

**72.04 Industrias de Procesos de Conformación**



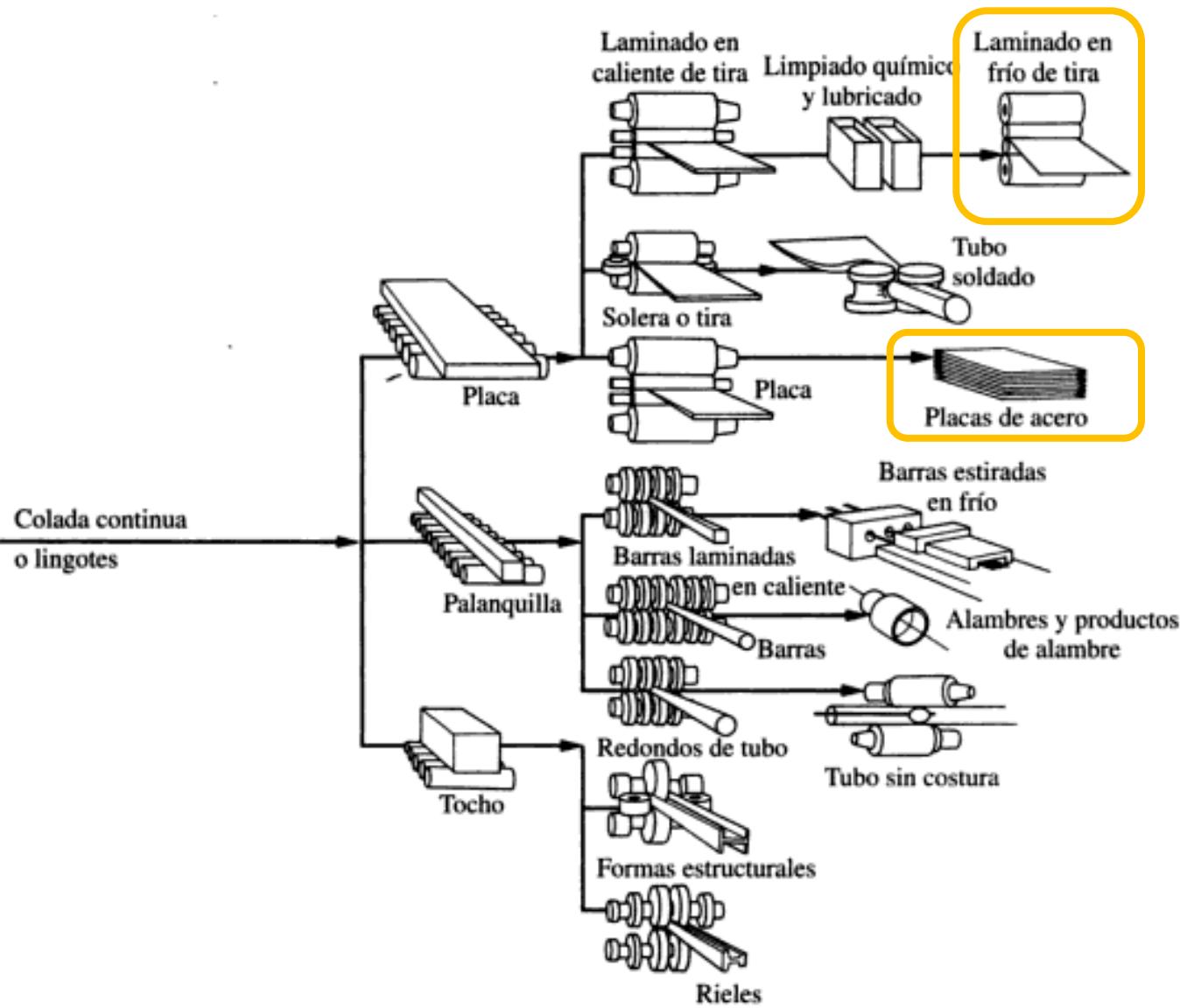
# **CONFORMADO DE LÁMINAS METÁLICAS**

**1º - 2013**

# Conformado de Láminas Metálicas

- Es uno de los procesos de manufactura más utilizados
  - Bajo costo de la chapa
  - Alta relación «Resistencia / peso»
  - Facilidad de conformación
  - Automatización de procesos de producción
  - Buena Precisión dimensional
  - Buen acabado superficial
  - Principalmente trabajo en frío

# Materia Prima



- **Lámina metálica (chapa)**

- Proviene del proceso de laminación
- 2 dimensiones predominan sobre una tercera

# Materia Prima

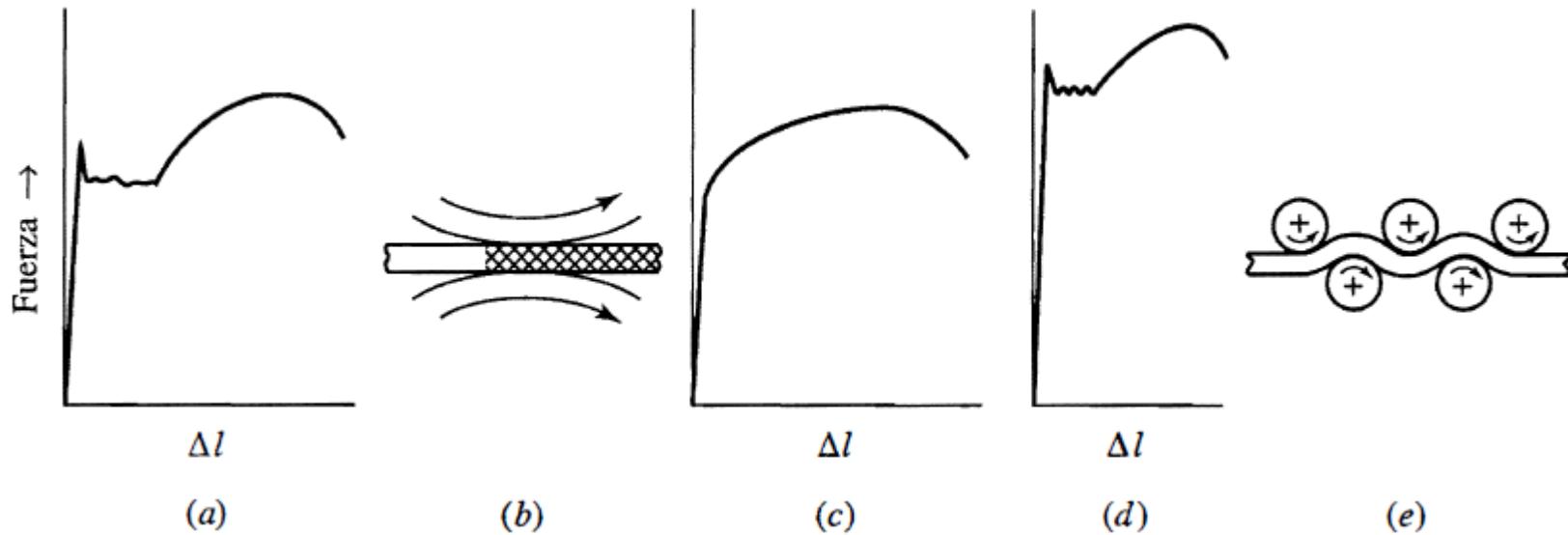
## ■ Aceros

- Aceros de bajo Carbono (%C < 0,15%)
  - Acero Efervescente
  - Acero Calmado
  - Acero libre de Impurezas Intersticiales
- Aceros de Alta resistencia
- Aceros Recubiertos
  - Hojalata: Sn (Alimentos)
  - Galvanizada: Zn (Inmersión ó electrodeposición)
  - Galvanizada Plomo y Cinc (En desuso)
  - Aluminio: Temperatura
  - Prepintada
- Aceros Inoxidables

## ■ Metales No Ferrosos

- Cobre (Latones)
- Aluminio
- Titanio

# Materia Prima



- Efectos Indeseables debido a la elongación en el punto de cedencia
- Se pueden ocultar mediante laminado de temple (Al final del proceso de laminación)
- Desaparecen por un tiempo las bandas de Luders
- El envejecimiento por deformación conduce a su regreso
- Se pueden ocultar nuevamente por rectificado con rodillos (Procesos de corte ó estampado)

# Operaciones de Conformado de Láminas

## Operaciones de Corte

- Cizallado
  - Guillotina
  - Rodillos
- Punzonado
- Perforado
- Otras Operaciones:
  - Corte en trozos y Partido
  - Ranura, perforado múltiple y muescado
  - Recorte, rasurado y punzonado fino
  - Mascado (Nibbling)

## Operaciones de Doblado ó Plegado

- Doblado de Bordes
- Doblado en V
- Otras Operaciones:
  - Formado de bridas, doblez, engargolado y rebordeado
  - Operaciones Misceláneas de doblado

## Operaciones de Embutido

- Embutido
- Reembutido
- **Reembutido Inverso**
- Embutido de Piezas no cilíndricas
- Embutido sin Sujetador

## Otras operaciones de Conformado de Láminas en Prensa

- Herramientas Metálicas
- Planchado
- Acuñado y estampado
- Desplegado
- Torcido
- Con Hule
- Proceso de Guerin
- Hidroformado

## Otras operaciones de Conformado de Láminas sin Prensa

- Restirado
- Doblado y formado con Rodillos
- Rechazado
- Formado por alta velocidad

## Doblado de Tubos

- Por extensión
- Por arrastre
- Por compresión

**72.04 Industrias de Procesos de Conformación**



# **OPERACIONES DE CORTE**

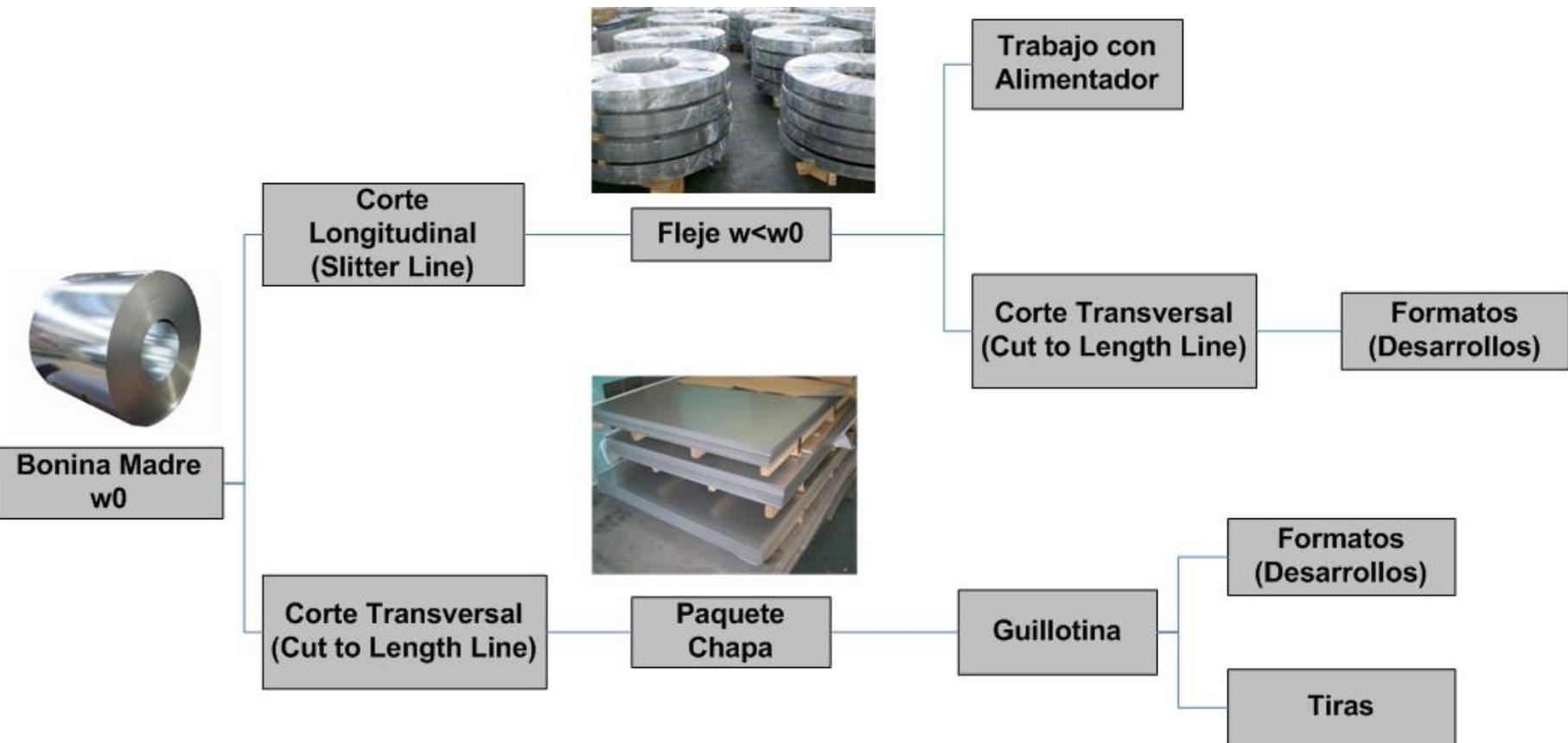
**1º - 2013**

## Operaciones de Corte

- Cizallado
  - **Guillotina**
  - Rodillos
- **Punzonado**
- **Perforado**
- Otras Operaciones:
  - Corte en trozos y Partido
  - Ranura, perforado múltiple y muescado
  - Recorte, rasurado y punzonado fino
  - Mascado (Nibbling)

