

Parte II

Para el Ingeniero de Materiales

Esta sección es para los Ingenieros que necesitan información adicional con respecto a las aleaciones forjadas y fundidas de acero inoxidable, y cómo se afecta su resistencia a la corrosión por la soldadura y los tratamientos térmicos. También se incluyen guías para la obtención de los materiales y buenas prácticas de almacenamiento.

Aleaciones de acero inoxidable

El acero se hace resistente a la corrosión por el agregado de 11% o más de cromo. El término inoxidable describe la apariencia brillante y no oxidable de estas aleaciones. Los primeros tipos de acero inoxidable fueron hechos solamente con el agregado de cromo (10 - 18%), pero a través de los años se han descubierto un número de diferentes tipos de aleaciones de acero inoxidable y se han categorizado en 5 grupos:

- martensíticos (serie AISI 400*)
- ferríticos (serie AISI 400*)
- austeníticos (serie AISI 300*)
- endurecibles por precipitación
- duplex

* *American Iron and Steel Institute*

Los aceros inoxidables austeníticos son los usados más ampliamente, pero el uso de las aleaciones dúplex está en aumento, aunque aún representan una fracción pequeña del total de aceros utilizados. Aquí se describen estas dos familias de aleaciones y su uso. Los otros tres grupos, martensíticos, ferríticos y endurecibles por precipitación se identifican también como aceros inoxidables, pero la fabricación y soldadura es bastante diferente de los grados austeníticos y dúplex. Cuando se discuten las técnicas de fabricación y soldadura, se debe identificar al grupo particular de acero inoxidable, de otra manera se pueden cometer gruesos errores. Por ejemplo, usar un procedimiento desarrollado para soldar un acero inoxidable austenítico en la soldadura de uno martensítico, podría resultar en soldaduras de baja calidad.

Aceros inoxidables austeníticos

Son no magnéticos o levemente magnéticos en estado templado y pueden ser endurecidos sólo mediante trabajo en frío. Poseen excelentes propiedades criogénicas (baja temperatura) y buena resistencia a altas temperaturas. La resistencia a la corrosión es excelente en un amplio rango de ambientes corrosivos. Exhiben una buena soldabilidad y son fáciles para fabricar, si se mantienen procedimientos adecuados.

La composición de los grados comunes de aceros inoxidables forjados y fundiciones resistentes a la corrosión se muestra en las *Tablas VI y VII*. Incluyen aleaciones comercialmente disponibles en todo el mundo

y aquellas usadas más comúnmente para aplicaciones que requieran resistencia a la corrosión. Los números UNS en la *Tabla VI* tienen un prefijo S o N. Los aceros inoxidables están definidos por ASTM como aquellos que tienen al menos 50% de hierro, a los cuales UNS identifica con una S. Las aleaciones con un número N se clasifican como aleaciones de níquel, pero la distinción es artificial. La fabricabilidad de los grados S de alta aleación y las aleaciones de níquel en la *Tabla VI* es esencialmente la misma.

Efecto de la soldadura en la resistencia a la corrosión

Los aceros inoxidables austeníticos se especifican normalmente por su excelente resistencia a la corrosión. La soldadura puede reducir esa resistencia en ambientes agresivos. En la soldadura, el calor que se genera produce un gradiente de temperatura en el metal de base. La soldadura también puede inducir tensiones residuales en el área soldada, lo cual en ciertos ambientes puede resultar en roturas por corrosión bajo tensión. Los tratamientos térmicos para reducir las tensiones residuales se discuten en la sección Tratamiento Térmico de Aceros Inoxidables Austeníticos.

Uno de los primeros problemas de corrosión relacionados con la soldadura fue el ataque intergranular, en la zona soldada afectada por la temperatura. En el rango de temperaturas que va de 425 a 900 °C, el carbono se combina con el cromo para formar carburos de cromo en el borde de los granos. El área adyacente a los carburos tiene menor cantidad de cromo. Cuando la red de carburos es continua, la envoltura empobrecida en cromo alrededor de los granos puede ser atacada selectivamente, resultando en corrosión intergranular. En el peor de los casos, la capa empobrecida en cromo se corroe completamente y los granos se separan del metal de base. Se dice que las aleaciones están sensibilizadas, cuando por soldadura o tratamientos térmicos, existen áreas empobrecidas en cromo que puedan ser atacadas en estos ambientes corrosivos. Las aleaciones sensibilizadas aún pueden prestar buenos servicios en muchos de los ambientes moderados en que se usan los aceros inoxidables. Hoy, con la tendencia de las usinas a proveer productos con bajo carbono, el ataque intergranular de los aceros inoxidables austeníticos ocurre menos a menudo.

El grado de sensibilización, o sea la cantidad de carburos de cromo formado en los límites de grano, está influenciado por la cantidad de carbono y la temperatura y tiempo de exposición. La Figura 11 ilustra las curvas de sensibilización tiempo-temperatura para el acero inoxidable tipo 304. Las curvas para otros aceros inoxidables austeníticos son similares, con valores ligeramente diferentes. Para explicar la Figura 11, la aleación está sensibilizada (se ha formado una red de carburos de cromo en los límites de grano) cuando el tiempo a una temperatura determinada para un contenido

Tabla VI
Análisis Químico de aceros inoxidable austeníticos forjados, %, de los principales elementos

Tipo AISI o nombre común (UNS)	(Máximo, a menos que se indique otra cosa)				
	C	Cr	Ni	Mo	Otro
304 (S30400)	0.08	18.0 - 20.0	8.0 - 10.5	-	0.10 N
304 L (S30403)	0.03	18.0 - 20.0	8.0 - 12.0	-	0.10 N
309 (S30900)	0.20	22.0 - 24.0	12.0 - 15.0	-	-
310 (S31000)	0.25	24.0 - 26.0	19.0 - 22.0	-	-
316 (S31600)	0.08	16.0 - 18.0	10.0 - 14.0	2.0 - 3.0	0.10 N
316L (S31603)	0.03	16.0 - 18.0	10.0 - 14.0	2.0 - 3.0	0.10 N
317 (S31700)	0.08	18.0 - 20.0	11.0 - 15.0	3.0 - 4.0	0.10 N
317L (S31703)	0.03	18.0 - 20.0	11.0 - 15.0	3.0 - 4.0	0.10 N
317 LM (S31725)	0.03	18.0 - 20.0	13.0 - 17.0	4.0 - 5.0	0.10 N
321 (S32100)	0.08	17.0 - 19.0	9.0 - 12.0	-	5 x %C mín, 0.70 máx Ti
347 (S34700)	0.08	17.0 - 19.0	9.0 - 13.0	-	10 x %C mín, 1.10 máx. (Nb + Ta)
Aleación 904L (N08904)	0.02	19.0 - 23.0	23.0 - 28.0	4.0 - 5.0	1.0 - 2.0 Cu
Aleación 254 SMO* (S31254)	0.02	19.5 - 20.5	17.5 - 18.5	6.0 - 6.5	0.18 - 0.22 N 0.50 - 1.00 Cu
AL-6XN* (N08367)	0.03	20.0 - 22.0	23.5 - 25.5	6.0 - 7.0	0.18 - 0.25 N 0.75 Cu
1925 hMo* (N08926)	0.02	20.0 - 21.0	24.5 - 25.5	6.0 - 6.8	0.18 - 0.20 N 0.8 - 1.0 Cu
20 Mo-6* (N08026)	0.03	22.0 - 26.0	33.0 - 37.0	5.0 - 6.7	2.0 - 4.0 Cu
20 Cb-3* (N08020)	0.07	19.0 - 21.0	32.0 - 38.0	2.0 - 3.0	3.0 - 4.0 Cu 8 x %C min, 1.00% máx.
25-6 MO* (N08926)	0.02	19.0 - 21.0	24.0 - 26.0	6.0 - 7.0	0.15 - 0.25 N 0.5 - 1.5 Cu

* 254 SMO es una marca de Avesta AB

AL-6XN es una marca de Allegheny Ludlum Steel Corporation

1925 hMo es una marca de VDM Nickel Technologie A.G.

