

CAPÍTULO 2

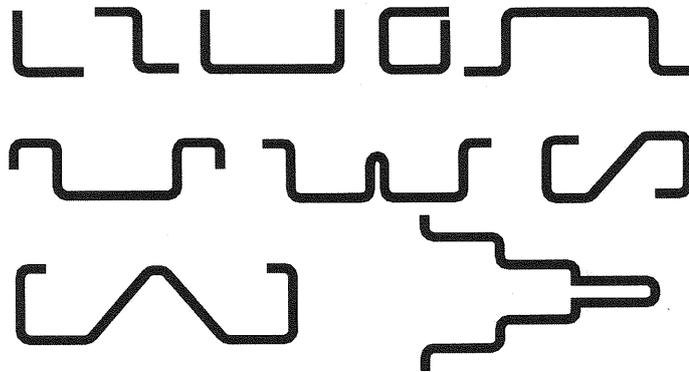
MATRICES, MOLDES Y UTILLAJES

DOBLADO Y CURVADO

1. DOBLADO

Tiene por objeto obtener piezas de chapa conformadas por medio de prensas o máquinas plegadoras, según se trate de chapas de pequeñas dimensiones en el caso de las prensas o de grandes dimensiones, en el caso de las plegadoras.

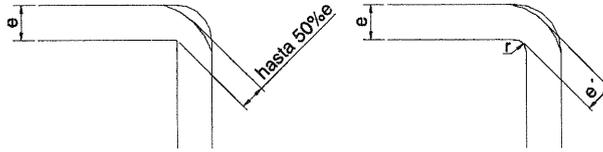
Ejemplos de perfiles doblados:



En el doblado intervienen básicamente dos factores: la elasticidad del material y el radio de curvatura.

La elasticidad influye en la recuperación del material, por lo que es necesario acentuar los ángulos de doblado; el radio de curvatura influye en la variación de espesor e incluso en la aparición de grietas y posteriores roturas.

Radios de curvatura.- Debe evitarse el doblado sin radio interior (arista viva) pues influye en la variación de espesor de forma decisiva.



Valores del radio(r) interior

- Para materiales blandos → $e \leq r \leq 2e$
- Para materiales duros → $3e \leq r \leq 4e$

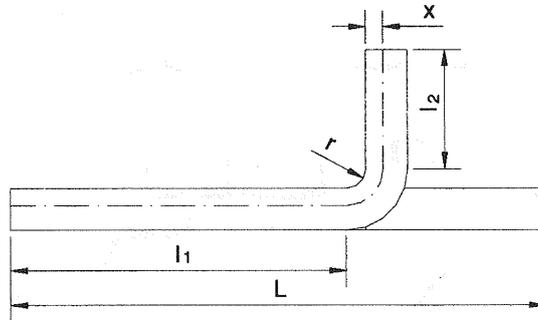
Influencia en la variación de espesor (e') en función del radio interior:

- Para $r=e$ $e' < 80\%e$
- Para $r=5e$ $e' < 95\%e$

Desarrollos.- Para la obtención de piezas dobladas, se calcula su desarrollo en base al perfil. Su cálculo se realiza según la fibra neutra, es decir, la fibra que no sufre variación de longitud.

DETERMINACIÓN DE LA FIBRA NEUTRA.

Mediante probetas.- Se dobla una muestra del mismo tipo de material y se mide.



$$L = l_1 + l_2 + \frac{\pi}{2}(r + x) \quad \Rightarrow \quad 2L = 2(l_1 + l_2) + \pi r + \pi x$$

$$x = \frac{2(L - l_1 - l_2) - \pi r}{\pi} = \frac{2(L - l_1 - l_2)}{\pi} - r$$

En función de la relación (r/e).

r/e	x=f(e)
0,2	0,347 e
0,5	0,387 e
1	0,421 e
2	0,451 e
3	0,465 e
4	0,470 e
5	0,478 e
10	0,487 e

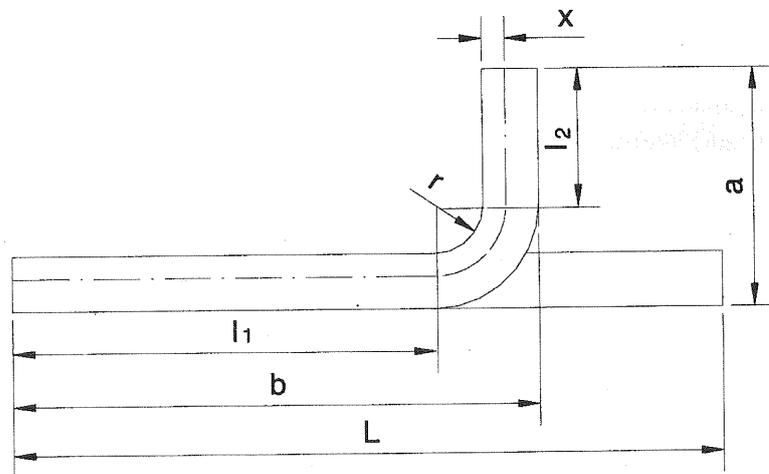
Como valores prácticos se puede tomar:

Para espesores hasta 2 mm. $\longrightarrow x = \frac{1}{2} e$

Para espesores de 2 a 4 mm. $\longrightarrow x = \frac{3}{7} e$

Para espesores mayores de 4 mm. $\longrightarrow x = \frac{1}{3} e$

Desarrollo de un elemento doblado a 90°



$$b = l_1 + (r + e)$$

$$a = l_2 + (r + e)$$

$$L = l_1 + (r + e) + l_2 + (r + e) - 2(r + e) + \frac{\pi(r + x)}{2} = b + a - \left[2(r + e) - \frac{\pi(r + x)}{2} \right]$$

Denominando "K" a $2(r + e) - \frac{\pi(r + x)}{2}$

La expresión se reduce a $L = a + b - K$

Para 2 dobleces: $L = a + b + c - 2K$ Para 3 dobleces: $L = a + b + c + d - 3K$ etc.

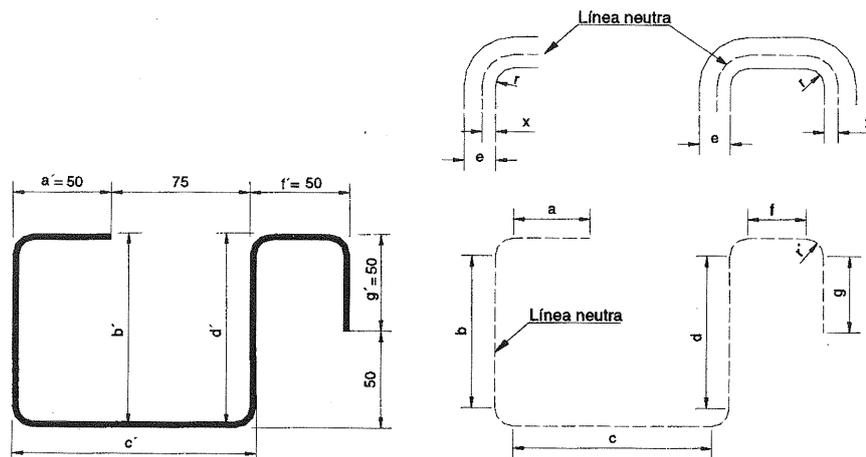
El valor de "K" se obtiene por tablas.

