

A) SMAW, soldadura por arco eléctrico con electrodo recubierto

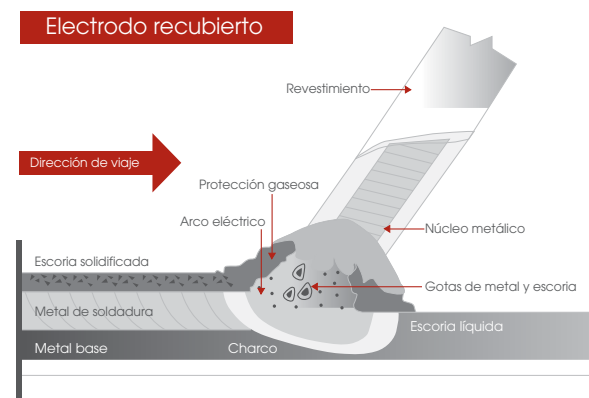
Proceso de soldadura entre un electrodo recubierto y el metal que se va a unir. El metal de aporte procede principalmente del núcleo del electrodo, mientras que la protección gaseosa se obtiene de la descomposición del recubrimiento.

Usualmente, el núcleo del electrodo es alambre sólido de acero inoxidable. Las principales características del electrodo recubierto están en su revestimiento, el cual:

- Permite la adición de elementos de aleación que modifican las propiedades mecánicas del cordón de soldadura.
- Forma una capa de escoria encima del cordón de soldadura, el cual sirve para protegerlo de la contaminación por aire.
- Permite un enfriamiento lento del metal solidificado y ayuda a la forma del cordón y a la limpieza de su superficie.

El proceso de soldadura por electrodo recubierto es el más utilizado debido a su flexibilidad, simplicidad de uso y equipo relativamente sencillo y de bajo costo.

Proceso SMAW (arco eléctrico con electrodo recubierto)



Las máquinas para soldar son dispositivos que proporcionan el control de los factores necesarios para mantener un arco eléctrico de manera segura y estable.



Tipos de máquinas para soldar

- Transformador: transforma la corriente alterna de entrada en corriente alterna para soldar.
- Transformador-rectificador: no solo transforma la corriente; también la rectifica.

B) GTAW o TIG, soldadura por arco eléctrico con electrodo de tungsteno y protección gaseosa

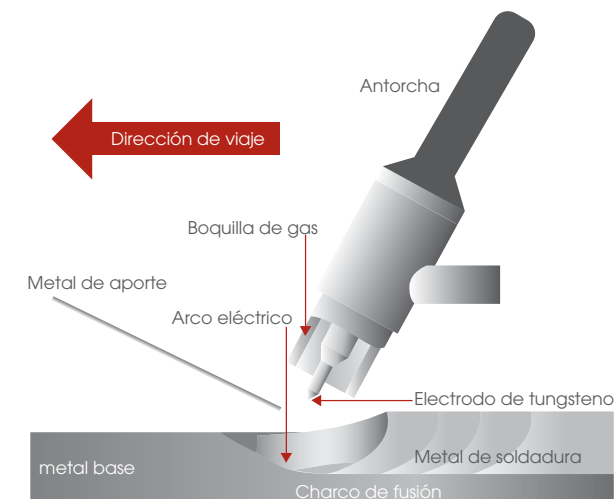


La soldadura por arco con electrodo de tungsteno y gas (TIG) es un proceso en el que la soldadura se logra por el calor de un arco establecido entre un electrodo no consumible de tungsteno y la pieza de trabajo. El electrodo, el arco y el área vecina al charco de metal líquido son protegidos por una pantalla de gas inerte. El electrodo

no se consume en metal líquido, y muchas veces es necesario agregar o aportar metal de relleno.

La soldadura TIG produce soldadura excepcionalmente limpia, ya que no genera escoria. Los gases de protección empleados son argón y helio, que son gases inertes.

Proceso GTAW o TIG (arco eléctrico con electrodo de tungsteno y protección gaseosa)



Esta técnica se usa para soldar casi todos los metales, sin embargo es ideal para soldar aceros inoxidables donde la integridad de la soldadura es de gran importancia. La calidad de las soldaduras producidas y la facilidad para soldar metales muy delgados son las mejores características de esta técnica.

La principal desventaja de este método es que es más lento que el de electrodo recubierto, por lo que es poco utilizado en espesores mayores a $\frac{1}{4}$ ".



Equipo y operación:

- Fuente de poder
- Soplete o antorcha
- Equipo para manejo de gas protector
- Electrodo de tungsteno
- Cable de tierra
- Equipo protector

Fuentes de poder:

- Transformador
- Transformador-rectificador
 - Corriente directa PI
 - Corriente directa PD
- Generadores

Soplete o antorcha



Antorcha portaelectrodo que transmite la corriente al electrodo de tungsteno y la corriente de gas a la zona del arco.

Gases de protección

- Argón
- Helio
- Mezcla de argón-helio

Electrodos de tungsteno

- Tungsteno puro
- Tungsteno 1% de torio
- Tungsteno 2% de torio
- Tungsteno circonio

Tecnología de soldadura
Hoja de instrucción basada en el estándar AWS B2.1.009

Proceso: GTAW Manual	Gas Protección: Argón para soldadura	Corriente: CDEN
Material base: Acero inoxidable austenítico M-8 o P8	Flujo: 15-25 CFH	Cordones: Recto u oscilado
Material de aporte: 3 XX	Gas respaldo: Argón para soldadura	Limpieza inicial: Mecánica
Posición de soldadura: Todas	Temp. precalentamiento mín. 11 °C	Temp. entre pasos: 177 °C
	Temp. precalentamiento máx. 49 °C	

Parámetros de soldadura

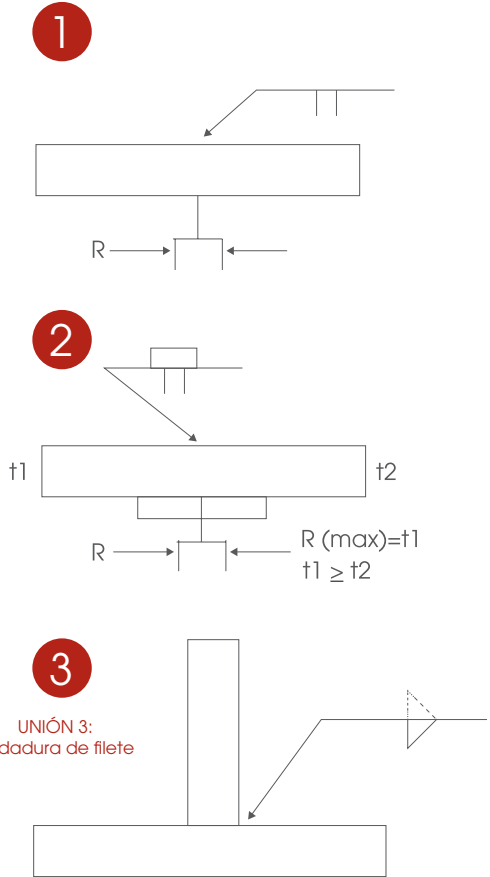
Calibre	Metal de aporte		Electrodo de tungsteno		Rangos de corriente		Pierna del filete
Metal base	Clasificación*	Diámetro	Tipo	Diámetro (pulg.)	Ranura	Filete	Mínimo
18	ER3XX	1/16"	EWTh-2	1/8" máx.	35-60	50-55	1.27 mm
17	ER3XX	1/16"	EWTh-2	1/8" máx.	39-64	59-64	1.46 mm
16	ER3XX	1/16"	EWTh-2	1/8" máx.	43-68	68-73	1.59 mm
15	ER3XX	1/16"	EWTh-2	1/8" máx.	47-72	77-82	1.81 mm
14	ER3XX	3/32"	EWTh-2	1/8" máx.	51-76	86-91	1.98 mm
13	ER3XX	3/32"	EWTh-2	1/8" máx.	55-80	95-100	2.37 mm
12	ER3XX	3/32"	EWTh-2	1/8" máx.	60-85	105-110	2.78 mm
11	ER3XX	3/32"	EWTh-2	1/8" máx.	65-90	115-120	3.17 mm
10	ER3XX	3/32"	EWTh-2	1/8" máx.	70-95	125-130	3.57 mm

* Cualquier metal de aporte de la serie 300 conforme al n.º 8 puede ser seleccionado para cumplir con los requisitos de resistencia; sin embargo, los requerimientos de resistencia a la corrosión pueden indicar la selección específica.

