

El contenido de este manual es parte del programa denominado *Técnico especializado en acero inoxidable*, el cual está basado en la información, recomendaciones y datos que fueron compilados, revisados y aprobados por el Centro Nacional para el Desarrollo del Acero Inoxidable (CENDI).

En el CENDI consideramos que el uso de esta guía hará posible que usted esté mejor preparado para continuar con el programa de capacitación en acero inoxidable. En caso de alguna duda o comentario acerca de este manual o del programa completo, puede usted contactarnos y con gusto le atenderemos.

CENTRO NACIONAL PARA EL DESARROLLO DEL ACERO INOXIDABLE, A.C.

Declaración de responsabilidad

El contenido de este manual, incluyendo datos técnicos y metalúrgicos, figuras, tablas, dibujos, procedimientos sugeridos y especificaciones, fue recopilado de diversas fuentes únicamente como información general. Al respecto, destaca el libro *Stainless Steels*, de J.R. Davis, del cual se seleccionó gran parte de la información.

El autor, el editor, las instituciones patrocinadoras y los miembros del Centro Nacional para el Desarrollo del Acero Inoxidable no asumen ningún tipo de responsabilidad sobre la aplicación de este manual sin la asesoría profesional de tipo específico.

Fotografías de portada, cortesía de:

Jarras, TKSL. *Tarja*, eb técnica mexicana. *Fundición*, TKSL. *Soldadura*, Böhler Thyssen. *Perfiles tubulares*, Fischer Mexicana. *Rollos de acero inoxidable*, ThyssenKrupp Mexinox.

1. Fundamentos	
¿Qué es el acero inoxidable?	2
Desarrollo histórico	2
2. Conocimiento básico del proceso de producción	3
Laminación en frío	3
3. Clasificación de los aceros inoxidables	3
Familias de aceros inoxidables	3
Cómo se designan los aceros inoxidables	4
Aleaciones	4
4. Clases de acero inoxidable	5
Aceros inoxidables martensíticos	6
Aceros inoxidables ferríticos	7
Aceros inoxidables austeníticos	8
Aceros inoxidables dúplex	10
Aceros inoxidables endurecibles por precipitación	10

1. Clase I Grupo Martensítico	10
Tipo 403, 410, 416, 416Se, 420, 420F, 422, 431, 440 A, B y C	
2. Clase II Grupo Ferrítico	12
Tipo 405, 409, 430, 430F, 430F Se, 434, 436, 439, 442, 444, 446	
3. Clase III Grupo Austenítico	14
Tipo 301, 303, 304, 304L, 305, 309, 309S, 310, 310S 316, 316L, 317, 317L, 321, 330, 347	
4. Clase IV Aleaciones Dúplex	16
Tipo 2205	
5. Clase V Aleaciones endurecibles por precipitación	16
Tipo 17-4 PH, 15-5 PH, 17-7 PH, 15-7 MO	

Clasificación de los aceros inoxidable

Fundamentos

¿Qué es el acero inoxidable?

La mayoría de los metales se oxidan, por ejemplo, la plata (**Ag**) se pone negra, el aluminio (**Al**) cambia a blanco, el cobre (**Cu**) cambia a verde y, ordinariamente, el acero cambia a rojo. En el caso del acero, el hierro (**Fe**) presente se combina con el oxígeno del aire para formar óxidos de hierro o "herrumbre".

A principios del siglo XX algunos metalurgistas descubrieron que adicionando poco más de 10% de cromo (**Cr**) al acero, éste no presentaba "herrumbre" bajo condiciones normales; la razón de ello es que el cromo suele unirse primeramente con el oxígeno para formar una delgada película transparente de óxido de cromo sobre la superficie del acero y excluye la oxidación adicional del acero inoxidable. En caso de que ocurra daño mecánico o químico, esta película es auto-reparable en presencia de oxígeno (ver figura 1).

El acero inoxidable es esencialmente un acero de bajo carbono, el cual contiene un mínimo de aproximadamente 10% de cromo en peso.

Éste es, pues, uno de los mayores adelantos tecnológicos en la historia de la metalurgia: el descubrimiento del verdaderamente limpio acero inoxidable.

Desarrollo histórico

Dentro de la siderurgia, la historia del acero inoxidable es relativamente corta y de hecho está en desarrollo continuo. Actualmente se encuentra en una etapa en la que los nuevos materiales deben vencer la resistencia de los patrones de compra existentes. En teoría, sólo unos pocos, los innovadores, lo compran y lo utilizan.

La paternidad y fecha de aparición del acero inoxidable son muy distintas y dieron lugar a célebres procesos, sin embargo parece ser que su aparición en la industria se realizó simultáneamente en diversos países.

En 1913, Brearley reveló en Inglaterra la buena resistencia a la corrosión de los aceros que contenían del 9 al 16% de cromo, patentando esta aleación en Canadá y Estados Unidos.

Casi simultáneamente, en los Estados Unidos Elwool Haynes, quien había estudiado las aleaciones cobalto-cromo y cobalto-cromo-tungsteno, mencionaba la notable resistencia a la corrosión, incluso después de la adición de hierro, pero a condición de que los aceros contengan en su composición, al menos, 10% de cromo y 5% de cobalto.

Figura 1. Película de óxido de cromo.



El oxígeno del medio forma una película protectora de óxido de cromo sobre la superficie del acero inoxidable.





Asimismo, en una memoria publicada en 1914 en Alemania, Strauss y Maurer señalaron las propiedades de resistencia a la herrumbre y a los ácidos, de aquellos aceros que contenían una cantidad considerable de cromo y níquel (**Ni**).

En 1917 se patentaron en Francia los aceros que contenían del 10 al 15% de cromo y 20 al 40% de níquel, como resultado de los trabajos realizados por Cheverd.

No obstante que las patentes datan de 1912, fue después de la Primera Guerra Mundial, —alrededor de 1920—, cuando se publicó un trabajo detallado y se lanzaron los aceros al mercado.

Con las innovaciones técnicas desarrolladas después de la Segunda Guerra Mundial, se introdujeron los procedimientos técnicos de aceleración al oxiconvertidor, el laminador Sendzimir continuo, el tren planetario para la laminación en caliente, la colada continua, etc., lo que ocasionó un notable incremento de la producción con el consiguiente abaratamiento de los costos de producción y, por ende, un precio más comercial en el mercado.

Conocimiento básico del proceso de producción

El proceso de fabricación inicia con la fusión de hierro, chatarra y ferroaleaciones de acuerdo al grado de acero inoxidable a preparar; continúa con la refinación del acero para eliminar impurezas y reducir el contenido de carbono; posteriormente el acero líquido se cuela en continuo, se corta en planchones y se forman los rollos rodados en caliente. El proceso finaliza con el molino de laminación en frío, recocido y limpieza.

Laminación en frío

Los rollos de acero inoxidable rodados en caliente se usan como materia prima para el proceso de laminación en frío. Este proceso consta de cuatro etapas que son: recocido y decapado de la materia

prima, molinos de laminación en frío, línea de recocido y limpieza final, y por último la estación de acabado superficial.