Valor de K en el doblado de chapas de hasta 4mm. de espesor. Doblado a 90°								
$K = 2(r + e) - \frac{\pi(r + x)}{2}$								
Espesor "e"	Radio interior "r"							
	0,2 e	0,5 e	1 e	2 e	3 e	4 e	5 e	10 e
0,5	0,77	0,80	0,88	1,07	1,28	1,49	1,70	2,76
0,8	1,23	1,28	1,41	1,72	2,04	2,38	2,72	4,42
1	1,54	1,60	1,77	2,15	2,56	2,98	3,40	5,53
1,2	1,84	1,92	2,12	2,58	3,07	3,57	4,08	6,63
1,5	2,31	2,40	2,65	3,22	3,84	4,47	5,10	8,29
2	3,08	3,20	3,53	4,30	5,12	5,96	6,80	11,06
2,5	3,85	4,00	4,42	5,37	6,40	7,45	8,50	13,82
3	4,62	4,80	5,30	6,45	7,68	8,94	10,20	16,59
3,5	5,39	5,60	6,19	7,52	8,96	10,43	12,90	19,35
4	6,16	6,40	7,07	8,60	10,24	11,92	13,60	22,12

NOTA: Los valores de "r" intermedios se calculan por interpolación.

Ejemplo:

Calcular el desarrollo de la siguiente figura cuyo perfil es de espesor e=2 mm., doblada a 90° con radio interior r= 3 mm.



Primer método: $a = g$ y $b = d$

$$\frac{r}{e} = 1,5 \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{r}{e} = 1 \Rightarrow x = 0,421e \\ \frac{r}{e} = 2 \Rightarrow x = 0,451e \end{array} \right. \Rightarrow x = 0,436e$$

$$x = 0,872$$

$$r' = r + x = 3,872 \text{ mm.}$$

$$L = 2a + 2b + c + f + 5 \frac{2\pi r'}{4} = 90 + 180 + 115 + 40 + 5 \frac{\pi 3,872}{2} = 455,4 \text{ mm.}$$

Segundo método:

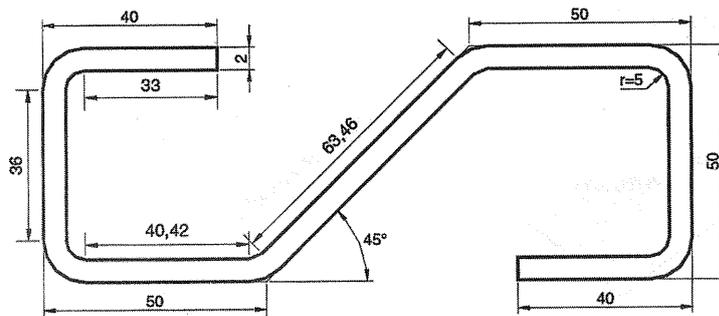
$$L = a' + b' + c' + d' + f' + g' - 5K$$

En las tablas: $1e < r < 2e$ puesto que $r = 1,5e$ interpolando $K = \frac{3,53 + 4,30}{2} = 3,915$

$$L = 50 + 100 + 125 + 100 + 50 + 50 - 5 \cdot 3,915 = 455,4 \text{ mm.}$$

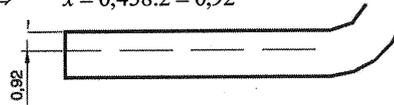
$$L = 455,4 \text{ mm.}$$

Ejercicio: Calcular el desarrollo del perfil de la figura de una chapa de 2mm. de espesor, doblada con radios interiores de 5mm.



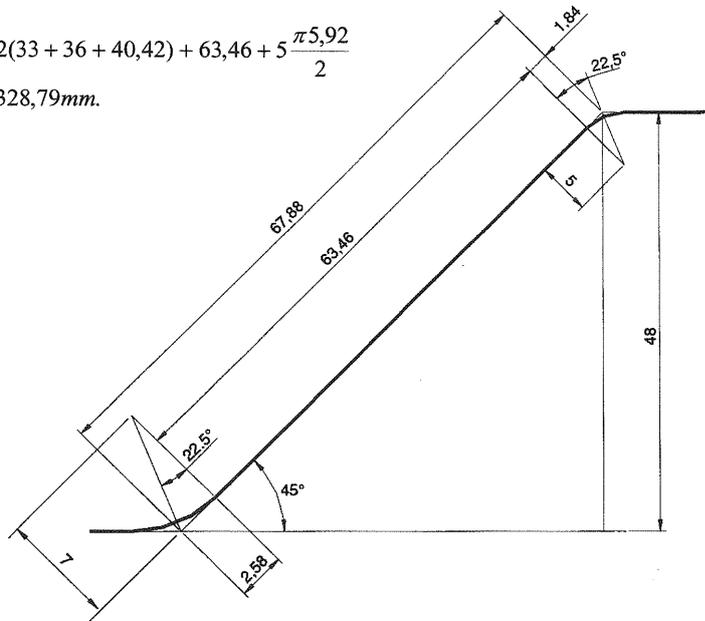
Cálculo de la fibra neutra: $\frac{r}{e} = \frac{5}{2} = 2,5 \Rightarrow 2 < \frac{r}{e} < 3$

Interpolando $\Rightarrow x = 0,458 \cdot 2 = 0,92$



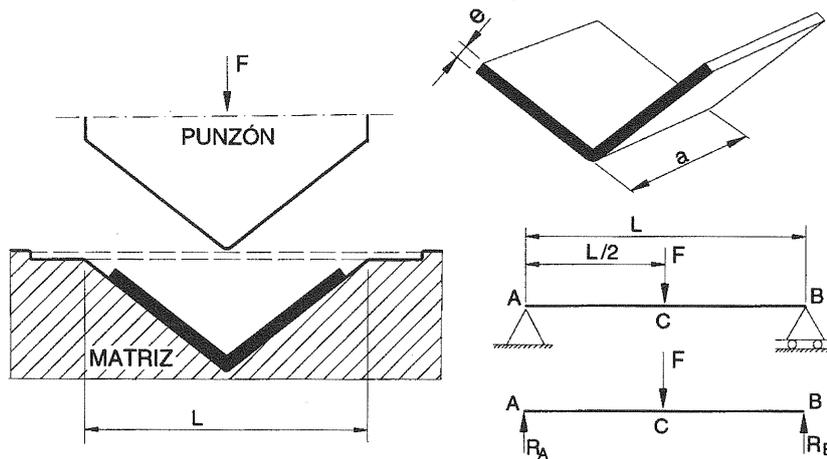
$$L = 2(33 + 36 + 40,42) + 63,46 + 5 \frac{\pi 5,92}{2}$$

$$L = 328,79 \text{ mm.}$$



2. FUERZA NECESARIA EN EL DOBLADO

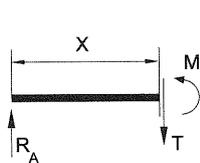
Para el doblado de una chapa es necesario aplicar una fuerza capaz de provocar una deformación permanente, cuyo comportamiento es similar al de una viga apoyada en sus extremos con carga puntual (F) en el centro.