M-8 = Es la designación utilizada para identificar a un grupo de materiales que pertenece a una categoría en especial, en el presente caso, aceros inoxidables austeníticos. Según ANSI/AWS B2.1.

P8 = Designación utilizada para agrupar aleaciones de un mismo material (acero inoxidable austenítico) que cumplen con determinados requisitos de resistencia al impacto. Según la sección IX del código ANSI/ASME.

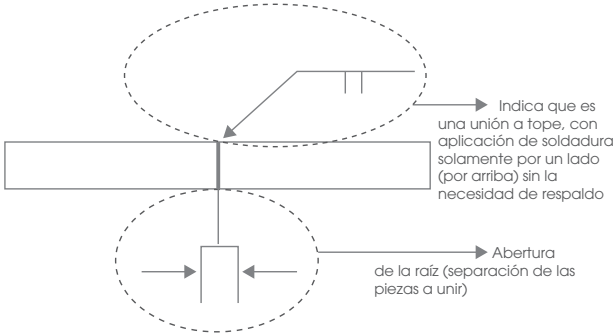
Diseño de unión aplicable



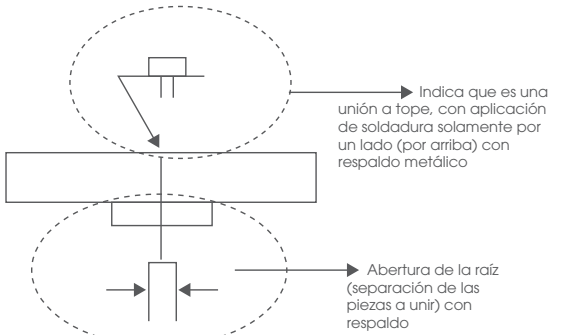
COMBINACIÓN METAL BASE · METAL DE APORTE

Metal base	Metal de aporte
AISI*	
302, 304	ER308, ER308L, ER-309 y ER-309L
304L	ER-308L, ER-309L
316	ER-316, ER-316L, ER16-8-2
316L	ER-316L
347	ER-347

*AISI: American Iron and Steel Institute



UNIÓN 1: soldadura a tope sin respaldo



$t1 \geq t2, R(máx) =$
UNIÓN 2: soldadura a tope de materiales de diferente espesor con respaldo metálico

Parámetros de soldadura TIG con aceros inoxidables austeníticos:

Espesor (mm)	Diám. aport. ER3XX (mm)	Diám. electrodo EWTh-2 (mm)	Intensidad* (amperes)	
			Ranura (a tope)	Filete
1.22 1.37	1.6	1.6	35-60 39-64	50-55 59-64
1.52 1.71		2.4	43-68 47-72	68-73 77-82
1.90 2.29 2.67	2.4			51-76 55-80 60-85
3.05 3.43			3.2 máx.	65-90 70-95

El caudal de gas argón es de 6 a 11L/min.

* Arreglo DCEN (corriente directa electrodo negativo), la velocidad de soldadura es de 4.2 a 5.1 mm/s

Identificación de electrodos de tungsteno:

Clasificación AWS	Color	Aleación de Tungsteno
EWP	Verde	Puro
EWCe-2	Naranja	2% Óxido de cerio
EWLα-1	Negro	1% Óxido de lantano
EWLα-1.5	Oro	1.5% Óxido de lantano
EWLα-2	Azul	2% Óxido de lantano
EWTh-1	Amarillo	1% Óxido de torio
EWTh-2	Rojo	2% Óxido de torio
EWZr-1	Café	1% Óxido de zirconio
EWG	Gris	No específico

Rangos típicos de corriente para electrodos de tungsteno EWX-X:

Diámetro del electrodo (mm)	1.0	1.6	2.4	3.2
Intensidad de corriente (amperes)	15-80	70-150	150-250	250-400
Valores con DCEN* y basados en el uso de gas argón, otros valores de corriente pueden ser empleados dependiendo del gas de protección, tipo de equipo y aplicación.				

* DCEN (corriente directa electrodo negativo)



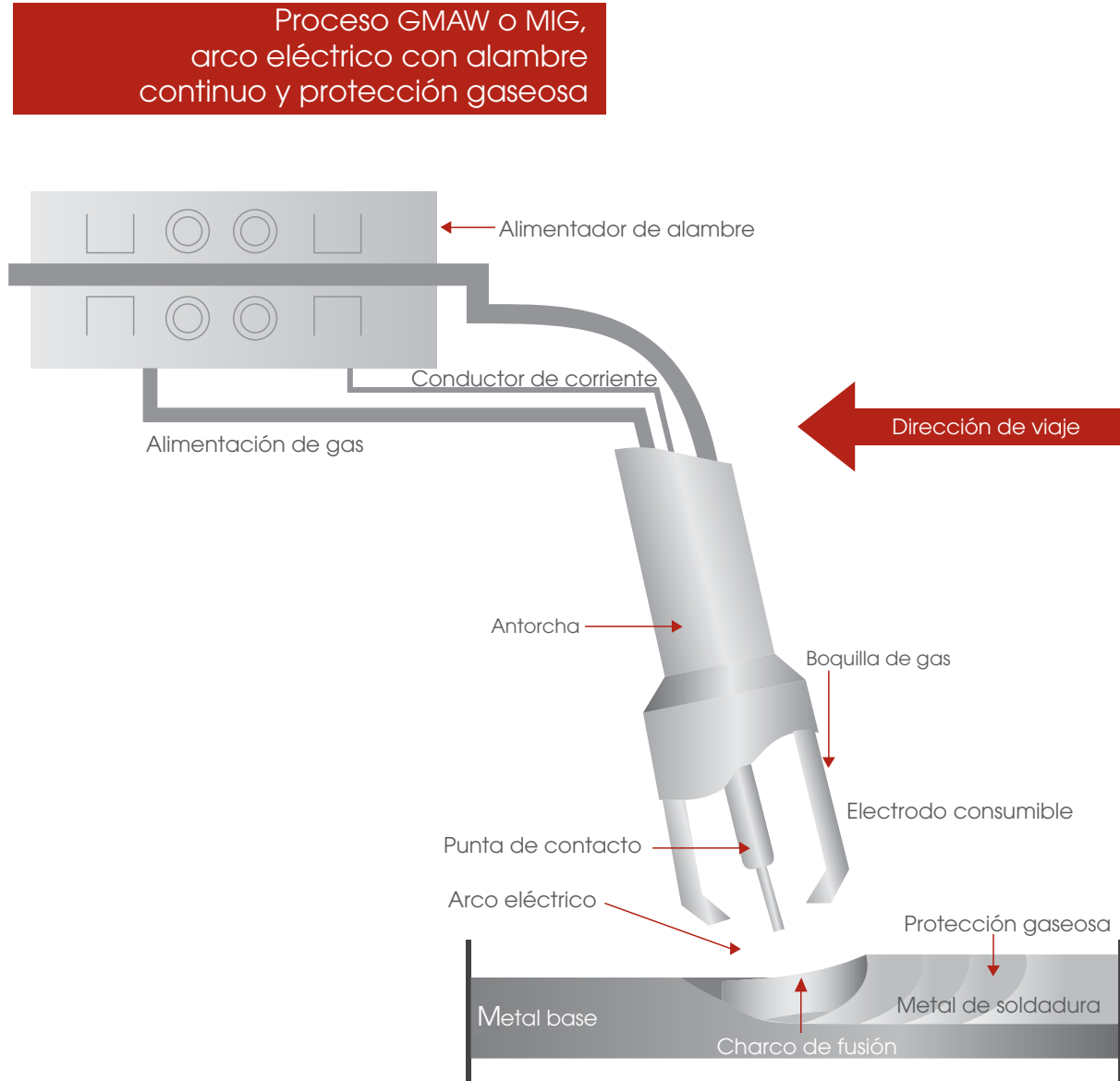
GMAW o MIG, soldadura por arco eléctrico con alambre continuo y protección gaseosa

