

Tecnología Mecánica

Unidad N° 4

Procesos de mecanizado sin arranque de virutas (formado de metales)

2 - Procesos de formado de hojas metálicas

Roberto Driussi/Martín Alarcón/Fernando Nadalich



16 de agosto de 2024

Índice

1 Operaciones de corte por cizallado

- Corte abierto
- Corte cerrado
- Características
- Fuerza de corte

2 Operaciones de doblado de chapas

- Características
- Configuraciones
- Fuerza en el doblado

3 Embutido profundo de la chapa

- Características
- Otras operaciones de embutido
- Determinación de la cantidad de material
- Fuerza de embutido
- Embutido por etapas

4 Máquinas herramientas utilizadas

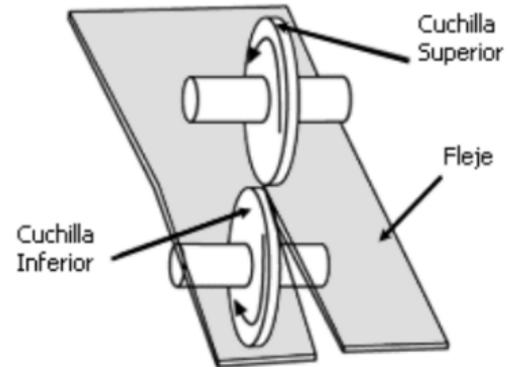
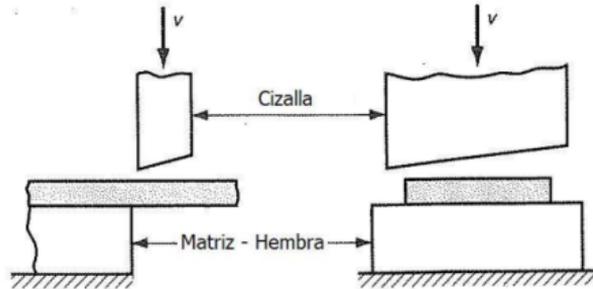
- Prensa de excéntrica

5 A leer!!!!

Definición

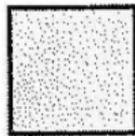
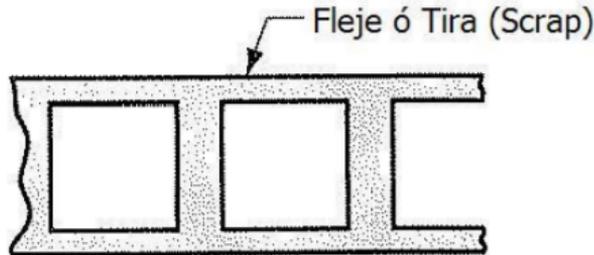
Cizallado: Es el proceso para obtener una pieza a través de un corte de una chapa metálica por aplicación de esfuerzos con un punzón y una matriz. Este corte puede ser abierto o cerrado.

☞ Corte abierto: por guillotina o cuchillas



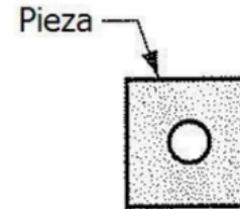
Definición

☞ Corte cerrado: punzonado o perforado



Blanco (Pieza)

Punzonado (Blanking)

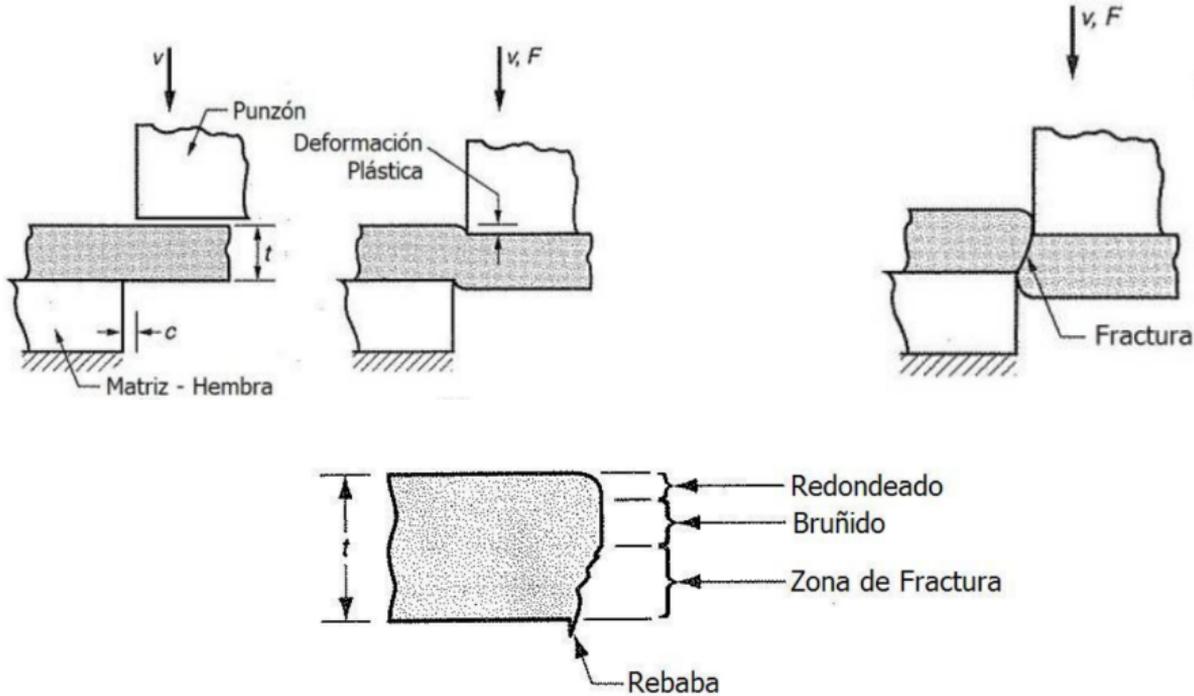


Perforado (Punching)