REACCIONES EN LOS APOYOS

$$\sum F_i = 0 \Rightarrow R_A + R_D - F = 0 \quad \sum M_A = 0 \Rightarrow R_B \cdot L - F \frac{L}{2} = 0 \quad R_B = \frac{F}{2} = R_A$$

ESFUERZOS CORTANTES Y MOMENTOS FLECTORES

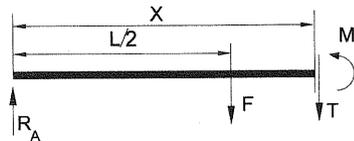


TRAMO AC

$$T = R_A = \frac{F}{2}$$

$$M = R_A \cdot X \quad (X=0 \Rightarrow M=0)$$

$$M = \frac{F}{2} \cdot X \quad (X = \frac{L}{2} \Rightarrow M = \frac{F \cdot L}{4})$$



TRAMO CB

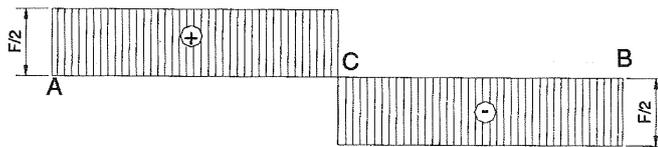
$$T = R_A - F = -\frac{F}{2}$$

$$\sum M_A = 0 = M - T \cdot x - F \frac{L}{2} \quad ; \quad M = T \cdot x + F \frac{L}{2}$$

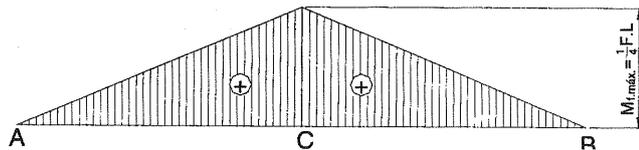
$$M = -\frac{F}{2} x + F \frac{L}{2}$$

$$(X = \frac{L}{2} \Rightarrow M = \frac{F \cdot L}{4}) \quad (X = L \Rightarrow M = 0)$$

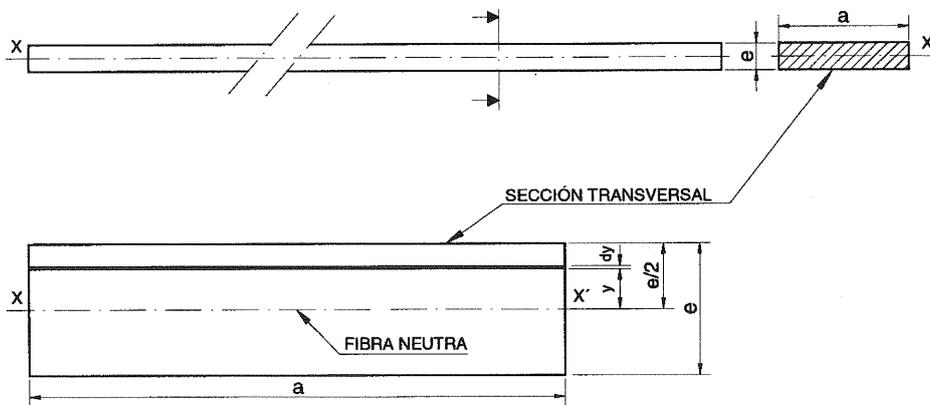
DIAGRAMAS DE ESFUERZOS CORTANTES Y MOMENTOS FLECTORES



MOMENTOS FLECTORES



- $M_f = \sigma.W$ Mf: Momento flector
 $W = \frac{I_g}{Y_{\text{máx}}}$ σ : Tensión correspondiente a la deformación permanente
 W: Momento resistente
 I_g : Momento de inercia de la sección transversal de la chapa (a.e) respecto al eje de la fibra neutra (se considera que pasa por el CG)
 $Y_{\text{máx}}$: Distancia de la fibra neutra a la fibra más alejada (e/2)



$$I_g = 2 \int_0^{e/2} y^2 a dy = \frac{2a e^3}{3 \cdot 8} = \frac{a e^3}{12}$$

$$I_g = \frac{a e^3}{12}$$

FUERZA NECESARIA

$$w = \frac{I_g}{Y_{\text{MÁX}}} = \frac{\frac{a e^3}{12}}{\frac{e}{2}} = \frac{a e^2}{6}$$

$$M_f = \frac{1}{4} F.L = \sigma \frac{a e^2}{6}$$

$$\frac{1}{2} F.L = \sigma \frac{a e^2}{3}$$

$$F = \frac{2\sigma a e^2}{3L}$$

La tensión por flexión correspondiente a la deformación permanente (σ) es aproximadamente igual al doble de la tensión de rotura por tracción (σ_R)

$$\sigma \cong 2\sigma_R \quad \Rightarrow \quad F = \frac{4\sigma_R a e^2}{3L}$$

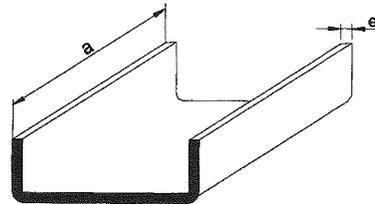
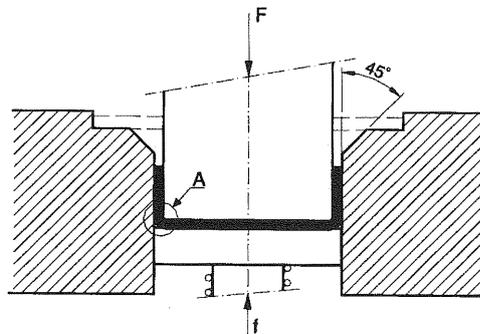
Ejemplo:

Se desea doblar una chapa de acero de 2 mm. de espesor cuya tensión de rotura es de 40 Kp/mm². La distancia entre apoyos es de 40 mm. y la anchura de banda 60 mm.

Calcular la fuerza necesaria para el doblado.

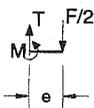
$$F = \frac{4\sigma_r a e^2}{3L} = \frac{4 \cdot 40 \cdot 60 \cdot 2^2}{3 \cdot 40} = 320 \text{ Kp.}$$

Fuerza máxima necesaria para el doblado de un perfil en "U"



Inicialmente se aplica una fuerza para obligar a adaptarse el material al chaflán de la matriz; esta fuerza es inferior a la necesaria para realizar los dos dobleces y vencer la del resorte (f).