En este proceso, también conocido comercialmente como microalambre, el arco para soldar se produce mediante un arco eléctrico entre el electrodo consumible, que se alimenta automáticamente en forma de alambre desnudo, y la pieza. En el proceso MIG se utiliza una pistola soldadora (o soplete), cuya función es alimentar el

alambre para llevar la corriente y el gas protector hacia el arco. Para soldar aceros inoxidables se utiliza una mezcla de 75% de argón y 25% de dióxido de carbono.

Al no haber revestimientos, como en el caso del proceso SMAW, se forma una película ligera de aspecto vidrioso, en lugar de una capa de escoria.





Condiciones típicas para GMAW con aceros inoxidables austeníticos:

Modo de transferencia	Corto circuito			Rocío	
Tipo de soldadura	Filete o ranura			Ranura	
Espesor (mm)	1.6	2.0	2.4	2.4	6.4
Diám. electrodo (mm)	0.8 (0.03 OH)			1.6	
Intensidad* (amper)	85	90	2.4	225	275
Voltaje (volts)	21-22	21-22	21-22	24	26
Gas de protección	90% He + 7.5% Ar + 2.5% CO2			99% Ar + 1 % O2	
Flujo de gas (L/min.)	7-10	10-14		14-16	

* DCEP (corriente directa electrodo positivo)

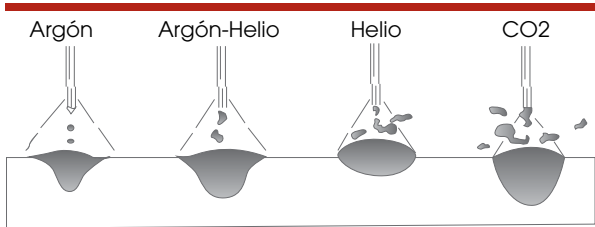
Equipo y operación:

- Fuente de poder
 - Transformador rectificador de corriente directa y potencial constante
- Alimentador de alambre
 - Velocidad constante
 - Dos o cuatro rodillos
- Pistola soldadora
 - Enfriada al aire
 - Enfriada por agua
- Bobina de alambre sólido
- Equipo de seguridad
- Gas protector

Gas protector:

De acuerdo al gas, la protección del mismo puede afectar a:

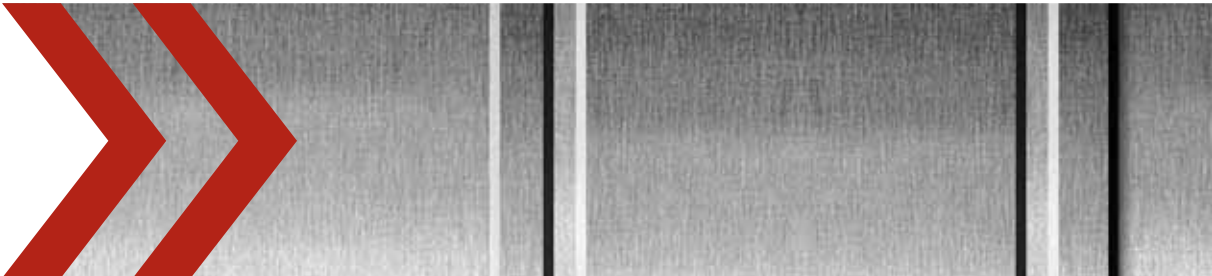
- la forma del cordón de soldadura
- calor del arco, estabilidad y partida
- tensión superficial
- tamaño de la gota
- flujo del charco
- salpicadura



Si es de interés del lector, ABC DEL INOXIDABLE pone a su disposición tres videos para el tema de soldadura disponibles en el DVD que acompaña a la presente publicación.

Soldadura	Video	Disponible en*
Electrodo recubierto	Soldadura por Electrodo Recubierto	DVD ABC DEL INOXIDABLE ● LIBRO B: FABRIQUE EN INOXIDABLE ● Animaciones
TIG	Soldadura TIG	
MIG	Soldadura MIG	

*En caso de no contar con el DVD ABC DEL INOXIDABLE favor de ponerse en contacto con IMINOX al correo capacitacion@iminox.org.mx para que le indiquemos en qué apartado de nuestro portal de internet lo puede consultar.

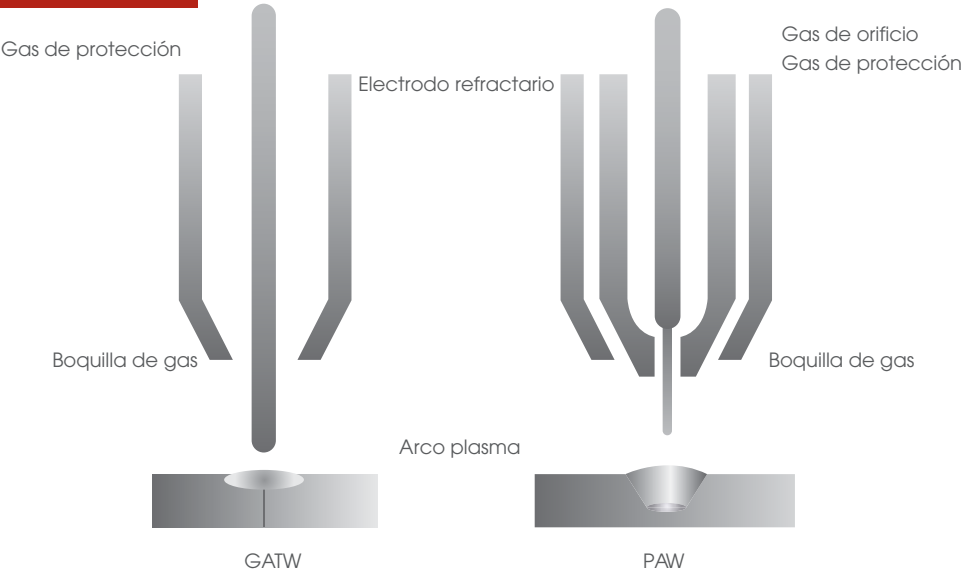


D) PAW, soldadura por plasma

Proceso de soldadura que produce un arco angosto entre un electrodo no consumible y el metal. Se utiliza un gas en estado plasma como soporte del arco.

