



Aceros inoxidables

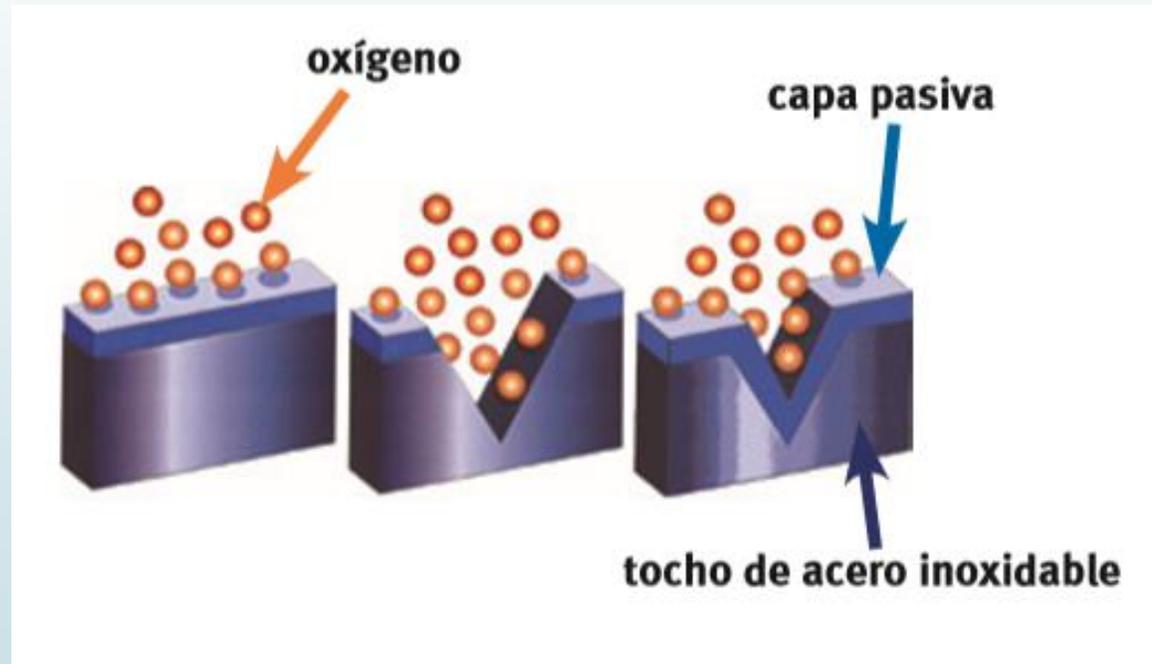
Materiales para Ingeniería 2019



¿Que es el acero inoxidable?



Es una aleación de hierro con un contenido de cromo $> 10,5\%$ y de carbono $< 1,2\%$, necesario para asegurar una capa protectora superficial autorregenerable (capa pasiva) que proporcione la resistencia a la corrosión.



Son aceros de alta aleación (Cr, Ni, Mo, Mn), que presentan una alta resistencia a la corrosión en un amplio rango de condiciones.



Aspectos a tener en cuenta en el diseño de aceros inoxidables

- La resistencia a la corrosión en diferentes ambientes de operación y procesos, en plantas industriales.
- El nivel de propiedades físicas y mecánicas.
- Las condiciones de fabricación que impone el trabajado mecánico (conformado, laminado, enderezado, trefilado), tanto en la zona de bajas temperaturas (trabajado en frío), como de las altas temperaturas (trabajado en caliente).
- La soldadura y soldabilidad

Criterios de selección del acero inoxidable

- Resistencia a la corrosión y durabilidad general.
- Alta resistencia mecánica a alta temperatura y buena resistencia y ductilidad a baja temperatura: Excelente resistencia, ductilidad y tenacidad sobre un amplio rango de temperaturas, desde criogénicas, hasta mayores a 1000 °C, dependiendo del tipo de acero inoxidable.
- Atractiva apariencia: El acero inoxidable es un material moderno, que mantiene su apariencia a lo largo del tiempo, lo cual es una de sus principales características.
- Fácil de trabajar: el acero inoxidable puede ser fácilmente conformable, mediante diferentes técnicas como embutición, doblado, rolado, soldadura, etc.
- El acero inoxidable no altera el sabor de los productos alimenticios: Esta es una importante propiedad para alimentos e industria de bebidas.
- El acero inoxidable es fácil de limpiar, desinfectar o esterilizar y tiene perfecta resistencia a los agentes usados para esos propósitos como por ej. Vapor a alta presión para esterilización.
- Bajos costos: Cuando se calcula el precio de inversión inicial más los bajos costos de mantenimiento, el acero inoxidable resulta un material barato.
- Reciclable: El acero inoxidable es 100% reciclable.



Algunas razones importantes por las que se utilizan ampliamente los aceros inoxidables

- ❖ Excelente resistencia a la corrosión atmosférica
- ❖ Estética
- ❖ Aspectos higiénicos/limpieza
- ❖ Resistencia térmica
- ❖ Resistencia
- ❖ Alta absorción de energía
- ❖ Facilidad de trabajo en taller
- ❖ Reciclaje y protección del medio-ambiente

Campo de aplicación de los aceros inoxidables

El acero inoxidable es un material versátil. Utilizado por primera vez para hacer cubiertos pronto encontró su camino en la industria química, debido a sus características de resistencia a la corrosión.

Aplicaciones en las que el acero inoxidable se ha destacado

- **Cubiertos y utensilios de cocina:** El uso más conocido del acero inoxidable es probablemente en la elaboración de cubiertos y utensilios de cocina



- **Química industrial, procesamiento de gas y petróleo:** Estas industrias han creado un gran mercado en relación a la elaboración de tanques de acero, tuberías (a base de tubos de acero inoxidable), bombas y válvulas.

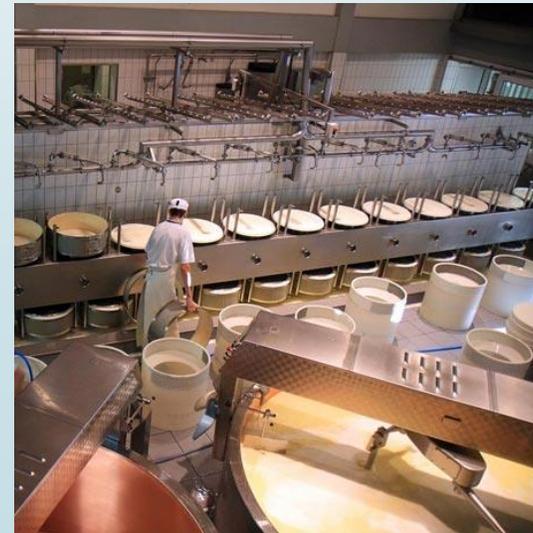


- **Generación de energía:** Los aceros inoxidable y otras aleaciones resistentes a la corrosión se utilizan ampliamente en la industria de generación de energía para combatir la corrosión, particularmente a elevadas temperaturas



IMPRESIONANTE USO DE TUBOS
FERRÍTICOS SOLDADOS EN UN
CONDENSADOR DE UNA
CENTRAL ELÉCTRICA

- **Producción de alimentos:** Grandes cantidades de acero inoxidable se utilizan en la producción y el almacenamiento de alimentos. Los grados más utilizados son 304 y 316.