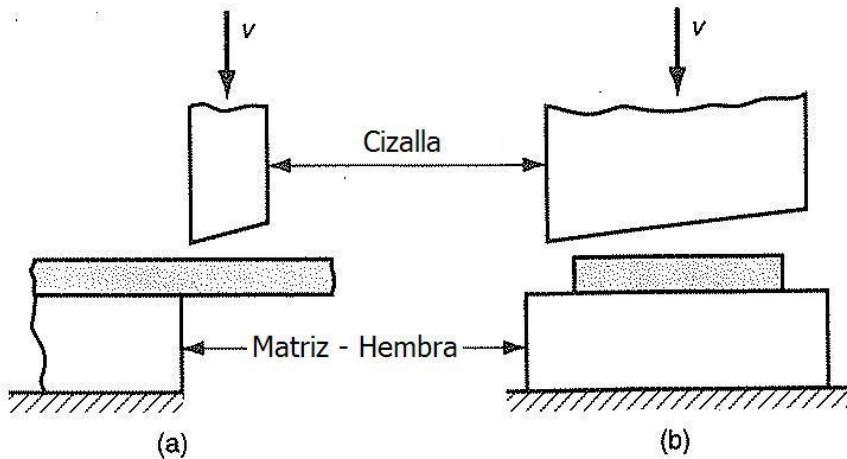
# Cizallado

- 1era Operación en el conformado de láminas
- Es un corte a lo largo de una línea recta



# Cizallado: Corte abierto

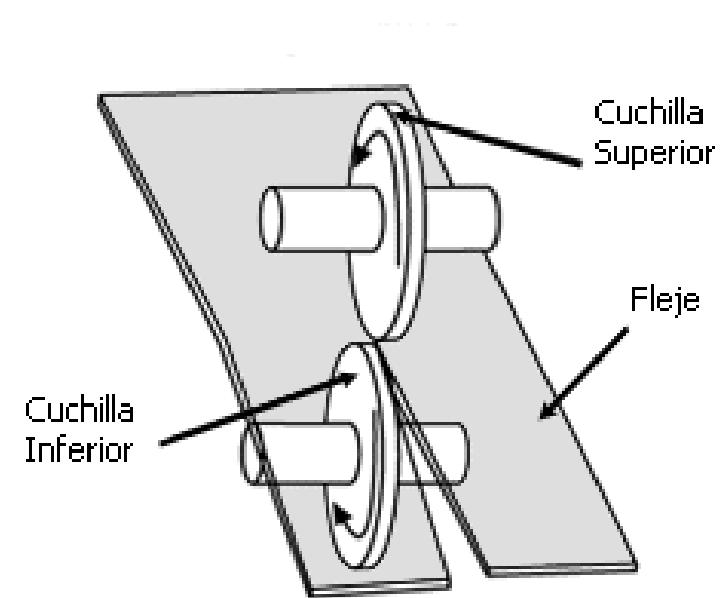
## Guillotina



[Video 1: Guillotina](#)

[Video 2: Guillotina](#)

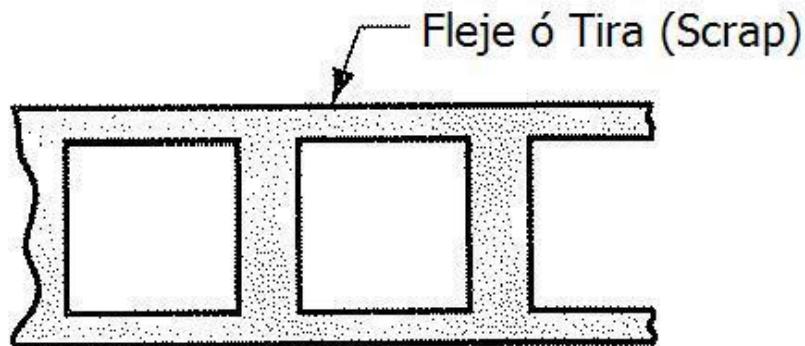
## Cuchillas Rotativas



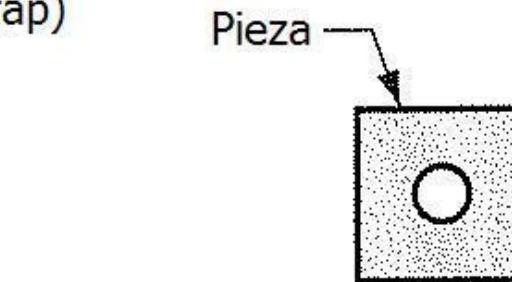
[Video 3: Cut to Length](#)

[Video 4: Slitting Line](#)

# Punzonado y Perforado: Corte cerrado

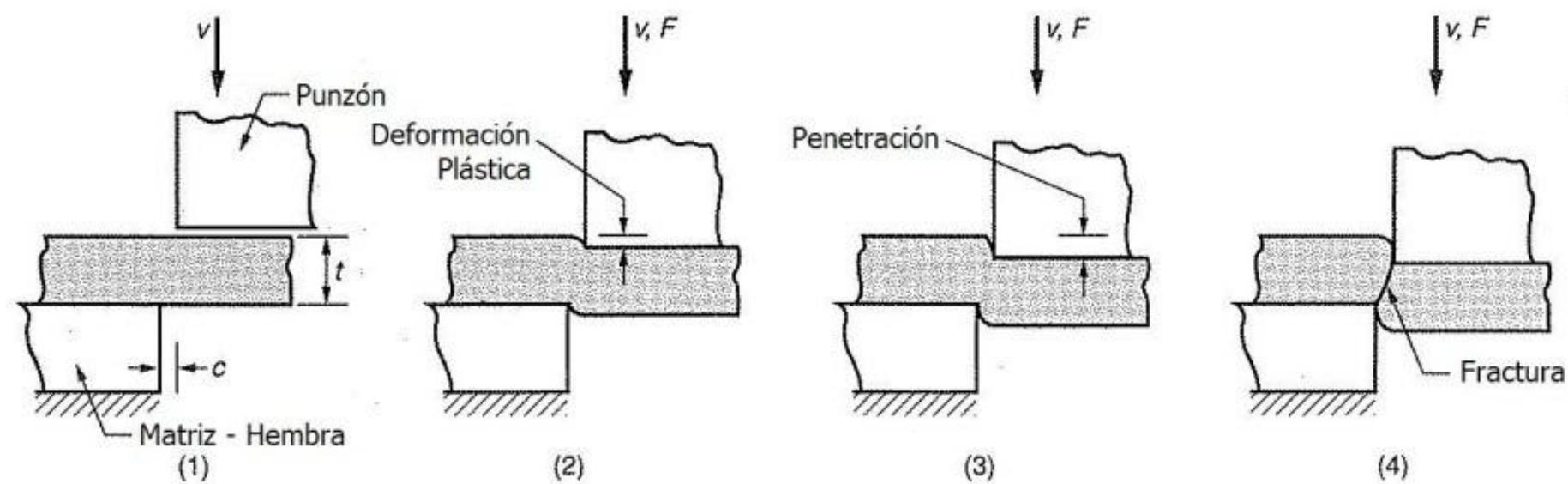


Punzonado (Blanking)

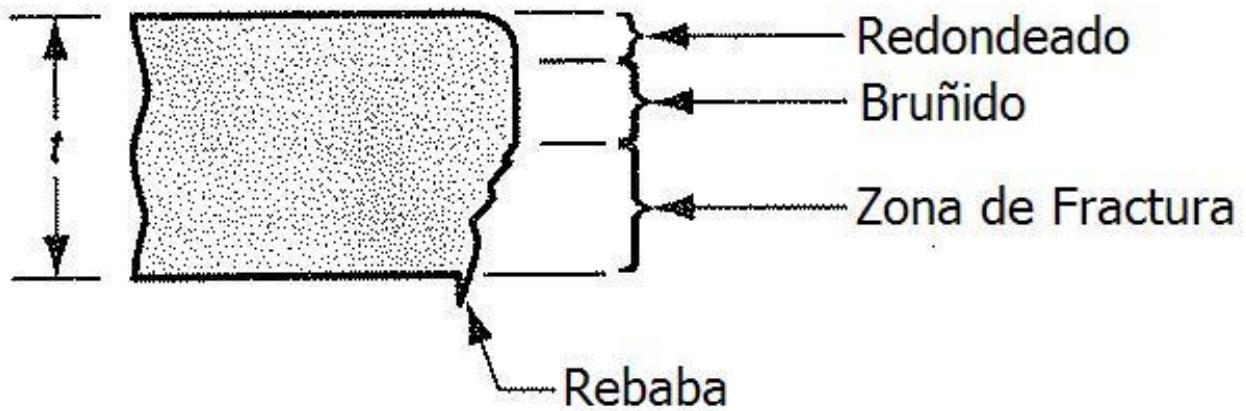


Perforado (Punching)

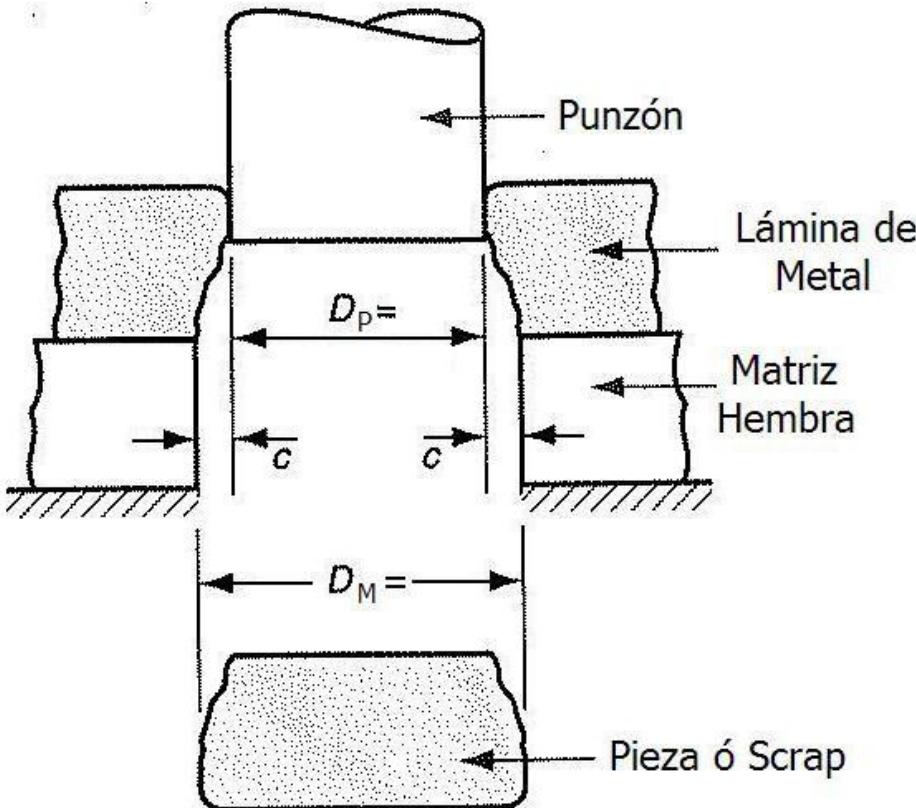
# Etapas del Corte



# Características del Corte



# Claro o luz de Corte



$$c = A_c \cdot t$$

donde  $c$  = luz de corte

$a$  = factor,  $f(\text{Dureza Material})$

$t$  = espesor de chapa

**$A_c$**

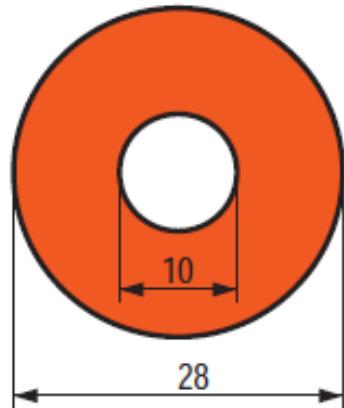
**0,045** material blando (aluminio, acero bajo carbono recocido, etc)

