



fa **B**rique
en inoxidable



Clínica Lou Ruvo.
Las Vegas, Nevada. E.U.A.



fa**B**rique
en inoxydable

INSTITUTO MEXICANO DEL INOXIDABLE, A.C.

El Instituto Mexicano del Inoxidable, A.C. (IMINOX) es una asociación civil sin fines de lucro que promueve el uso y el desarrollo del consumo del acero inoxidable en México mediante la educación continua, asistencia técnica y promoción, dirigiendo y coordinando los esfuerzos de productores, distribuidores, transformadores y usuarios finales.

Las empresas fundadoras de IMINOX son:

Aceros Anglo
www.acerospalmexico.com.mx/sucursales.htm

Aceros Fortuna
www.acerosfortuna.com.mx

Aceros Palmexico
www.acerospalmexico.com.mx

Casa Sommer
www.csommer.com

Distribuidora Metálica
www.metallca.com.mx

Fischer Mexicana
Tel. (444) 826 50 60

Inoxidables de San Luis
www.inox-sanluis.com.mx

Inoxidables y Procesos
www.inoxidablesyprocesos.com.mx

Mexinox Trading
www.mexinoxtrading.com.mx

Promotora Industrial GIM
Tel. (55) 5005 0580

ThyssenKrupp Mexinox
www.mexinox.com.mx



Escultura *La espiral*. Agueda Lozano.
Parque Fundidora. Monterrey, NL.

ABC DEL INOXIDABLE es una publicación producto de la recopilación de datos de diversas fuentes documentales, así como de material generado por IMINOX.

De acuerdo a la constitución propia de IMINOX como asociación civil sin fines económicos, la presente publicación no tiene objeto de lucro; sus objetivos son meramente educativos y de información, para facilitar y promover el uso del acero inoxidable.

Límite de responsabilidad:

«La información plasmada en esta publicación tiene fines exclusivamente informativos, por lo que el Instituto Mexicano del Inoxidable, A.C., no se hace responsable del uso que el lector, usuario o persona alguna le dé a la misma, así como de los resultados que se desprendan, por lo que la información contenida en la presente publicación no implicará responsabilidad u obligación alguna para el Instituto Mexicano del Inoxidable, A.C.».

Director:
Ing. Fernando Correa Carrillo
Director de IMINOX

Coordinación de la publicación:
LCC. Rosario Ocaranza Santibáñez

Asesoría técnica:
Ing. Pedro Luis Torres Jaramillo
Coordinador de Asesoría Técnica
y Capacitación de IMINOX

Diseño editorial:
Nuevas Letras
nuevasletras@prodigy.net.mx

Fotografía:
www.shutterstock.com

Todos los derechos reservados. Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta publicación por cualquier medio electrónico o impreso.

contenido

faBrique en inoxidable

A conozcA el inoxidable

1. ¿Qué es el acero inoxidable?
2. ¿Cómo seleccionar un acero inoxidable?
3. Resistencia a la corrosión

B faBrique en inoxidable

1. Acabado de fábrica
2. Procesos de transformación
3. Uniones
4. Acabado procesado en el taller al final de la transformación o para dar un retoque al producto final

C Cuide el inoxidable

1. Introducción
2. La importancia de los acabados en la limpieza
3. Limpieza
4. Medidas de conservación del acero inoxidable

Índice

faBrique en inoxidable

1

Acabado de fábrica

- 1.1) Importancia del acabado... 14
- 1.2) Rugosidad superficial... 25
- 1.3) Descripción de los acabados procesados en fábrica... 28
 - A) Acabados estándar por laminación... 29
 - B) Acabados en grabado... 34
 - C) Acabados estándar por abrasión... 35
 - D) Grabado por ácido... 37
 - E) Acabado coloreado... 38
 - F) Acabados coloreados y grabado electrolítico... 39
- 1.4) Recomendaciones... 40

2

Procesos de transformación

- 2.1) Introducción... 47
- 2.2) Operaciones de corte... 56
- 2.3) Formado y doblado... 71
- 2.4) Embutido... 85
- 2.5) Rechazado... 92
- 2.6) Recomendaciones... 94

3

Uniones

- 3.1) Soldadura... 98
 - A) SMAW. Soldadura por arco eléctrico con electrodo recubierto... 102
 - B) GTAW o TIG. Soldadura por arco eléctrico con electrodo de tungsteno y protección gaseosa... 104
 - C) GMAW o MIG. Soldadura por arco eléctrico con alambre continuo y protección gaseosa... 112
 - D) PAW. Soldadura por plasma... 117
 - E) FCAW. Soldadura por arco eléctrico con electrodo tubular y núcleo de fundente... 119

Uniones

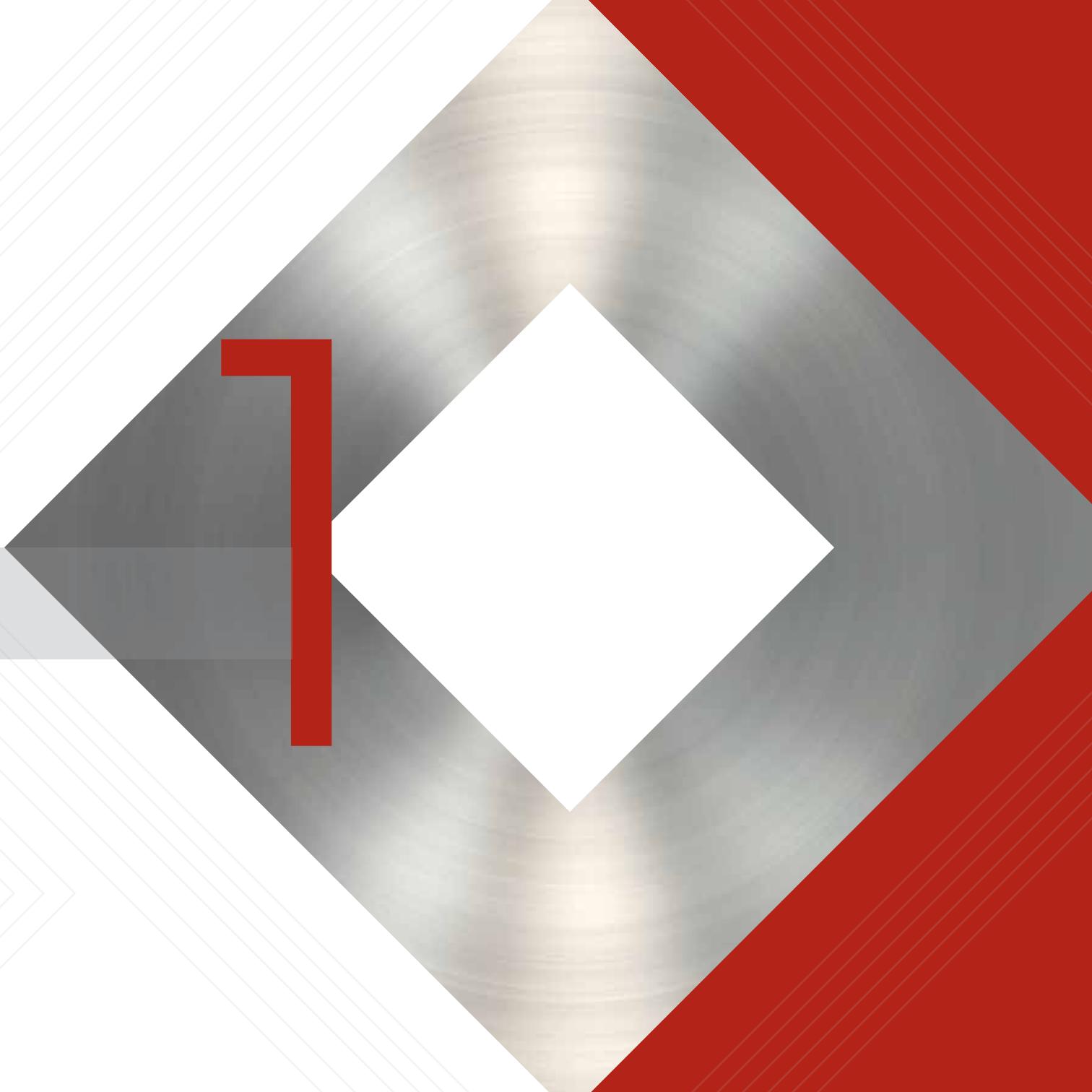
- F) SAW. Soldadura por arco eléctrico sumergido... 121
- G) *Stud Weld*. Soldadura por pernos... 123
- H) Consideraciones al soldar aceros inoxidables... 125
- I) Recomendaciones antes y después de la soldadura... 132
- 3.2) Uniones mecánicas y con adhesivos... 143
 - A) Clinchado... 145
 - B) Atornillado con perno... 145
 - C) Engatillado... 146
 - D) Fijación mediante adhesivos... 147
 - E) Recomendaciones ... 148

4

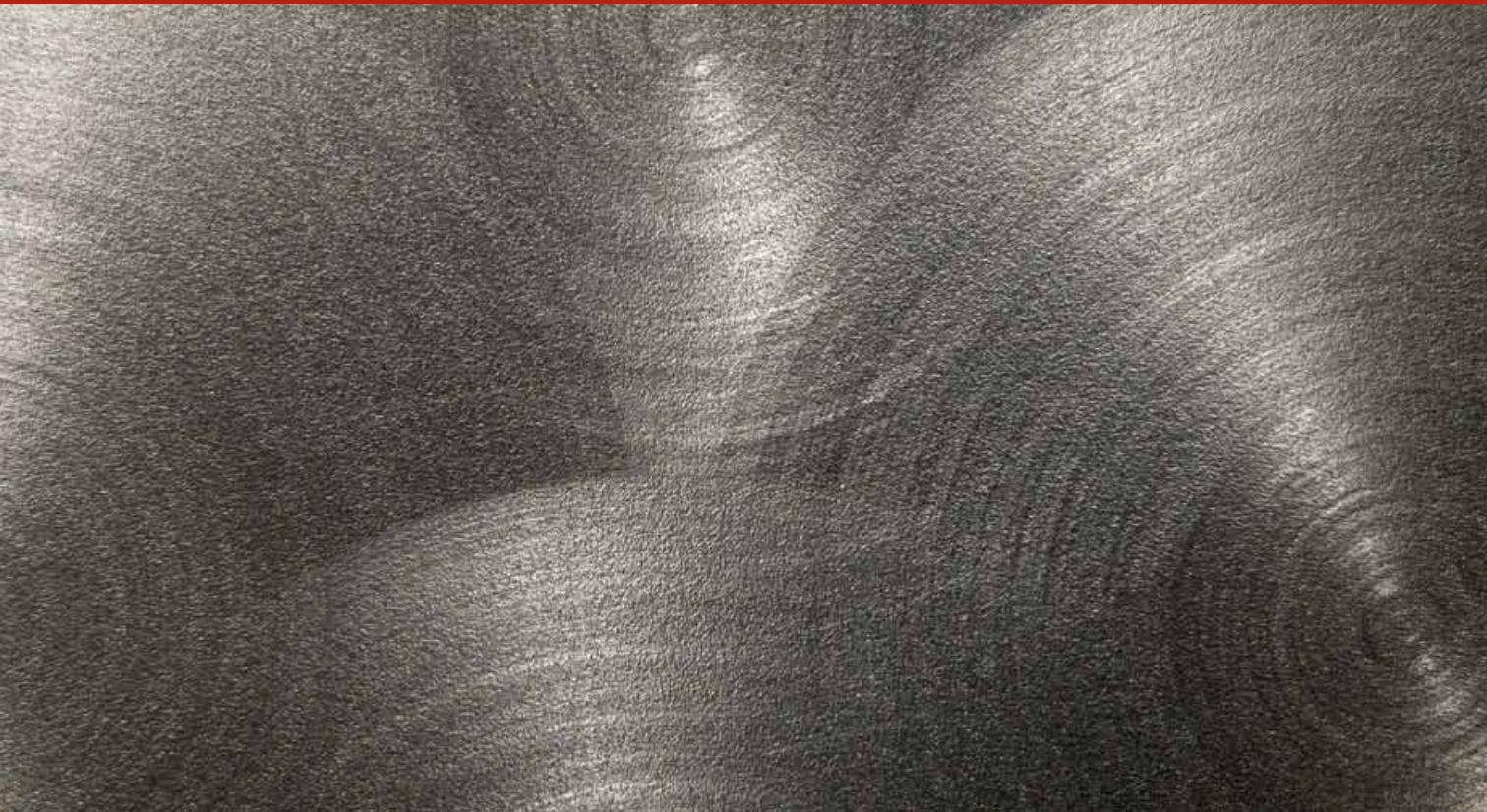
- 4.1) Acabado P3... 154
- 4.2) Acabado P4... 155
- 4.3) Acabado # 6... 155
- 4.4) Acabado # 7... 156
- 4.5) Acabado # 8 (espejo)... 156
- 4.6) Acabado abrillantado... 157
- 4.7) Acabado chorreado por arena o sandblasteado... 158
- 4.8) Acabado electropulido... 159
- 4.9) Acabado grabado con ácido... 161
- 4.10) Acabado coloreado... 162
- 4.11) Recomendaciones... 165

Acabado procesado en el taller al final de la transformación o para dar un retoque al producto final

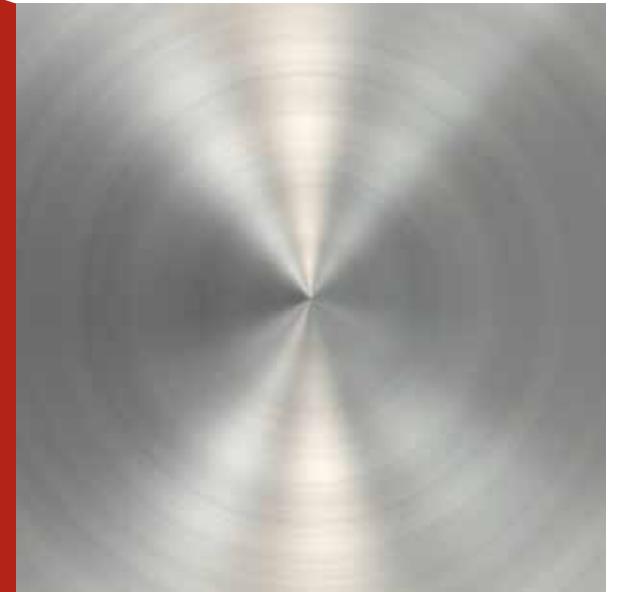
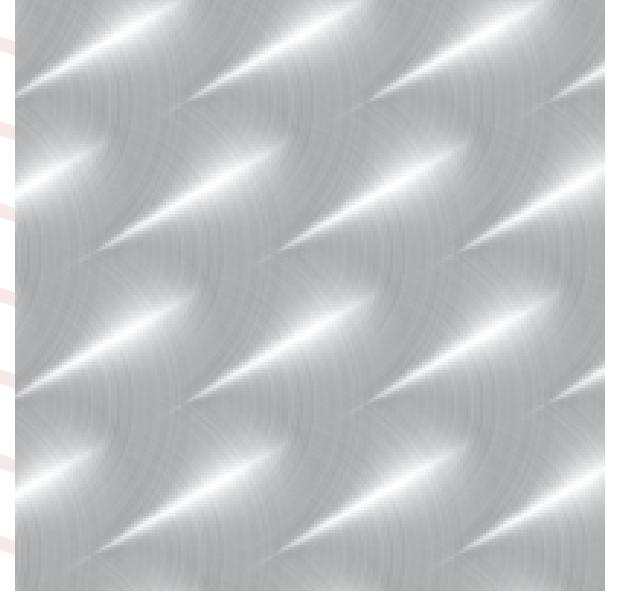
Acabado de fábrica



1.1) Importancia del acabado



El acero inoxidable puede encontrarse en diversidad de presentaciones comerciales provenientes de fábrica, así como en diferentes productos elaborados con el material. En ambos casos, el estado de la superficie tiene una elevada importancia, no solo por fines estéticos y de apariencia, sino también por la resistencia a la corrosión del material; esta será mayor cuanto mejor sea el estado superficial del elemento de acero inoxidable.



Por ejemplo, en la arquitectura y en aplicaciones ornamentales, la apariencia del acero inoxidable es un elemento crítico de diseño; un acabado mal seleccionado o mal especificado puede alterar el efecto deseado.



Escultura *Cloud Gate*, de Anish Kapoor
Millennium Park, Chicago, E.U.A.



En productos de consumo –enseres domésticos, aparatos de cocina, adornos automotrices, por ejemplo– o bien en esculturas, el brillo obtenido por un buen pulido de la aleación es determinante para la venta. En equipos comerciales, como los utilizados en cocinas institucionales, restaurantes y hospitales, el acabado correcto del acero inoxidable ayuda a preservar su atributo de material higiénico, así como a enfatizar la percepción de limpieza.



En ambientes agresivos, una superficie lisa y tersa es menos susceptible a la acumulación de agentes agresivos. Esto ayudará a tener mayor resistencia a la corrosión, ya que la suciedad se convierte en puntos focales donde se inicia la corrosión.

En el caso de los aceros inoxidables pulidos (satinados), además de la apariencia, existe un sinnúmero de propósitos funcionales importantes para los cuales deben prepararse apropiadamente las superficies de los aceros inoxidables. En aplicaciones sanitarias, por ejemplo, el pulido de la superficie del material no solo debe dar la apariencia de limpieza, sino además, facilitarla.



Laminado en caliente

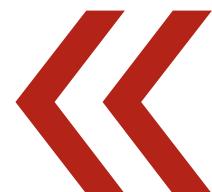
Hay gran diversidad en acabados, los cuales se pueden obtener directamente de fábrica o bien, lograrlos con procesos posteriores. Los de fábrica tienen una superficie que está determinada por el proceso al que han sido sometidos.

Existen normas que codifican cierto número de acabados denominados «estándar». Entre las clasificaciones más utilizadas, la ASTM es una de las más difundidas.

La siguiente tabla enlista las designaciones de algunos acabados superficiales.

Acabado núm.*	Ruta de proceso	Apariencia superficial	Observaciones
0 (1U)	Laminado en caliente, no tratado térmicamente, no descascarillado	Cubierto con cascarilla de laminación	Adecuado para productos que van a ser objeto de transformaciones posteriores (por ejemplo, bandas para relaminación)
1 (1D)	Laminado en caliente, tratado térmicamente, decapado	Sin cascarilla	Acabado habitual en la mayoría de los tipos de acero, con el fin de asegurar una buena resistencia a la corrosión; acabado igualmente frecuente para los productos que van a sufrir transformaciones posteriores. Marcas de granallado toleradas. Acabado más grotesco que 2D o 2B
1 (1E)	Laminado en caliente, tratado térmicamente, descascarillado mecánicamente	Sin cascarilla	El modo de descascarillado mecánico elegido (por ejemplo, amolado o granallado) depende del tipo de acero y del producto, y se deja a la elección del fabricante, salvo que se acuerde lo contrario

*Según el estándar ASTM A-480. Los valores entre paréntesis indican la identificación según la Norma Europea EN 10088-2.



Fuente: Información tomada de la **Norma EN 10088-2** Aceros inoxidables. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro para chapas y bandas de acero resistentes a la corrosión para usos generales

Laminado en frío

Acabado núm.*	Ruta de proceso	Apariencia superficial	Observaciones
2D (2D)	Laminado en frío, tratado térmicamente, decapado	Terso, opaco	Acabado para buena ductilidad, pero no tan liso como el 2B o BA
2B (2B)	Laminado en frío, tratado térmicamente, decapado y procesado en <i>Skin pass</i>	Más terso que el 2D, brillante	Acabado habitual para la mayoría de los aceros. Asegura una buena resistencia a la corrosión, lisura y planicidad. El proceso en el <i>Skin pass</i> puede sustituirse por un aplanado bajo tensión
BA (2R)	Laminado en frío, recocido brillante	Terso, muy brillante y reflectante	Acabado más liso y más brillante que el 2B. Igualmente, habitual para transformaciones posteriores
RO®	Laminación en frío, tratamiento térmico, decapado, procesado con rodillos texturizados	Similar a los pulidos, opaco	Acabado con muy buena resistencia a la corrosión (superior a la de los rayados); no recomendado para aplicaciones de deformaciones severas o en donde los dobleces sean visibles

*Según el estándar ASTM A-480. Los valores entre paréntesis indican la identificación según la Norma Europea EN 10088-2.

