

HARDOX 400  
HARDOX 450  
HARDOX 500  
WELDOX 355  
WELDOX 420  
WELDOX 460  
WELDOX 500  
WELDOX 700  
WELDOX 900  
WELDOX 960  
WELDOX 1100

Límite elástico del cordón  
 $R_{p0.2}$   
[N/mm<sup>2</sup>]

Materiales de aportación (Clases AWS)

MMA		SAW		MIG / MAG		FCAW	
Soldadura manual por arco		Soldadura por arco sumergido		Soldadura por arco bajo gas con alambre macizo		Soldadura por arco con alambre tubular relleno de flux	
AWS A5.5	E 12018	AWS A5.23	F 12AX-EX	AWS A5.28	ER 120S-X	AWS A5.29	E 12XT-X
AWS A5.5	E 11018	AWS A5.23	F 11AX-EX	AWS A5.28	ER 110S-X	AWS A5.29	E 11XT-X
AWS A5.5	E 10018	AWS A5.23	F 10AX-EX	AWS A5.28	ER 100S-X	AWS A5.29	E 10XT-X
AWS A5.5	E 9018	AWS A5.23	F 9AX-EX	AWS A5.28	ER 90S-X	AWS A5.29	E 9XT-X
AWS A5.5	E 8018	AWS A5.23	F 8AX-EX	AWS A5.28	ER 80S-X	AWS A5.29	E 8XT-X
AWS A5.5	E 8016	AWS A5.23	F 7AX-EX				
AWS A5.5	E 7028	AWS A5.17	F 7AX-EX	AWS A5.18	ER 70S-X	AWS A5.20	E 7XT-X
AWS A5.1	E 7018						
AWS A5.1	E 7016						

Obsérvese que la "X" representa a uno o más códigos.

▲ Recomendaciones generales para la elección de material de aportación en la soldadura de HARDOX y WELDOX

- En la soldadura con FCAW, SAW y MMA siempre se debe escoger un flux básico.
- El material depositado en sí debe tener por lo menos la misma resiliencia que la chapa en cuestión.
- Escoja siempre un material de aportación (flux) que introduzca un contenido de hidrógeno inferior a 5 ml /100 g de material depositado.

Para información más detallada consulte el *Handbook on Welding of Oxelösund Steels*, que puede requerirse gratuitamente de nosotros.

De nuestra serie de folletos de trabajado Ud. también puede requerir "Plegado / cizallado", "Mecanizado" y "Corte".

Ud. también es bienvenido a ponerse en contacto con nuestros ingenieros de aplicación que le darán consejos e intrucciones en lo referente a la soldadura, elección de material, su trabajado y tratamiento superficial.



SSAB Oxelösund AB Tel. +46 155 25 40 00  
SE-613 80 Oxelösund Fax +46 155 25 40 73  
Suecia www.ssabox.com

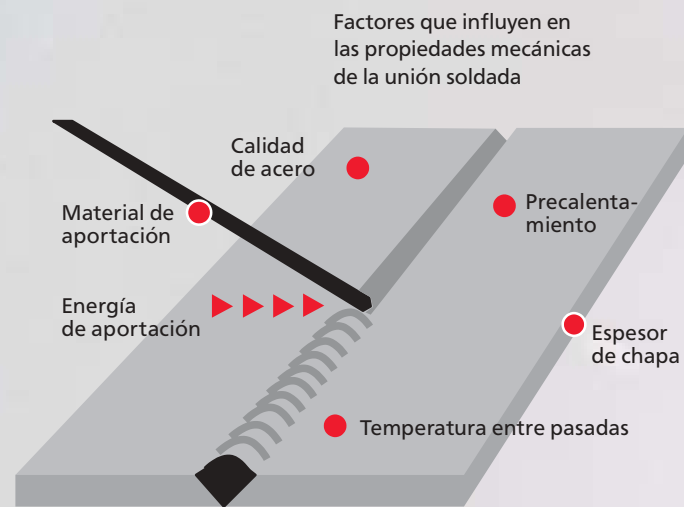
SSAB HELIN INFORMATION 2011 ÖSTERBERG & SÖRMLANDSTRYCK 2001-06

HARDOX®  
WELDOX®

Soldadura



Las calidades de aceros antidesgaste HARDOX y de aceros estructurales WELDOX de SSAB Oxelösund son de baja aleación y por lo tanto de bajo carbono equivalente. Esto significa que se pueden soldar por medio de todos los métodos comunes de fusión a toda chapa estructural común.