20 Mo-6 y 20 Cb-3 son marcas de Carpenter Technology Corp.

25-6 MO es una marca de Inco Alloys International, Inc.

Tabla VII
Análisis químico de fundiciones de aceros inoxidables resistentes a la corrosión, %, de los principales elementos

(Máximo, a menos que se indique otra cosa)

Tipo ACI (UNS)	Tipo similar forjado	C	Cr	Ni	Mo	Otros	Estructura más común	Templado a (°C)
CF-8 (J92600)	304	0.08	18.0 - 21.0	8.0 - 11.0	-	-	Ferrita en austenita	1035 - 1120
CF-3 (J92500)	304L	0.03	17.0 - 21.0	8.0 - 11.0	-	-	"	1035 - 1120
CF-8M (J92900)	316	0.08	18.0 - 21.0	9.0 - 12.0	2.0 - 3.0	-	"	1035 - 1120
CF-3M (J92800)	316L	0.03	17.0 - 21.0	9.0 - 13.0	2.0 - 3.0	-	"	1065 - 1120
CN-7M (N08007)	20Cb-3 (1)	0.07	19.0 - 22.0	27.5 - 30.5	2.0 - 3.0	3.0 - 4.0 Cu	Austenita	1120 mín.
CK-3M Cu (J93254)	Aleación 254 SMO (2)	0.02	19.5 - 20.5	17.5 - 18.5	6.0 - 6.5	0.18 - 0.22 N 0.50 - 1.00 Cu	Austenita	1150 - 1205
CA-6NM (J91540)		0.06	11.5 - 14.0	3.5 - 4.5	0.4 - 1.0	-	Martensita	1035 - 1065
CD-7MCuN	Ferralium 255 (3)	0.04	24.0 - 27.0	4.5 - 6.5	2.0 - 4.0	0.10 - 0.25 N 1.5 - 2.5 Cu	Dúplex - austenita y ferrita	1050 mín
CD-3MN ASTM-A-890, Gr4A (J92205)	2205	0.03	21.0 - 23.5	4.5 - 6.5	2.5 - 3.5	0.10 - 0.30 N	Dúplex - austenita y ferrita	1120 mín.
Zeron 100 (4) (J93380)	Zeron 100 (4)	0.03	24.0 - 26.0	6.0 - 8.5	3.0 - 4.0	0.2 - 0.3 N	Dúplex - austenita y ferrita	1120 mín.

(1) 20Cb-3 es una marca de Carpenter Technology Corporation

(2) 254SMO es una marca de Avesta AB

(3) Ferralium es una marca de Langley Alloys, Ltd.

(4) Zeron 100 es una marca de Weir Material Services, Ltd.

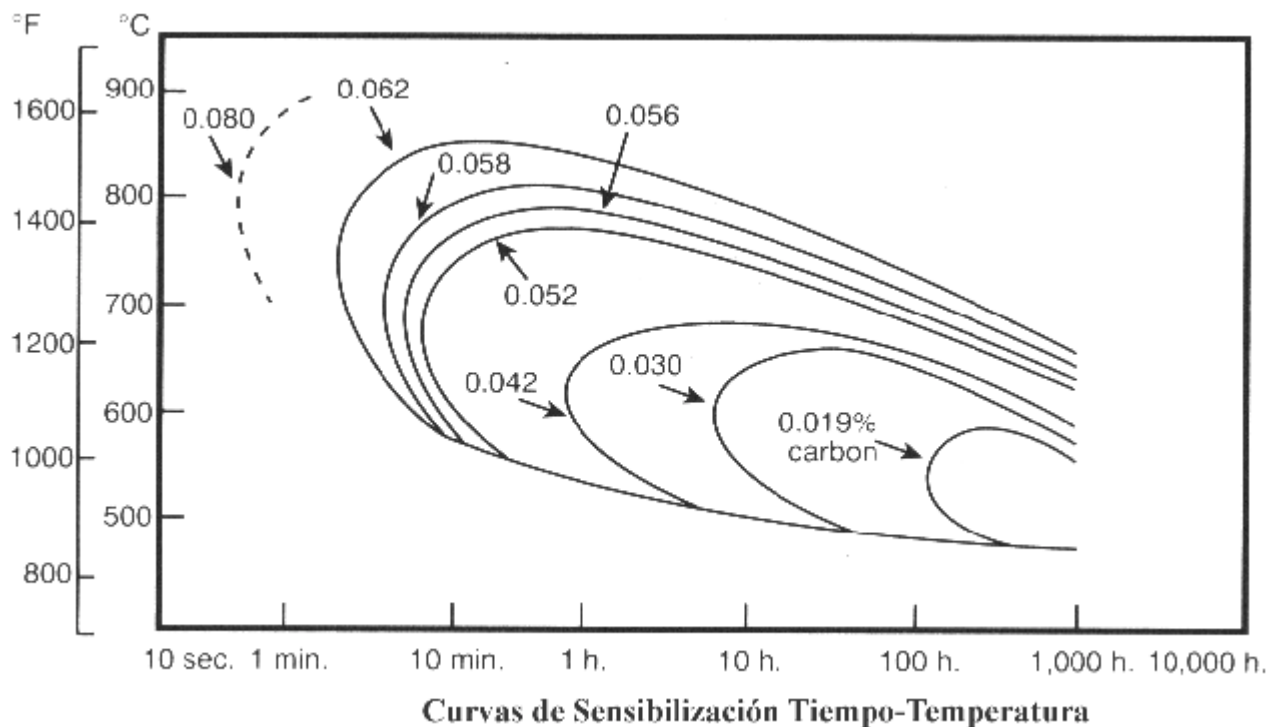
particular de carbono está a la derecha de la curva de % de carbono. Se puede ver que la temperatura a la cual la sensibilización ocurre más rápidamente varía desde 700 °C, con una aleación de 0.062 % de carbono, a 600 °C, para una aleación con 0.03 %. De la Figura 11 se puede ver que una aleación con el 0.062 % de carbono podría quedar sensibilizada en un tiempo tan pequeño como 2 a 3 minutos a 700 °C. Por otro lado, el tipo 304 con 0.030 % de carbono podría mantenerse a 595 °C por 8 horas antes de sensibilizarse. Por esta razón los grados bajos en carbono se utilizan más comúnmente en los equipos resistentes a la corrosión, donde la corrosión intergranular es un riesgo. Con el grado "L", la zona afectada por el calor no permanece el tiempo suficiente para sensibilizarse.

Se puede prevenir la formación de los carburos de cromo en los límites de grano agregando titanio (Ti) o niobio (Nb)-tantalio (Ta) a la aleación. El niobio también se lo conoce como Columbio (Cb). Estos elementos tienen una afinidad más grande por el carbono que el

cromo, y forman carburos distribuidos uniformemente, lejos de los límites de grano, con lo cual no se afecta la resistencia a la corrosión. El tipo 321 (UNS S32100) contiene titanio y el 347 (UNS S34700) contiene niobio-tantalio. Ambos son versiones estabilizadas del tipo 304. Los grados estabilizados se prefieren para aplicaciones donde la aleación estará un largo tiempo en el rango de temperaturas de sensibilización (425 a 900 °C).