El proceso de soldadura es similar al GTAW o TIG, la diferencia significativa es que en el PAW se tiene una elevada densidad de energía del arco y velocidad de gas.

Proceso PAW

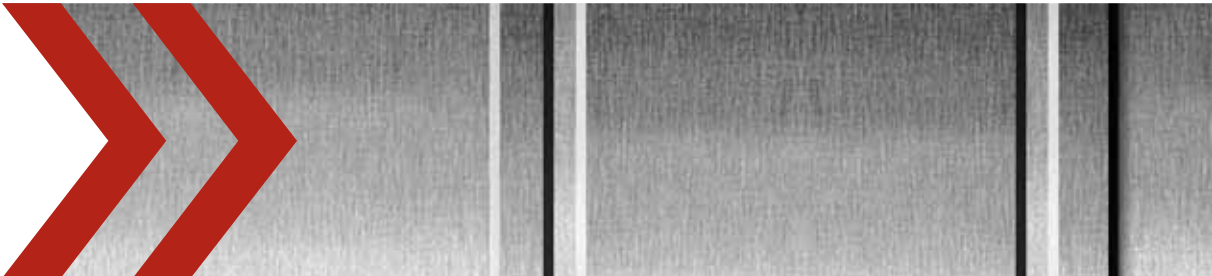


Valores típicos para el uso de consumibles con fusión estándar:

Diám. electrodo (mm)	Diám. boquilla (mm)	Intensidad (amperios)	Gas plasma (l/min)	Gas protección (l/min)
1.0	0.8	25 máx.	0.2-0.4	7 - 12
1.6	1.2 1.7	25-35 35-50	0.2-0.5 0.3-0.7	
2.4	2.3 2.6	50-60 60-80	0.4-1.0 0.4-1.2	10-15
3.2	3.0 3.6	100 máx. 100 máx.	0.5-1.3 0.6-1.5	

Una cantidad de gas plasma menor y una boquilla de mayor diámetro resulta en un arco más suave.

Al contrario, mayor cantidad de gas y una boquilla menor produce un arco más duro.



E) FCAW, soldadura por arco eléctrico con electrodo tubular y núcleo de fundente

Es utilizado ampliamente en la fabricación en taller, montaje y construcción de campo, así como para reparaciones. Se emplea para construir recipientes a presión, barcos, estructuras y líneas de tubería. El fundente proporciona una capa de escoria que protege la solidificación del metal de soldadura.



Clasificación de los electrodos de acero inoxidable para FCAW

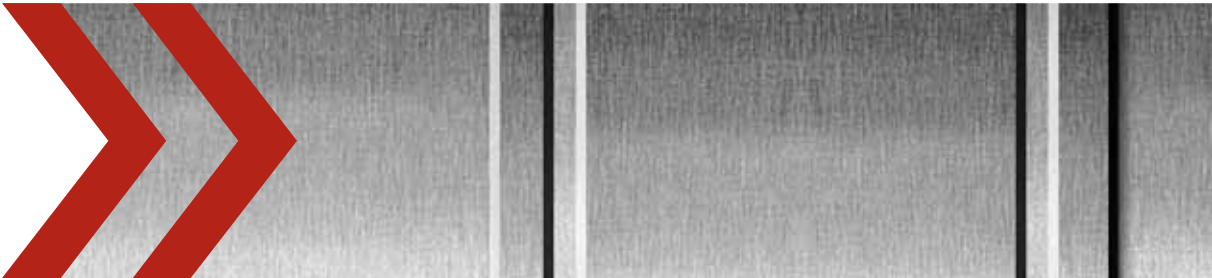
E	Indica electrodo
XXX	Designa composición del metal soldado
T	Designa electro tubular o varilla de aporte con núcleo de fundente
X	Designación posición de soldadura recomendada: 0 = plana y horizontal; 1= todas las posiciones
X	Designa el medio externo de protección que será empleado durante la soldadura
EXXXTX -X	

Medio de protección requerido y polaridad para alambres FCAW

Clasificación AWS*	Polaridad	Medio de protección
EXXXTX -1	DCEP (corriente directa electrodo positivo)	CO ₂
EXXXTX -3		Ninguno (autoprotegido)
EXXXTX -4		75-80% Argón/resto CO ₂

*En la reciente versión ANSI/AWS 5.22-95 se elimina la clasificación EXXXTX-2 (98% Argón-2% Oxígeno). La combinación de la cubierta de escoria y este gas de protección se encontró inapropiada para FCAW.

Las letras «XXX» designan la composición química y en algunos casos se adicionan símbolos químicos o letras. La letra «L» denota un bajo contenido de carbono en el depósito.



F) SAW, soldadura por arco eléctrico sumergido

Es un proceso con arco eléctrico entre uno o varios electrodos consumibles continuos y el charco de fusión. El arco y el metal fundido se protegen por medio de una capa de fundente granular sobre la unión que se va a soldar. La selección del fundente es extremadamente importante, ya que influye en la estabilidad del arco, así como en las propiedades químicas y mecánicas del cordón de soldadura, por lo que la calidad del proceso puede ser afectada por el cuidado y manejo del fundente.