### HARDOX y WELDOX poseen un bajo carbono equivalente para su clase de resistencia.

Un carbono equivalente bajo da una mejor soldabilidad que uno elevado. El carbono equivalente típico para un espesor de chapa dada lo haya en nuestras hojas de datos.

El carbono equivalente CEV (según IIW) se calcula del modo siguiente:

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

### Temperatura de trabajo incrementada

En la soldadura de todos los aceros estructurales y antidesgaste es importante reducir el riesgo de fisuración en frío (grietas de hidrógeno). La presencia de hidrógeno en combinación con tensiones en la unión soldada son la causa principal de estas grietas.

El riesgo de fisuración en frío disminuye:

- precalentando el material en las adyacencias de la soldadura.
- asegurándose que las superficies a soldar estén absolutamente limpias y secas.
- llevando a un mínimo las tensiones de contracción. Esto se logra con un buen ensamblaje de las chapas a soldar y secuencias de soldadura bien preconcebidas (soldadura balanceada).
- seleccionando un material de aportación de bajo potencial de hidrógeno.

### En la soldadura de HARDOX se debe:

- conservar la dureza en la zona afectada por el calor (HAZ).
- alcanzar una buena tenacidad en la HAZ.

### En la soldadura de WELDOX se debe:

- alcanzar una buena resistencia estática en la unión soldada.
- obtener una buena resiliencia en la unión soldada.

Calidad de acero	Intervalo de espesor	Carbono equivalente CEV (IIW) *
S355	5–100 mm	0,39–0,43
WELDOX 355	8–25 mm	0,34–0,37
WELDOX 420	6–80 mm	0,37–0,39
WELDOX 460	6–80 mm	0,37–0,42
WELDOX 500	8–80 mm	0,37–0,42
WELDOX 700	4–130 mm	0,39–0,64
WELDOX 900	4–80 mm	0,56
WELDOX 960	4–50 mm	0,56–0,64
WELDOX 1100	5–40 mm	0,68–0,72
HARDOX 400	4–130 mm	0,36–0,70
HARDOX 450	4–80 mm	0,41–0,62
HARDOX 500	5–80 mm	0,58–0,68

\*) valores típicos

### Precalentamiento

La necesidad de precalentamiento es mayor durante el punteado previo y en las pasadas de raíz.

Cuanto más elevada es la temperatura mantenida durante y después de la soldadura tanto más fácilmente el hidrógeno se volatiliza del acero.

La necesidad de una temperatura de trabajo incrementada aumenta con el espesor de chapa (véase la tabla en la página siguiente) – en parte para compensar un enfriamiento rápido y en parte porque una chapa gruesa tiene un valor de CEV superior al de una chapa delgada.

Cuando la humedad del aire es elevada y/o la temperatura es inferior a los +5°C, los valores de la tabla deberán incrementarse en 25°C. Análogamente, la temperatura deberá aumentarse en la soldadura de uniones fuertemente tensionadas.

HARDOX y WELDOX son marcas registradas. Estas calidades de acero son exclusivamente producidas por SSAB Oxelösund AB.

En la soldadura de diferentes calidades de acero – o en la soldadura con electrodos de carbono equivalente (CEV) superior al del material base – la actual necesidad de precalentamiento es decidida por la chapa (o por el electrodo) de CEV más elevado.

El calentamiento posterior debería realizarse a la misma temperatura que la de trabajo incrementada.

El tiempo de mantenimiento deberá ser de un mínimo de 5 minutos por mm de espesor de chapa y en todo caso por lo menos de una hora.

### Calentamiento posterior

El calentamiento posterior de la soldadura directamente después de su ejecución también facilita la evacuación del hidrógeno del acero.

