

A close-up photograph of a metal joint. The top part shows a horizontal metal beam with several bolts. Below it, a vertical metal plate is attached to the beam. The bottom part of the image shows a large, blue-painted metal structure with a sharp, V-shaped cutout. The cutout is made of a dark, textured metal, likely a shear cut. The overall scene is industrial and technical.

HARDOX[®]

WELDOX[®]

plegado / cizallado

SSAB
OXELÖSUND

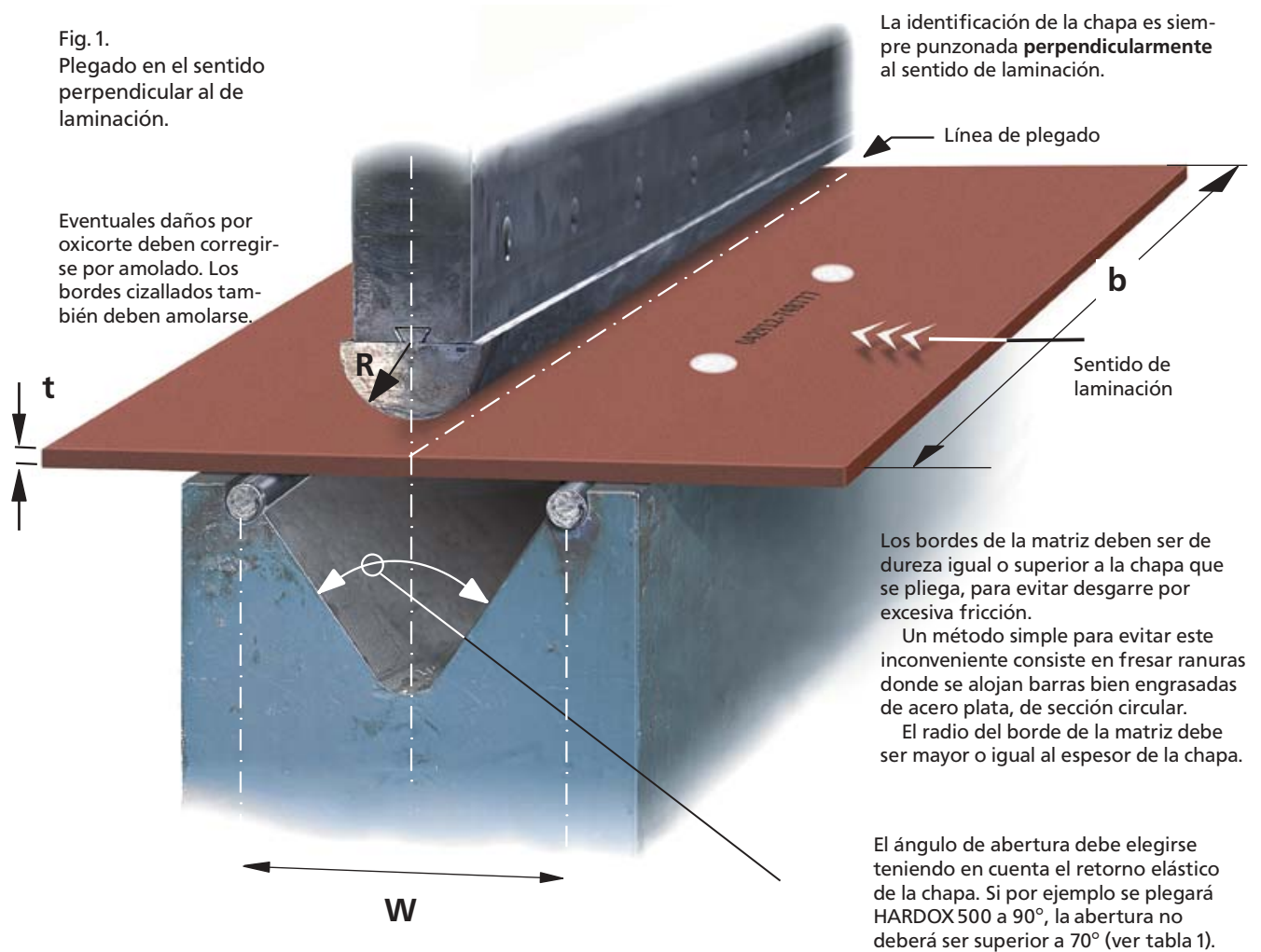
Este folleto trata los temas de plegado libre y cizallado de las chapas de acero antidesgaste **HARDOX®** y de construcción **WELDOX®**. En estos tipos de aceros hemos combinado alta resistencia con elevada pureza y estrechas tolerancias, lo que las hace excelentes para el plegado en frío.