**0,060** material medio (acero bajo carbono, acero inoxidable recocido, etc)

**0,075** material duro (acero alto carbono, acero inoxidable, etc)

$$D_M = D_p + 2.c$$

# Claro o luz de Corte: Ejemplo



Chapa Espesor: 3 mm

Material de dureza media ( $A_C = 0,060$ )

$$c = A_C \cdot t = 0,06 \cdot 3 \text{ mm} = 0,18 \text{ mm}$$

## Agujero

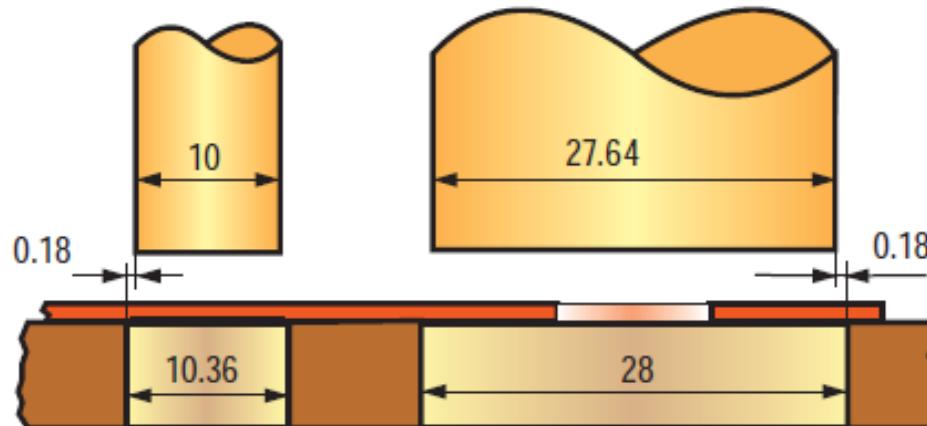
$$D_P = 10 \text{ mm}$$

$$D_M = D_P + 2c = 10 + 2 \times 0,18 = 10,36 \text{ mm}$$

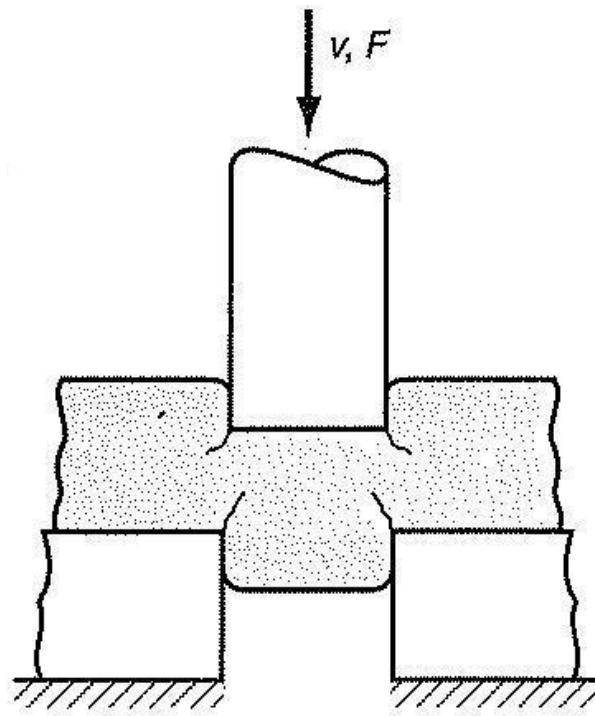
## Contorno

$$D_M = 28 \text{ mm}$$

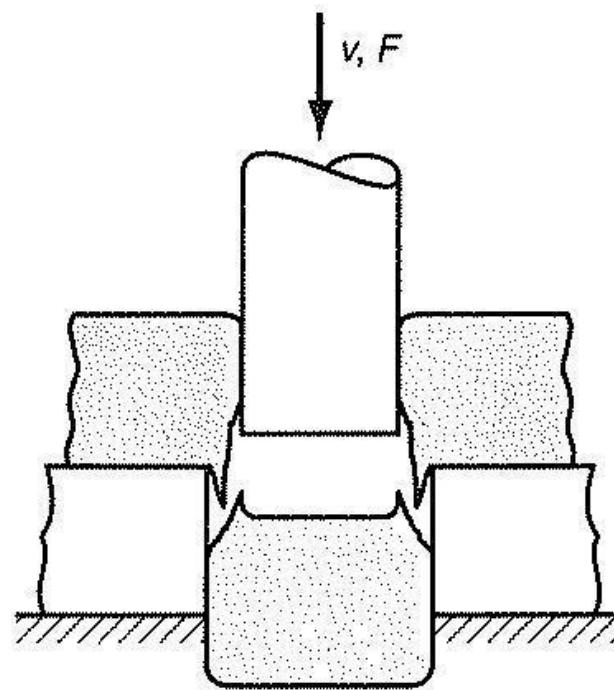
$$D_P = D_M - 2c = 28 - 2 \times 0,18 = 27,64 \text{ mm}$$



# Claro o luz de Corte



Claro pequeño



Claro excesivo

# Fuerza de Corte

$$F = S \cdot t \cdot L = S \cdot A$$

donde :

$S$  : tensión de corte

$t$  : espesor de chapa

$L$  : perímetro de corte

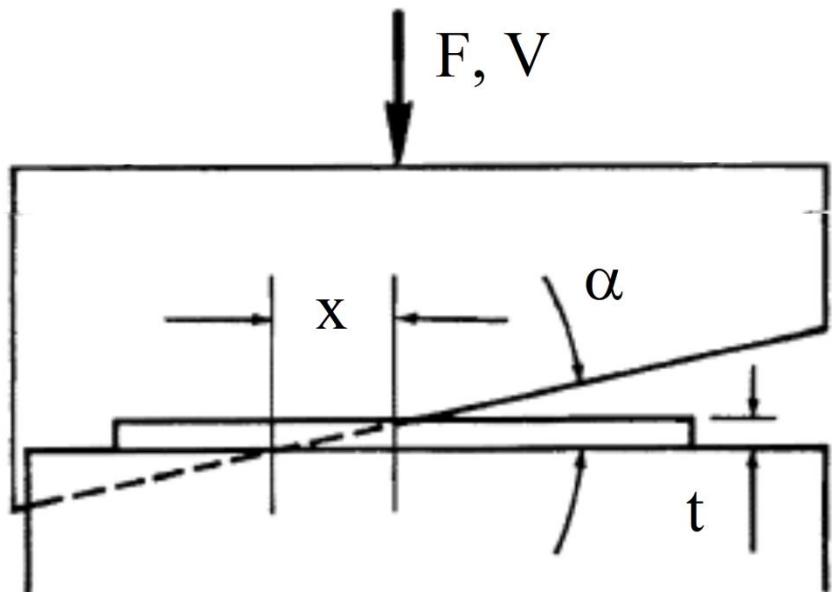
$A$  : Área de corte

$$S = \begin{cases} 0,85 \cdot \sigma_R \rightarrow \text{Materiales dúctiles} \\ 0,65 \cdot \sigma_R \rightarrow \text{Materiales menos dúctiles} \end{cases} \rightarrow S = 0,7 \cdot \sigma_R$$

$\sigma_R$  : tensión de rotura a la tracción

# Fuerza de Corte: Guillotina

$$F = S \cdot A$$



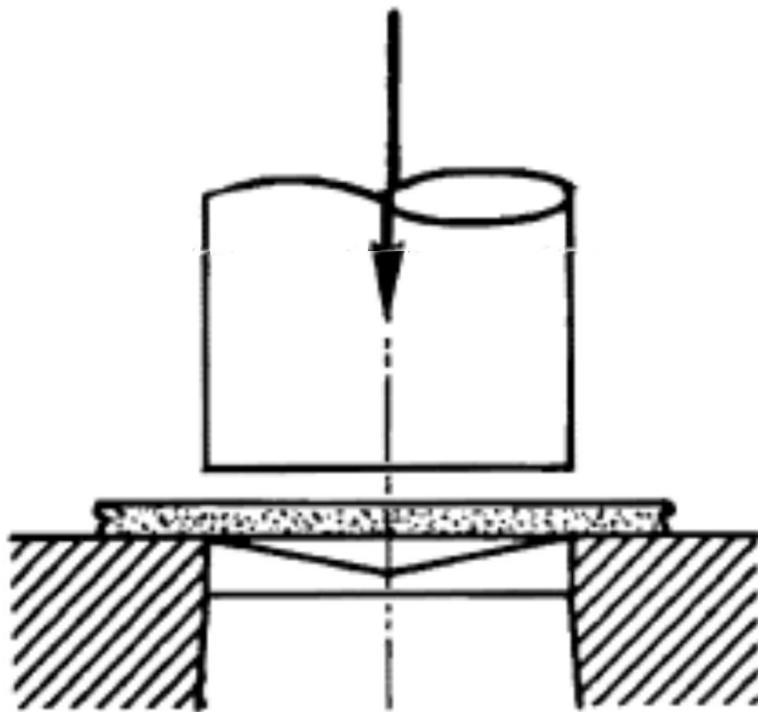
$$A = \frac{x \cdot t}{2}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{t}{x} \Rightarrow x = \frac{t}{\operatorname{tg} \alpha}$$

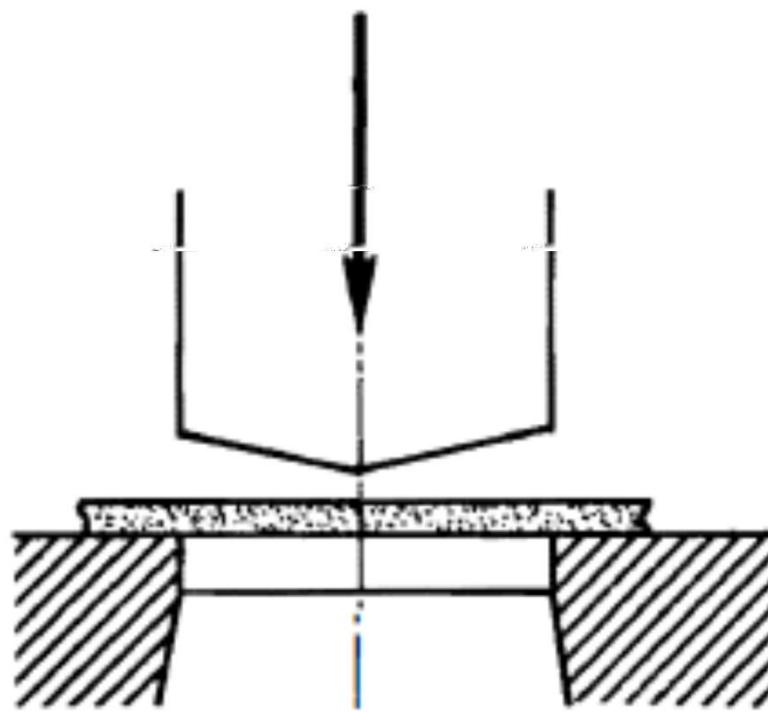
$$A = \frac{x \cdot t}{2} = \frac{\frac{t}{\operatorname{tg} \alpha} \cdot t}{2} = \frac{t^2}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}$$

$$F = S \cdot \frac{t^2}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}$$

# Formas para reducir la Fuerza de corte

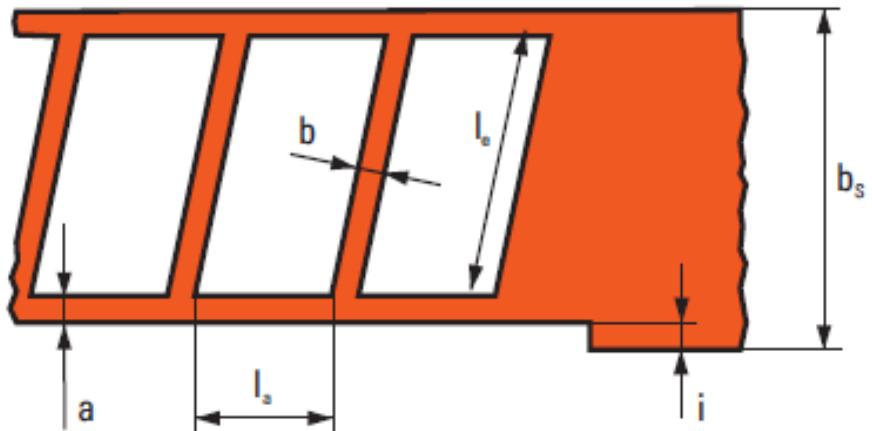
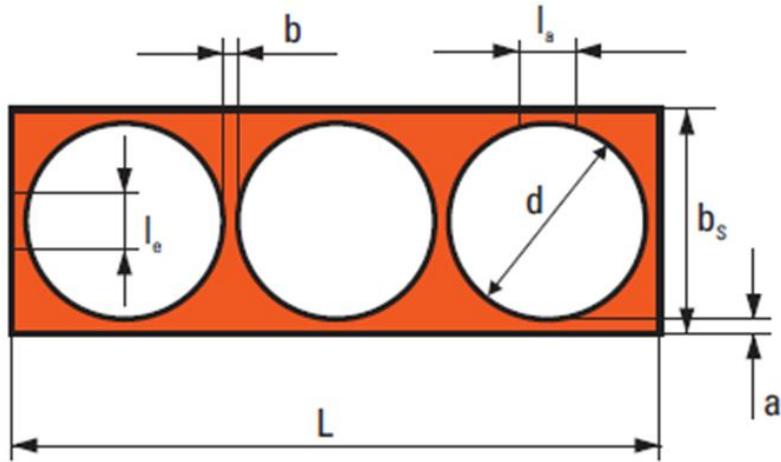