Un tercer método de prevenir el ataque intergranular en la zona afectada por el calor, en aleaciones conteniendo más de 0.03% de carbono, es redisolver los carburos de cromo por templado por disolución, entre 1040 y 1175 °C, seguido por un enfriamiento rápido. El templado por disolución es un buen método para restaurar completamente la resistencia a la corrosión cuando el tamaño, forma y geometría de las soldaduras permiten el tratamiento térmico. El templado por disolución debe ser muy bien controlado, tanto en el calentamiento como en el enfriamiento, para mantener la distorsión dentro de límites aceptables.

Figura 11 - Efecto del control del carbono en la precipitación de carburos en el Tipo 304



El papel de la ferrita en el metal soldado

Se conoce que ocurren microfisuras o grietas en soldaduras de aceros inoxidables austeníticos. Pueden aparecer en el metal soldado durante o inmediatamente después de la soldadura, o pueden ocurrir en la zona afectada por el calor de la capa de soldadura depositada previamente. La microestructura del metal soldado influye fuertemente en la formación de microfisuras. Una soldadura completamente austenítica es más susceptible a las microfisuras que una soldadura con algo de ferrita.

Niveles de ferrita de 5 a 10% o más en soldaduras o fundiciones pueden ser bastante beneficiosas en la reducción de grietas producidas en caliente y microfisuras. Por ejemplo, una soldadura tipo 308 (UNS W30840) con 0 a 2% de ferrita puede ser bastante sensible a agrietarse, mientras otra soldadura con 5 a 8% de ferrita puede tener una buena resistencia al agrietamiento. La cantidad de ferrita en la serie 300 se controla con la composición y velocidad de enfriamiento de la soldadura, cuanto más rápido el enfriamiento, más alto el contenido de ferrita.

Desafortunadamente, la ferrita no es obtenible en todas las aleaciones inoxidables con níquel. Por ejemplo, no es posible ajustar la composición para obtener ferrita en un tipo 310 (UNS S31000). A pesar de ser completamente austenítico y susceptible a las fisuras, la aleación se ha usado por más de 50 años con excelentes resultados. En ausencia de ferrita en la soldadura, es más importante para el fabricante de metal de aporte controlar los elementos minoritarios, como silicio, fósforo y azufre, para bajarlos lo más posible, para prevenir las fisuras.

Cuando se requiere un metal de aporte con un nivel de ferrita determinado, el comprador o usuario deberá especificar el nivel al proveedor. Las Normas para metales de aporte para acero inoxidable, ANSI/AWS A5.4 para electrodos y ANSI/AWS A5.9 para alambres desnudos, no especifican niveles de ferrita para ninguna clase de aleación.

Medición de la ferrita en la soldadura

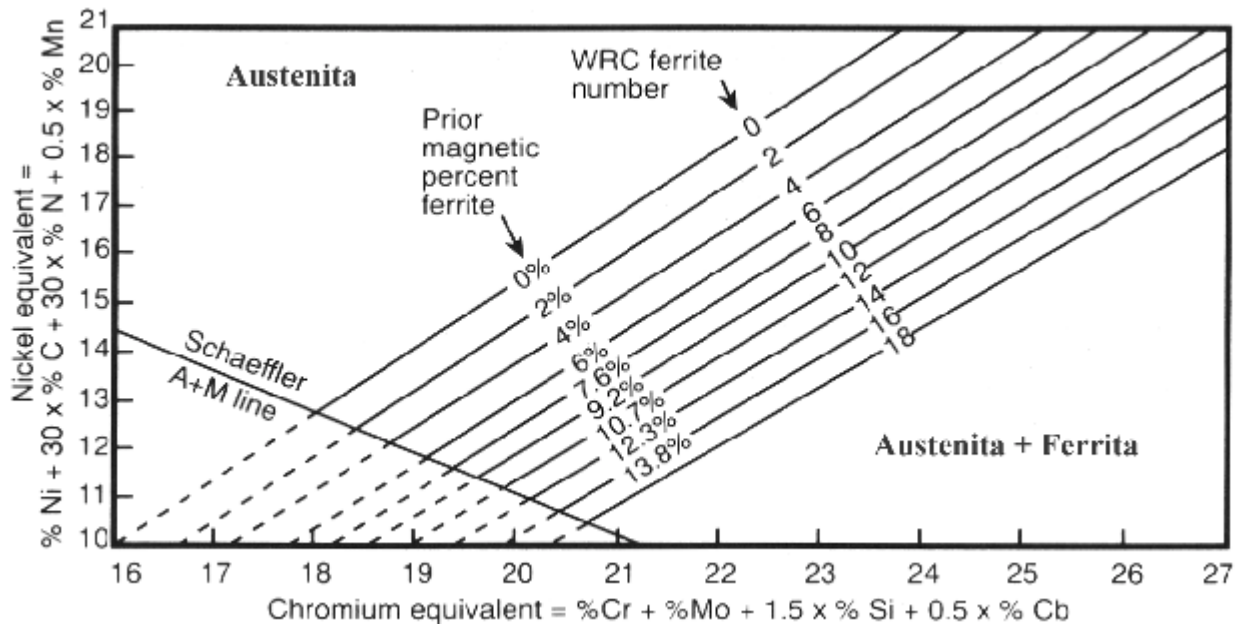
Mientras hay un amplio acuerdo en los efectos beneficiosos de la ferrita en la soldadura, no siempre es fácil medir la cantidad exactamente en un dado depósito de soldadura. Se pueden utilizar alguno de estos tres métodos:

1. Instrumentos magnéticos que pueden medir la ferrita en una escala relativa. Este es el método más usado por los fabricantes de metales de aporte. La calibración de los instrumentos es crítica y la AWS ha desarrollado un procedimiento especial de calibración. La AWS también detalla cómo se debe realizar el relleno de la soldadura y la preparación para el muestreo, dado que esto influencia a la medición. La determinación de la ferrita por medio de sofisticados instrumentos magnéticos de laboratorio a menudo no es práctico para el usuario común. Existen instrumentos magnéticos portables, que aunque sean menos precisos, son más fáciles para usar.
2. Usando la composición química de la soldadura, el contenido de ferrita se puede estimar a partir de diagramas de constitución para acero inoxidable

soldado (Figura 12). Al principio, los diagramas de ferrita la representaban en unidades de volumen - %. Los diagramas más recientes del Welding Research Council, WRC, determinan el número de ferrita, FN, por respuesta magnética. El FN y el volumen-% son los mismos hasta el 6%, pero difieren a niveles más altos. La determinación de ferrita usando el diagrama es fácil y bastante precisa, siempre que se disponga de un análisis químico confiable.

3. El contenido de ferrita se puede estimar mediante examen metalográfico. Es más exacto cuando la ferrita está en un rango de 4 a 10%, y deberá ser realizado por un técnico experimentado. Una de las ventajas de este método es que se puede usar en pequeñas muestras sacadas de las soldaduras, o cuando los otros dos métodos no son prácticos.