Se dan a continuación las recomendaciones para obtener los mejores resultados con nuestros aceros antidesgaste y de construcción.

Plegado

Este párrafo trata del llamado plegado libre, aunque la chapa también puede plegarse en una plegadora de rodillos. El resultado de plegado está influenciado por una serie de factores que hemos reunido bajo tres títulos: la chapa, la herramienta de plegado y la ejecución del plegado. Discutiremos estos tres factores en las páginas 3-4 y presentaremos, además, un par de ejemplos de cálculo.

Los valores típicos de propiedades mecánicas de las chapas se dan en la tabla 4 de la última página.



El resultado de plegado depende de la chapa, de la herramienta de plegado y de la ejecución del plegado:

LA CHAPA

– Tipo de acero

Debe observarse que la fuerza de plegado y el retorno elástico aumentan con la resistencia de la chapa (ver valores típicos de carga de rotura en la tabla 4).

O sea, cuanto más resistente (dura) es la chapa mayor será ...

- la fuerza de plegado exigida
- el retorno elástico
- el radio de punzón a utilizar
- la abertura de la matriz

– La superficie de la chapa

Nuestras recomendaciones se aplican a chapas granalladas y pintadas con pintura anticorrosiva. Si en cambio la chapa presenta superficie limpia de laminación podrá efectuarse un plegado un poco más severo. La presencia de daños superficiales y herrumbre en la chapa disminuye notablemente la plegabilidad. En casos críticos se deberán eliminar esos defectos por amolado.

– Los bordes de la chapa

Bordes oxocortados o cizallados deben suavizarse por medio de amolado.

– El espesor de la chapa (t)

En general, una chapa delgada permite radio de plegado menor que una chapa de mayor espesor. Ver tabla 1.

– El sentido de laminación de la chapa

En la dirección perpendicular a la de laminación, la chapa admite un plegado más severo que en la dirección paralela a la de laminación. Ver figura 1 y tabla 1.

– La longitud de plegado (b)

Si la longitud de plegado es menor que 10 veces el espesor, la chapa admitirá, a veces, condiciones de plegado más severas que las indicadas en la tabla 1.

LA HERRAMIENTA DE PLEGADO

– Radio de punzón (R)

La elección del radio de punzón adecuado es lo más importante en el plegado de HARDOX y WELDOX, ver figura 1.

Para los aceros más blandos del grupo – hasta el WELDOX 500 – se recomienda usar un radio de punzón igual o ligeramente menor que el radio de plegado que se desea obtener.

Para los demás aceros considerados, más resistentes (duros), se recomienda usar un radio de punzón igual o ligeramente mayor que el radio de plegado que se desea obtener.

La tabla 1 indica los radios mínimos de punzón para evitar agrietamiento en caso de plegado a 90°.

cont. ▷

Tabla 1.

Valores mínimos recomendados para radio de punzón (R) y abertura de matriz (W) en relación con el espesor de chapa (t) para plegado a 90°, ya sea en la dirección paralela que perpendicular a la de laminación. La tabla indica también el valor indicativo de retorno elástico.

	Espesor [mm]	Transversal R/t	Paralelo R/t	Transversal W/t	Paralelo W/t	Retorno elástico [°]
S355 según EN10025		2,5	3,0	7,5	8,5	3-5
EUROX 355		1,0	1,5	6,0	7,5	3-5
WELDOX 420/500		1,0	1,5	6,0	7,5	3-6
WELDOX 700	t < 8	1,5	2,0	7,0	8,5	6–10
	8 ≤ t < 20	2,0	3,0	7,0	8,5	
	t ≥ 20	3,0	4,0	8,5	10,0	
WELDOX 900/960	t < 8	2,5	3,0	8,5	10,0	8–12
	8 ≤ t < 20	3,0	4,0	8,5	10,0	
	t ≥ 20	4,0	5,0	10,0	12,0	
WELDOX 1100 *	t < 8	3,5	4,0	10,0	10,0	11–18
	8 ≤ t < 20	4,0	5,0	10,0	12,0	
	t ≥ 20	5,0	6,0	12,0	14,0	
HARDOX 400	t < 8	2,5	3,0	8,5	10,0	9–13
	8 ≤ t < 20	3,0	4,0	10,0	10,0	
	t ≥ 20	4,5	5,0	12,0	12,0	
HARDOX 450 *	t < 8	3,5	4,0	10,0	10,0	11–18
	8 ≤ t < 20	4,0	5,0	10,0	12,0	
	t ≥ 20	5,0	6,0	12,0	14,0	
HARDOX 500 *	t < 8	4,0	5,0	10,0	12,0	12–20
	8 ≤ t < 20	5,0	6,0	12,0	14,0	
	t ≥ 20	7,0	8,0	16,0	18,0	