El molino de laminación en frío reduce el espesor sin calentamiento previo de la lámina que se adelgaza. Actualmente, el tipo de molino más utilizado es el tipo sendzimir, el cual consiste en un molino reversible con monoblock rígido y veinte rodillos de soporte. Las características de laminación en este tipo de equipo son su excelente planicidad y la precisión en el espesor.

Después de los molinos sendzimir el material debe ser recocido ya que el trabajado en frío durante el rolado causa endurecimiento, por lo que, a fin de “ablandar” nuevamente el material, éste se somete a un tratamiento térmico. Este proceso consiste en la aplicación de calor a las bobinas de acero inoxidable durante un tiempo específico hasta que se logra un calentamiento uniforme a una determinada temperatura, donde la estructura cristalina regresa a su forma natural, previa al rolado en frío.

Después del recocido, las bobinas de acero inoxidable pasan a la etapa de limpieza que usualmente consiste en una serie de baños electrolíticos y de mezcla de ácidos; posteriormente los rollos están listos para su acabado final, el cual puede ser opaco, brillante, pulido con abrasivos, o bien con una textura impresa.

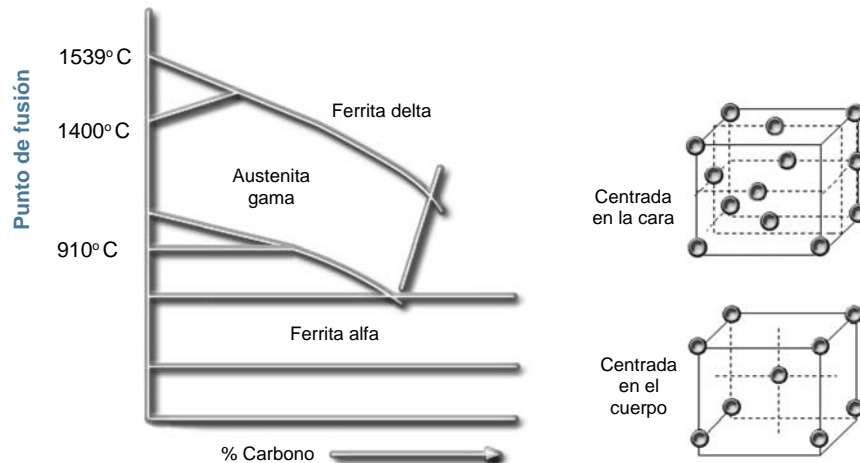
Clasificación de los aceros inoxidables

Familias de aceros inoxidables

Existen varios grupos o familias de aceros inoxidables, y cada uno contiene un número específico de tipos con características distintas. Con objeto de entender la nomenclatura, es necesario establecer que la estructura interna de los metales está compuesta de un arreglo entre los átomos que forma una red espacial y que para su estudio se ha llamado estructura cristalina. Considere el diagrama simplificado de fases del sistema binario hierro-carbono (ver figura 2).

El hierro existe en tres formas cristalinas que son: alfa, gama y delta en diferentes y específicas temperaturas, desde la temperatura ambiente y hasta el punto

Figura 2. Diagrama simplificado de fases del sistema binario hierro-carbono.



de fusión. Los límites específicos que definen estas formas alotrópicas varían con el contenido de carbono, y las estructuras cristalinas varían de acuerdo con su capacidad para disolver el carbono.

Ferrita es el cristal centrado en el cuerpo con una capacidad muy limitada de disolver carbono; austenita es la forma gama (γ -austenita) y es un cristal centrado en la cara con alta capacidad de disolver carbono. Ferrita cambia a austenita a temperaturas que disminuyen desde 910°C conjuntamente con el incremento de carbono y el enfriamiento lento permite un gradual y ordenado regreso a ferrita. Sin embargo cuando la aleación **Fe-C** es enfriada rápidamente, el carbono queda fuera de la solución y produce una estructura acicular llamada martensita, la cual es muy dura. Estos tres términos —martensita, ferrita y austenita— son también las descripciones de las tres principales familias de aceros inoxidables.

Cómo se designan los aceros inoxidables

En el pasado, las designaciones de los aceros inoxidables se formularon bajo los lineamientos de Ameri-

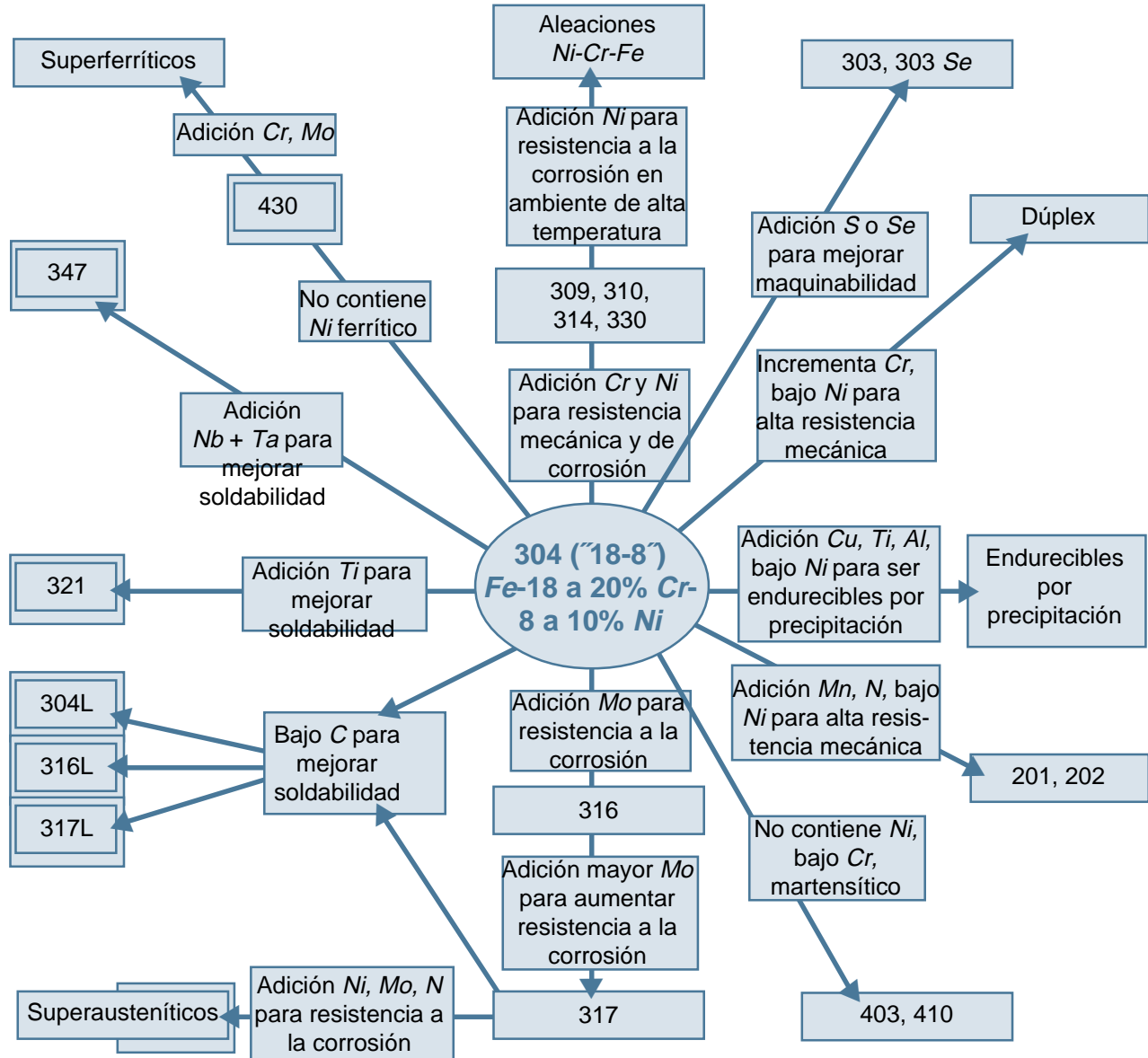
can Iron and Steel Institute (AISI). Recientemente, cuando la AISI fue reemplazada por el Specialty Steel Institute of North America (SSINA), esas designaciones fueron substituidas por el código UNS (Unified Numbering System) formulado conjuntamente por la Society of Automotive Engineers (SAE) y por American Society for Testing and Materials (ASTM).