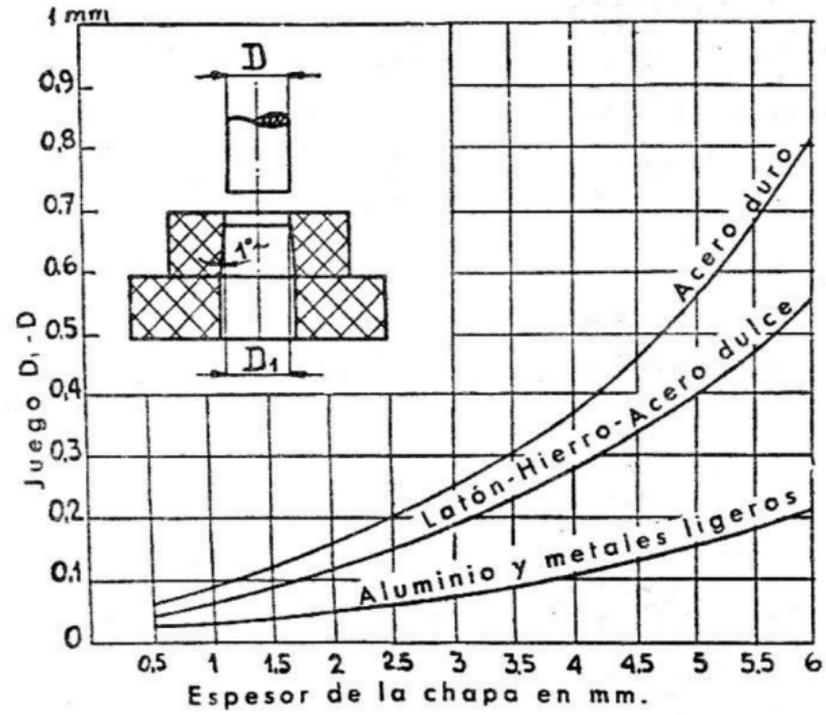
Operaciones de corte por cizallado
Operaciones de doblado de chapas
Embutido profundo de la chapa
Máquinas herramientas utilizadas
A leer!!!!

Corte abierto
Corte cerrado
Características
Fuerza de corte

Etapas y características del proceso



Holgura entre el punzón y la matriz



Corte cerrado (punzonado o perforado)

$$F_c = S A = S e p_c \quad (1)$$

donde:

- S : Tensión de corte o resistencia del material al cizallado $K\vec{g}/mm^2$, donde se la considera: $S = 0,7 \cdot \sigma_r$.
- A : sección de corte.
- e : espesor de corte (de la chapa).
- p_c : perímetro de corte.

Doblado de la chapa

La **holgura o tolerancia de doblado** (L_b) es la longitud del eje neutro en el doblado y se utiliza para determinar la longitud de la lámina en bruto de una pieza que se va a doblar. La posición del eje neutro depende del radio y el ángulo de doblado. Una fórmula aproximada para la holgura es la siguiente:

$$L_b = \alpha (r + k T) \quad (3)$$

donde α es el ángulo de doblado (en radianes), T es el espesor de la chapa, r es el radio del doblado (radio del punzón de la matriz) y k es una constante. En la práctica, los valores de k varían comúnmente de 0,33 (para r menor a $2T$) a 0,5 (para r mayor de $2T$).

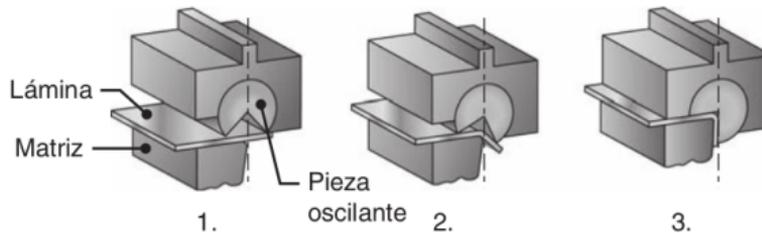
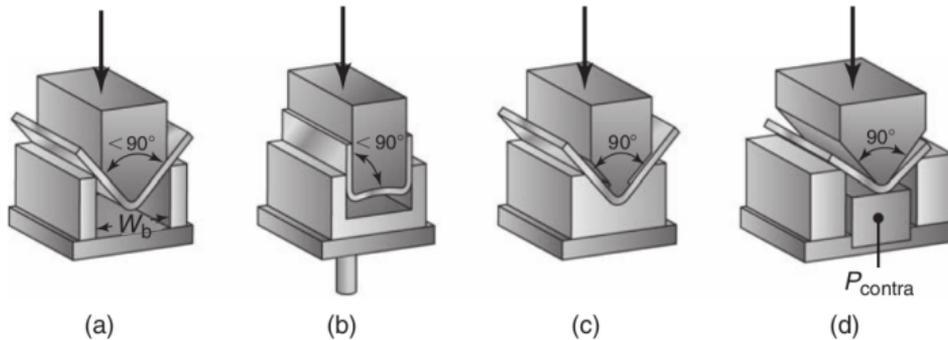
También se puede determinar esta longitud conociendo la posición del eje neutro con respecto a la fibra interior (y).