### Recomendada temperatura de precalentamiento

Las temperaturas de trabajo recomendadas están basadas en que:

– el contenido de hidrógeno no sobrepasa los 5 ml/100 g de material depositado

– la energía de aportación es de unos 1,7 kJ/mm

\*) El material de aportación rige la temperatura de precalentamiento si su carbono equivalente es superior al de la chapa.

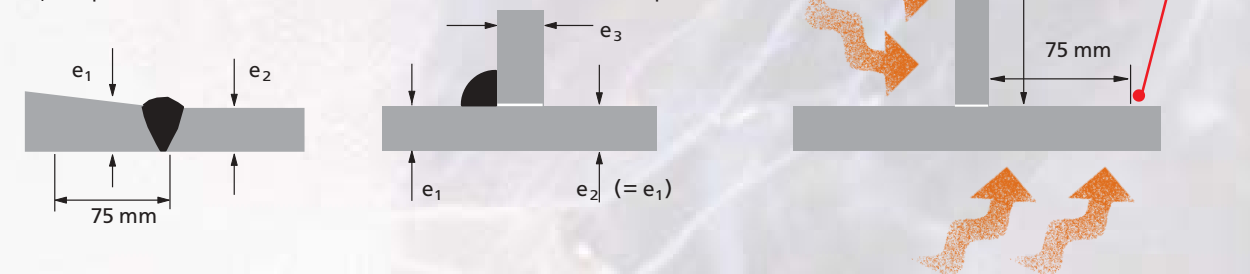
... para un espesor combinado de chapa [mm]	t <sub>1</sub> + t <sub>2</sub> + t <sub>3</sub> =												
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
S355 (SS 2132)												75°C	
WELDOX 355													
WELDOX 420/460				Temperatura ambiente								75°C	
WELDOX 500												75°C	
WELDOX 700							75°C			100°C		150°C	
WELDOX 900 *			75				100°C					150°C	
WELDOX 960 *			75				100°C					150°C	
WELDOX 1100 *			100	125°C			150°C					175°C	
HARDOX 400					75°C			100°C				175°C	
HARDOX 450					100°C			125°C				175°C	
HARDOX 500			100	125	150°C					175°C			

### Recomendada temp. entre pasadas

Calidad de acero	Temperatura entre pasadas
S355 (SS 2132)	225–250°C
WELDOX 355	225–250°C
WELDOX 420/460	225–250°C
WELDOX 500	200–225°C
WELDOX 700	200–225°C
WELDOX 900	150–175°C
WELDOX 960	150–175°C
WELDOX 1100	150–175°C
HARDOX 400	150–175°C
HARDOX 450	150–175°C
HARDOX 500	150–175°C

Espesor combinado de chapa, mm

e<sub>1</sub> = espesor medio dentro de 75 mm de distancia del material depositado.



### Tratamiento posterior

#### Recocido de relajación

El recocido de relajación se realiza a fin de disminuir las tensiones residuales después de la soldadura. El recocido de relajación de WELDOX se ejecuta solamente cuando las reglas de diseño así lo requieren.

HARDOX y WELDOX 1100 jamás deben someterse al recocido de relajación.