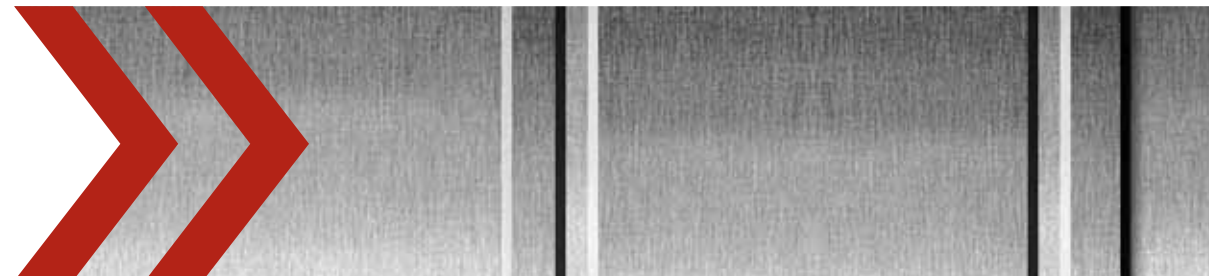
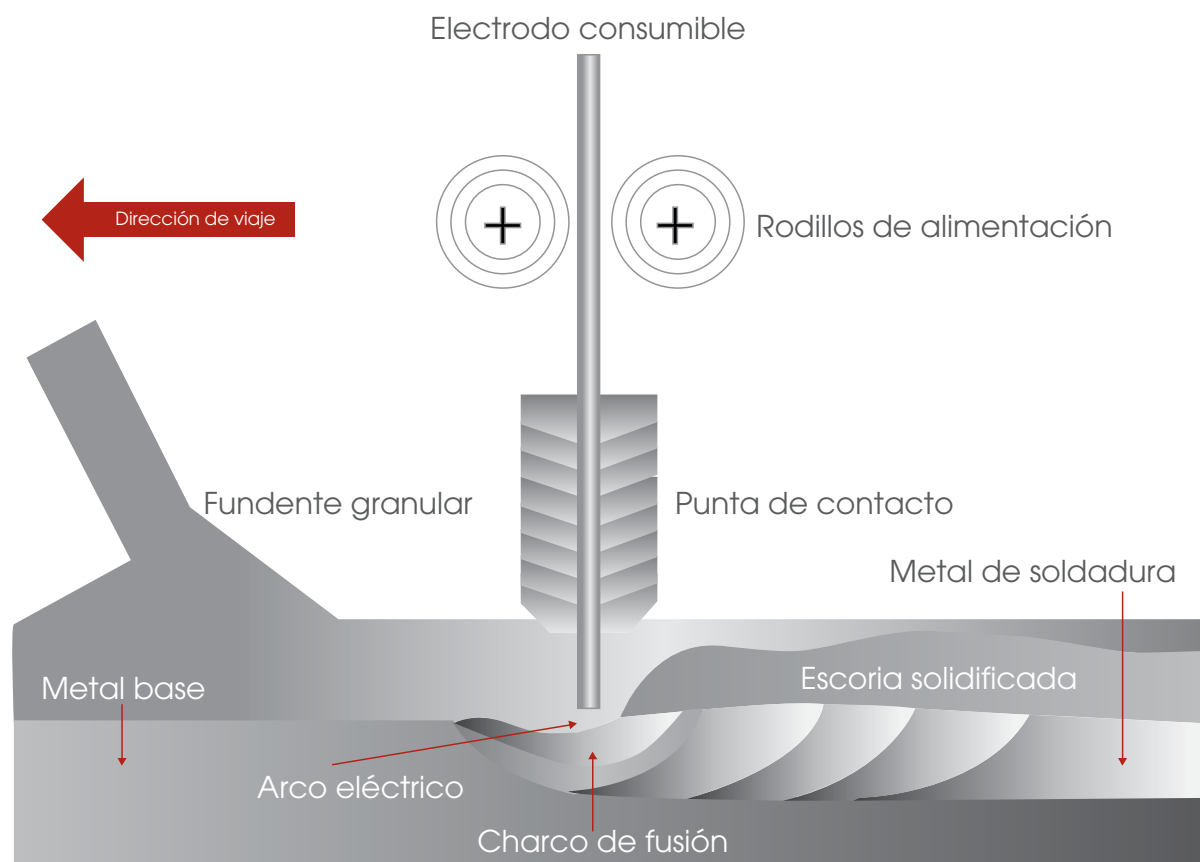
Este proceso es único porque se pueden emplear corrientes muy altas de soldadura sin que el arco se desestabilice. La densidad de corriente aplicada es con frecuencia cuatro o cinco veces mayor que la usada con la soldadura SMAW (electrodo recubierto) o con la GMAW (MIG). La corriente puede ser directa, DC, o alterna, AC. La corriente directa generalmente se opera en DCEP (polaridad inversa) para asegurar una excelente unión. Se prefiere la

corriente alterna cuando se emplean simultáneamente dos o más electrodos, lográndose buena estabilidad del arco y penetración moderada.

Esta soldadura está limitada a la posición plana, sin embargo, con algunos cuidados se pueden hacer soldaduras de filete en posición horizontal. En los aceros inoxidables es aplicable donde el alto calor aportado y la solidificación lenta resultan ser tolerables. En particular, se debe tener cuidado con la formación de la fase sigma, ya que el riesgo aumenta con el contenido de ferrita y las veces que la temperatura entre pasos cruza por el rango de 450-850 °C.

Se emplea en una gran variedad de aplicaciones industriales, tales como la fabricación de recipientes a presión, carros de ferrocarril, tuberías, ensambles que requieren soldaduras de gran longitud o de producción en serie que necesiten soldaduras repetitivas.

Proceso SAW



Stud Weld, soldadura de pernos



Se recomienda cuando se quiere hacer una fijación de pernos a una lámina, sin perforarla.

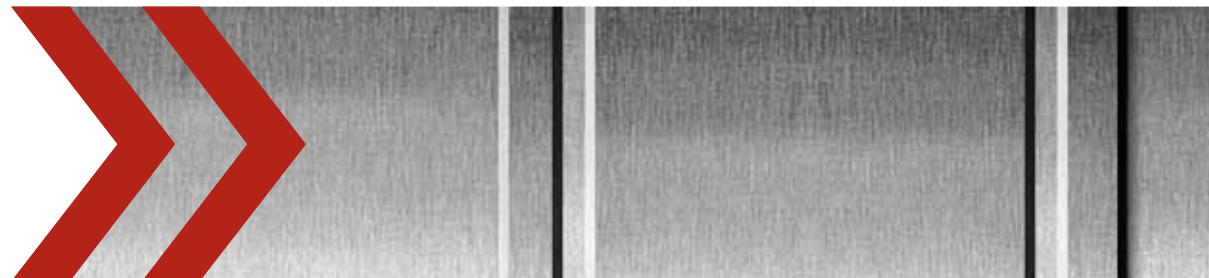
Es un método de soldadura por descarga eléctrica controlada que permite soldar pernos con pistola en un solo disparo.

Secuencia del proceso:

1. Contacto del tornillo con la lámina
2. Descarga del arco eléctrico
3. El tornillo se funde contra la lámina

Ventajas:

- Unión rápida y eficiente fijación
- No se necesita marcar el reverso
- No necesita material de aporte
- La unión soldada generalmente es más resistente que el material base
- Solo se requiere el acceso por un lado
- No hay agujeros, por lo que la lámina carece de fugas y no está debilitada
- El equipo es portátil y fácilmente manejable
- Óptimo acabado



H) Consideraciones al soldar aceros inoxidables

- Tipo de acero inoxidable
- Temperatura del área de soldadura
- Pre/post tratamiento
- Cambios metalúrgicos en toda el área
- Métodos de soldadura
- Habilidad del soldador



Soldadura de los aceros inoxidables austeníticos:

Serie AISI* 300 austeníticos

Los aceros inoxidables austeníticos presentan buena soldabilidad. Algunas características de esta son:

- Mantienen su estructura cristalina en un amplio rango de temperaturas.
- No presentan cambio de fase durante el enfriamiento posterior al proceso de soldadura.
- No requieren de precalentamiento

Al soldar los aceros inoxidables austeníticos es recomendable observar algunas consideraciones básicas:

- Preservar resistencia a la corrosión
- Evitar agrietamiento por esfuerzos
- Punto de fusión
- Resistencia eléctrica
- Coeficiente de conductividad térmica
- Coeficiente de expansión térmica
- Composición química y propiedades del metal base
- Selección apropiada del metal de aporte
- Procedimiento correcto al soldarlos
- Las consideraciones más importantes para evitar que disminuyan sus propiedades por el proceso de soldadura son:
 - Preservar la resistencia a la corrosión
 - Evitar la precipitación de carburos
 - Evitar agrietamiento esfuerzo-corrosión

* AISI: American Iron and Steel Institute

Soldadura de aceros inoxidables ferríticos

Serie AISI* 400 ferríticos

*AISI: American Iron and Steel Institute



Los aceros inoxidables ferríticos presentan soldabilidad aceptable. Algunas características de esta son:

Para soldar estos aceros con alto contenido de cromo se requiere llevar adecuadamente el proceso. Estos aceros muestran alto grado de crecimiento de grano a temperatura superior a los 930 °C. Los granos grandes absorben a los más pequeños para formar granos aún más grandes y las estructuras cristalinas resultantes son muy sensibles al agrietamiento.

