

Aceros Inoxidables

INDICE

25.1. Aceros inoxidables	483
25.1.1. Tipos de aceros inoxidables	483
25.1.2. Designación de los aceros inoxidables.....	485
25.1.3. Aceros inoxidables austeníticos	485
25.1.4. ¿Por qué son inoxidables?.....	486
25.2. Corrosión de los aceros inoxidables	487
25.3. Soldabilidad de los aceros inoxidables austeníticos	488
25.4. Limpieza y manipulación de los aceros inoxidables	489
25.4.1. Manipulación y descontaminación.....	489
25.4.2. Limpieza previa al soldeo	490
25.4.3. Limpieza y decapado posterior al soldeo.....	491
25.5. Metales de aportación	491
25.6. Procesos de soldeo	494
25.6.1. Soldeo por arco con electrodo revestido.....	494

25.6.2. Soldeo TIG	498
25.6.3. Soldeo MIG/MAG.....	499
25.6.4. Soldeo por arco con alambre tubular	500
25.6.5. Soldeo por arco sumergido.....	500
25.7. Diseño de la unión	501
25.8. Soldeo fuerte	505
25.9. Soldeo blando.....	506
25.10. Corte térmico.....	506

25.1. Aceros Inoxidables

25.1.1. Tipos de aceros inoxidables

Los aceros inoxidables son aleaciones de hierro, carbono, cromo y otros elementos, principalmente: níquel, molibdeno, titanio, niobio, silicio, manganeso.... Naturalmente, la influencia de los diversos elementos produce diversas variaciones en las características y propiedades de los aceros inoxidables.

Los aceros inoxidables se clasifican según su estructura microscópica (estructura observable en microscopio), esta estructura depende de la composición química del acero y del tratamiento térmico.

Los grandes grupos en que se dividen los aceros inoxidables son:

- Martensíticos.
- Ferríticos.
- Austeníticos.
- Austeno-ferríticos o aceros inoxidables dúplex.

Los austeníticos son los más empleados.

La estructura microscópica que hemos señalado podrá ser: ferrita, austenita o martensita.

La ferrita y la austenita son constituyentes del acero, su presencia depende de los elementos de aleación; por ejemplo el níquel favorece la presencia de la austenita. La martensita es un constituyente que aparece al templar un acero.

La ferrita en general es blanda y con baja resistencia mecánica, la austenita se caracteriza por su gran tenacidad y la martensita por su dureza y resistencia mecánica, así como por su fragilidad.

Los aceros ferríticos tendrán propiedades parecidas a la ferrita, los austeníticos similares a la austenita y lo mismo ocurrirá con los martensíticos en lo que respecta a la martensita.

En la figura 25.1 se han representado las cuatro familias de aceros inoxidables descritas comparando sus contenidos en cromo y níquel típicos, en la tabla 25.1 se comparan los contenidos de los elementos más importantes.

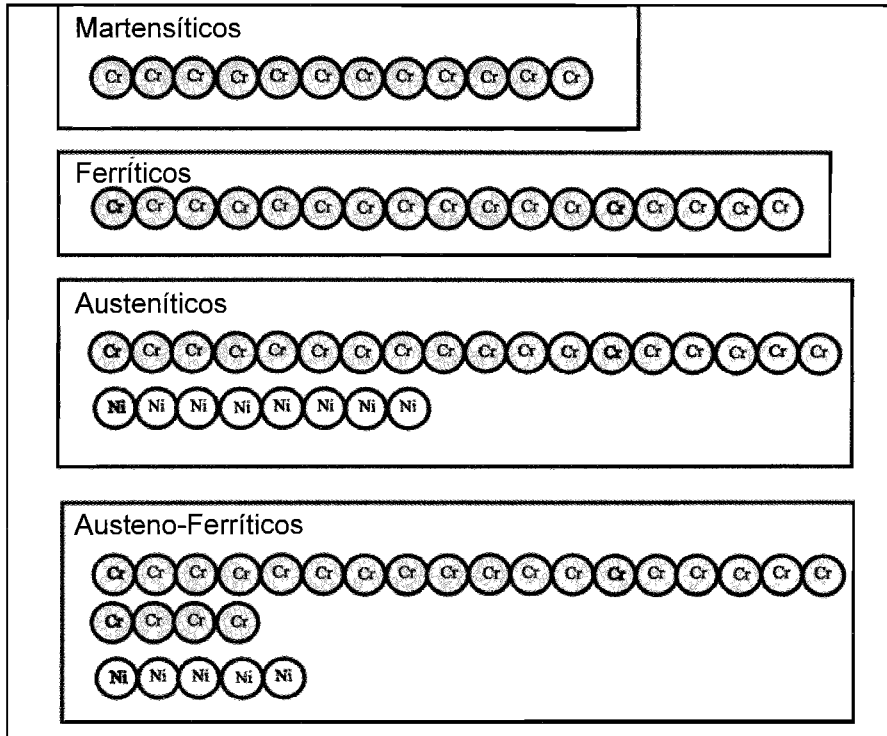


FIGURA 25.1: COMPOSICIÓN TÍPICA EN CROMO Y NÍQUEL DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ACEROS INOXIDABLES

Acero	%C	%Cr	%Ni	Magne-tismo	Estructura	Propiedades
Austenítico	0,03-0,2	De 17 a 27	6-20	No	Austenítica	Dúctiles, tenaces, buena resistencia a la corrosión y buena soldabilidad. Son los más utilizados y conocidos.
Ferrítico	De 0,1 a 0,3	De 15 a 30	--	Si	Ferrítica	Baja resistencia mecánica. Presentan fragilidad en la zona afectada térmicamente. Buena resistencia a la corrosión, sobre todo los de alto contenido en cromo.

TABLA 25.1: RESUMEN DE COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ACEROS INOXIDABLES

Acero	%C	%Cr	%Ni	Magnetismo	Estructura	Propiedades
Austeno-ferrítico	0,05-0,08	De 18 a 29	3-8	Si	Dúplex (Austeno-ferrítica)	Excelente resistencia a la corrosión. Buenas propiedades mecánicas y buena soldabilidad.
Martensítico	De 0,1 a 1,2	De 13 a 18	--	Si	Martensítica	Resistentes y duras. Peor resistencia a la corrosión. Mala soldabilidad y tenacidad.

TABLA 25.1 (CONTINUACIÓN): RESUMEN DE COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ACEROS INOXIDABLES

25.1.2. Designación de los aceros inoxidables

Los sistemas de designación permiten clasificar e identificar cada tipo de acero mediante ciertas propiedades (químicas, mecánicas, físicas).

La simbolización más extendida de los aceros inoxidables es la clasificación según el Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI).

La designación AISI de los aceros inoxidables, en general, se compone de tres cifras (pudiendo en algunas ocasiones ser cuatro cifras) seguidas de una o más letras, por ejemplo: 304L.

En el Anexo A se encuentran los símbolos químicos de los elementos más comunes.

25.1.3. Aceros inoxidables austeníticos

Los aceros inoxidables austeníticos son aleaciones de hierro, carbono, cromo y níquel.