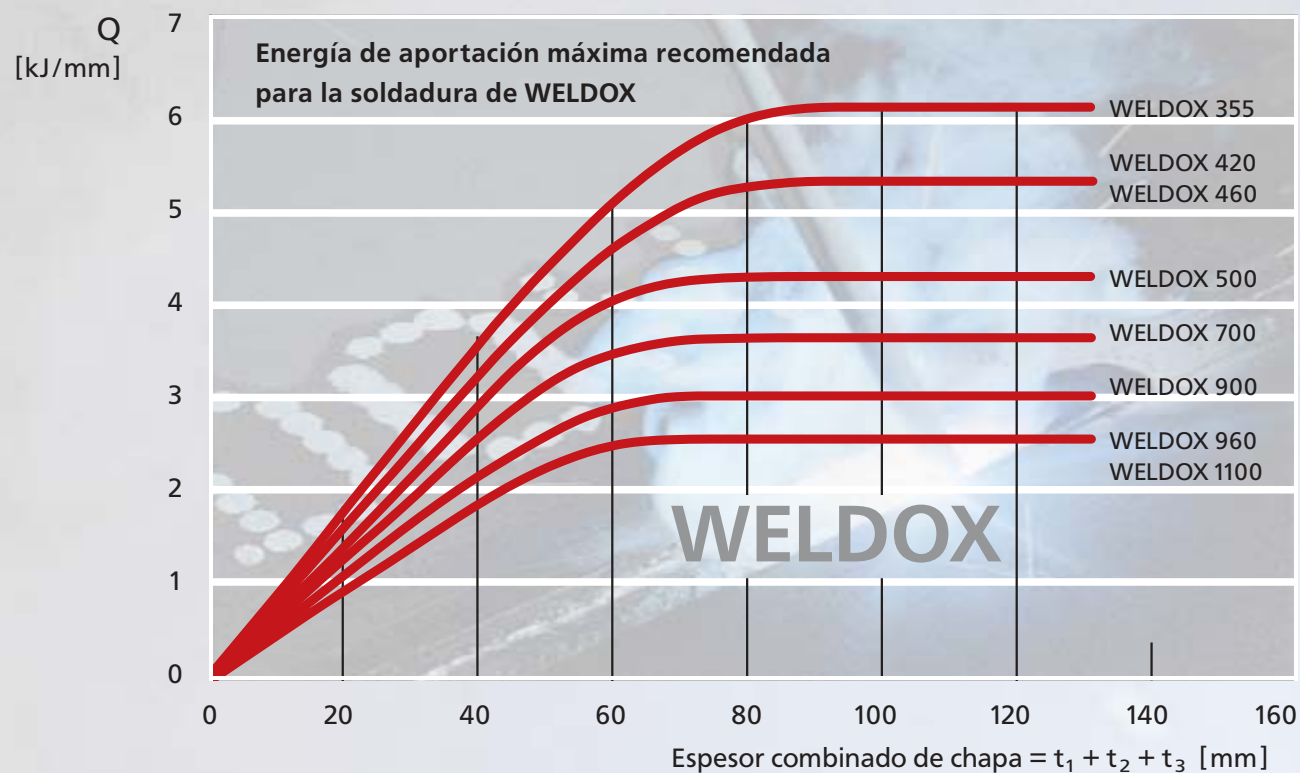
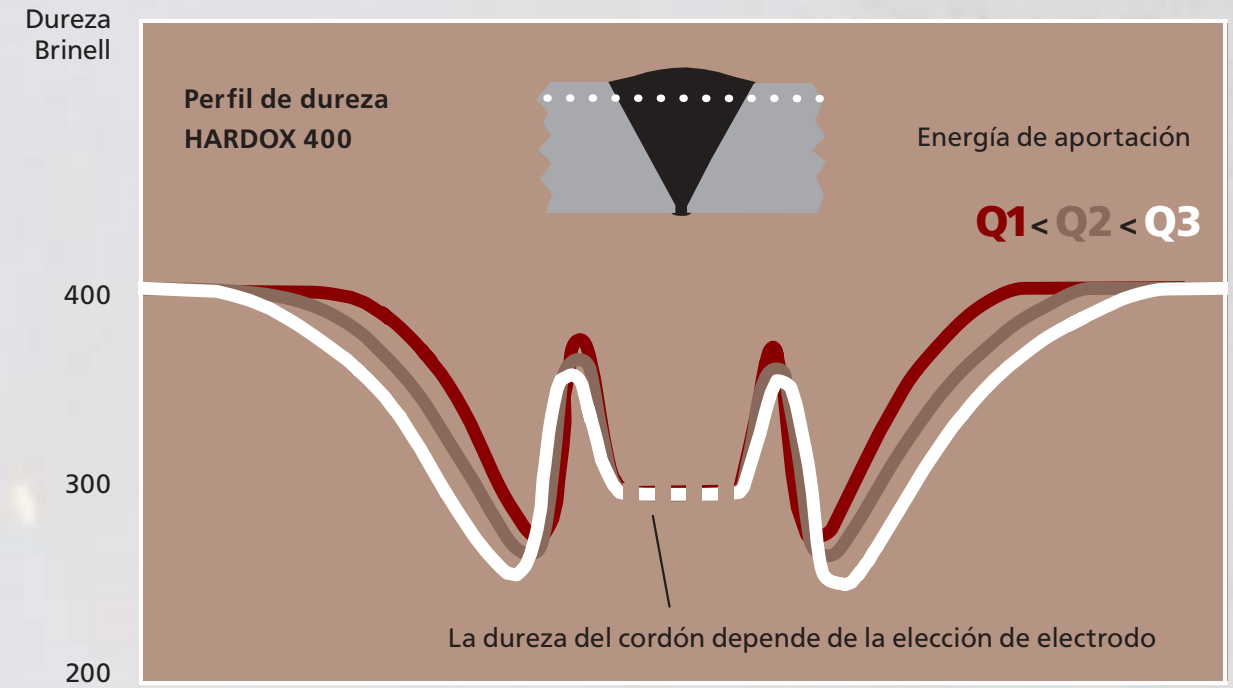
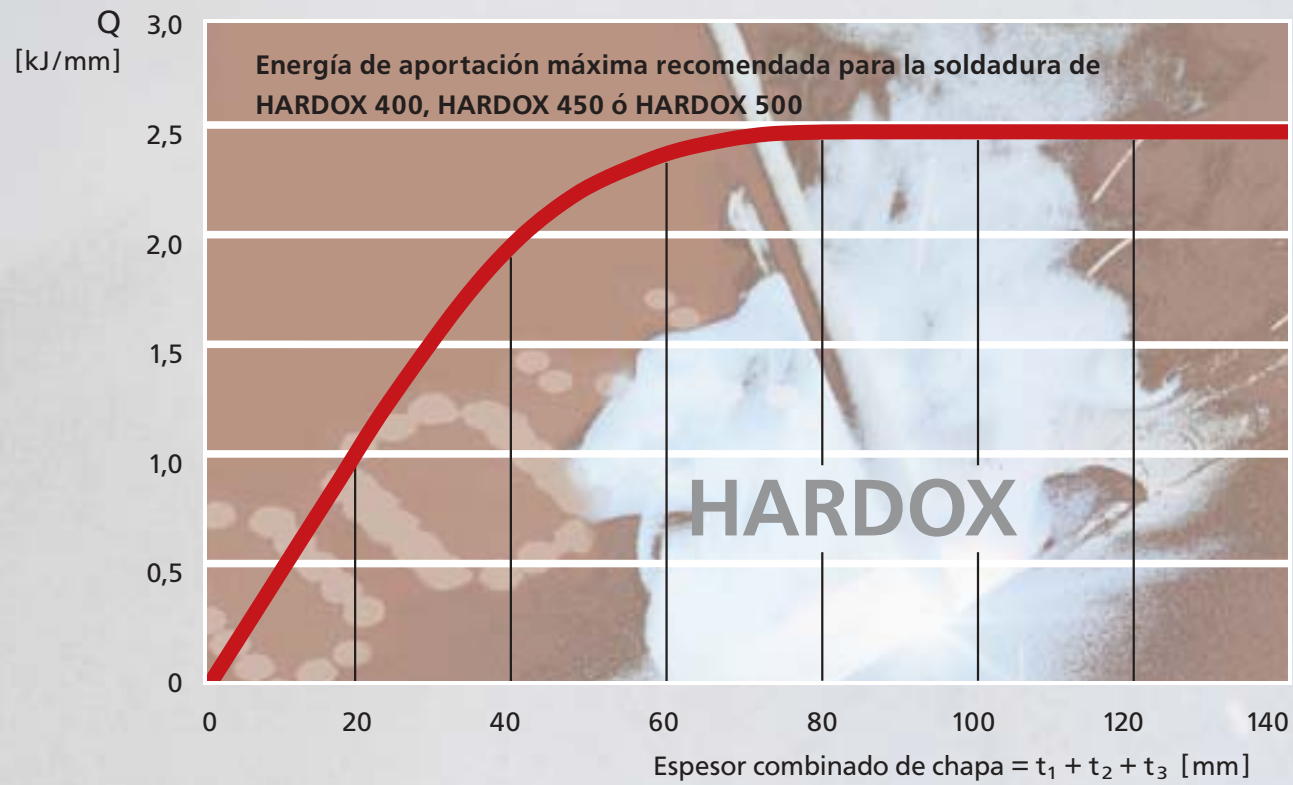
