

Soldadura



WELDOX[®]
CHAPA ESTRUCTURAL

HARDOX[®]
CHAPA ANTIDESGASTE



La soldadura de WELDOX® y HARDOX®

El acero estructural WELDOX y el acero antidesgaste HARDOX se caracterizan por poseer propiedades excepcionales y tener al mismo tiempo una extraordinaria aptitud de soldeo. Pueden soldarse con todo tipo de aceros soldables y con todos los métodos de soldadura corrientes.

La intención de este folleto es simplificar, mejorar y efectivizar el proceso de soldadura. Contiene consejos adecuados sobre la temperatura de trabajo, la energía aportada, el material de aportación, el gas protector y otros muchos aspectos. El objetivo es que todos los usuarios puedan aprovechar las excepcionales propiedades del WELDOX y HARDOX.

Importante al soldar

Limpia las uniones soldadas, eliminando impurezas como restos de aceite y humedad antes de soldar. Además de una buena higiene, son importantes los siguientes puntos:

- La temperatura de trabajo
- La aportación de energía por unidad de longitud de soldadura
- El material de aportación
- El gas protector
- La secuencia de trabajo y la separación de la unión a soldar

Temperatura de trabajo

Para evitar fisuras por absorción de hidrógeno es importante elegir la temperatura de trabajo adecuada. La tabla de la página siguiente muestra nuestras recomendaciones.

Influencia de los elementos de aleación en la selección de la temperatura de trabajo

Las propiedades mecánicas del WELDOX y HARDOX están optimizadas mediante una combinación excepcional de elementos de aleación. Dicha combinación influye en la temperatura de trabajo del acero al soldarlo, y puede calcularse mediante el carbono equivalente. El carbono equivalente suele expresarse como CEV o CET según las ecuaciones de abajo. Los elementos de aleación se indican

en el certificado de control de la chapa, y se expresan en porcentaje de peso en las fórmulas. Un carbono equivalente alto comúnmente exige una temperatura de trabajo más elevada. Los valores tipo de equivalentes de carbono se indican en nuestras hojas de producto.

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Mo+Cr+V)}{5} + \frac{(Ni+Cu)}{15} \quad (\%)$$

$$CET = C + \frac{(Mn + Mo)}{10} + \frac{(Cr+Cu)}{20} + \frac{Ni}{40} \quad (\%)$$

Agrietamiento por absorción de hidrógeno

El WELDOX y HARDOX resisten mejor el agrietamiento por absorción de hidrógeno que otros aceros de alta resistencia gracias a su baja proporción de carbono equivalente. Siguiendo nuestras recomendaciones se reducen al mínimo los riesgos de este tipo de grietas.

Dos reglas para evitarlas:

- **Reducir al mínimo los contenidos de hidrógeno en la unión soldada y alrededor de la misma**
 - Usar la temperatura de trabajo correcta
 - Elegir un material de aportación con bajo contenido de hidrógeno
 - Mantener las uniones soldadas libres de impurezas
- **Reducir al mínimo las tensiones en la unión soldada**
 - No usar material de aportación de una resistencia superior a la necesaria
 - Ordenar la secuencia de soldadura de modo que las tensiones residuales se reduzcan al mínimo
 - Usar una separación de 3 mm como máximo en la unión a soldar.

Las sugerencias descritas en el presente folleto son de carácter general. SSAB Oxelösund AB no asume responsabilidad alguna sobre su aplicación en cada caso individual. Por tanto, recae sobre la responsabilidad del usuario efectuar la adaptación necesaria a cada caso concreto.

Temperaturas de trabajo del WELDOX y HARDOX

La temperatura mínima al soldar se muestra en el diagrama de abajo. Si no se indica de otro modo, estos valores rigen para material aportado de baja aleación.

- Al soldar chapa del mismo tipo de acero pero de distinto espesor, la chapa más gruesa determina la necesidad de un incremento en la temperatura de trabajo.
- Al soldar aceros de distinto tipo, la chapa que impone las exigencias más altas determina la necesidad un incremento en la temperatura de trabajo.

¡Atención! La tabla rige para espesor de chapa simple al soldar con una aportación de energía de 1,7 kJ/mm. Para información más detallada sobre espesores de chapa simple, puede descargarse Techsupport #61 de www.ssabox.com.