- **Arquitectura, edificios y construcciones:** La arquitectura, los edificios y construcciones son un mercado en crecimiento en el cual muchos edificios modernos utilizan aceros inoxidable para revestimientos, cubiertas y fachadas



Cubiertas del Lou Ruvo Center for Brain Health, en Las Vegas, EEUU.



Chrysler Building, de Van Allen

- **Aplicaciones médicas**

El acero inoxidable fundido y desinfectado se utiliza para implantes médicos, caderas artificiales y una gran cantidad de equipos médicos

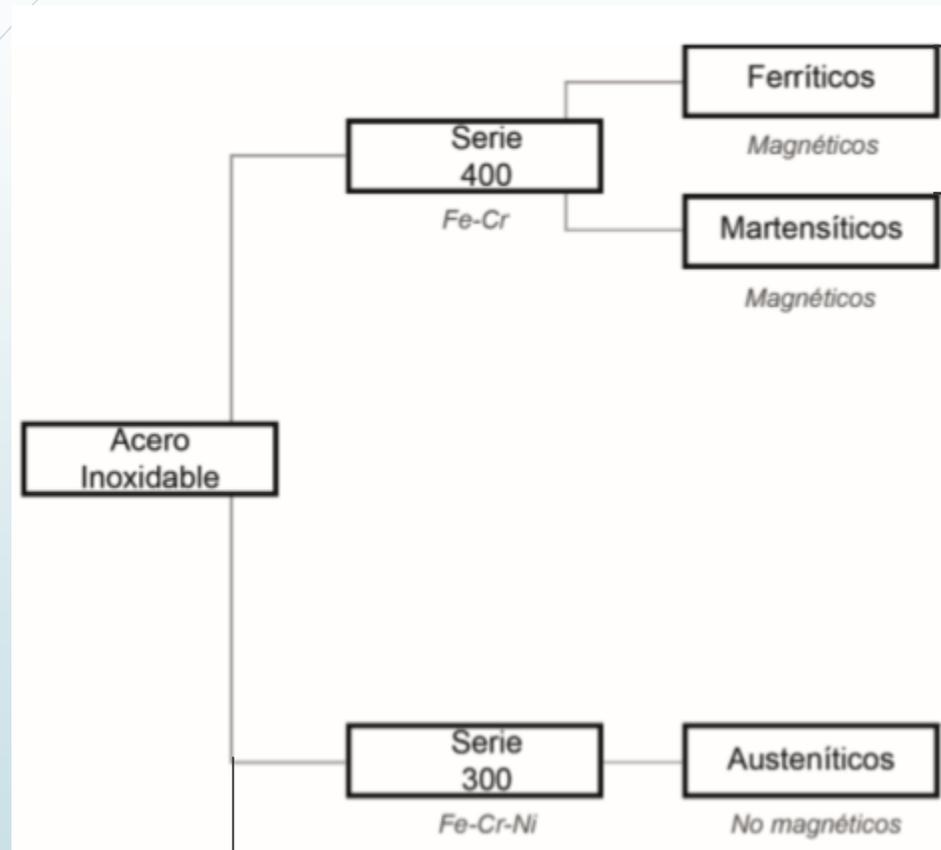


- **Automotores**

Los automóviles con el tiempo han hecho un creciente uso del acero inoxidable, principalmente para sistemas de escape (409 grados) y convertidores catalíticos, además de su uso con fines estructurales



Clasificación de los aceros inoxidable



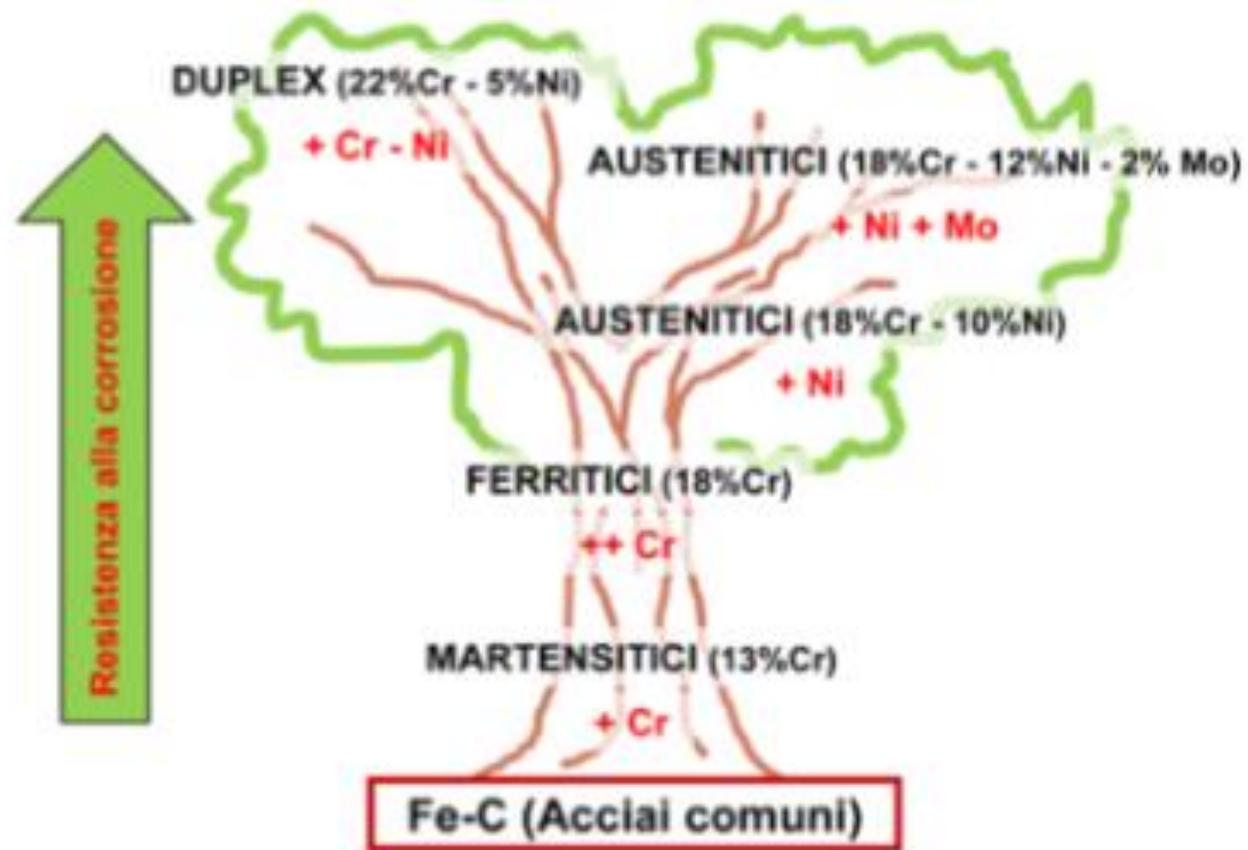
Contienen en general una cantidad de cromo elevado que les permite ser mucho mas resistentes a la corrosión, pero sin embargo pierden propiedades mecánicas como la resistencia al impacto.