*) En caso de plegado de HARDOX 450, HARDOX 500 y WELDOX 1100 se debe tener especial precaución debido a la alta resistencia de la chapa y a la elevada fuerza de plegado exigida. De producirse fisuras en la chapa, existe el riesgo de que fragmentos de material sean despedidos en la dirección de la línea de plegado. Por lo tanto, durante el trabajo de plegado, el operador y demás personal deberán colocarse al costado de la plegadora – y no delante de la misma.

LA HERRAMIENTA DE PLEGADO (cont.)

– Abertura de matriz (W)

La tabla 1 indica el mínimo valor de apertura de matriz recomendado con el fin de minimizar el retorno elástico. Efectivamente, si se aumenta la apertura de matriz, disminuye la fuerza de plegado exigida y aparecen menos marcas en la superficie de la chapa – pero en contrapartida aumenta el retorno elástico.

Obsérvese que el ángulo de apertura de la matriz debe ser suficientemente pequeño para permitir el retorno elástico necesario, ver figura 1 y tabla 1. En caso de plegado con rodillos, el retorno elástico es notablemente superior al indicado en la tabla.

LA EJECUCIÓN DEL PLEGADO

– Fricción

Los bordes de la matriz deben estar limpios y sin daños. Usando barras redondas giratorias como bordes de matriz – o/y engrasando los bordes de la matriz – disminuyen tanto la fuerza de plegado como el riesgo de fisuración.

– Ángulo de plegado

Las recomendaciones de la tabla 1 se aplican a trabajos en que se debe plegar la pieza a 90°. En caso de plegar a un ángulo menor, se podrá usar un punzón con radio menor al indicado por la tabla.

Es de notar que, en términos de fuerza de plegado y retorno elástico, el ángulo de plegado es un factor menos importante que la apertura de la matriz y la calidad (tipo) de acero. Para compensar el retorno elástico, se pliega la chapa con un exceso de igual entidad.

– Fuerza de plegado (P)

La fuerza de plegado requerida puede estimarse con la fórmula inferior. La fuerza se obtiene en toneladas (1 tonelada equivale a 10 kN), con una precisión de ±20%, si se usa mm como unidad de longitud. Ver nombre de parámetros en la figura 1 y valores de carga de rotura de la chapa en la tabla 4.

$$P = \frac{1,6 \times b \times t^2 \times R_m}{10000 \times W}$$

De usarse punzones de radio notablemente mayor a los indicados en la tabla 1 aumentará la fuerza requerida – comparada con la de la fórmula – a menos que se aumente la apertura de matriz en la misma proporción.

Ejemplo 1:

Una plegadora dispone de capacidad suficiente para plegar una chapa de acero S355 de 20 mm de espesor, con una matriz de apertura 150 mm.

Usando la misma matriz y manteniendo la longitud de plegado, ¿para cuál espesor (t) de chapa HARDOX 400 alcanzará la capacidad de la plegadora?

O sea, la fuerza de plegado es la misma. Lo único que varía es el espesor de chapa (t) y la carga de rotura (R_m). Aplicando la fórmula, se obtiene :

$$20^2 \times 550 = t^2 \times 1250$$

La plegadora dispondrá de una capacidad para plegar HARDOX 400 de 13,3 mm.

El cociente W/t para HARDOX 400 es, en este ejemplo, 150/13,3=11,3 que es un valor adecuado según la tabla 1.