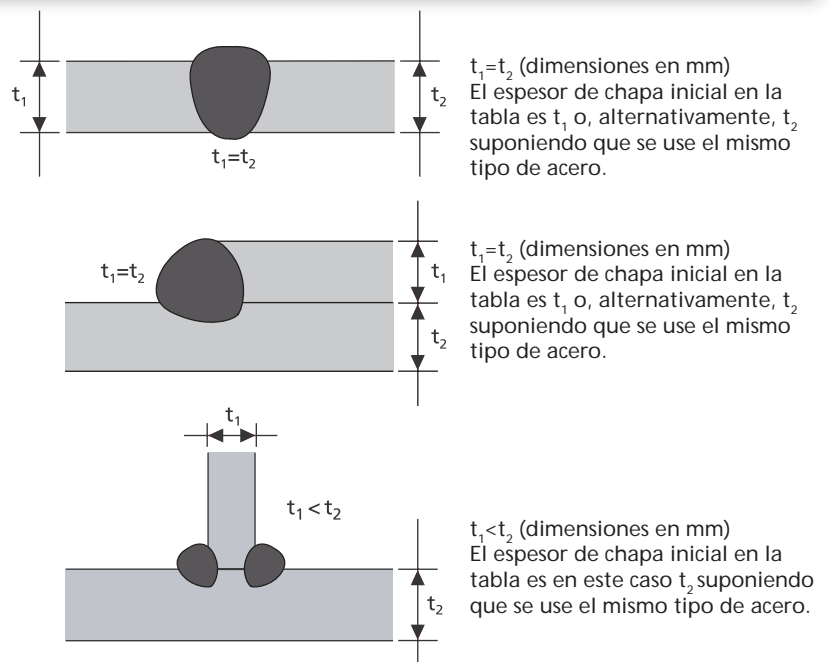
Temperatura de trabajo mínima recomendada para espesores de chapa simple

	3	10	20	30	40	50	60	70	80	90	120	130
WELDOX 700	75°C			75°C	75°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C
WELDOX 900*	75°C			75°C	75°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C
WELDOX 960*	75°C			75°C	75°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C
WELDOX 1030*	75°C			75°C	75°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C
WELDOX 1100*	75°C			75°C	125°C	125°C	125°C	125°C	125°C	125°C	125°C	125°C
WELDOX 1300*	100°C			100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C
HARDOX HiTuf	Fuera del diagrama de dimensiones			Fuera del diagrama de dimensiones			100°C	100°C	125°C	125°C	125°C	125°C
HARDOX 400	75°C			75°C	75°C	100°C	175°C	175°C	175°C	200°C	200°C	200°C
HARDOX 450	75°C			125°C	125°C	125°C	150°C	150°C	150°C	150°C	150°C	150°C
HARDOX 500	75°C			175°C	175°C	175°C	200°C	200°C	200°C	200°C	200°C	200°C
HARDOX 550	125°C			175°C	175°C	200°C	200°C	200°C	200°C	200°C	200°C	200°C
HARDOX 600	150°C			175°C	175°C	200°C	200°C	200°C	200°C	200°C	200°C	200°C
HARDOX 600 Materiales de aportación inoxidables	100°C			100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C

■ Temperatura ambiente (approx. 20°C)
 Fuera del diagrama de dimensiones
 ■ Sólo materiales de aportación inoxidables. Temperatura de trabajo de 100°C como mínimo.

Temperatura de cordón intermedio recomendada

WELDOX 700**	300°C
WELDOX 900**	300°C
WELDOX 960**	300°C
WELDOX 1030	200°C
WELDOX 1100	200°C
WELDOX 1300	200°C
HARDOX HiTuf**	300°C
HARDOX 400	225°C
HARDOX 450	225°C
HARDOX 500	225°C
HARDOX 550	225°C
HARDOX 600	225°C



* El material de aportación determina la temperatura de trabajo si su carbono equivalente es superior al de la chapa.

** En el WELDOX 700-960 y el HARDOX HiTuf en ciertos casos puede utilizarse una temperatura de cordón intermedio de alrededor de 400°C. Entonces usar WeldCalc.

Una alta humedad en el aire o una temperatura inferior a +5°C exige que las temperaturas de trabajo mínimas recomendadas en la página anterior deban aumentarse en 25°C. Esto rige también en uniones soldadas fuertemente enclavadas y si la aportación de energía es 1,0 kJ/mm.

Cuando la aportación de energía es superior a 1,7 kJ/mm, las temperaturas de trabajo mínimas

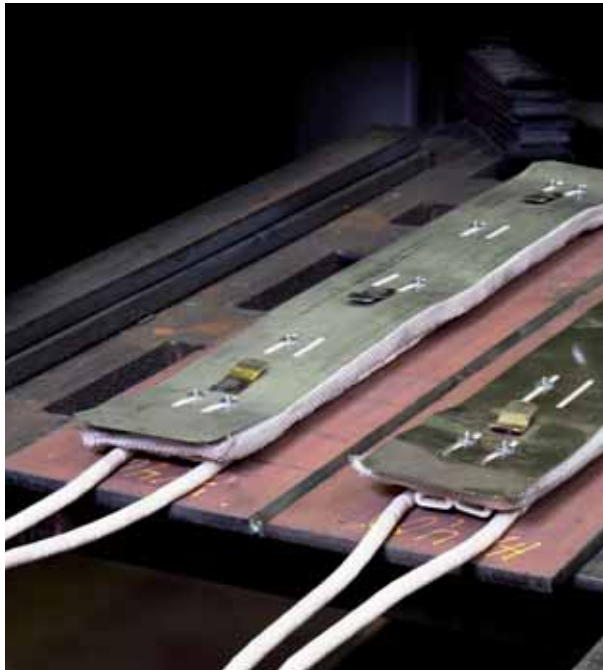
recomendadas en el diagrama de la página anterior no varían. En estos datos se parte de la base de que las uniones soldadas se enfrían al aire.

Obsérvese que las citadas recomendaciones también rigen en las soldaduras por puntos y los cordones de raíz. Los puntos de soldadura deberán tener una longitud mínima de 50 mm cada uno. La distancia entre ellos puede variarse según las necesidades.