© Mexinox Rolled On



Acabados especiales

Acabado núm.*	Ruta de proceso	Apariencia superficial	Observaciones
# 3	Laminado en frío, tratamiento térmico, decapado, pulido con lijas, proceso en <i>Skin pass</i>	Aspecto de pulido intermedio en una o dos caras. Acabado lineal texturizado	Acabado producido por la acción mecánica de desbaste de abrasivos. La rugosidad de la superficie (Ra) puede llegar a ser hasta de 40 micro pulgadas. Generalmente se obtiene utilizando abrasivos con grano 100-180
# 4 (1J o 2J)	Laminado en frío, tratamiento térmico, decapado, pulido con lijas, proceso en <i>Skin pass</i>	Aspecto de pulido intermedio en una o dos caras. Acabado lineal texturizado. Rugosidad más baja	Acabado producido por la acción mecánica de desbaste de abrasivos. La rugosidad promedio (Ra) de la superficie puede llegar a ser hasta de 25 micro pulgadas. Generalmente se obtiene empleando abrasivos con grano 180-240
# 6	Se obtiene puliendo un acabado # 4 con fibras Tampico, cal o arena sílica, o con fibras vegetales utilizando lubricantes de aceites minerales	Rayado fino, ligeramente brillante	Aplicaciones decorativas

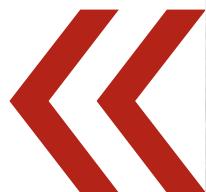
Acabados especiales

Acabado núm.*	Ruta de proceso	Apariencia superficial	Observaciones
# 7 (1K o 2K)	Se obtiene a partir del acabado # 4 por pulido con abrasivos de granos cada vez más finos, y paños con lubricantes	Presenta un aspecto brillante casi espejo, pero conserva ligeramente las marcas de los abrasivos empleados (1)	Exigencias específicas complementarias al tipo de acabado «4» con el objetivo de obtener una resistencia a la corrosión adecuada en ambientes marinos y en aplicaciones arquitectónicas Son acabados con rugosidad transversal Ra <0.20 micrómetros y con aspecto superficial limpio
# 8 (1P o 2P)	Se obtiene partiendo del acabado # 4 utilizando abrasivos de granos cada vez más finos; se pule con paño y abrasivos a base de óxido de cromo, que eliminan las marcas de los abrasivos	Superficie tersa altamente brillante. Pulido espejo (1)	Pulido mecánico. Puede especificarse el tipo de proceso o la rugosidad superficial. Acabado no direccional que refleja las imágenes con gran precisión

(1) Dentro de la descripción de cada acabado, las características pueden variar y pueden ser necesarias mayores precisiones para especificar correctamente el acabado deseado (por ejemplo, grano del abrasivo o rugosidad superficial)

*Según el estándar ASTM A-480. Los valores entre paréntesis indican la identificación según la Norma Europea EN 10088-2.

1.2) Rugosidad superficial



No existe una norma que relacione el acabado superficial de un producto en acero inoxidable y su rugosidad, con excepción del # 3 y del # 4. De manera informativa, la siguiente tabla muestra los valores de rugosidad media obtenida en diferentes acabados.



Acabados mecánicos



Valores de rugosidad superficial, diversos acabados

Acabado obtenido por laminación	Rugosidad media, micras* (μin^*)	Acabado obtenido por abrasión mecánica	Rugosidad media, micras* (μin^*)
# 1	5.04 (201)	# 3	Hasta 1 (40)
2D	1.14 (46)	# 4	Hasta 0.62 (25)
2B	0.088 (4)	# 6	Hasta 0.45 (18)
BA	0.029 (2)	# 7	Hasta 0.20 (8)
		# 8	Hasta 0.1 (4)

*Micras = La millonésima parte de un metro
 * μin = La millonésima parte de una pulgada

Operación	Número de grano	Objetivo
Eliminación de costuras de soldadura	36	Remoción de material de la superficie
Esmerilado de material en acabado 1	36/60	
Prepulido	80/120	Operación decorativa del acabado
Pulido como paso de acabado o como preparación	120/180/240	
Pulido final	320/400 + pastas para pulir y abrillantar	

1.3) Descripción de los acabados procesados en fábrica



A

Acabados estándar por laminación

Acabado 1

Es el típico acabado de las placas laminadas en caliente. Posterior al laminado, se somete a tratamiento térmico de recocido, de recristalización o solubilización, dependiendo del grado de acero inoxidable del que se trate, seguido finalmente por un tratamiento de decapado químico en uno o varios baños ácidos. El decapado químico con frecuencia va precedido de una operación de granallado (decapado mecánico).

El aspecto de este acabado es gris plata mate y resulta muy burdo al tacto. Las bandas y flejes laminados en caliente también tienen el mismo acabado.

Acabado 2D (D = *Dull* (mate))

Es el acabado que se obtiene por laminación en frío, posterior tratamiento térmico y decapado químico. El tratamiento térmico al cual se somete un material con acabado 2D es de ablandamiento (recocido de recristalización y/o solubilización).

La superficie resulta mucho más lisa que el tipo 1, y se utiliza mucho en aplicaciones de embutido profundo. El aspecto es gris plata, mate y liso.



Acabado 2B (B = *Bright* (brillante))

Es el acabado que se obtiene a partir de las láminas en acabado 2D mediante una ligera laminación en frío que se procesa en un molino templador denominado *Skin pass*, en el cual se utilizan rodillos de grandes dimensiones, cuya superficie estampa un acabado espejo en la lámina. Su aspecto es gris plata brillante y es el acabado más comúnmente usado.

Acabado BA (BA = *Bright Annealed* (recocido brillante))

Es el acabado obtenido después de laminar en frío el acero inoxidable y después de un tratamiento térmico de recocido de recristalización y/o de solubilización en una atmósfera inerte. Debido a que el material no se oxida, no requiere de decapado químico y a consecuencia de ello, la aleación mantiene el aspecto lúcido y brillante, casi perfecto, que se obtiene de la laminación en frío.



Mexinox
Rolled On®



Acabado Mexinox Rolled On®

El acero inoxidable con acabado superficial de Mexinox Rolled On® (RO) se obtiene mediante impresión, es decir, es un grabado que se realiza mediante la acción de unos rodillos templadores preparados superficialmente que entran en contacto con la superficie de la lámina de inoxidable; mediante presión, el terminado de los rodillos se transfiere a la lámina.

B

Acabados en grabado

Los acabados grabados se obtienen laminando los rollos de acero inoxidable con rodillos previamente grabados con dibujos. Este proceso endurece la lámina y permite utilizar espesores más finos dando como resultado una reducción del peso total. Las superficies grabadas tienen una apariencia mate y rugosa que contrasta con las superficies con acabados pulidos o satinados.

Son ideales para aplicaciones arquitectónicas, revestimientos de grandes áreas planas y de áreas públicas, ya que en estos se aprecia menos el daño provocado por golpes o rasguños. La lámina grabada es de baja reflectividad y puede estar grabada por un lado o bien, por ambos lados.

C

Acabados estándar por abrasión

Los acabados pulidos se obtienen mediante la acción mecánica de lijas que desbastan la superficie de la aleación para proporcionarle el acabado específico.

Acabado # 3

Normalmente se obtiene a partir del acabado 2D por pulido en seco o en húmedo con cintas abrasivas de óxido de aluminio o carburo de silicio de grano 100 a 120, que tiene un acabado lineal texturizado. La rugosidad de la superficie (Ra) puede llegar a ser de hasta 40 μ pulgadas.

Acabado # 4

Se obtiene puliendo en seco o en húmedo el material utilizando abrasivos con grano 100-150. Tiene un aspecto satinado brillante. La rugosidad promedio (Ra) de la superficie puede llegar a ser de hasta 25 μ pulgadas.

D

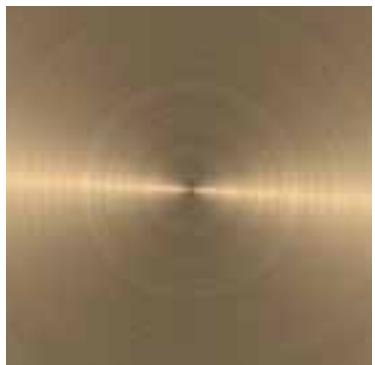
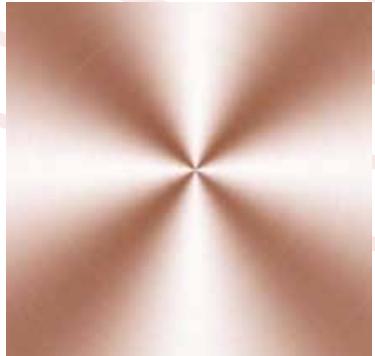
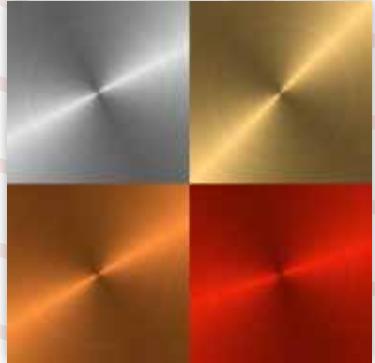
Grabado por ácido

Las técnicas actuales proporcionan los medios para crear diseños gráficos apasionantes y creativos.

El grabado con ácido (ácido fosfórico/hidroclorhídrico/nítrico) es un proceso que elimina una parte del material de la superficie. Las superficies grabadas tienen una apariencia mate, rugosa y que contrasta con las superficies con acabados pulidos o satinados.

E

Acabado coloreado



F

Acabados coloreados y grabado electrolítico



Como el nombre lo indica, este proceso es la combinación de grabado y coloreado. Si se imprime algún grabado previo a la coloración se pueden crear diseños muy vistosos; a esto se le puede dar realce mediante un ligero amolado del grabado y con la exposición de los «puntos salientes» al color propio del acero inoxidable, dejando el coloreado en los huecos que son menos susceptibles al daño.

Ejemplos de coloreado y grabado electrolítico

1.4) Recomendaciones

A continuación se enlistan algunos criterios en la elección del acabado:

- Las superficies tersas dificultan la adherencia de contaminantes y favorecen la limpieza manual y natural (lluvia), por lo tanto reducen el riesgo de corrosión.
- Las superficies rugosas acumulan contaminantes y son más difíciles de limpiar, por lo tanto favorecen a la corrosión, sin embargo tienen la ventaja de que disimulan rayaduras en diseños que están en contacto directo con alto tráfico de usuarios.
- Para aplicaciones en exteriores se recomiendan acabados poco reflectivos.
- En aplicaciones o instalaciones grandes hay que asegurarse de que el material proceda de una misma bobina o colada para asegurar la misma vista de la hoja.



Recomendaciones para el direccionamiento del acabado:

- Al instalar o colocar una lámina de inoxidable se debe tener en cuenta la dirección del laminado o acabado.
- Procurar que todos los componentes visibles de la aplicación para fabricar se instalen en la misma dirección.
- Cualquier parte de una aplicación de grandes dimensiones instalada en dirección contraria a la del laminado reflejará la luz de forma diferente bajo ciertas condiciones de luz, lo cual hará que se vea distinta. Esta regla aplica para acabados lisos, pulidos, texturizados y coloreados.

- En aplicaciones exteriores o en donde las condiciones así lo demanden, es mejor elegir acabados rayados verticales, que facilitan la limpieza natural o manual.
- Debe solicitarse al proveedor que indique la dirección del laminado o grabado por debajo de la hoja y sobre la película plástica.



2

Procesos de transformación

2.1) Introducción



A

Corte y troquelado

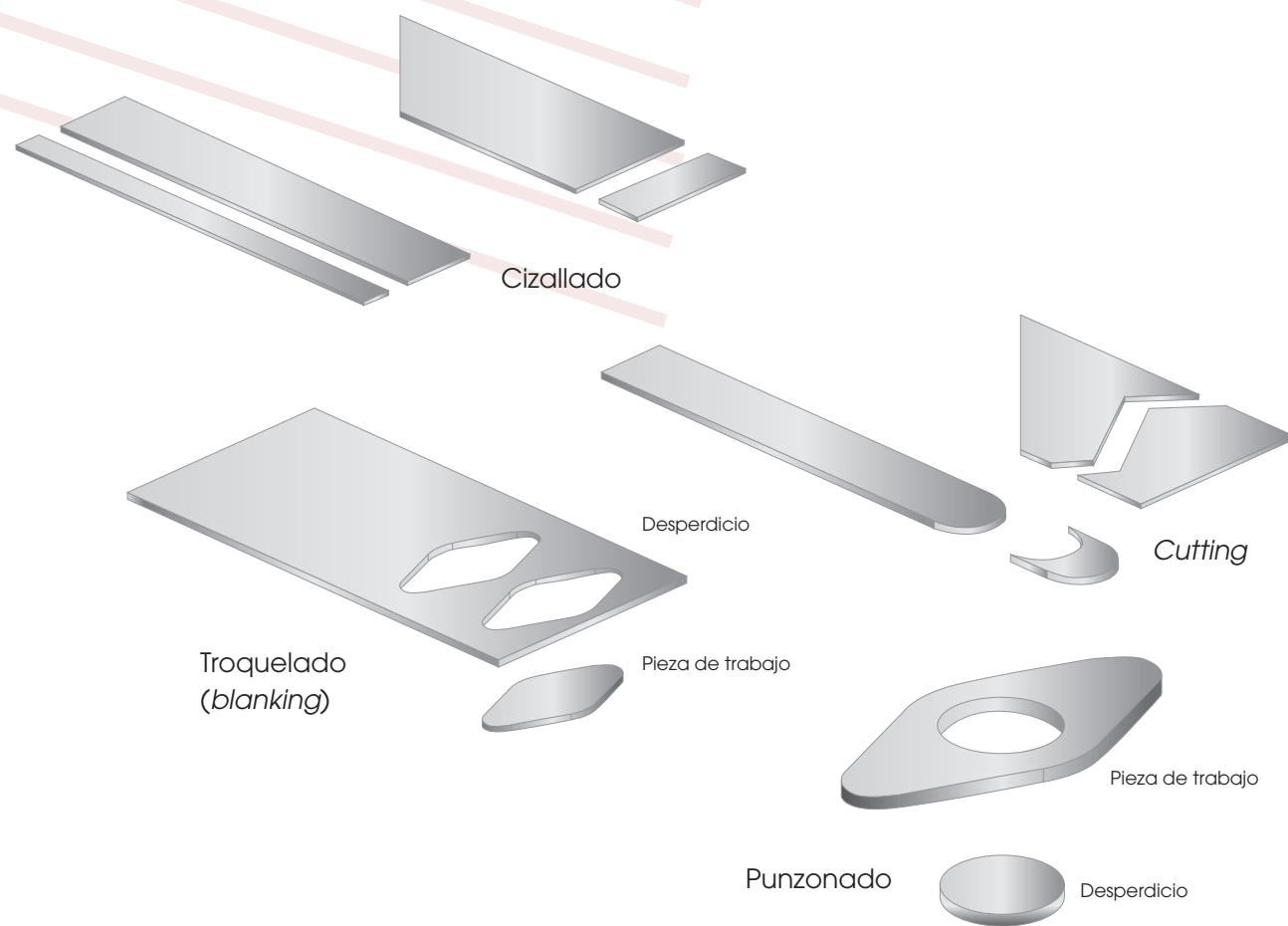


Corte

- Cizallado
- *Cutting*

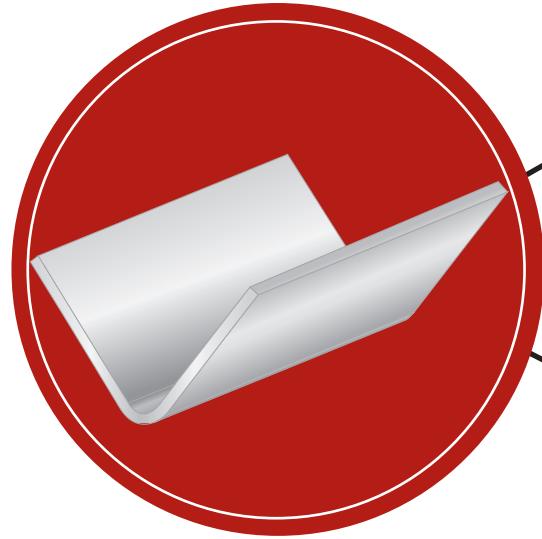
Troquelado

- Troquelado o *blanking* (corte de silueta)
- Punzonado



B

Formado y doblado

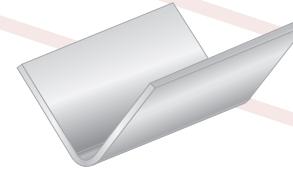


Doblado

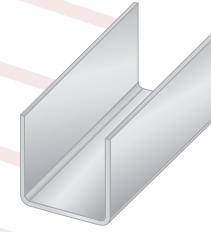
- U
- V
- L

Formado

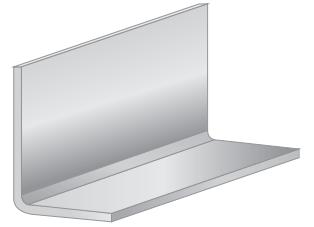
- Enrollado
- *Burring*
- Engargolado



Doblez en V



Doblez en U



Doblez en L



Burring



Enrollado



Engargolado

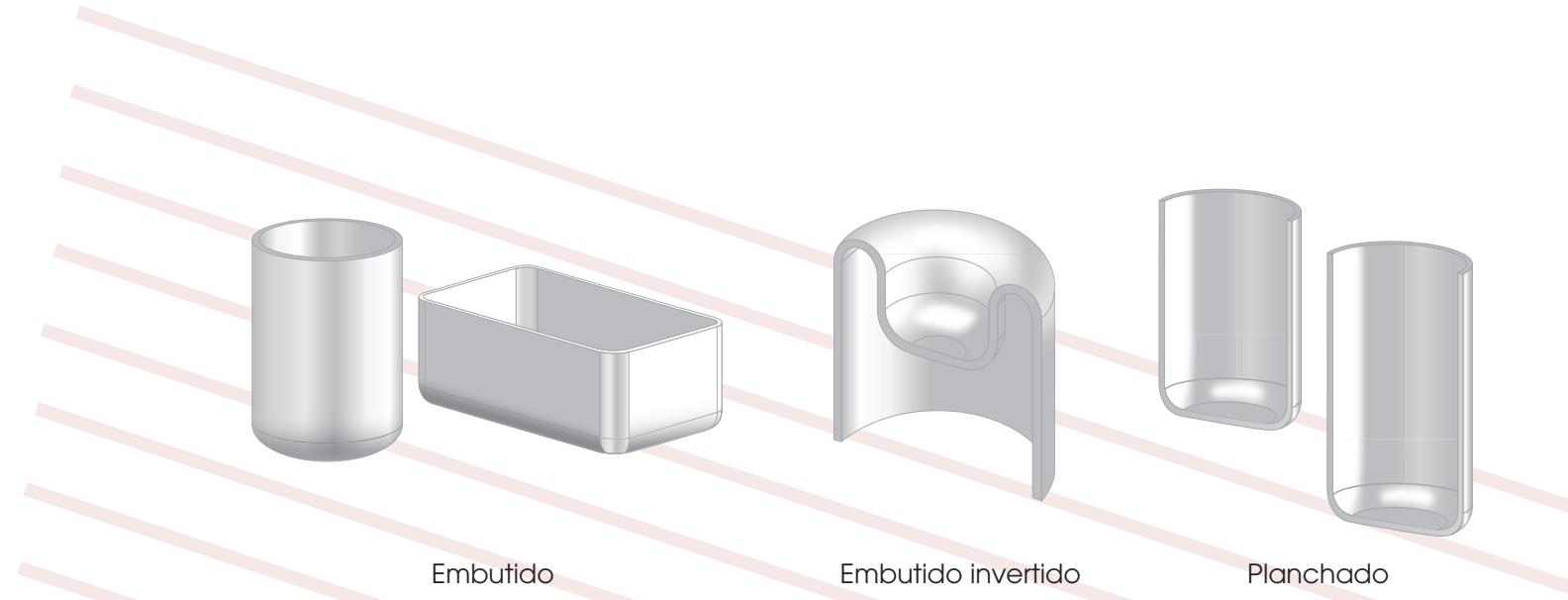
C

Embutido



Embutido

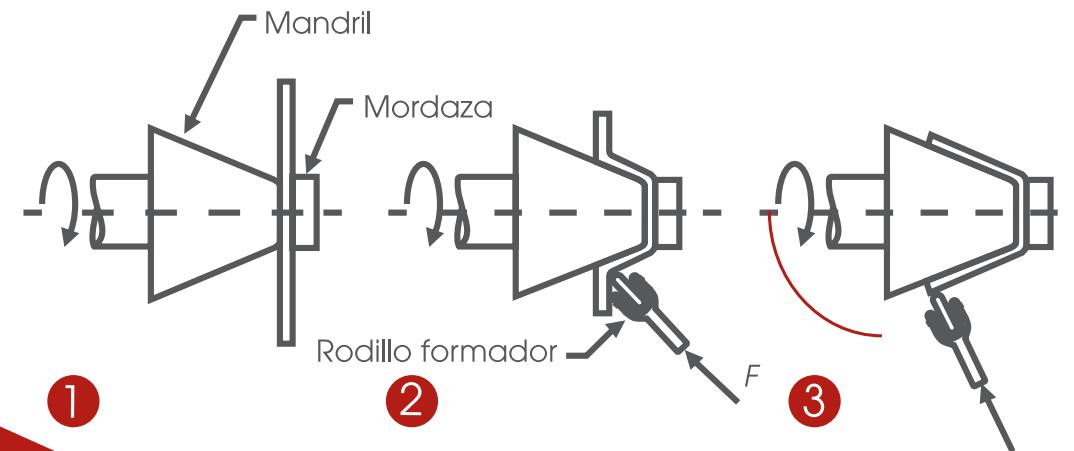
- Embutido directo
- Embutido invertido
- Planchado



