

# PLEGADO Y MECANIZADO



# CUBRIMOS SUS NECESIDADES DE DESGASTE

El acero resistente a la abrasión Raex® se ha diseñado para estructuras de acero expuestas a desgaste abrasivo. Las propiedades de resistencia al desgaste de Raex® alargan significativamente la vida útil de los equipos, con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero.

Raex® amplía la vida útil de las estructuras de acero gracias a la reducción del peso en comparación con el acero al carbono blando. La ligereza de los componentes aumenta la capacidad de carga, lo que ahorra combustible y reduce las emisiones al necesitar menos camiones en servicio.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	3
1 MÉTODOS DE PLEGADO	4
2 PREPARACIÓN ANTES DEL PLEGADO	5
3 INSTRUCCIONES DE PLEGADO	6
3.1 Instrucciones de plegado para el taller	6
3.2 Fuerza de plegado	6
3.3 Radio de plegado mínimo	7
3.4 Separación de la chapa que se va a plegar	8
4 MECANIZACIÓN	9
4.1 Taladrado	9
4.2 Roscado de máquina	10
4.3 Serrado	11
4.4 Fresado y torneado	12
5 SEGURIDAD OCUPACIONAL	13

# INTRODUCCIÓN

Raex® se produce con materias primas cuidadosamente seleccionadas en un proceso integral bien controlado de laminación del acero. El resultado es una calidad constante y excelentes cualidades de dureza, capacidad de plegado, calidad de la superficie y planicidad. Los aceros Raex® están disponibles como placas pesadas y chapas con longitudes cortadas a la medida con un intervalo de dureza de 300 – 500 HB. Es fácil trabajar con Raex® en el taller gracias a sus buenas propiedades para el corte, la soldadura y el plegado. También prolonga la vida útil de la maquinaria y permite crear diseños de productos ligeros que mejoran el consumo energético.

En el folleto se describen los principios de plegado libre y 'bottoming' (plegado tocando el fondo), además de facilitar recomendaciones prácticas para el plegado de Raex. Normalmente la fuerza de plegado y el nivel de recuperación elástica aumentan a medida que aumenta

la resistencia del acero. Para aprovechar las ventajas de la óptima capacidad de plegado de Raex, deben seguirse buenas prácticas de trabajo en el taller. Unas herramientas gastadas, una lubricación deficiente, daños en la superficie, rebabas en los bordes de corte, etc., pueden perjudicar la calidad de plegado. Las chapas almacenadas en un lugar frío deben dejarse calentar hasta alcanzar la temperatura ambiente antes del conformado en frío.

Además de las instrucciones de plegado, el folleto recopila información y recomendaciones sobre el mecanizado de Raex®, incluyendo los siguientes métodos:

- taladrado
- roscado
- serrado
- fresado y torneado.



