



③ Reglas de referencias del plegado.

Existen unas 9 reglas básicas que debemos conocer, lo que denominaremos el “El ABC de la tecnología de conformado con prensa plegadora”.

1. Elección de la matriz ideal.

Para un cálculo preliminar y rápido siempre se piensa en 8 veces el espesor (8 x E), pero para mayor precisión adoptando una decisión de fuerza ideal de plegado se debe tener en cuenta otras relaciones en función del espesor de la chapa, con lo mostramos en la siguiente tabla.

Rango espesores	0,5 – 2,6	3 - 8	9 – 10	> 10
V recomendada	6 x Espesor	8 x Espesor	10 x Espesor	12 x Espesor

2. Punzón de radio para el plegado de chapas gruesas.

Para el plegador de chapas gruesas (espesor de 10 mm o más), se recomienda el uso de punzón con un radio adecuado en la punta y matrices de radio grande o de rodillos o de baja fricción. En este tipo de chapas, se debe seguir de cerca las recomendaciones del fabricante en cuanto al radio mínimo para evitar fisuras durante el plegado, por eso lo del radio en la punta del punzón.

Los radios grandes en las matrices ayudan a disminuir la fricción durante el proceso de plegado y por tanto, se disminuyen las fuerzas de plegado.

Para estos casos, un cálculo rápido que ayuda mucho para la selección de la matriz es el de asumir, que la abertura de la matriz sea igual al diámetro de la punta del punzón (2xR) más aproximadamente 3 veces el espesor de la chapa

$$V = D_p + (3 \times E) \quad \text{ó} \quad V = (2 \times R_p) + (3 \times E)$$

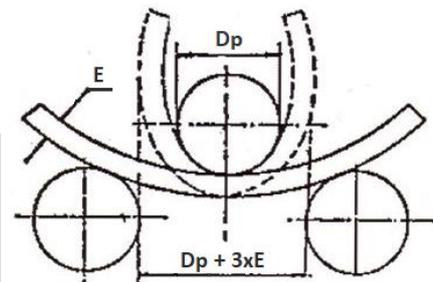
donde:

V = abertura de la matriz

D_p = diámetro de la punta del punzón

R_p = radio del punzón

E = espesor de la chapa



NOTA: Con esta relación podemos lograr hasta plegamos más cerrados a 90°



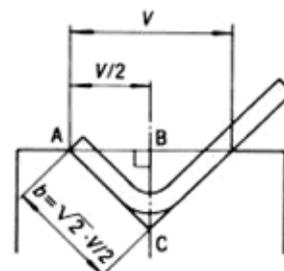
3. Cálculo ala mínima en plegados a 90°.

El cálculo del ala mínima se puede determinar a través de la siguiente fórmula:

$$b = \sqrt{2} \times V/2$$

Esta ecuación es válida para plegados a 90° y conociendo la abertura de la matriz (V)

Esta ecuación satisface el criterio de que el ala mínima (b) medida exteriormente es igual a 0,7 veces la abertura de la matriz



$$b_{\text{mínima}} = 0,7 \times V$$

Valores prácticos obtenidos después de muchas pruebas, mueven esta constante entre 0,59 y 0,65, por lo que proponemos usar la relación anterior $0,7 \times V$ como valor más seguro para todos los casos.

Aplicando las siguientes relaciones, podemos ver como se afecta el valor del ala mínimo calculado cuando el ángulo del plegado a obtener es distinto a 90°.

- 30° → $b \times 1,6$ (multiplicar el valor del ala por 1,6)
- 60° → $b \times 1,1$ (multiplicar el valor del ala por 1,1)
- 90° → $b \times 1$
- 120° → $b \times 0,9$ (multiplicar el valor del ala por 0,9)
- 150° → $b \times 0,7$ (multiplicar el valor del ala por 0,7)

4. Tolerancia en ángulo del plegado al aire.

Como ya hemos comentado en nuestras entregas anteriores, el plegado al aire es un proceso no tan preciso, pero el más utilizado por ser el más versátil y económico, por lo que se debe tener clara la tolerancia que se puede obtener con el mismo, para valorar si es recomendado el uso de su tecnología en nuestras piezas o no.

La tolerancia en el plegado al aire es de $\pm 30'$ ($\pm 0,5^\circ$) aproximadamente y en el plegado a fondo de $\pm 15'$ ($\pm 0,3^\circ$) aproximadamente.