DETALLE "A"



$$T = F/2$$

$$M = T \cdot e = \frac{F \cdot e}{2}$$

M=momento flector máximo

En este caso se considera la distancia entre apoyos el espesor de la chapa, teniendo en cuenta que es doble por tratarse de un perfil en "U".

Momento flector: $M_f = 2\left(\frac{F}{2} \cdot e\right)$

en función de I_g , $Y_{máx.}$ y σ $M_f = 2\left(\sigma \frac{a \cdot e^2}{6}\right) = \frac{\sigma \cdot a \cdot e^2}{3}$

$$M_f = F \cdot e = \frac{\sigma \cdot a \cdot e^2}{3} \Rightarrow \boxed{F = \frac{\sigma \cdot a \cdot e}{3}}$$

Ejemplos:

Calcular la fuerza necesaria para doblar una chapa en "U" de acero de resistencia a la rotura 40 Kp/mm², de 3 mm. de espesor y 60 mm. de ancho de banda.

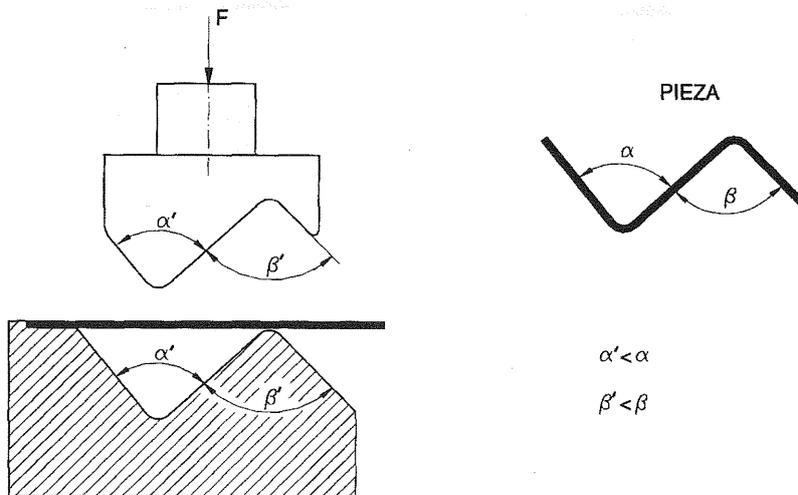
$$\sigma = 2\sigma_R = 80 \frac{Kp}{mm^2} \qquad F = \frac{80 \cdot 60 \cdot 3}{3} = 4800 Kp$$

Lo mismo, en el ejemplo de doblado simple en "L". ($\sigma = 40 \frac{Kp}{mm^2}$ a=60 mm. y e=2 mm.)

$$\sigma = 2\sigma_R = 80 \frac{Kp}{mm^2} \qquad F = \frac{80 \cdot 60 \cdot 2}{3} = 3200 Kp$$

3. RECUPERACIÓN ELÁSTICA

Cualquier material sometido a deformaciones permanentes tiende a recuperar, en alguna medida, su forma primitiva una vez que cesa la fuerza deformadora, debido a su elasticidad. En el doblado y curvado es preciso tenerlo en cuenta, especialmente al construir la estampa; los ángulos de la estampa deberán ser **menores** que los de la pieza que se desea obtener.



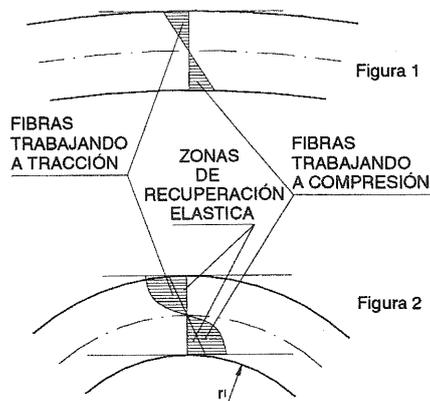
Factores que influyen en la recuperación elástica:

El tipo de material.- En un ensayo a tracción se puede comprobar cómo, tratándose de un acero u otro, de latón, aluminio, u otro tipo de material, los diagramas de deformaciones son distintos. Por ejemplo, un acero duro tiene mayor recuperación elástica que un acero al C.

El espesor del material.- A **mayor** espesor, **menor** recuperación elástica.

El radio de curvatura.- A **mayor** radio, **mayor** recuperación elástica.

Según se indica en la figura 1, debido a que es muy grande el radio de curvatura, se produce recuperación elástica por no haber sido superado el límite elástico. No ocurre lo mismo en el caso de ser muy pequeño el radio de curvatura; al contrario, según se indica en la figura 2, existe deformación permanente, aunque haya una cierta recuperación elástica.



Cálculo del radio del punzón en función del radio de curvatura, el espesor y el ángulo

Se parte de considerar la fibra neutra en medio del espesor.

El alargamiento unitario
$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L} = \frac{2\pi(r_i + e) - 2\pi\left(r_i - \frac{e}{2}\right)}{2\pi\left(r_i - \frac{e}{2}\right)} = \frac{e - \frac{2}{2}}{r_i + \frac{e}{2}} = \frac{e}{2r_i + e}$$

Si en curvaturas de radio grande se desprecia en el denominador $\frac{e}{2} \Rightarrow \varepsilon = \frac{e}{2r_i}$

Para que exista curvatura deberá superarse el límite elástico, por lo que $\varepsilon \geq \frac{\sigma}{E}$

El radio interior máximo será:
$$r_{i,max} = \frac{E \cdot e}{2\sigma}$$

Para calcular el radio interior mínimo no se puede despreciar $\frac{e}{2} \Rightarrow \varepsilon = \frac{e}{2r_i + e}$

$$2r_{i,min} + e = \frac{e}{\varepsilon} \Rightarrow 2r_{i,min} + e = \frac{e \cdot E}{\sigma} = \frac{e \cdot E}{\sigma} \Rightarrow r_{i,min} = \left(\frac{e \cdot E}{\sigma} - e\right) \frac{1}{2} = \frac{e}{2} \left(\frac{E}{\sigma} - 1\right) \Rightarrow r_{i,min} = \frac{e}{2} \left(\frac{E}{\sigma} - 1\right)$$