El **contenido de cromo** está comprendido entre el 16 y el 25%, el de carbono entre el 0,02% y el 0,2% y el **de níquel** entre el 6 y el 20%, en este tipo de acero es el níquel el que proporciona la estructura austenítica.

No son templeables, presentan una **buena ductilidad** y son **fácilmente soldables**. Estas dos últimas cualidades se presentan más acusadas cuanto menor es el contenido en carbono.

Es el grupo más generalizado y el que reúne mejores condiciones de inoxidabilidad y ductilidad. Son **amagnéticos**, es decir no son atraídos por los

imanes a diferencia de los aceros inoxidables de los otros grupos y de los aceros al carbono y de baja aleación.

La resistencia, resiliencia, alargamiento y en general todas las propiedades mecánicas dependen del estado del material, es decir del tratamiento mecánico o térmico realizado, pero se pueden dar los siguientes valores como típicos en un acero inoxidable austenítico: carga de rotura de 65 kg/mm², alargamiento del 40%, la resiliencia y el alargamiento son elevados.

A este grupo pertenece el conocido acero 18-8 (18% de cromo, 8 % de níquel).

Los tipos más usuales son los AISI 304, 316, 308, 309 y 310.

Los **aceros de calidad "L"** se caracterizan por su bajo contenido en carbono, este tipo de acero tiene mayor resistencia a la corrosión.

Otra variante de la familia austenítica son los **aceros inoxidables estabilizados**. Este tipo de aceros poseen contenidos bajos de niobio o de titanio, del orden de 0,8%. Con estas adiciones se evita o disminuye la corrosión intergranular. A este tipo de aceros pertenecen los tipos AISI 321 y AISI 347.

25.1.4. ¿Por qué son inoxidables?

Para que un acero sea inoxidable debe tener un contenido en cromo mínimo del 12%.

La formación en la superficie del metal de una capa de óxido de cromo es lo que hace que el acero sea inoxidable, esta película o capa se denomina capa pasivante. Es una capa de óxido que no se desprende y protege al acero de la oxidación. Este sistema de protección es parecido al que se utiliza al pintar las superficies, o recubrirlas con cinc o níquel, la diferencia es que en los inoxidables esta capa pasivante la genera la propia aleación.

¿Qué sucede cuando esta película se rompe?

El solo contacto de la aleación con el ambiente hace crecer de nuevo la película pasivante y el material volverá a tener la misma resistencia a la corrosión que antes de romperse la película. Podríamos decir que tienen la propiedad de reparación automática.

Conocida ya la causa de la inoxidabilidad de estos aceros, se puede comprender que cuanto mayor es el contenido en cromo mayor es la resistencia a la corrosión.

25.2. Corrosión de los Aceros Inoxidables

Corrosión es la destrucción de un material por agentes químicos o físico-químicos. La destrucción comienza en la superficie (zona en contacto con el medio corrosivo) y se propaga hacia el interior del metal.

Al reaccionar el metal con el medio ambiente se crean capas de óxido, esta capa puede ser continua y protectora como la que vemos en la figura 25.2 A y es la que tiene el acero inoxidable, o el aluminio, y que produce esa protección a este tipo de metales. La capa de óxido protectora puede romperse en contacto con ciertos productos y formarse picaduras como vemos en la figura 25.2 B. Las picaduras se inician, sobre todo, en puntos de discontinuidad de las capas de óxido, imperfecciones o daños sufridos en la película y en zonas donde se acumula suciedad. Son provocadas por determinados agentes como el agua de mar o cualquier disolución con alto contenido en cloro. Para evitar este tipo de corrosión se debe hacer una buena selección del material y darle un mantenimiento de limpieza en servicio. Los aceros austeníticos con molibdeno (tipo AISI 316) manifiestan buena resistencia a la corrosión por picaduras.

Otro tipo de metales, como el acero al carbono de construcción, cuando se oxida genera una capa no protectora pues se desprende con facilidad, esta capa no se adhiere, figura 25.2 D, y se rompe con facilidad 25.2 C. Si un metal como el inoxidable está sometido a tensiones pueden crearse grietas como las de la figura 25.2 E y producirse corrosión bajo tensión.

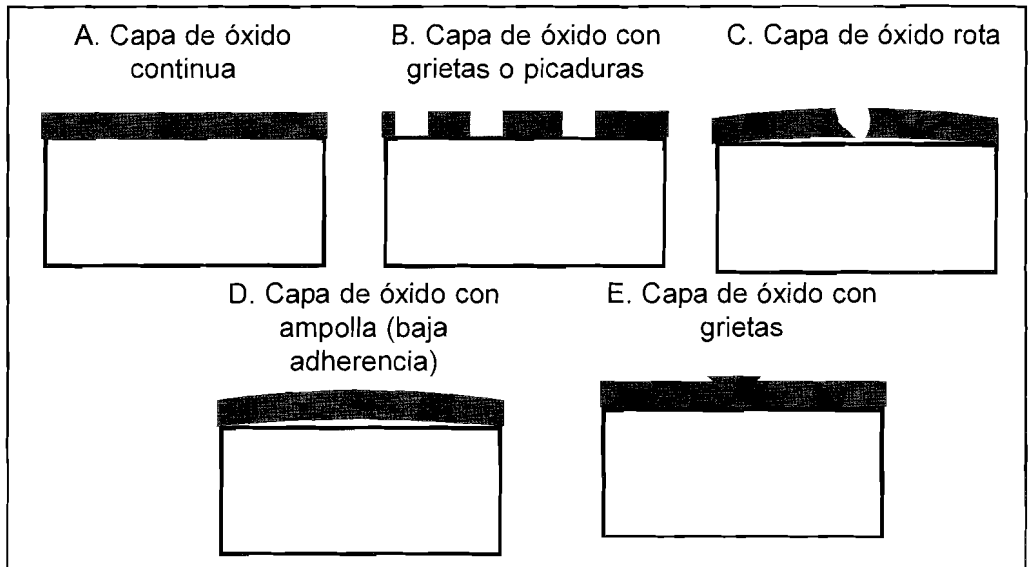


FIGURA 25.2: CAPAS DE ÓXIDO

Se advierte que los tipos de corrosión más peligrosos son los localizados.

En numerosos casos este deterioro puede producir la rápida **inutilización** de un determinado material en servicio, o producir la **rotura catastrófica** del mismo.

25.3. Soldabilidad de los Aceros Inoxidables Austeníticos

La soldabilidad de los aceros inoxidables austeníticos en general es buena. Ahora bien, para realizar correctamente el soldeo debe tenerse en cuenta la influencia de lo siguiente:

- Propiedades físicas.
- Contenido en ferrita en el metal de soldadura.
- Precalentamiento y tratamiento térmico del conjunto soldado.
- Elección del material de aporte y del proceso de soldeo.