Radio mínimo de doblado

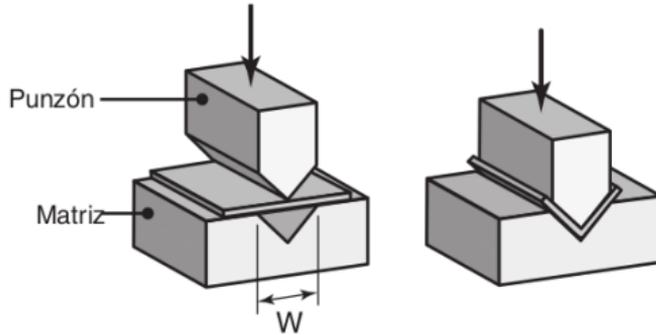
Radio mínimo de doblado para diversos metales a temperatura ambiente

Material	Condición	
	Blando	Duro
Aleaciones de aluminio	0	6T
Cobre berilio	0	4T
Latón (con bajo plomo)	0	2T
Magnesio	5T	13T
Aceros		
Acero inoxidable austenítico	0.5T	6T
Bajo carbono, baja aleación y HSLA	0.5T	4T
Titanio	0.7T	3T
Aleaciones de titanio	2.6T	4T

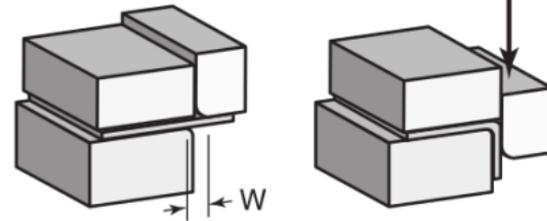
Diferentes configuraciones entre el punzón y la matriz



Diferentes configuraciones entre el punzón y la matriz

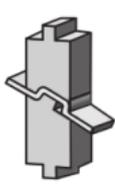


(a) Matriz en V



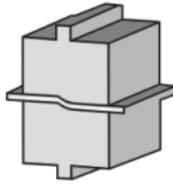
(b) Matriz de barrido o deslizante

Diferentes configuraciones entre el punzón y la matriz



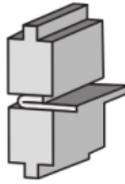
Formado de canal

(a)



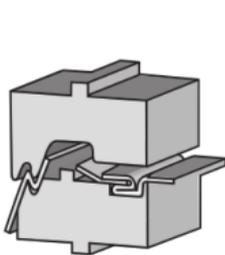
Escalón

(b)



Plegado (aplanado)

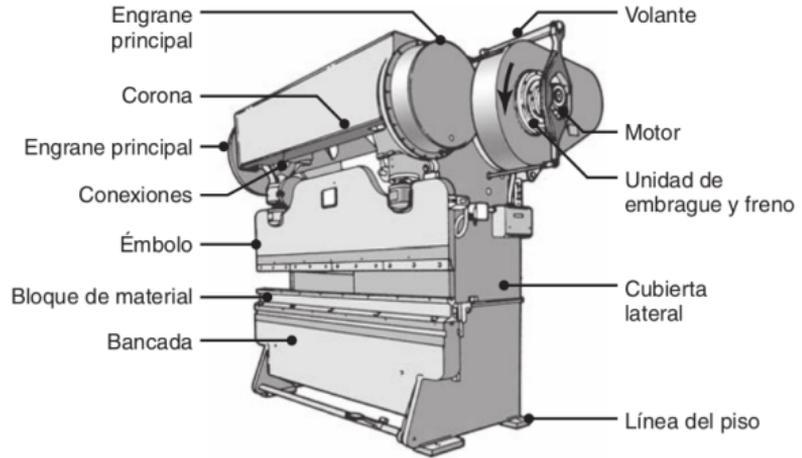
(c)



Costura de cierre de doble etapa



Formado descentrado



Fuerza en el doblado

Se puede estimar la fuerza de doblado para chapas y placas suponiendo que el proceso se realiza como una viga rectangular simplemente apoyada.

Doblado en V

$$F = \frac{2}{3} \frac{l e^2}{w_b} \sigma_d \quad (4)$$

- l : longitud de la pieza a doblar.
- e : espesor de la chapa.
- w_b : ancho de abertura de la matriz.
- σ_d : resistencia a la flexión para la deformación permanente ($\sigma_d = 3 \sigma_r$)

Concepto

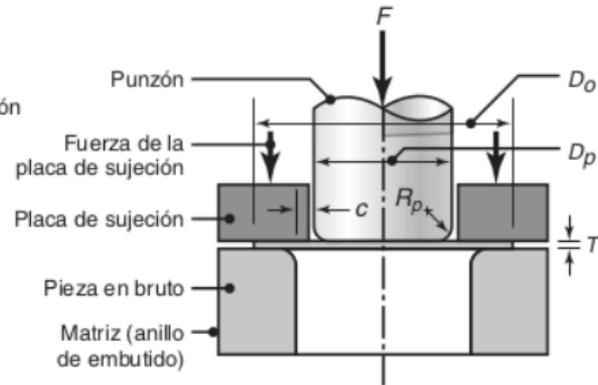
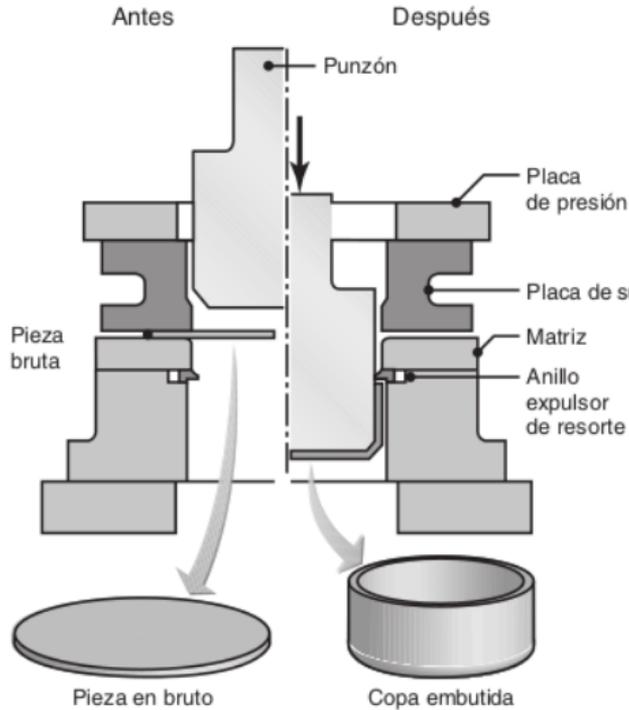
El embutido es una operación de formado de láminas metálicas que se usa para hacer piezas de forma acopada, de caja y otras formas huecas más complejas.