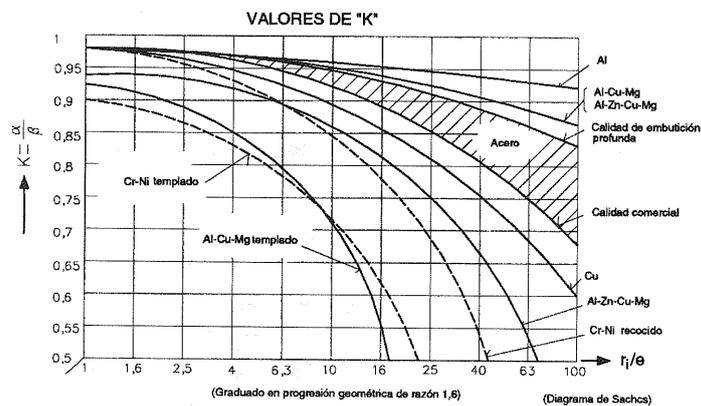
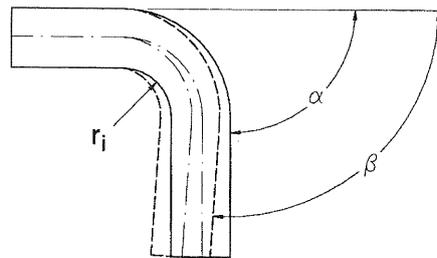
Para calcular el radio del punzón y de la matriz, se puede recurrir a la

siguiente expresión: $r = K \left(r_i + \frac{e}{2} \right) - \frac{e}{2}$

Siendo $K = \frac{\alpha}{\beta}$

$\alpha \Rightarrow$ Ángulo final (con recuperación)

$\beta \Rightarrow$ Ángulo deformado



Ejercicio:

Calcular el radio del punzón y el ángulo para doblar una chapa de Cu de 1 mm. de espesor a 90° con un radio de curvatura de 6 mm.

Para la relación $\frac{r_i}{e} = \frac{6}{1} = 6$ corresponde según tablas $K = \frac{\alpha}{\beta} = 0,95$

$$r = K \left(r_i + \frac{e}{2} \right) - \frac{e}{2} = 0,95 \left(6 + \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{2} = 5,7 \text{ mm.} \quad \text{Radio del punzón} = 5,7 \text{ mm.}$$

$$K = \frac{\alpha}{\beta} = 0,95 \quad \Rightarrow \quad \beta = \frac{\alpha}{K} = \frac{90^\circ}{0,95} = 94,74^\circ$$

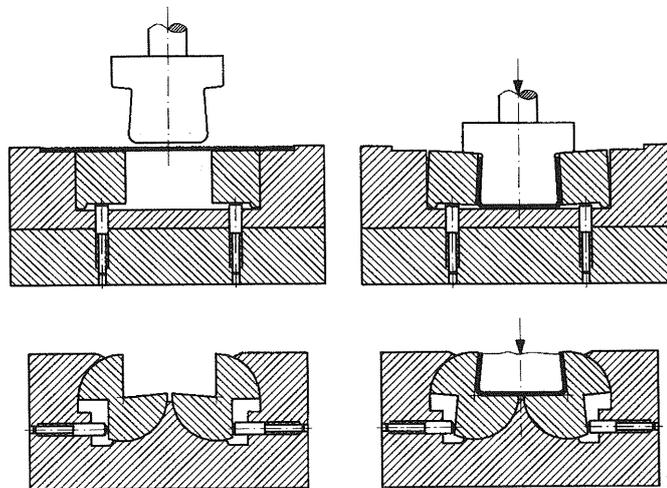
El ángulo del útil será: $180^\circ - 94,74^\circ = 85,3^\circ$

4. SISTEMAS DE DOBLADOS

Sistema de doblado mediante zapatas oscilantes.

Se trata de un sistema auxiliar que obliga a la chapa doblada a pronunciar el ángulo de doblado 2 a 3 grados, para que, una vez que cese la fuerza y el material se recupere elásticamente, se obtenga el ángulo deseado.

Ejemplo de mecanismos para el doblado en "U".



Otra variante del mecanismo consiste en incorporar dos piezas basculantes forzadas por la acción del punzón en el descenso, recuperándose posteriormente a su posición inicial por la acción de dos resortes laterales.

Doblado con matriz elástica

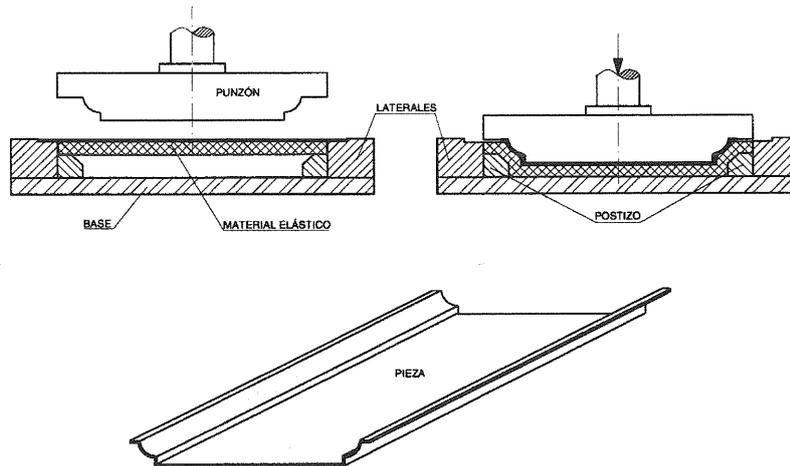
Doblar una chapa con punzones sobre matrices de material rígido (normalmente de acero) tiene la ventaja de obtener conformados de gran precisión, sobre todo cuando se trata de grandes series. También tiene el inconveniente de no ser flexible en cuanto a variedad y formas y, sobre todo, cuando se trabajan chapas de distintos espesores.

Para salvar este inconveniente, se recurre a fabricar matrices de materiales muy elásticos (goma, caucho, etc.), capaces de adaptarse a la forma del punzón y, por lo tanto, a la forma de la pieza que se desea obtener.

Este tipo de matrices elásticas tienen la ventaja añadida de servir de expulsor una vez que cesa la fuerza deformadora del punzón.

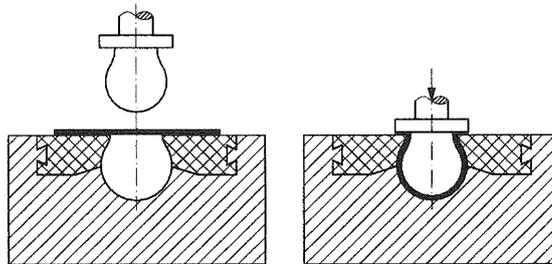
MATRICES, MOLDES Y UTILIAJES

La matriz se compone, además del material elástico, de un alojamiento formado por la base, los soportes laterales y los postizos que reproducen la forma de la pieza.



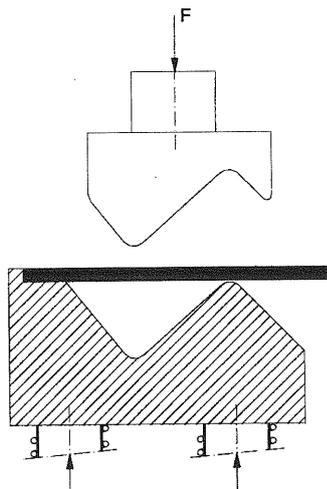
Otro ejemplo consiste en la inserción de postizos elásticos para la obtención de piezas como la de la figura.