Su concentración les permite la transformación de ferrita a austenita a temperaturas altas, y ésta se transforma en martensita cuando se enfría. El estado martensítico es rico en carbono, duro y frágil

La adición de níquel provoca un gran cambio en muchas propiedades. La composición suele ser 18% de Cr - 8% de Ni, el mas conocido es el tipo 304, con una gran resistencia a la corrosión y gran conformabilidad. Además los aceros inoxidables austeníticos pueden utilizarse en un rango muy amplio de temperaturas y llegar hasta los 1150 °C

Endurecibles por precipitación:
Austeníticos, martensíticos y semiausteníticos.

Dúplex

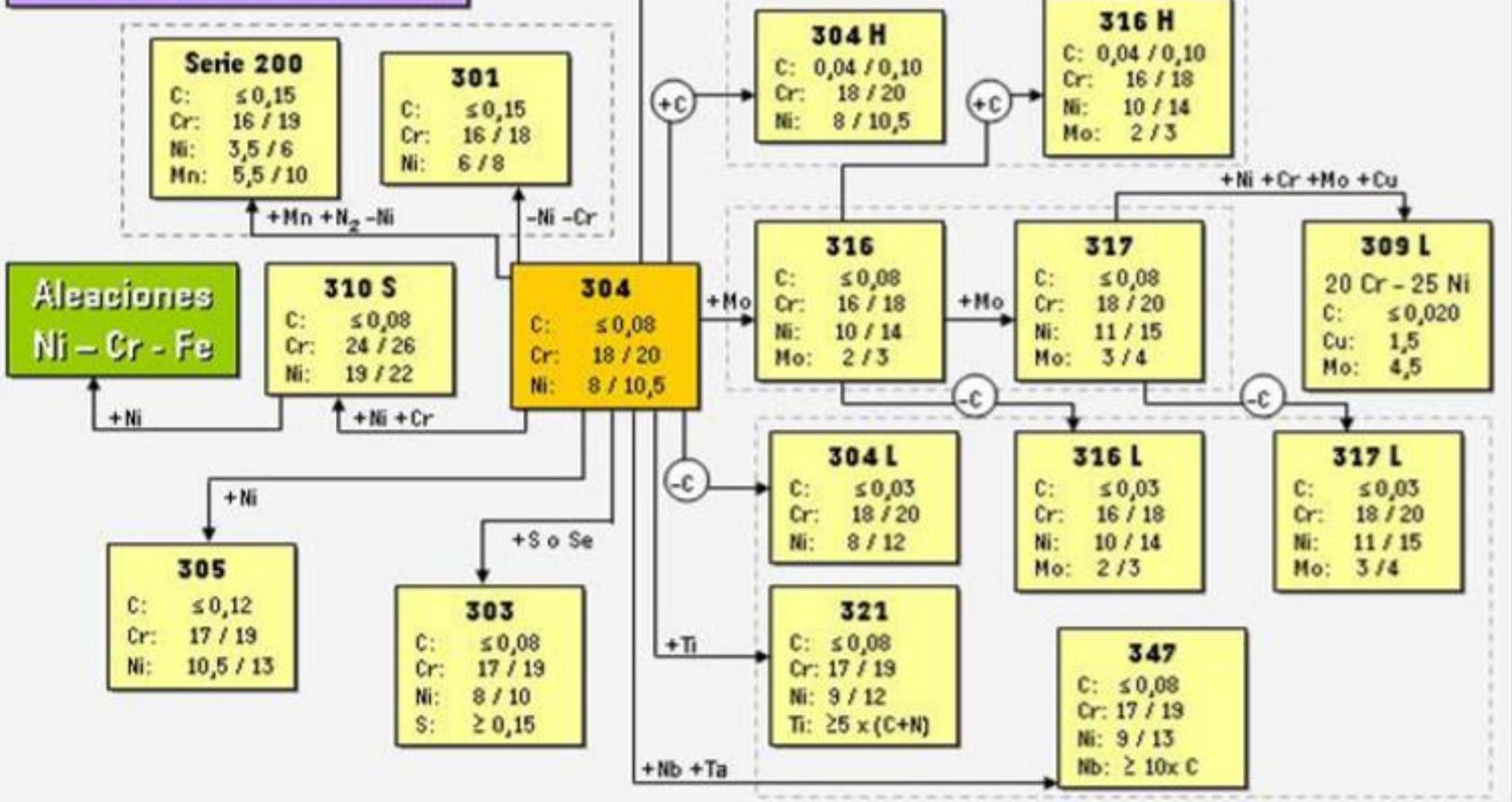


Schematizzazione dell'evoluzione degli acciai inossidabili a partire dagli acciai al solo carbonio: l'albero degli inossidabili [tratto da Di Caprio 2003].