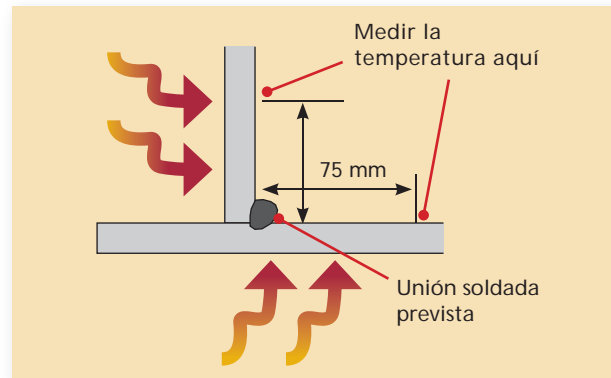
Como alcanzar y medir una temperatura de trabajo incrementada

Una temperatura de trabajo incrementada puede obtenerse de varias formas. Lo ideal es usar "alfombras de caldeo" provistas de resistencias eléctricas de calentamiento, colocándolas alrededor de la unión a

soldar, puesto que calientan uniformemente la zona de trabajo. La temperatura de trabajo, por ejemplo, puede medirse con un termómetro de contacto.



Uso de las alfombras de caldeo



La temperatura deberá medirse en la chapa más gruesa de la unión soldada. Realizarla dos minutos después de calentar una chapa de 25 mm. Si la chapa tiene un espesor de 12,5 mm, la medición se efectuará al cabo de un minuto, etc. La temperatura del cordón intermedio se medirá en el material depositado o en el material base contiguo.

Aportación de energía

Soldar con la aportación de energía recomendada proporciona buenas propiedades mecánicas a la zona afectada por el calor (HAZ).

La aportación de energía en el proceso de soldeo influye en las propiedades mecánicas de la unión soldada. Esto se describe mediante la aportación de energía (Q) que se calcula según la fórmula de abajo.

Distintos métodos de soldadura tienen diferente efectividad térmica (k). En la tabla de abajo pueden verse los valores aproximados de esta propiedad.

$$Q = \frac{k \times U \times I \times 60}{v \times 1000}$$

Q = Aportación de energía [kJ/mm]

U = Tensión [V]

I = Amperaje [A]

v = Velocidad de soldeo [mm/min]

k = Efectividad térmica del método de soldeo

Efectividad térmica del método de soldeo k

MMA 0,8

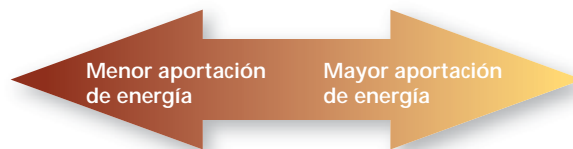
MAG, todos los tipos 0,8

SAW 1,0

TIG 0,6

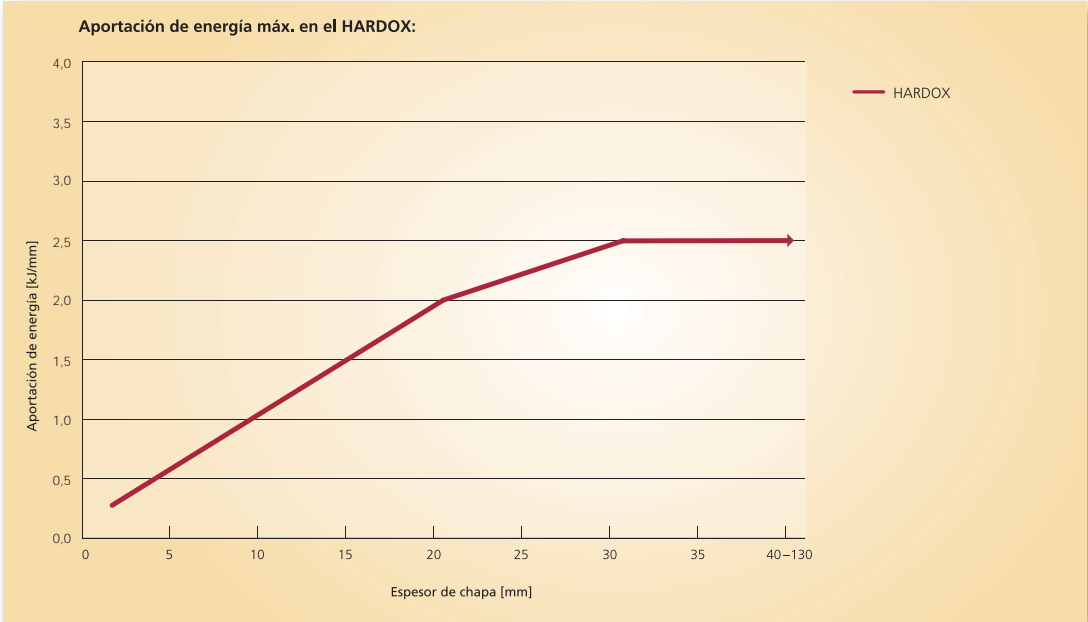
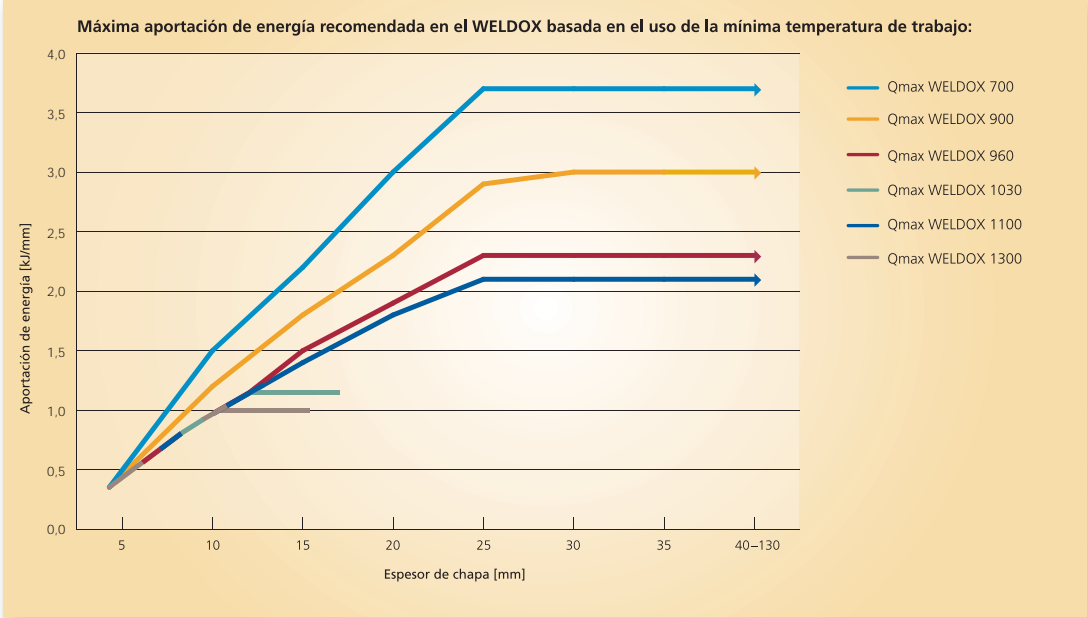
Efectos en la unión soldada