Ejemplo 2:

Se debe fabricar una consola de descarga plegada de 2000 mm de longitud. Se debe elegir entre usar :

- a) una chapa de 10 mm de espesor de acero S355, con carga de rotura típica de 550 N/mm², o
- b) una chapa de 7 mm de espesor de WELDOX 700, con carga de rotura típica de 860 N/mm²

En ambos casos se piensa utilizar una matriz existente, con apertura 100 mm. ¿Qué fuerza de plegado se requiere en ambos casos ?

Para el S355 tenemos :

$$P = \frac{1,6 \times 2000 \times 10 \times 10 \times 550}{10000 \times 100} = 176 \text{ toneladas}$$

Para el WELDOX 700 :

$$P = \frac{1,6 \times 2000 \times 7 \times 7 \times 860}{10000 \times 100} = 135 \text{ toneladas}$$

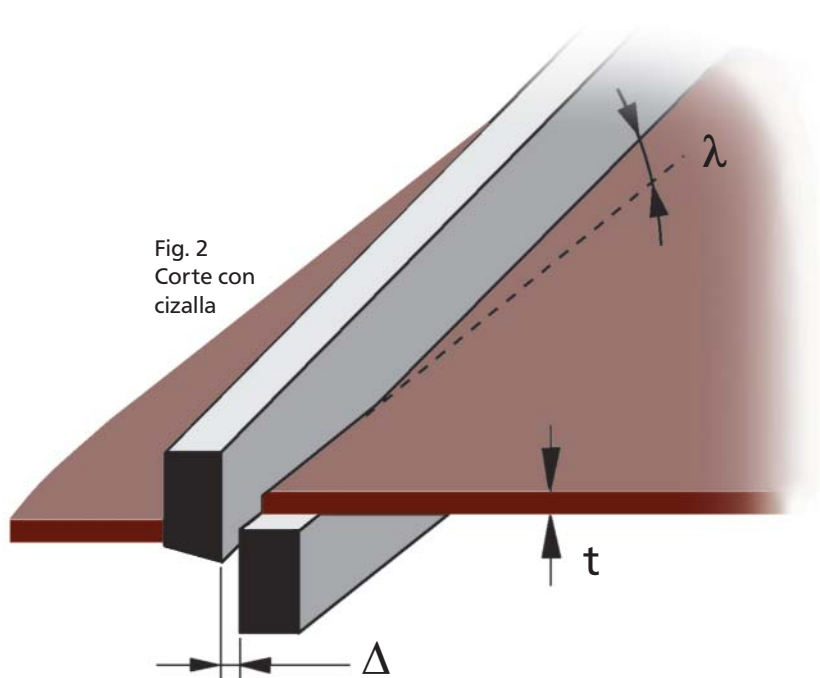
Dado que el espesor de chapa ejerce una influencia mayor que la resistencia, ¡en este caso se requiere menor fuerza para plegar la chapa WELDOX !

	Espesores de chapa, mm			
	10	20	30	60
S 355 / EUROX 355	10	20	30	60
WELDOX 700	8	16	24	48
WELDOX 900/960	7	14	21	42
HARDOX 400	6	13	19	38
	↓	↓	↓	↓
Fuerza de plegado por metro, [toneladas]	120	240	330	660
... para aberturas de matriz (W), [mm]	75	150	240	480

Tabla 2.
Espesores de chapa que requieren la misma fuerza de plegado por metro de longitud plegada – con las aberturas de matriz indicadas.

Corte con cizalla

Fig. 2
Corte con cizalla



El cizallado es un método apto también para chapa de alta resistencia. En general, cuanto mayor es la carga de rotura, mayor será la fuerza de corte exigida. También el desgaste de las herramientas de corte aumenta al aumentar la carga de rotura de la chapa, por lo que no recomendamos el cizallado de las calidades WELDOX 1100, HARDOX 450 y superiores.

Un resultado satisfactorio en el cizallado de chapa de alta resistencia presupone una cizalla robusta y en buen estado y un correcto ajuste de los parámetros de trabajo. Obsérvese que nuestras sugerencias para los ajustes son solo *recomendaciones generales*. En la práctica, el ajuste adecuado debe decidirse en base a la rigidez de la cizalla y al estado de la cuchilla.

Acero de la cuchilla

El acero de la cuchilla debe ser duro y presentar bordes de corte bien afilados pero suavizados, a mano, con una piedra de afilar.