D Rechazado



Formas típicas cónicas, cilíndricas y de domo realizadas por rechazado



Rechazado convencional:
1) disposición al iniciar el proceso,
2) durante el rechazado, y
3) proceso completo

2.2) Operaciones de corte

El acero inoxidable se puede cortar con los mismos métodos empleados para el acero al carbono y a través de una gran variedad de técnicas, incluyendo procesos mecánicos, de erosión o térmicos, con excepción del corte oxiacetilénico, ya que la flama no puede cortar a través de los óxidos de cromo formados en la superficie del acero inoxidable.



- Procesos mecánicos
 - Aserrado
 - Cizallado
 - Punzonado
 - Troquelado
- Procesos por erosión
 - Corte por chorro de agua (con abrasivos)
- Procesos térmicos
 - Corte por plasma
 - Corte por láser

No se puede asegurar que un proceso sea mejor que otro, ya que para seleccionar el método ideal es necesario considerar cada uno de los siguientes factores:

- Espesores de corte
- Velocidad de corte
- Acabado de la pieza que se va a cortar
- Precisión
- Zona afectada térmicamente
- Necesidad de operaciones secundarias
- Complejidad de la pieza que se va a cortar
- Costos de operación
- Inversión necesaria



Procesos mecánicos de corte

La operación de corte mecánico consiste en someter la lámina a esfuerzos de cizallamiento entre los bordes cortantes de las herramientas hasta llevar el material al punto de fractura. Existen cuatro métodos:

Aserrado

Es una operación para cortar metal y dividir una pieza en distintos segmentos mediante la acción de una hoja de filo múltiple. El uso principal de la sierra es seccionar el material en las dimensiones necesarias para otras operaciones y permite cortar formas y contornos irregulares.

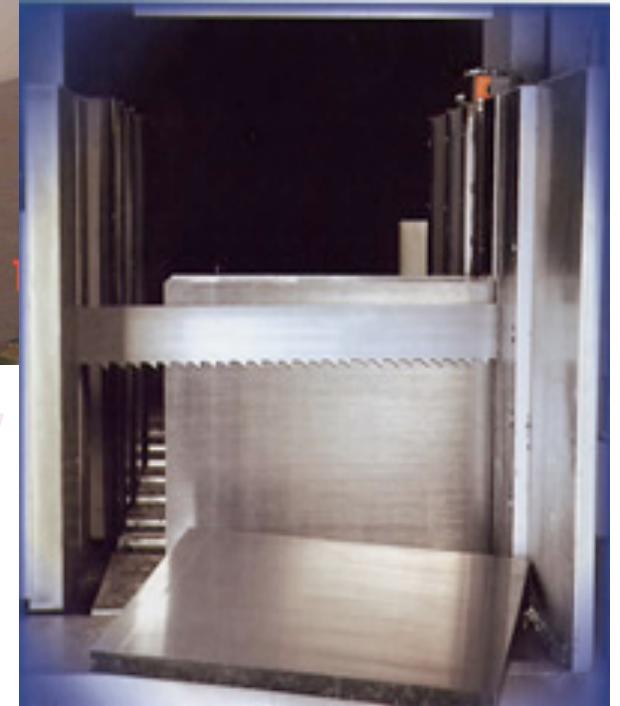
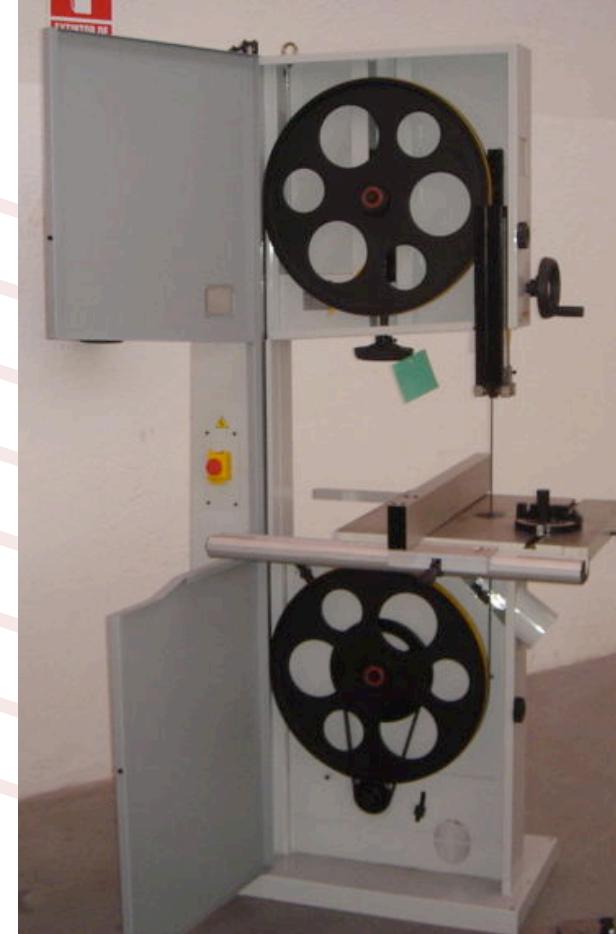
Debido a la dureza del acero inoxidable se requiere usar hojas recubiertas de carburo.



En la sierra de cinta se utiliza una cinta continua, flexible, con dientes en un solo borde.

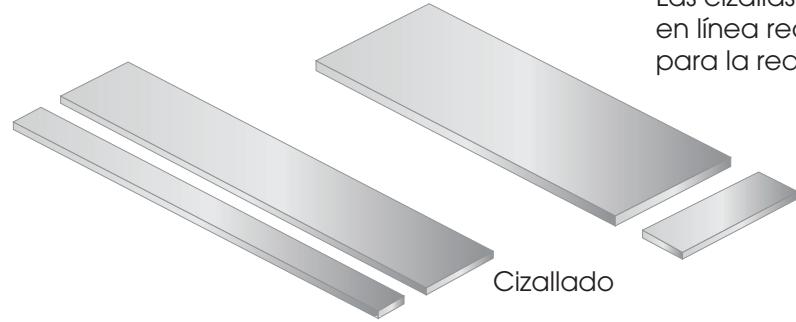


En las sierras de arco manuales y mecánicas se utiliza una acción cortante alternativa en la hoja, la cual está montada para alternar (reciprocarse) en un plano horizontal.



Las máquinas de sierra circular incluyen corte en frío, corte con disco de abrasivo, sierras de mesa y sierras de brazo. El corte en frío se suele utilizar para recorte en operaciones automatizadas.

» Cizallado

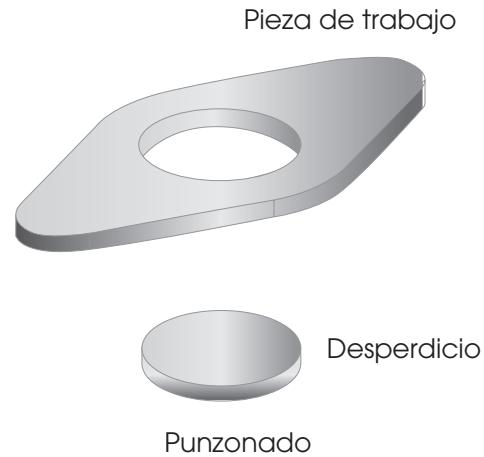


Las cizallas pueden ser utilizadas para cortar en línea recta. Son particularmente útiles para la reducción del tamaño de las hojas.

» Punzonado

Es un proceso de tipo mecánico originado por cizallado. Intervienen dos herramientas, una que se coloca en la parte inferior de la lámina que se punzonará, llamada matriz, y otra que se coloca en la parte superior, denominada punzón.

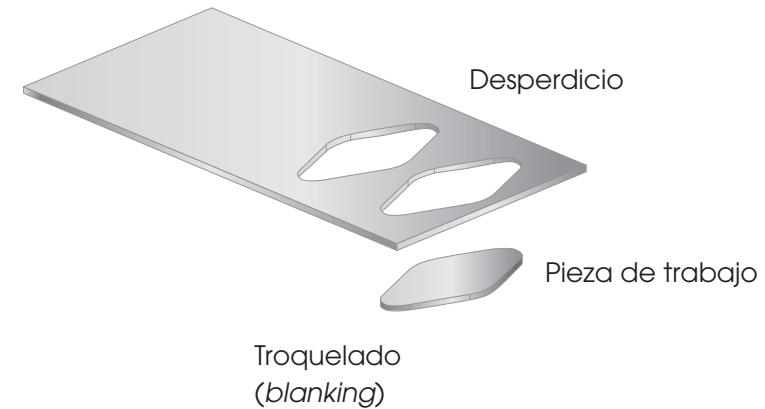
La compresión del material genera una deformación. A medida que avanza esta deformación se produce una rotura o fractura que hace que el material se separe. La figura que se corta es el desperdicio.



Troquelado «

Es un proceso mecánico inverso al punzonado. Intervienen también dos herramientas, pero la matriz se coloca en la parte superior de la lámina que se troquelará, y el punzón queda en la parte inferior.

La compresión del material genera una deformación. A medida que avanza esta deformación se produce una rotura o fractura que hace que el material se separe. La figura que se corta es la pieza de trabajo que se busca.

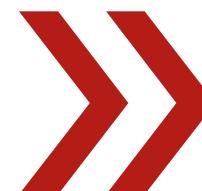


Si es del interés del lector, ABC DEL INOXIDABLE pone a su disposición animaciones demostrativas en las que se presentan ejercicios para el cálculo de variables en una prensa para diferentes procesos. Las animaciones están disponibles en el DVD que acompaña a la presente publicación.

Para el tema de troquelado y punzonado hay ejercicios disponibles demostrativos para el cálculo de las siguientes variables:

Variable	Animación	Disponible en*
Posición en la que una prensa tiene su capacidad óptima de carga	Posición de carga óptima	DVD ABC DEL INOXIDABLE ● LIBRO B: FABRIQUE EN INOXIDABLE ● Animaciones
Fuerza y energía que se requiere en una prensa para una operación de troquelado	Fuerza y energía de troquelado	
Fuerza y energía que se requiere en una prensa para una operación de punzonado	Fuerza y energía de punzonado	
Espacios mínimos entre cortes para troquelado y punzonado	Espacios mínimos entre cortes	

*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.



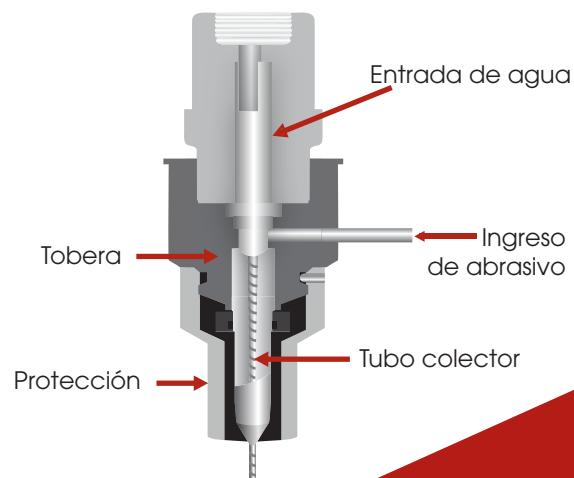
Procesos de corte por erosión

Corte por chorro de agua

En general, este método trabaja forzando un cierto caudal de agua presurizado con partículas abrasivas a través de un orificio de diámetro muy pequeño (tobera), generando un delgado chorro de altísima velocidad. Esta fuente de agua impacta el material con gran fuerza en un área muy reducida, lo que provoca pequeñas grietas que, con la persistencia de su impacto, «erosiona» el material. Con este proceso prácticamente no se produce ninguna rebaba, se obtiene un corte fino y se producen mínimos desperdicios.



Máquina de corte por chorro de agua



Detalles del mecanismo de corte

Aspecto del proceso de corte por chorro de agua



Ventajas

- Corte en frío, es decir, no existe calor que pueda afectar o distorsionar las propiedades del acero inoxidable.
- Es multidireccional (puede cortar en cualquier dirección).
- No existe agrietamiento en el corte que eventualmente pudiera favorecer la corrosión.
- Es un método ecológico, ya que no utiliza gases peligrosos, humos ni radiaciones UV, además de ser limpio y seguro.
- Se ahorra material, por el ancho de corte reducido.
- Los sistemas de chorro de agua pueden cortar material de hasta 200 mm de espesor en cualquier dibujo geométrico.

Desventajas

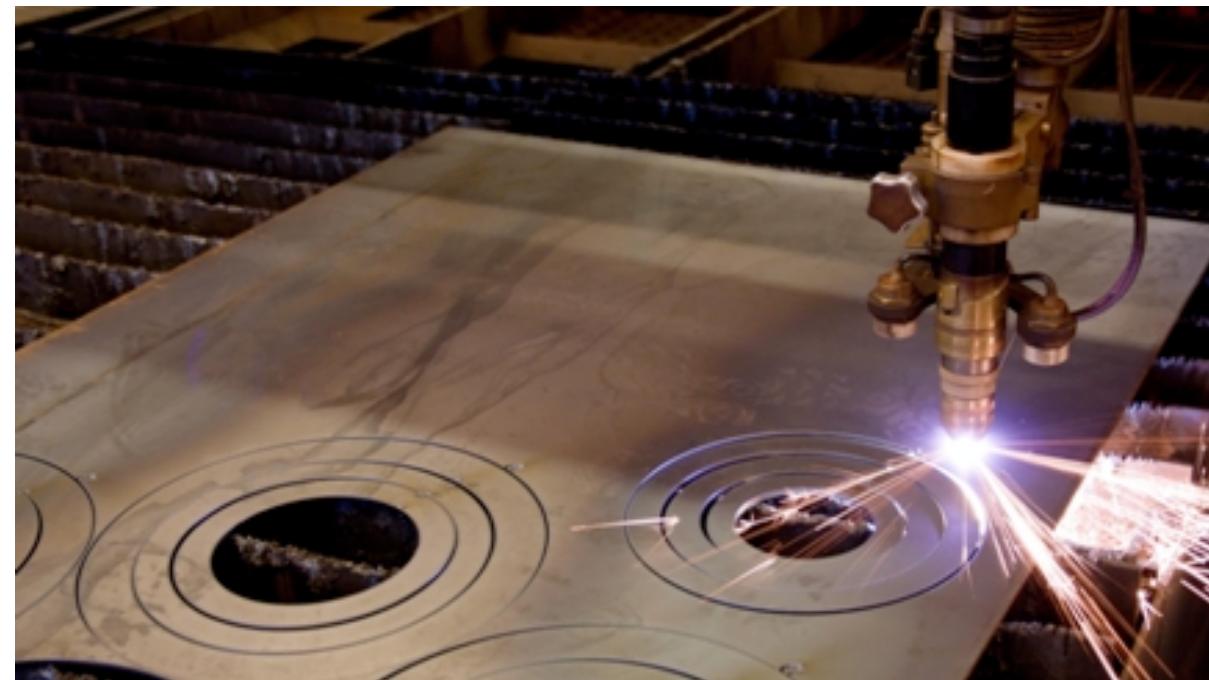
- En algunos casos de materiales con grandes espesores y de gran dureza, requiere de más tiempo para ser cortado y esto puede elevar los costos.
- En grandes espesores, la forma vertical «ideal» del corte tiende a distorsionarse.



Procesos térmicos de corte

Corte por plasma

El fundamento del corte por plasma se basa en elevar la temperatura del material que se va a cortar de forma muy localizada y por encima de los 30 000 °C, lo cual lleva al material hasta el cuarto estado de la materia: el plasma, estado en el que los electrones se disocian del átomo.



Aspectos del proceso de corte por plasma

La ventaja principal de este sistema radica en su reducido riesgo de deformaciones debido a la compactación calorífica de la zona de corte. También es valorable la economía de los gases aplicables, ya que cualquiera es viable, si bien es cierto que no debe de atacar al electrodo ni a la pieza.

El equipo necesario para aportar esta energía consiste en un generador de alta frecuencia alimentado por energía eléctrica, gas para generar la llama de calentamiento y un porta electrodos que, dependiendo del gas, puede ser de tungsteno, hafnio o circonio.



Ventajas:

- Puede cortar hasta 40 mm de espesor.
- Corte rápido más de 1 995 mm/min en aceros de 9.53 mm (3/8").
- No requiere ciclo de precalentamiento, lo que ahorra tiempo y es más conveniente.
- Produce una pequeña y precisa separación del corte, lo cual favorece el proceso cuando la exactitud es importante.
- La zona afectada por el calor es pequeña.
- Deja bordes limpios y derechos.
Es más económico que otros métodos.

El corte se realiza mediante alguno de estos gases:

- Aire: el oxígeno del aire proporciona energía adicional para el corte.
- Mezcla de nitrógeno con bióxido de carbono.
- Mezcla de nitrógeno con oxígeno o aire.
- Oxígeno.
- Nitrógeno: su alta pureza permite cortes de excelente calidad.

Desventajas:

- El calor del arco resulta en la formación de una zona afectada por el calor y en distorsión del material; la carbonización en esta zona puede provocar problemas de corrosión.
- Posterior al corte, los bordes deben ser trabajados (removiendo aproximadamente 3 mm del material) o decapados.