- Mejor tenacidad
- Mayor resistencia
- Menores deformaciones
- Menores tensiones residuales
- Zona HAZ más estrecha



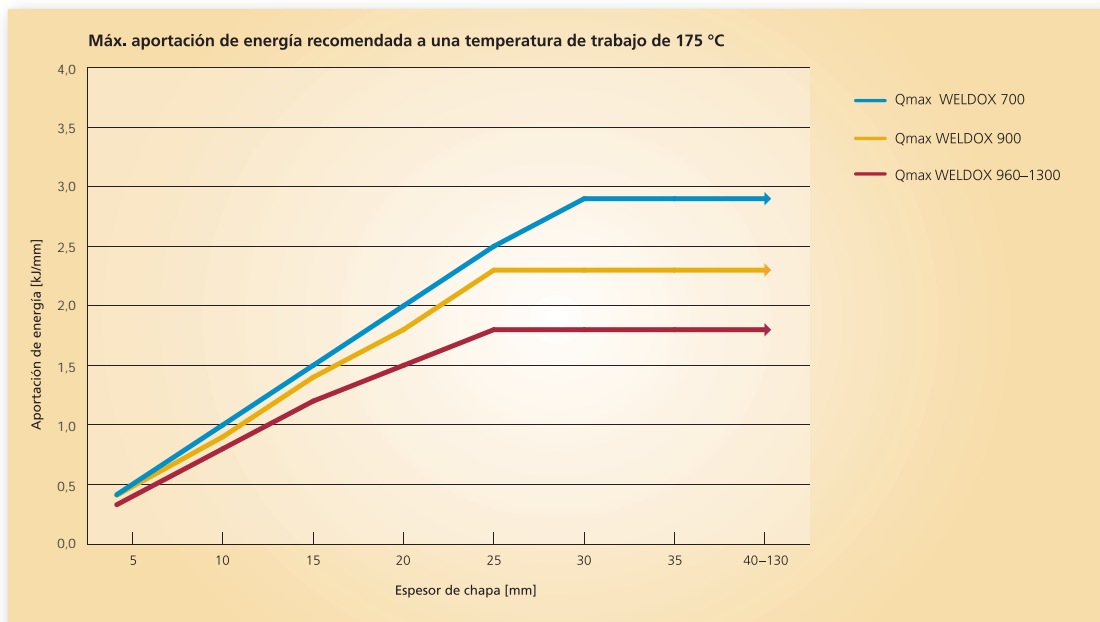
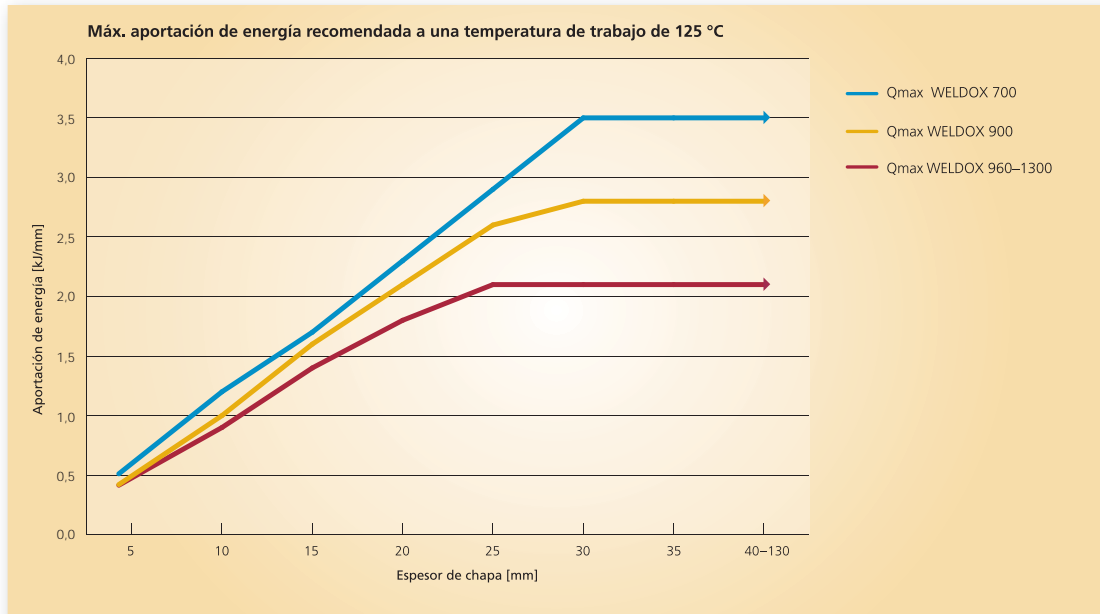
- Mayor productividad en los métodos de soldeo convencionales