Aleaciones

Debido a que los metales puros presentan propiedades mecánicas pobres, rara vez tienen aplicaciones industriales, sin embargo se ha desarrollado una gama muy amplia de aleaciones con propiedades específicas, adecuadas para aplicaciones industriales particulares. En términos generales, las aleaciones son mezclas de un metal base, el cual está presente en mayor proporción y otro u otros elementos (metálicos o no metálicos), mismos que influyen en las propiedades de la aleación (ver figura 3).



Figura 3. Relaciones de composición y propiedades de los aceros inoxidables.



Ni-Níquel Cr-Cromo Fe-Fierro Se-Selenio Nb-Niobio Ta-Tantalio Cu-Cobre S-Azufre Ti-Titanio Al-Aluminio C-Carbono Mo-Molibdeno Mn-Manganeso N-Nitrógeno.

Clases de acero inoxidable

El acero inoxidable puede ser clasificado en cinco diferentes familias; cuatro de éstas corresponden a las particulares estructuras cristalinas formadas en la aleación: austenita, ferrita, martensita, y dúplex (austenita más ferrita); mientras que la quinta familia son las aleaciones endurecidas por precipitación, que están basadas más en el tipo de tratamiento térmico usado que en la estructura cristalina. (Ver tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de los aceros inoxidables.

Clase	Clasificación AISI	Ejemplos de especificaciones
I Martensíticos	SERIE	410, 420, 431
II Ferríticos	400	409, 430, 434
III Austeníticos	SERIES 200 y 300	304, 304L, 321, 316
IV Dúplex	Se usa el nombre comercial	329, 2205
V Endurecibles por precipitación		17-4 PH, 15-5 PH 17-7 PH, 15-7 MO

Aceros inoxidables martensíticos

Metalurgia básica

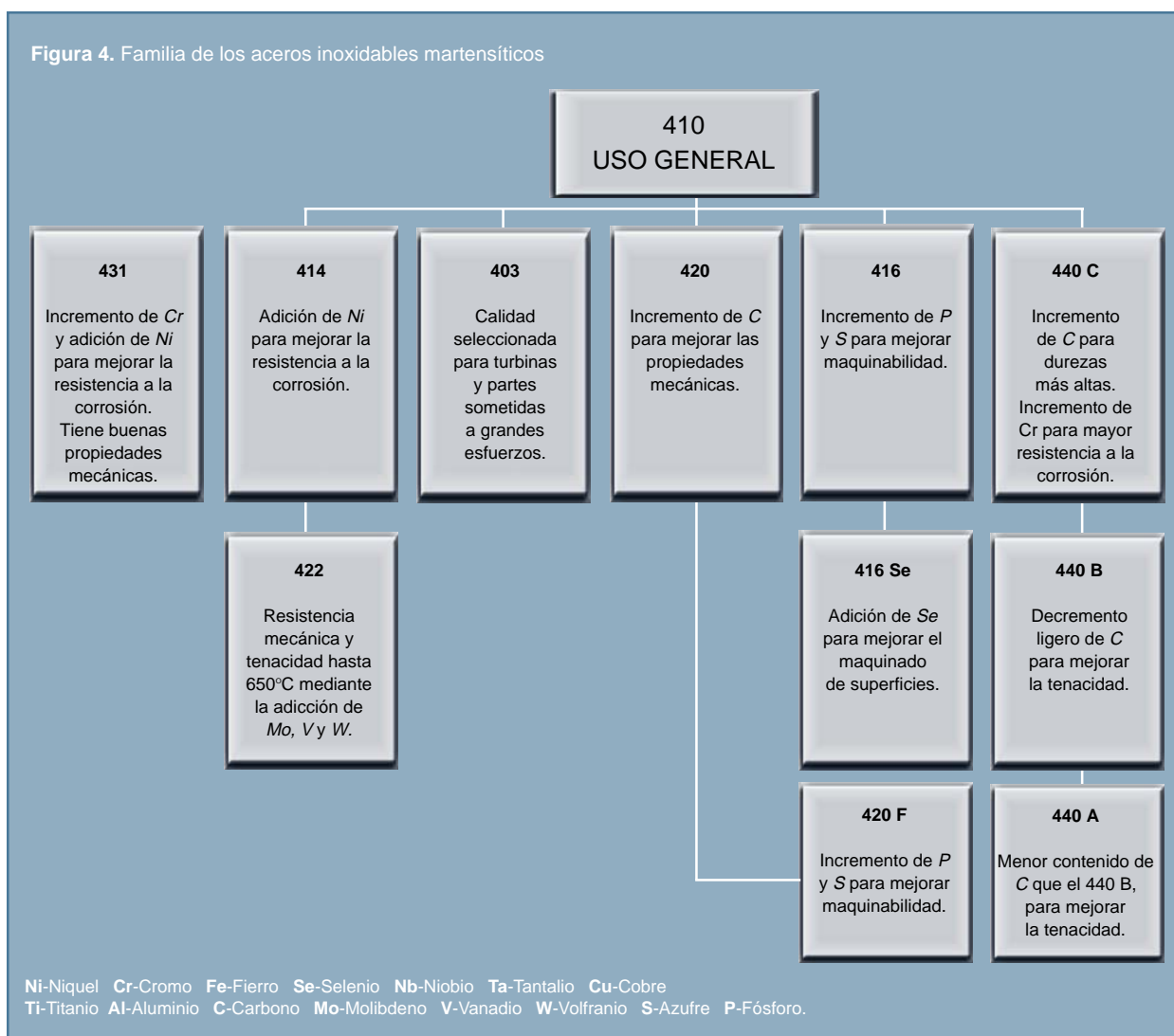
Los aceros inoxidables martensíticos son la primera rama de los aceros inoxidables simplemente al cromo. Fueron los primeros que se desarrollaron industrialmente y representan una porción de la serie 400 AISI.

Sus características son las siguientes:

- Moderada resistencia a la corrosión
- Son endurecibles por tratamiento térmico y por lo tanto se pueden desarrollar altos niveles de resistencia mecánica y dureza.
- Son magnéticos.
- Debido al alto contenido de carbono y a la naturaleza de su dureza, es de pobre soldabilidad.
- Después de ser tratados para endurecimiento, generalmente son utilizados en procesos de maquinado y formado en frío.