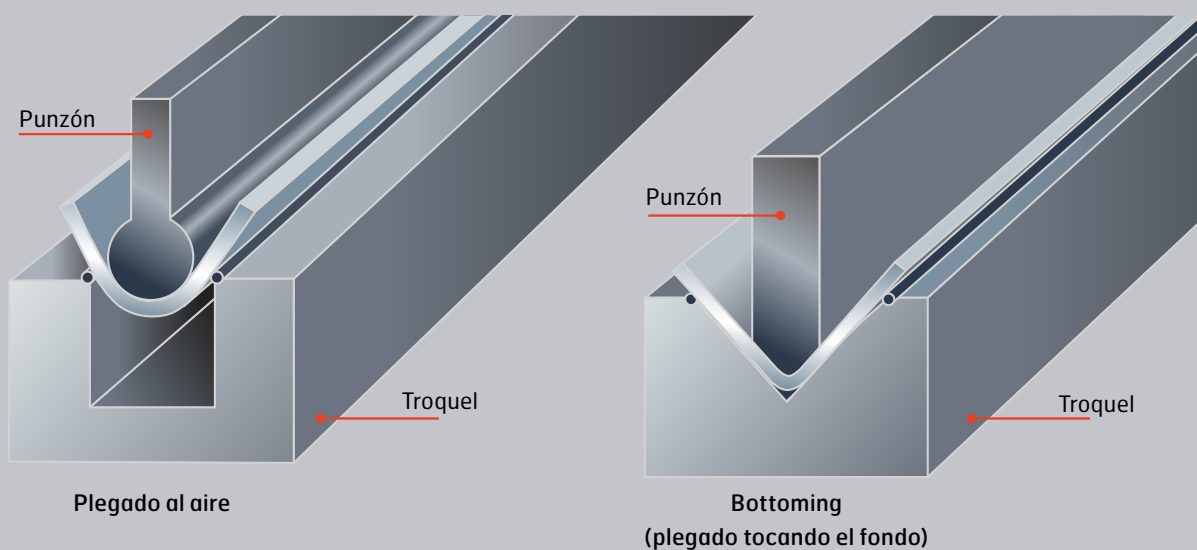
# 1 MÉTODOS DE PLEGADO

La chapa se pliega hasta el ángulo designado o el radio de plegado libre en una prensa plegadora entre el punzón y el troquel.

En el plegado al aire, la chapa se apoya en los bordes superiores de la separación del troquel durante toda la duración de la pasada. Se obtiene el radio de plegado deseado ajustando la longitud del impacto (Figura 1). La separación del troquel se puede ajustar.

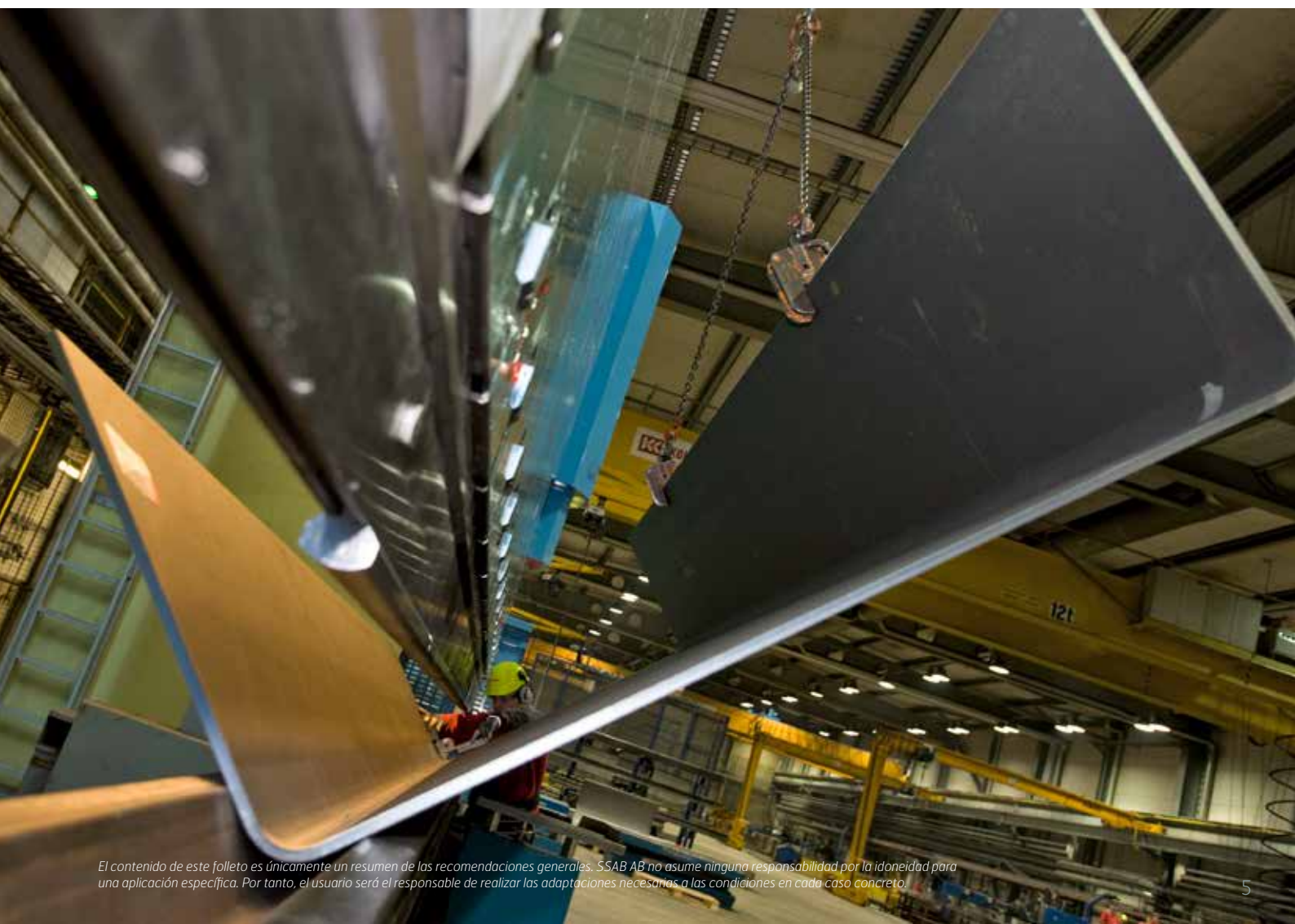
En el 'bottoming' (plegado tocando el fondo), la longitud de la carrera es suficiente para que el punzón presione totalmente la placa contra el troquel. Se crea así en la chapa una forma correspondiente al punzón y el troquel (Figura 1). La separación del troquel (ranura en V) es fija y no se puede ajustar la anchura.