Corte con láser



En el corte mediante láser se utiliza la radiación para calentar la pieza hasta alcanzar la temperatura de fusión, al tiempo que una corriente de gas a presión arrastra el material fundido. La utilización del láser en este campo ofrece muchos aspectos positivos. El haz láser enfocado sobre la pieza actúa como una herramienta puntual. La zona afectada térmicamente es muy limitada, lo que evita la aparición de distorsiones. El contorno de la pieza que se va a cortar puede ser de cualquier forma y complejidad, pudiéndose realizar el proceso a altas velocidades.





*Banca mariposa. Arq. Enrique Espinosa Fernández.
Muestra clara de las posibilidades del corte láser*

Ventajas

- Velocidad de producción alta.
- Corta perfiles que presentan formas complejas.
- Elevada precisión y calidad de piezas cortadas (sobre todo en espesores medianos y pequeños).
- Posibilidades de actuar sobre superficies de espacios muy reducidos.
- La precisión del corte y la ausencia de contacto mecánico con la pieza reducen significativamente la aparición de distorsiones e impurezas.
- Costuras angostas, sin rebabas, lo que evita trabajos posteriores de limpieza.
- Zona afectada térmicamente muy reducida.
- Las paredes de corte son paralelas entre sí y perpendiculares a la pieza, no redondeadas.
- Se aprovecha mejor el material, gracias al mínimo grosor del surco producido por el láser.

Aspectos del proceso de corte por láser

- La calidad del procesado es alta.
- Fácil integración en sistemas robóticos o herramientas integradas en un CNC.
- No requiere fabricación de matricería.
- Puede cortar espesores de hasta 12 mm.

Desventajas

- Velocidad reducida para espesores <3 mm.
- Inversión inicial elevada.
- Costo elevado de consumibles (boquillas, electrodos).

2.3) Formado y doblado



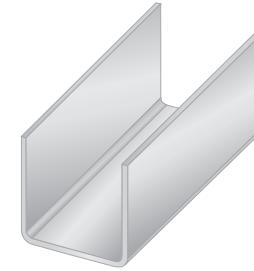
Doblado

La operación de doblado consiste en realizar una transformación plástica de una lámina o placa metálica y convertirla en una pieza con forma o geometría distinta a la anterior. Se trata de cambiar la forma de una lámina plana sin alterar el espesor, de manera que todas las secciones sucesivas sean iguales. Las operaciones de doblado se realizan usando como herramientas de trabajo diversos tipos de punzones y dados o matrices.

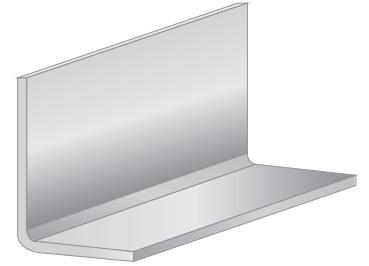
Tipos de doblado



Doble en V



Doble en U



Doble en L

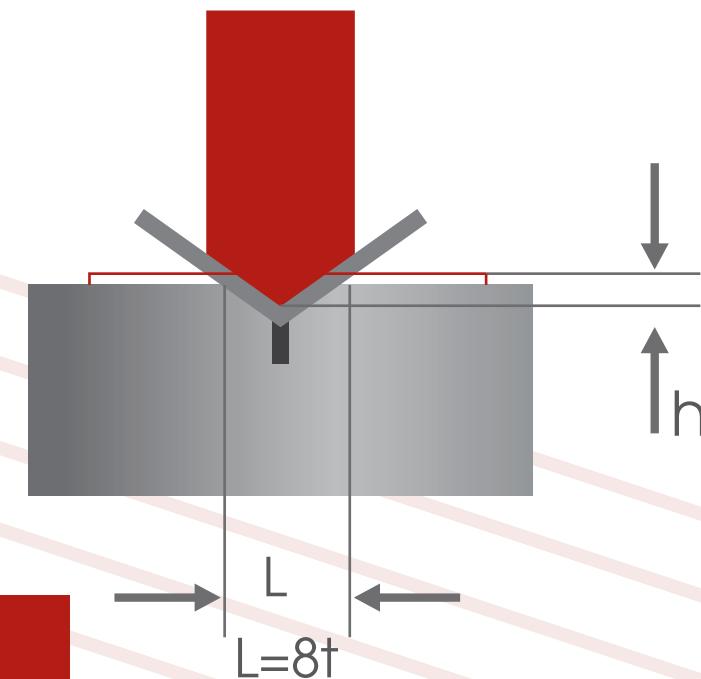
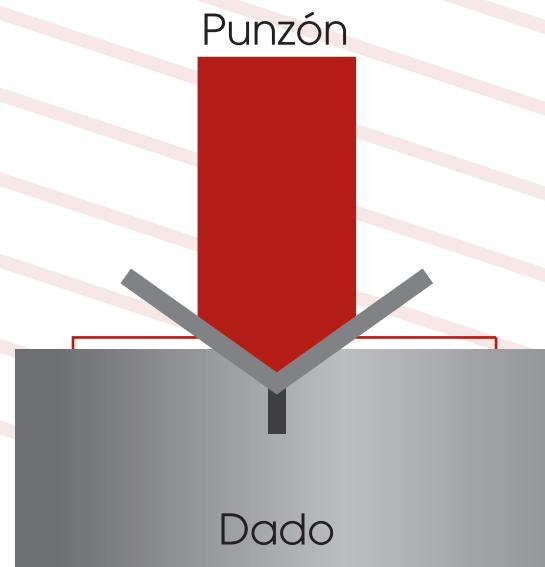
Consideraciones para diseñar un troquel para doblado:

- Fuerza
- Energía
- Fuerzas de retroceso elástico (*springback*)
- Desarrollo del elemento

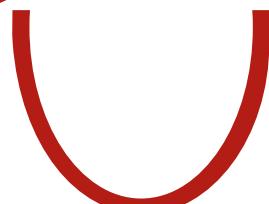


Doblez en V

En el doblado en V, la lámina modifica su forma entre un punzón y una matriz en forma de V, los ángulos van desde los muy obtusos hasta los muy agudos. La ductilidad del acero inoxidable permite formar menores radios. El doblado en V se usa generalmente para operaciones de baja producción y se hacen frecuentemente en una prensa de cortina; los correspondientes dados en V son relativamente simples y de bajo costo.



En las siguientes imágenes se muestran dos efectos no deseados por la variación para el doblado en V.



Si $L > 8t$



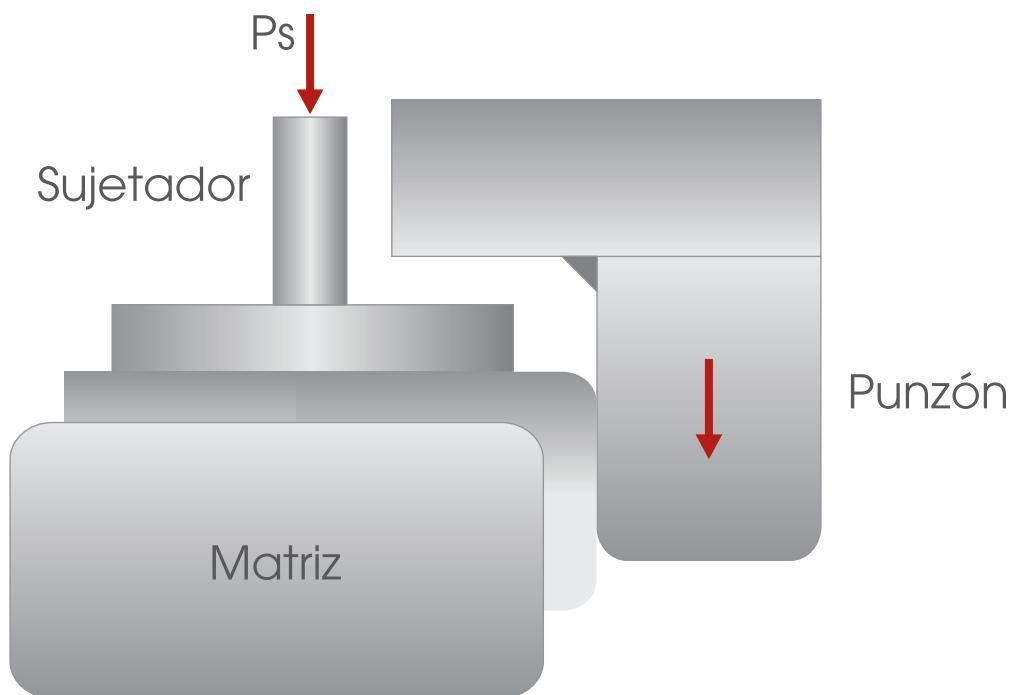
Si $L < 8t$

En donde (ver siguiente página):

L = Distancia entre hombros sobre la matriz de doblado en V, mm
 t = Espesor de la lámina, mm
 h_1 = Altura del trabajo, mm

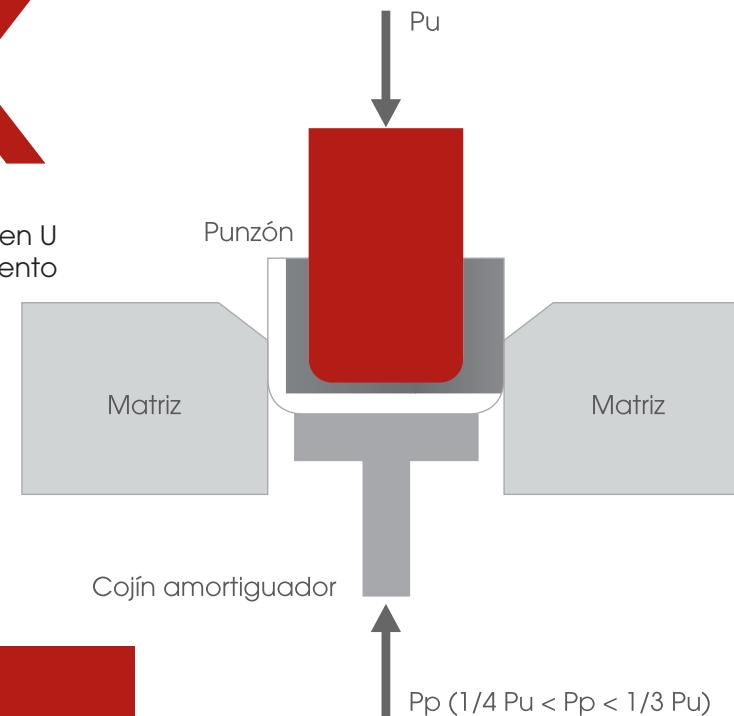
El doblado en L involucra una carga voladiza sobre la lámina. Se usa una placa de presión (sujetador) que aplica una fuerza para sujetar la lámina contra la matriz, mientras el punzón fuerza la parte volada para doblarla sobre el borde de la matriz. Debido a la presión del sujetador, los dados deslizantes son más complicados y más costosos que los dados en V y se usan generalmente para trabajos de alta producción.

»» Doble en L



Doble en U <<

En donde:
 P_u = Fuerza requerida para el doble en U
 P_p = Fuerza del cojín de amortiguamiento

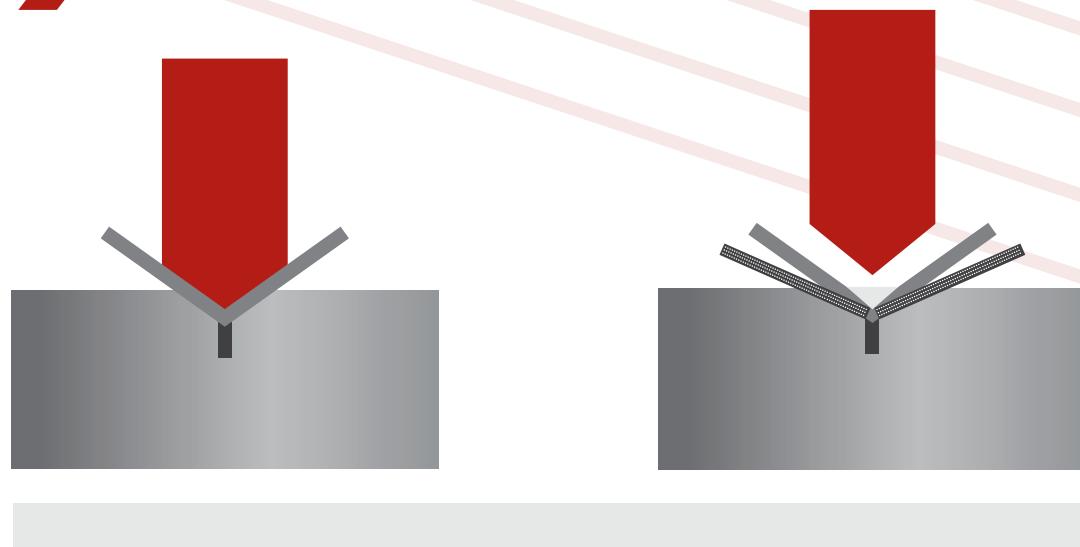


Efectos no deseados causados por la variación de la presión del cojín (P_p)





Retroceso elástico (*springback*)



La formación en frío del acero inoxidable produce el endurecimiento del material; es por ello que se requiere de más fuerza para transformarlo que de la requerida para doblar el acero al carbono (aproximadamente 50% más). Asimismo, el acero inoxidable tiende más a la recuperación elástica (*springback*) que el acero al carbono, es por ello que debe «sobredoblarse».

Si es del interés del lector, ABC DEL INOXIDABLE pone a su disposición animaciones demostrativas en las que se presentan ejercicios para el cálculo de variables en una prensa para diferentes procesos. Las animaciones están disponibles en el DVD que acompaña a la presente publicación.

Para el tema de doblado hay ejercicios disponibles demostrativos para el cálculo de las siguientes variables:

Variable	Animación	Disponible en*
Fuerza y energía requerida para un doblado en V	Doblez en V	DVD ABC DEL INOXIDABLE ● LIBRO B: FABRIQUE EN INOXIDABLE ● Animaciones
Fuerza requerida para un doblado en U	Doblez en U	
Dimensiones de una lámina requeridas para un doblado en L	Doblez en L	
Magnitud del ángulo de retroceso elástico	Ángulo de retroceso elástico	

*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.



Otras operaciones de doblado

Existen otras operaciones de doblado, algunas de las cuales involucran el doblado sobre ejes curvos, en lugar de ejes rectos, o incluso tienen características diferentes.

Formado de bridas,
doblez, engargolado y rebordeado



El formado de bridas es una operación en la cual el filo de una lámina se dobla en un ángulo de 90° para formar un borde. Se usa frecuentemente para reforzar o dar rigidez. El borde se puede formar en un doblado sobre un eje recto o puede involucrar algunos estiramientos o contracciones del metal.

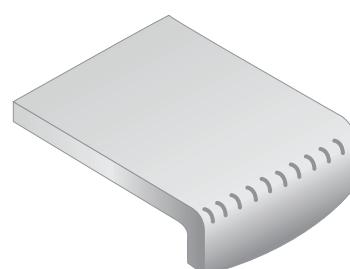
Formado de bridas



Bridado recto



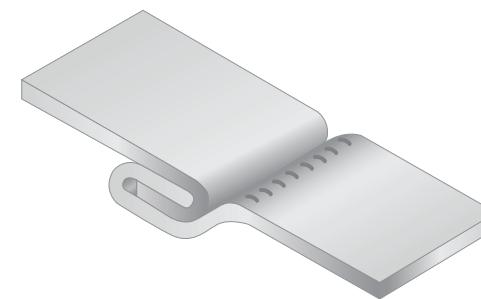
Bridado estirado



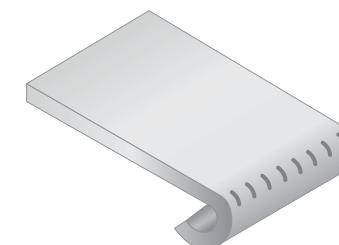
Bridado contraído



Doblado



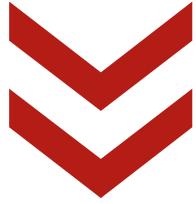
Engargolado (empalme)



Rebordeado

En el engargolado, los dobleces permiten el ensamble entre dos láminas. En el rebordeado, también llamado formado de molduras, los bordes de la lámina se producen en forma de rizo o rollo. Tanto esta operación como el doblado se hacen con fines de seguridad, resistencia y estética.

Doblado con cilindros o *roll forming*



En el proceso de doblado con cilindros o *roll forming* se alimentan las hojas o tiras de acero inoxidable a través de varios pares de herramientas cilíndricas acomodadas serialmente. Cada uno de estos pares forma progresivamente las tiras del material hasta alcanzar el perfil deseado.

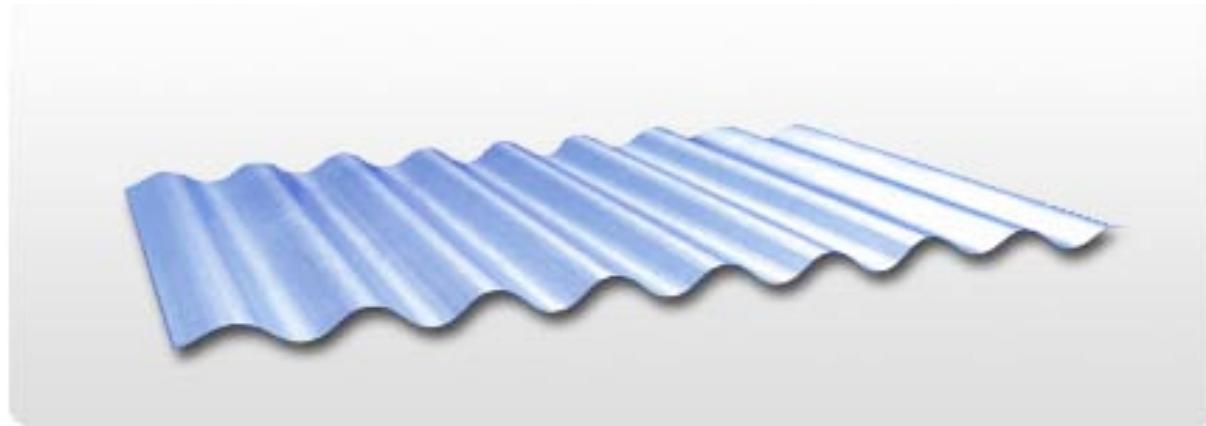
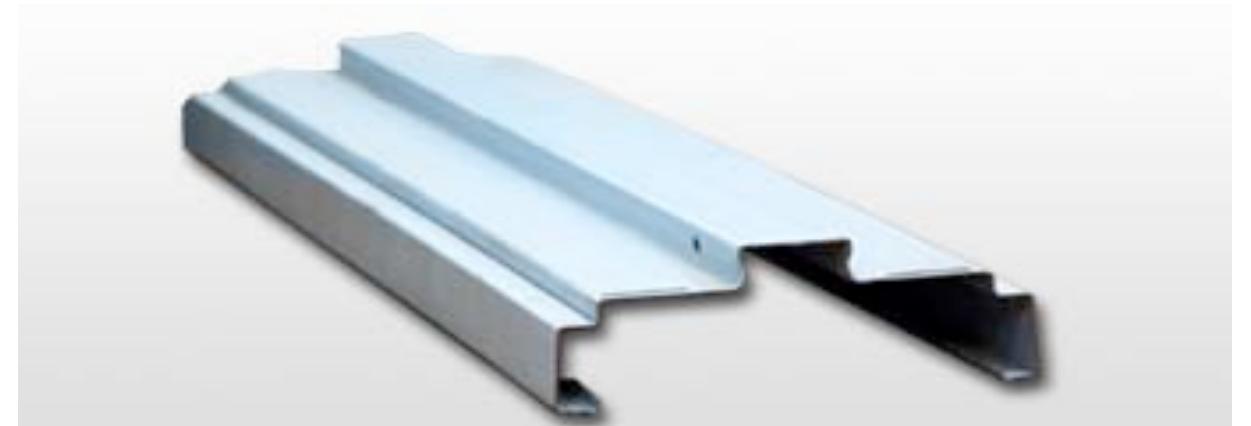


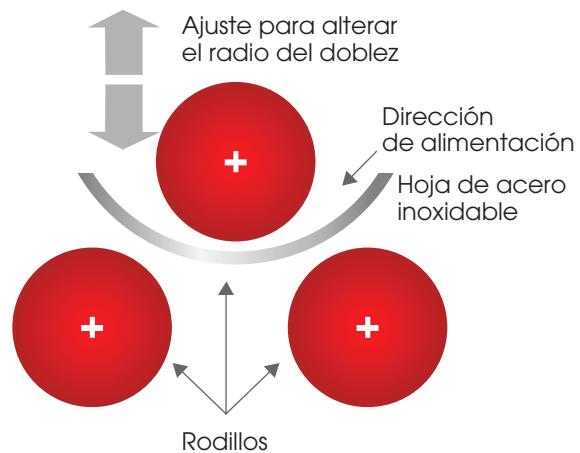
Lámina acanalada hecha con *roll forming*



Marco de puerta hecho con *roll forming*

Rolado

La roladora se compone de 3 cilindros dispuestos de forma triangular, como se ilustra en la siguiente imagen. La hoja se



Mecanismo de una roladora

alimenta entre el cilindro superior y los dos cilindros inferiores, y queda prensada entre estos. El radio del doblé se ajusta subiendo o bajando el cilindro superior.