Figura 12 - Diagrama revisado de la constitución de aceros inoxidables soldados

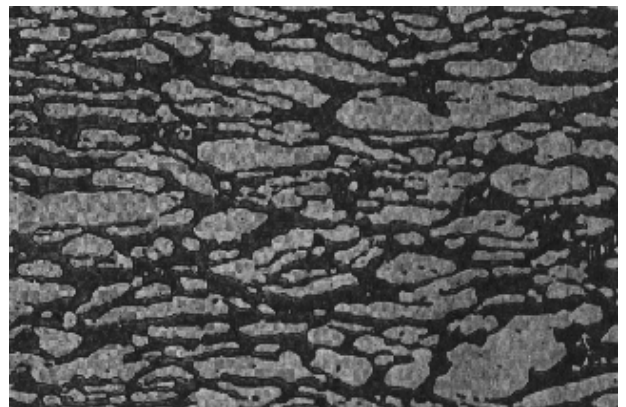


Hay aplicaciones donde la presencia de ferrita en la soldadura no es beneficiosa. A temperaturas criogénicas (-195 °C), la dureza y la resistencia al impacto se ven reducidas por la ferrita, y es una práctica común especificar soldaduras con no más de 2 FN y preferiblemente 0 FN. Es preferible también tener baja ferrita cuando las soldaduras se exponen a temperaturas entre 480 y 925 °C, para evitar una pérdida de ductilidad a temperatura ambiente como resultado de una fase sigma de alta temperatura. La fase sigma se forma más fácilmente a partir de ferrita que de austenita, y se discute en la sección de aceros inoxidables dúplex.

Aceros inoxidables dúplex

Son una familia de aleaciones que tienen dos fases: ferrita y austenita, con un contenido típico de ferrita entre 40 y 60%. La relación ferrita/austenita se logra en las aleaciones forjadas por ajustes en la composición junto con trabajo en caliente y prácticas de templado en la usina. Las aleaciones podrían ser llamadas aceros inoxidables ferrítico-austeníticos, pero el término "dúplex" es más usado. La microestructura típica de un acero inoxidable dúplex se muestra en la Figura 13. La matriz que aparece como un fondo más oscuro es ferrita, y la fase más clara, similares a islas alargadas, es la austenita.

Figura 13 - Microestructura típica de una aleación 2205, laminada en frío y templada. Fase oscura: ferrita. Fase clara: austenita



Las aleaciones dúplex datan de los años 1930, y las primeras aleaciones ahora se identifican como de primera generación. Desafortunadamente, las primeras aleaciones tuvieron el problema de una pérdida significativa de la resistencia a la corrosión en la soldadura, y tomó algún tiempo para que las aleaciones de segunda generación superaran esta reputación. Todas las aleaciones que se muestran en la Tabla VIII son aleaciones de segunda generación y contienen típicamente 0.15 a 0.30% de

nitrógeno. Uno de los beneficios del nitrógeno es mejorar la resistencia a la corrosión por picado y por rendijas. Con procedimientos adecuados de soldadura, los aceros inoxidables dúplex de segunda generación tienen casi el mismo nivel de resistencia a la corrosión que el material templado de la usina. El nitrógeno también es beneficioso en la fabricación de planchas de aleaciones de segunda generación, donde la transición dúctil-quebradizo se bajó bien por debajo de la temperatura ambiente, haciendo prácticas las soldaduras de grandes espesores. Sin embargo, las aleaciones dúplex no son usadas a temperaturas inferiores a $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que algunas aleaciones completamente austeníticas se pueden usar a $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La aleación 2205 (UNS S31803) es la aleación dúplex más ampliamente usada y hay una cantidad de fabricantes que la producen. Comparando la composición de esta aleación con una de acero inoxidable completamente austenítica, tal como la tipo 316, la 2205 es más alta en cromo, más baja en níquel y contiene nitrógeno. La adición de nitrógeno es muy crítica en las aleaciones dúplex, como se discutirá más adelante.

Características de los aceros inoxidables dúplex

Las aleaciones dúplex ofrecen dos importantes ventajas sobre las aleaciones austeníticas tales como las 304L y 316L, una resistencia más grande a la corrosión por fatiga debido a los cloruros, y mejores propiedades

mecánicas. La resistencia a la fluencia de las aleaciones dúplex es dos a tres veces mayor y la resistencia a la tracción 25% más grande, mientras que mantienen buena ductilidad a temperaturas normales de operación.

La susceptibilidad de los aceros inoxidables austeníticos a la corrosión por fatiga debido a los cloruros, alrededor de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, es bien conocida. Los aceros inoxidables ferríticos son altamente resistentes, pero son más difíciles de fabricar y soldar. Las aleaciones dúplex tienen una resistencia intermedia a la corrosión por fatiga inducida por cloruros, y en muchos ambientes representa un incremento sustancial sobre las austeníticas. Las aleaciones dúplex también ofrecen:

- Resistencia a la corrosión general y por picado, igual o mejor que la del tipo 316L, en muchos ambientes corrosivos.
- Resistencia a la corrosión intergranular, debido al bajo contenido de carbono.
- Buena resistencia a la erosión y abrasión.
- Un coeficiente de expansión térmica cercano al del acero al carbono, lo cual puede resultar en menores tensiones en las soldaduras que involucren inoxidables dúplex con acero al carbono.

Hay diferencias metalúrgicas comparadas con las aleaciones austeníticas, que cuando son conocidas y

Tabla VIII

Análisis químico de aceros inoxidables dúplex, %, de los principales elementos

Nombre Común (UNS)	(Máximo, a menos que se diga otra cosa)				
	C	Cr	Ni	Mo	Otros
7-Mo PLUS ⁽¹⁾	0.03	26.0 - 29.0	3.5 - 5.2	1.0 - 2.5	0.10 - 0.35 N
Aleación 2205 (S31803)	0.03	21.0 - 23.0	4.5 - 6.5	2.5 - 3.5	0.08 - 0.20 N
FERRALIUM 255 ⁽²⁾	0.03	24.0 - 27.0	4.5 - 6.5	2.0 - 4.0	0.10 - 1.25 N 1.5 - 2.5 Cu
SAF 2507 ⁽³⁾ (S32750)	0.03	24.0 - 26.0	6.0 - 8.0	3.0 - 5.0	0.24 - 0.32 N
Zeron 100 ⁽⁴⁾ (S32760)	0.03	24.0 - 26.0	6.0 - 8.0	3.0 - 4.0	0.5 - 1.0 Cu 0.5 - 1.0 W 0.2 - 0.3 N

(1) 7-Mo PLUS es una marca de Carpenter Technology Corporation

(1) FERRALIUM es una marca de Langley Alloys, Ltd.

(2) SAF 2507 es una marca de Sandvik AB

(3) Zeron 100 es una marca de Weir Material Services, Ltd.

reconocidas se pueden manejar fácilmente. Las diferencias ocurren como resultado de exposición a alta temperatura.

Exposición a alta temperatura

Los aceros inoxidables dúplex normalmente se utilizan en un rango de temperaturas entre $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $260\text{ }^{\circ}\text{C}$. En la producción o fabricación de aleaciones, se emplea una alta temperatura ($1040\text{ }^{\circ}\text{C}$ o más) para el

templado por disolución; dependiendo de la aleación; seguido por un enfriamiento rápido, con el objeto de dar óptimas propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión. Si se exponen a un rango de temperaturas entre $315\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $950\text{ }^{\circ}\text{C}$, las aleaciones dúplex tienen un comportamiento diferente al de las austeníticas, pero una vez que se reconocen las diferencias, no debería haber problemas.