5. Influencia del retorno elástico (springback).

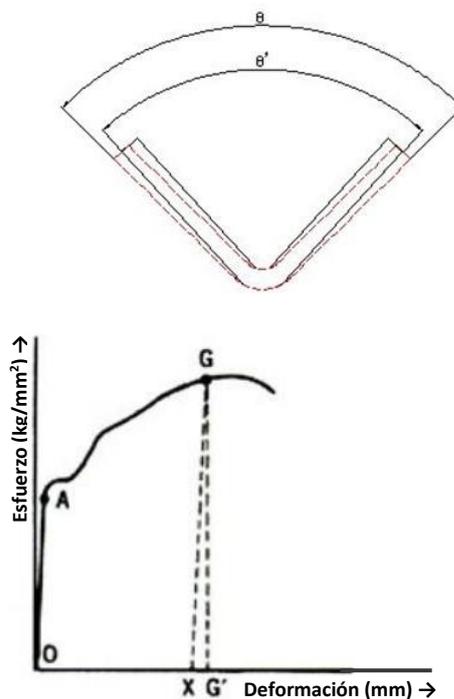
Cuando realizamos un plegado, la elasticidad de la chapa no se elimina, aunque el esfuerzo producido en la chapa haya excedido el límite elástico. Podemos considerar al límite elástico como el punto donde la chapa cede al esfuerzo.

La plasticidad está más allá de este punto de límite elástico, motivo por lo que existe el retorno elástico. Mientras más nos acercamos a la frontera del límite plástico, menos retorno del material tendremos.

Zona OA, región elástica donde el esfuerzo es proporcional a la deformación.

Zona XG', denota que en la zona plástica se conserva cierta elasticidad.

Zona OX, se muestra la cantidad de deformación permanente.



En plegados al aire, el retorno elástico del material es mayor que en el plegado a fondo, esto es debido a que se ejerce menos presión sobre la chapa y al estar apoyada solo en 3 puntos, esta está más libre de escurrirse o estirarse.

Es muy importante consultar la hoja de características del fabricante del material

6. Precisión del plegado.

Se debe tener en cuenta que el plegado más preciso es el Plegado a fondo y acuñado y que el plegado menos preciso es el plegado al aire.

En el plegado al aire hay más retorno elástico del material, y se debe de realizar correcciones a la posición de bajada de la trancha para lograr el ángulo deseado.

El comportamiento del retorno elástico varía mucho a si se pliega a favor o en contra de la fibra de la chapa, por lo que las correcciones en una misma pieza pueden diferir entre las secuencias de plegado.



7. Radio interior del plegado.

El radio interior en plegado al aire se puede calcular por la fórmula:

$$R_{int} = V/6 \quad \text{donde se cumple la relación que el } R_{int}/\text{Espesor} = 1 - 2$$

Riesgo de fisura	Zona práctica	Radio muy grandes
$R_{int} < 1 \times \text{Espesor}$	$R_{int} = 1 \times \text{Espesor}$ $R_{int} = 1,1 \times \text{Espesor}$ $R_{int} = 1,3 \times \text{Espesor}$ $R_{int} = 1,45 \times \text{Espesor}$ $R_{int} = 1,6 \times \text{Espesor}$ $R_{int} = 1,75 \times \text{Espesor}$ $R_{int} = 2 \times \text{Espesor}$	$R_{int} > 2 \times \text{Espesor}$

NOTA: “En plegados a fondo y acuñado, el radio interior debe estar entre 1 y 2 veces el espesor.”

8. Cálculo de la Fuerza necesaria para el plegado al aire.

Durante mucho tiempo hemos escuchado la forma más rápida de calcular la fuerza de plegado multiplicando el cuadrado del espesor por 66 y esto dividido entre la abertura de la matriz.

$$\text{Ton} = \frac{66 \times E^2}{V} \quad \text{válida para resistencia mecánica de } 42\text{-}45\text{Kgf/mm}^2$$

Esta fórmula sigue siendo válida, como no, pero tiene un alto coeficiente de seguridad, por lo que cuando vamos justos en los cálculos y necesitamos obtener un valor más preciso y cercano a la realidad, le aconsejamos seguir la siguiente formulación:

$$\text{Ton} = \frac{K \times E^2 \times \sigma_m \times L}{V}$$

donde:

E= Espesor de la chapa en mm.

V = Abertura de la V de la matriz en mm.

σ_m = Resistencia mecánica de la chapa en Kgf/mm^2

L = longitud de plegado de la chapa en metros.

V = abertura de la matriz en mm.

K = ¿? Es un coeficiente constante que permite afinar el valor de tonelajes necesarios para el plegado.

La precisión real de este cálculo, radica en determinar este valor de K, ya que varía según la relación de los parámetros, abertura de la V y el Espesor.