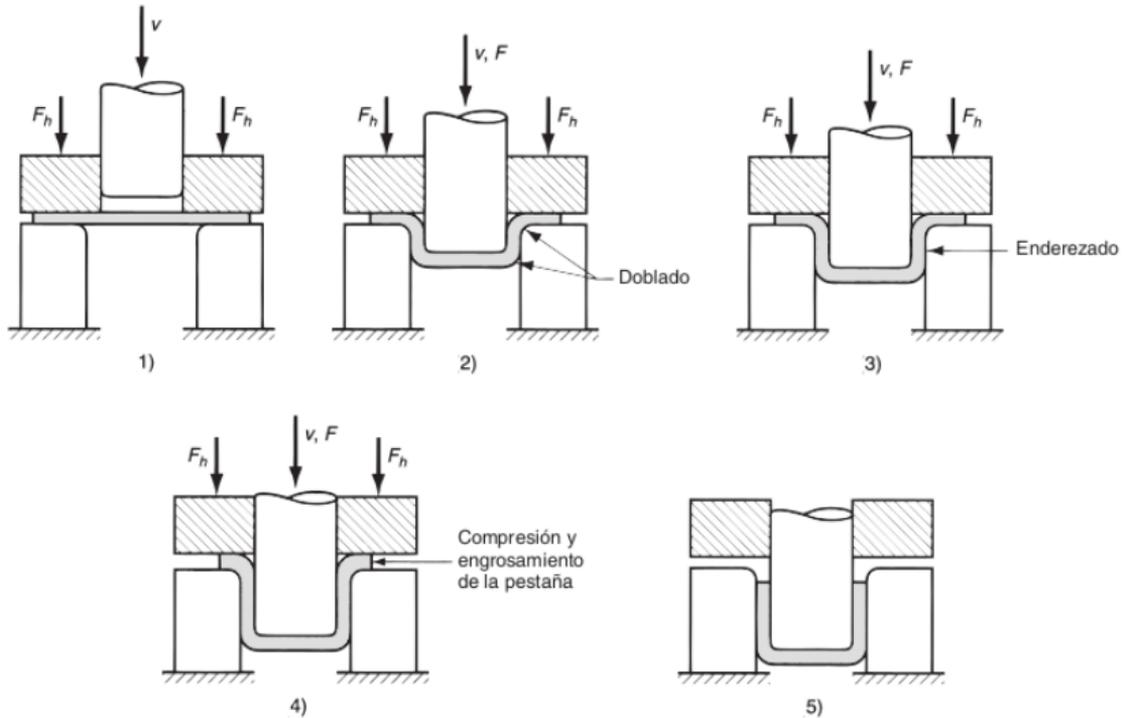
Operaciones de corte por cizallado
Operaciones de doblado de chapas
Embutido profundo de la chapa
Máquinas herramientas utilizadas
A leer!!!!

Características
Otras operaciones de embutido
Determinación de la cantidad de material
Fuerza de embutido
Embutido por etapas

Generalidades



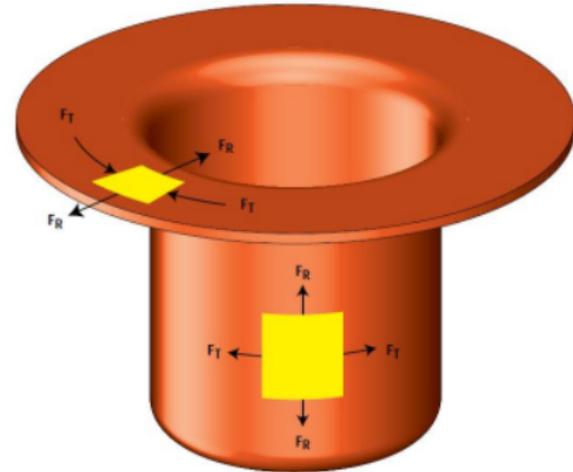
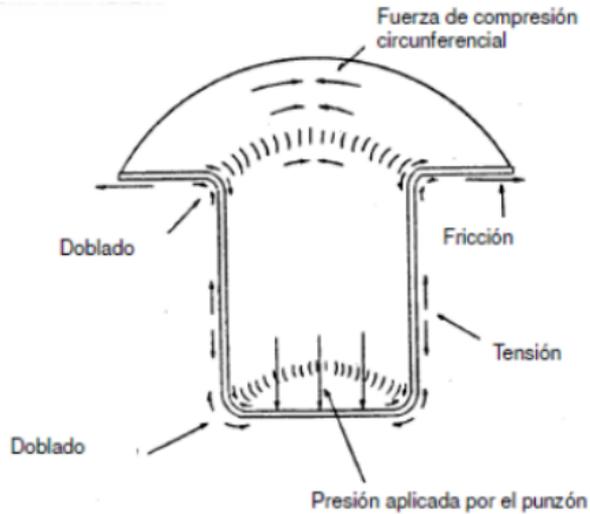
Etapas de deformación