Propiedades físicas

Cuando se sueldan aceros austeníticos es muy importante tener en cuenta sus particulares propiedades físicas. **Los aceros inoxidables austeníticos tiene un coeficiente de dilatación aproximadamente un 50% más elevado que los aceros al carbono, mientras que la conductividad térmica es aproximadamente un 40% inferior.** La contracción de las uniones soldadas será, pues, considerablemente mayor y el soldeo deberá realizarse prestando una atención especial al riesgo de posibles deformaciones del conjunto soldado.

Para amortiguar las tensiones producidas por estas dilataciones es preciso tomar las precauciones indicadas en el capítulo 21, como son reducir la aportación de calor, distribuir el calor de forma simétrica, disminuir la cantidad de metal aportado y no embriar en exceso las piezas.

Por otra parte, debido a la baja conductividad térmica de estos aceros, la ZAT será **más estrecha** que la resultante en el soldeo de otros tipos de aceros.

Precalentamiento y tratamiento térmico de los conjuntos soldados

Se puede afirmar que ninguna operación de soldeo de los aceros inoxidables austeníticos exige un precalentamiento del material, ni el mantenimiento de la temperatura entre pasadas.

Tras el soldeo, en la mayoría de los casos, tampoco es necesario realizar ningún

tratamiento térmico del conjunto soldado. Se efectúa únicamente cuando es exigible un distensionado del material, ya sea por razones mecánicas al tratarse, por ejemplo, de espesores muy gruesos, ya sea por razones químicas al tener que trabajar el material en presencia de un medio en el que exista riesgo de corrosión bajo tensiones.

El tratamiento térmico ideal de distensionado de los aceros inoxidables austeníticos es el de disolución de carburos a 1000–1100° C, seguido de enfriamiento rápido en agua. Ahora bien, en la mayoría de los casos este tratamiento es imposible de realizar por **razones prácticas**.

En los casos en que no sea posible y se requiera un **distensionado**, éste se efectúa a 200–400 °C, eligiendo siempre una temperatura y una duración adecuadas para que no se originen efectos secundarios **nocivos**, como precipitación de carburos.

25.4. Limpieza y Manipulación de los Aceros Inoxidables

25.4.1. Manipulación y descontaminación

Como se ha explicado, la inoxidabilidad del acero inoxidable se debe a una capa de óxido de cromo que pasiva el acero impidiendo su oxidación.

Mientras la película de óxido protector permanezca intacta, la inoxidabilidad de los aceros inoxidables será buena; sin embargo, si se daña esta película puede provocarse una pérdida de inoxidabilidad o una corrosión por picaduras. Una de las causas que puede provocar la corrosión posterior es su incorrecta manipulación. Se debe evitar la contaminación de la superficie así como dejar marcas sobre ésta.

El acero inoxidable se contamina si se almacena junto al acero al carbono y si se manipula con útiles (muelas, limas, cizallas de corte, mandriles de doblado, cepillo...) de acero al carbono, o con los que se ha realizado operaciones en estos aceros y por tanto hayan quedado contaminados por ellos; por tanto se deben emplear útiles de acero inoxidable que se utilicen exclusivamente para acero inoxidable, sin alternar su empleo con otros aceros.

En el caso de haberse producido una contaminación de la pieza de acero inoxidable se procederá a descontaminarlo, pero antes es necesario cerciorarse de si efectivamente la pieza está contaminada, para ello se puede introducir en agua que producirá, si se repite por lo menos durante 24 horas, manchas de orín superficiales; también se pueden utilizar reactivos adecuados.

La descontaminación consiste en sumergir o tratar la superficie de la pieza con las soluciones indicadas en la tabla 25.2, o con pastas pasivantes para disolver los óxidos de hierro, o de otros metales, y reconstituir la capa pasivante del acero inoxidable; posteriormente se lava cuidadosamente la pieza.

Composición de la disolución % en volumen	Temperatura °C	Duración del baño min
Ácido nítrico (20-40%)	50 – 70 20 – 35	20 – 30 60
Ácido nítrico (20-40%) + bicromato sódico (2-4% en peso)	40 – 55 20 – 35	20 – 30 60

TABLA 25.2: DISOLUCIONES PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE ACEROS INOXIDABLES

25.4.2. Limpieza previa al soldeo

Es necesario realizar una buena limpieza de las piezas antes de soldarlas para obtener uniones sanas. Se realizará la limpieza sobre las caras de los biseles de la unión y por lo menos unos 15 mm alrededor de cada uno de los biseles.

La limpieza consiste en la eliminación de cualquier resto de suciedad, grasa, fluido de corte, imprimaciones y aceite mediante los disolventes adecuados, que no contengan cloro, o mediante vapor de agua. También se puede limpiar con agua jabonosa y estropajo, que será de níquel o acero inoxidable y nunca de lana de acero.

En el caso de existencia de ligeros óxidos se retirarán mediante decapados mecánicos o químicos tales como:

- Empleo de cepillos de púas de acero inoxidable que no hayan sido utilizados para otros fines.
- Granallado con arena limpia.
- Mecanizado con herramientas adecuadas y fluido de corte exento de productos clorados.
- Decapado con ácido nítrico al 10 ó 20%, seguido de limpieza con agua.

25.4.3. Limpieza y decapado posterior al soldeo

Tras el soldeo se debe realizar también una limpieza adecuada para retirar cualquier escoria. Cualquier mancha o decoloración en la soldadura, o en la zona afectada térmicamente, debe ser retirada mediante cepillado o pulido mecánico, requiriendo a veces un decapado seguido de pasivado para restaurar la capa pasivante del acero inoxidable.

El decapado y pasivado se realiza por inmersión o rociado con alguna de las disoluciones ácidas indicadas en la tabla 25.3, después la pieza se enfría rápidamente en agua y este choque térmico permite separar los últimos residuos de cascarilla de la superficie y eliminar los restos de ácido.

Composición de la disolución % en volumen	Temperatura °C	Duración del baño ⁽¹⁾ min
Ácido nítrico (15-25%) + Ácido fluorhídrico (1-4%)	20 – 60	5 – 30
Ácido nítrico (6-15%) + Ácido fluorhídrico (0,5-1,5%)	20 – 60	10
Inmersión en ácido sulfúrico (8- 11%) Enjuague en agua	65 – 85	5 – 30
Inmersión en solución 6-15% de ácido nítrico + 0,5-15% ácido fluorhídrico	20 – 60	10

(1) Se debe adoptar el tiempo mínimo de inmersión en el baño para evitar un exceso de decapado. Se pueden realizar ensayos para establecer los tiempos exactos de inmersión.

TABLA 25.3: SOLUCIONES PARA EL DECAPADO DE ACEROS INOXIDABLES

25.5. Metales de Aportación

En la tabla 25.4 se indican los metales de aportación recomendados para cada tipo de acero inoxidable. Se ha utilizado la designación AWS por ser la más utilizada. Consiste en los mismos números de designación del material base (según AISI), la letra E indica electrodo, R varilla y T electrodo tubular, el significado de los últimos números se explica en la tabla 25.6.