Matriz Sesgada



Punzón Sesgado

# Restricciones



- $d$ : Diámetro mínimo de un agujero =  $e$
- $b$ : Distancia mínima entre agujeros =  $2e$
- $a$ : Distancia mínima de un agujero a un borde =  $3e$
- $i$ : Ancho mínimo Punzón de paso =  $5e$

## Punto de Aplicación de la Fuerza Resultante de corte

$$x_{CC} = \frac{\sum F_i \cdot x_i}{\sum F_i} = \frac{\sum (S.t.L_i) \cdot x_i}{\sum (S.t.L_i)} = \frac{S.t \sum L_i \cdot x_i}{S.t \sum L_i} = \frac{\sum L_i \cdot x_i}{\sum L_i}$$

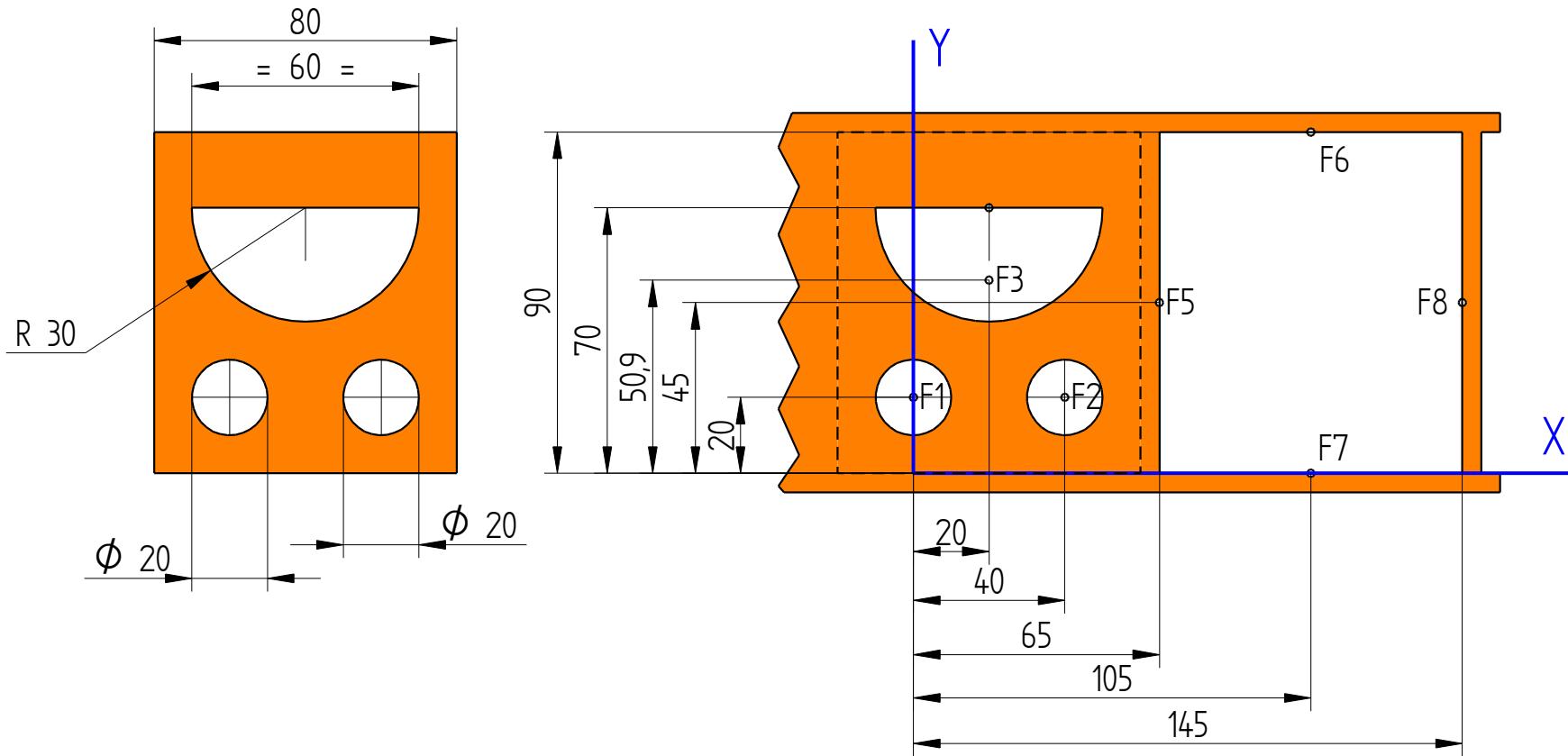
$$y_{CC} = \frac{\sum F_i \cdot y_i}{\sum F_i} = \frac{\sum (S.t.L_i) \cdot y_i}{\sum (S.t.L_i)} = \frac{S.t \sum L_i \cdot y_i}{S.t \sum L_i} = \frac{\sum L_i \cdot y_i}{\sum L_i}$$

El Centro de Corte es un valor geométrico.

No depende del material ni del espesor

**¿Para qué se calcula?**

# Centro de Corte: Ejemplo

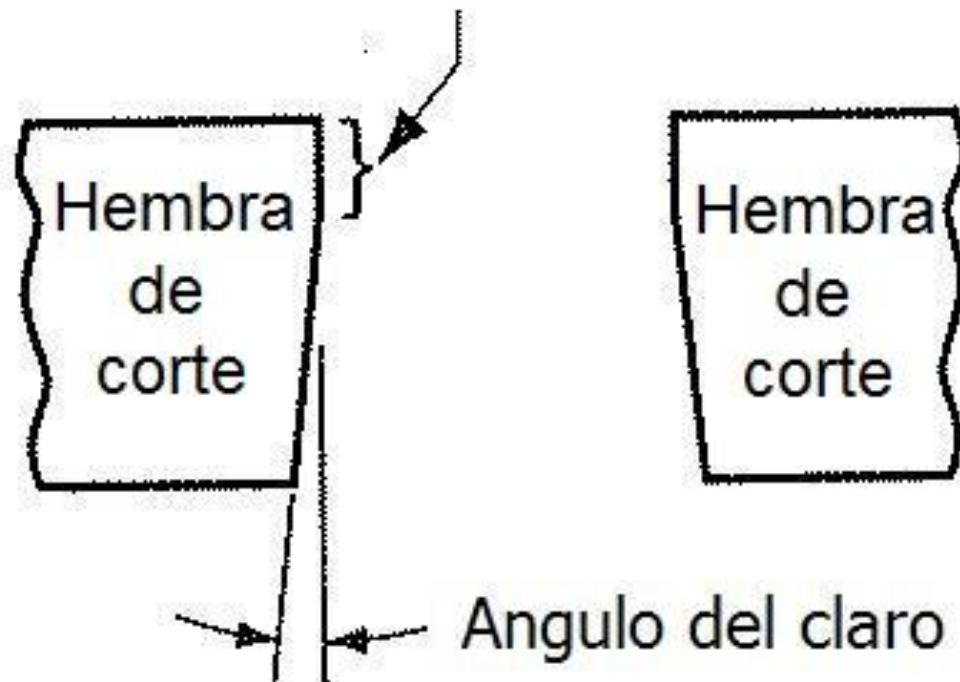


$$x_{CC} = \frac{\pi \cdot 20.0 + \pi \cdot 20.40 + \pi \cdot 30.20 + 60.20 + 90.65 + 80.105 + 80.105 + 90.145}{\pi \cdot 20 + \pi \cdot 20 + \pi \cdot 30 + 60 + 90 + 80 + 80 + 90} = 66,62 \text{ mm}$$

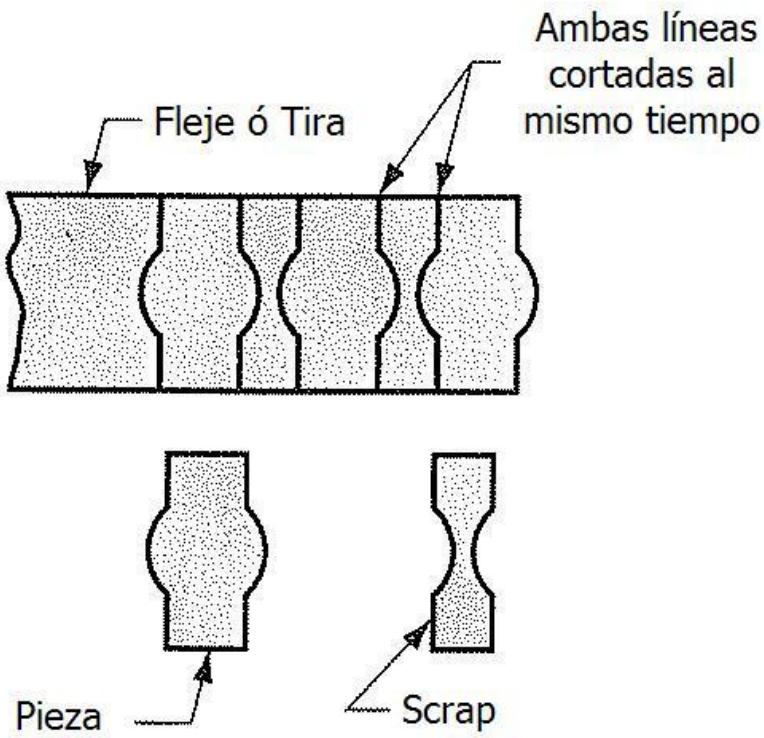
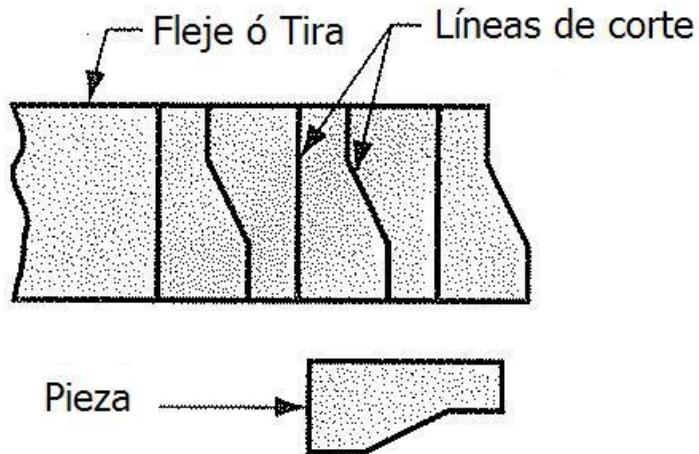
$$y_{CC} = \frac{\pi \cdot 20.20 + \pi \cdot 20.20 + \pi \cdot 30.50,9 + 60.70 + 90.45 + 80.90 + 80.0 + 90.45}{\pi \cdot 20 + \pi \cdot 20 + \pi \cdot 30 + 60 + 90 + 80 + 80 + 90} = 43,25 \text{ mm}$$

# Vida de un Troquel de Corte

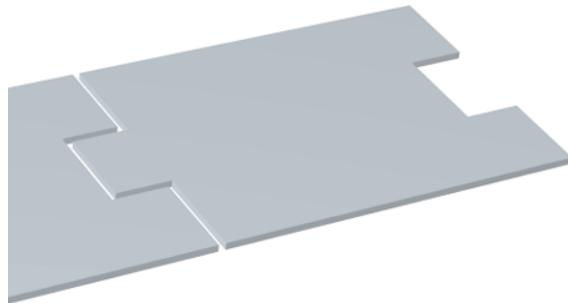
## Vida de la Matriz (Porción para reafilar)



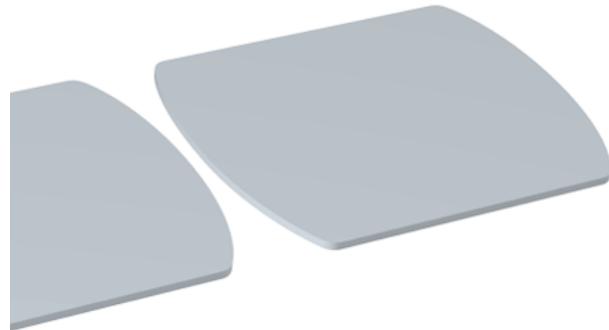
# Otras Operaciones de Corte



Corte en Trozos

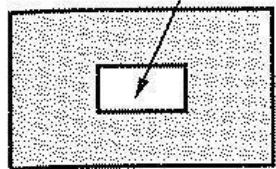


Partido



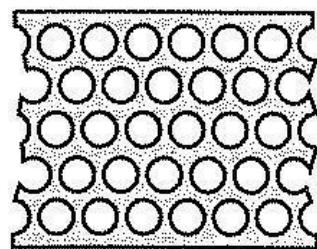
# Otras Operaciones de Corte

Ranura (Slot)