Sin embargo, el crecimiento del grano está en función del tiempo y la temperatura; para mantener el tiempo de exposición a la temperatura para soldar al mínimo posible estos aceros, deben ser moderadamente precalentados a alrededor de 150 °C y soldados con electrodo de diámetro pequeño con el mínimo de calor aplicado.

Al soldar los aceros inoxidables ferríticos es recomendable observar algunas consideraciones básicas:

- A temperaturas mayores de 816 °C se endurecen al enfriarse.
- Susceptibles a corrosión intergranular.
- Crecimiento de grano severo si se calientan arriba de 927 °C.
- Fragilización por hidrógeno.
- El proceso de soldadura se debe llevar a cabo considerando un bajo calor de aporte.
- En el caso del acero AISI* 430, la unión soldada puede presentar fragilidad mecánica debido a la formación de fases perjudiciales durante el enfriamiento. Esta unión no es apta para aplicaciones que vayan a ser sometidas a esfuerzos de tensión o cargas considerables.

*AISI: American Iron and Steel Institute

A continuación presentamos algunas recomendaciones para evitar que ocurran ciertos fenómenos en la soldadura con ferríticos:

Grupo de acero inoxidable	Característica especial	Fenómeno	Causa	Cómo evitarlo
Grados no estabilizados	Sensibilización	Resistencia a la corrosión insatisfactoria en la zona soldada	Precipitación de carburos de cromo en el borde de grano	Temperatura de recocido dentro del intervalo 600-800 °C
Tipos estabilizados	Crecimiento del grano	Tenacidad insatisfactoria en la zona soldada	Crecimiento excesivo del grano debido a la alta temperatura	Minimización de la aportación térmica de la soldadura
Cr >15%	Fragilización 475 °C	La fragilización se produce desde 400-540 °C	Descomposición de la matriz en dos fases, una rica en hierro y otra en cromo	Recalentamiento a 600 °C y enfriamiento rápido
Tipos con alto contenido de Cr-Mo	Fragilización de la fase sigma (σ)	La fragilización se produce a 550-800 °C	Formación de la fase sigma (σ) debido a descomposición de ferrita delta (δ)	Recalentamiento por encima de 800 °C y enfriamiento rápido
Tipos no estabilizados	Fragilización de fase martensítica	La fragilización se produce en los tipos de mayor contenido de C y menos contenido de Cr	Formación de fase martensítica debido a enfriamiento más rápido	Eliminación de la fase martensítica mediante recocido prolongado a un intervalo de temperaturas de 600-700 °C

Tabla tomada de: *La solución ferrítica*. *International Stainless Steel Forum*, abril 2007



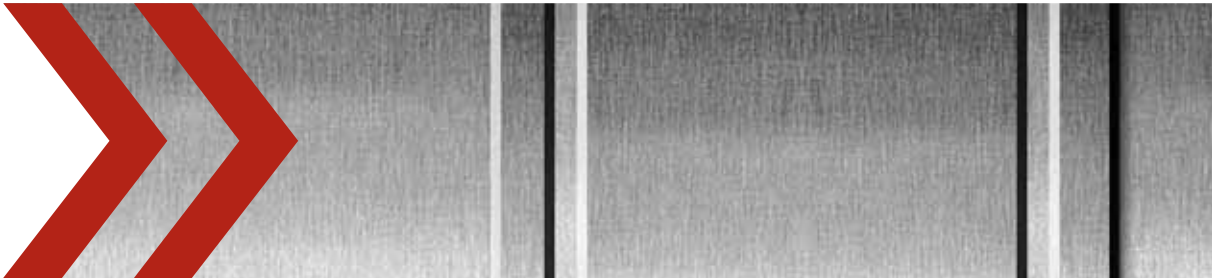
También se recomienda usar gases de protección de argón puro o mezclas de argón y helio; las mezclas de argón e hidrógeno implican riesgo de fragilización por hidrógeno en la junta soldada. El nitrógeno se debe evitar.

Soldadura de los aceros inoxidables martensíticos

Los martensíticos son los aceros que **presentan mayor número de dificultades para soldarse**.

Debido a su composición, estos aceros presentan una transformación a la fase austenítica aproximadamente a 1 000 °C, y el enfriamiento a partir de esta temperatura produce una estructura martensítica.

Una forma de agrietamiento que ocurre días e incluso horas después de que la soldadura se solidifica se denomina agrietamiento en frío y es causada por la absorción de hidrógeno.



I) Recomendaciones

Selección de gases de soldadura

Proceso de soldadura	Gas de protección Gas plasma	Gas de respaldo
GTAW-TIG PAW	Ar Ar + H ₂ (Hasta 20%) Ar + He (Hasta 70%) Ar + N ₂ **	Ar N ₂ ** N ₂ + 10% H ₂ *
GMAW	99% Ar + 1% O ₂ 98% Ar + 2% O ₂ 69% Ar + 30% He + 1% CO ₂ 90% He + 7.5% Ar + 2.5% CO ₂	
FCAW (no autoprotegido)	97% Ar + 3% CO ₂ 75% Ar - 25% CO ₂	
*Las mezclas con hidrógeno se usan exclusivamente para inoxidables austeníticos **Las mezclas con N ₂ se emplean para inoxidables austeníticos que contienen nitrógeno		

Tipos de electrodo o varilla de aporte

Los electrodos o varillas de aporte se seleccionan primero de acuerdo al metal que se va a soldar y luego según el tipo de recubrimiento. Normalmente son de una aleación de la misma composición que el metal base, o más alta. En algunos casos, por razones de diseño, se utilizan electrodos de aleaciones especiales. El tipo de recubrimiento del electrodo o varilla de aporte generalmente se deja a criterio del fabricante.

Las tablas que se presentan a continuación contienen los materiales de aporte que se recomiendan para soldar los aceros inoxidables.

MATERIALES DE APOORTE QUE SE RECOMIENDAN PARA SOLDAR ACEROS INOXIDABLES

Clasificación AISI*	Condiciones en que se usará la unión	Tipo de electrodo o varilla de aporte Clasificación AISI*
Aceros inoxidables austeníticos		
201	Sin tratamiento térmico o recocida	308
301	Sin tratamiento térmico o recocida	308
302B	Sin tratamiento térmico	309
304 L	Sin tratamiento térmico o relevado de esfuerzos	347/308L
303	Sin tratamiento térmico o recocida	310
309	Sin tratamiento térmico	309
310	Sin tratamiento térmico	309 310/316
316	Sin tratamiento térmico o recocida	310 316Cb/316L
316 Cb	Sin tratamiento térmico o después de estabilizada y relevado de esfuerzos	316 Cb
317	Sin tratamiento térmico o recocida	317
317 L	Sin tratamiento térmico o relevado de esfuerzos	317 Cb
321	Sin tratamiento térmico o después de estabilizada y relevado de esfuerzos	321/347
347	Sin tratamiento térmico o después de estabilizada y relevado de esfuerzos	347
348	Sin tratamiento térmico o después de estabilizada y relevado de esfuerzos	347
Aceros inoxidables ferríticos		
405	Recocida Sin tratamiento térmico	405Cb/ 430 309/310/410 Ni Mo
409		409
430	Recocida Sin tratamiento térmico	430 308/309/310
430F	Recocida	430
430F Se	Sin tratamiento térmico	308/309/312
446	Recocida	446
Aceros inoxidables martensíticos		
410		410, 410 Ni Mo
420		410, 420, 430

*AISI: American Iron and Steel Institute



Preparación para la soldadura

Los aceros inoxidables deben ser manejados con un poco más de cuidado que los aceros ordinarios en el corte y montaje previos al proceso de soldadura.