Metal base		Metal de aportación			
		SMAW	TIG MIG/MAG SAW PAW	FCAW	
Austenítico	302 304	E308-XX	ER 308	E308T-X	
	304 L	E308L-XX	ER 308L	E308T-X	
	304 H	E347-XX	ER 347	E347T-X	
	309	E309-XX	ER 309	E309T-X	
	309 S	E309L-XX E309Nb-XX	ER 309L ER 309Nb	E309LT-X E309NbLT-X	
	310 314	E310-XX	ER 310	E310T-X	
	316	E316-XX	ER 316	E316T-X	
	316 L	E316L-XX	ER 316 L	E316LT-X	
	316 LN	E316L-XX E308LMo-XX	ER 316L ER 308LMo ER 316 LSi (MIG/MAG)	E316LT-X E308LMo-X	
	317	E317-XX	ER317	E317T-X	
	317 L	E317L-XX	ER317L	E317LT-X	
	321	E308L-XX E347-XX	ER321 ER347	E308LT-X E347T-X	
	347	E308L E347	ER347	E308LT-X E347T-X	
	348	E347	ER347	E347T-X	
Ferrítico	430, 446 ó similar	E430-XX E318-XX E310-XX E309-XX	ER 430 ER 218 ER 310 ER 309	E430T-X E318T-X E310T-X E309T-X	
	Martensítico	410, 420 ó similar	E410-XX E410NiMo-XX E310-XX E308-XX E309-XX	ER 410 ER 420 ER 310 ER 308 ER 309	E410T-X E410NiMoT-X E410NiTiT-X E310T-X E308T-X E309T-X

TABLA 25.4: METALES DE APORTACIÓN PARA ACEROS INOXIDABLES

Metal base		Metal de aportación		
		SMAW	TIG MIG/MAG SAW PAW	FCAW
Austeno- ferrítico	UNS S31803 (acero 22% cromo)	E2209-XX	ER 2209	2205 ⁽¹⁾
	Otros aceros 25% cromo	E2553-XX	ER 2553	

(1) Designación AVESTA

TABLA 25.4 (CONTINUACIÓN): METALES DE APORTACIÓN PARA ACEROS INOXIDABLES

Las normas AWS y las normas europeas que recogen el material de aportación para el soldeo de aceros inoxidables se indican en la tabla 25.5.

En el soldeo TIG también se utilizan insertos consumibles que están especificados en AWS A5.30; se designan con un prefijo IN seguidos de los mismos números que indican el tipo de acero inoxidable.

Al realizar las siguientes pasadas es necesario refundir el inserto consumible, para ello se intentará no utilizar un aporte elevado limitando la dilución.

Especificación AWS	Procesos de soldeo	Norma UNE-EN
A5.22	FCAW	UNE-EN 12073
A5.9	MAG/MIG/TIG/SAW/PAW	UNE-EN 12072
A5.4	SMAW	UNE-EN 1600

TABLA 25.5: ESPECIFICACIÓN AWS PARA MATERIALES DE APORTE DE ACERO INOXIDABLE

25.6. Procesos de Soldeo

Los aceros inoxidables pueden ser soldados por casi todos los procesos, tales como láser, haz de electrones, resistencia, plasma, arco sumergido; los procesos más usuales son: TIG, MIG/MAG, SMAW y FCAW.

Se pueden conseguir soldaduras sanas mediante arco sumergido, sin embargo existen ciertas restricciones con este proceso ya que la composición del metal de soldadura depositado es más difícil de controlar.

No se recomienda el soldeo oxiacetilénico, excepto para pequeñas reparaciones cuando sea imposible el empleo de soldeo por arco, en estos casos se recomienda el soldeo con llama neutra o débilmente reductora y el empleo de fundentes adecuados (fluoruro sódico o cálcico).

25.6.1. Soldeo por arco con electrodo revestido

El soldeo con electrodo revestido es uno de los procesos más utilizados. Resulta un proceso adecuado para uniones de chapas o tubos de espesor mayor de 1 mm y en principio, no existe límite superior en cuanto al espesor, aunque para espesores muy grandes se prefieren los métodos automáticos como arco sumergido. También se puede utilizar en combinación con TIG, utilizando el soldeo TIG para realizar la raíz de la soldadura y el electrodo revestido para el relleno; este método es muy utilizado en tubería.

Metal de aportación

Como metales de aportación se utilizarán electrodos revestidos con una composición química similar a la del metal base; en la tabla 25.4 se han indicado los electrodos utilizados en cada caso.

La designación utilizada por AWS A5.4 consiste en:

- La letra E que indica que es un electrodo.
- 3 ó 4 números que representan la composición química del metal de soldadura, clasificados de la misma forma que el metal base según AISI.
- 2 números que indican el tipo de revestimiento y por tanto la posición de soldeo y el tipo de intensidad de soldeo, según la tabla 25.6.

Los electrodos tienen diámetros de 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 4,8; 5,6; 6,4 mm.

Denominación AWS	Corriente de soldeo	Posición de soldeo
EXXX-15	CCEP	Todas ¹
EXXX-16	CCEP ó CA	Todas ¹
EXXX-17	CCEP ó CA	Todas ¹
EXXX-25	CCEP	Horizontal (cornisa) y plana
EXXX-26	CCEP ó CA	Horizontal (cornisa) y plana

(1) Los electrodos de diámetro mayor de 4,8 mm no se recomiendan para el soldeo en todas las posiciones