Los aceros inoxidables martensíticos son esencialmente aleaciones de cromo y carbono cuya principal característica es su habilidad para aumentar su resistencia mecánica y dureza mediante tratamiento térmico que produce martensita. La configuración metalográfica martensítica posee estructura cristalina tetragonal centrada en el cuerpo (bct). El contenido de cromo es generalmente en el rango de 10.5 a 18% y el de carbono es alto, alcanzando valores de hasta 1.2%. El contenido de **Cr** y **C** está balanceado para asegurar la formación de la estructura martensítica durante el tratamiento térmico.

Figura 4. Familia de los aceros inoxidables martensíticos



Aceros inoxidable ferríticos

Estos aceros inoxidable de la serie 400 AISI mantienen su estructura ferrítica estable desde la temperatura ambiente hasta el punto de fusión.

Sus características son las siguientes:

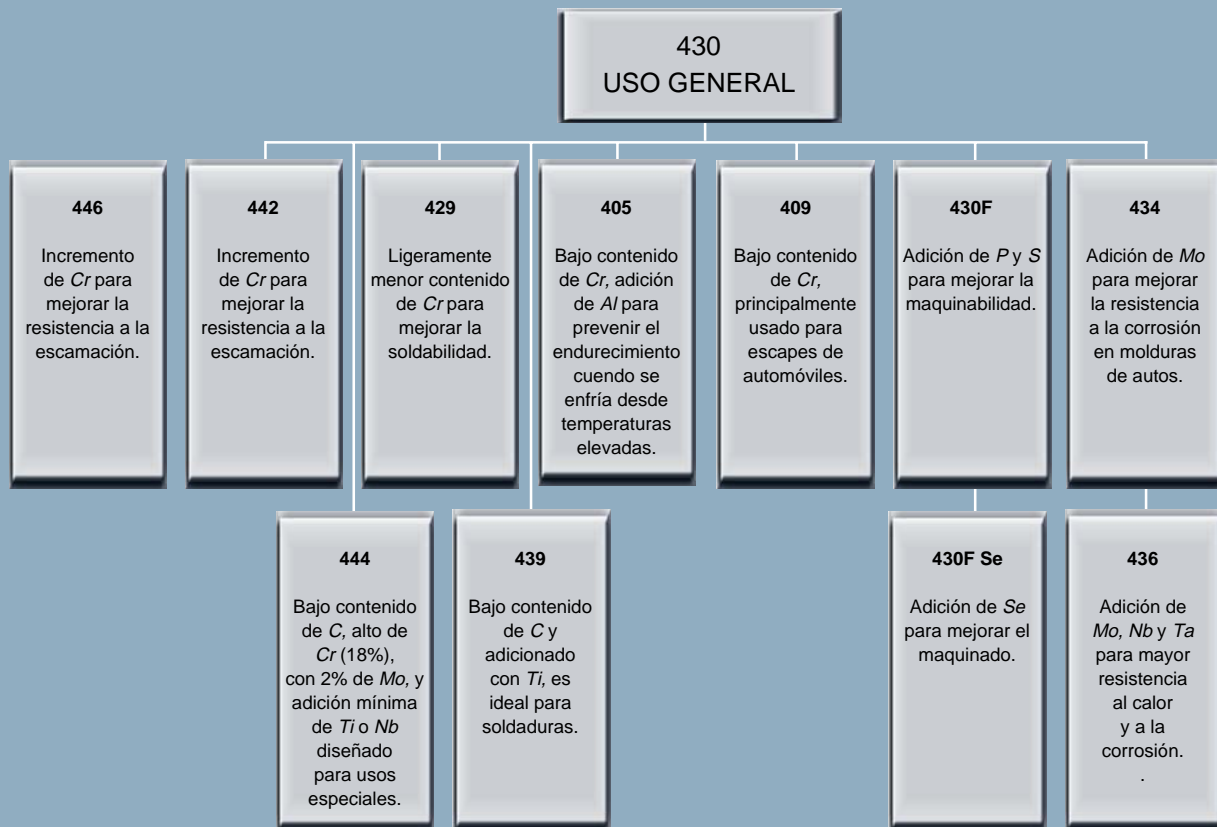
- Resistencia a la corrosión de moderada a buena, la cual se incrementa con el contenido de cromo y en algunas aleaciones de molibdeno.
- Endurecidos moderadamente por trabajo en frío; no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico.
- Las aleaciones ferríticas son magnéticas.
- Su soldabilidad es pobre por lo que generalmente se limitan las uniones por soldadura a calibres delgados.
- Usualmente se les aplica un tratamiento de recocido con lo que obtienen mayor suavidad, ductilidad y resistencia a la corrosión

- Debido a su pobre dureza, el uso se limita generalmente a procesos de formado en frío.

Metalurgia básica

Como su nombre lo indica tienen una configuración metalográfica ferrítica con la estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo (bcc) que se mantiene estable desde la temperatura ambiente hasta el punto de fusión. El cromo inhibe la formación de austenita y promueve la formación de ferrita. Estos aceros son esencialmente aleaciones con cromo, cuyo contenido es usualmente del rango de 10.5 a 30%, pero contenidos limitados de carbono del orden de 0.08% en relación con los martensíticos. Algunos grados pueden contener molibdeno, silicio, aluminio, titanio y niobio que promueven diferentes características.

Figura 5. Familia de los aceros inoxidable ferríticos.



Cr-Cromo Fe-Fierro Se-Selenio Nb-Niobio Ta-Tantalio S-Azufre
Ti-Titanio Al-Aluminio C-Carbono Mo-Molibdeno P-Fósforo.

Aceros inoxidable austeníticos

Los aceros inoxidable austeníticos constituyen la familia con el mayor número de aleaciones disponibles, integra las series 200 y 300 AISI. Su popularidad se debe a su excelente formabilidad y superior resistencia a la corrosión.

Sus características son las siguientes:

- Excelente resistencia a la corrosión.
- Endurecidos por trabajo en frío y no por tratamiento térmico.
- Excelente soldabilidad.
- Excelente factor de higiene y limpieza.
- Formado sencillo y de fácil transformación.
- Tienen la habilidad de ser funcionales en temperaturas extremas, bajas temperaturas (criogénicas) previniendo la fragilización, y altas temperaturas (hasta 925°C).
- Son esencialmente no magnéticos. Pueden ser magnéticos después de que son tratados en frío. El grado de magnetismo que desarrollan después del trabajo en frío depende del tipo de aleación de que se trate.

Metalurgia básica

Como su nombre lo indica, tienen configuración metalográfica austenítica. Esta estructura cristalina es cúbica centrada en las caras (fcc).

Esta familia de aceros se obtiene adicionando elementos formadores de austenita, tales como níquel, manganeso y nitrógeno.

El contenido de cromo generalmente varía del 16 al 26% y su contenido de carbono se mantiene siempre muy bajo, en el rango de 0.03 a 0.08%.

El cromo proporciona una resistencia a la oxidación y a la corrosión hasta temperaturas aproximadas de 650°C en una variedad de ambientes. El níquel, y en menor extensión el manganeso, se adiciona a estos aceros para estabilizar la fase austenítica en un amplio rango de temperaturas y evitar así su transformación

en martensita cuando son enfriados rápidamente a temperatura ambiente.