Aceros Inoxidables Serie 300

Aceros Inoxidables Austenoferríticos

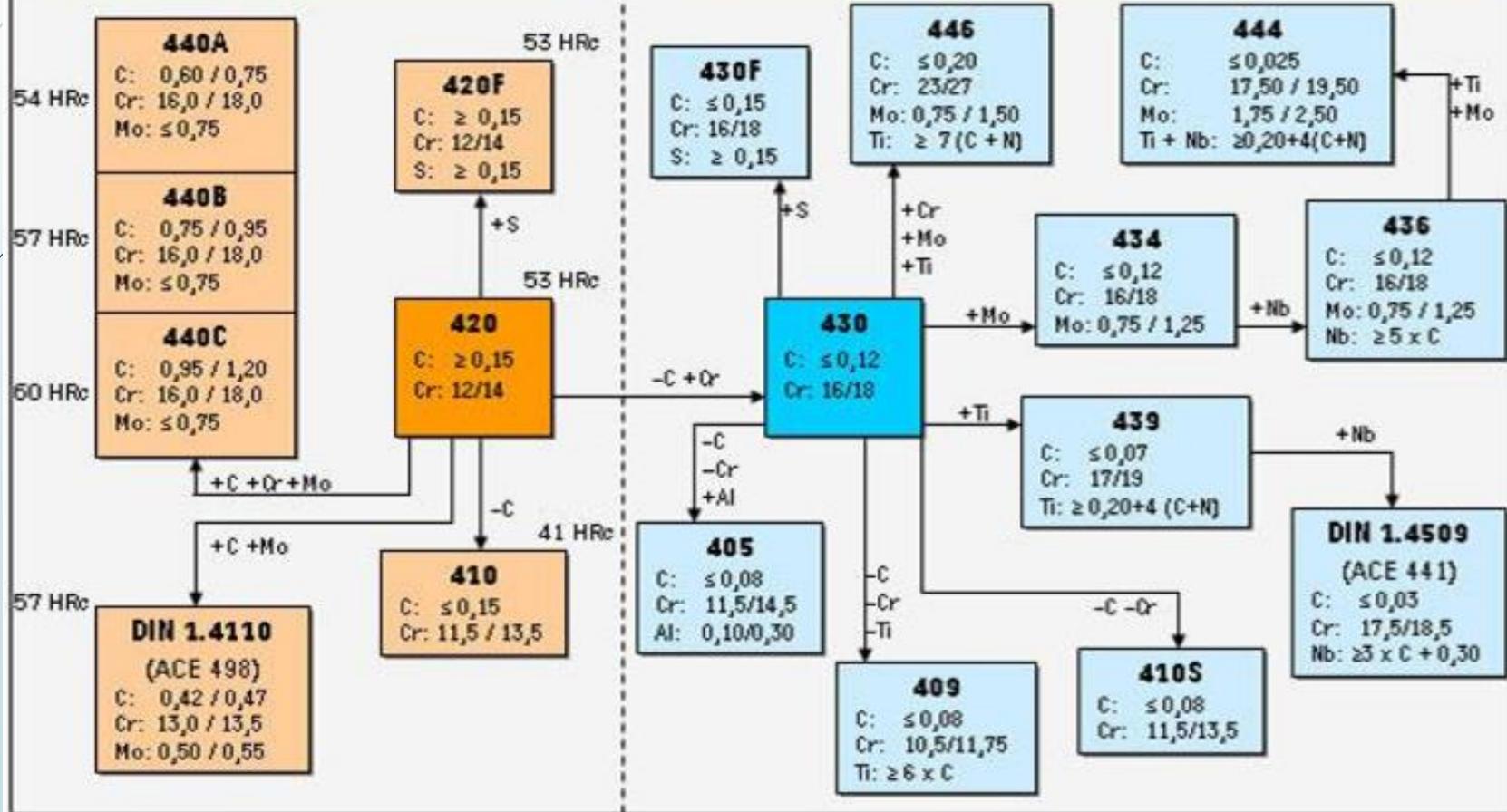
Aceros Austeníticos

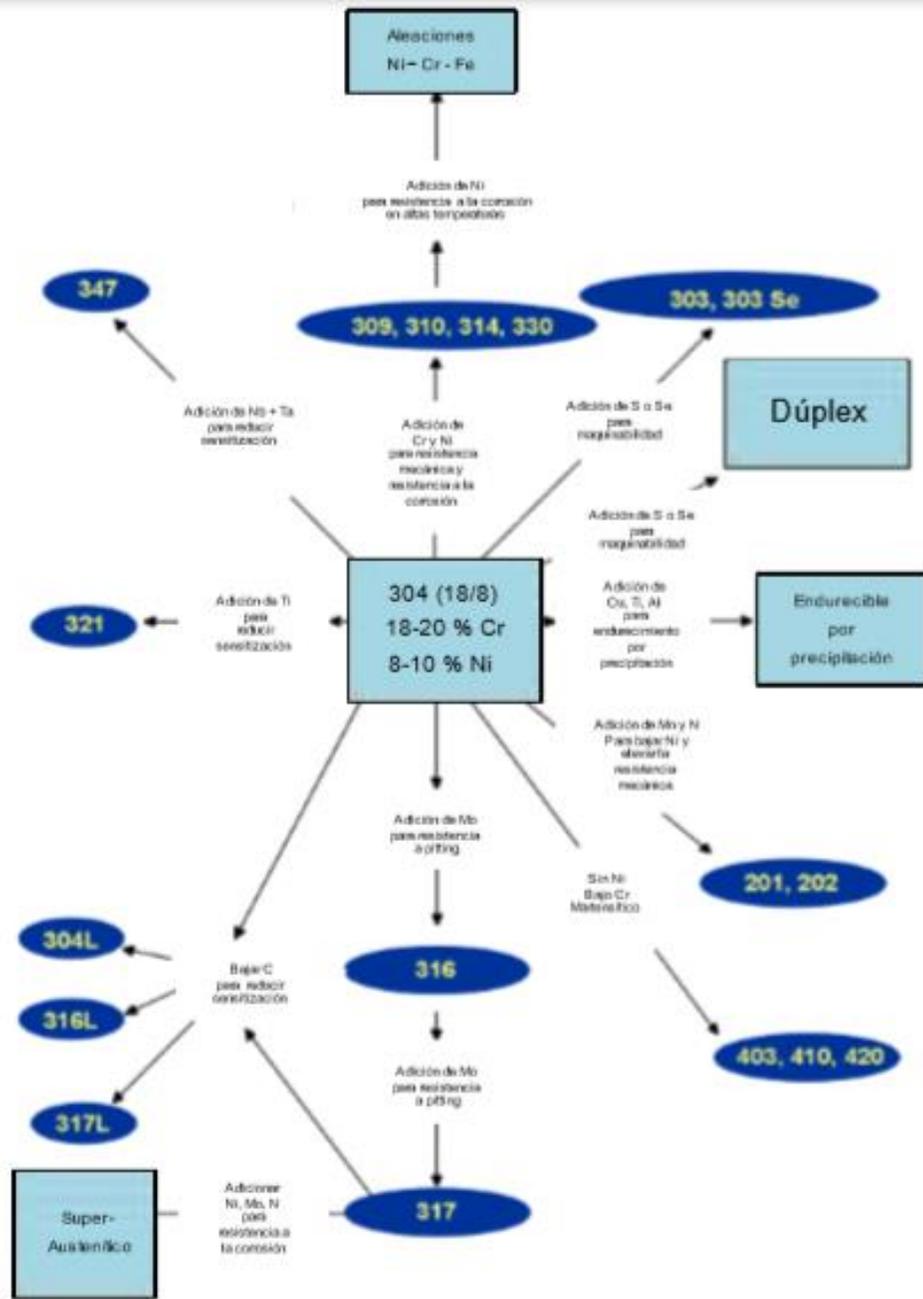


Aceros Inoxidables Serie 400

Aceros Martensíticos

Aceros Ferríticos



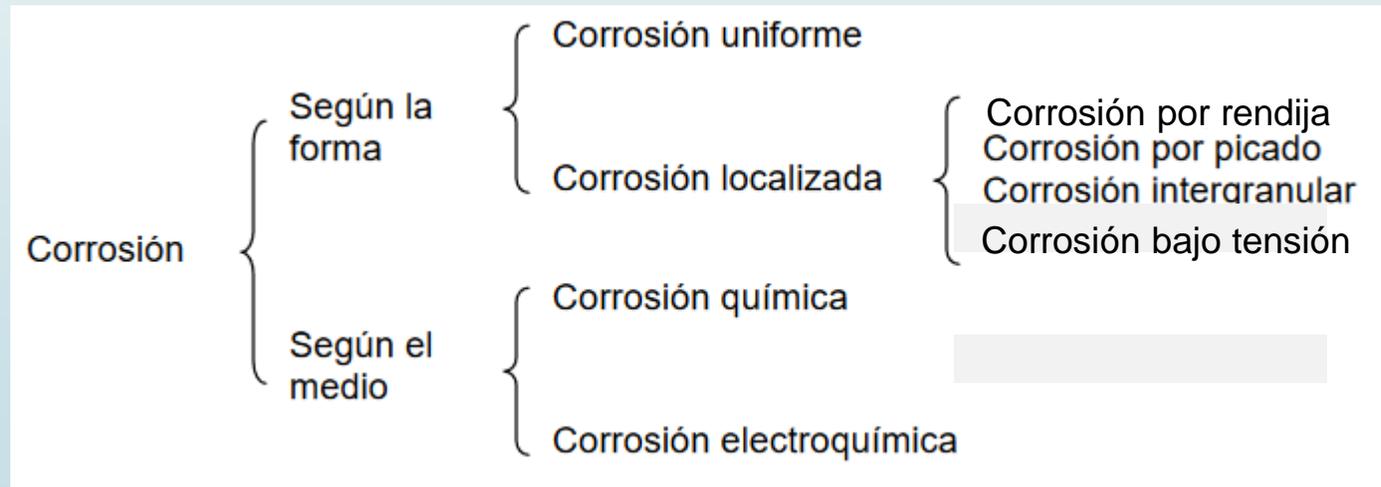


Esquema de constitución de los aceros inoxidables

Resistencia a la corrosión

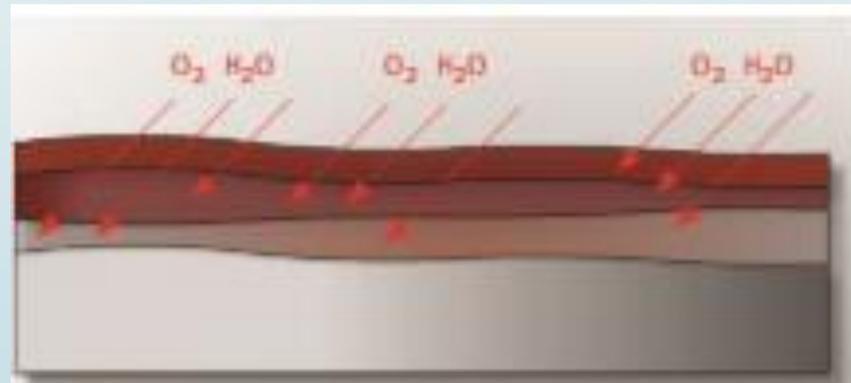
La **Corrosión** es un término que se utiliza para describir el **proceso de deterioro de materiales metálicos** (incluyendo tanto metales puros, como aleaciones de estos), mediante reacciones químicas y electroquímicas (Revie y Uhlig, 2008). **Para el caso** del deterioro