Amplíe sus conocimientos sobre la selección del material resistente a la corrosión óptimo para aplicaciones que requieren que los productos tengan clasificaciones de presión específicas, se utilicen a temperaturas muy bajas o muy altas, deban soportar amenazas corrosivas, cumplan con determinadas normas de la industria o cumplan con requisitos de rendimiento únicos.

- Seleccione los materiales adecuados para mantener la integridad sin fugas y eficiencia operativa de sus sistemas de fluidos
- Descubra cómo aleaciones específicas resisten la corrosión, cómo se comportan los materiales y cómo las normativas industriales afectan a sus opciones de materiales

Programa del curso

- Principios de la ciencia de los materiales, la corrosión y otros factores que afectan a las propiedades de los materiales
- Tipos de corrosión y cómo las aleaciones específicas resisten la corrosión
- Cómo seleccionar los materiales de construcción óptimos para aplicaciones exigentes según la presión y temperatura, posibilidades de corrosión y conformidad
- Cómo seleccionar los componentes adecuados para la corrosión por gases sulfurosos y la normativa NACE
- Conceptos críticos sobre la naturaleza y comportamiento de los materiales, incluyendo vistas a nivel atómico de los metales, así como las características microestructurales y propiedades mecánicas de los materiales



Más Recursos

Calidad y Fiabilidad

En cualquier solución para sistema de fluidos con rendimiento de primera clase y larga duración, el diseño y el material deben trabajar juntos. Por eso Swagelok no tiene un departamento específico de calidad—es toda la compañía la que está comprometida con la excelencia, incluyendo la calificación de productos y los informes de ensayos sobre aleaciones especiales.

Nosotros no compramos material de stock; más bien aplicamos un control estricto de calidad del material:

- Imponiendo a las fundiciones especificaciones más estrictas sobre aleaciones y calidad
- Identificando el material inequívocamente
- Haciendo nuestras propias herramientas
- Utilizando métodos tecnológicos de pruebas no destructivas
- Contratando ingenieros especializados que trabajan a tiempo total en la cadena de distribución

Estas medidas mejoran la consistencia del material y ayudan a prevenir defectos que afecten al producto acabado. Una vez instalado en su sistema, todo lo que vendemos está respaldado por nuestra [Garantía Limitada Vitalicia](#).

➤ **Amplíe la Información sobre Otros Recursos**



Más Recursos

Formación en Producto y en Sistemas

Conozca mejor los sistemas de fluidos y mejore las habilidades de su equipo con nuestro completo conjunto de programas de formación.

Servicios de Evaluación y Asesoramiento

Cuando necesite apoyo, podemos estudiar sus instalaciones para evaluar, detectar y solucionar problemas en los sistemas de toma de muestras, con las mangueras, sistemas de vapor, y más.

Swagelok® Custom Solutions

Podemos ayudarle a diseñar, especificar y construir ensamblajes de sistemas de fluidos. Le daremos una solución profesional y consistente Swagelok, probada, inspeccionada y embalada - todo con la [Garantía Limitada Vitalicia](#).

Encuentre a su Asesor Técnico

¿Necesita más asesoramiento sobre requisitos de materiales? Contacte con su Centro autorizado de ventas y servicio Swagelok.

➤ **Amplíe la Información sobre Otros Recursos**



Más Recursos

Utilice los siguientes enlaces para acceder a otros materiales útiles de referencia:

Artículos

[World Oil](#): Prevenir la corrosión por picaduras y la corrosión intersticial en el tubo de acero inoxidable en aplicaciones marítimas

[Offshore Magazine](#): Seleccionar componentes para sistemas de fluidos para utilizar en yacimientos con sulfuros

Guía de Referencia

[Hoja de Datos de Tubo](#) MS-01-107

[Datos de Tubo - Combinaciones Diseñadas](#) MS-06-117

Informes de ensayos de producto

Ensayo de Agrietamiento por Corrosión bajo Tensión de Cloruros (CSCC), sobre Combinaciones Diseñadas con Racores para Tubo Swagelok® de Acero Inoxidable 316

[PTR-4183](#) - Ensayo de Agrietamiento por Corrosión bajo Tensión de Cloruros

Tubo Superaustenítico de Acero Inoxidable 254 SMO® (6-moly) con Racores para Tubo Swagelok® de Acero Inoxidable

[PTR-2834](#) - Ensayo de resistencia a la tracción

[PTR-2835](#) - Ensayo de Ciclos Térmicos a Alta Temperatura y Prueba Hidrostática

[PTR-2836](#) - Ensayo de Ciclos Térmicos a Baja temperatura y Prueba Hidrostática

[PTR-2841](#) - Ensayo de rotación y Flexión

[PTR-2849](#) - Ensayo de Pulsos Hidráulicos y Prueba Hidrostática

[PTR-2852](#) - Ensayo de Presión Hidrostática

[PTR-2853](#) - Ensayo de Cierre con Gas Nitrógeno y Reutilizaciones Repetidas

NACE y NORSOK

Válvulas de Conformidad con NACE y NORSOK [SCS-00193](#)

SELECCIÓN FIABLE DE UN COMPONENTE

Al seleccionar un componente, habrá que tener en cuenta el diseño global del sistema para conseguir un servicio seguro y sin problemas. El diseñador de la instalación y el usuario son los responsables de la función del componente, de la compatibilidad de los materiales, de los rangos de operación apropiados, así como de la operación y mantenimiento del mismo.