Los aceros austeníticos se dividen en dos categorías:

Serie 300 AISI. Aleaciones cromo-níquel.

Serie 200 AISI. Aleaciones cromo-manganeso-nitrógeno.

Serie 300 AISI

Es la más extensa y son aleaciones **Cr-Ni**. El níquel es un elemento estabilizador o formador sustitucional de austenita, y se emplea con este propósito en un porcentaje de 4 a 37%. La serie 300 AISI mantiene alto contenido de níquel y hasta 2% de manganeso. También pueden contener molibdeno, cobre, silicio, aluminio, titanio y niobio, elementos que son utilizados para conferir ciertas características, como podría ser el prevenir en las estructuras soldadas la corrosión en la región cercana a la soldadura. En ciertos tipos se usa azufre o selenio para mejorar su habilidad de ser maquinados.

Serie 200 AISI

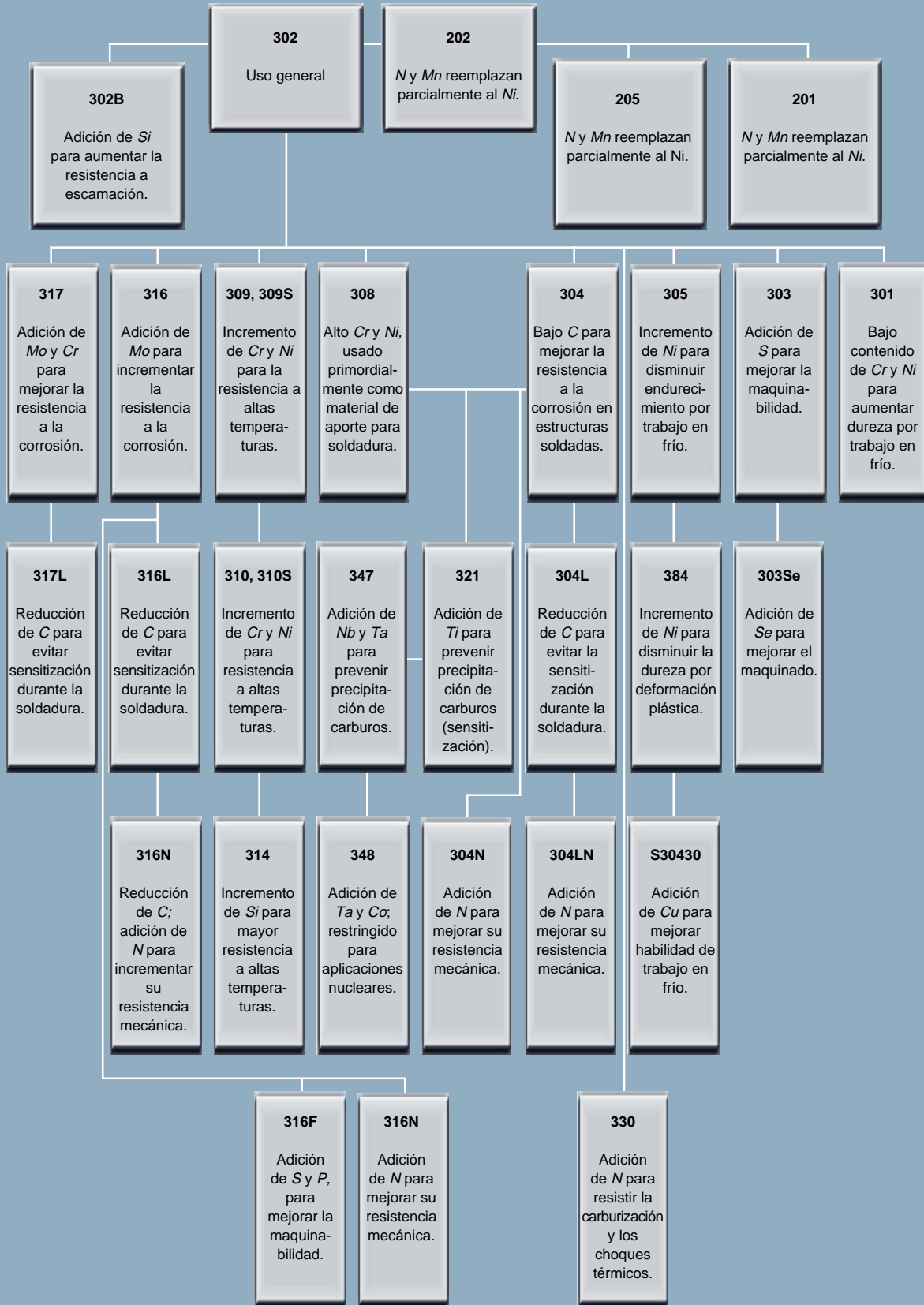
Son aleaciones **Cr-Mn-N** y representan la más reciente adición a la familia austenítica. Contienen menor cantidad de níquel —hasta 7%— y mantienen la estructura austenítica con altos niveles de nitrógeno. El manganeso de 5 a 20% es necesario en estas aleaciones bajas en níquel para aumentar la solubilidad del nitrógeno en la configuración austenítica, además de prevenir la transformación a martensita.

La adición de nitrógeno también incrementa la resistencia mecánica.





Figura 6. Familia de los aceros inoxidable austeníticos.



Ni - Níquel Cr-Cromo Mn-Manganeso Si-Silicio Nb-Niobio Ta-Tantalio Cu-Cobre
Ti-Titanio N-Nitrógeno C-Carbono Mo-Molibdeno S-Azufre Se-Selenio Co-Cobalto P-Fósforo.

Aceros inoxidable dúplex

Los aceros inoxidable dúplex son los de más reciente desarrollo; son aleaciones cromo-níquel-molibdeno que forman una mezcla de cantidades aproximadamente iguales de austenita y ferrita.

Sus características son las siguientes:

- Son magnéticos.
- No pueden ser endurecidos por tratamiento térmico.
- Buena soldabilidad.
- La estructura dúplex mejora la resistencia a la corrosión de fractura bajo tensión en ambientes con iones de cloruro.

Metalurgia básica

Los aceros inoxidable dúplex presentan dos fases: dispersión de austenita fcc en una matriz de ferrita bcc. La cantidad exacta de cada fase está en función de la composición y el tratamiento térmico. Los principales elementos de aleación son cromo y níquel, sin embargo la cantidad de níquel es insuficiente para desarrollar completamente la estructura cristalina austenítica. El contenido de cromo varía del 18 al 26%, y el contenido de níquel de 4.5 a 6.5%. La adición de elementos como nitrógeno, molibdeno, cobre, silicio, y tungsteno permite controlar el balance en la configuración metalográfica, así como impartir ciertas características de resistencia a la corrosión.

Aceros inoxidable endurecibles por precipitación

Este tipo de aceros inoxidable se desarrolló a escala industrial después de la Segunda Guerra Mundial, como una alternativa para elevar las características de resistencia mecánica mediante tratamientos térmicos de envejecimiento. Estos aceros se denominan “endurecibles por precipitación” o PH (precipitation hardening) y ofrecen una alternativa a los aceros inoxidable austeníticos cuando se desee asociar elevadas características mecánicas y de maquinabilidad.