2.4) Embutido

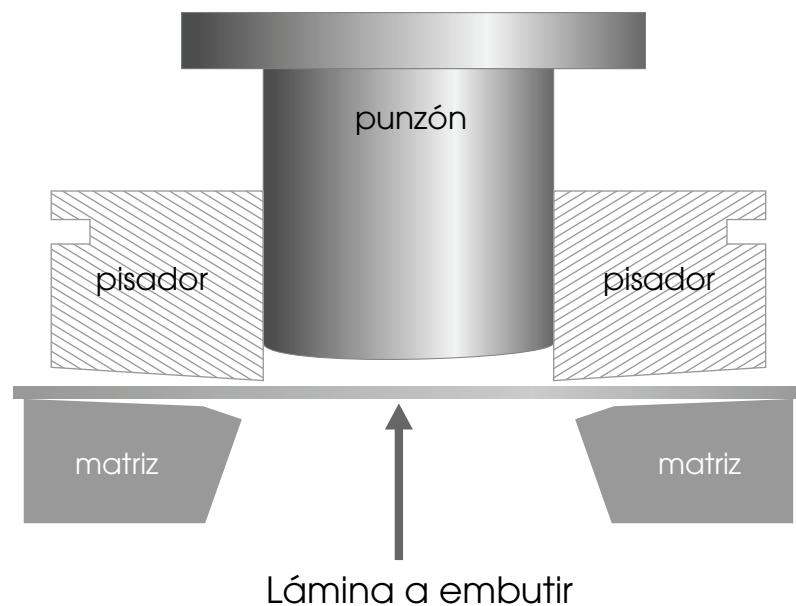


Es una operación de formación que transforma un disco de material plano en un cuerpo hueco con fondo cerrado. Las operaciones de embutido también pueden crear cajas y figuras más complicadas.

A diferencia de otras técnicas de formado de metal, el embutido transforma el material plano de forma no lineal en 3 dimensiones.



En esta imagen se observa cómo a partir de discos se obtienen cuerpos embutidos.



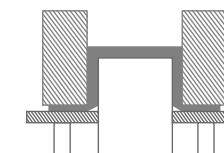
Algunas otras imágenes de cuerpos embutidos son:



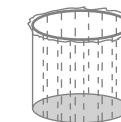
Secuencia del embutido



Desarrollo del blank

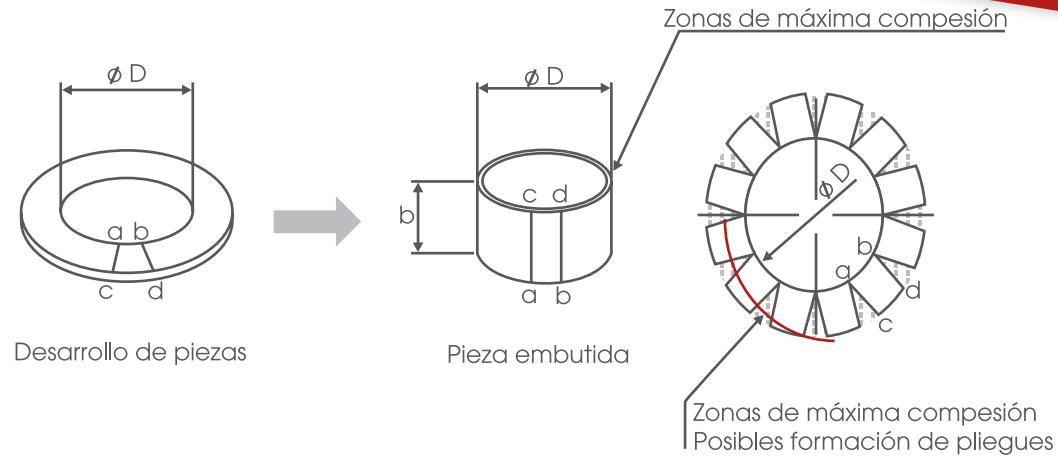


Embutido



Cuerpo hueco

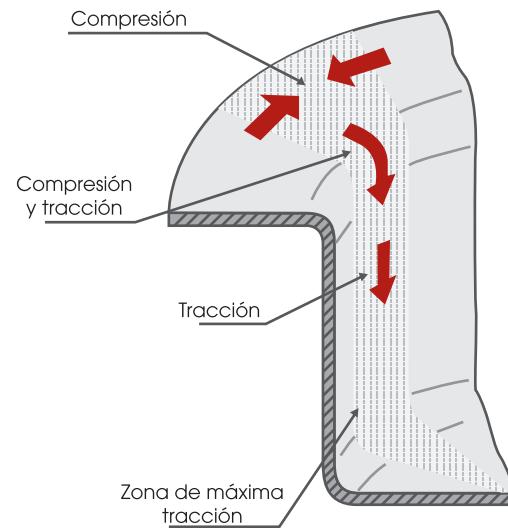
En el embutido es posible la formación de pliegues en la parte superior de los cuerpos formados, tal como se representa en las siguientes figuras.



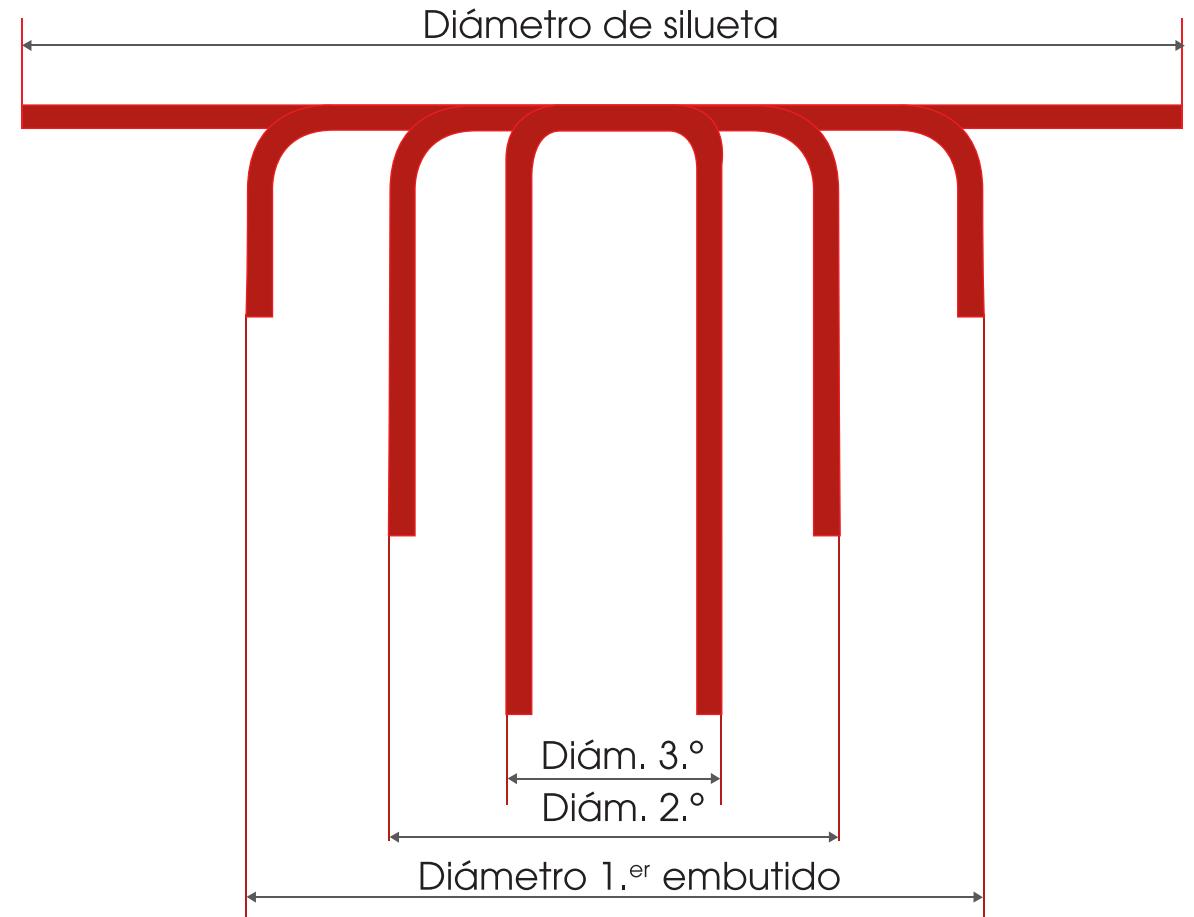
Adicionalmente, durante la operación de embutido, el flujo de material dentro de la cavidad provoca esfuerzos de compresión. Esos esfuerzos causan una resistencia al flujo.

Cuando esta resistencia es muy grande provoca que el metal se fracture cerca del fondo de la forma.

Para evitar esto se recomienda realizar el embutido por etapas.



Cuando un embutido se tiene que realizar por más de 3 etapas se dice que es un embutido profundo:



Factores a considerar para diseñar un troquel para embutido:

- Fuerza
- Energía
- Claro entre punzón y matriz
- Presión de planchado
- Radios de punzón y matriz
- Desarrollo del elemento
- Velocidad de formado

Si es del interés del lector, ABC DEL INOXIDABLE pone a su disposición animaciones demostrativas en las que se presentan ejercicios para el cálculo de variables en una prensa para diferentes procesos. Las animaciones están disponibles en el DVD que acompaña a la presente publicación.

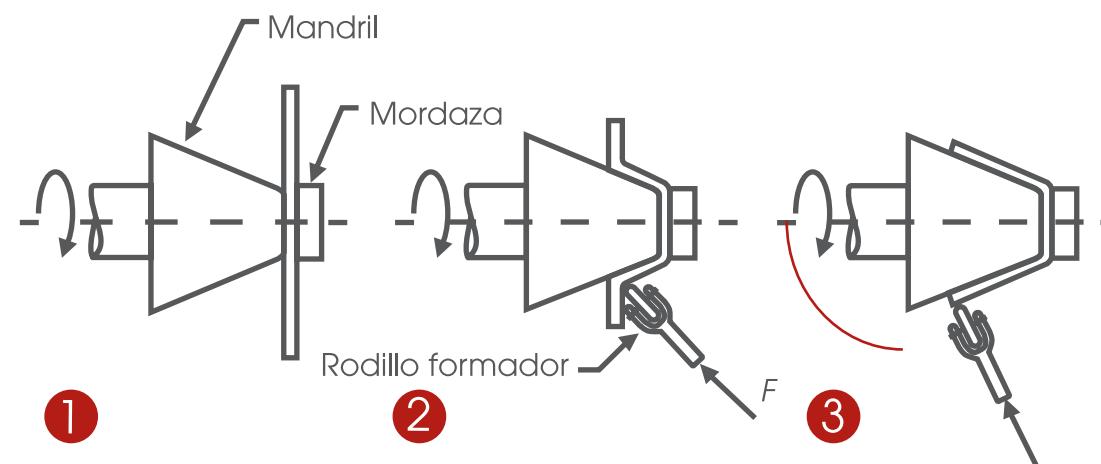
Para el tema de embutido hay ejercicios disponibles demostrativos para el cálculo de las siguientes variables:

Variable	Animación	Disponible en*
Número de etapas que se requieren para un embutido cilíndrico	Etapas embutido cilíndrico	DVD ABC DEL INOXIDABLE ● LIBRO B: FABRIQUE EN INOXIDABLE ● Animaciones
Presión del planchado	Presión planchado	
Radio de esquina superior y profundidad máxima en un embutido rectangular	Radio y profundidad	

*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.

2.5) Rechazado

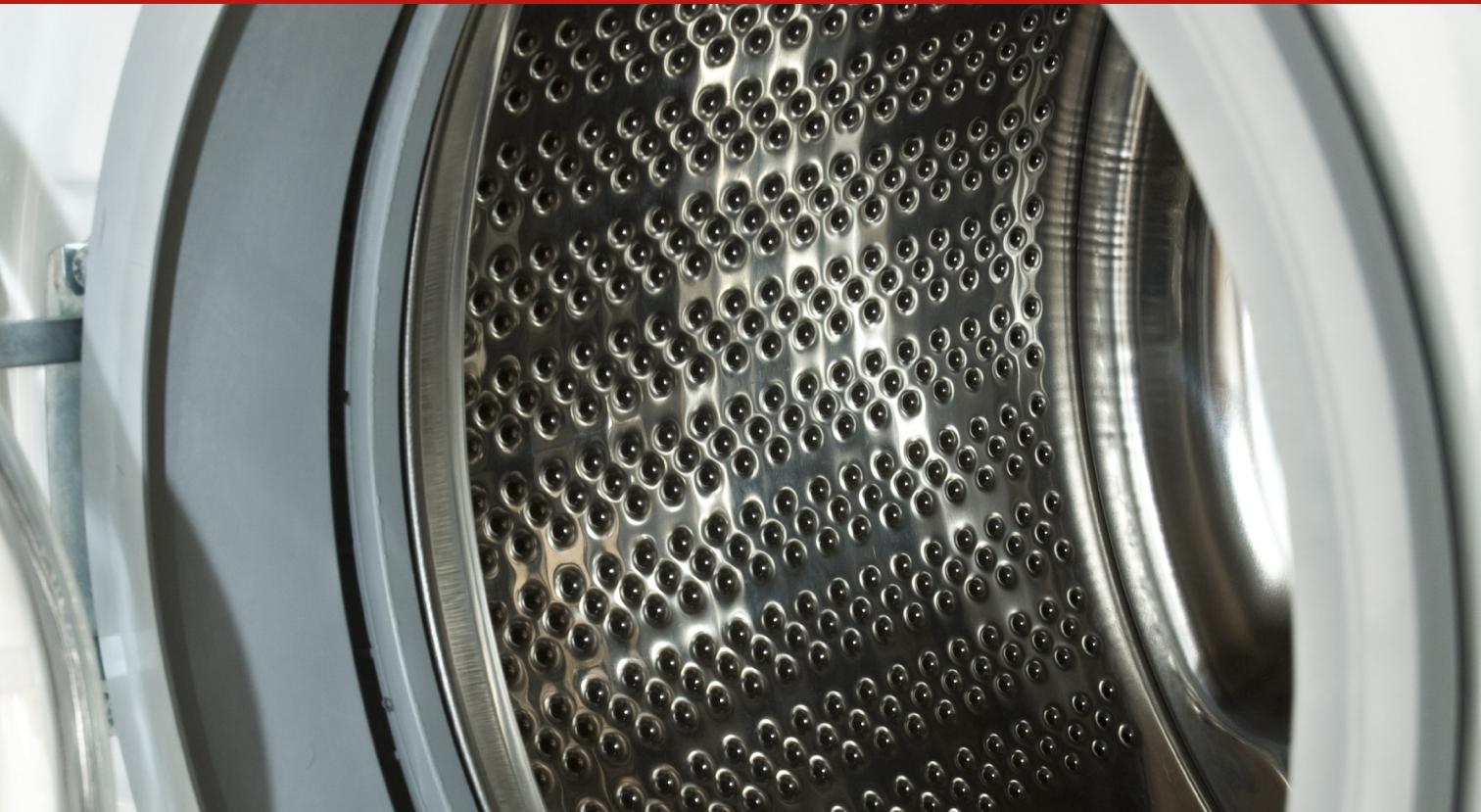
El rechazado es un proceso en el cual se da forma a una parte de simetría axial sobre un mandril u horma mediante una herramienta redondeada o rodillo. Esta herramienta o rodillo aplica una presión muy localizada (casi en un punto de contacto) para deformar el material por medio de movimientos axiales o radiales sobre la superficie de la parte. Las formas geométricas típicas que se producen por rechazado incluyen conos, hemisferios, tubos y cilindros.



Rechazado convencional; 1) disposición al iniciar el proceso, 2) durante el rechazado, y 3) proceso completo



2.6) Recomendaciones



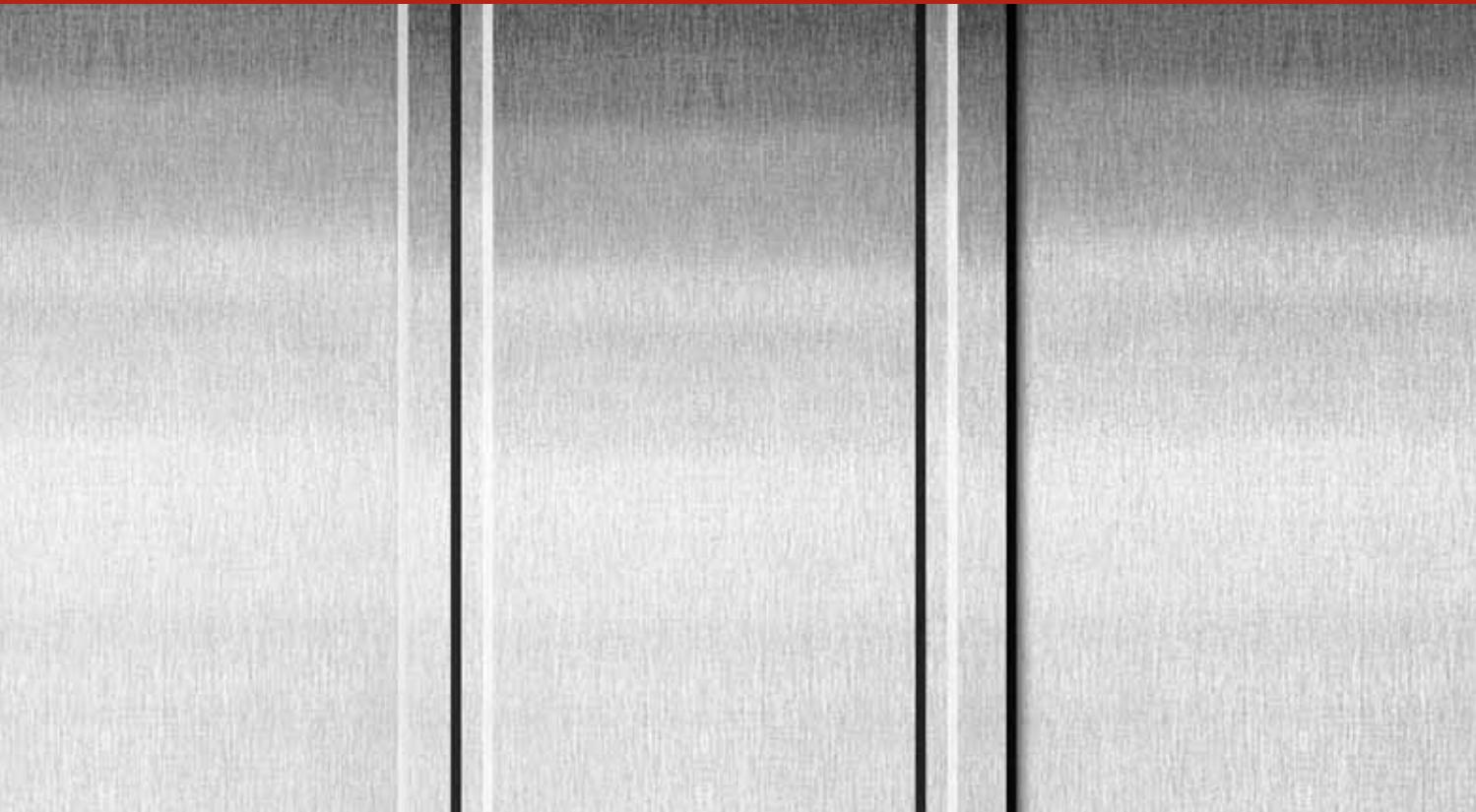
- Limpiar las mesas de trabajo, de preferencia cubrirlas con alfombra, cartón o papel.
- Preferentemente, usar herramientas exclusivas para acero inoxidable y libres de contaminación y herrumbre.
- Limpiar la superficie o zona de contacto de la herramienta antes de utilizarla.
- Usar prensas tipo *clamp* con gomas.
- Si se deben efectuar operaciones de trazado, evitar el uso de punzones duros, procurando utilizar lápices o marcadores de fácil eliminación con un trapo o disolvente. Si las láminas están protegidas con película plástica se deberá trazar sobre esta.
- Si se efectúan dobleces en las láminas, la matriz de doblado debe estar libre de polvo o cualquier otro tipo de material. Si se usa papel hay que evitar que esté doblado, ya que puede marcar las láminas. En dobleces severos se debe usar cinta adhesiva o papel encerado para evitar el contacto perjudicial con el metal. Otra solución es utilizar matrices muy pulidas o recubiertas con cromo.
- En aplicaciones sanitarias evitar dobleces a 90°, es mejor preferir pequeños radios en el doblado para obtener una curva que facilite el drenado y acceso a la limpieza (curva sanitaria).
- Para procesos de rolado con rodillos, los cilindros deben estar perfectamente limpios y mantenerse así mientras dure el proceso; es recomendable utilizar rodillos recubiertos de cromo y conservarlos bien lubricados y altamente pulidos. Si en la misma roladora se efectúan trabajos con aceros al carbono e inoxidable indistintamente, es muy conveniente recubrir los rodillos de trabajo con papel duro cuando se role el acero inoxidable.