En el acero estructural WELDOX los valores aquí recomendados se basan en que los valores típicos de resiliencia en la HAZ deberán ser de como mínimo 27 J a -40°C. Las exigencias de resiliencia de la unión soldada suelen ser menores en la chapa antidesgaste HARDOX. Por tanto, las recomendaciones del HARDOX deben considerarse como valores aproximados.



Soldeo a temperaturas de trabajo elevadas

Las temperaturas de trabajo altas que pueden producirse, por ejemplo, en uniones de varios cordones, influyen en la aportación de energía recomendada. La figura de abajo muestra la aportación de energía recomendada en temperaturas de trabajo de 125°C y 175°C.



Para temperaturas de trabajo superiores a 175°C puede usarse el programa de informática WeldCalc. El WeldCalc lo han desarrollado destacados expertos internacionales de soldadura de chapa gruesa. Se puede solicitar gratuitamente en www.ssabox.com.

Material de aportación

En el WELDOX y HARDOX pueden utilizarse materiales de aportación sin alear, materiales de baja aleación y materiales inoxidables.

Resistencia de los materiales de aportación sin alear y de baja aleación

La resistencia del material de aportación se selecciona según la figura de la página siguiente. Elegir un material de aportación de menor resistencia suele proporcionar varias ventajas, por ejemplo mayor tenacidad en el material depositado, mayor resistencia a grietas por absorción de hidrógeno y menores tensiones residuales en la unión soldada. En las uniones de varios cordones en WELDOX 700–1300 es muy ventajoso soldar con materiales de aportación de distinta resistencia. Los puntos de los primeros cordones se sueldan con material de aportación de baja resistencia.

Los demás cordones se sueldan con material de aportación de alta resistencia. Esto incrementa la tenacidad y la resistencia a grietas por absorción de hidrógeno. El carbono equivalente de los materiales de aportación con un límite de elasticidad > 700 MPa puede ser superior al de la chapa.

Deberá usarse la temperatura de trabajo máxima recomendada de alguna de las chapas o del material de aportación. El HARDOX se suelda con material de aportación de baja resistencia, según la figura de la página siguiente.