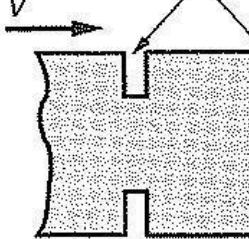
Scrap

Ranurado



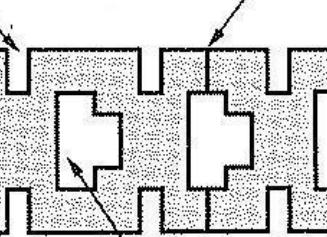
Perforado Múltiple

Muescado



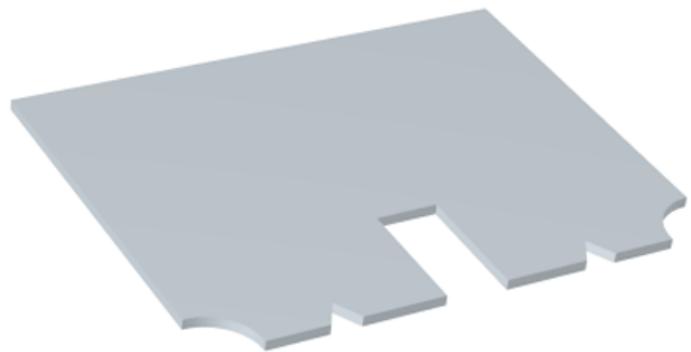
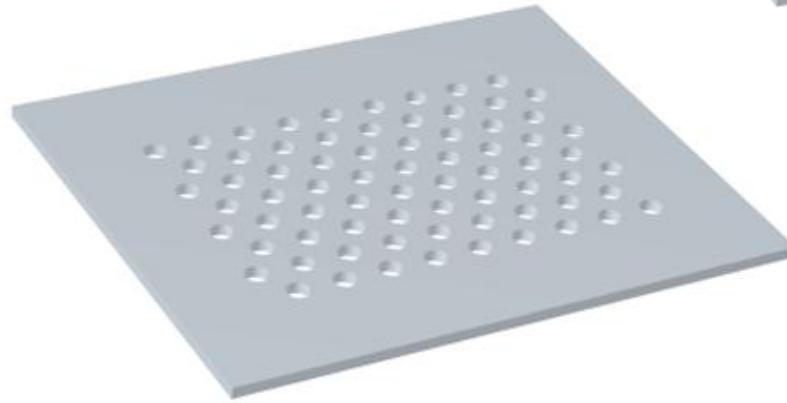
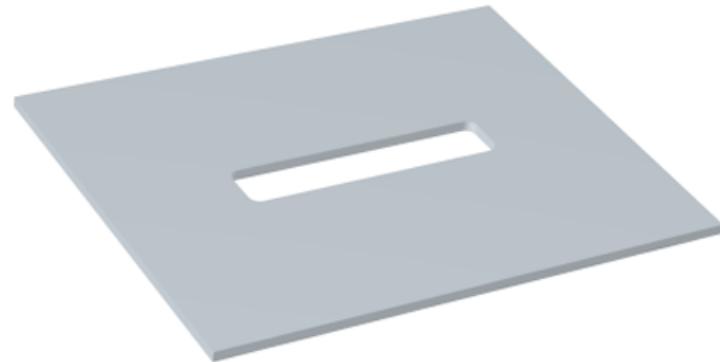
V

Línea de corte

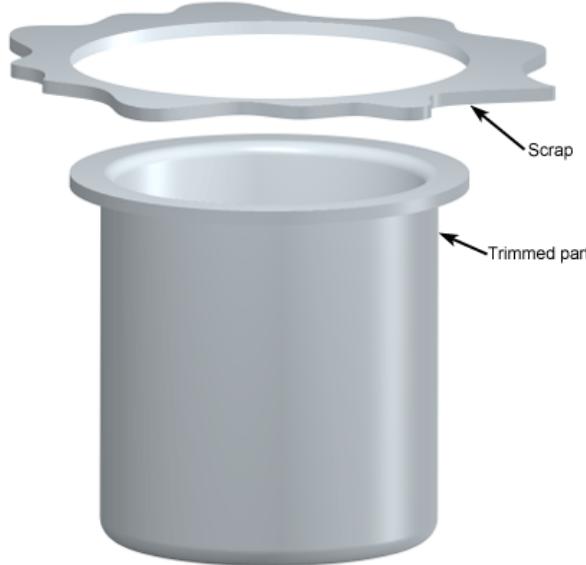


Semimuescado

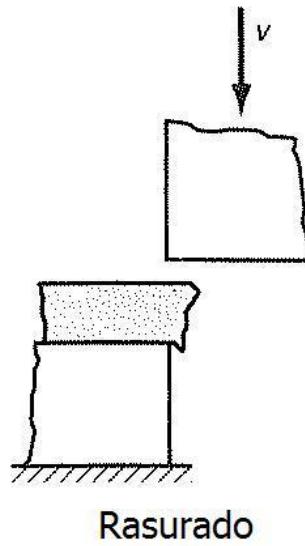
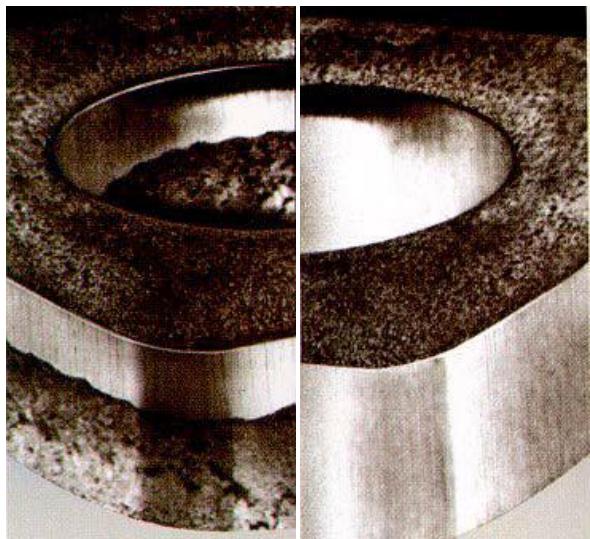
Pieza  
Terminada



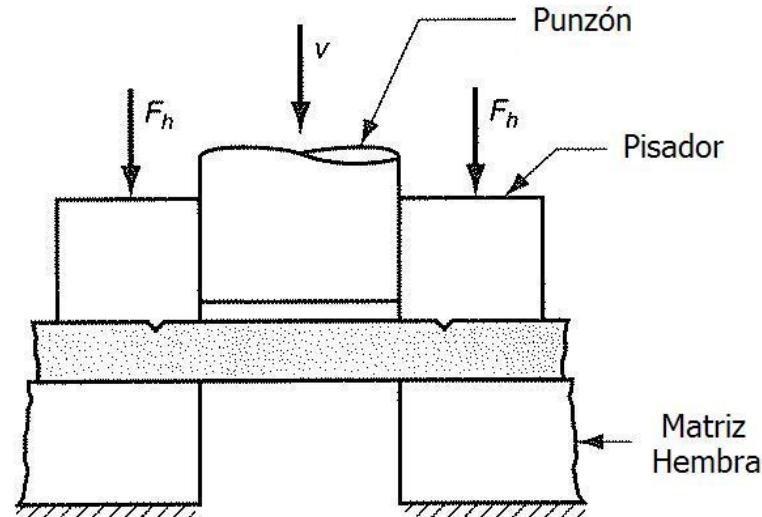
# Otras Operaciones de Corte



**Recorte:** Se utiliza para fijar el tamaño a una pieza ya conformada. Ej.: Calibrar la altura de una pieza embutida.



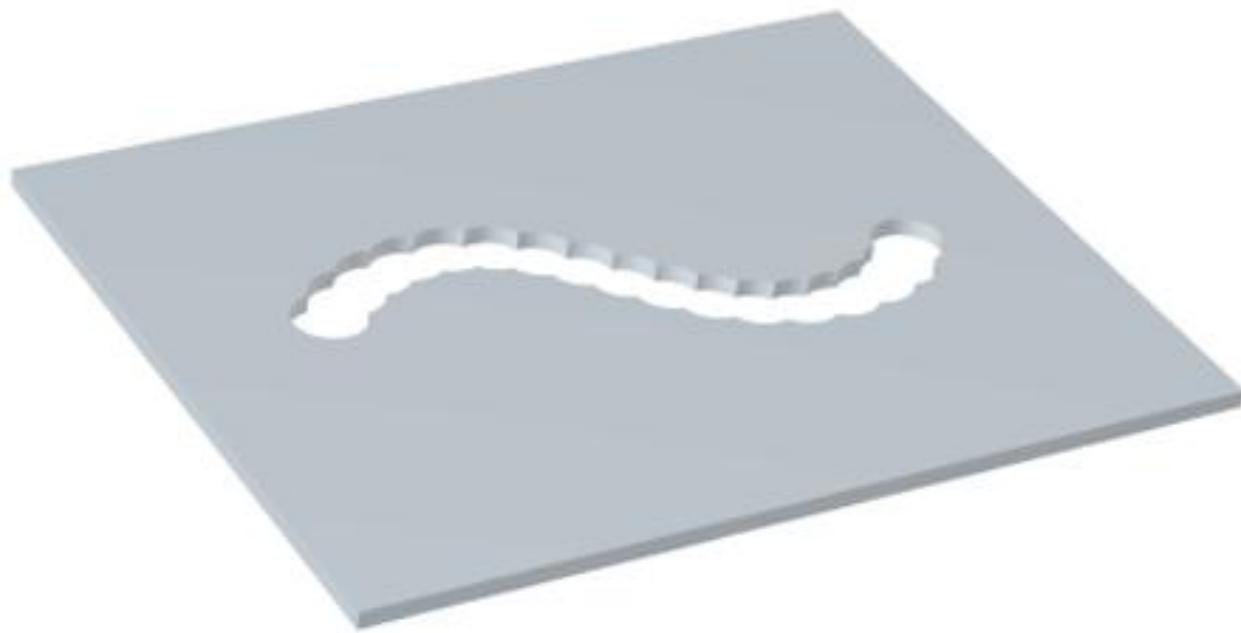
Rasurado



Punzonado Fino

## Otras Operaciones de Corte

**Mascado:** Consiste en la separación de material a lo largo de una línea de corte de forma cualquiera mediante numerosos agujeros individuales.



**Video 1: Mascado, Roído (Nibbling)**

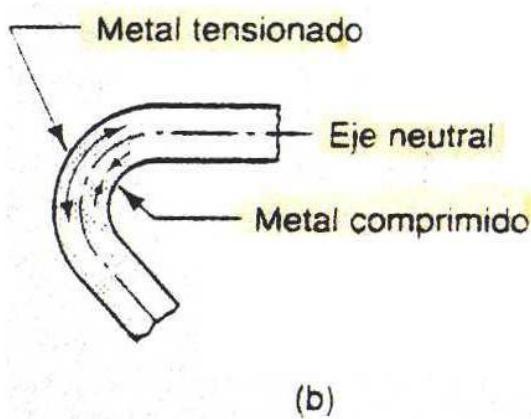
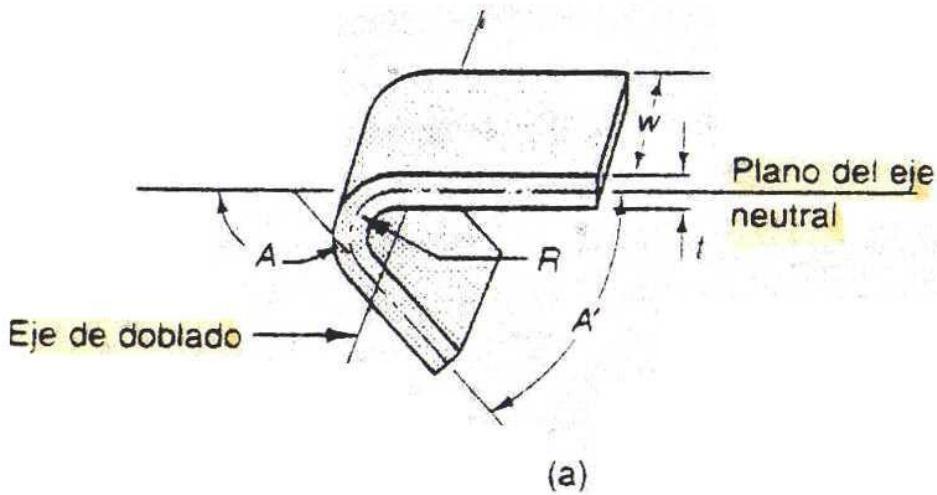
**72.04 Industrias de Procesos de Conformación**



# **OPERACIONES DE DOBLADO**

**1º - 2013**

# Operaciones de Doblado

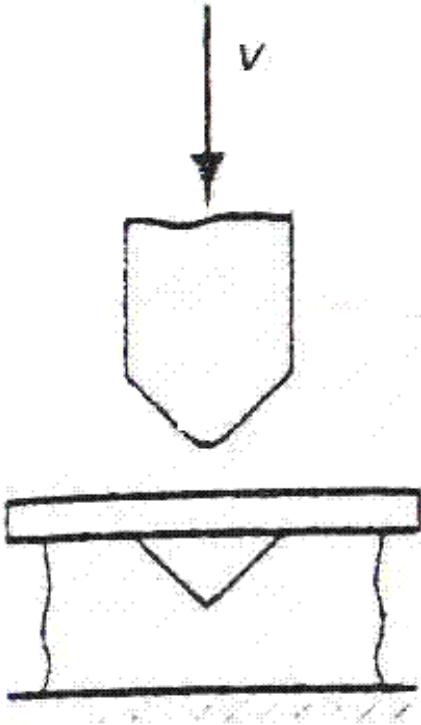


- Deformación plástica del metal alrededor de un eje.
- Fuerza de flexión
- Se produce poco o ningún cambio en el espesor.
- Fibras comprimidas y fibras tensionadas.