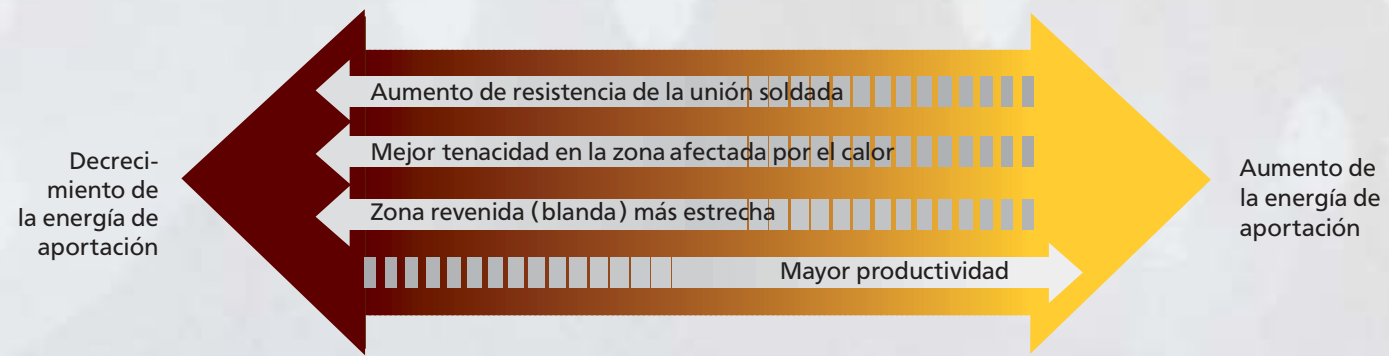
#### Medidas que mejoran la resistencia a la fatiga