La elasticidad de los tacos permiten pasar al punzón hasta el fondo de la matriz, obligando después a la chapa a adaptarse a éste.

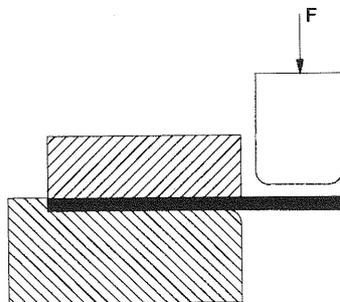


5. PROCEDIMIENTOS DE DOBLADO

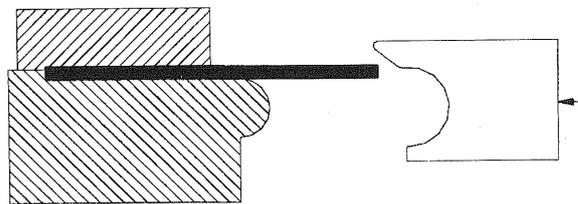
Dependiendo de las dimensiones y de la forma de la pieza que se quiere obtener, se suele elegir un procedimiento u otro o ambos a la vez.



Para piezas de grandes dimensiones en "V" se suele emplear el procedimiento **normal** o de acción central.



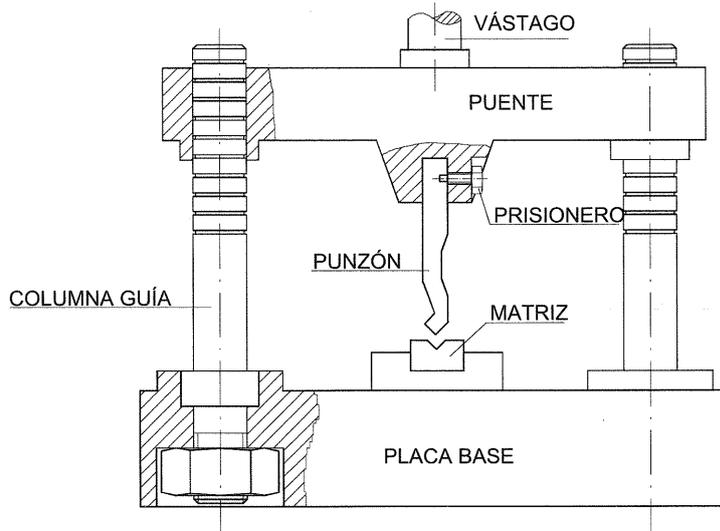
Para piezas pequeñas en "L" o en "U" se suele emplear el de acción **lateral**.



Para perfiles curvos y cerrados se emplea el de acción **frontal**.

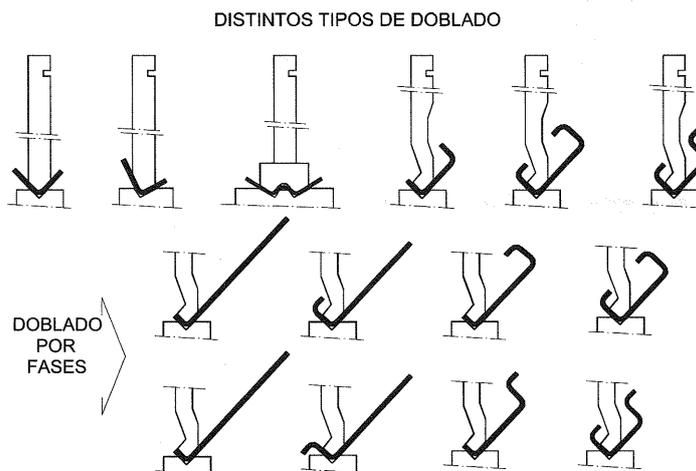
Útil doblador universal.- Consta de dos partes fundamentales, la parte fija donde va la matriz o estampa y la parte móvil portadora del punzón.

La placa portapunzones tiene un dispositivo de amarre para la fijación de los distintos punzones. Tanto la placa base como la placa portapunzones suelen ser de fundición, mientras que es acero el material empleado para el resto de los componentes.



El útil doblador universal permite la obtención de gran variedad de piezas dobladas según el punzón y matriz que se elija. Los hay que permiten más de una operación en especial, cuando se trata de dobleces a 90°.

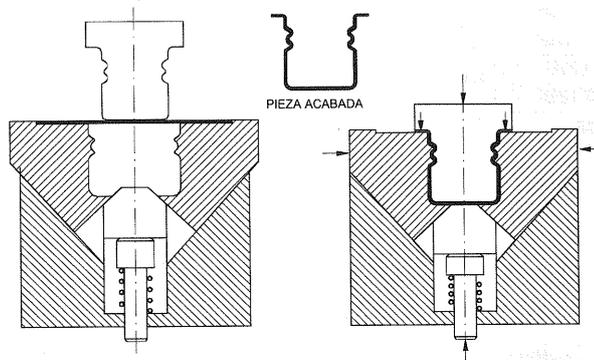
Ejemplos de punzones y matrices para distintas operaciones:



Conformado de perfiles. - Para la obtención de perfiles en una sola operación se puede recurrir a diseños de útiles de cierta complejidad, no obstante, y si se utilizan prensas de gran potencia, se puede resolver tal y como se indica en la figura.

Se trata de un útil capaz de conformar en una sola operación el perfil deseado actuando sobre la pieza en dos fases; en la primera se consigue el doblado en "U" con el descenso inicial del punzón; en la segunda, a medida que sigue descendiendo el punzón, presiona sobre una pieza en plano inclinado en cuyo desplazamiento ejerce una presión lateral sobre la pieza, obligándola a adaptarse a la forma lateral del punzón.

Con el retroceso del punzón, el extractor presiona sobre la pieza conformada y sobre el plano inclinado obligándole a abrirse.



En el siguiente ejemplo, se parte de un material preconformado. La acción consiste en obligar al material a adaptarse a la matriz con el descenso del punzón, a la vez que el plano inclinado hace girar las dos piezas laterales que presionan la chapa contra el punzón.