Tabla IX

Composición típica de los metales de aporte para aceros inoxidables dúplex

Nombre común del metal de aporte (UNS)	Para soldar metal base	C	Cr	Ni	Mo	Otros
Electrodos recubiertos						
2209-16 (1) (W39209) tentativo	2205 (S31803)	0.03	23	9.7	3.0	0.10 N
22.9.3.L-16 (2)	3RE60 (S31500)	0.03	22	9.5	3.0	0.15 N
22.9.3.L-15 (2)	2205 (S31803)					
22.9.3.LR	2304 (S32304)					
7-Mo PLUS enriquecido en Ni (3)	7-Mo PLUS (S32950)	0.03	26.5	9.5	1.5	0.20 N
FERRALIUM 255 (4) (W39553) tentativo	FERRALIUM 255 (S32550)	0.03	25	7.5	3.1	0.20 N 2.0 Cu
Alambre desnudo						
22.8.3L (2)	3RE60 (S31500) 2205 (S31803) 2304 (S32304)	0.01	22.5	8.0	3.0	0.10 N
7-Mo PLUS enriquecido con Ni (3)	7-Mo PLUS (S32950)	0.02	26.5	8.5	1.5	0.20 N
FERRALIUM 255 (4) (S39553) tentativo	FERRALIUM 255 (S32550)	0.03	25	5.8	3.0	0.17 N
Zeron 100 (5)	Zeron 100 (S32760)	0.03	25	10*	3.5	0.25 N 0.7 Cu 0.7 W
Alambre con alma rellena						
In-flux 2209-0 (1) (W31831)	2205 (S31803)	0.02	22.0	8.5	3.3	0.14 N
In-flux 259-0 (1)	FERRALIUM 255 (S32550)	0.02	25.0	10.0	3.2	0.14 N 2.0 Cu

(1) 2209-16, In-flux 2205-0 e In-flux 259-0 son marcas de Teledyne McKay

(1) 22.9.3.L-16, 22.9.3.L-15, 22.9.3.LR y 22.8.3.L son marcas de Sandvik AB

(2) 7-Mo PLUS es una marca de Carpenter Technology Corporation

(3) FERRALIUM es una marca de Langley Alloys, Ltd.

(4) Zeron 100 es una marca de Weir Material Services, Ltd.

* Cuando la junta es tratada térmicamente después de la soldadura, el Ni deberá ser 6.0-8.0%

Se puede formar una fase intermetálica llamada *sigma* cuando las aleaciones dúplex se mantienen en un rango de temperaturas entre 650 °C y 950 °C. La fase sigma causa fragilidad a temperatura ambiente, y cuando se encuentra en cantidades apreciables, la resistencia a la corrosión disminuye. Sin embargo, prestando atención al tiempo mínimo en el rango de formación de la fase sigma durante el temple y soldadura, un mejor control de proceso en la usina de fabricación y el efecto benéfico del nitrógeno, pueden eliminar cualquier problema debido a la fase sigma. En los procedimientos normales de soldadura de las aleaciones dúplex de segunda generación, la soldadura o la zona afectada por el calor vecina a ésta, no está durante el tiempo suficiente a una temperatura en la cual la fase sigma pueda aparecer. Otro fenómeno que ocurre a alta temperatura es el conocido como *fragilización a 475 °C*. Puede ocurrir cuando una aleación dúplex (o cualquier aleación de hierro-cromo que contenga entre 13 y 90% de cromo) se mantiene o se enfría lentamente entre un rango de temperaturas entre 315 °C y 540 C. Con las

aleaciones dúplex de segunda generación, y usando prácticas apropiadas de temple y soldadura, la soldadura y la zona afectada por el calor no están durante el tiempo suficiente a una temperatura en la cual se pueda desarrollar esta fragilización. Se menciona aquí como una precaución a tener en cuenta si no se siguen los procedimientos estándar.

Efecto de la soldadura en los aceros inoxidables dúplex

La soldabilidad de las aleaciones de segunda generación se han mejorado sustancialmente a través de agregados controlados de nitrógeno y al desarrollo de metales de aporte enriquecidos en níquel. Usando unos pocos controles en los procedimientos de soldadura, se obtienen soldaduras sólidas, con una resistencia a la corrosión comparable al metal de base. La importancia de los controles en la generación de calor, temperatura de interpaso, precalentamiento y metal de aporte enriquecido en níquel son las siguientes:

Metal de aporte enriquecido en níquel

Las soldaduras en aceros inoxidables dúplex hechas con un metal de aporte de la misma composición que el metal de base, o sin metal de aporte, pueden tener 80 % o más de ferrita en la zona de fusión, una vez soldados. Una soldadura con ese nivel de ferrita tiene poca dureza y ductilidad, y a menudo no pasa la prueba de doblado. Un alto contenido de ferrita en la soldadura también reduce marcadamente la resistencia a la corrosión en muchos ambientes agresivos. Un templado entre 1040 °C y 1150 °C devuelve la relación deseada de ferrita/austenita, pero el tratamiento no es práctico en muchos casos, y es caro. Incrementando el contenido de níquel en el metal de aporte, permite que se forme más austenita, y así la soldadura, una vez realizada tendrá entre 30% y 60% de ferrita, que es el nivel deseado. Las soldaduras hechas con metal de aporte enriquecido en níquel tienen buena ductilidad, son capaces de pasar la prueba de doblado, y tienen resistencia a la corrosión similar a la del metal de base.

Control de la generación de calor

No hay completo acuerdo de parte de los productores e investigadores en soldadura en los límites apropiados de la generación de calor. Los argumentos para una generación de calor grande (ver fórmula), es que da más tiempo para que la ferrita se transforme en austenita, particularmente en la zona afectada por el calor. El peligro de una generación de calor grande es que podría permitir que se formen en la ferrita fases fragilizantes, tales como la sigma y la 475 °C. Con los aceros inoxidables dúplex de segunda generación, se necesita un tiempo más largo a temperatura para que se desarrollen estas fases, así que no habrá una fragilización significativa. Un rango de generación de calor generalmente aceptado está entre 0.6 y 2.6 kJ/mm (kilojoules por milímetro), aunque se han usado niveles tan grandes como 6.0 kJ/mm. Cuando se deba usar un proceso de soldadura con niveles de generación de calor menores a 0.6 kJ/mm, un precalentamiento a 95 °C - 205 °C es útil para reducir la velocidad de enfriamiento e incrementar el contenido de austenita en la soldadura. Cuando exista una duda en la cantidad apropiada de generación de calor a aplicar para una aleación en particular, se recomienda contactar al proveedor por recomendaciones específicas.

La generación de calor en kJ/mm se calcula como:

$$\frac{\text{Voltaje} \times \text{Amperaje} \times 60}{\text{Velocidad (mm/min.)} \times 1000}$$

Control de temperatura de interpaso

Uno de los primeros temores fue que una alta temperatura de interpaso pudiera resultar en la fragilización a 475 °C, y se sugirió un límite máximo de temperatura de interpaso de 150 °C. Este límite es conservador, y en algunos casos un límite máximo de 230 °C podría ser aceptable. Sin embargo, con la finalidad de mantener la consistencia, los fabricantes a menudo especifican el mismo valor utilizado para los aceros inoxidables austeníticos (150 °C a 175 °C)

Es deseable que todas las pasadas de soldadura sean hechas con una buena cantidad de metal de aporte para incrementar el contenido de níquel de la soldadura. Una gran dilución con el metal de base puede resultar en una soldadura con un alto contenido de ferrita, con baja ductilidad y dureza. Un ejemplo de dónde esto puede ocurrir es en la primera pasada de soldadura en un caño, con una gran dilución del metal de base. Se deberá tener un especial cuidado en agregar una cantidad suficiente de metal de aporte enriquecido en níquel. Las juntas con bordes suaves y bien ajustados favorecen la alta dilución y deben ser evitadas. Se prefieren las juntas con una separación más grande, dado que requieren la adición de metal de aporte.