TABLA 25.6: TIPO DE CORRIENTE DE SOLDEO EN FUNCIÓN DEL ELECTRODO

La norma europea aplicable es la UNE-EN 1600, ver figura 25.3

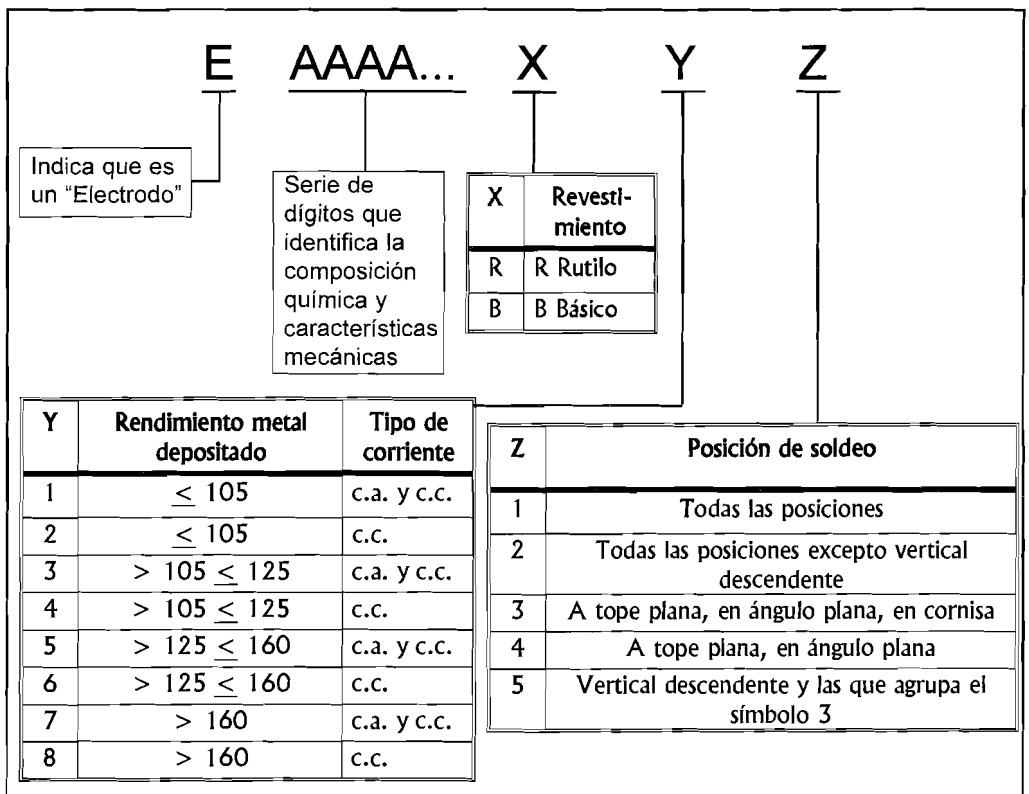


FIGURA 25.3: DESIGNACIÓN DE LOS ELECTRODOS REVESTIDOS PARA EL SOLDEO MANUAL POR ARCO DE LOS ACEROS INOXIDABLES Y RESISTENTES AL CALOR DE ACUERDO CON UNE-EN 1600:1998

Un electrodo clasificado como: EN 1600 E 19 12 2 R 34, representa:

- Un consumible de soldeo clasificado según norma europea (norma EN 1600)
- Dentro de los posibles consumibles de soldeo se trata de un electrodo revestido (E).
- El análisis del metal depositado debe mostrar una composición química dentro de los siguientes márgenes:
 - 0.08% de C máximo, 1.2% Si máximo, 2% de Mn máximo, 0.03 % P máximo, 0.025% S máximo, 17 - 20% de Cr, 10 - 13 % de Ni y 2 - 3% de Mo.
- El tipo de revestimiento del electrodo es rutilo (R).
- El electrodo puede utilizarse tanto con corriente continua, como con alterna y el rendimiento del metal depositado está dentro del margen: 105 - 125.
- Se trata de un electrodo apto para soldar en posición a tope plana y en ángulo en posición plana.

Técnica de soldeo

Las chapas deberán estar unidas inicialmente con puntos, de forma que la abertura entre las chapas permanezca uniforme a lo largo de toda su longitud; el punteado se hará con cordones cortos de 40 mm. de longitud, siguiendo una secuencia que tenga un punto de partida en el medio de la chapa y que los puntos vayan aplicándose alternativamente hacia los extremos, o bien se dispondrá un punto en cada extremo y luego en el centro de cada espacio hasta que el punteado se haya completado [figura 25.4 (A)]. La abertura tendrá una tendencia a cerrarse si la soldadura por puntos se efectúa solamente desde un lado [ver figura 25.4 (B)].

En el caso de los aceros inoxidables, sobre todo en el caso de los austeníticos, el espaciado entre los puntos deberá ser menor que en el caso de acero normal; la razón de ello es que el material inoxidable austenítico se dilata más al ser calentado. Se recomiendan los siguientes espaciados (tabla 25.7).

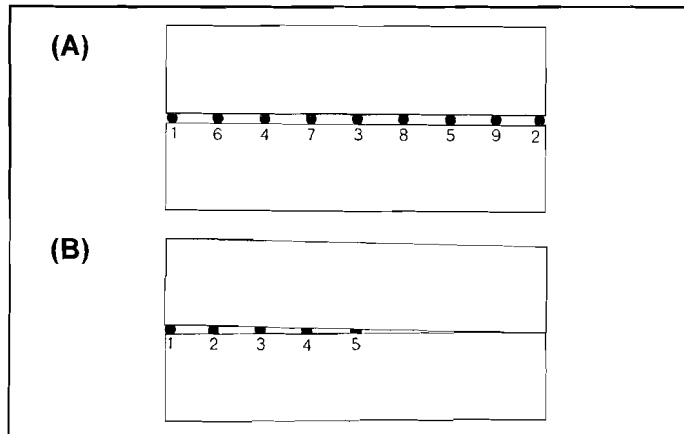


FIGURA 25.4: MÉTODO DE PUNTEADO. (A) DISTRIBUCIÓN CORRECTA DE LOS PUNTOS. (B) DISTRIBUCIÓN INCORRECTA, LA CHAPA SE CIERRA

Espesor chapa (mm)	1 – 1,5	2 – 3	4 – 6	Mayor de 6
Espaciado entre puntos de soldadura (mm)	30 – 60	70 – 100	120 – 160	150 – 200

TABLA 25.7: DISTANCIA ENTRE PUNTOS DE SOLDADURA

Se logrará mejor penetración si los puntos de soldadura se esmerilan antes de proceder al soldeo. En el caso de chapas de pequeño espesor los puntos de soldadura deberán ser martillados. De esta forma se ensancha la soldadura y se reduce la concentración de tensiones. El martillado no será excesivo y no se extenderá por una superficie amplia del metal base. Se preferirá, sin embargo, la utilización de plantillas de montaje para sujetar las chapas muy delgadas en lugar del punteado de éstas.

La separación entre las chapas será de 2,5 a 3,2 mm dependiendo del tipo de electrodo que se utilice.

Se recomienda la técnica de cordones rectos mejor que la de oscilantes; la anchura del cordón no deberá ser mayor que cuatro veces el diámetro del alma del electrodo, cada cordón de soldadura tendrá un espesor inferior a 3 mm.

Será necesario realizar la soldadura utilizando una longitud de arco pequeña.

Cada uno de los cordones deben limpiarse, retirando la escoria mediante cepillado y/o amolado. Las inclusiones de escoria provocadas por realizar una limpieza incorrecta no sólo representan una discontinuidad, sino que también favorecen la corrosión.

Cuando no se pueda soldar por las dos caras no se recomienda el empleo del electrodo revestido para la pasada de raíz, pudiendo utilizarse en su lugar el soldeo TIG, soldeo por plasma o soldeo MIG/MAG.

Para evitar las mordeduras, sobre todo en las posiciones vertical y bajo techo, se deberá evitar la oscilación excesiva del electrodo, intensidades muy altas y longitudes de arco muy grandes.

Los electrodos deben conservarse en buen estado y secarse antes del soldeo para evitar la porosidad causada por la humedad.

25.6.2. Soldeo TIG

Las aplicaciones más comunes del soldeo TIG son el soldeo de chapas finas, para el soldeo de las primeras pasadas cuando se realiza el soldeo por una sola cara y en el soldeo de tuberías.

Se prefiere utilizar las uniones biseladas antes que las uniones con bordes rectos.

El soldeo se realizará con corriente continua electrodo en el negativo, por tanto se suele utilizar electrodo de wolframio con óxido de torio.