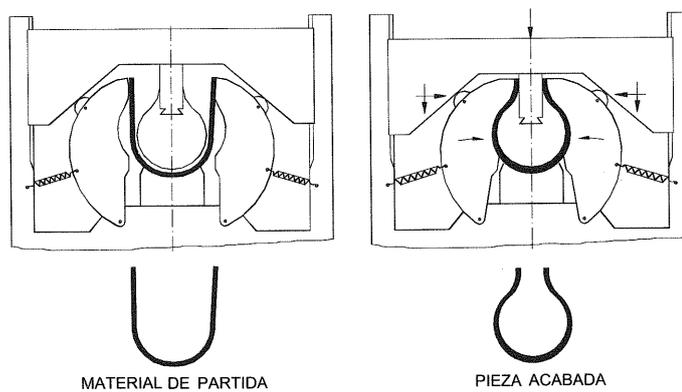
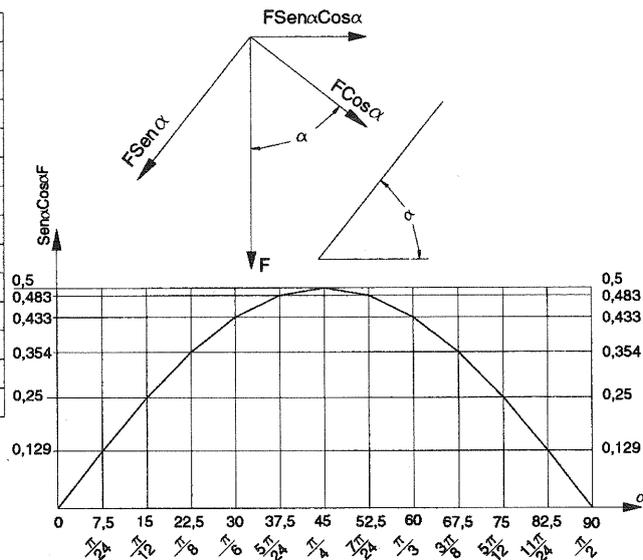
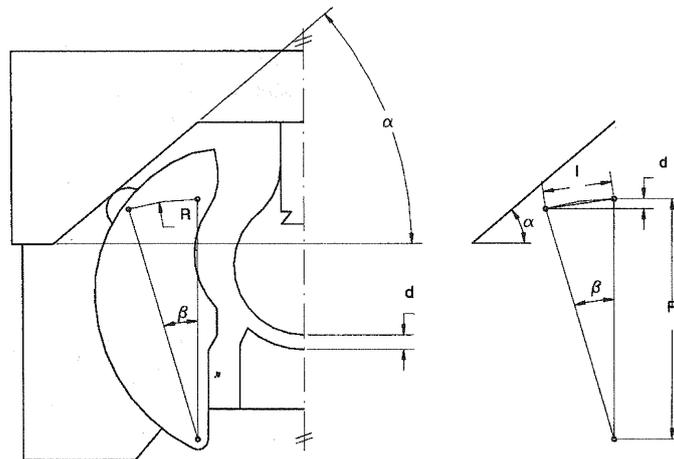


Diagrama de fuerza de deformación lateral en función de la fuerza de empuje del punzón a través del plano inclinado.

α	α	$F \text{ Sen} \alpha \text{ Cos} \alpha$
0	0	0F
$\frac{7,5}{\pi}$	7,5	0,129F
$\frac{15}{\pi}$	15	0,25F
$\frac{22,5}{\pi}$	22,5	0,354F
$\frac{30}{\pi}$	30	0,433F
$\frac{37,5}{\pi}$	37,5	0,483F
$\frac{45}{\pi}$	45	0,5F
$\frac{52,5}{\pi}$	52,5	0,483F
$\frac{60}{\pi}$	60	0,433F
$\frac{67,5}{\pi}$	67,5	0,354F
$\frac{75}{\pi}$	75	0,25F
$\frac{82,5}{\pi}$	82,5	0,129F
$\frac{90}{\pi}$	90	0F



Cálculo del ángulo de giro de los elementos basculantes.



$$\frac{l}{2} = R \text{ Sen} \frac{\beta}{2} \Rightarrow l = 2R \text{ Sen} \frac{\beta}{2} \Rightarrow \text{Sen} \alpha = \frac{d}{l} \Rightarrow \frac{d}{l} = 2R \text{ Sen} \frac{\beta}{2}$$

$$\beta = 2 \text{ Arco Sen} \frac{d}{2R \text{ Sen} \alpha}$$

6. OTRAS OPERACIONES DE DOBLADO

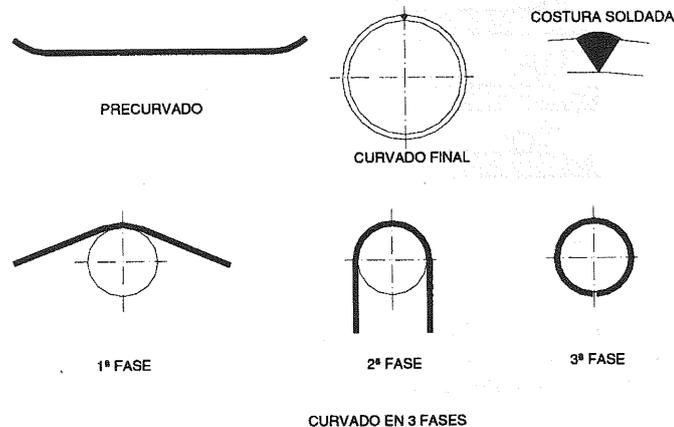
Curvado
Arrollado
Bordonado
Cercado
Perfilado
Engrapado

Curvado. - Consiste en conformar una chapa con radio constante. Se emplea en la fabricación de tubos.

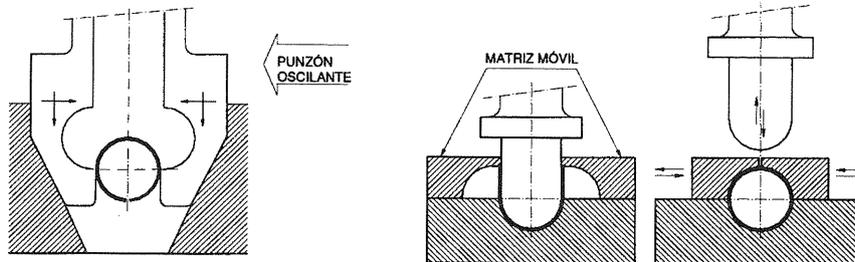
El curvado se puede realizar en una o varias fases dependiendo del tipo de útil curvador.

Si se quiere obtener tubo con costura soldada, es conveniente prever un precurvado en los extremos de la chapa que den como resultado final una unión en "V".

El precurvado se puede obtener con el punzón de corte dándole una convexidad adecuada a la curvatura deseada, siempre que la chapa no exceda de 1 mm. de espesor.



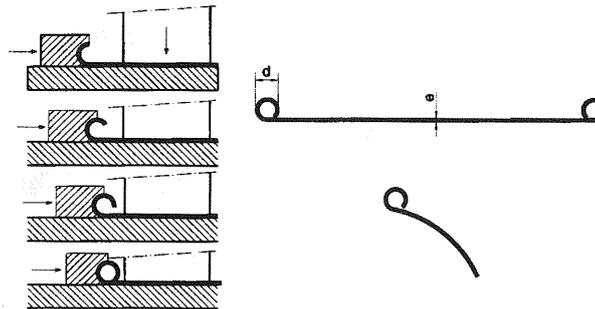
Si la segunda y tercera fase se realizan en una operación es necesario un punzón oscilante o una matriz móvil.