3

Uniones

3.1) Soldadura



Soldadura es la unión mediante la acción de calor de una o más piezas con la finalidad de formar una junta que brinde o proporcione un área continua. Es, sin lugar a dudas, el método más utilizado para unir los aceros inoxidable.

La soldadura de los aceros inoxidable es por naturaleza diferente a la del acero al carbono y a la de los aceros de baja aleación. El punto de fusión de los inoxidable es más bajo, por lo cual se requiere de menos calor para llegar a este; su resistencia eléctrica es mucho mayor que la del acero al carbono, por lo tanto, los procesos de soldadura requieren menor intensidad de corriente.

Propiedades físicas de los aceros inoxidables comparadas con las del acero al carbono:

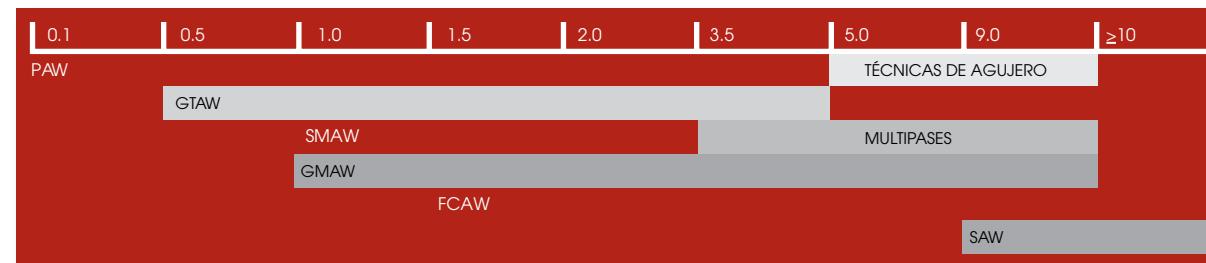
Propiedad	Acero al carbono	Aceros Inoxidables		
		Martensíticos	Ferríticos	Austeníticos
Rango de fusión (°C)	1 540	1 480 - 1 530		1 400 - 1 450
Resistividad eléctrica (μ Ωcm)	13	61		72
Relación de conductividad térmica	100%	42 - 48%		26 -37%
Coefficiente de expansión térmica (μm/m °C)	11.7	10.8		17.5

Los aceros inoxidables pueden soldarse por diferentes procesos; uno de estos es el de arco eléctrico, proceso de unión de uno o más cuerpos sólidos mediante el calor del arco o una fusión conjunta y por cuyo resultado se establece una estrecha unión.

El arco eléctrico en la soldadura consiste en una descarga eléctrica a través de un gas ionizado entre el extremo del electrodo y el metal base. Para iniciar y mantener el arco es necesario un medio conductor

de la corriente eléctrica; para obtenerlo, se necesita que el espacio existente entre el extremo del electrodo y la pieza esté ocupado por un medio de bajo potencial de ionización que permita el movimiento de los iones. En este medio, total o parcialmente ionizado, las partículas de gas se cargan eléctricamente formando iones. Al gas total o parcialmente ionizado se le denomina plasma, y constituye el medio conductor del arco eléctrico.

Rangos comunes de espesores para los procesos de arco eléctrico en milímetros:



Los procesos de soldadura por arco eléctrico se pueden clasificar en función del uso del electrodo:

Procesos con electrodo consumible	Procesos con electrodo no consumible
SMAW (arco eléctrico con electrodo recubierto)	GTAW o TIG (arco eléctrico con electrodo de tungsteno y protección gaseosa)
GMAW o MIG (arco eléctrico con electrodo continuo y protección gaseosa)	PAW (plasma)
FCAW (arco eléctrico con electrodo tubular y núcleo de fundente)	
SAW (arco eléctrico sumergido)	

A) SMAW, soldadura por arco eléctrico con electrodo recubierto

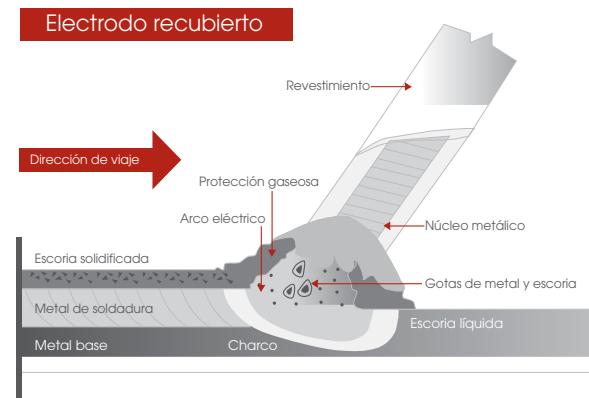
Proceso de soldadura entre un electrodo recubierto y el metal que se va a unir. El metal de aporte procede principalmente del núcleo del electrodo, mientras que la protección gaseosa se obtiene de la descomposición del recubrimiento.

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

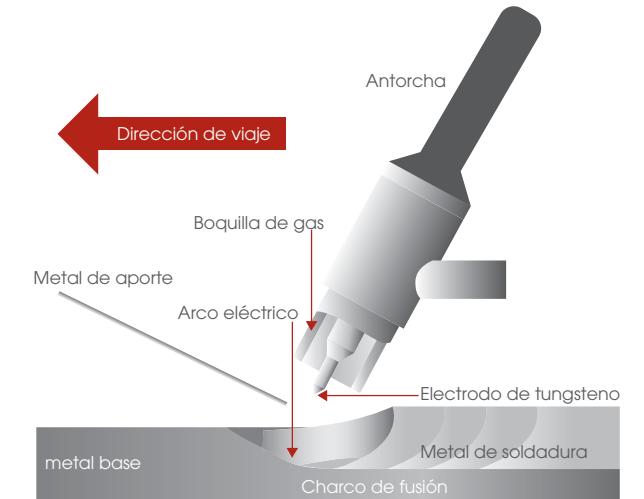


La soldadura por arco con electrodo de tungsteno y gas (TIG) es un proceso en el que la soldadura se logra por el calor de un arco establecido entre un electrodo no consumible de tungsteno y la pieza de trabajo. El electrodo, el arco y el área vecina al charco de metal líquido son protegidos por una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

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

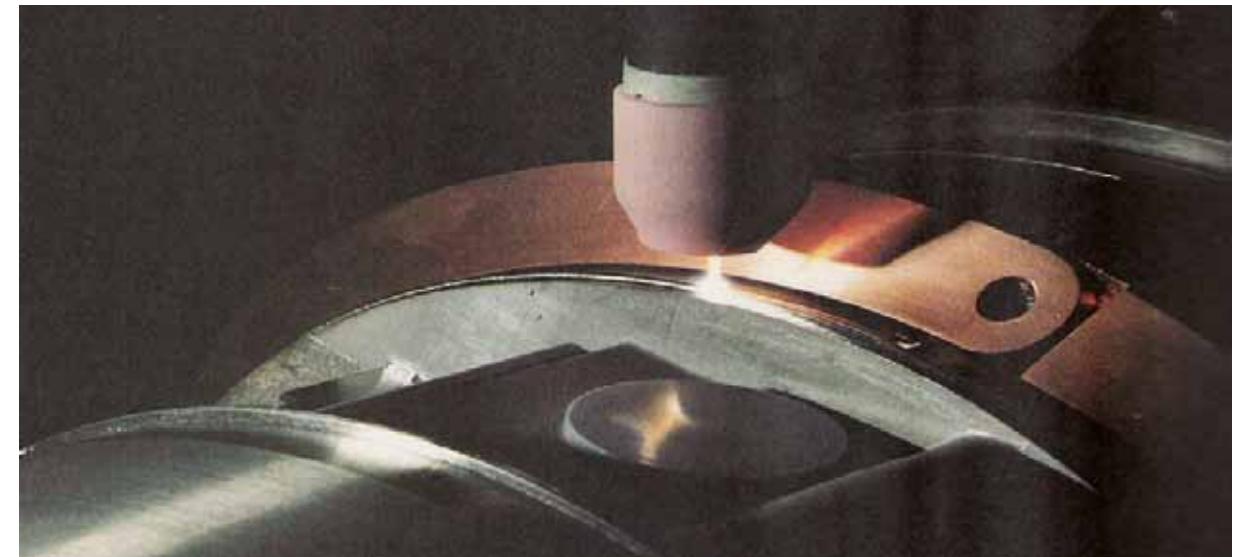
La soldadura TIG produce soldadura excepcionalmente limpia, ya que no genera escoria. Los gases de protección empleados son argón y helio, que son gases inertes.

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 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

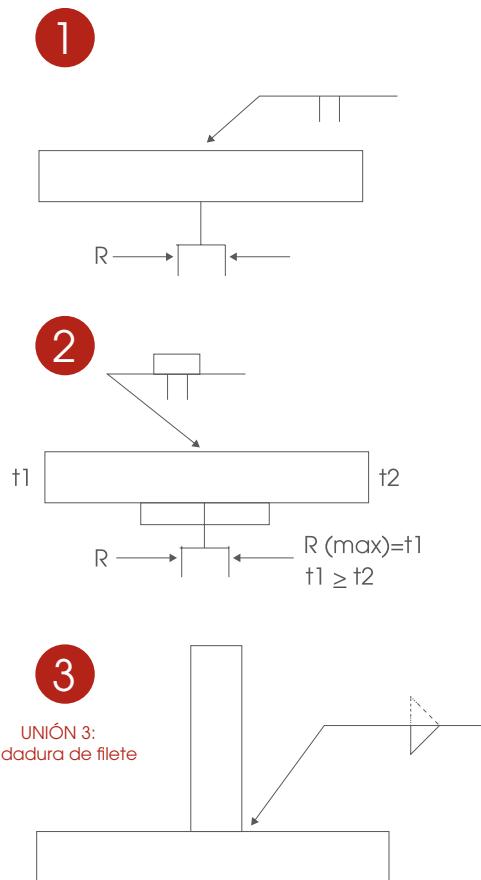
Calibre	Metal de aporte		Electrodo de tungsteno		Rangos de corriente		Pierna del filete
	Clasificación*	Diámetro	Tipo	Diámetro (pulg.)	Ranura	Filete	Mínimo
18	ER3XX	1/16"	EWTh-2	1/8" máx.	35-60	50-55	1.27 mm
17	ER3XX	1/16"	EWTh-2	1/8" máx.	39-64	59-64	1.46 mm
16	ER3XX	1/16"	EWTh-2	1/8" máx.	43-68	68-73	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.

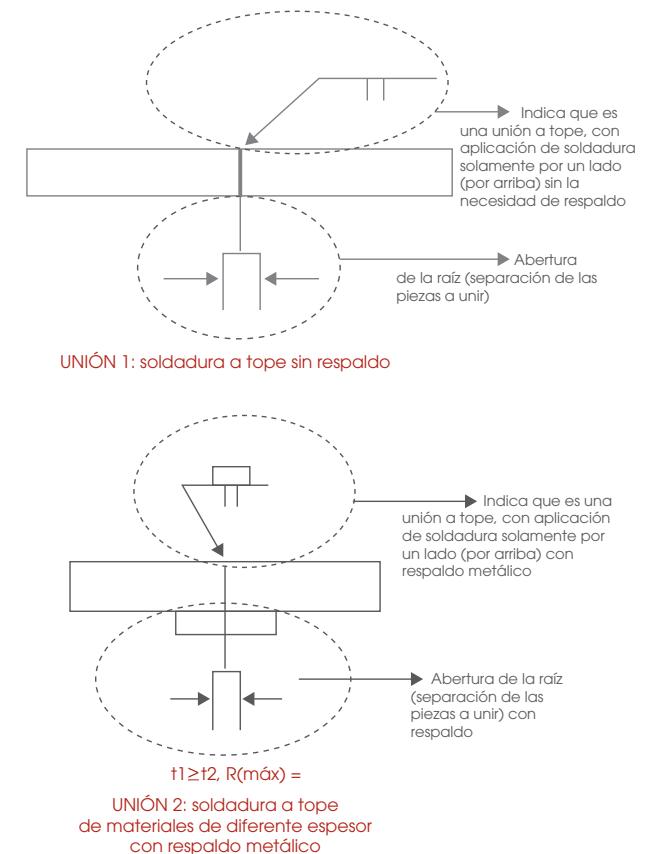
Diseño de unión aplicable



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



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			43-68 47-72	68-73 77-82
1.90 2.29 2.67	2.4	2.4	51-76 55-80 60-85	86-91 95-100 105-110
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:

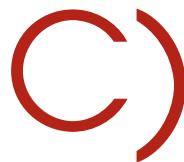
Clasificación AWS	Color	Aleación de Tungsteno
EWP	Verde	Puro
EWCe-2	Naranja	2% Óxido de cerio
EWLα-1	Negro	1% Óxido de lantano
EWLα-1.5	Oro	1.5% Óxido de lantano
EWLα-2	Azul	2% Óxido de lantano
EWTh-1	Amarillo	1% Óxido de torio
EWTh-2	Rojo	2% Óxido de torio
EWZr-1	Café	1% Óxido de zirconio
EWG	Gris	No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

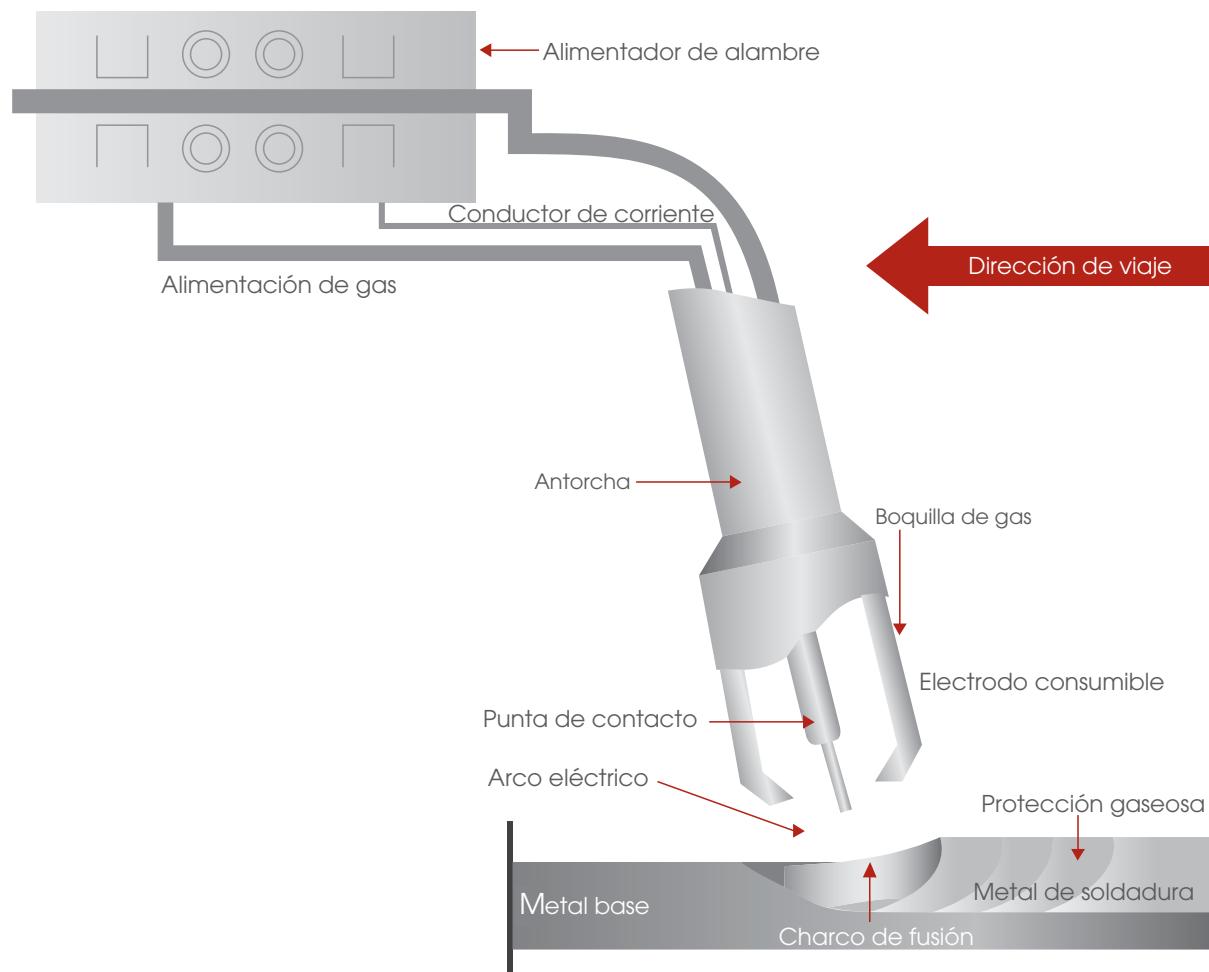
En este proceso, también conocido comercialmente como microalambre, el arco para soldar se produce mediante un arco eléctrico entre el electrodo consumible, que se alimenta automáticamente en forma de alambre desnudo, y la pieza. En el proceso MIG se utiliza una pistola soldadora (o soplete), cuya función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



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



Condiciones típicas para GMAW con aceros inoxidables austeníticos:

Modo de transferencia	Corto circuito			Rocío	
	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)

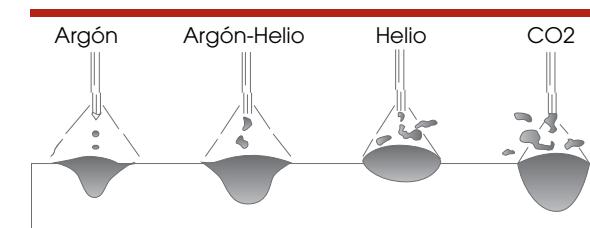
Equipo y operación:

- 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:

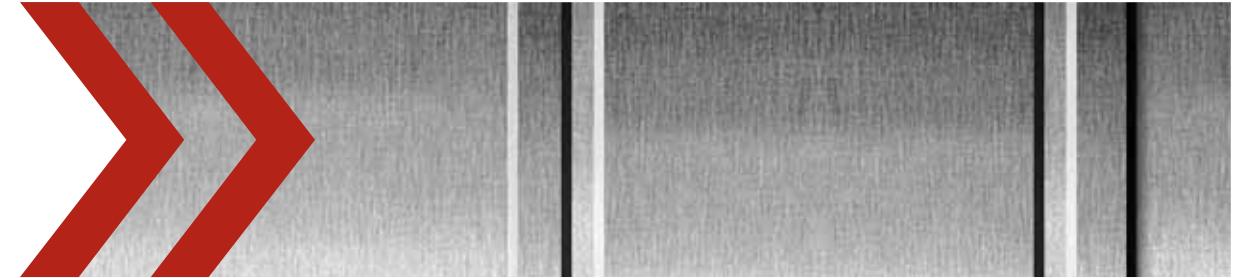
- la forma del cordón de soldadura
- calor del arco, estabilidad y partida
- tensión superficial
- tamaño de la gota
- flujo del charco
- salpicadura



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.