Los metales de aporte enriquecidos en níquel para aleaciones dúplex están disponibles como electrodos recubiertos, alambres desnudos, y alambres con alma rellena de decapante, como se muestra en la *Tabla IX*. Los metales de aporte dúplex no están cubiertos por las especificaciones corrientes de la AWS, pero serán incluidos en futuras ediciones.

Precalentamiento

No hay necesidad de precalentar en espesores de 6 mm y menos en las soldaduras hechas con metal de aporte enriquecido en níquel. En secciones más gruesas, y en soldaduras difíciles, se puede usar el precalentamiento para minimizar el riesgo de una fisura en la soldadura. Cuando se debe usar un proceso de soldadura con baja generación de calor (0.6 kJ/mm), un precalentamiento a 95 °C - 205 °C reduce el enfriamiento rápido y disminuye el contenido de ferrita en la soldadura y en la zona afectada por el calor.

Tabla X

Metales de aporte sugeridos para la soldadura de algunos aceros inoxidables martensíticos, ferríticos y endurecibles por precipitación

Metal de base	Electrodos recubiertos	Varillas y electrodos desnudos
AISI (UNS)	AWS A5.4 (UNS)	AWS A5.9 (UNS)
Tipo 410 (forjado) (S41000)	E410 (W41010)	ER410 (W41040)
CA-15 (fundido) (J91540)	E410 (W41010)	ER410 (W41040)
CA-6NM (fundido) (J91540)	E410NiMo (W41016)	ER410NiMo (W41046)
Tipo 430 (forjado) (S43000)	E430 (W43010)	ER430 (W43040)
17-4PH (S17400)	E630 ⁽¹⁾ (W37410)	ER630 ⁽¹⁾ (W37440)

⁽¹⁾ Cuando la soldadura no necesita tener la resistencia del metal de base, se puede usar E 308 (UNS W30810) o ER 308 (UNS W30840)

Otros aceros inoxidables

Otros tipos de aceros inoxidables son martensíticos, ferríticos y endurecibles por precipitación. Algunas de las aleaciones más comunes y sus metales de aporte se muestran en la *Tabla X*.

Aceros inoxidables martensíticos

Las aleaciones martensíticas se pueden endurecer y fortalecer por tratamiento térmico, y endurecerse sólo ligeramente por trabajo en frío. Son fuertemente magnéticas, resisten la corrosión en ambientes moderados y tienen bastante buenas cualidades de fabricación. Estas aleaciones se seleccionan a menudo por sus buenas propiedades mecánicas y bajo costo.

La soldabilidad de los inoxidables martensíticos varía con la composición de la aleación, particularmente con la cantidad de carbono. Con un contenido mayor de carbono, mayor será la necesidad de precalentar y realizar tratamientos térmicos posteriores, para producir soldaduras sólidas.

Mientras los aceros inoxidables martensíticos forjados tienen uso limitado en las industrias de procesos, los grados fundidos han sido usados extensivamente para componentes pesados, tales como carcazas de bombas, cuerpos de válvulas y compresores. La aleación CA-15 (UNS J91150) fue la aleación estándar, pero ha sido reemplazada por la CA-6NM (UNS J91540). Comparada con la CA-15, la CA-6NM tiene mayor dureza y soldabilidad, junto con una buena resistencia a la cavitación.

Es preferible soldar fundiciones de CA-6NM que tengan un tratamiento térmico previo. La soldadura se realiza normalmente a temperatura ambiente, aunque puede ser beneficioso un precalentamiento a 120 °C - 150 °C para soldaduras grandes o en secciones con muchas tensiones. Después de soldada, la fundición se calienta a no más de 590 °C - 620 °C y se enfría al aire. Cuando hay un requerimiento especial de dureza, la CA-6NM puede recibir un tratamiento térmico de normalizado por encima de 950 °C y enfriada al aire, seguido por un doble temple de 590 °C a 620 °C. La fundición debe ser enfriada a temperatura ambiente entre cada tratamiento de temple.

Aceros inoxidables ferríticos

Las aleaciones ferríticas no son endurecibles por tratamiento térmico y sólo ligeramente endurecibles por trabajo en frío. Son magnéticas y tienen buena resistencia a la corrosión en muchos ambientes. La más común de las aleaciones ferríticas es la tipo 430 (UNS S43000), con 16% a 18% de cromo, 0.12% máx. de carbono, algunos elementos en menores composiciones, y el resto hierro.

La soldabilidad de los aceros inoxidables ferríticos generalmente es mejor que la de los martensíticos. La exposición a altas temperaturas, como en la zona afectada por el calor, causa una reducción en la ductilidad y la dureza, junto con crecimiento de grano. El temple por disolución para prevenir la corrosión intergranular se hace a 790 °C para los inoxidables ferríticos, en lugar de 1040 °C a 1065 °C para los austeníticos. Hay una mayor

necesidad de precalentamiento y tratamiento térmico posterior, cuando aumentan los espesores a soldar.

Aceros inoxidables endurecibles por precipitación

Las aleaciones de hierro-cromo-níquel que contienen elementos tales como cobre, aluminio y titanio tienen buena soldabilidad, comparable a la de los aceros inoxidables austeníticos, pero a menudo se utilizan en componentes que no necesitan casi procesos de soldadura. Cuando ésta se requiere es mejor soldar estas aleaciones en la condición templada antes del tratamiento térmico de endurecimiento. Estos aceros inoxidables son endurecibles por una combinación de trabajo en frío y tratamiento térmico a baja temperatura (455 °C a 595 °C).

Fundiciones de acero inoxidable resistentes a la corrosión

Los aceros inoxidables fundidos se clasifican de acuerdo con su uso final, como resistentes a la corrosión o resistentes al calor, y se designan de acuerdo con la primera letra, C o H. Los grados resistentes al calor tienen generalmente un contenido más alto de aleación que los tipos resistentes a la corrosión, y en casi todos los casos, tienen un contenido más alto de carbono. Las siguientes recomendaciones se aplican a los tipos resistentes a la corrosión y no deben ser aplicables a las aleaciones resistentes al calor. La composición química de las aleaciones fundidas más comunes, ya sean austeníticas o dúplex, se muestran en la *Tabla VII*.

Las más comúnmente usadas, CF-3, CF-3M, CF-8 y CF-8M, normalmente tienen 5% a 20% de ferrita en una matriz de austenita. La cantidad variará con la composición, historia térmica de la fundición, y en diferentes lugares de la pieza. La ferrita es beneficiosa para minimizar las rajaduras en la fundición y para mejorar la soldabilidad. Algunos grados de fundiciones de aceros inoxidables resistentes a la corrosión, tales como CN-7M son completamente austeníticos por la naturaleza de su composición. Las especificaciones ASTM todavía no han incluido los grados con un contenido de carbono del 0.03% para la CN-7M, como lo han hecho para los grados estándar. La reparación por soldadura de las fundiciones, o relleno de áreas gastadas y corroídas, sensibilizarán a la zona afectada por el calor al ataque intergranular. Los usuarios pueden y deben solicitar un máximo de 0.03% de carbono como una excepción a las especificaciones, a fin de prevenir el ataque intergranular en estas aleaciones.

Normalmente, estas fundiciones se sueldan sin problemas, pero donde las soldaduras son grandes, se pueden necesitar técnicas especiales para prevenir microfisuras próximas a la soldadura. Las técnicas disponibles son bajas temperaturas de interpaso, baja generación de calor y el martillado de la soldadura para aliviar las tensiones mecánicas.