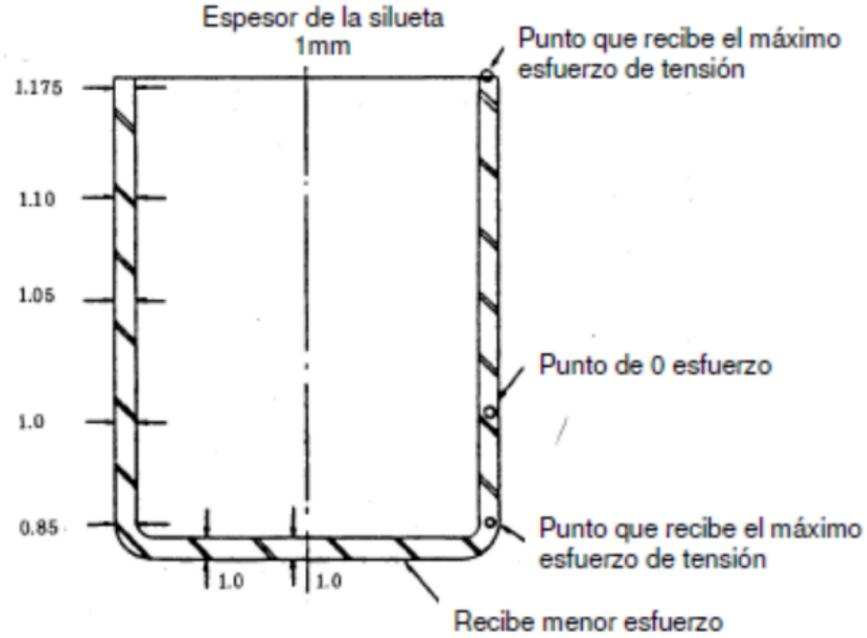
Operaciones de corte por cizallado
Operaciones de doblado de chapas
Embutido profundo de la chapa
Máquinas herramientas utilizadas
A leer!!!!

Características
Otras operaciones de embutido
Determinación de la cantidad de material
Fuerza de embutido
Embutido por etapas