La resistencia a la fatiga en las uniones soldadas puede incrementarse por medio de diferentes tipos de tratamiento posterior. Estos tratamientos producen una transición menos abrupta entre la soldadura y la chapa y reducen las concentraciones de tensión.

Para información adicional, véase el *Handbook on Welding of Oxelösund Steels*.

## Selección de la energía de aportación

En juntas soldadas de HARDOX y WELDOX se recomiendan las siguientes limitaciones referentes al nivel de energía de aportación. Bajo este nivel se obtiene una combinación satisfactoria de tenacidad, resistencia y conservación de dureza en la zona afectada por el calor (HAZ).



## Cálculo de la energía de aportación

$$Q = \frac{\eta \cdot U \cdot I \cdot 60}{v \cdot 1000}$$

Q = Energía de aportación [kJ/mm]  
 U = Voltaje [V]  
 I = Intensidad de corriente [A]  
 v = Velocidad de soldadura [mm/min]  
 $\eta$  = Factor de efectividad del arco

### Factor de efectividad del arco $\eta$

Método de soldadura	Factor de efectividad del arco $\eta$
Soldadura manual por arco (MMA)	0,8
Sold. por arco bajo gas, alambre macizo (MIG/MAG)	0,8–0,9
Por arco bajo gas, alambre tubular relleno de flux (FCAW)	0,9
Soldadura por arco sumergido (SAW)	1,0
TIG (GTAW)	0,7

## Elección del material de aportación\*

HARDOX y WELDOX se pueden soldar por medio de cualquiera de los métodos convencionales de soldadura por arco para soldadura de chapas comunes y de alta resistencia.

Las demandas de propiedades mecánicas que se imponen a la unión soldada deciden la elección del material de aportación en cada caso.

La soldadura de HARDOX y WELDOX deberá realizarse con electrodos básicos. Escoger un material de aportación que introduzca un contenido de hidrógeno inferior a 5 ml/100g de material depositado.