En general se utilizará argón para el soldeo TIG, añadiendo ciertas cantidades de helio cuando las uniones se realizan entre piezas de mayor espesor, en el caso de los aceros inoxidables dúplex se pueden utilizar adiciones de nitrógeno que mejoran las características de la soldadura.

Se utiliza gas de respaldo, sobre todo en el soldeo de tuberías. En el caso del inoxidable austenítico se pueden utilizar como gas de respaldo argón o argón+hidrógeno (5% de hidrógeno) y en el caso del inoxidable dúplex se utilizará argón o argón+nitrógeno. También pueden utilizar nitrógeno y nitrógeno + 4% hidrógeno.

Para conseguir una buena fusión de la raíz se pueden utilizar insertos consumibles o chaflanes ensanchados.

Si se utiliza TIG pulsado se reduce el aporte térmico y las deformaciones y se facilita el soldeo en posiciones difíciles. En este caso la corriente de pico será un 40 a 60% mayor que la corriente utilizada con TIG normal y la corriente de fondo será un 25% más baja que la corriente de pico.

25.6.3. Soldeo MIG/MAG

El soldeo MIG/MAG se suele utilizar para el soldeo de piezas de mayor espesor que las soldadas con TIG.

Se suele utilizar como gas de protección argón y se puede utilizar otras mezclas, como argón-oxígeno, argón-CO₂, argón-helio-dióxido de carbono (CO₂). La mezcla argón-oxígeno mejora el mojado y aspecto de la soldadura produciéndose gotas de menor tamaño, pero puede dar lugar a una cierta oxidación del baño. No se utilizarán mezclas argón-CO₂ cuando se suelden aceros inoxidables grado L (Bajo carbono) pues puede aumentar el contenido de carbono del metal de soldadura, produciéndose una disminución de la resistencia a la corrosión.

Como gas de respaldo se suele utilizar argón o argón-5% hidrógeno.

El espesor máximo de las pasadas no debe ser mayor de 3,2 mm y se debe controlar el balanceo, la energía de aporte y la temperatura entre pasadas.

Los parámetros recomendados para el soldeo MIG/MAG dependen del tipo de transferencia, en la tabla 25.8 se indican los recomendados para el soldeo con transferencia spray y en la tabla 25.9 con transferencia por cortocircuito.

Se debe recordar que el tubo-guía del alambre no puede ser de acero al carbono, utilizándose de otros materiales como teflón.

Espesor material mm	Tipo de unión	Diámetro del alambre mm	Intensidad ⁽¹⁾		Velocidad del alambre mm/s	Gas de protección	Caudal de gas l/min.
			A	V			
3,2	A tope con respaldo	1,6	225	24	55	Ar 98%, O ₂ 2%	14
6,4 ⁽²⁾	A tope. Bisel en V, ángulo 60°	1,6	275	26	74	Ar 98%, O ₂ 2%	16
9,5 ⁽²⁾	A tope. Bisel en V, ángulo 60°	1,6	300	28	102	Ar 98%, O ₂ 2%	16

(1) Corriente continua electrodo positivo. (2) Se requieren dos pasadas

TABLA 25.8: VARIABLES TÍPICAS PARA EL SOLDEO MIG/MAG DE ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS Y DUPLEX, EMPLEANDO ARCO SPRAY EN POSICIÓN PLANA

Espesor material mm	Tipo de unión	Diámetro del alambre mm	Intensidad de soldeo*		Velocidad del alambre mm/s	Gas de protección	Caudal de gas l/min.
			A	V			
1,6	A tope	0,8	85	21	78	He 90%, Ar 7,5% CO ₂ 2,5%	14
2,4	A tope	0,8	105	23	97	He 90%, Ar 7,5% CO ₂ 2,5%	14
3,2	A tope	0,8	125	24	118	He 90%, Ar 7,5% CO ₂ 2,5%	14

(*) Corriente continua electrodo positivo

TABLA 25.9: VARIABLES TÍPICAS PARA EL SOLDEO MIG/MAG DE ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS Y DUPLEX, EMPLEANDO CORTOCIRCUITOS

25.6.4. Soldeo por arco con alambre tubular

Se puede utilizar gases de protección como argón, CO₂ o mezclas de ambos. La composición química de cada tipo de alambre permite obtener la cantidad de ferrita adecuada en cada caso. Se debe evitar realizar el soldeo con bajas intensidades y grandes longitudes de arco, pues pueden producir porosidad.

En la tabla 25.10 se indican algunas variables para el soldeo FCAW.

Diámetro del alambre	Intensidad A	Tensión V	Caudal de gas l/ min ¹
0,9	70 – 190	22 – 38	20 – 25
1,2	150 – 250	22 – 38	20 – 25
1,6	200 – 300	25 – 40	20 – 25

(1) 75% Argón + 25% CO₂

TABLA 25.10: VARIABLES PARA EL SOLDEO FCAW

25.6.5. Soldeo por arco sumergido

El soldeo por arco sumergido se utiliza habitualmente para realizar uniones entre aceros inoxidables austeníticos y dúplex, o para realizar un plaqueado de un acero al carbono con acero inoxidable.

En el soldeo de los aceros dúplex se utilizarán intensidades y tensiones un poco más altas que con los aceros austeníticos.

El fundente deberá ser básico, de alta basicidad o neutro y no se deberán utilizar los fundentes utilizados en el soldeo de aceros al carbono. Los fundentes aglomerados absorben humedad y deberán secarse antes de su utilización. Se debe limitar la dilución del metal base al 40%.

Se podrá realizar el soldeo con corriente continua o con corriente alterna.

Se recomiendan las siguientes medidas:

- Emplear una geometría correcta de la unión, la anchura de la soldadura (a) deberá ser mayor que su profundidad (p): $a > p$
- Se debe elegir una combinación de fundente y alambre de forma que se asegure un contenido de ferrita no inferior al 5% en el caso de inoxidable austenítico.
- En el soldeo del inoxidable dúplex se reducirá la dilución para evitar que el metal de soldadura tenga un exceso de ferrita.
- Se evitarán las soldaduras con intensidades excesivas y se dejará enfriar la soldadura entre pasadas.
- Los cordones de raíz (2 ó 3 capas) se realizarán con otro proceso TIG, MIG/MAG, FCAW o bien se resanará.
- Se utilizarán placas de respaldo de cobre o cerámicas

25.7. Diseño de la Unión

Como los aceros inoxidables se utilizan en ambientes corrosivos, se deben diseñar las uniones de forma que se eviten al máximo las discontinuidades que favorecerían la corrosión, se debe extremar el diseño de las uniones de tuberías evitando resquicios o zonas de estancamiento de fluidos corrosivos. Las uniones deben ser de penetración total y se deben evitar las raíces pronunciadas y las uniones a solape.

En todo caso, la geometría de la unión depende de la posición de soldeo y la accesibilidad de la unión, además del espesor y el proceso de soldeo.

En los casos de uniones en ángulo será necesario conseguir un ajuste bueno, a fin de evitar zonas que puedan ser origen de tensiones. Un buen ajuste permite ejecutar un cordón en ángulo, interesante por su penetración, continuidad y reparto de los esfuerzos.