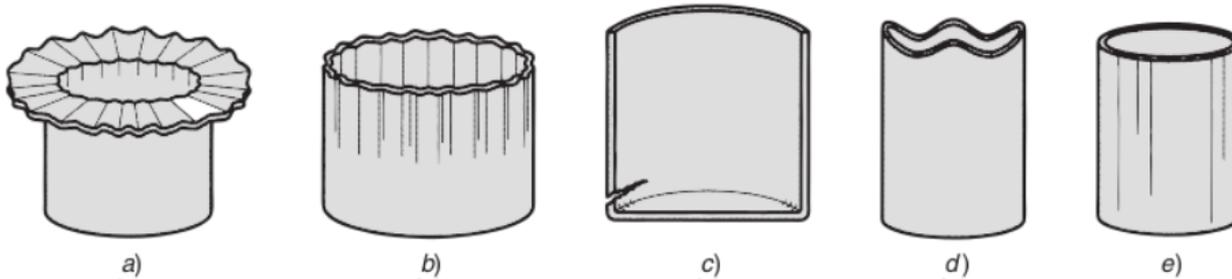
Esfuerzos que se producen



Variación del espesor

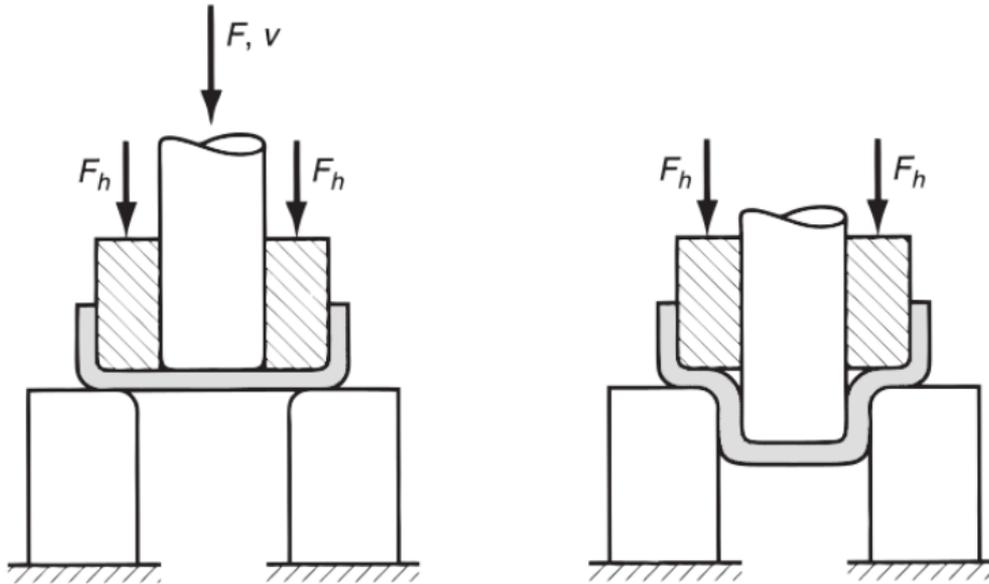


Defectos del embutido

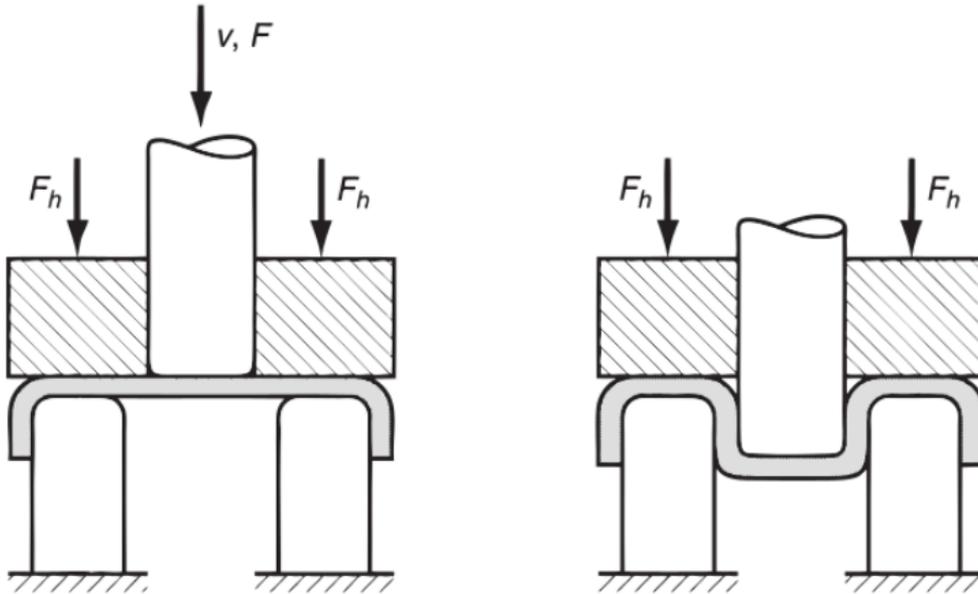


- Arrugamiento en la pestaña.
- Arrugamiento en la pared.
- Desgarramiento.
- Orejeado.
- Rayados superficiales.

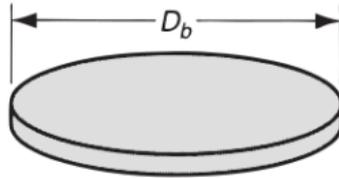
Re-embutido



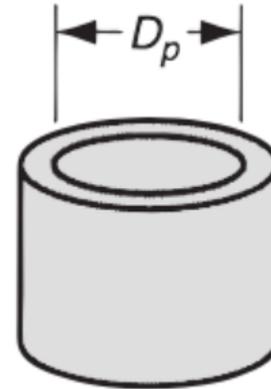
Embutido inverso



Volumen de material constante



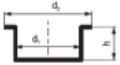
(a) Volumen inicial del material: V_i

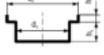
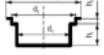
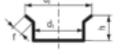
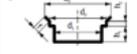


(b) Volumen final del material: V_f

→ Volumen de material constante $\Rightarrow V_i = V_f$

Algunas posibles piezas

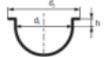
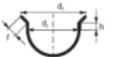
Container shape (cross-section) rotationally symmetrical shapes	Blank diameter D =
1 	$\sqrt{d^2 + 4 \cdot d \cdot h} *$
2 	$\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot d_1 \cdot h} *$

Container shape (cross-section) rotationally symmetrical shapes	Blank diameter D =
3 	$\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot (d_1 \cdot h_1 + d_2 \cdot h_2)} *$
4 	$\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot (d_1 \cdot h_1 + d_2 \cdot h_2)} *$
5 	$\sqrt{d_1^2 + 4 \cdot d_1 \cdot h + 2 \cdot f \cdot (d_1 + d_2)} *$
6 	$\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot (d_1 \cdot h_1 + d_2 \cdot h_2) + 2 \cdot f \cdot (d_2 + d_3)} *$
7 	$\sqrt{2 \cdot d^2} = 1.414 \cdot d$
8 	$\sqrt{d_1^2 + d_2^2}$
9 	$1.414 \cdot \sqrt{d_1^2 + f \cdot (d_1 + d_2)}$
10 	$1.414 \cdot \sqrt{d^2 + 2 \cdot d \cdot h}$

Operaciones de corte por cizallado
 Operaciones de doblado de chapas
 Embutido profundo de la chapa
 Máquinas herramientas utilizadas
 A leer!!!!!!

Características
 Otras operaciones de embutido
 Determinación de la cantidad de material
 Fuerza de embutido
 Embutido por etapas

Algunas posibles piezas

Container shape (cross-section) rotationally symmetrical shapes	Blank diameter D =
11 	$\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + 4 \cdot d_1 \cdot h}$
12 	$1.414 \cdot \sqrt{d_1^2 + 2 \cdot d_1 \cdot h + f \cdot (d_1 + d_2)}$
13 	$\sqrt{d^2 + 4 \cdot h^2}$
14 	$\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot h^2}$
15 	$\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot (h_1^2 + d_1 \cdot h_2)}$
16 	$\sqrt{d^2 + 4 \cdot (h_1^2 + d \cdot h_2)}$
17 	$\sqrt{d_1^2 + 4 \cdot h^2 + 2 \cdot f \cdot (d_1 + d_2)}$
18 	$\sqrt{d_1^2 + 4 \cdot [h_1^2 + d_1 \cdot h_2 + 0.5 \cdot f \cdot (d_1 + d_2)]}$
19 	$\sqrt{d_1^2 + 2 \cdot s \cdot (d_1 + d_2)}$