## Operaciones de Doblado ó Plegado

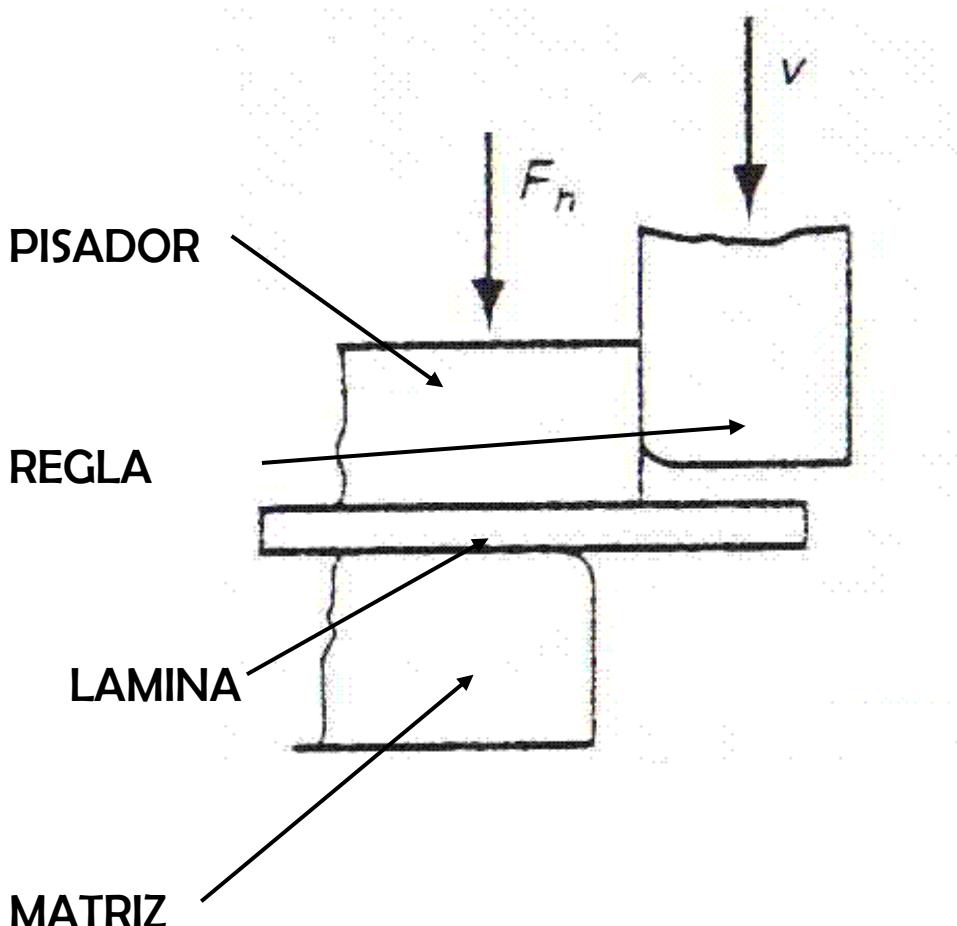
- **Doblado en V**
- **Doblado de Bordes**
- Otras Operaciones de doblado:
  - Formado de bridas, doblez, engargolado y rebordeado
  - Operaciones Misceláneas de doblado

# Doblado en «V»



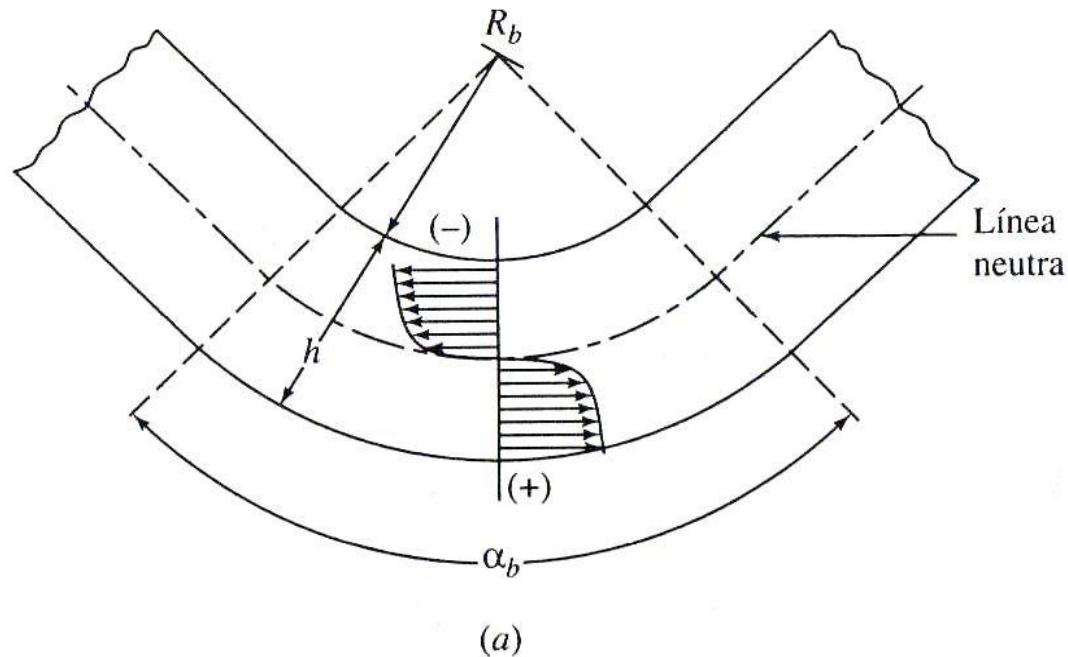
- Ángulos agudos u obtusos
- Baja Producción
- Herramental simple y de bajo costo
- Prensas de Cortina

# Doblado de Bordes



- Ángulos menores ó iguales a  $90^\circ$
- Alta Producción
- Herramental más costoso (Forma parte de una matriz compleja)
- Prensas excéntricas ó hidráulicas

# Determinación del Desarrollo



Si :

$$R_i < 2 \cdot t \Rightarrow R_N = R_i + 0,33 \cdot t$$

$$R_i \geq 2 \cdot t \Rightarrow R_N = R_i + 0,50 \cdot t$$

Donde :

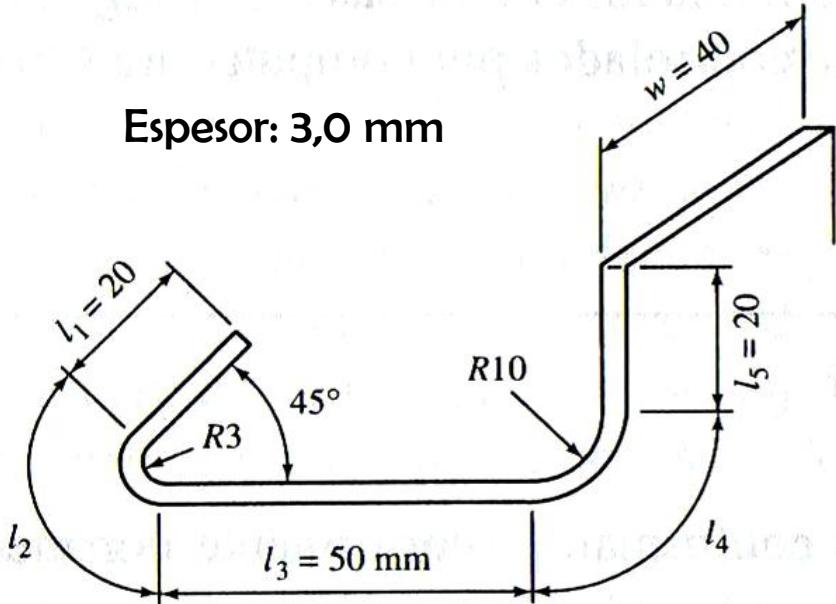
$R_i$  : Radio de doblado (interior)

$R_N$  : Radio del Eje Neutro

$t$  : espesor

# Determinación del Desarrollo: Ejemplo

Espesor: 3,0 mm



$$L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5$$

$$\left. \begin{array}{l} l_2 = \alpha \cdot R_N \\ 2 \cdot t = 2 \cdot 3 = 6 \text{ mm} \\ R_i = 3 \text{ mm} \end{array} \right\} R_i \leq 2 \cdot t \Rightarrow K = 0,33$$

$$l_2 = \frac{180 - 45}{180} \cdot \pi \cdot (3 + 0,33 \cdot 3) = 9,4 \text{ mm}$$

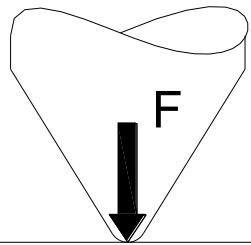
$$\left. \begin{array}{l} l_4 = \alpha \cdot R_N \\ 2 \cdot t = 2 \cdot 3 = 6 \text{ mm} \\ R_i = 10 \text{ mm} \end{array} \right\} R_i \geq 2 \cdot t \Rightarrow K = 0,5$$

$$l_4 = \frac{90}{180} \cdot \pi \cdot (10 + 0,5 \cdot 3) = 18,1 \text{ mm}$$

$$L = 20 + 9,4 + 50 + 18,1 + 20 = 117,5 \text{ mm}$$

Desarrollo: 117,5 mm x 40 mm x #3,0 mm

# Fuerza de Doblado en «V»



$$\sigma_d = \frac{M_f}{W}$$

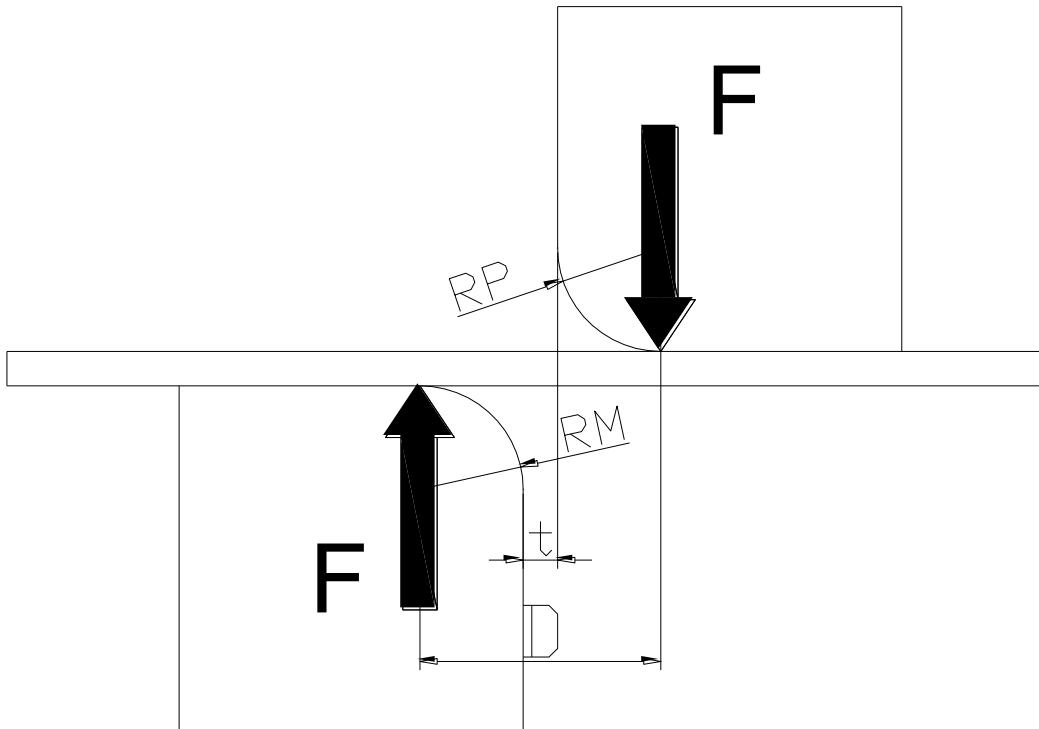
$$M_f = \frac{F}{2} \cdot \frac{D}{2} = \frac{F \cdot D}{4}$$

$$\left. \begin{aligned} W &= \frac{I_x}{y} \\ I_x &= \frac{w \cdot t^3}{12} \\ y &= \frac{t}{2} \end{aligned} \right\} W = \frac{w \cdot t^2}{6}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_d &= \frac{M_f}{W} = \frac{\frac{F \cdot D}{4}}{\frac{w \cdot t^2}{6}} \\ \sigma_d &= \frac{3 \cdot F \cdot D}{2 \cdot w \cdot t^2} \end{aligned} \right\} \left. \begin{aligned} F &= \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot w \cdot t^2}{3 \cdot D} \\ F &= \frac{4 \cdot \sigma_R \cdot w \cdot t^2}{3 \cdot D} \\ \sigma_d &= 2 \cdot \sigma_R \end{aligned} \right\}$$

$$8 \cdot t \leq D \leq 12 \cdot t$$

# Fuerza de Doblado de Bordes



$$F = \frac{\sigma_R \cdot w \cdot t^2}{3 \cdot D}$$

$$D = R_M + t + R_P$$

# Consideraciones de Diseño: Límites del Doblado

- Estricción localizada:

Se produce cuando la elongación de fibra externa ( $e_t$ ) excede la elongación uniforme del material ( $e_u$ ).

$$e_t = \frac{1}{(2R_b / h) + 1} \leq e_u \quad e_u = (\exp n) - 1$$

- Fractura:

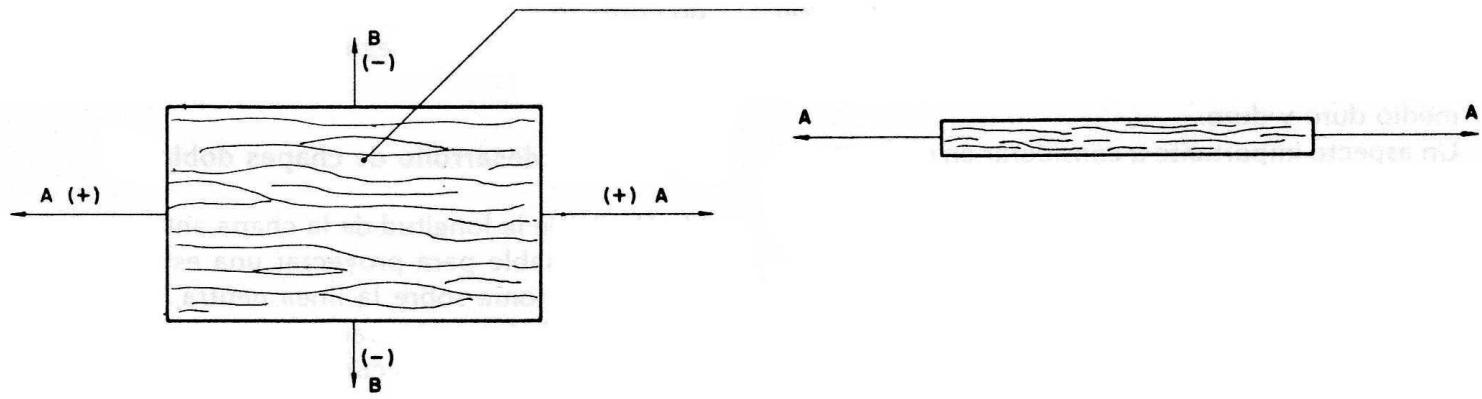
Esta relacionada con la reducción de área ( $q$ ) del ensayo de tracción.

$$R_b = h \left( \frac{1}{2q} \right) - 1 \quad \text{para } q < 0.2$$

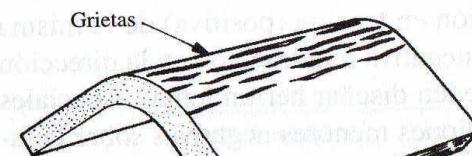
$$R_b = h \frac{(1-q)^2}{2q - q^2} \quad \text{para } q > 0.2$$

Un material con  $q > 0.5$  por lo general se puede doblar  $180^\circ$  (Radio de doblez = 0)

# Consideraciones de Diseño: Orientación de la Fibra

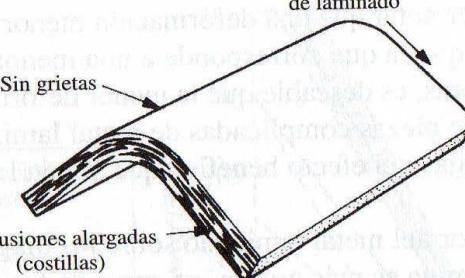


(a)



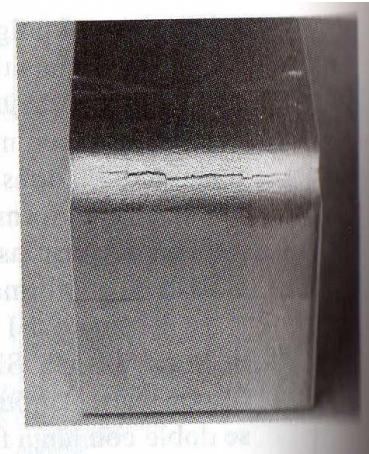
Grietas  
Dirección de laminado

(b)

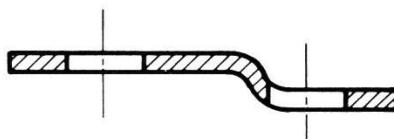
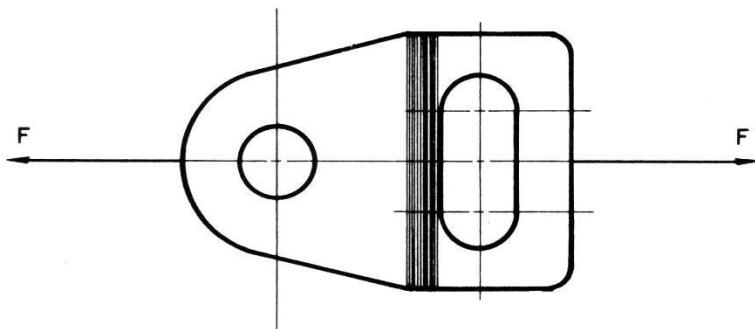


Sin grietas  
Inclusiones alargadas (costillas)  
Dirección de laminado

(c)



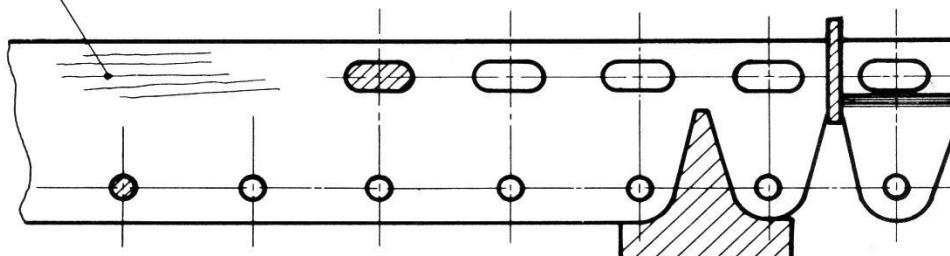
# Consideraciones de Diseño: Orientación de la Fibra



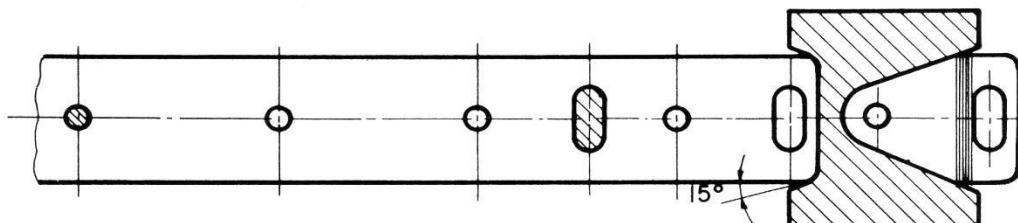
F; FUERZAS A LAS QUE  
ESTA SOMETIDA LA  
PIEZA

PRODUCTO TERMINADO

ORIENTACION DE LAS FIBRAS

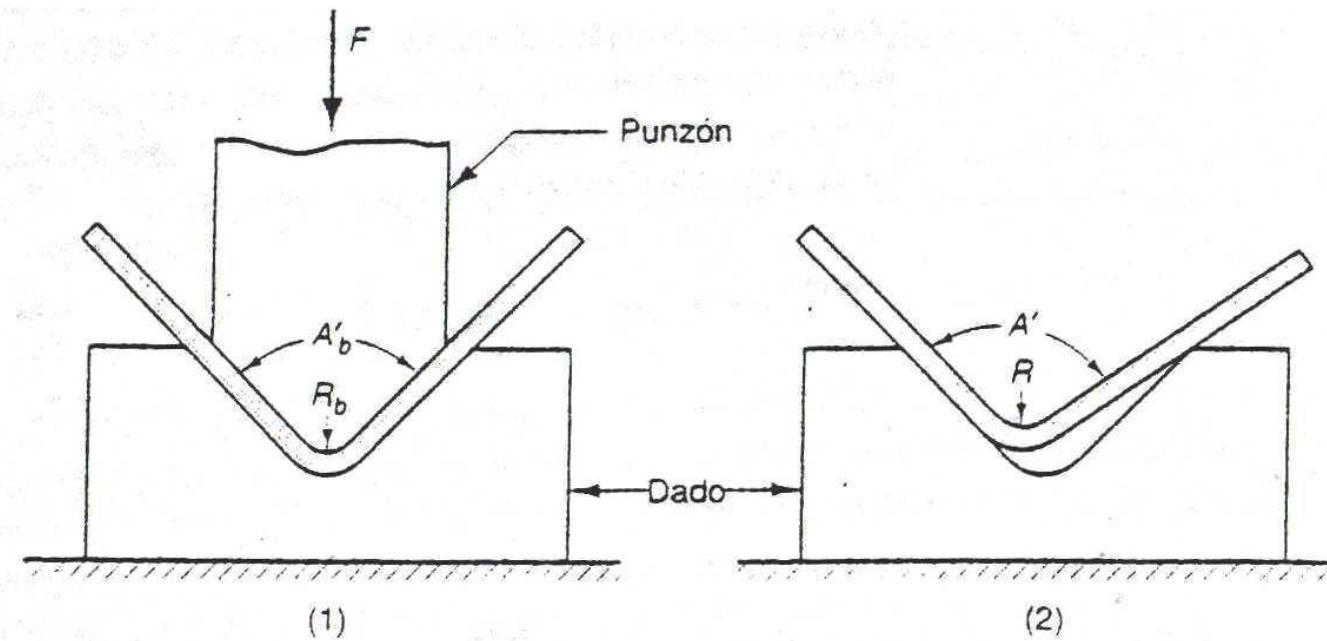


DISPOSICION INCORRECTA



DISPOSICION CORRECTA

# Consideraciones de Diseño: Recuperación Elástica



$$\frac{R_b}{R} = 1 - 3 \left( \frac{R_b}{t} \frac{\sigma_{0.2}}{E} \right) + 4 \left( \frac{R_b}{t} \frac{\sigma_{0.2}}{E} \right)^3$$

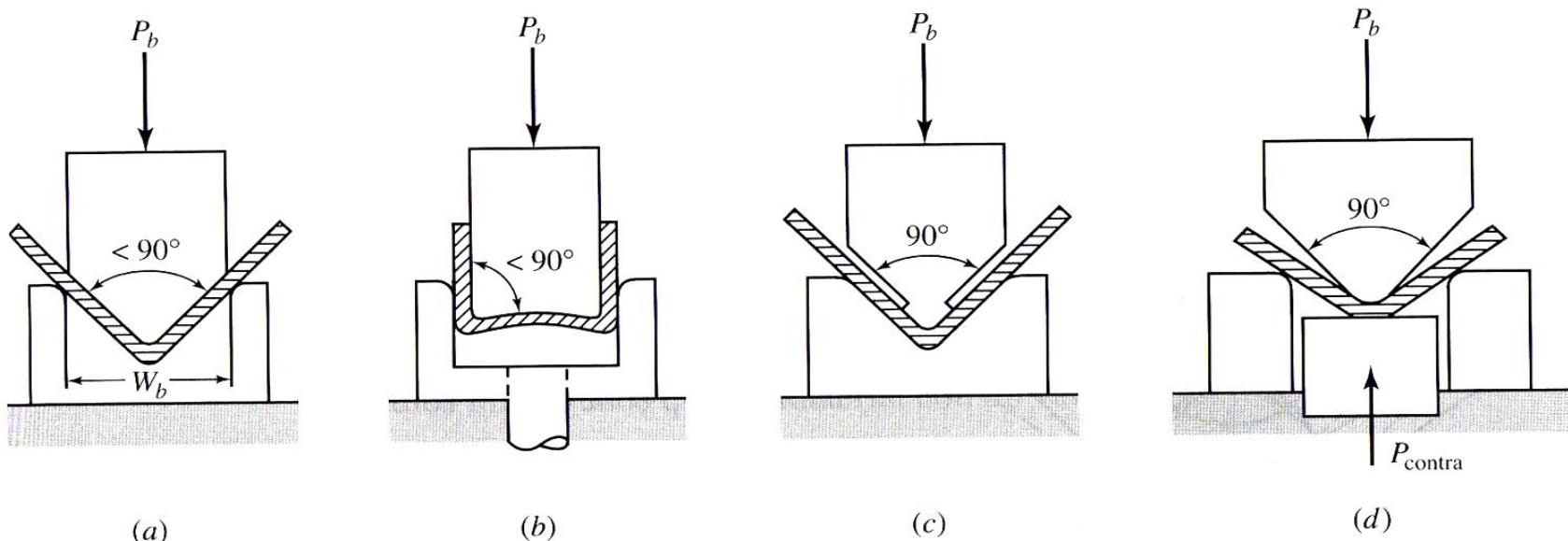
$$A' \left( R + \frac{t}{2} \right) = A'_b \left( R_b + \frac{t}{2} \right)$$