**FIGURA 1. MÉTODOS Y HERRAMIENTAS DE PLEGADO.**



## 2 PREPARACIÓN ANTES DEL PLEGADO

- La temperatura de la chapa debe ser como mínimo de +20 °C.
- Antes de las operaciones de plegado, se recomienda guardar un día las chapas en un lugar frío y bajo resguardo .
- Si es necesario, se debe calentar con una llama la zona que se va a plegar.
- El precalentamiento entre +100 y +200 °C reduce la fuerza necesaria de plegado y mejora la capacidad de plegado en general.
- Identifique la dirección de laminado de la chapa.
- Los posibles defectos superficiales del lateral de tensión de la chapa deben amolarse.
- Elimine los defectos del borde cortado de una chapa cortada térmica o mecánicamente, al menos en la zona que se va a plegar.
- Un granallado excesivo puede tener un efecto negativo sobre la capacidad de plegado. Las recomendaciones para los productos de acero Raex® se basan en ensayos con superficies sin granallar.



## 3 INSTRUCCIONES DE PLEGADO

- Durante el plegado se deben seguir las instrucciones de seguridad.
- La necesidad de fuerza de plegado, el efecto de recuperación elástica y el radio admitido de plegado aumentan a medida que aumenta la resistencia del acero.
- El radio de plegado debería ser lo más grande posible.
- El plegado se debe realizar en una única pasada.
- Para optimizar los resultados del trabajo en taller, combine datos teóricos y empíricos.
- Los valores de plegado se definen sobre la base de la prueba de plegado, teniendo en cuenta el grado de recuperación elástica.
- El efecto de recuperación elástica de Raex® 400 es 8°–25° y el de Raex® 500 15°–35°, dependiendo de los parámetros de las herramientas de plegado. Los troqueles con separaciones más anchas dan lugar a una recuperación elástica mayor.
- Se recomienda realizar siempre ensayos de prueba.

### 3.1 INSTRUCCIONES DE PLEGADO PARA EL TALLER

En la práctica del plegado o el rebordeado, el diámetro del punzón se define en función de la calidad del acero, el espesor de la chapa y el radio de plegado. En la Tabla 1 se

indica el diámetro de punzón más pequeño (D) para Raex® 400, Raex® 450 y Raex® 500 sobre la base del espesor de la chapa (t).