En la elección del límite elástico del material de aportación se puede escoger alguna de las tres posibilidades siguientes:

- 1) Material depositado subequiparado (el material depositado posee un límite elástico\*\* inferior al del material base)
- 2) Material depositado equiparado (el material depositado y el material base poseen el mismo límite elástico\*\*)
- 3) Material depositado sobreequiparado (el material depositado posee un límite elástico\*\* superior al del material base)

En la soldadura de calidades de acero en el intervalo de WELDOX 700 hasta WELDOX 1100 inclusive, es ventajoso combinar electrodos con diferentes grados de equiparación, por ejemplo electrodos dulces en la raíz de la soldadura y electrodos de más elevada resistencia en las pasadas de relleno.

Las mayores ventajas al seleccionar materiales de aportación de baja resistencia en lugar de materiales de alta resistencia (límite elástico superior a 500 N/mm<sup>2</sup>) son:

- mayor tenacidad del material depositado
- mayor ductilidad en la unión
- menor sensibilidad a la fisuración

En los casos de soldadura en ángulo se recomienda la selección de un material de aportación subequiparado.

### Para la soldadura de HARDOX use electrodos dulces

HARDOX deberá soldarse con electrodos básicos dulces. Por electrodos dulces se entienden materiales de aportación con un límite elástico inferior a 500 N/mm<sup>2</sup>. De este modo las tensiones residuales en la junta disminuyen y también la sensibilidad de fisuración en frío.

Si la soldadura está emplazada en una posición expuesta a un desgaste severo, las pasadas finales de recubrimiento se pueden realizar con electrodos duros.

HARDOX puede soldarse ventajosamente con electrodos de aceros inoxidables austeníticos en los siguientes casos:

- alto grado de embridamiento
- cuando no es posible precalentar
- chapas de espesor superior a 60 mm.

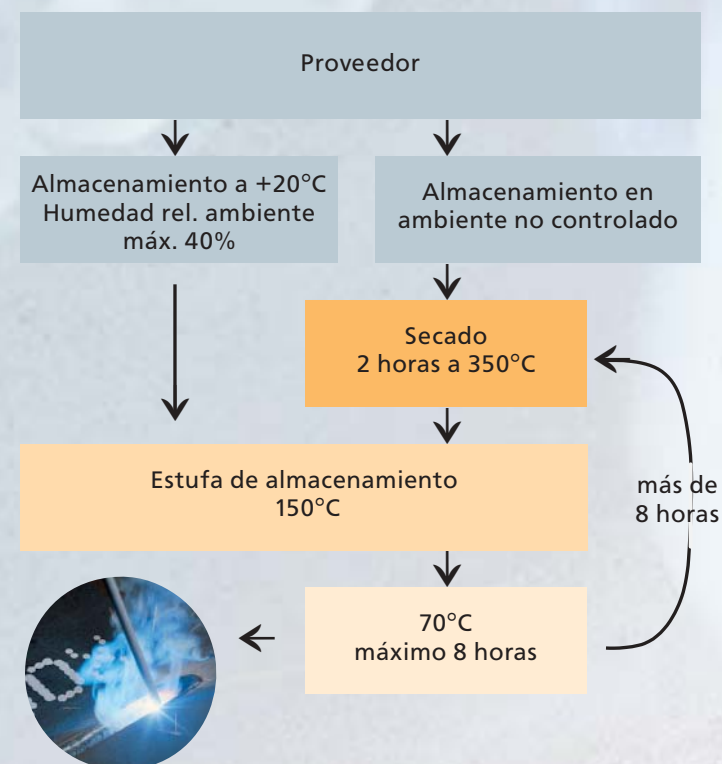
\*) En la página posterior de este folleto hay una lista de clases de materiales de aportación AWS.

\*\* Aquí se entiende el nivel de límite elástico nominal mínimo.