Metalurgia básica

Los aceros inoxidable endurecibles por precipitación son aleaciones hierro-cromo-níquel que se caracterizan por la resistencia mecánica obtenida a partir del endurecimiento por tratamiento térmico de envejecimiento. Estos grados se pueden clasificar en función de su estructura en estado de recocido y del comportamiento resultante tras el tratamiento de envejecimiento, como austeníticos, semi-austeníticos o martensíticos.

Los aceros endurecibles por precipitación están patentados y frecuentemente se les designa con las siglas de la empresa productora.

Características de los aceros inoxidable

CLASE I - Grupo Martensítico

403

Grado de especial calidad usado principalmente en turbinas de vapor y gas. Es similar al tipo 410, por lo que algunas veces se le llama “410, calidad turbina”. Tiene propiedades metalúrgicas más cuidadosamente controladas durante la fundición y hasta el acabado final, que el tipo regular 410. Los procedimientos de

tratamientos térmicos para el tipo 410 también aplican para el 403.

El tipo 403 es primariamente empleado en partes críticas de maquinaria sometida a altos esfuerzos y donde se requiere, además, buena resistencia al calor, corrosión, desgaste abrasivo o erosión.

410

Aleación base para el grupo. Es de propósito general y el tipo más usado de la clase martensítica.





Tiene un coeficiente de expansión poco menor que el del acero al carbono, mientras que la conductividad térmica es casi la mitad del correspondiente valor para el acero al carbono. Asimismo, puede desarrollar una excelente combinación de resistencia mecánica y dureza mediante un adecuado tratamiento térmico.

Donde el esfuerzo mecánico es importante, deberá tenerse cuidado de no mantener la temperatura en el rango de 400° a 600° C, ya que en este rango de temperatura toda la serie 400 presenta una menor dureza.

En la condición de recocido, el tipo 410 es dúctil y es una buena opción para formado y otras operaciones de transformación donde el uso final está destinado a los ambientes moderadamente corrosivos. El tipo 410 puede ser soldado y se recomienda un tratamiento de recocido post-soldadura.

Este tipo es ampliamente utilizado debido a sus atractivas propiedades y a su relativo bajo costo. El rango de las

propiedades mecánicas es similar a los de aceros al carbono tipo SAE 4130, con el beneficio adicional de que cuenta con buena resistencia a la corrosión.

416, 416Se

Otra versión del tipo 410, donde el azufre (tipo 416) o el selenio (tipo 416Se) son adicionados para producir las mejores características de maquinabilidad de la clase martensítica. Tienen propiedades mecánicas y físicas similares al tipo 410, excepto por algún decremento en la ductilidad y formabilidad. La resistencia a la corrosión es ligeramente disminuida debido a la adición de azufre o selenio.

Este tipo es ampliamente utilizado donde se requieren propiedades mecánicas con buenas cualidades de maquinado.

Tabla 2. Aplicaciones más comunes de los grados martensíticos.

Grados		Aplicaciones más comunes
Tipo AISI	Número UNS	
403	(S40300)	Tubos de Bourdon, partes críticas de maquinaria a alta temperatura, partes de motores jet, partes de turbinas de gas o vapor.
410	(S41000)	Tuercas y tornillos, bushings, cubiertos, herramientas de cocina, partes de horno a bajas temperaturas, equipo para refinación del petróleo, partes para bombas, válvulas, partes para turbinas a gas o vapor, vajillas, pernos, partes micrométricas.
414	(S41400)	Equipo para minas, tijeras, láminas calibradoras, flechas, remaches, brocas, asientos para válvulas.
416	(S41600)	Conectores, cerraduras, tuercas y tornillos, cabezas de palos de golf, partes de bombas, flechas, partes para válvulas.
416Se	(S41623)	Adición de Se para mejorar el maquinado.
420	(S42000)	Bushings, cubiertos, instrumentos dentales y quirúrgicos, anzuelos, engranes, hojas de cuchillos, moldes, partes de bombas, herramientas, partes para válvulas, llaves.
420F	(S42020)	Incremento de <i>P</i> y <i>S</i> para mejorar maquinabilidad.
422	(S42200)	Resistencia mecánica y tenacidad hasta 650°C mediante la adición de <i>Mo</i> , <i>V</i> , y <i>W</i> .
431	(S43100)	Conectores, cerraduras, partes para transportadores, equipo marino, flechas de propelas, flechas de bombas, resortes, partes para válvulas.
440A	(S44002)	Cuchillería.
440B	(S44003)	Cuchillería, partes para válvulas, partes resistentes al secado.
440C	(S44004)	Inyectores, partes para válvulas, equipo quirúrgico, partes resistentes al desgaste, cubiertos.

420, 420F

Es una modificación del tipo 410, con alto contenido de carbono que le permite alcanzar mayor dureza y mejor resistencia al desgaste.

El tipo 420 presenta mejor resistencia a la corrosión después del tratamiento térmico, y normalmente no se recomienda en ambientes superiores a 370°C. En caso de soldar, es necesario precalentar y finalmente someter a recocido post-soldadura.

El tipo 420F es una variante del tipo 420 que se adiciona con azufre o selenio para mejorar sus cualidades de maquinado; tiene propiedades similares al 420 con la excepción de una ligera disminución de la resistencia a la corrosión.

422

Diseñado para el servicio a temperaturas de hasta 650°C, combinando resistencia mecánica; es magnético en todas las condiciones y presenta maquinabilidad de mediana a baja.

431

Contiene altas adiciones de cromo y níquel y está diseñado para obtener altas propiedades mecánicas mediante tratamiento térmico junto con buena resistencia al impacto. Este tipo ofrece mejor resistencia a la corrosión que los tipos 410, 420, 430 (ferrítico) y 440.

El tipo 431 es frecuentemente utilizado en partes con mayor esfuerzo mecánico y una necesaria alta resistencia a la corrosión.

440A, 440B y 440C

Son aleaciones con alto contenido de carbono que se usan donde se requiere una alta y extremada dureza, resistencia a la abrasión y buena resistencia a la corrosión. Los tres tipos son magnéticos y de baja maquinabilidad.

CLASE II - Grupo Ferrítico

405

Presenta características parecidas a las del tipo martensítico 410, además de que puede ser maquinado y fácilmente formado.

El tipo 405 es una aleación ferrítica y no puede ser endurecida apreciablemente por tratamiento térmico.

Tiene la característica de poder ser enfriado desde elevadas temperaturas sin conseguir un apreciable aumento de dureza; la adición de aluminio en su composición química limita el endurecimiento, motivo por el cual se puede soldar sin necesidad del subsecuente recocido. También se le conoce como el grado soldable del tipo 410.

409

Es la aleación con el menor contenido de cromo de toda la serie 400. Es un acero estructural de uso general, se conserva ferrítico a temperaturas mayores al punto de fusión. Su resistencia a la corrosión es menor que la del tipo 430 debido al menor contenido de cromo. Es utilizado en aplicaciones en las que no se requiere alta calidad de apariencia.

Este grado no es endurecible por tratamiento térmico, sus propiedades mecánicas son parecidas a las del tipo 410 con excepción de un ligero incremento en la propiedad de elongación. El tipo 409 puede ser usado para reemplazar el acero al carbono pintado, o bien algunos aceros poco aleados donde se requiere moderada temperatura o resistencia a la corrosión.