### 3.2 FUERZA DE PLEGADO

La fuerza de plegado (P, en toneladas) necesaria del acero se puede estimar mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{b \cdot t^2 \cdot R_m}{(W - R_d - R_p) \cdot 9800}$$

P = fuerza de plegado, toneladas

t = espesor de chapa, mm

W = anchura del troquel, mm (Figura 2)

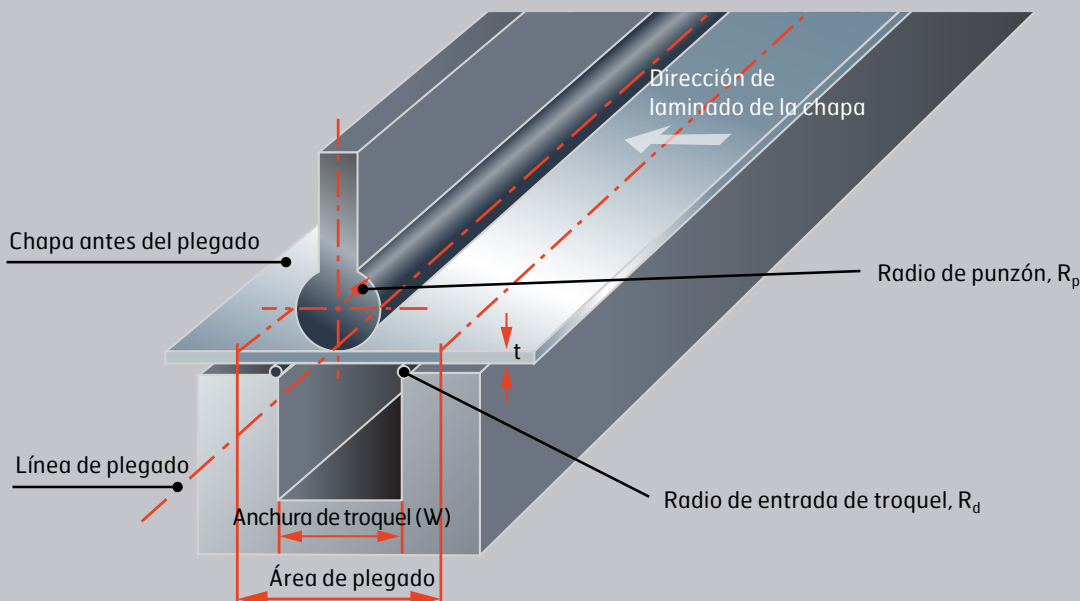
b = longitud de plegado, mm

R<sub>m</sub> = carga de rotura, MPa (Tabla 2)

R<sub>d</sub> = radio de entrada del troquel, mm (Figura 2)

R<sub>p</sub> = radio de punzón, mm

**FIGURA 2.** SE RECOMIENDA UN PLEGADO TRANSVERSAL A LA DIRECCIÓN DEL LAMINADO.



**TABLA 1. ACEROS RAEX® RESISTENTES A LA ABRASIÓN. INSTRUCCIONES DE PLEGADO PARA EL TALLER.**  
 Selección del diámetro mínimo permisible de punzón para Raex®, según el espesor de chapa y el radio de plegado