Container shape (cross-section) rotationally symmetrical shapes	Blank diameter D =
20 	$\sqrt{d_1^2 + 2 \cdot s \cdot (d_1 + d_2) + d_2^2 - d_2^2}$
21 	$\sqrt{d_1^2 + 2 \cdot [s \cdot (d_1 + d_2) + 2 \cdot d_2 \cdot h]}$
22 	$\sqrt{d_1^2 + 6.28 \cdot r \cdot d_1 + 8 \cdot r^2}$ or $\sqrt{d_1^2 + 2.28 \cdot r \cdot d_2 - 0.56 \cdot r^2}$
23 	$\sqrt{d_1^2 + 6.28 \cdot r \cdot d_1 + 8 \cdot r^2 + d_2^2 - d_2^2}$ or $\sqrt{d_1^2 + 2.28 \cdot r \cdot d_2 - 0.56 \cdot r^2}$
24 	$\sqrt{d_1^2 + 6.28 \cdot r \cdot d_1 + 8 \cdot r^2 + 4 \cdot d_2 \cdot h + d_2^2 - d_2^2}$ or $\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot d_2 \cdot (0.57 \cdot r + h) - 0.56 \cdot r^2}$
25 	$\sqrt{d_1^2 + 6.28 \cdot r \cdot d_1 + 8 \cdot r^2 + 2 \cdot f \cdot (d_2 + d_1)}$ or $\sqrt{d_2^2 + 2.28 \cdot r \cdot d_2 + 2 \cdot f \cdot (d_2 + d_1) - 0.56 \cdot r^2}$
26 	$\sqrt{d_1^2 + 6.28 \cdot r \cdot d_1 + 8 \cdot r^2 + 4 \cdot d_2 \cdot h + 2 \cdot f \cdot (d_2 + d_1)}$ or $\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot d_2 \cdot (0.57 \cdot r + h + 0.5 \cdot f) + 2 \cdot d_2 \cdot f - 0.56 \cdot r^2}$
27 	$\sqrt{d_1^2 + 4 \cdot (1.57 \cdot r \cdot d_1 + 2 \cdot r^2 + d_2 \cdot h)}$ or $\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot d_2 \cdot (0.57 \cdot r + h) - 0.56 \cdot r^2}$

Fuerza de embutido - Formula exacta

$$F = 2 \pi r_i e R_{dm} \ln \left(\frac{r_0}{r_i} \right) \quad (5)$$

- r_i : Radio ideal ($r_i = r_p + e/2$).
- R_{dm} : Resistencia de deformación media ($K\vec{g}/mm^2$).
- e : Espesor de la chapa.
- r_0 : Radio del disco inicial.
- r_p : Radio del punzón.
- R_{d1} : Resistencia en el borde de la chapa.
- R_{d2} : Resistencia en el borde de la matriz.

Fuerza de embutido - Formula aproximada

$$F = \pi r_i e n^* \sigma_r \quad (6)$$

r_0/r_i	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5
n^*	0,197	0,404	0,732	1,013	1,287	1,565	1,853	2,11	2,405	2,666
r_0/r_i	1,55	1,6	1,65	1,7	1,75	1,8	1,85	1,9	1,95	2
n^*	2,928	3,189	3,443	3,704	3,963	4,228	4,485	4,714	4,939	5,194

Cuadro: Coeficientes de corrección para el cálculo de la fuerza de deformación.

→ Relación de embutido: $DR = \frac{r_0}{r_i}$ o $DR = \frac{D_0}{D_p}$

$$F = \pi D_p e \sigma_{max} \left(\frac{D_0}{D_p} - 0,7 \right) \quad (7)$$

Embutido por etapas

$$n^{\circ} = \frac{h}{0,5 d_m} \quad (8)$$

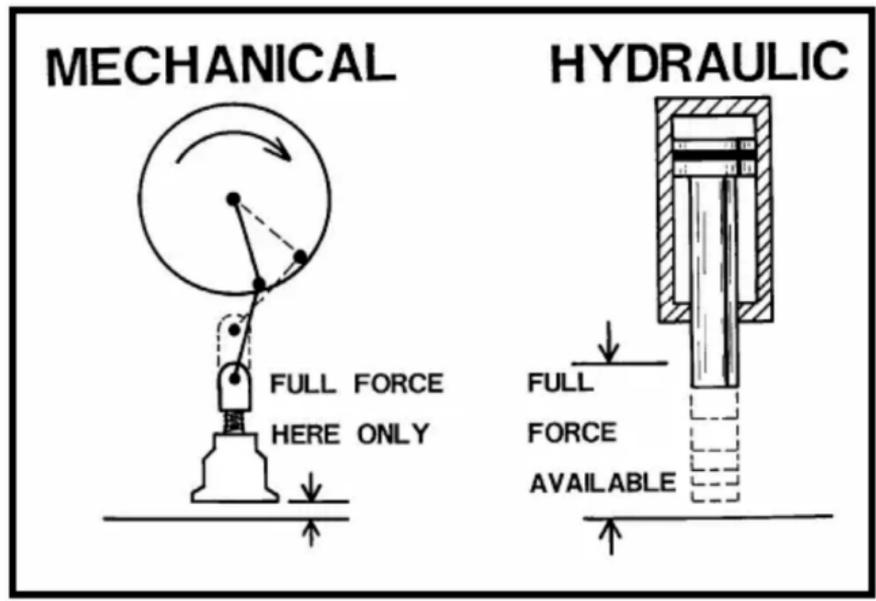
- n° : Número de operaciones o etapas.
- h : Profundidad o altura del recipiente a construir.
- d_m : Diámetro medio del recipiente.