relacionado con otros tipos de materiales, como los **polímeros y cerámicos**, se utiliza el término **degradación**.

La corrosión puede clasificarse según su morfología o según el medio en que se desarrolla:



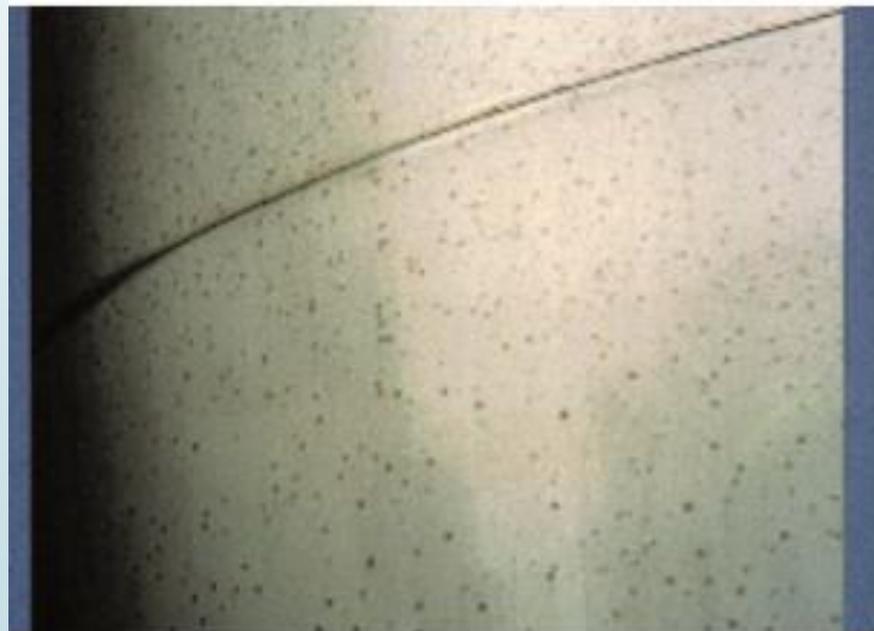
Corrosión uniforme

La corrosión generalizada, también nombrada como corrosión uniforme, ocurre sobre toda la superficie del material de forma homogénea, deteriorándolo completamente. Este tipo de corrosión es el que mayor pérdida de material provoca, pero es relativamente fácil de predecir y controlar, por lo que un accidente producido por este es de rara ocurrencia. Se mide normalmente por la pérdida de peso o reducción de espesor.