Corte y preparación de las juntas

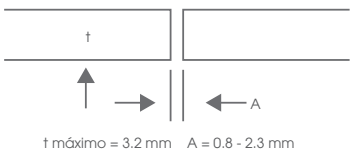
Con excepción del corte oxiacetilénico, el acero inoxidable puede ser cortado con los mismos métodos utilizados para el acero al carbono. Es recomendable revisar la sección 2: «Procesos de transformación» en el segundo apartado: «2.2) Operaciones de corte», de esta misma publicación.

Diseño de las juntas

El diseño de juntas utilizadas para acero inoxidable es similar al de los aceros ordinarios. El diseño seleccionado debe producir una soldadura de resistencia apropiada y buen desempeño en el servicio. Las soldaduras a tope deberán ser con penetración completa, para aplicaciones en atmósferas corrosivas. Los filetes de soldadura no necesitan tener penetración completa, siempre que se suelden ambos lados y las puntas para evitar espacios vacíos, donde puedan guardar líquidos y permitir la corrosión por rendijas.

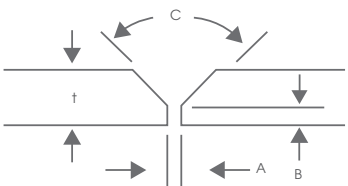
El diseño de juntas típico para la soldadura de láminas y placas se muestra en las primeras cinco figuras siguientes. El diseño típico para juntas de tubos con soldadura MIG, ya sea con o sin insertos consumibles, se muestran en la sexta y séptima figuras siguientes. Los insertos de anillos consumibles se usan ampliamente y se recomiendan para una penetración adecuada.

Junta para soldadura a tope de láminas



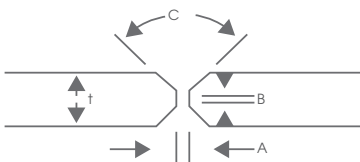
t máximo = 3.2 mm A = 0.8 - 2.3 mm

Junta en V para láminas y placas



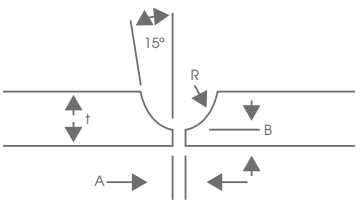
t máximo = 12.7 mm A = 0.8 - 2.4 mm
B = 1.6 - 2.4 mm C = 60 a 80°

Junta doble "V" para placas



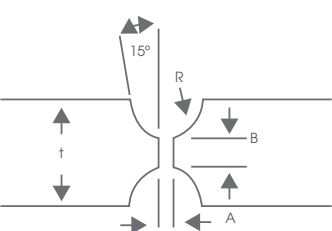
t = 12.7 mm o mayor A = 0.8 - 2.4 mm
B = 1.6 - 2.4 C = 60 a 80°

Junta U para placas



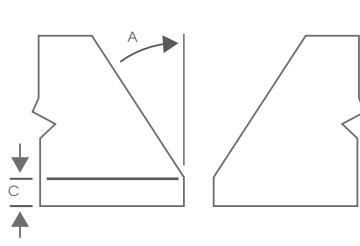
t = 19 mm y más A = 1.6 mín. -3.2 máx. (mm)
B = 1.6 - 2.4 mm R = 6.4 mm mín

Junta doble U para placas



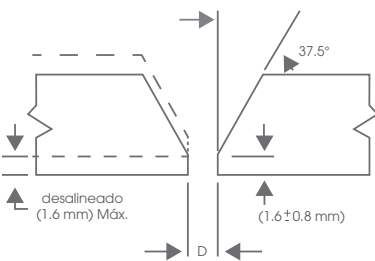
t = 19 mm y más A = 1.6 mm mín. -3.2 mm
B = 1.6 a 2.4 mm R = 6.4 mm mín.

Junta para tubos con inserto consumible



A = 37.5 ± 2.5° C = 1.8 ± 0.9 mm

Junta para tubo sin inserto consumible



D< diámetro del metal de aporte
D> diámetro del metal de aporte para el método de alimentación continua

Limpieza en la preparación de la soldadura

El área que se va a soldar debe estar limpia desde los bordes de la junta y hasta 50 a 75 mm de la superficie adyacente. Una limpieza inapropiada puede causar defectos en la soldadura, tales como fisuras, porosidad o falta de fusión.

Óxido y otras capas superficiales

Las juntas que van a ser soldadas deberán estar libres de los óxidos superficiales que por lo regular quedan después del corte por métodos térmicos. Estos óxidos están integrados preferentemente por compuestos de cromo y níquel; se funden a temperatura mucho mayor que el metal base, y por lo tanto no se funden durante la soldadura. Esta es una diferencia básica con la soldadura del acero ordinario, ya que los óxidos de hierro sí se funden a casi la misma temperatura que el metal base.

Los aceros inoxidables que han estado en servicio, a menudo requieren de una limpieza especial. Si la aleación ha estado expuesta a altas temperaturas, la superficie estará fuertemente oxidada, carburizada o sulfurizada. Estas capas deben ser eliminadas mediante esmerilado o maquinado.

Elementos contaminantes

Hay un número de elementos y compuestos que deben ser eliminados de la superficie antes de la soldadura; en caso contrario, el calor de la soldadura puede causar fisuras, defectos de soldadura o disminución en la resistencia a la corrosión en la soldadura y en la zona afectada por el calor. Los elementos que deben ser eliminados son los siguientes:

- Azufre, carbono, hidrocarburos (fluidos de corte, grasa, aceite y ceras)
- Azufre, fósforo, carbono (crayones para marcar y pinturas)
- Plomo, zinc, cobre, sobre todo en herramientas (martillos, barras de respaldo de cobre, pinturas ricas en zinc)
- Suciedad del taller

La presencia de azufre, fósforo y metales de bajo punto de fusión pueden causar fisuras en la soldadura o en la zona afectada por el calor. El carbono o materiales carbonosos presentes en la superficie antes de la soldadura pueden quedar ahí en forma de una capa superficial con alto carbono, que reduce la resistencia a la corrosión en determinados ambientes.

Limpieza para eliminar contaminantes

- Los contaminantes metálicos y materiales que no tengan capa de grasa se pueden eliminar mediante un pulido o sandblasteado. Es esencial que los elementos que se usen para este tratamiento no estén contaminados con hierro de operaciones anteriores.
- Los contaminantes a base de aceite o grasa (hidrocarburos) deben ser eliminados mediante limpieza con solventes, debido a que son resistentes a tratamiento ácido o al agua.
- Los trabajos grandes se limpian normalmente mediante paños saturados con solvente.
- Otros métodos aceptables incluyen inmersión, trapeado o pulverizado con soluciones alcalinas, emulsiones, solventes, detergentes o una combinación de estos; por limpieza con vapor, con o sin un limpiador, o por agua a alta presión.
- Recomendamos revisar el LIBRO C: CUIDE EL INOXIDABLE, del ABC DEL INOXIDABLE para obtener mayores referencias al respecto.