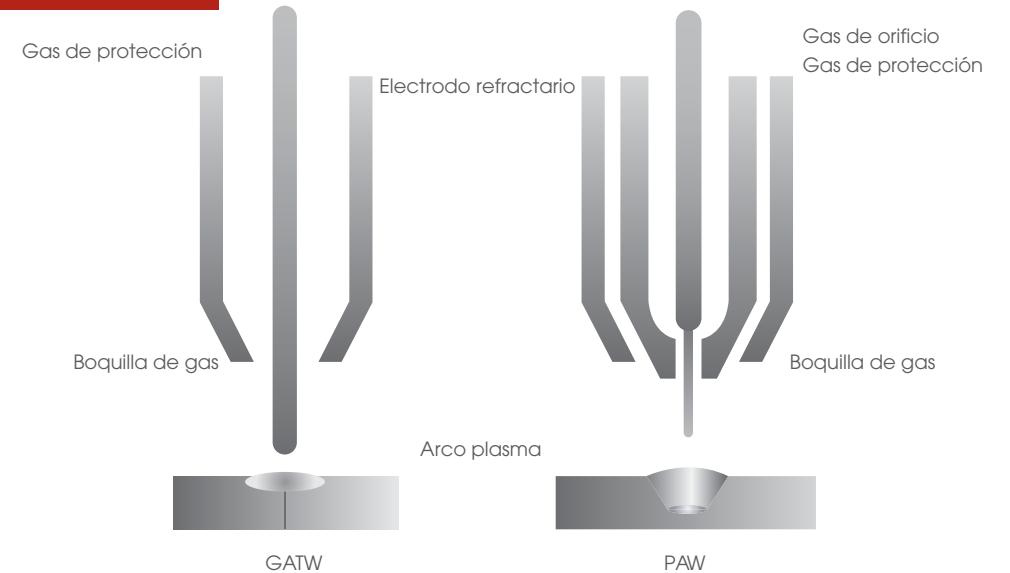


D) PAW, soldadura por plasma

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

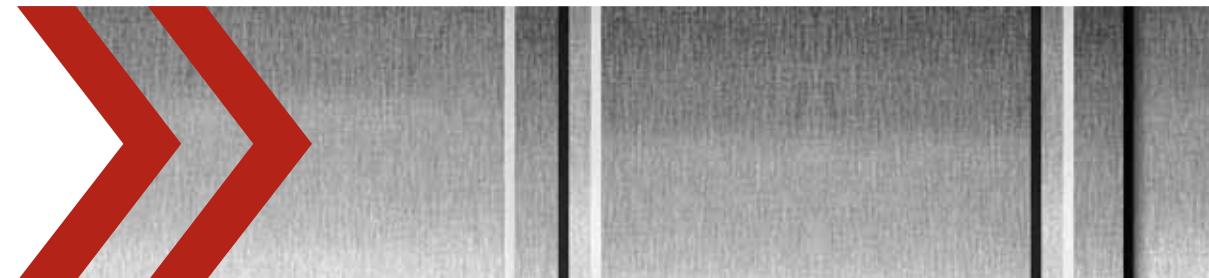


Valores típicos para el uso de consumibles con fusión estándar:

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

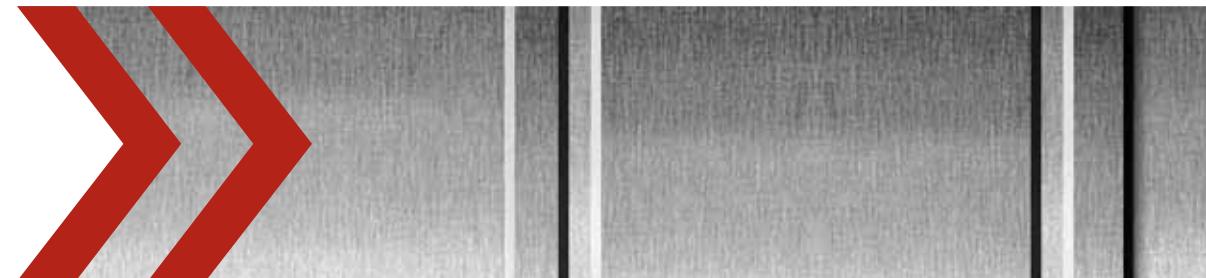
E	Indica electrodo
XXX	Designa composición del metal soldado
T	Designa electro tubular o varilla de aporte con núcleo de fundente
X	Designación posición de soldadura recomendada: 0 = plana y horizontal; 1 = todas las posiciones
X	Designa el medio externo de protección que será empleado durante la soldadura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

Medio de protección requerido y polaridad para alambres FCAW

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

*En la reciente versión ANSI/AWS 5.22-95 se elimina la clasificación E XXXTX-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.

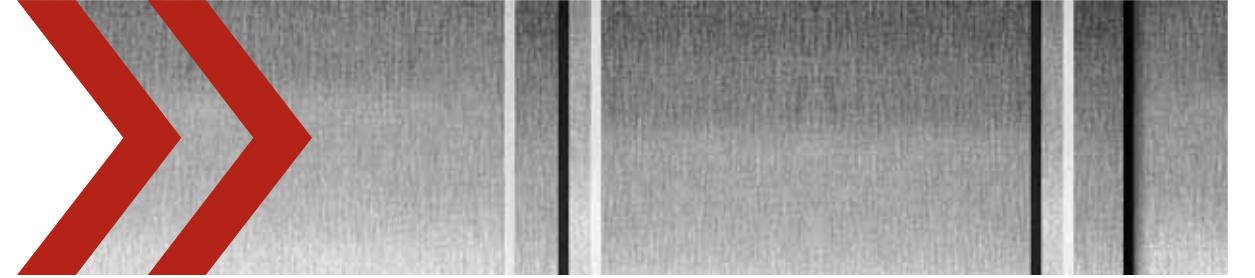
Este proceso es único porque se pueden emplear corrientes muy altas de soldadura sin que el arco se desestabilice. La densidad de corriente aplicada es con frecuencia cuatro o cinco veces mayor que la usada con la soldadura SMAW (electrodo recubierto) o con la GMAW (MIG). La corriente puede ser directa, 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



G Stud Weld, soldadura de pernos



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

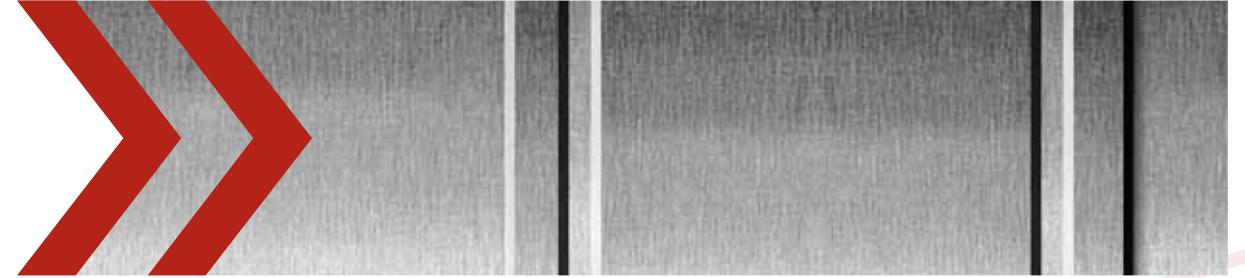
Es un método de soldadura por descarga eléctrica controlada que permite soldar pernos con pistola en un solo disparo.

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*



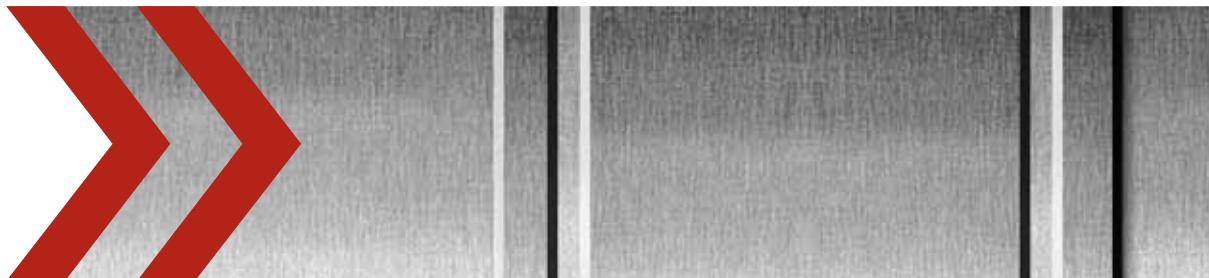
También se recomienda usar gases de protección de argón puro o mezclas de argón y helio; las mezclas de argón e hidrógeno implican riesgo de fragilización por hidrógeno en la junta soldada. El nitrógeno se debe evitar.

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.



D Recomendaciones

Tipos de electrodo o varilla de aporte

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 **	
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	Ar N ₂ ** N ₂ + 10% H ₂ *
FCAW (no autoprottegido)	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		

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 APORTE 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.

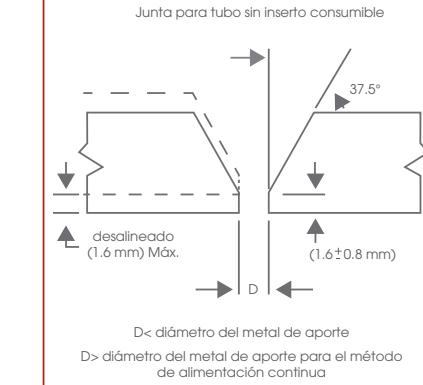
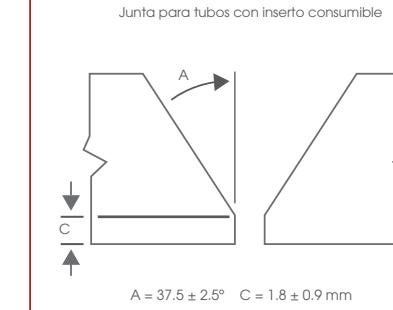
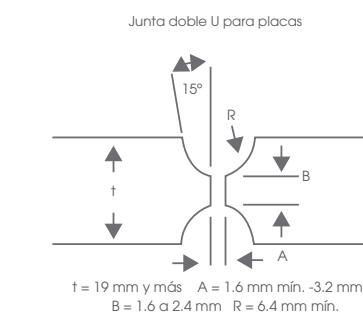
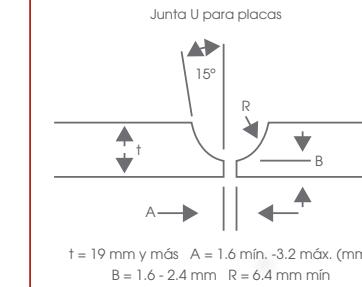
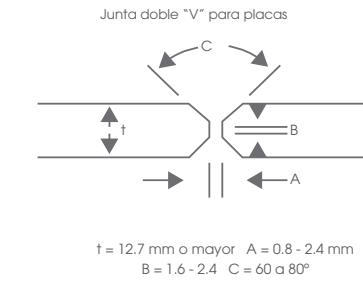
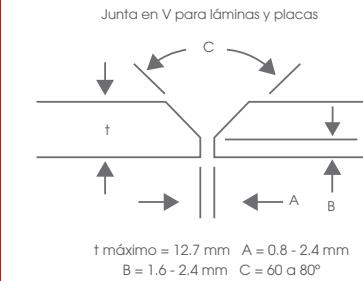
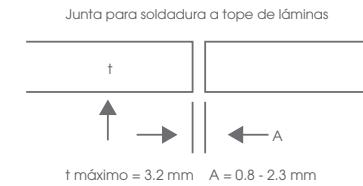
Corte y preparación de las juntas

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.



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:

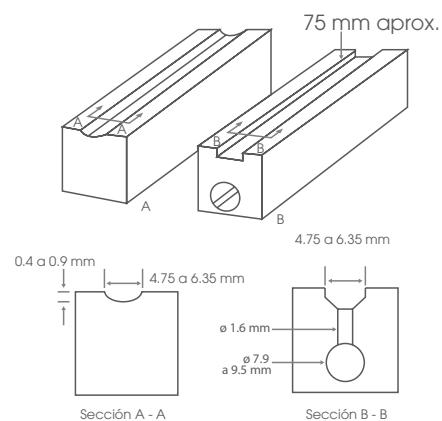
- Mejor ajuste de las juntas
- Menos tiempo de punteado y soldadura
- Se minimiza la distorsión
- La terminación del montaje se hace con tolerancias menores

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:

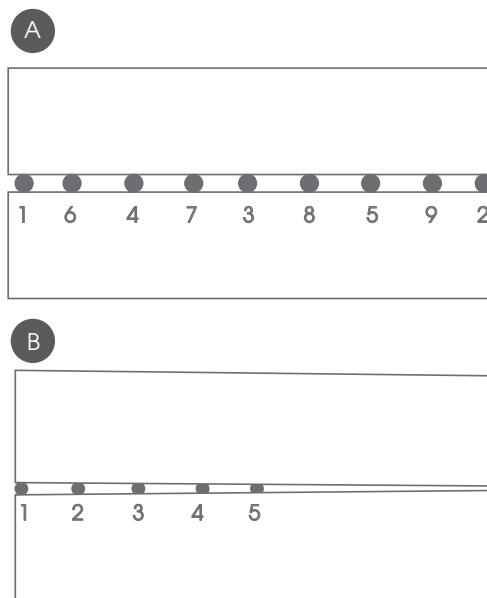
Diseño de ranuras en barra de respaldo



(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.



Las técnicas de unión mecánica utilizadas por los aceros al carbono también pueden utilizarse con éxito en los aceros inoxidables.



Las uniones mecánicas ofrecen ciertas ventajas:

- Posibilitan unir materiales dispares
- No hay ninguna zona afectada térmicamente (ZAT)
- Posibilitan la unión de piezas de espesor variable
- No se produce dilatación térmica

No obstante, es importante tener en cuenta que las propiedades mecánicas de las uniones mecánicas pueden presentar ciertas debilidades, ya que no se produce la coalescencia* total de las piezas unidas.

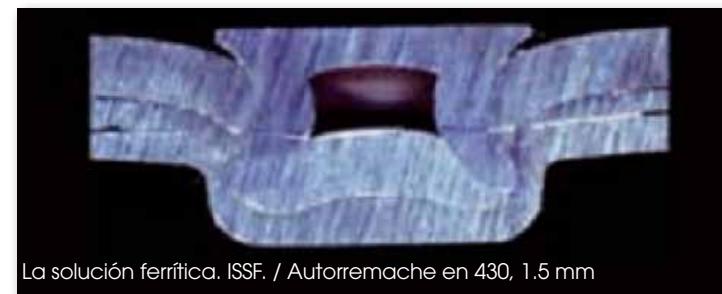
También es importante asegurarse de que ninguna de las superficies en contacto pueda sufrir corrosión galvánica (esto ocurre cuando dos metales distintos entran en contacto directo en presencia del mismo electrolito, incluyendo la humedad atmosférica). Es imprescindible que las piezas que se van a unir estén fabricadas con el mismo acero inoxidable o con un equivalente. Asimismo, todos los tornillos, remaches y pernos deben ser de inoxidable.

*Propiedad o capacidad de ciertas sustancias y cosas para unirse o fundirse con otras en una sola

A continuación veamos algunas técnicas de unión mecánica:

A) Clinchado

Esta técnica de unión puede aplicarse a los aceros inoxidables por su gran ductilidad. Al tratarse de un proceso de conformación en frío, no provoca modificaciones estructurales ni oxidación superficial. Puesto que las láminas a unir deben traslaparse, se combina con un adhesivo, produciendo una junta sellada hermética para evitar la corrosión en las hendiduras. Este sistema amortigua las vibraciones.



B) Atornillado con perno

Los tornillos y pernos de inoxidable están disponibles en todos los tipos principales.

Foto: Tomada de La solución ferrítica. ISSF

C) Engatillado

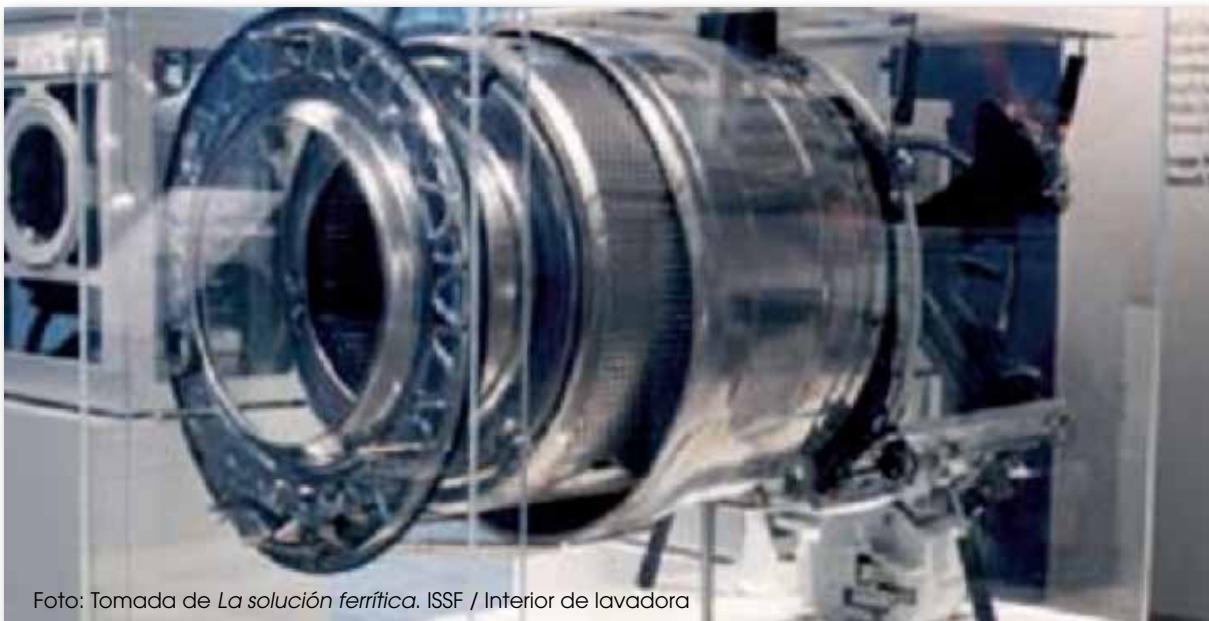


Foto: Tomada de *La solución ferrítica*. ISSF / Interior de lavadora

En esta técnica, los bordes de una o de las dos láminas se doblan en un ángulo de 180° para producir una unión. Al igual que el clinchado, es posible unir diferentes materiales, como por ejemplo, un austenítico y un ferrítico. Esta técnica permite unir juntas a prueba de fugas de líquidos y su uso está muy generalizado en la fabricación de electrodomésticos.