Corrosión localizada

Corrosión por picaduras: Es probablemente el fenómeno corrosivo más conocido en los aceros inoxidable. Esto se debe a una laceración local de la capa pasiva, derivada de la acción de elementos fuertemente activadores, como los iones cloruro (Cl^-) o fluoruro (F^-). En la superficie hay picaduras, caracterizadas por un cráter (área anódica) rodeada por un halo (área catódica).



FIG|04| Superficie affetta da pitting.



FIG|05| Dettaglio sulla morfologia del pitting.

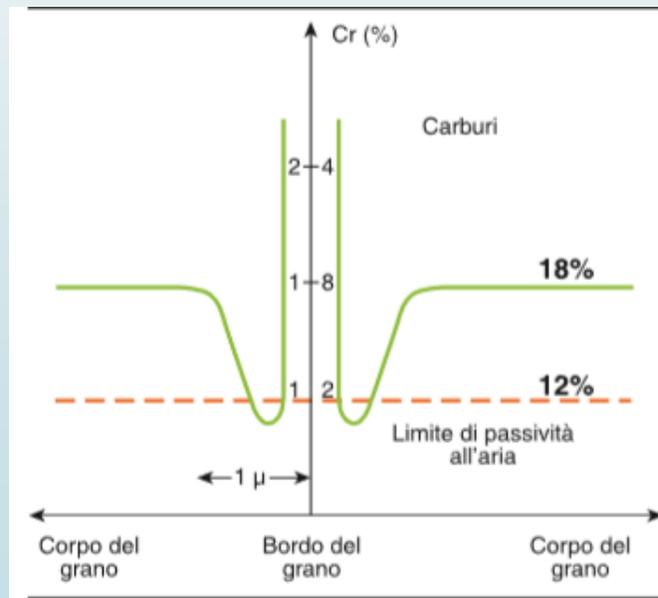
Corrosión por rendija (crevice)

En este fenómeno corrosivo localizado típico, la capa pasiva se rasga debido a una pobre oxigenación que se produce en un intersticio o en zonas de estancamiento en presencia de una sustancia corrosiva.



Corrosión intergranular

La permanencia más o menos prolongada (soldadura, tratamiento térmico incorrecto, condiciones de operación) en ciertos rangos de temperatura (por ejemplo, 450-850 ° C para aceros inoxidable austeníticos) crea una precipitación de carburos de cromo en los límites de grano. Estas áreas, donde el contenido de cromo cae por debajo del porcentaje mínimo (alrededor del 12%) necesario para garantizar la "resistencia a la oxidación", en presencia de un agente agresivo, se convierten en el sitio del ataque corrosivo



Tendencia del porcentaje de cromo en función de la distancia desde el límite del grano para un acero inoxidable sensibilizado



Corrosión bajo tensión

La acción simultánea de un esfuerzo mecánico (en el sentido de tracción) y un ataque químico, puede crear la activación de grietas, especialmente en estructuras austeníticas. Estas grietas ortogonales con respecto a la dirección de la tensión mecánica pueden proceder tanto de forma transgranular (fig. 10) como intergranular (fig. 12)



Estabilidad de la capa pasivante en aceros inoxidable

Los principales factores que inciden en la estabilidad de la capa pasivante son:

- Composición química del acero (contenido de Cr, Ni, Mo)
- Heterogeneidades: En los sitios donde exista defecto de Cr por presencia de segregaciones, inclusiones no metálicas, precipitación de carburos u otras fases sin Cr, la capa será menos estable e incluso puede no formarse. El cuidado del estado superficial es fundamental para mantener la buena resistencia a la corrosión de estos aceros.

Características químicas del medio

- La resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable depende de la formación de una fina capa de óxido ($\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), la presencia de agentes oxidantes en el medio corrosivo ayudan a generar una capa continua y estable. Por el contrario, en medios poco oxidantes la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable disminuye. Incluso puede no formarse o desestabilizarse.
- Otra variable muy importante es el índice pH del medio. Para medios ácidos ($\text{pH} < 7$), la pasivación se hace más difícil.

Factores de diseño y fabricación

- *La resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable se ve fuertemente afectada por la geometría de las piezas o partes que se exponen al ambiente corrosivo.*
- *Los procesos de fabricación como el conformado en caliente y la soldadura también ejercen una gran influencia en la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable. Esto se debe a sus efectos sobre la estructura del acero, sobre la geometría y sobre el estado superficial*

Denominación de aceros inoxidables según AISI

La denominación AISI consiste en un número de tres cifras al que puede seguirle una o más letras. Para aceros inoxidables y aceros para alta temperatura que no llegan a ser inoxidables pero que son aleados con Cr, existen 4 series diferentes:

- ❖ Serie 2xx: aceros inoxidables austeníticos al Cr-Mn-N o Cr-Mn-N-Ni.
- ❖ Serie 3xx: aceros inoxidables austeníticos al Cr-Ni.
- ❖ Serie 4xx: aceros inoxidables ferríticos o martensíticos.
- ❖ Serie 5xx: aceros al Cr-Mo para uso a alta temperatura. No son aceros inoxidables.

Las letras más comunes que pueden usarse después del número de tres cifras son:

- L: para denominar a los aceros inoxidables austeníticos de bajo C (0,03% máximo)
- N: para aceros inoxidable austenítico con adición de N
- LN: para aceros inoxidable austenítico de bajo C y adición de N que compensa el descenso de resistencia causado por el menor contenido de C
- H: para aceros inoxidables austeníticos cuya composición química y/o tratamiento térmico se ajusta de modo de optimizar su resistencia a alta temperatura.
- F: para aceros resulfurados de maquinabilidad mejorada.