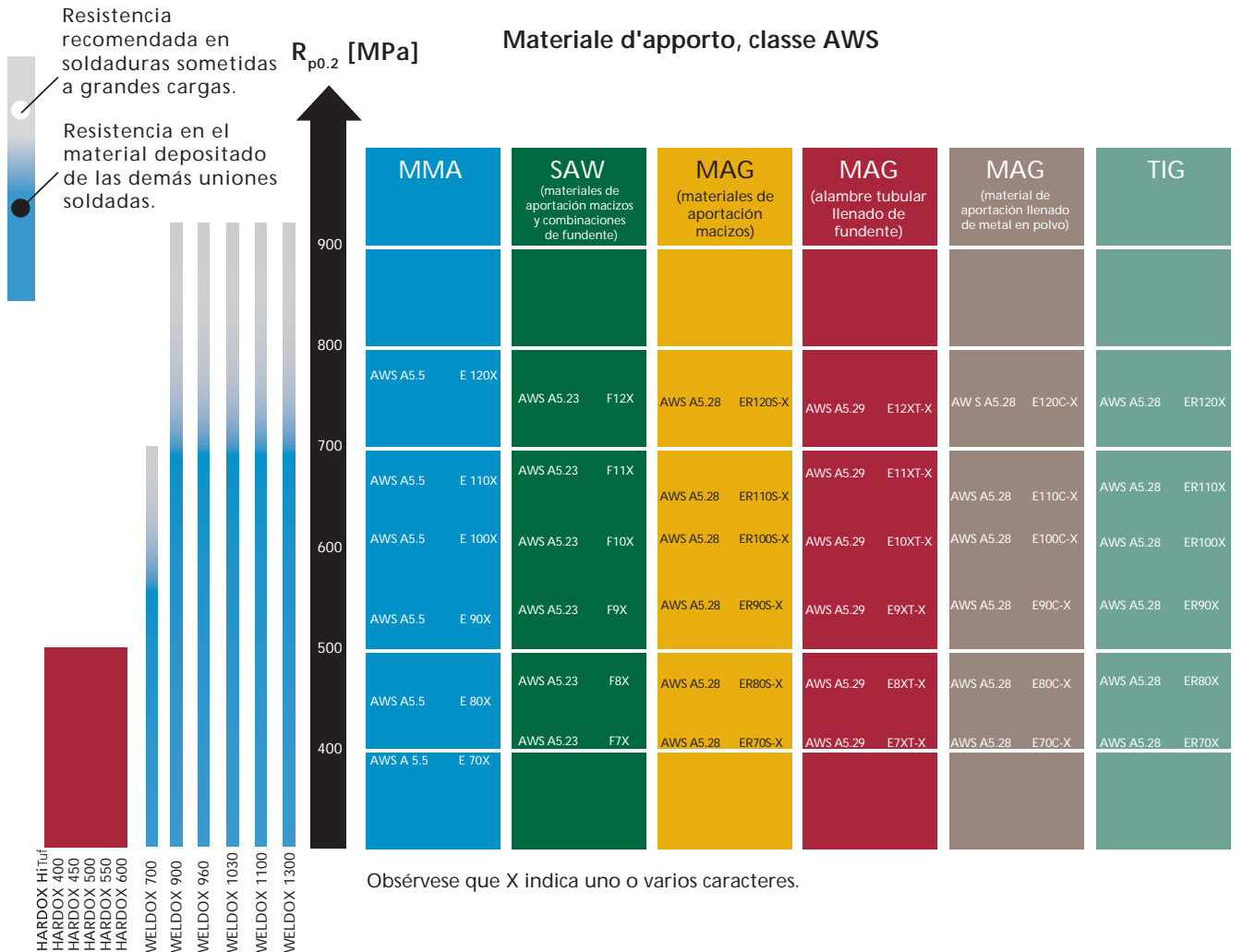
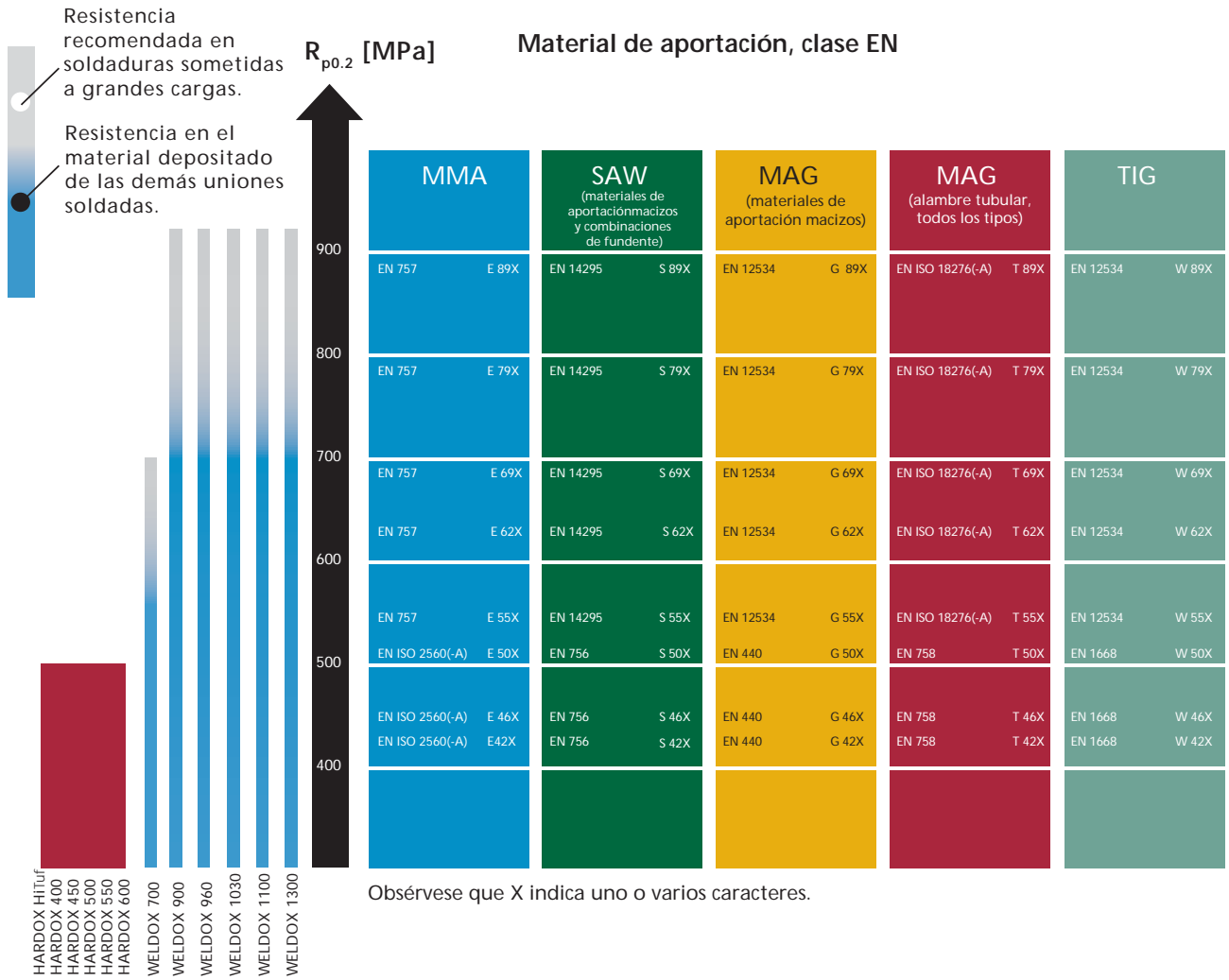
■ Material de aportación de resistencia superior