Espesor de chapa	Raex® 400		Raex® 450				Raex® 500			
	Diámetro de punzón más pequeño D (mm) en plegado transversal	Diámetro de punzón más pequeño D (mm) en plegado longitudinal	Diámetro de punzón más pequeño D (mm) en plegado transversal		Diámetro de punzón más pequeño D (mm) en plegado longitudinal		Diámetro de punzón más pequeño D (mm) en plegado transversal		Diámetro de punzón más pequeño D (mm) en plegado longitudinal	
	Fleje/chapa	Fleje/chapa	Fleje	Chapa	Fleje	Chapa	Fleje	Chapa	Fleje	Chapa
2	12	16	12		16					
2,5	15	20	15		20		17,5		20	
3	18	24	18		24		21		24	
4	24	32	24		32		28		32	
5	30	40	30		40		35		40	
6	36	48	36	48	48	60	42	60	48	72
7	42	56	42	56	56	70	49	70	56	84
8	48	64	48	64	64	80		80		96
9	54	72		72		90		90		108
10	60	80		80		100		100		120
11	66	88		88		110		110		132
12	72	96		96		120		120		144
13	78	104		104		130		130		156
14	84	112		112		140		140		168
15	90	120		120		150		150		180
16	96	128		128		160		160		192
17	102	136		136		170		170		204
18	108	144		144		180		180		216
19	114	152		152		190		190		228
20	120	160		160		200		200		240

<sup>1)</sup> Dirección de plegado frente a dirección de laminación de la chapa.  
 Al plegar en la ranura en V (90°), la relación recomendada de ancho de troquel y espesor es W/t ≈ 15.

La tensión de rotura típica de los aceros Raex® se indica en la tabla 2.

**TABLA 2. ACEROS RAEX® RESISTENTES A LA ABRASIÓN. TENSIÓN DE ROTURA TÍPICA Y VALORES DE DUREZA.**

Calidad Raex	Tensión de rotura R <sub>m</sub> (MPa)	Dureza (HBW)
Raex® 300	1000	300
Raex® 400	1250	400
Raex® 450	1450	450
Raex® 500	1600	500



### 3.3 RADIO MÍNIMO DE PLEGADO

En la Tabla 3 se indican los radios mínimos de plegado de los aceros Raex® resistentes a la abrasión. En la práctica de los trabajos de ingeniería de plegado o rebordeado, se recomienda usar los radios interiores de plegado, que son mayores que los radios mínimos permisibles de plegado. Además de la chapa de acero, la calidad del plegado depende de las herramientas de plegado y la ejecución del trabajo. Un plegado correcto requiere que el procesador de los productos de acero disponga de una buena tecnología. Las herramientas desgastadas, una lubricación insuficiente, arañazos en la superficie del acero y las rebabas, ponen en peligro la calidad del procesamiento de conformado en frío.

**TABLA 3. ACEROS RAEX® RESISTENTES A LA ABRASIÓN. RADIO MÍNIMO DE PLEGADO R, ÁNGULO DE PLEGADO ≤ 90.**

Calidad Raex	Forma del producto	Espesor (mm)	Mínimo R/t transversal	Mínimo R/t longitudinal	Anchura de apertura de troquel Mínimo W/t
Raex® 300	Chapa	2 – 8	3	3	12
Raex® 400	Chapa	2 – 8	3	4	12
	Chapa	6 – 20	3	4	14
Raex® 450	Chapa	2 – 8	3	4	12
	Chapa	6 – 20	4	5	14
Raex® 500	Chapa	2.5 – 7	3,5	4	14
	Chapa	6 – 20	5	6	14