Clasificación de los aceros inoxidable de acuerdo a su microestructura

Los tres tipos principales de aceros inoxidable utilizados en la industria son las clases Martensítica, Ferrítica y Austenítica, nombres derivados de la fase predominante que se encuentra a temperatura ambiente. Una cuarta clase, los tipos PH (Precipitation Hardening) o de Endurecimiento por Precipitación, ha alcanzado importancia en las últimas décadas. En los últimos años, la clase Dúplex ha despertado gran interés

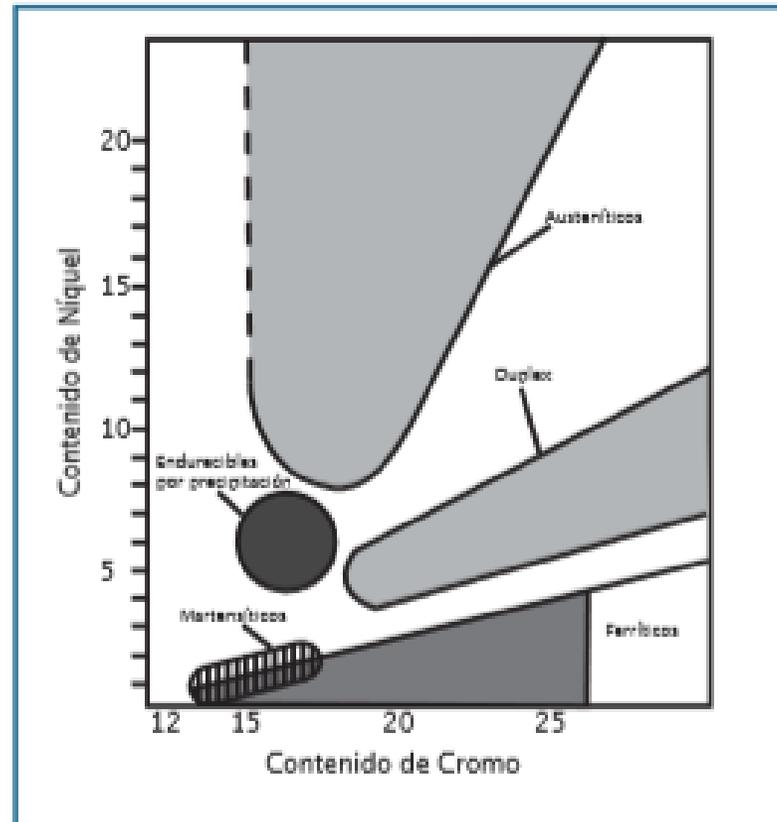


Figura 12. Relación entre el contenido de cromo y níquel en los distintos grupos de aceros inoxidables

Aceros inoxidables austeníticos

La clase austenítica contiene níquel como segundo elemento principal de aleación. El Ni se utiliza para suprimir la transformación de la Austenita y hacerla estable incluso a temperatura ambiente y más baja. Así, cuando el níquel se agrega al acero inoxidable en cantidades suficientes, la estructura cambia a Austenita.

Características básicas

- Elevada resistencia a la corrosión en una amplia gama de ambientes corrosivos, generalmente mejor que la de los aceros Martensíticos o Ferríticos, pero son vulnerables al agrietamiento por corrosión bajo tensiones (SCC) en ambientes de cloruro.
- Excelente soldabilidad, mejor que los grados Ferríticos y Martensíticos.
- Sobresaliente maleabilidad y ductilidad, mejor que los grados Ferríticos y Martensíticos.
- Muy buenas propiedades criogénicas y buena resistencia a alta temperatura. La plasticidad de la estructura de la Austenita, transmite a estos aceros, su tenacidad, reducción en área y excelente resistencia al impacto aun a temperaturas criogénicas.
- Endurecible solamente por trabajo en frío. Los aceros inoxidables Austeníticos no pueden ser templados para obtener Martensita, ya que el Níquel estabiliza la Austenita a temperatura ambiente e incluso por debajo de ella.
- Comparado con el acero al carbono posee menor punto de fusión, menor conductividad térmica, mayor resistencia eléctrica y coeficientes de expansión térmica aproximadamente 50% mayores.

Aplicaciones típicas

- Algunos aceros completamente austeníticos pueden ser usados a temperaturas tan bajas como -270°C .
- Plantas y equipos químicos.
- Equipos para procesamiento de alimentos.
- Usos arquitectónicos.

Austeníticos



Aceros inoxidable ferríticos

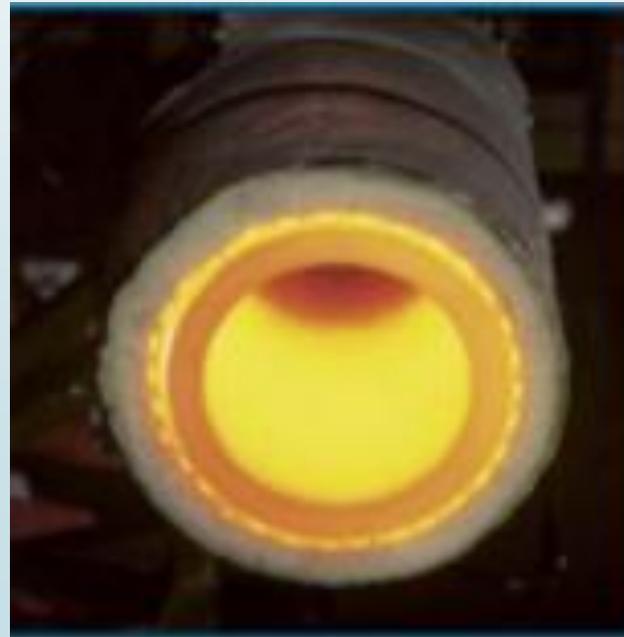
Se caracterizan por una estructura ferrítica a cualquier temperatura ya que no presentan transformación de Ferrita en Austenita durante el calentamiento ni transformación martensítica en el enfriamiento. Por esta razón no hay posibilidad de cambios de fase.

Características básicas

- Soldabilidad frecuentemente mayor que los grados martensíticos pero menor que los grados austeníticos.
- Resistencia a la corrosión algo superior a la de los aceros inoxidable martensíticos, pero inferior a la de los grados austeníticos. La presencia de cromo incrementa dicha resistencia. La ausencia de níquel reduce la resistencia general a la corrosión y los hace susceptibles en muchos medios como por ejemplo en H_2S , NH_4Cl , NH_4NO_3 y soluciones de H_6Cl_2 . Los aceros con menor contenido de cromo (10,5%) se les suele denominar inoxidable al agua, pues no resisten sostenidamente medios más agresivos.
- Es propenso a aumentar el tamaño del grano a temperaturas elevadas y adquiere cierta fragilidad con permanencias prolongadas entre 450° y $500^\circ C$ (fragilidad a $475^\circ C$).
- Aceros de 25-30% de cromo presentan buena resistencia a la corrosión y en atmósferas sulfurosas en caliente.
- Buena resistencia a la corrosión bajo tensión SCC, especialmente en cloruros a alta temperatura, comparada con los grados austeníticos. Pequeñas cantidades de Níquel, tan bajas como 1,5% son suficientes para inducir SCC.
- No endurecible por el tratamiento térmico, sólo moderadamente por trabajo en frío, generalmente menos que los aceros inoxidable austeníticos.
- Menor ductilidad que los aceros austeníticos, debido a la inherente menor plasticidad de la estructura cúbica centrada en el cuerpo del hierro alfa. Maleabilidad no tan buena como los grados austeníticos pero suficiente para trabajarlos fácilmente en frío.
- Menor tenacidad que los grados austeníticos.
- Alcanzan su máxima ductilidad y resistencia a la corrosión en la condición de recocido.
- La Ferrita generalmente disminuye la dureza y la resistencia al impacto a temperaturas criogénicas.
- Son bastante magnéticos y están expuestos a la desviación de arco (Soplo magnético).
- Excelente resistencia al "pitting" y a la corrosión por rendija (Crevice) inducida por cloruros.
- Se les prefiere en general por su resistencia a la corrosión y bajo costo, más que por sus propiedades mecánicas