Separación, Δ

Es el parámetro más importante para lograr un buen resultado. La separación entre las cuchillas móvil y fija debe aumentarse al aumentar la carga de rotura de la chapa a cizallar – ver tabla 3. Una separación incorrecta resulta en superficies de corte deterioradas y puede originar fisuras en los posteriores trabajos de soldadura o plegado.

Ángulo de corte, λ

Al aumentar el ángulo de corte disminuye la fuerza de corte exigida – pero al mismo tiempo aumenta el riesgo de que la chapa se deslice y que la pieza cizallada se deforme (se tuerza). En general, la chapa de alta resistencia debe cizallarse con un ángulo de corte mayor, ver figura 2 y la tabla 3 abajo.

Fuerza de plegado, P

La fuerza de plegado aumenta linealmente con la resistencia de la chapa, a ángulo de corte constante. Ver figura 3 y tabla 4.

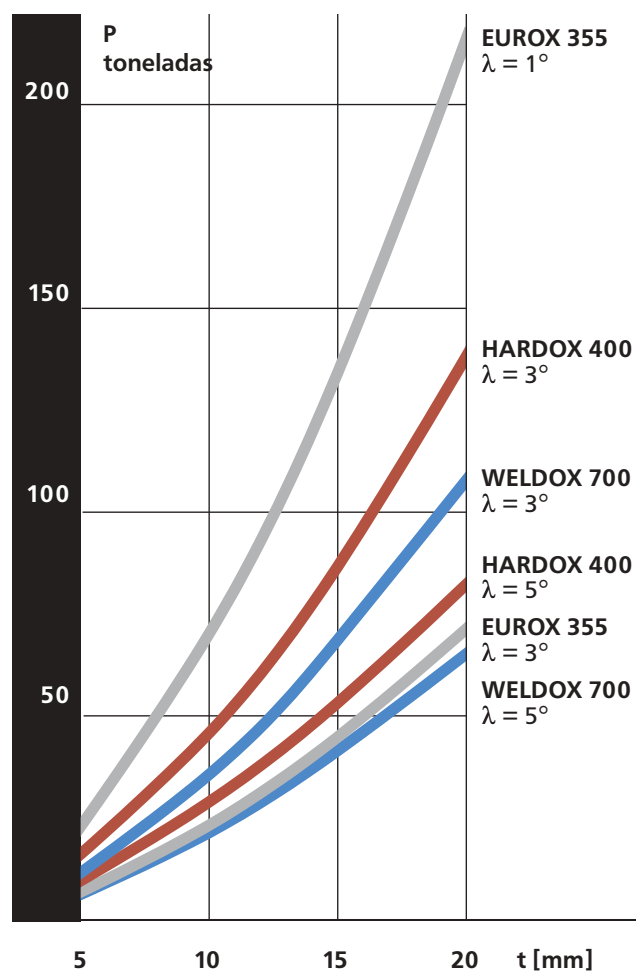


Fig. 3 Fuerza de corte para varios espesores y ángulos de corte λ

Tabla 3.
Ajuste de la separación y del ángulo de corte para distintas calidades de acero.

	Separación, Δ en % de t	Ángulos de corte, λ
EUROX 355	[°]	8–10
WELDOX 420	1–5	8–10
WELDOX 500	1–5	9–12
WELDOX 700	2–5	12–15
WELDOX 900	3–5	14–16
WELDOX 960	3–5	14–16
HARDOX 400	3–5	16–18

Tabla 4.
Valores típicos de propiedades mecánicas.

	Carga de rotura R _m [N/mm ²]	Alargamiento A ₅ [%]	Dureza [HBW]
S355 según EN10025	550	28	~ 180
EUROX 355	525	28	~ 170
WELDOX 420	550	23	~ 180
WELDOX 500	620	20	~ 200
WELDOX 700	860	17	~ 260
WELDOX 900	1030	15	~ 315
WELDOX 960	1050	15	~ 325
WELDOX 1100	1350	11	~ 430
HARDOX 400	1250	10	~ 400
HARDOX 450	1400	9	~ 450
HARDOX 500	1550	8	~ 500

No dude en contactar con nuestra oficina de Servicio Técnico Clientes para mayor información.

El folleto *Plegado / Cizallado* pertenece a una serie de impresos que presentan sugerencias e instrucciones sobre cómo trabajar con las chapas HARDOX y WELDOX. Los otros son *Soldadura y Mecanizado*. Solicítelos a través de nuestra oficina de Market Communication.



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