Las aleaciones austeníticas y dúplex en la *Tabla VII* se compran usualmente bajo alguna de las siguientes especificaciones:

ASTM A 743 - Castings, Iron-Chromium, Iron-Chromium-Nickel, Nickel-base, Corrosion Resistant, For General Application.

ASTM A 744 - Castings, Iron-Chromium, Nickel-Base, Corrosion Resistant, For Severe Service.

Ambas especificaciones requieren que la fundición sea templada por disolución, lo cual elimina grandemente la segregación en la aleación y las estructuras dendríticas que ocurren en las fundiciones, particularmente en las secciones grandes. Las altas temperaturas de temple, 1040 °C y más, dependiendo de la aleación, promueve una composición química y microestructura más uniformes, al mismo tiempo que disuelve los carburos. Como resultado del temple, la fundición queda en un estado más resistente a la corrosión. Para una mejor resistencia a la corrosión, los grados CF-3M y CF-8M deben ser templados a 1120 °C, no a 1040 °C, como lo permite la especificación.

Las fundiciones de aceros inoxidables son soldadas muy a menudo, ya sea por los fabricantes para hacer montajes soldados, durante el tiempo de servicio o para reparar defectos en la fundición. Cuando las fundiciones deban ser puestas en servicio en ambientes corrosivos severos, seleccionar una versión con bajo carbono, tal como la CF-3 o CF-3M, puede evitar problemas resultantes de la formación de carburos de cromo en la zona afectada por el calor. El mismo efecto de los carburos de cromo sobre la corrosión intergranular discutidos para las aleaciones forjadas se aplican para las aleaciones fundidas. La necesidad de una versión con bajo carbono se aplican no sólo a las soldaduras iniciales, sino a los mantenimientos posteriores. Cuando una versión con bajo carbono no está incluida en las ASTM A 743 o A 744, se puede lograr con el fundidor una excepción a la especificación.

Una diferencia entre la A 743 y la A 744 es que esta última requiere un completo temple por disolución después de todas las reparaciones por soldadura, excepto para reparaciones menores, como se define en la especificación. Las fundiciones austeníticas cubiertas por la A 743 destinadas para uso general, no requieren el temple por disolución después de las reparaciones por soldadura. El conocimiento de las condiciones de servicio es útil para seleccionar la especificación correcta para el material y el grado de la fundición, pero si esta información no está disponible, una buena elección sería un grado bajo en carbono de la A 744.

Tratamiento térmico del acero inoxidable

Los aceros inoxidables austeníticos, forjados o fundidos, son suministrados normalmente en condición de templados por disolución. En el temple por disolución, la aleación se calienta a una alta temperatura, (1040 °C a 1175 °C) dependiendo del tipo de aleación, y enfriada rápidamente, usualmente en agua. A la temperatura de temple, los carburos de cromo se ponen de nuevo en solución, como carbono y cromo, restituyendo por completo la resistencia de la aleación al ataque intergranular. El temple también elimina el efecto del

trabajo en frío y coloca a la aleación en una condición dúctil y blanda. Sin embargo, un enfriamiento rápido deja considerables tensiones residuales.

Durante la fabricación, se pueden desarrollar altas tensiones residuales distribuidas uniformemente, como resultado de operaciones de formado y soldadura. Cuando las soldaduras se templean por disolución y se enfrían rápidamente, normalmente se introducen nuevas tensiones residuales. Estas tensiones pueden causar movimientos después del maquinado, con el resultado que las partes exceden los límites de tolerancia dimensionales. En los aceros comunes, es normal el alivio de tensiones por tratamiento térmico, pero es mejor evitar este tipo de tratamientos en las soldaduras de aceros inoxidables, a menos que sea absolutamente necesario. Cuando lo sea, hay disponibles dos alternativas:

Alternativa 1 - Utilizar un tratamiento equalizador de tensiones a baja temperatura (315 °C a 425 °C), manteniéndolo por 4 horas por cada pulgada de espesor, seguido por un enfriamiento lento. Debido a que las aleaciones tienen una excelente resistencia al escurrimiento, el tratamiento a baja temperatura elimina solamente los picos de tensiones. El tratamiento es seguro para ser usado con los grados estándar tales como 304 y 316, lo mismo que con los grados estabilizados y con bajo carbono, dado que la temperatura es menor que la necesaria para que se formen carburos de cromo.

Alternativa 2

Si el tratamiento a temperatura de 315 °C a 425 °C es inadecuado en reducir las tensiones al nivel deseado, puede requerirse un tratamiento de alivio de tensiones en el rango de 425 °C a 925 °C. A más alta temperatura y tiempos más prolongados, más completa será la eliminación de tensiones. Por ejemplo, una hora a 870 °C elimina alrededor del 85% de las tensiones residuales. Sin embargo, los grados estándar tales como 304 y 316 no pueden ser calentados en este rango sin sacrificar la resistencia a la corrosión como resultado de la precipitación de carburos. Cuando se requiera un tratamiento térmico de alivio de tensiones, se deberá utilizar un grado estabilizado (321, 347) o uno con bajo contenido de carbono (304L, 316L, etc.). Referirse a la *Figura 11*, en el desarrollo de tratamiento de alivio de tensiones que evitarán la precipitación de carburos y el ataque intergranular en el Tipo 304.

Guía para la compra de materiales y almacenamiento

La Tabla XI muestra las principales formas de los productos de acero inoxidable forjados - planchas, chapas, caños y tubos - más comúnmente usados en construcciones soldadas. Estas se compran normalmente en el tipo de bajo carbono para cada grado, aunque las aleaciones estabilizadas con titanio o niobio-tantalio también se usan, como se discutió en la sección sobre soldadura y resistencia a la corrosión. A veces se incluyen en la fabricación a las barras y perfiles estructurales. Con barras y perfiles, se usan normalmente los grados con más alto contenido de carbono, debido a su resistencia más alta. Cuando se incluyan en las soldaduras, es útil rever

Tabla XI
Formas de presentación de los productos de acero inoxidable

Item	Descripción	Espesor	Ancho	Diámetro o tamaño
Chapas	Bobinas y cortadas a medida: Terminación de laminación n° 1, 2D y 2B	Debajo de 4.75 mm	600 mm y más	-
	Terminación por pulido n° 3, 4, 6, 7 y 8	Debajo de 4.75 mm	todos los anchos	-
Flejes	Laminados en frío, bobinas o cortados a medida	Debajo de 4.75 mm	Menos de 600 mm	-
Planchas	Rolada plana o forjada	4.75 mm y más	Más de 254 mm	-
Barras	Laminadas en caliente, cuadradas, hexagonales y octogonales	-	-	6.35 mm y más
	Planas laminadas en caliente	3.2 mm y más	6.35 mm a 254 mm inclusive	-
	Laminadas en frío, redondas, cuadradas, hexagonales y octogonales	-	-	más de 30.5 mm
Varillas	Planas laminadas en frío	-	9.5 mm y más	-
	Laminadas en caliente, redondas, cuadradas, octogonales y hexagonales en bobinas para laminación en frío o trefilado en frío	-	-	6.35 mm a 19.05 mm
Alambres	Laminados en frío solamente: Redondos, cuadrados, octogonales, hexagonales, planos	0.25 mm a 4.75 mm	1.57 mm a 9.5 mm	12.7 mm y menos
Extrudados	No considerados perfiles estándar, pero de mucho interés. Normalmente limitados en tamaño a aproximadamente; los circulares a 165 mm de diámetro o estructurales a 127 mm de diámetro			
Tubos	Dimensiones de acuerdo con el diámetro exterior y espesor de pared			
Caños	Tamaño nominal de caño es el diámetro interior desde 3.175 mm (0.125 pulg.) hasta e incluyendo 304.8 mm (12 pulg.). Tamaño nominal de caño es el diámetro exterior para 355.6 mm (14 pulg.) y más. El espesor de pared se expresa como Schedule (5S, 10S, 20, 30, 40, 80, 120, 160, XX y sus variaciones) para todos los tamaños nominales de caños			

hasta qué grado las soldaduras y las zonas afectadas por el calor puedan sufrir el ataque intergranular, en cada proceso de interés.