■ Material de aportación de resistencia inferior

Contenido de hidrógeno de los materiales de aportación sin alear y de baja aleación

El contenido de hidrógeno debe ser inferior o igual a 5 ml por 100 g de material depositado. Los materiales de aportación macizos usados en la soldadura MAG y TIG pueden proporcionar estos bajos contenidos de hidrógeno en el material depositado. El contenido de hidrógeno en materiales de aportación de otro tipo puede pedirse al fabricante respectivo.

En el folleto TechSupport #60, en www.ssabox.com, hay ejemplos de material de aportación. El almacenamiento del material de aportación siguiendo las recomendaciones del fabricante contribuye a mantener el contenido de hidrógeno en el nivel previsto. Esto rige sobre todo en materiales de aportación revestidos y fundente.



Materiales de aportación inoxidables

En todos nuestros productos pueden usarse materiales de aportación austeníticos inoxidables. A excepción del HARDOX 600, esto permite temperaturas de trabajo de +20°C, según el diagrama. En primer lugar recomendamos materiales de aportación según AWS 307 y, en segundo lugar, según AWS 309. El tipo AWS 307 soporta mejor las grietas originadas por el calor que el AWS 309. Debe tenerse en cuenta que los

fabricantes raramente indican el contenido de hidrógeno de los materiales de aportación inoxidables, puesto que en ellos el contenido no influye sobre las prestaciones en un grado igual que en los materiales de aportación sin alear o de baja aleación. En el folleto TechSupport #61, en www.ssabox.com, hay sugerencias de distintos materiales de aportación inoxidables.



Obsérvese que X indica uno o varios caracteres.



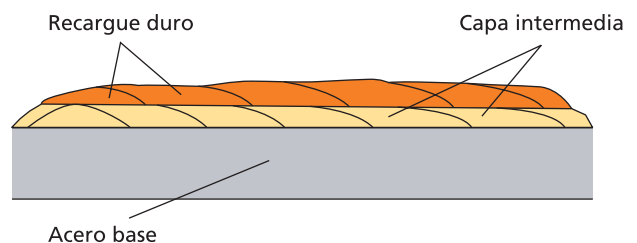
Obsérvese que X indica uno o varios caracteres.

Recargue duro

El recargue duro con materiales de aportación especiales incrementa la resistencia al desgaste de las uniones soldadas. Deberán seguirse las instrucciones para el material de aportación utilizado y las recomendaciones ordinarias dadas para el WELDOX y HARDOX.

Entre las uniones soldadas/chapa y el recargue duro es ventajoso soldar una capa intermedia de muy alta tena-

cidad. La selección del material de aportación de la capa intermedia sigue las recomendaciones de soldeo para los aceros WELDOX y HARDOX. En estos casos es ventajoso usar materiales de aportación inoxidables según AWS 307 y AWS 309.

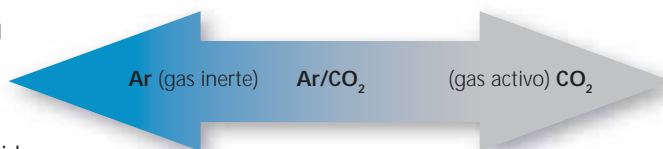


Gas protector

En la mayoría de métodos de soldeo se usa Ar/CO₂ como gas protector. La mezcla a seleccionar depende de las circunstancias de la soldadura.

Efectos de distintas mezclas de gases

- Facilita el encendido del arco eléctrico
- Poca proporción de salpicaduras
- Pequeña cantidad de óxidos



- Arco estable
- Baja proporción de poros
- Salpicaduras/obstrucción de la boquilla de soldar
- Alta penetración del material depositado

En la tabla se sugieren distintos tipos de gases protectores según la situación. En general, en todos los tipos de soldadura MAG puede usarse una mezcla de gas protector con el 15-25% de CO₂.