A veces es necesario utilizar en las uniones a tope separaciones en la raíz mayores de 2,5 mm, para evitar de esta forma que se junte excesivamente la raíz durante el soldeo.

A continuación se indican algunas de las preparaciones recomendadas en función del proceso de soldeo y del espesor de la pieza (figura 25.5).

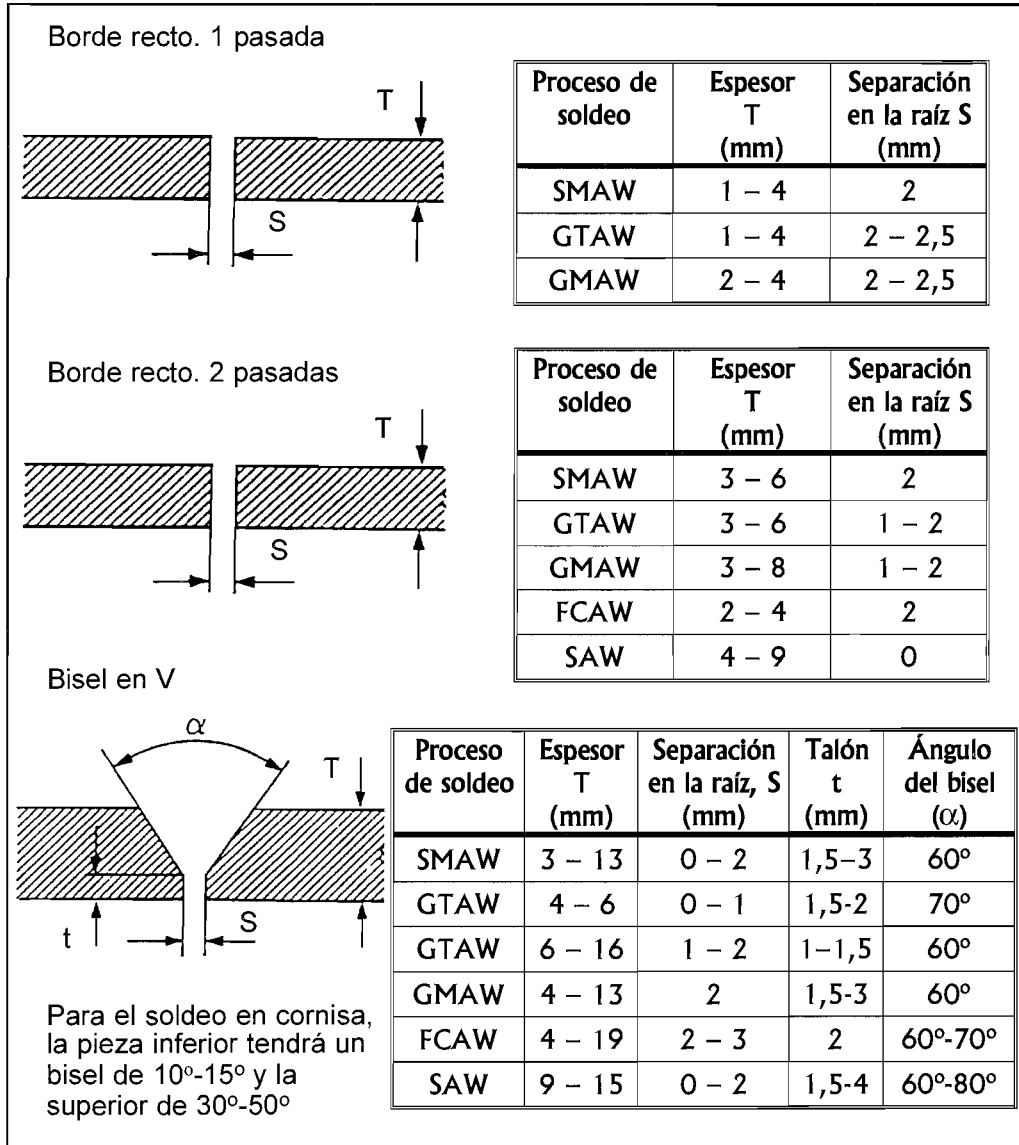
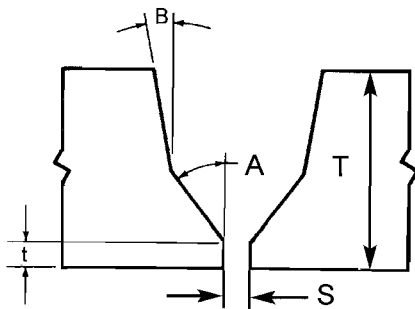


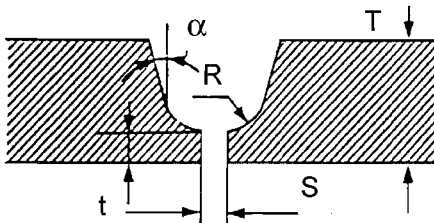
FIGURA 25.5: PREPARACIONES RECOMENDADAS PARA EL SOLDEO DE ACEROS INOXIDABLES



T > 19 mm
 t = 2 mm
 A = 40°
 B = 10°
 S = 2 mm

Preparación utilizada sobre todo en el soldeo de tubería para espesores mayores de 19 - 20 mm, utilizando los procesos SMAW y GTAW ó GMAW

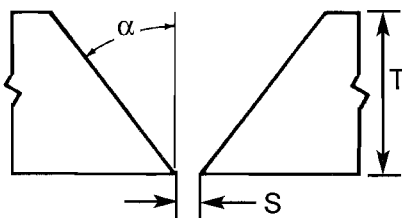
Bisel en U, R = 4 - 8 mm



Proceso de soldeo	Espesor T (mm)	Separación en la raíz, S (mm)	Talón t (mm)	Ángulo (α)
SMAW	> 20	2	2	10°
GTAW	> 20	2	2	10°
GMAW	13-19	2	2 - 3	15°

Utilizado en tubería para espesores > 20 mm con procesos GTAW y SMAW. Si el soldeo se puede realizar por las dos caras se preferirán las geometrías en X o en doble U.

En V

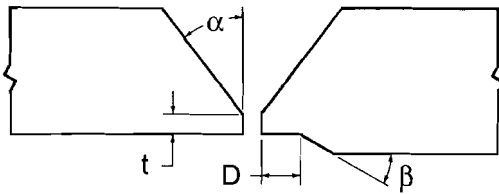


Proceso de soldeo	Espesor T (mm)	Separación en la raíz, S (mm)	Ángulo (α)
SMAW	6 - 10	3	45°
	10 - 20	5	30°
	20 - 30	10	20°
GTAW	4 - 20	2	60°-70°

Utilizado para tubería con insertos consumibles y para soldeo con respaldo.