430, 430F, 430F Se

El tipo 430 es, por mucho, el más popular de los aceros inoxidable simplemente al cromo, y es la aleación base del grupo ferrítico. Es un acero de propósito general que no puede ser endurecido por tratamiento térmico; su tendencia al endurecimiento por trabajo en frío es mucho menor que la de la serie 300, es decir, los aceros inoxidable al níquel.

El tipo 430 es dúctil y tiene buenas características de formabilidad. Debido a su alto contenido de cromo posee buena resistencia a la corrosión, aunque menor a la de aceros inoxidable al níquel, sin embargo es apropiado para muebles y decoración interior.

El tipo 430 tiende a perder ductilidad debido a cambios estructurales que suceden cuando se lleva el metal por arriba de 900°C, razón por la cual



**Tabla 3.** Aplicaciones más comunes de los grados ferríticos.

Grados		Aplicaciones más comunes
Tipo AISI	Número UNS	
405	(S40500)	Tubing para intercambiadores de calor, partes resistentes al calor, equipo para refinación del petróleo, racks para templado de acero.
409	(S40900)	Silenciadores y convertidores catalíticos para automóviles, cajas de trailer, tanques de fertilizantes, contenedores.
429	(S42900)	Ligeramente menor contenido de <i>Cr</i> para mejorar la soldabilidad.
430	(S43000)	Adornos y molduras automotrices, materiales de construcción, equipo químico de proceso, cremalleras, partes para quemadores, intercambiadores de calor, adornos interiores arquitectónicos y paneles, adornos y equipo de cocinas, equipo para proceso de ácido nítrico, equipo para refinación de petróleo, tubos de protección de pirómetros, aparatos científicos, recipientes de almacenamiento, tubing.
430F	(S43020)	Cerraduras, tuercas y tornillos, conectores, partes para quemadores, equipo para refinación del petróleo, flechas de bombas, partes de válvulas.
430F Se	(S43023)	Adición de Se para mejorar el maquinado.
434	(S43400)	El uso de este tipo es generalmente en el área de adornos y molduras automotrices donde es importante tener una buena resistencia a la corrosión.
436	(S43600)	Usado generalmente en el área de molduras automotrices donde es importante su mejorada resistencia a la corrosión.
439	(S43035)	Bajo contenido de <i>C</i> y adicionado con <i>Ti</i> , es ideal para soldadura, también se usa en forma de alambre para cubiertas de rines de automóvil, así como en tanques de agua caliente.
442	(S44200)	Partes para quemadores, intercambiadores de calor, válvulas y conectores, bases para tubos de rayos-X.
444	(S44400)	Bajo contenido de <i>C</i> , alto de <i>Cr</i> (18%), con 2% de <i>Mo</i> , y adición mínima de <i>Ti</i> o <i>Nb</i> , diseñado para usos especiales.
446	(S44600)	Partes para quemadores, intercambiadores de calor, silenciadores tubos para pirómetros, válvulas y conectores, bases para tubos de rayos-X.

no se utiliza normalmente para aplicaciones con soldadura, sin embargo dichas soldaduras pueden ser adecuadas bajo condiciones de servicio moderadas en las que no se requiera alta resistencia a la fatiga.

Los tipos 430F y 430F Se, son modificaciones para maquinado del tipo base 430, tienen propiedades similares al 430 pero con menor resistencia a la corrosión debido a la adición de azufre (430F) o selenio (430F Se). No son endurecibles por tratamiento térmico.

434

Es una variación del tipo 430 que contiene molibdeno y niobio que incrementan la resistencia a la corrosión. Este grado es particularmente ventajoso para usos automotrices exteriores donde una adicional resistencia a la corrosión es importante.

El tipo 434 es un grado ferrítico y es completamente magnético en todas las condiciones.

436

Es otra variación del tipo 430, la cual es adicionada con 0.75 a 1.25% de molibdeno y adición de niobio de por lo menos ocho veces el contenido de carbono. El tipo 436 tiene una resistencia mayor a la corrosión que el tipo 434, además de que posee mejores características para ser trefilado, lo que también beneficia la apariencia superficial de productos embutidos y otros componentes formados.

439

Es una aleación de bajo carbono que contiene de 17 a 19% de cromo y un alto contenido de titanio en relación con el carbono. Es ideal para soldar y se utiliza en cantidades considerables para cubiertas de rines de automóviles, así como en tanques de agua caliente, entre otros.

442

Tiene excelente resistencia a la corrosión intermedia entre los tipos 430 y 446, es de tipo ferrítico no endurecible y puede resistir temperaturas de hasta 1000°C. Es usado en aplicaciones con servicio de alta temperatura.

444

Es una aleación de bajo carbono y alto contenido de cromo (cerca del 18%), con 2% de molibdeno y adiciones mínimas de titanio para estabilización.

Este tipo es usado en áreas específicas.

446

Contiene el máximo contenido de cromo de toda la familia ferrítica, por lo que tiene la mayor resistencia a la corrosión de su clase. El tipo 446 posee excelente resistencia a la corrosión y esencialmente se recomienda para uso en atmósferas de comportamiento azufroso a altas temperaturas. Su uso es posible en altas temperaturas como de 1000°C.

No debe ser usado en aplicaciones donde se requiera alta resistencia mecánica. Los tipos cromo-níquel tales como 309 o 310 son preferidos en aplicaciones de alta temperatura donde se requiere resistencia mecánica y al impacto.

El tipo 446 es frecuentemente más empleado en aplicaciones de alta temperatura donde la resistencia estructural no es importante.

CLASE III - Grupo Austenítico**301**

Este grado tiene menor resistencia a la corrosión que otros aceros inoxidable de la serie 300. Puede ser fácilmente formado, pero es más susceptible de endurecimiento por trabajo en frío que otros tipos cromo-níquel.

El tipo 301 ofrece buenas propiedades de soldabilidad y tiene cinco grados diferentes:

- Recocido.
- Endurecimiento de un cuarto.
- Medio endurecido.
- Tres cuartos endurecido.
- Endurecido completo.

303

Fue desarrollado especialmente para propósitos de maquinado, de menor resistencia a la corrosión que el tipo 304. Contiene gran cantidad de azufre, muestra buena resistencia a la oxidación en ambientes de hasta 900°C. Se emplea para cortes pesados.

304, 304L

Comúnmente llamado el acero inoxidable "todo propósito", tiene propiedades adecuadas para gran cantidad de aplicaciones. Se recomienda para construcciones ligeras soldadas en las que el recocido no es práctico o posible, pero que requieren buena resistencia a la corrosión. Otras propiedades del tipo 304 son su servicio satisfactorio a altas temperaturas (800° a 900°C) y buenas propiedades mecánicas.

El tipo 304 contiene bajo carbono con lo que se evita la precipitación de carburos durante periodos prolongados de alta temperatura; tiene un contenido de carbono de 0.08% máximo por lo que se le considera un material satisfactorio para la mayoría de las aplicaciones con soldadura.

El tipo 304L es recomendable cuando se tienen que soldar altos espesores de material (más de 1/4 de pulgada) y la exposición a la temperatura de soldadura es mayor. Este grado contiene 0.03% máximo de carbono.