Prensa de excéntrica o balancín

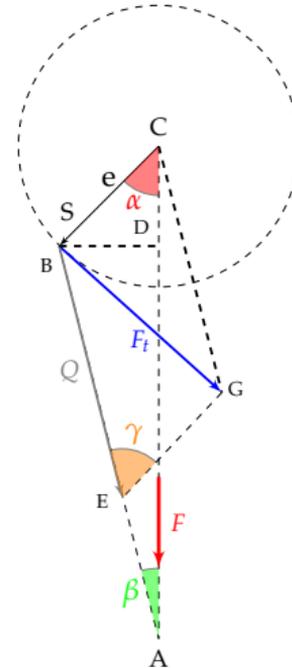
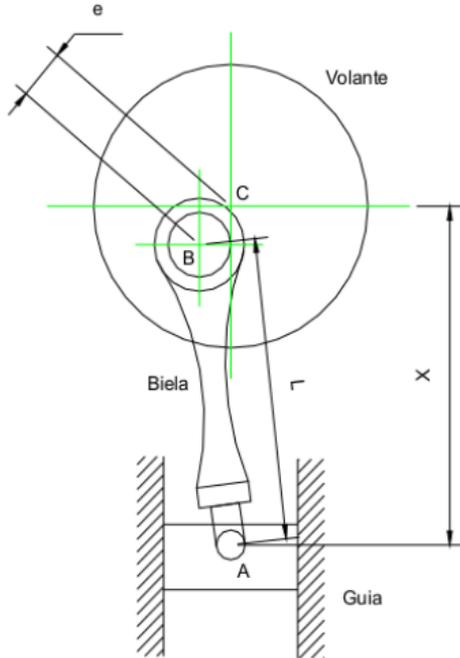
Máquina muy utilizada en la industria que permite realizar los procesos de formado de hojas metálicas (punzonado, perforado, embutido, doblado).



Prensa de excéntrica o balancín



Prensa de excéntrica o balancín



Pasos para determinar la capacidad de la prensa

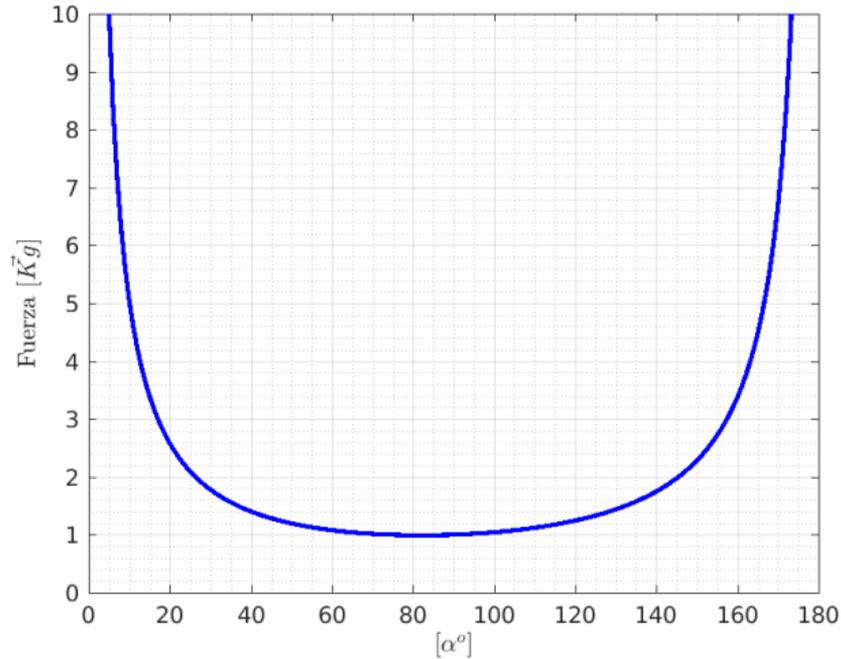
1. Se determina la fuerza necesaria para poder realizar el proceso de deformación, F .
2. Se establece la carrera total de la herramienta de deformación, en función del trabajo a realizar, S .
3. Se calcula la excentricidad, para lo cual normalmente se toma $e = S/2$.
4. Se establece el valor de $i = e/L$.
5. Se calcula F_t :

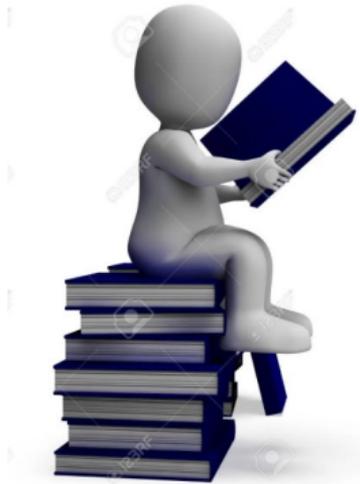
$$F_t = \frac{F}{\sqrt{1 - i^2 \sin^2 \alpha}} \cdot \left(\sin \alpha \sqrt{1 - i^2 \sin^2 \alpha} + \cos \alpha \cdot i \cdot \sin \alpha \right)$$

6. Se determinan los valores de F_i y F_f en función de los ángulos.
7. Se calcula F_p :

$$F_p = F_t \frac{F_f}{F_i}$$

Diagrama de variación de F en función de α





- *Manufactura, ingeniería y tecnología (Kalpakjian - Schmid)* Capítulo 16.
- *Fundamentos de la manufactura moderna (Mikell Groover)* Capítulo 20.