### Grado de equiparación recomendado en la soldadura de las calidades de acero HARDOX y WELDOX

WELDOX 355 / 420	Sobreequiparado
WELDOX 460 / 500	Sobreequiparado / Equiparado
WELDOX 700	Equiparado / Subequiparado
WELDOX 900 / 960	Subequiparado
WELDOX 1100	Subequiparado
HARDOX 400 / 450 / 500	Subequiparado

Para prevenir la absorción de humedad, el material de aportación deberá almacenarse según las recomendaciones del fabricante. Si existiera el riesgo de que haya ocurrido absorción de humedad, el material de aportación se descartará o secará según las instrucciones del fabricante.



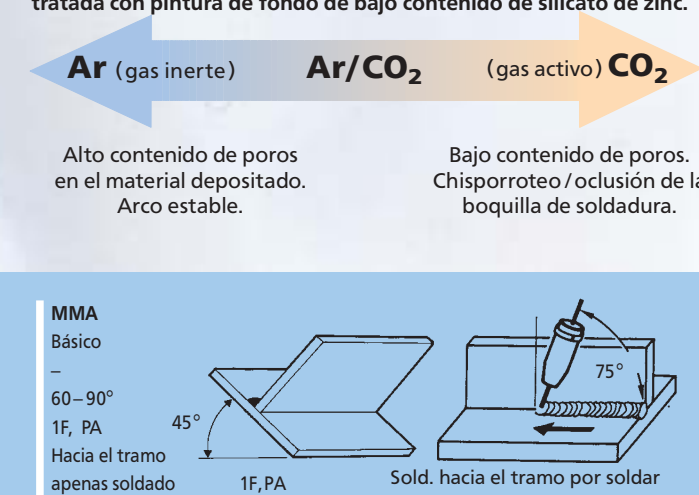
## Soldadura de chapa pintada

La soldadura de chapa protegida con pintura anti-corrosiva causa porosidad en mayor o menor grado. Seleccionando el tipo y espesores correctos de la pintura de fondo, así como también los parámetros de soldadura adecuados, el volumen de porosidad puede minimizarse. La soldadura puede entonces realizarse dentro de las exigencias actuales, sin necesidad de remover la pintura de fondo.

La chapa de stock HARDOX y WELDOX se protege contra la corrosión antes del suministro con una pintura de fondo (primer) conocida como de bajo contenido de silicato de zinc. Esta pintura se ha desarrollado especialmente para dar bajos volúmenes de porosidad en la soldadura. De este modo, la soldadura se puede ejecutar directamente contra la capa de fondo, lo cual contribuye a la productividad elevada en el taller.

Recomendaciones para la obtención de una soldadura de buena calidad en la unión de HARDOX y WELDOX tratados con pintura de fondo de bajo contenido de silicato de zinc.

Método de soldadura	Electr. tubular (FCAW)	MAG	MMA
Flux	Básico	—	Básico
Gas de protección	75% Ar / 25% CO <sub>2</sub>	75% Ar / 25% CO <sub>2</sub>	—
Ángulo de electrodo	75°	75°	60–90°
Posición de la soldadura	1F, PA	1F, PA	1F, PA
Dirección a la que apunta el electrodo/alambre	Hacia el tramo por soldar	Hacia el tramo por soldar	Hacia el tramo apenas soldado



## Soldadura de espárragos

HARDOX y WELDOX se prestan muy bien para la soldadura de espárragos y no es necesario precalentarlas al trabajar a la temperatura ambiente.

La soldadura de espárragos se puede efectuar directamente en las siguientes superficies estando éstas secas y bien limpias:

- amoladas a metal brillante
- pintadas con fondo de bajo contenido de silicato de zinc
- pintadas con fondo PVB.



La soldadura de espárragos es un método rápido, simple y económico para el fijado de espárragos, tuercas, espigas y otros sobre una superficie metálica. El método puede sustituir frecuentemente costosas operaciones de maquinado como el taladrado, avellanado y roscado. El proceso es más simple que la soldadura tradicional y puede realizarse por personas sin instrucción en soldadura.

La soldadura de espárragos proporciona un montaje más protegido que el montaje con tornillo embutido o roscado. De este modo aumentan la capacidad de desgaste y la vida útil.