En las aplicaciones de soldadura donde es posible el recocido, los carburos que se forman pueden ser eliminados por recocido seguido por enfriamiento rápido. El recocido sirve para relevar esfuerzos residuales en el área soldada.

305

Su principal ventaja es que son más económicos y tienen mínima tendencia al endurecimiento por trabajo en frío. Se utiliza para severas operaciones de revenido.

309, 309S

Debido al alto contenido de cromo y níquel, los tipos 309 y 309S poseen alta resistencia mecánica, tenacidad y excelente resistencia a la oxidación de temperaturas de hasta 1000°C aproximadamente.

Estos tipos no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico, no son magnéticos y son utilizados preferentemente en condición de recocido. Pueden





soldarse sin el subsecuente tratamiento térmico.

El tipo 309S es una modificación del 309 y contiene 0.08% máximo de carbono para reducir la tendencia a la precipitación de carburos durante la soldadura o aplicaciones con alta temperatura.

310, 310S

El tipo 310 tiene mayor contenido de níquel que el 309 y es más resistente a la oxidación en altas temperaturas. Es frecuentemente usado en servicios a alta temperatura y como material de aporte en soldadura de aleaciones de bajo contenido de cromo.

El tipo 310S es una variación del tipo 310 que

contiene 0.08% máximo de carbono para reducir la precipitación de carburos durante la soldadura o elevadas temperaturas de uso.

316, 316L

El tipo 316 contiene de 2 a 3% de molibdeno que mejora la resistencia a la corrosión frente a diversos químicos agresivos, ácidos y atmósfera salina. Sus propiedades mecánicas son similares a las del tipo 304.

El tipo 316L contiene menor cantidad de carbono y es preferido en aplicaciones intensivas con soldadura.

Tabla 4. Aplicaciones más comunes de los grados austeníticos.

Grados		Aplicaciones más comunes
Tipo AISI	Número UNS	
301	(S30100)	Partes de aviones, adornos arquitectónicos, cajas de ferrocarril y de trailer, cubiertas de rines, equipo de proceso para alimentos.
303	(S30300)	Conectores, cerraduras, tuercas y tornillos, bushings, cremalleras, partes maquinadas, partes para bombas, flechas.
303Se	(S30323)	Pernos, tornillos, tuercas, accesorios para aviones, remaches.
304	(S30400)	Equipo químico de proceso, equipo de proceso y manejo de alimentos, intercambiadores de calor, equipo para hospitales.
304L	(S30403)	Reducción de C para evitar la sensitización durante la soldadura .
305	(S30500)	Equipo para industria del café, reflectores, partes con calentamiento y enfriamiento continuos.
308	(S30800)	Hornos industriales , usado primordialmente como material de aporte para soldadura.
309	(S30900)	Calentadores de aire, equipo químico de proceso, partes de quemadores,
309S	(S30908)	de turbinas de gas, intercambiadores de calor.
310	(S31000)	Calentadores de aire, equipo para tratamiento térmico de aceros,
310S	(S31008)	equipo químico de proceso.
316	(S31600)	Adornos arquitectónicos, equipo químico de proceso, equipo para el procesamiento de alimentos, farmacéutico, fotográfico, textil, etc.
316L	(S31603)	Reducción de C para evitar sensibilización durante la soldadura.
316LN	(S31651)	Reducción de C; adición de N para incrementar su resistencia mecánica.
317	(S31700)	Tornillos y alambre quirúrgico, equipo farmacéutico, equipo químico de proceso.
317L	(S31703)	Reducción de C para evitar sensibilización durante la soldadura.
321	(S32100)	Equipo químico de proceso, recipientes a presión y de almacenamiento, partes de motores jet.
330	(N08330)	Hornos de recocido, equipo químico de proceso, partes para turbinas de gas e intercambiadores de calor.
347	(S34700)	Equipo para tratamientos térmicos, tanques soldados para el almacenamiento de sustancias químicas orgánicas, juntas de expansión.
348	(S34800)	Tubos soldados y sin costura para servicio a sistemas radioactivos.

317, 317L

El tipo 317 es una modificación del tipo 316 con mayor contenido de cromo, níquel y molibdeno para aumentar la resistencia a la corrosión en aplicaciones químicas especiales; sus propiedades mecánicas son similares al tipo 316.

El tipo 317L es similar al 317 con menor cantidad de carbono, presenta mayor resistencia a la corrosión intergranular después de soldadura o relevado de esfuerzos.

321

Es similar al 304, pero contiene una adición de titanio equivalente a cinco veces el contenido de carbono; el titanio es adicionado para evitar precipitar el carburo de cromo durante la soldadura o exposición a altas temperaturas. La máxima estabilización se consigue con un recocido en el rango de 900 a 1000°C. Frecuentemente es seleccionado en la fabricación de recipientes o estructuras que usan placas de más de 1/4 de pulgada de espesor donde el recocido no es práctico.

Este tipo es principalmente usado en el rango de temperaturas de 400 a 800°C.

330

Es una variación del 304 con alto contenido de níquel, diseñado para aplicaciones de alta temperatura. Esta aleación posee buena resistencia a la escamación y a la oxidación. Sus propiedades mecánicas se conservan a elevadas temperaturas.

347

Es una modificación del tipo 304, está estabilizado con niobio y tantalio y es similar en su composición al 321. El niobio es un efectivo estabilizador que no afecta la resistencia a la corrosión, como lo hace el titanio.

La adición de niobio es deseable cuando el acero inoxidable será usado en equipos que operan en el rango de temperatura de 400 a 800°C, bajo severas condiciones de corrosión o donde es probable ocurra corrosión por fatiga, la cual es resultado de la combinación *tensión repetida* y *corrosión*.

CLASE IV - Aleaciones Dúplex

2205

Representa a una nueva familia de aleaciones de acero inoxidable conocidas como dúplex y son resultado de la adición intencional de nitrógeno. El nitrógeno imparte resistencia a la corrosión, especialmente en zonas soldadas. En muchos ambientes, 2205 tiene mayor resistencia a la corrosión que el 316 o 317 además de ofrecer un rendimiento de casi el doble en cuanto a resistencia mecánica.

El tipo 2205 puede ser formado en frío y también expandido; cuando se trate de áreas mayormente trabajadas deberá ser recocido después del formado.

Esta aleación es resistente a ácidos reductores diluidos y a moderadas concentraciones de ácidos oxidantes. El tipo 2205 tiene superior resistencia a la corrosión por picadura y por cloruros, comparado con los aceros 316 o 317.

El tipo 2205 (UNS S31803) se usa en la construcción de tubos de intercambiadores de calor, en refinerías, industrias químicas e industrias de procesos que utilizan agua como refrigerante.

CLASE V - Aleaciones endurecibles por precipitación

17-4 PH, 15-5 PH

Estos son martensíticos en estado recocido y contienen niobio y cobre. Desarrollan su alta resistencia mecánica y dureza a través de tratamiento térmico que precipita el cobre.

17-7 PH, PH 15-7 MO

Son austeníticos en estado recocido, pero martensíticos en condición endurecida.

La composición del 17-7 PH incluye cromo, níquel y aluminio; el 15-7 MO incluye, además, molibdeno.