D) Fijación mediante adhesivos



Foto: Tomada de *La solución ferrítica*. ISSF

Puede utilizarse para unir juntas mecánicas o para unir láminas finas de inoxidable. Sus ventajas son:

- No modifica el aspecto superficial, la geometría o la microestructura de las áreas montadas.
- Posibilita la unión de materiales dispares de manera sencilla y estética.
- Con un diseño correcto, las juntas ofrecen una excelente resistencia a la fatiga.
- Proporciona aislamiento térmico, eléctrico o acústico.
- Posibilita la unión de piezas de espesor variable.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que estas juntas tienden a tener un límite de 200 °C, además de cierta sensibilidad a la humedad y nunca serán tan resistentes como las juntas efectuadas mediante soldadura; por eso se utilizan normalmente como recubrimiento que tapa uniones, con la carga extendida sobre un área suficiente para limitar tensiones locales.

E) Recomendaciones

En ambientes húmedos, el tipo de acero de la unión (tornillos, pernos y remaches) deberá ser al menos de una resistencia a la corrosión equivalente a la del que se unirá.

En uniones de acero inoxidable con otros materiales, aislar la superficie de contacto entre ambos mediante barreras no metálicas.

Evitar apretar de forma excesiva los tornillos al unir las piezas de inoxidable para que estas no se distorsionen.

Colocar almohadillas reforzadoras bajo las piezas de los tornillos para evitar que las piezas se pandeen, especialmente si son de grandes dimensiones o si el grosor de la hoja es muy delgado.

Un error común es el uso de elementos de unión que no están fabricados con acero inoxidable, por ejemplo, tornillos galvanizados o remaches de aluminio. Los tornillos galvanizados pueden oxidarse rápidamente si se utilizan para unir láminas de inoxidable. Además, el óxido resultante puede contaminar el inoxidable, crear manchas e inducir corrosión por picaduras.

Evitar el uso de anclajes de acero al carbono galvanizados para mediano o largo plazo en aplicaciones exteriores o donde la humedad esté presente.

En los elementos de unión, mantener las roscas limpias y libres de polvo, especialmente de suciedad, grava o arena.

Para los elementos de unión o fijaciones, usar aleaciones especiales en determinados casos: algunos fabricantes pueden hacer fijaciones con aleaciones que ofrecen mayor resistencia a las picaduras y a la corrosión por cavidades.



4

Acabado procesado
en el taller al final
de la transformación
o para dar un retoque
al producto final

Como parte final del proceso de transformación es muy frecuente que a las aplicaciones ya conformadas se les dé acabado a manera de retoque final.

En este proceso se hace uso de diversos abrasivos y existe gran variedad de estos que pueden encontrarse en el mercado para el acabado superficial de los aceros inoxidables, y son de gran importancia para trabajar de manera eficiente y segura, además de que se obtiene el acabado deseado.



La composición de los abrasivos puede ser de:

- Granos minerales
- Resinas
- Telas o refuerzos

Los abrasivos de granos minerales pueden ser de tres tipos:

- Óxido de aluminio
- Carburo de silicio
- Alúmina de circonia

Acabados mecánicos a través de abrasivos, granos, lijas, cepillos, fieltros, pastas. Los acabados que se pueden lograr con estos abrasivos son:

Núm.	Apariencia	Núm. de grano	Aplicaciones
3	Rayado	120-180	Aplicaciones arquitectónicas y ornamentales, cocinas, mostradores, barandales, pulidos posteriores, etc.
4	Cepillado	150-240	Para cocinas, restaurantes, mostradores, etc.
6	Satinado	240	Aplicaciones arquitectónicas y ornamentales en donde no es deseable alto lustre
7	Pulido	320	Aplicaciones arquitectónicas y ornamentales
8	Espejo	400 y pastas con granulometría 2000	Es el acabado con más alta reflexión. Su superficie carece de líneas producidas por grano; ideal para usarse como placas de presión, espejos y reflectores





Los acabados que se pueden lograr con estos abrasivos son:

4.1) Acabado P3

Partiendo de un acabado 1:

- Lija grados 40, 60 y 80
- Lija grado 120

Si se desea una rugosidad más baja:

- Lija grado 150

Partiendo de un acabado 2B:

- Lija grado 120

Si se desea una rugosidad más baja:

- Lija grado 150



Ejemplo de lijas de diferente grado

4.2) Acabado P4

Partiendo de un acabado 1:

- Lija grados 40, 60 y 80
- Lija grado 120
- Lija grado 150
- Lija grado 180

Si se desea una rugosidad más baja:

- Lija grado 240
- Lija grado 320

Partiendo de un acabado 2B:

- Lija grado 150
- Lija grado 180

Si se desea una rugosidad más baja:

- Lija grado 240
- Lija grado 320

4.3) Acabado # 6

Se obtiene por cepillado a partir del material en acabado # 4 empleando polvo de piedra pómez, cal y cepillo de nailon o de fibras vegetales, y se utilizan como lubricantes aceites minerales o queroseno. Presenta un acabado satinado mate.

4.4) Acabado # 7

Se obtiene a partir del acabado # 4 por esmerilado con abrasivos de grano cada vez más finos y discos de paño, empleando siempre lubricante. Presenta un aspecto bastante reflectante, casi especular, pero conserva las marcas dejadas por los abrasivos.



4.5) Acabado # 8 (espejo)

Se obtiene a partir del acabado # 4 por esmerilado con abrasivos de grano todavía más finos que los empleados en el # 7 (malla 600) y discos de paño.

El abrillantado final se obtiene empleando pastas a base de óxido de cromo que eliminan las marcas dejadas por los abrasivos.

Este es el acabado que presenta el mayor poder reflejante.



Partiendo de un acabado 1:

- Lija grados 40, 60 y 80
- Lija grado 120
- Lija grado 150
- Lija grado 180
- Lija grado 240
- Lija grado 320
- Lija grado 400
- Lija grado 600
- Lija grado 1200
- Pulido con pasta y paño para pulir
- Abrillantado con pasta y paño para abrillantar

4.6) Acabado abrillantado

Partiendo de un acabado 2B:

- Acondicionado con fibra grado 1200 (si se requiere)
- Pulido con pasta y paño para pulir
- Abrillantado con pasta y paño para abrillantar

Existen abrasivos alternativos que ahorran algunos de los pasos arriba mencionados para acabados específicos, sin embargo, estos dependen de la marca comercial. Para conocer algunos, se sugiere consultar las siguientes páginas de internet:

www.suhner.com / www.walter.com

4.7) Acabado chorreado por arena o sandblasteado



El chorreado con arena proporciona uniformidad, una superficie no direccional y de baja reflectividad que contrasta bien, visualmente, con los acabados pulidos. Consiste en la aplicación de materiales abrasivos con aire a presión que generan cambios en la superficie.

Los materiales utilizados para este acabado incluyen partículas de acero inoxidable, bolas de cerámica, óxido de aluminio, cáscaras de nuez machacadas y vidrio. Nunca se debe emplear hierro o acero al carbono para dar este acabado ya que la superficie puede quedar seriamente contaminada. Tampoco se recomienda usar agentes previamente utilizados para dar un acabado similar al acero al carbono o al aluminio; también hay que evitar el empleo de arenas ricas en materiales ferrosos.

Los aceros inoxidables austeníticos se endurecen durante el proceso de sandblasteado.

Básicamente, el proceso consiste en impactar los elementos seleccionados a grandes velocidades sobre la superficie del acero inoxidable.

4.8) Acabado electropulido



Este acabado superficial se puede obtener en piezas fabricadas en serie, de dimensiones y formas tales que mediante los acabados mecánicos serían prácticamente imposibles de realizar.

El proceso químico se lleva a cabo tanto en lámina como en componentes terminados; es un tratamiento superficial mediante un proceso electrolítico por disolución anódica de la superficie metálica a la que se va a dar el terminado, produciendo una nivelación del material base, es decir, elimina crestas y valles.

Este proceso permite obtener superficies lisas y brillantes de condiciones sanitarias. Las superficies más lisas, además de aumentar la resistencia a la corrosión, son menos susceptibles a alojar contaminantes y su limpieza y mantenimiento es más fácil.

Tazas sometidas a un proceso de electropulido



Pieza en acero inoxidable fabricada por estampado y soldadura

Pieza después del tratamiento de electropulido



Antes y después de electropulido

Procedimiento:

En un baño de solución electrolítica, el producto que será abrigantado constituye el ánodo de una célula para electrólisis, mientras que el cátodo es la pieza en acero inoxidable. El tanque que contiene la solución electrolítica está cubierto generalmente de material plástico o de ladrillo antiácido, o bien de plomo al 99.9%.

Las piezas que se abrigantarán deben sumergirse completamente en la solución, y es conveniente que el baño se mantenga en agitación.

La temperatura del baño es siempre superior a la del ambiente y debe fijarse oportunamente en función del material que se va a tratar y del tipo de solución. Una temperatura inferior puede hacer precipitar productos sólidos en el ánodo, mientras que una temperatura demasiado elevada puede producir un abrigantado no uniforme.

En lo que respecta al acabado superficial de la pieza, conviene saber que la superficie debe estar exenta de roces o de cualquier marca, que el abrigantado no se elimina, sino que por el contrario, puede incrementarse. Es necesario que antes del abrigantado las piezas sean pulidas y desengrasadas.

4.9) Acabado grabado con ácido

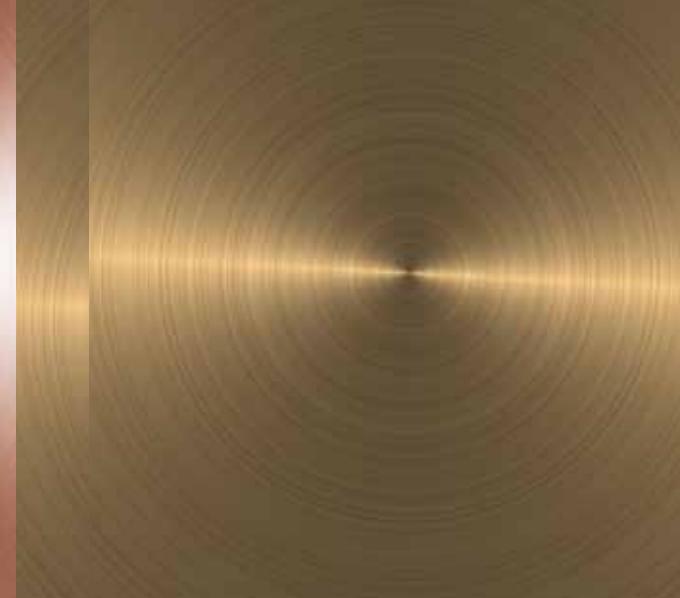
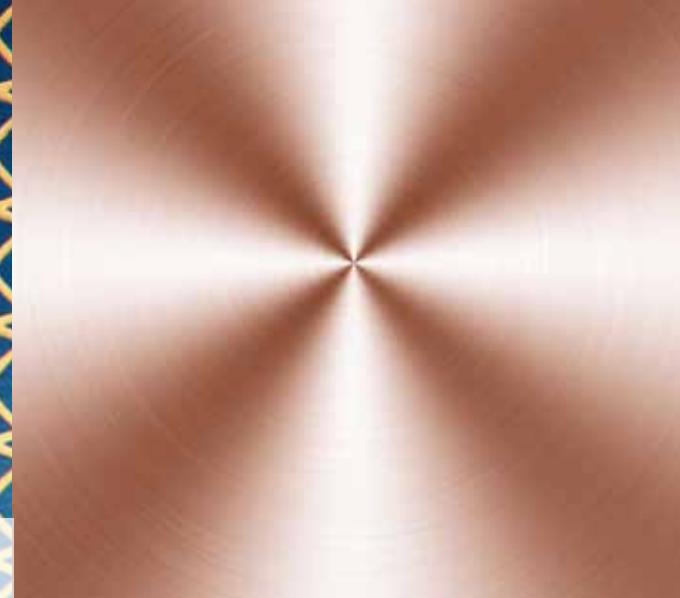
El grabado con ácido (ácido fosfórico / hidrociorhídrico / nítrico) es un proceso que elimina una parte del material de la superficie. Las superficies grabadas tienen una apariencia mate, rugosa, que contrasta con las superficies con acabados pulidos o satinados.



Acabado # 7 y grabado con ácido

4.10) Acabado coloreado

Existen métodos para colorear el acero inoxidable. A continuación se mencionan algunos:



Ennegrecimiento superficial

Puede obtenerse con dos métodos distintos:

1. Inmersión de las piezas bien desengrasadas y limpias en un baño de di-cromato sódico fundido a temperatura de 400 °C durante 30 minutos aproximadamente; al término del baño, las piezas se enfrían, se lavan cuidadosamente y se secan después.
2. Inmersión en una solución de:
 - 18 partes de ácido sulfúrico
 - 50 partes de di-cromato potásico
 - 200 partes de agua a temperatura constante entre 90 a 100 °C; la duración de la inmersión será de 20 a 30 minutos; enseguida, lavado y enjuagado.

La coloración

1. Un método de colorear el acero inoxidable es calentar uniformemente la pieza hasta una temperatura a la que corresponda un color determinado y dejarla enfriar. El color correspondiente a la temperatura alcanzada permanece indeleble en la superficie.

La superficie coloreada es tenaz y resistente. Para obtener una coloración uniforme es necesario calentar uniformemente la pieza.

2. Otro método permite lograr una coloración dorada de diversa tonalidad; consiste en sumergir las piezas limpias en un baño de nitrato de sodio, de nitrato de potasio o de

una mezcla de ambos a temperatura de 400 a 450 °C. El tiempo de permanencia oscila entre los 5 a los 40 minutos.

3. El tercer método más ampliamente utilizado consiste en sumergir las piezas en un baño constituido por una solución de:

- 200-300 partes en peso de ácido nítrico
- 450-550 partes en peso de ácido sulfúrico
- 1 000 partes en peso de agua a temperatura de 65 a 95 °C.

Los tiempos de inmersión permiten obtener diferentes coloraciones en función de la temperatura y de la composición del baño.

Las mejores condiciones operativas se obtienen con una solución con la siguiente composición:

- 250 partes de ácido crómico
- 490 partes de ácido sulfúrico
- 1 000 partes de agua a temperaturas de 80 a 85 °C

Se genera un óxido de diferente grosor, dependido de la temperatura y de la concentración del baño. El efecto de la coloración es función esencialmente del espesor del óxido generado durante el tratamiento y depende del tiempo de inmersión; los colores que se obtienen son: bronce, azul, oro, rojo, púrpura y verde; naturalmente pueden obtenerse diferentes tonalidades para cada color, de acuerdo a la variación de los tiempos dentro de ciertos intervalos.

La coloración así obtenida es poco resistente al desgaste y, en general, a la abrasión. Por ello, es necesario practicar un procedimiento de «endurecimiento» de la película coloreada.

El endurecimiento es conseguido por un tratamiento catódico seguido de un lavado en agua fría posterior al coloreado.

Las condiciones del «endurecimiento» son las siguientes:

Composición del baño:

- 250 partes de ácido crómico
- 2.5 partes de ácido fosfórico
- 1 000 partes de agua

Densidad de corriente:

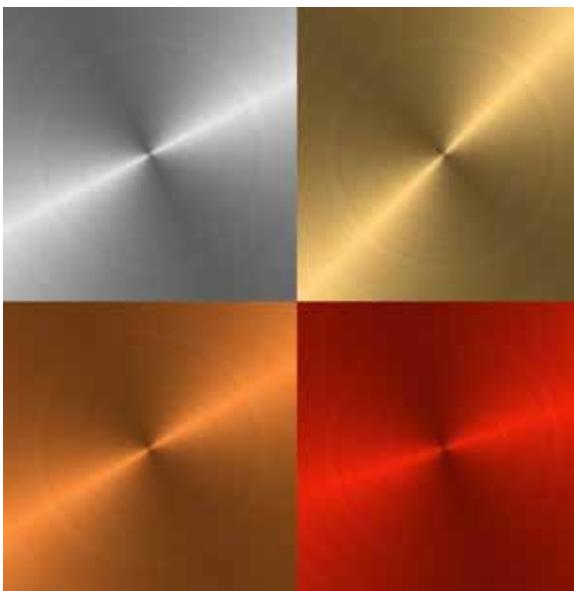
- 0.2 a 0.4 A/dm²

Tiempo de tratamiento:

- 5 a 10 minutos

Una vez finalizado el «endurecimiento» se procede a un cuidadoso lavado con agua caliente y secado.

Diferentes colores que pueden obtenerse en el acero inoxidable:



4.11) Recomendaciones

Para igualar un acabado de fábrica

Los acabados obtenidos por laminación núms. 1, 2D, 2B, BA y Mexinox Rolled On® no pueden ser reparados si son dañados mecánicamente. Si por alguna razón el acero inoxidable con este acabado sufre de algún daño, la alternativa es cambiar el acabado a uno obtenido por abrasión.

Los acabados de fábrica obtenidos por abrasión (# 3 y # 4) muy difícilmente pueden ser duplicados, sin embargo, puede obtenerse un acabado muy parecido mediante procesos manuales. Uno de los mayores retos de los fabricantes de piezas y equipos es igualar el acabado original en el cordón de soldadura. Cuando este sea el caso, se puede proceder de dos maneras:

1. Si las líneas originales de pulido son paralelas a las del cordón de soldadura, este puede ser desbastado con una rueda abrasiva, dura o suave, para eliminar el exceso de material y posteriormente pulir con una rueda de grano 80 para obtener el acabado # 3, o con grano 120-150 para un acabado # 4.

El recorrido de la rueda abrasiva deberá ser paralelo al cordón de soldadura. Se debe tener precaución en eliminar todo el material de aporte para evitar residuos de aristas o hendiduras. Debido a que el tamaño del grano del abrasivo varía con el uso, se recomienda realizar una prueba por separado para asegurarse de que el rayado obtenido sea similar al del acabado original.

2. Si las líneas del rayado del pulido original no son paralelas al cordón de soldadura, el acondicionamiento manual se llevará a cabo en la dirección del pulido del metal base para igualar el acabado original. Si las líneas del pulido original no son paralelas, es decir, si una es paralela al cordón de soldadura y la otra es perpendicular, la mejor solución es pulir el cordón a lo largo del mismo.

Para mantener el acabado superficial

Cuando se ha obtenido el acabado superficial deseado, la superficie trabajada se debe limpiar con una franela limpia, con algún producto detergente que contenga carbonato de calcio en polvo o jabón neutro. Posteriormente se debe enjuagar con agua corriente.

Las piezas en acero inoxidable, después de que fueron sometidas a un acondicionamiento superficial, no requieren de ser pasivadas, dado que esta aleación se autopasiva al contacto con el aire, pero es indispensable que la superficie se encuentre limpia.

Adicionalmente, se recomienda revisar el LIBRO C: CUIDE EL INOXIDABLE, del ABC DEL INOXIDABLE, para obtener mayores referencias al respecto.

Fabrique en inoxidable, del ABC DEL INOXIDABLE se terminó de imprimir en el mes de agosto de 2012, en la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P., en los talleres gráficos de Láser Print, S.A. de C.V. (Av. Dr. Manuel Nava núm. 120-1)

Se tiraron 1 000 ejemplares



1912-2012