Terminaciones superficiales

La Tabla XII muestra las terminaciones superficiales para chapas y flejes. La terminación para chapas que se utiliza generalmente es la 2B. Las terminaciones pulidas también están disponibles, pero no se utilizan normalmente en fabricaciones soldadas para procesos industriales y químicos, con la excepción de la industria alimenticia y equipamiento médico.

No hay una terminación estándar superficial para planchas. Generalmente la plancha es laminada en caliente, templada y decapada. Los defectos superficiales y la rugosidad en la plancha puede iniciar procesos de corrosión por rendijas en ambientes agresivos. Para tales

servicios, es necesario negociar la terminación superficial requerida con el fabricante.

Los caños no se proveen normalmente con una terminación específica. Los caños soldados se hacen a partir de bobinas laminadas en frío, en tamaños de hasta 200 mm (8 pulg.) de diámetro, y a partir de chapas en tamaños más grandes. La terminación en los caños soldados se aproxima a la terminación 2B o 2D de la chapa, excepto en el área de la soldadura. La terminación de los caños sin costura extrudados no es tan lisa, pero normalmente es satisfactoria desde el punto de vista de la corrosión.

El electropulido es un proceso electroquímico que da una terminación de alto brillo, y su uso se está incrementando en aplicaciones donde la facilidad de limpieza sea crítica, tales como bioprocesamiento y en

equipamiento para fabricación de papel. El proceso se puede describir como la inversa de la electrodeposición. En el electropulido el metal se disuelve selectivamente en los picos y bordes agudos que existen en la superficie metálica, lo cual reduce la posibilidad de retención de

Tabla XII**Terminaciones superficiales mecánicas estándar de chapas**

Terminaciones de laminación o no pulidas	
Nº 1	Superficie rugosa y basta, que resulta del laminado en caliente al espesor especificado, seguido por templado y decapado
Nº 2D	Terminación bastante rugosa que resulta del laminado en frío seguido por temple y decapado, y puede tener una ligera pasada final a través de rodillos no pulidos. Una terminación 2D se utiliza cuando la apariencia no es importante.
Nº 2B	Superficie brillante, resultante de un tratamiento similar al que se obtiene con el 2D, excepto que la pasada final se realiza con rodillos pulidos. Las chapas con esta terminación superficial se pueden utilizar directamente, o como primera etapa para terminaciones pulidas.
Nº 2BA o BA	No estándar, pero ampliamente ofrecida. Superficie altamente reflectiva
Terminaciones pulidas	
Nº 3	Superficie obtenida por pulido con abrasivo grano 100. Generalmente usada cuando se requiere una superficie pulida semi terminada. La terminación nº 3 normalmente recibe un pulido adicional durante los procesos de fabricación
Nº 4	Superficie pulida obtenida mediante abrasivo grano 120-150, a continuación de un pulido inicial con abrasivos más gruesos. Esta es una terminación superficial brillante para propósitos generales, con un grano visible y que presenta reflexión de la luz
Nº 6	Superficie con aspecto satinado, con menor reflectividad que la nº 4. Se produce mediante uso de cepillo con aceite y abrasivo, sobre una superficie con terminación nº 4. Se usa para aplicaciones en arquitectura y ornamentación, donde no se desea un alto lustre, y para contrastar con superficies más brillantes.
Nº 7	Superficie altamente reflectiva que se obtiene mediante pulido, pero no al grado de hacer desaparecer las marcas del abrasivo. Se utiliza principalmente para arquitectura y propósitos ornamentales.
Nº 8	Es la superficie más reflectiva, que se obtiene por pulido con abrasivos sucesivamente más finos hasta que todas las líneas producidas por anteriores operaciones de pulido sean eliminadas. Se usa en aplicaciones tales como espejos y reflectores.
Terminaciones mecánicas estándar de flejes	
Nº 1	Se aproxima a la terminación 2D para chapas
Nº 2	Se aproxima a la terminación 2B para chapas
BA	Templado brillante, terminación altamente reflectiva. Utilizada extensivamente en adornos de automóviles
Pulido en Fábrica	Terminación Nº 2 o BA seguido por un pulido para uniformar color y reflectividad. Se usa en adornos de automóviles, utensilios de cocina, y como base para cromado electrolítico

producto y facilita la limpieza. Hay evidencias de que se aumenta la resistencia a la corrosión por encima de las superficies metálicas pulidas, por un incremento superficial del contenido de cromo y níquel.

El electropulido se debe realizar en el equipo terminado, antes que en la chapa, plancha, u otro producto que se utilice para la construcción. La rugosidad superficial, que es la distancia que hay entre la altura de

picos y valles en la superficie, se reduce aproximadamente en un 25% con el electropulido. Se debe pulir la superficie con abrasivo grano 180 a 250 antes de realizar el electropulido, pero se debe evitar el pulido mecánico de las superficies ya electropulidas.

Guía para compra

Las siguientes recomendaciones se ofrecen para realizar compras de acero inoxidable para ser usado en la fabricación de equipo resistente a la corrosión.

1. Seleccionar los grados bajos en carbono o las alternativas estabilizadas para fabricaciones soldadas que no serán templados por disolución después de la fabricación.
2. Especificar la terminación 2B para chapas. Especificar la terminación requerida para planchas en los documentos de compra.
3. Especificar el papel de protección para chapas y planchas a ser aplicados en fábrica, cuando se necesite una garantía de protección especial de la superficie durante el transporte y almacenamiento. El papel de protección puede ser arrancado de la zona a ser soldada y eliminado del resto de la superficie antes de la limpieza final e inspección.
4. Los caños generalmente se ordenan bajo norma ASTM A 312, que requiere un tratamiento térmico final después de la soldadura, o bajo ASTM A 774, que no lo especifica. El caño A 312 es estándar en la mayoría de los almacenes. Sólo cinco de los grados más comunes están cubiertos por la A 778, que tiende a usarse para los diámetros más grandes, donde los grados

bajos en carbono han probado tener una adecuada resistencia a la corrosión una vez soldados. La ASTM A 403 y la A 774 son las especificaciones comparables para accesorios de acero inoxidable. Las especificaciones para caños de gran diámetro soldados en espiral se pueden obtener de la ASTM A 409.

5. La terminación interior en el área de la soldadura a menudo es crítica. La mayoría de los productores de caños logran una buena terminación en el área de la soldadura, pero la terminación que se desea debe ser claramente especificada para evitar malos entendidos.
6. El largo estándar de los caños es de 6 m (20 pies), pero se dispone de longitudes mayores, de hasta 18 m (60 pies). Para instalaciones de diámetro pequeño, se puede hacer un ahorro considerable ordenando mayores longitudes y doblando el caño en lugar de utilizar accesorios.

Las especificaciones estándar para productos hechos en aceros inoxidables se muestran en el Apéndice A. Las especificaciones ASTM no cubren el montaje por soldadura, como se requiere en la construcción de líneas de cañerías, tanques, y otros equipos de proceso. Las especificaciones de la calidad de la soldadura son responsabilidad del cliente, y deben ser incluidas dentro de los documentos de compra.