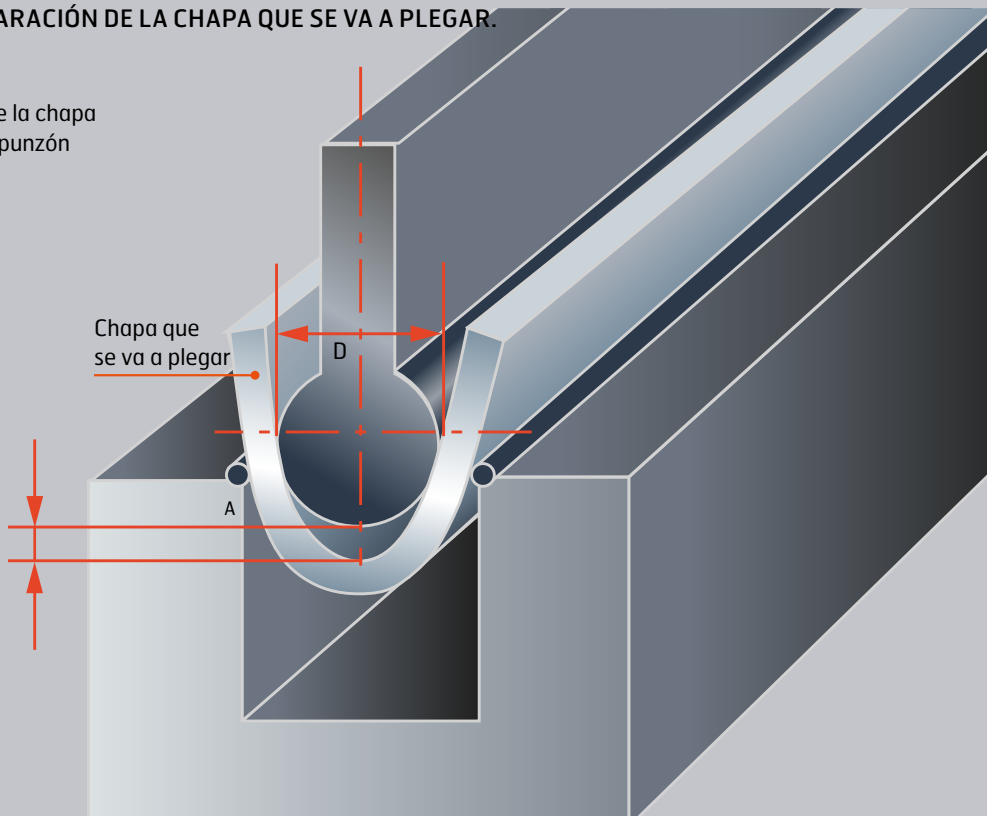


### 3.4 SEPARACIÓN DE LA CHAPA QUE SE VA A PLEGAR

En la Figura 3 se muestra la separación (A) de la chapa que se va a plegar desde el círculo del diámetro del punzón (D). La separación es un factor bien conocido para los trabajos de ingeniería que emplean aceros de alta resistencia. Normalmente, la precisión del ángulo de plegado final es más importante que el radio de la pieza de trabajo. Si también se desea un radio exacto de plegado, primero debe realizarse una prueba de plegado. Como resultado del plegado de prueba, se elige un radio de punzón que permita obtener el ángulo final de plegado que se desea. En la práctica, el radio de punzón es ligeramente más grande que el radio de plegado indicativo del acero.

**FIGURA 3. SEPARACIÓN DE LA CHAPA QUE SE VA A PLEGAR.**

A = Separación de la chapa  
D = Diámetro del punzón





## 4 MECANIZACIÓN

### INSTRUCCIONES GENERALES PARA EL MECANIZADO:

- La máquina debe ser rígida y estar estable.
- Fije la pieza de trabajo lo más rígida y cerca posible de la zona que se desea cortar.
- Evite los portaherramientas largos y los husillos en voladizo.
- No se permiten vibraciones perjudiciales durante ninguna fase del mecanizado.
- Se debe prestar especial atención al comenzar una operación de corte.
- Elimine los bordes irregulares mediante el mecanizado de las chapas cortadas por calor en la zona en la que se va a realizar el primer corte.
- Use una velocidad de avance y profundidad de corte suficientes.
- Asegure un suministro abundante de fluido de corte.
- Reduzca la velocidad de corte en caso de corte seco.
- Al mecanizar aceros resistentes a la abrasión de forma frecuente, utilizar herramientas de metal duro conforme a las fichas de datos de los fabricantes.

### 4.1 TALADRADO

Los parámetros recomendados de taladrado para brocas de acero de alta velocidad (HSS) sin alear y brocas HSS al cobalto se indican en las Tablas 4, 5 y 6. Además, en la Tabla 6 se indican los parámetros recomendados de taladrado para la calidad del acero Raex® 500 con brocas de metal duro. Raex® 400 y Raex® 450 se pueden perforar con brocas HSS. Para el taladrado de Raex® 500 se recomiendan brocas de metal duro.