Podemos decir, que cuanto menor sea la relación V/E, mayor es el valor de K.

a ↓ valor de V/E = ↑ será el valor de K

El valor de K puede oscilar entre 1 y 2, por ejemplo, se dice que cuando la V es 8 veces el Espesor el valor de K=1.33

De todos modos, como el comportamiento es lineal, podemos determinar el valor de K con la siguiente fórmula, la que más se acerca a un valor real de esta constante:

$$K = [1+(4*E/V)]$$

NOTA: En plegado por *acuñado* se necesita aplicar **entre 5 y 10 veces más tonelaje** que en plegado al aire y **a veces entre 25 y 30 veces más** dependiendo de la profundidad y forma del mismo. Lo recomendado es de

- R = 0.4 x Espesor
- V = 5 x Espesor

9. Relación entre los parámetros que mayor influencia tienen en el plegado.

V	D min	R	Espesor de chapa en mm / Thickness of sheet in mm																						
			0,5	0,8	1	1,2	1,5	1,8	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9	10	12	15	18	20	
6	4,5	1	3	7	11																				
8	6	1,3		5	8	12	17																		
10	7	1,7			7	10	15	22																	
12	8,5	2				9	13	18	22																
16	11,5	2,7				6	9	13	17	26															
20	14,5	3,3						11	13	21	30														
25	18	4,2								17	24	33													
30	22	5								14	20	25	36												
32	23	5,4									18	23	34	42											
35	25	5,8										31	39	48											
40	29	6,7										27	34	42											
45	32	7,5										24	30	37	54	73									
50	36	8,3											28	32	48	65	85								
60	43	10										23	28	40	55	72	90								
70	50	11,5												24	34	47	62	77	96						
80	57	13,5													30	41	54	68	84	120					
90	64	15													27	37	48	60	75	110					
100	71	17													24	33	43	54	67	98	150				
130	93	22															42	52	75	116	167				
180	130	30																	55	85	122	150			
200	145	33																		76	110	134			
250	180	42																			86	108			

Fuerza necesaria en toneladas para un metro de plegado. Chapa Rm=42 kg/mm2 (plegado al aire)

Tonnage necessary for bend one meter. Sheet Rm=420 N/mm2 (bending air)

Plegados recomendados
Recommended bending



Relación entre Fuerza de Plegado y Anchura de la matriz.

$$F2 = F1 \cdot V1/V2$$

NOTA: Si queremos disminuir la abertura de una V para obtener un ala más pequeña hay que tener en cuenta que se necesitarán más Ton/m ya que es una **relación inversamente proporcional**, es decir,

↓V ↑Ton/m

↑V ↓Ton/m

Espesor=1.0 mm			Espesor=2.0 mm		
V(mm)	6	12	V(mm)	12	25
F(ton)	11	6	F(ton)	22	11

Además, hay que recordar que a medida que disminuimos la abertura de la V a la recomendada disminuye la precisión en el plegado.

Relación entre Fuerza de Plegado y espesor de la chapa.

$$F = K \cdot E^2$$

Existe un concepto ERRONEO de que la relación es directamente proporcional, es decir, que si el espesor es el doble se requiere del doble de fuerza **“NO ES CIERTO”**

Con una V = 12 mm plegamos			Con una V = 32 mm plegamos		
Espesor(mm)	1	2	Espesor(mm)	3	4
Fuerza (ton)	6	22	Fuerza (ton)	19	34

Como podemos ver en la tabla anterior la relación viene determinada por **el cuadrado del espesor de la chapa**: $F = K \cdot E^2$



Relación entre la Fuerza de Plegado F y la longitud de plegado L

$$F2 = F1 * (T1/T2)^2$$

Las fuerzas que encontramos en las tablas es la fuerza necesaria para plegar una chapa de 1 m de longitud. La fuerza total de plegado es:

$$F2 = F1 * (T1/T2)^2 \text{ Una relación inversamente proporcional}$$

Relación entre fuerza de plegado y resistencia de la chapa.

$$F2 = Ftabla * (\sigma2 / \sigmatabla)$$

La Tabla corresponde al comportamiento de chapas de acero dulce (0,2% de Carbono) con una resistencia mecánica $\sigma_m = 45 - 50 \text{ Kgf/mm}^2$. Por tanto, la fuerza requerida para cualquier otro material se puede calcular fácilmente ya que es una **relación directamente proporcional**.

$$F2 = Ftabla * (\sigma2 / \sigmatabla)$$

NOTA: “Una vez calculado este dato es importante verificar si el punzón y la matriz que queremos utilizar puede soportar este tonelaje.”

A continuación, mostraremos una pequeña tabla con algunos de los materiales más usados con sus correspondiente Resistencia a la tracción (Rm ó σ).

Material	Rm ó σ en Kgf/mm2	Material	Rm ó σ en Kgf/mm2
Acero dulce 0,2% C	42-45-50	AISI 303	59
Aluminio	25	AISI 304	58
St 52-3	50-64	AISI 310	64
S355MC	43-55	AISI 316	58
Ste 690	71-94	AISI 316L	55
Ste 890	95-110	AISI 420	71
Ste 960	96	AISI 430	55
QstE 690TM(S650MC)	70-88	Hardox 400	125
S700	Min 68	Hardox 450	140
S900A	Min 88	Hardox 500	155
S1100	Min 108		