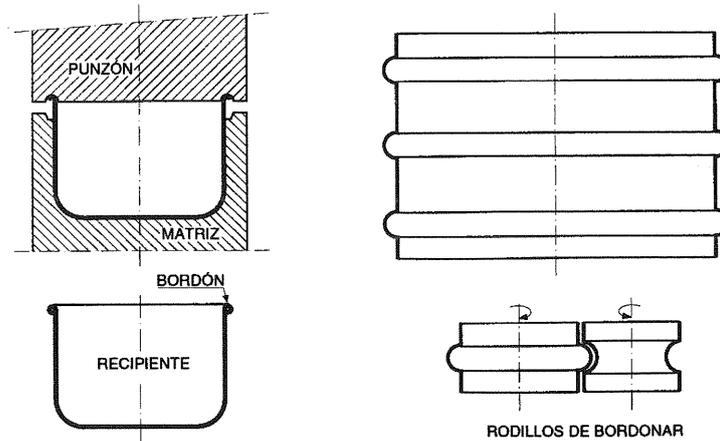
Arrollado.- Consiste en curvar los extremos de una chapa.

El diámetro del arrollado (d) depende del tipo de material y el espesor de la chapa. En

un acero ordinario $\Rightarrow d = \frac{3}{2}e$

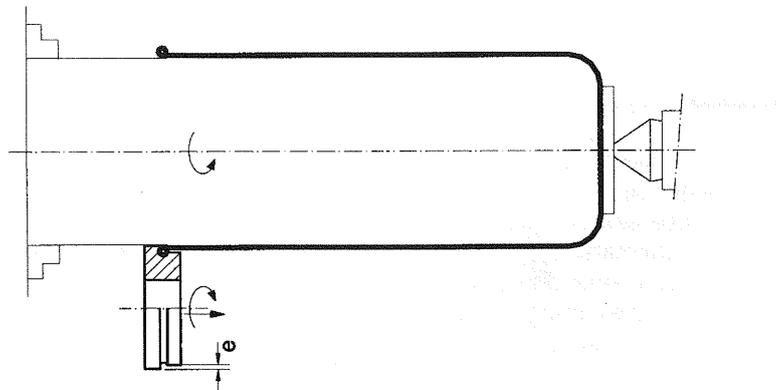


Bordonado.- Consiste en arrollar el borde de un recipiente de chapa. También se considera bordonado a la conformación de nervios semicirculares en las paredes de un recipiente cilíndrico, lo cual permite aumentar su resistencia mecánica.



Bordonado de pieza de grandes dimensiones

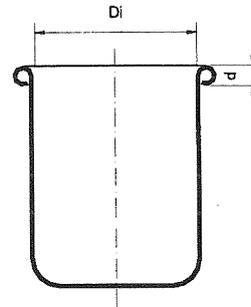
Se realiza mediante un cabezal que genera movimiento de rotación al recipiente y un útil de bordonar dotado de movimiento de rotación y desplazamiento axial.



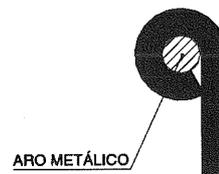
El diámetro del borde depende del tipo de material, del espesor de la chapa y del diámetro del recipiente.

El espesor de la chapa en la operación de bordonado tiene que ser menor o igual a 1mm. ($e \leq 1\text{mm}$)

Relación entre el diámetro del borde y el diámetro del recipiente.- El diámetro del borde no puede ser mayor de 5 mm., y en cualquier caso está en función del diámetro interior del recipiente: $d \leq 5\text{mm}$ $d = f(D_i)$



Cercado.- Consiste en reforzar un bordonado mediante un aro metálico, normalmente de alambre de acero.

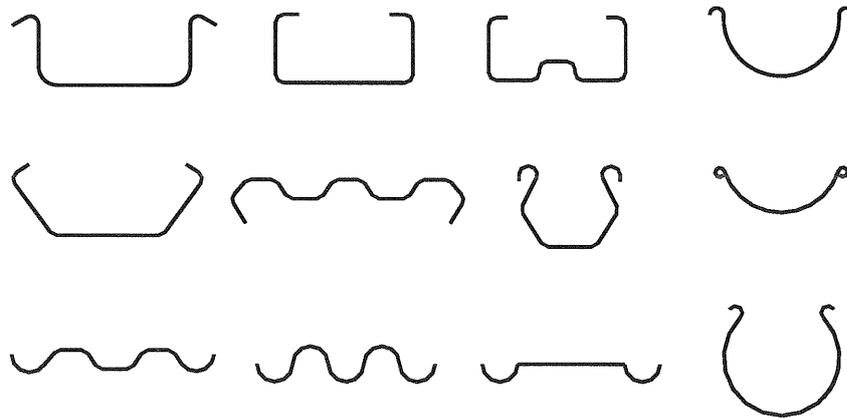


Perfilado.- Tiene por objeto la obtención de perfiles partiendo de una chapa plana.

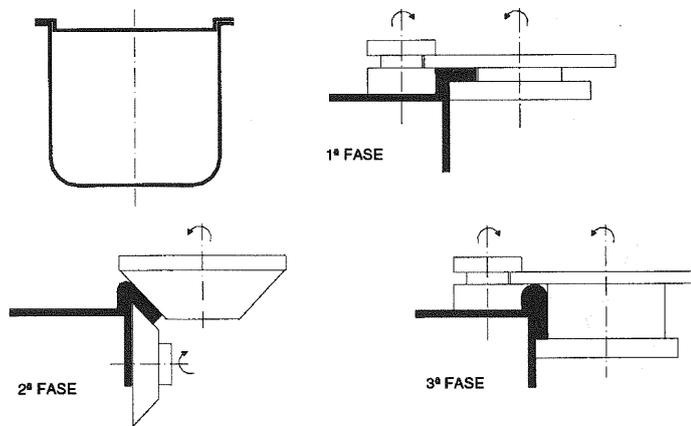
Consiste en hacer pasar la tira de chapa a través de varios pares de rodillos con la forma del perfil que se quiere obtener. Si se trata de un solo par de rodillos, deberán tener la forma y dimensiones finales del perfil; en el caso de realizarse mediante varios juegos, deberán aproximarse progresivamente sus dimensiones al perfil que se desea obtener, y en este caso, al tener diferentes diámetros, el número de vueltas será diferente en cada juego si se quiere conseguir una velocidad lineal que evite la contracción o estiramiento de la chapa; y en el caso de producirse estiramiento como consecuencia de la presión de los rodillos (laminación), deberá tenerse en cuenta también su velocidad lineal.

El perfilado se emplea en muchos metales y aleaciones para la obtención de molduras, guías, bisagras, llantas, protecciones, etc.

Ejemplos de perfiles:



Engrapado.- Engrapado es unir dos piezas de chapa con el fin de obtener un cierre hermético. Se trata de conseguir estanqueidad de recipientes, por lo que es muy utilizado en la industria conservera.



El engrapado se puede realizar en recipientes cilíndricos, rectangulares u ovalados.