### INSTRUCCIONES GENERALES PARA EL TALADRADO:

- La máquina de taladrado debe ser rígida y estable para minimizar las vibraciones.
- Fije la pieza de trabajo de forma segura y cercana a la zona que se va a mecanizar.
- Se recomiendan brocas de orificio corto.
- La vida útil de la herramienta de taladrado se puede alargar reduciendo la velocidad de avance.
- Asegure un suministro abundante de fluido de corte.

**TABLA 4. RAEX® 400. PARÁMETROS RECOMENDADOS DE TALADRADO.**

	Diámetro de la broca (mm)	Velocidad de avance (mm/rev)	Velocidad de avance (mm/minuto)	Velocidad de corte (m/minuto)	Velocidad de rotación (rpm)
Broca HSS sin revestimiento	5	0,10	60–80	9–12	600–800
	15	0,20	40–50	9–12	200–250
	25	0,25	30–40	9–12	110–150
Broca HSS al cobalto sin revestimiento	5	0,10	70–100	12–15	800–950
	15	0,20	50–70	12–15	250–320
	25	0,20	25–30	9–12	110–150

**TABLA 5. RAEX® 450. PARÁMETROS RECOMENDADOS DE TALADRADO.**

	Diámetro de la broca (mm)	Velocidad de avance (mm/rev)	Velocidad de avance (mm/minuto)	Velocidad de corte (m/minuto)	Velocidad de rotación (rpm)
Broca HSS sin revestimiento	5	0,08	40–50	8–10	500–650
	15	0,20	35–45	8–10	170–210
	25	0,25	25–35	8–10	100–130
Broca HSS al cobalto sin revestimiento	5	0,10	60–75	8–10	600–750
	15	0,20	35–45	8–10	170–210
	25	0,20	15–20	6–8	75–100

**TABLA 6. RAEX® 500. PARÁMETROS RECOMENDADOS DE TALADRADO.**

	Diámetro de la broca (mm)	Velocidad de avance (mm/rev)	Velocidad de avance (mm/minuto)	Velocidad de corte (m/minuto)	Velocidad de rotación (rpm)
Broca HSS sin revestimiento	5	0,10	25	4	250
	15	0,15	15	4	85
	25	0,15	8	4	50
Broca HSS al cobalto sin revestimiento	5	0,10	25–35	4–6	250–380
	15	0,15	15–20	4–6	80–130
Broca maciza de metal duro	16	0,15	120	40	800



#### 4.2 4.2 ROSCADO DE MÁQUINA

Para el roscado, se recomiendan roscas HSS-E micro-aleadas o HSS aleadas con cobalto con cuatro bordes de corte. Para obtener los mejores resultados, usar aceite o pasta de corte. Cuando la resistencia de la junta no es fundamental, se recomienda usar orificios de rosca un 3–5 % mayores que los valores estándar. Un diámetro de orificio más grande aumentará considerablemente la vida útil de la herramienta. Durante el pase de roscado, asegurarse de que es posible eliminar las virutas sin dar la vuelta a la herramienta ni alternar el sentido de giro. Los orificios superficiales se deben roscar con las roscas apropiadas, ver la Tabla 7.

**TABLA 7. RAEX. ROSCADO DE MÁQUINA, ROSCA HSS-E.**

	Velocidad de corte (m/min)	Tamaño de rosca					
		M10 Velocidad del husillo (rpm)	M16 Velocidad del husillo (rpm)	M20 Velocidad del husillo (rpm)	M24 Velocidad del husillo (rpm)	M30 Velocidad del husillo (rpm)	M42 Velocidad del husillo (rpm)
Raex® 400	3,6	115	80	63	53	42	30
Raex® 500	1,6	50	40	32	25	21	15

### 4.3 SERRADO

Al elegir la máquina y la hoja de serrado, tenga en cuenta la alta dureza y resistencia de los aceros. Asegure un suministro abundante de fluido de corte. Con una sierra de cinta se obtienen los mejores resultados con un paso de diente asimétrico; ver la Tabla 8.