Alineación de las juntas

Una buena alineación de las juntas puede reducir el tiempo de la soldadura. Es esencial que las piezas que se van a soldar estén cuidadosamente alineadas para lograr un buen resultado. Las juntas con distancias variables requieren de ajustes especiales por parte del soldador, y pueden dar lugar a quemaduras o a falta de penetración.

Sujetadores y posicionadores

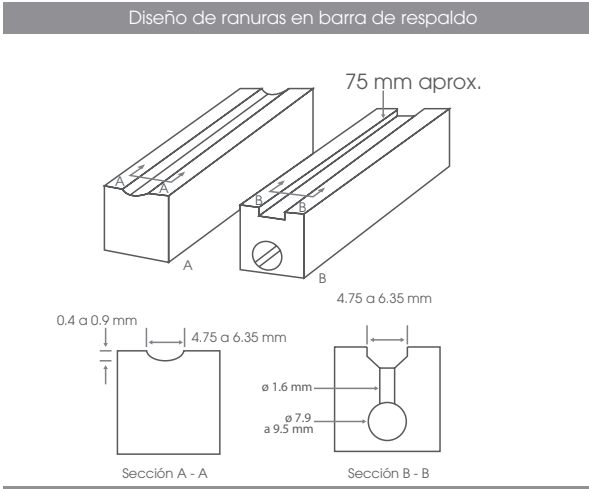
Los sujetadores se diseñan para cada montaje en particular con la finalidad de mantener las partes juntas durante la operación de soldadura. Cuando los sujetadores están ligados a posicionadores existe la ventaja adicional de que la soldadura se puede realizar en la posición más conveniente. Algunas ventajas de usar sujetadores son:

- Mejor ajuste de las juntas
- Menos tiempo de punteado y soldadura
- Se minimiza la distorsión
- La terminación del montaje se hace con tolerancias menores

Es importante que la superficie de los sujetadores que detienen las partes de acero inoxidable estén libres de hierro.

Materiales de respaldo

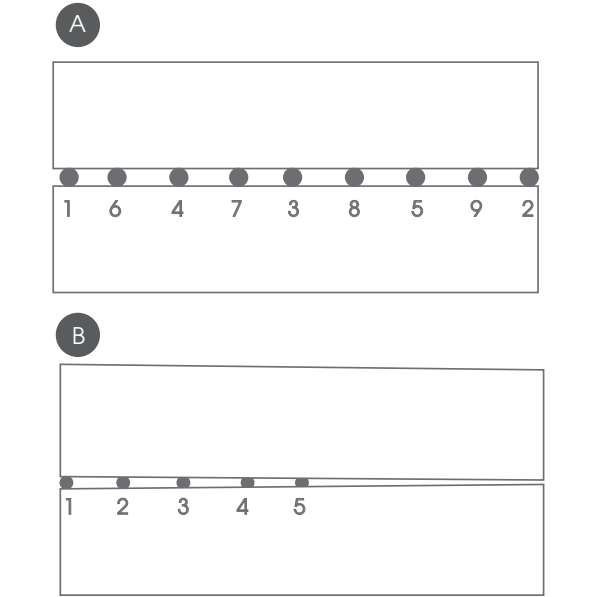
Se pueden utilizar materiales de respaldo en la soldadura de láminas o placas a menos que se puedan soldar ambos lados. Sin un respaldo, la parte de abajo puede tener una penetración errática, con fisuras, huecos y oxidación excesiva. Tales defectos reducen la resistencia de la soldadura y pueden iniciar una corrosión acelerada. El cobre, con su alta conductividad térmica, es el material más usado para barras de respaldo. En la siguiente figura se muestran los diseños típicos de barras de respaldo para usar con o sin gas de respaldo:



(A) ranura estándar para uso sin gas de respaldo
(B) ranura cuadrada empleada con gas de respaldo

Punteado de la soldadura

Las juntas no soportadas con sujetadores, se deberán puntear para mantener una alineación y espaciado uniforme. Los puntos se deberán hacer en secuencia para minimizar el efecto de contracción. Para realizar el montaje de dos láminas, se deberán hacer dos puntos en cada extremo de la lámina, y luego una en el medio, tal como se muestra en la figura de abajo. En la misma figura, también se muestra cómo se acercan las láminas cuando los puntos se realizan desde un extremo hacia el otro.



La secuencia correcta de puntos se muestra en A. Cuando los puntos se realizan solo desde un lado, los bordes se juntan, como se muestra en B.

Los puntos de soldadura en el acero inoxidable deberán estar considerablemente más juntos de lo que sería necesario para el acero al carbono. La longitud de los puntos de soldadura deberá ser aproximadamente de 3 mm, o un pequeño punto de soldadura para materiales finos, y de hasta 25 mm de longitud para placas gruesas. Lo que es muy importante es que los puntos no causen defectos en la soldadura final. Los puntos gruesos o muy altos deberán ser esmerilados. El tamaño de los puntos se controla más fácil con el proceso TIG, que es una buena elección para realizar puntos de soldadura.

Procedimientos de limpieza postfabricación

La limpieza después de la fabricación debe ser tan importante como cualquiera de las recomendaciones expuestas anteriormente.

Las condiciones superficiales que pueden reducir la resistencia a la corrosión se pueden agrupar en cuatro categorías: contaminación superficial, incrustaciones de hierro, daño mecánico, o defectos relacionados con la soldadura.

- **Contaminación superficial**
Tales contaminantes incluyen grasas, aceites, marcas de crayones, pinturas, cintas adhesivas, y otros depósitos pegajosos.

La inspección visual se utiliza normalmente para detectar la contaminación orgánica, mientras que se puede usar un trapo o papel para la detección de aceite o grasa.

El desengrasado efectivo es importante; se debe utilizar un solvente no clorado.
- **Incrustaciones de hierro**
Algunas veces, los tanques o recipientes se oxidan poco tiempo después de que son entregados al cliente. Probablemente se debe a partículas de hierro embebidas en la superficie durante el proceso de fabricación. Las partículas de hierro se corroen en el aire húmedo o cuando son mojadas, y dejan marcas de óxido. Además de ser desagradables a la vista, las partículas más grandes de hierro embebido pueden iniciar procesos de corrosión por cavidades en el acero inoxidable.

3.2) Uniones mecánicas y con adhesivos

La prueba más simple para la detección del hierro embebido es mojar la superficie con agua limpia y dejar que se escurra el exceso. Después de 24 horas, se inspecciona la superficie para detectar manchas de óxido. También se puede aplicar la prueba del sulfato de cobre indicada en el punto 17 Práctica D del estándar ASTM A 967.

El decapado, que a menudo se realiza después del desengrase, es el método más efectivo para eliminar el hierro embebido.

● Daño mecánico

Cuando una superficie ha sido dañada y se requiere su reacondicionamiento, la reparación se realiza normalmente mediante amolado, o soldadura y amolado.

Los defectos superficiales se eliminan primero por amolado, preferiblemente con un disco abrasivo limpio de grano fino. La máxima profundidad de amolado para eliminar defectos, a menudo se especifica en las normas de fabricación, y puede variar entre 10 y 25% del espesor total.

● Defectos relacionados con la soldadura

Cuando se necesita una reparación por soldadura, se puede hacer mediante cualquiera de los procesos ya mencionados, pero se prefiere el TIG debido a la facilidad en la realización de pequeñas soldaduras. Siempre se debe agregar metal de aporte y nunca se deberán permitir soldaduras «cosméticas» debido al riesgo que se corre de grietas en las soldaduras y resistencia a la corrosión disminuida.