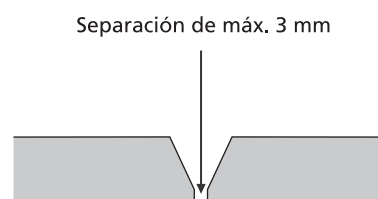
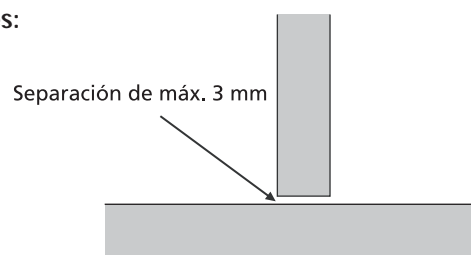
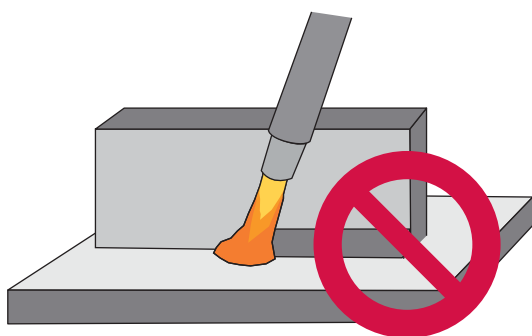
Método de soldeo	Tipo de arco	Gas protector (% en peso)
MAG, consumibles de soldadura macizos MAG, consumible de polvo metálico para soldeo por arco sumergido	Arco corto	Ar + 15-25 % CO ₂
MAG, consumibles de soldadura macizos MAG, consumible de polvo metálico para soldeo por arco sumergido	Arco spray	Ar + 8-25 % CO ₂
MAG, consumibles de soldadura con núcleo de fundente	Arco corto	Ar + 15-25 % CO ₂ , o CO ₂ puro
MAG, consumibles de soldadura con núcleo de fundente	Spray arc	Ar + 8-25 % CO ₂ , o CO ₂ puro
MAG, todos los tipos	Todos los tipos de arco	Ar + 15-25 CO ₂
TIG		Ar puro

En los métodos de soldeo basados en gas protector, el flujo depende de las circunstancias. Una pauta general es regular el flujo de gas protector, medido en l/min, a un valor igual al del diámetro interior de la tobera de gas medida en mm.

Secuencia de trabajo y separación de las uniones

Así se evitan grietas por absorción de hidrógeno en las uniones:

- Las secuencias de inicio y finalización no se situarán en una esquina. Como mínimo deberán ubicarse a 5-10 cm de la esquina.
- La separación de las uniones deberá ser de 3 mm como máximo.



Soldeo de WELDOX y HARDOX sin eliminar el imprimador



Para unos resultados de soldadura de la máxima calidad, eliminar el imprimador.

Se puede soldar directamente sobre el excelente imprimador del WELDOX y HARDOX gracias a su bajo contenido de zinc.

El imprimador puede eliminarse fácilmente de la zona alrededor de la soldadura utilizando un cepillo o esmeril. La eliminación del imprimador antes de soldar tiene sobre todo la ventaja de que la cantidad de poros en la unión soldada puede reducirse al mínimo, y que resulta más fácil soldar en una posición que no sea la horizontal.

Dejar el imprimador en la unión soldada incrementa un poco la proporción de poros en el material depositado. Los procesos MAG, de electrodo tubular lleno de fundente y MMA son los que muestran menor porosidad cuando se suelda directamente sobre el imprimador.

En todo tipo de soldeo deberá mantenerse una buena ventilación. Entonces el imprimador no contribuye a producir efectos nocivos sobre el soldador y su entorno.

Para información más detallada sobre esto, puede descargarse Techsupport #25 de www.ssabox.com.

Recocido de eliminación de tensiones

El recocido del HARDOX HiTuf y el WELDOX 700–960 es posible, pero raramente necesario. Otros aceros no deberán recocerse para eliminar tensiones, puesto que sus propiedades mecánicas pueden empeorar.

En el manual de soldeo de SSAB Oxelösund puede encontrarse información más detallada. Se puede solicitar en www.ssabox.com.

SSAB Oxelösund AB –empresa filial del Grupo SSAB Swedish Steel– es el fabricante líder mundial de chapa gruesa templada y revenida, que se comercializa bajo las famosas marcas HARDOX® (chapa antidesgaste), WELDOX® (chapa de acero estructural), ARMOX® (chapa de protección) y TOOLOX® (acero para herramientas). Los productos del Grupo se caracterizan por combinar una alta resistencia con gran tenacidad gracias a la pureza del acero y al excepcional proceso de producción.

Las actividades de SSAB Oxelösund están concentradas exclusivamente en el desarrollo de aceros templados y revenidos. Estamos ampliamente representados en más de 45 países y ofrecemos a nuestros clientes acero de la más alta calidad, así como asesoramiento comercial y técnico.

Para información más detallada, póngase en contacto con nosotros o visite www.ssabox.com.

SSAB Oxelösund
SE-613 80 Oxelösund
Suecia

Tel.: +46 155-25 40 00
Fax: +46 155-25 40 73
Correo electrónico: info@ssabox.com

www.ssabox.com
www.hardox.com
www.weldox.com