#### INSTRUCCIONES GENERALES PARA EL SERRADO CON SIERRA DE CINTA

- La hoja debe estar bien sujeta y tensa.
- Deben eliminarse, mediante mecanizado, las rebabas y la capa endurecida producida por el corte por llama de la zona en la que se va a comenzar el serrado.
- Evite las distancias largas de eliminación de virutas, por ejemplo fijando la pieza de trabajo rígidamente en una posición oblicua.
- Si la longitud de corte no se puede reducir, se puede utilizar una hoja con un paso de diente más ancho .
- Las presiones de los dientes deben ser razonablemente altas.
- Se puede eliminar el ruido de la hoja ajustando la velocidad de corte.
- Se recomienda comenzar siempre el serrado con una velocidad de avance manual. La velocidad de avance debe ajustarse para colocar la hoja con un contacto suficientemente estable.
- La dureza y la resistencia de la pieza de trabajo se deben tener siempre en cuenta a la hora de ajustar la velocidad de avance.
- Asegure un caudal abundante de fluido de corte para que la hoja permanezca húmeda durante el corte>.
- Los daños en los dientes tienen lugar, entre otros, durante la fase de salida, cuando la hoja se puede atascar, mover irregularmente, sufrir sacudidas, etc.

**TABLA 8. RAEX. DATOS DE CORTE PARA EL SERRADO.**

	Velocidad de corte m/min Longitud de corte mm		
	100	200	300
Raex® 400	60	50	40
Raex® 500	40	35	30

#### 4.4 FRESADO Y TORNEADO

La operación más común de fresado en los aceros resistentes a la abrasión es el desbaste. La fresadora debe ser rígida y de alta resistencia. Se deben usar herramientas revestidas con metal duro. Respecto a los datos de corte, el torneado es en general parecido al fresado; ver la tabla 9.

#### INSTRUCCIONES GENERALES PARA EL FRESADO:

- Asegure un suministro abundante de fluido de corte.
- Comience las operaciones de fresado con cuidado.
- Las rebabas y la capa endurecida - producida por el corte por llama de la zona en la que se va a comenzar el fresado - deben eliminarse mediante mecanizado.
- En el tren de desbaste, el primer corte debe ser lo suficientemente grande para evitar que el borde cortado se adhiera a la superficie endurecida con cascarilla de la pieza de trabajo.

**TABLA 9. RAEX. DATOS DE CORTE PARA EL DESBASTE.**

Tren de desbaste húmedo	Inserto indexable P40		
	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/diente)	Profundidad de corte (mm)
Raex® 400	75–90	0,1–0,2	2–5
Raex® 500	60–75	0,1–0,15	1–4

*Si las condiciones son óptimas, será posible elevar los valores de corte hasta en un 50%.*

*Para el fresado en seco, se recomiendan unos valores un 20–30 % inferiores.*

## 5 SEGURIDAD OCUPACIONAL

Se debe prestar especial atención al procesar y manipular aceros de ultra-alta resistencia. Si el radio de plegado, por ejemplo, es demasiado pequeño y se forma una grieta en el punto de plegado, la chapa podría salir despedida de la herramienta de plegado en la dirección del plegado. Los encargados de plegar la chapa deben tomar precauciones apropiadas para protegerse. No se debe permitir el acceso a personal no autorizado a la zona de trabajo.

Normalmente, el lugar más seguro es junto a la máquina de plegado. Se deben seguir escrupulosamente las instrucciones de manipulación del proveedor del acero y las instrucciones de seguridad de la fábrica o el taller. Los nuevos empleados deberán recibir una formación adecuada antes de trabajar con aceros de ultra-alta resistencia.