Aplicaciones típicas

- Tubos de intercambiadores de calor donde el SCC sea un problema, por ejemplo en plantas de procesamiento de petróleo o gas natural.
- Estampado profundos de piezas como recipientes para industrias químicas, alimenticias, y para adornos arquitectónicos o automotrices.
- Aplicaciones de resistencia al agrietamiento por corrosión de tensiones de cloruro, corrosión en medios acuosos, oxidación a alta temperatura y corrosión por picadura y por hendidura por medios de cloruro.
- Tubos de escape de automóviles, tanques de radiadores, reactores catalíticos y alcantarillas.
- Adornos decorativos y tanques de ácido nítrico.
- Componentes que requieren protección contra subidas de temperatura tales como partes de hornos, boquillas y cámaras de combustión.
- Tanques de agua caliente.



Aceros inoxidables martensíticos

Son aleaciones que pueden austenizarse y templarse. Pueden estar aleados con pequeñas cantidades de otros elementos. Son ferríticos en estado de recocido pero martensíticos con un enfriamiento más rápido ya sea en aire o en un medio líquido desde una temperatura superior a la crítica. Fueron los primeros aceros inoxidables desarrollados comercialmente (como cuchillería) y tienen contenido relativamente alto del carbono (0,1 - 1,2%) comparado a otros aceros inoxidables

Características básicas

- Moderada resistencia a la corrosión. Usualmente menor que la de los aceros austeníticos y ferríticos.
- Baja soldabilidad, variando con el contenido de carbono. A mayor contenido de carbono, mayor será la necesidad de precalentar y realizar tratamientos térmicos posteriores, para producir soldaduras libres de defectos.
- Excelente resistencia mecánica.
- Puede ser endurecido por el tratamiento térmico y así alcanzar altos niveles de resistencia y dureza. Son endurecidos por aire cuando se enfrían rápidamente desde el rango de temperatura de austenizado (871°C-1010°C) en donde la fase austenítica es predominante. Ligeramente endurecibles por trabajo en frío.
- Son bastante magnéticos al igual que los aceros inoxidables ferríticos, por lo tanto están sujetos al desvío del arco en la soldadura.
- Son adecuados para temperatura moderadamente alta debido a la buena resistencia al creep y a la tensión en dicho rango de temperatura.
- Cuando reciben tratamiento térmico apropiado tienen la resistencia a la corrosión adecuada en muchos ambientes, ofrecen mayor resistencia y buenas propiedades de fatiga junto con excelente resistencia a la oxidación y al desgaste.
- Estas aleaciones se seleccionan a menudo por sus buenas propiedades mecánicas y bajo costo.

Aplicaciones típicas

En piezas que están sometidas a corrosión y que requieren cierta resistencia mecánica.

- Aspas de turbinas (Tipo 403).
- Revestimiento de asientos para válvulas.
- Carcazas de bombas.
- Cuerpos de válvulas y compresores.
- Cuchillería, Hojas de afeitar e instrumentos quirúrgicos (Tipos 420 y 431).
- Ejes, husos y pernos.

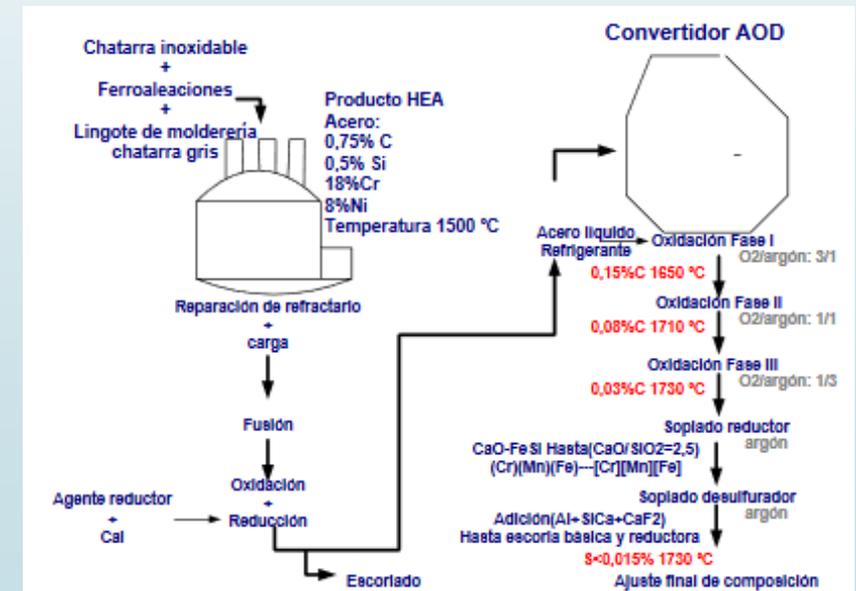


Métodos de producción de aceros inoxidables

- **Métodos tradicionales:** Se refieren esencialmente al uso del horno eléctrico, tanto de arco como de inducción
- **Métodos actuales o modernos:**
 - ❖ Procesos al vacío,
 - ❖ Proceso de convertidos argón-oxígeno (AOD)
 - ❖ Proceso convertidor CLU (Creusot-Loire/Uddeholm).

Proceso AOD

- ✓ El proceso de descarbonación al argón-oxígeno (AOD según sus siglas en inglés) es un proceso de refinado asociado a la producción de acero inoxidable.
- ✓ La mayor parte del acero inoxidable se produce primero en un horno de arco eléctrico y a continuación se transfiere a un horno de cuchara para refinado; de esta forma se consigue el contenido metalúrgico preciso que se requiere, un proceso denominado metalurgia secundaria y refinado secundario.
- ✓ En el proceso AOD se introduce una mezcla de argón y oxígeno en el acero fundido en el horno de cuchara. El oxígeno oxida el carbono no deseado en el acero fundido; el argón se incorpora a la mezcla para evitar la oxidación del cromo, un material esencial y costoso que contiene todos los aceros inoxidables y que es propenso a la oxidación y que de otro modo se perdería.



PROCESO AOD PARA FABRICACIÓN DE ACERO INOXIDABLE