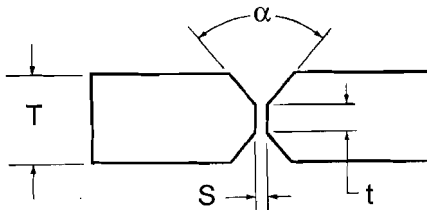
FIGURA 25.5 (CONTINUACIÓN): PREPARACIONES RECOMENDADAS PARA EL SOLDEO DE ACEROS INOXIDABLES

Ejemplo de preparación de unión para soldeo de tuberías de diferente espesor.



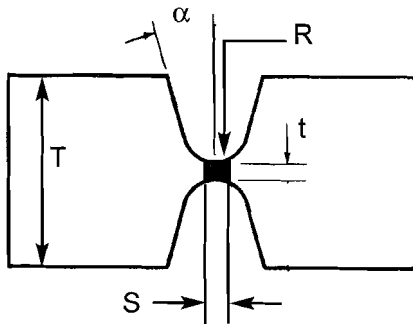
$\alpha = 40^\circ$
 $t = 2 \text{ mm}$
 $D = 2 \text{ veces la diferencia de espesores}$
 $\beta = \text{máx. } 30^\circ$

Bisel en V doble



Proceso de soldeo	Espesor T (mm)	Separación en la raíz, S (mm)	Talón t (mm)	Ángulo del bisel (α)
SMAW	13 - 35	1 - 3	1,5-4	60°
GTAW	> 20	0 - 2	< 2	60°-90°
GMAW	13 - 35	1 - 3	1,5-4	60°
FCAW	13 - 76	3		45°
SAW	13 - 35	1 - 3	1,5-4	60°

En U doble



Proceso de soldeo	Espesor T (mm)	Separación en la raíz, S (mm)	Talón t (mm)	Ángulo del bisel (α)
SMAW	> 32	1 - 2	2 - 3	10°-15°
GTAW	> 13	< 2	2,4	10°-15°
GTAW	> 20	0 - 2	4 - 8	10°-15°

FIGURA 25.5 (CONTINUACIÓN): PREPARACIONES RECOMENDADAS PARA EL SOLDEO DE ACEROS INOXIDABLES

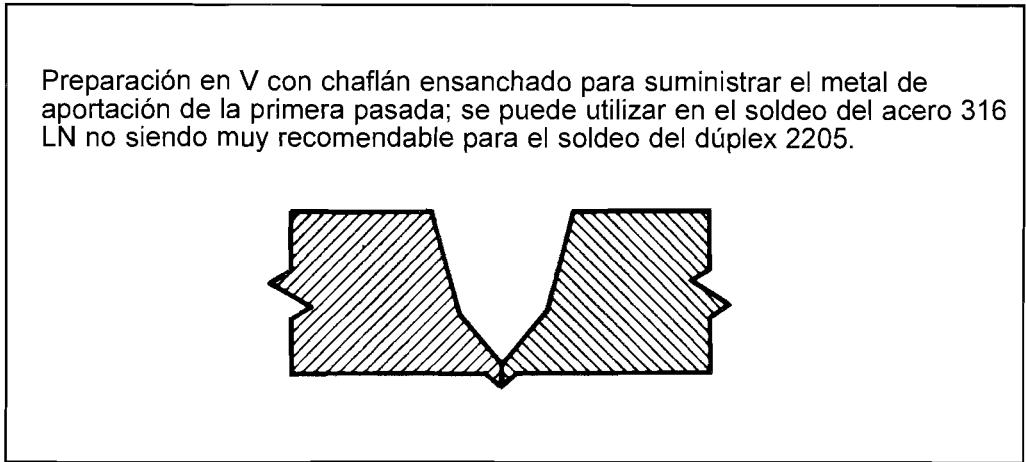


FIGURA 25.5 (CONTINUACIÓN): PREPARACIONES RECOMENDADAS PARA EL SOLDEO DE ACEROS INOXIDABLES

25.8. Soldeo Fuerte

Existen bastantes aplicaciones en las que se utiliza el soldeo fuerte para los aceros inoxidables como proceso de unión de estos materiales. Para obtener uniones sanas con cualquiera de los procesos de soldeo fuerte, las piezas deberán estar perfectamente limpias (desengrasadas y decapadas) realizándose el soldeo justo después de su limpieza, si esto no fuera posible, las piezas se deberán guardar en bolsas de plástico selladas. Los procesos de soldeo fuerte preferidos son los que utilizan vacío o gases inertes como protección, ya que de esta forma se evita la retirada posterior del fundente cuya presencia favorecería la corrosión del acero en servicio.

Como metales de aportación se utilizan los de la tabla 25.11.

Metal de aportación para el soldeo fuerte	Temperatura de servicio (° C)
Aleaciones de plata	Hasta 370° C
Aleaciones de cobre	Hasta 425° C
Aleaciones cobre-manganeso-níquel (53Cu-37Mn-10Ni)	425° C - 540° C
Aleaciones de níquel y aleaciones de oro	Mayor de 540° C

TABLA 25.11: METALES DE APORTACIÓN EN EL SOLDEO FUERTE DE ACEROS INOXIDABLES

25.9. Soldeo Blando

La capa superficial de óxido que protege el acero inoxidable dificulta el soldeo blando y el soldeo fuerte; sin embargo, con el empleo de fundentes y técnicas adecuadas se pueden obtener soldaduras de gran calidad.

Como metales de aporte se utilizan aleaciones de cinc, con contenidos elevados de éste, en general mayores del 50%, ya que cuanto mayor sea su contenido mejor es el mojado del acero inoxidable. El metal de aportación debe elegirse de forma que sea compatible con el acero inoxidable y con el ambiente al que va a estar expuesto.

Se deberá realizar una buena limpieza de las piezas, retirando cualquier resto de grasa, suciedad y óxido; sin embargo no se deberá pulir la superficie. El soldeo blando se realizará inmediatamente después de la limpieza y, si no fuera posible, se cubrirán las piezas con estaño o con el metal de aportación que se vaya a utilizar.

Cuando el diseño de las piezas sea complicado y no se pueda comprobar visualmente si el metal de aportación ha fluido por la intercara de las piezas, se preferirá recubrirlos previamente.

El soldeo se puede realizar con cualquier método de calentamiento, sin embargo, debido a la baja conductividad térmica del acero inoxidable, el soldeo se debe realizar despacio permitiendo de esta forma que todas las partes de la unión alcancen la temperatura de soldeo. No se recomienda aumentar la temperatura de las piezas para poder soldar más deprisa, ya que el fundente perdería su actividad y no realizaría su función protectora, oxidándose tanto el metal base como el metal de aportación.

Los fundentes deben emplearse con cuidado, ya que pueden dañar la piel y los ojos. Después del soldeo se retirará completamente cualquier resto de fundente.

25.10. Corte Térmico

La capa de óxido protectora impide el oxicorte convencional de las piezas de acero inoxidable. Para oxicotar un acero inoxidable será necesario utilizar los métodos de corte con fundente o con polvo metálico, sin embargo la calidad del corte es muy baja. El método más utilizado es el corte por plasma. A veces se utiliza el corte o resanado por arco aire siendo necesario amolar las superficies de corte para eliminar la capa carburada que se obtiene tras la utilización de este proceso.