Donde:

$E$ : Módulo de elasticidad

$\sigma_{0.2}$ : Esfuerzo de Fluencia

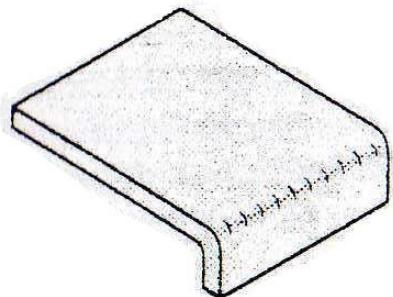
# Consideraciones de Diseño: Recuperación Elástica



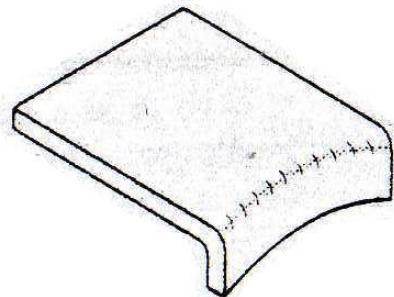
## Formar de contrarrestar la recuperación elástica

- Sobredoblar (a y b).
- Retener los extremos de la lámina causando cedencia por tensión en todo el espesor de la misma.
- La nariz del punzón está conformada para penetrar en la lámina, de manera que la compresión plástica ocurra en todo el espesor de la misma (c).
- Utilizar un contrapunzón con presión controlada.
- Utilizar temperatura para metales menos dúctiles.

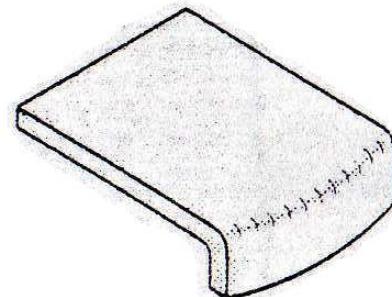
# Otras Operaciones de Doblado



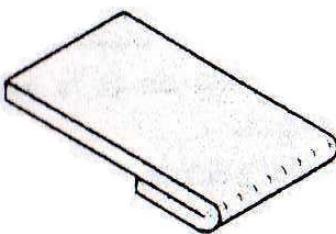
BRIDA RECTA



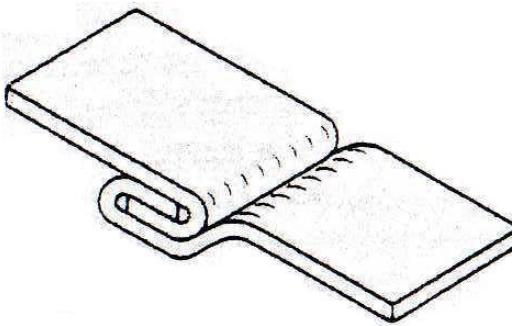
BRIDA ESTIRADA



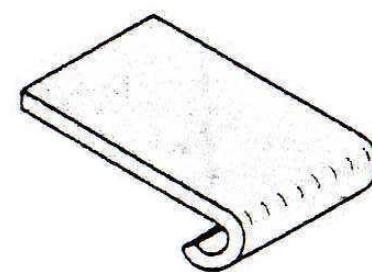
BRIDA CONTRAIDA



DOBLEZ

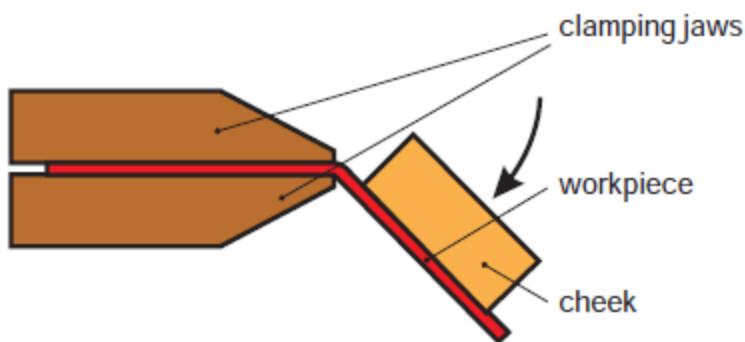


ENGARGOLADO

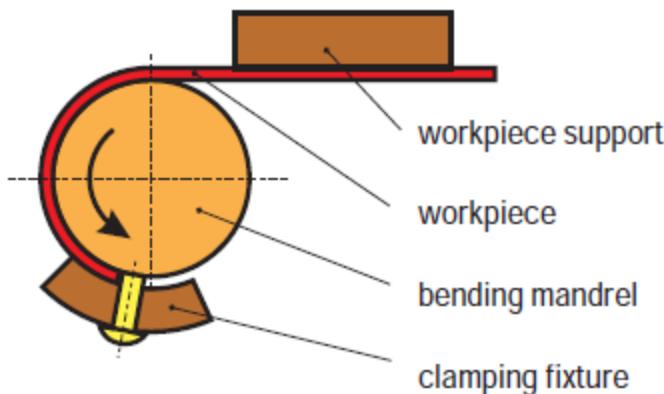


REDONDEADO

# Otras Operaciones de Doblado

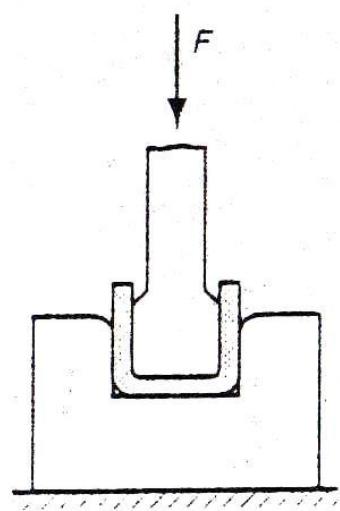


◀ Fig. 2.1.24 Swivel bending

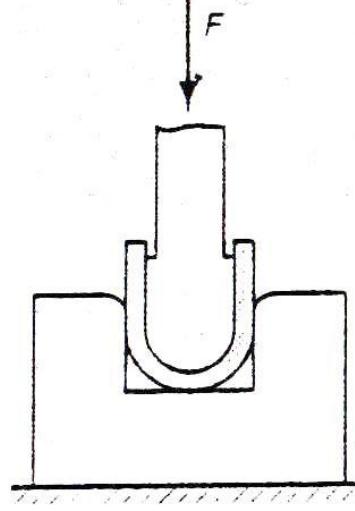


◀ Fig. 2.1.25 Circular bending

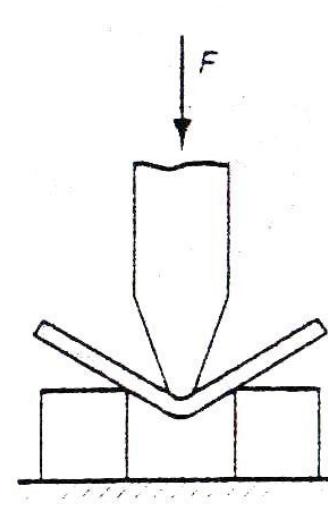
# Operaciones Misceláneas de Doblado



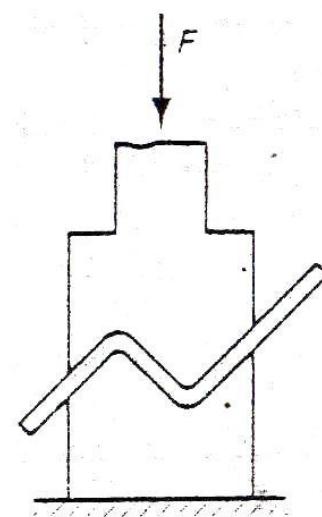
DE CANAL



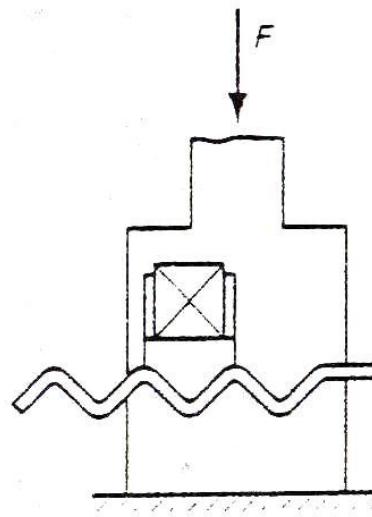
EN "U"



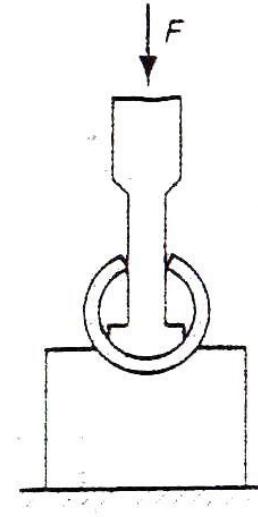
AL AIRE



ESCALONADO



CORRUGADO



DE TUBOS

**72.04 Industrias de Procesos de Conformación**



# **OPERACIONES DE EMBUTIDO**

**1º - 2013**

## Operaciones de Embutido

- Embutido
- Reembutido
- Reembutido Inverso
- Embutido de Piezas no cilíndricas
- Embutido sin Sujetador

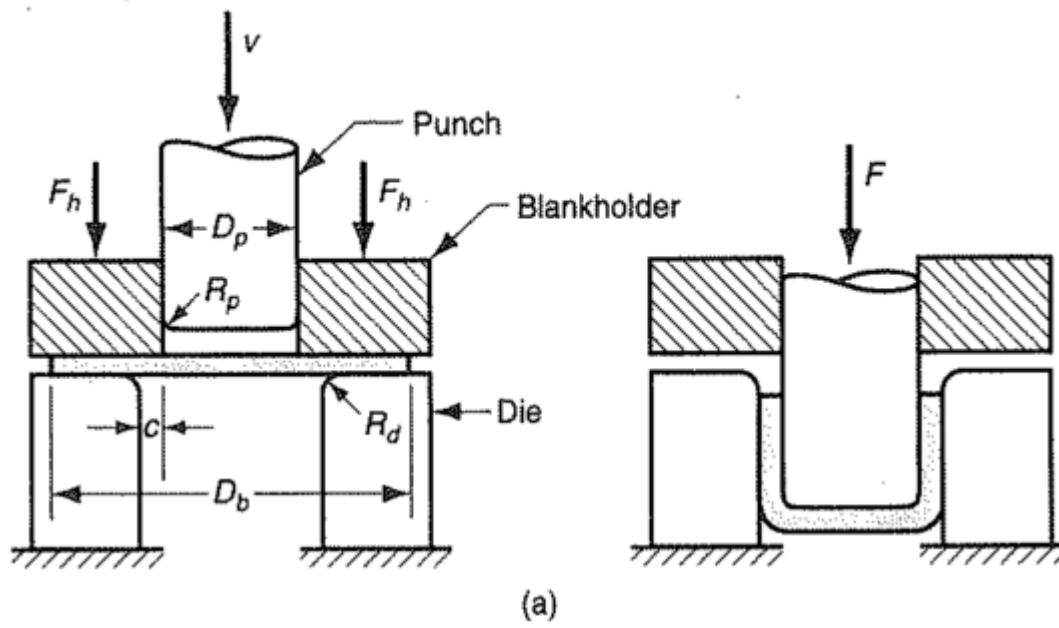
# Embutido

Operación de conformado de láminas para obtener piezas que puedan contener líquidos (cerradas).

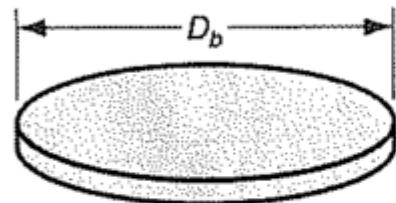
Ejemplo: Cacerolas, Fuentes, Piletas de cocina, Carter de motores, etc.



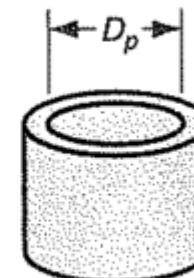
# Mecánica del Embutido



(a)



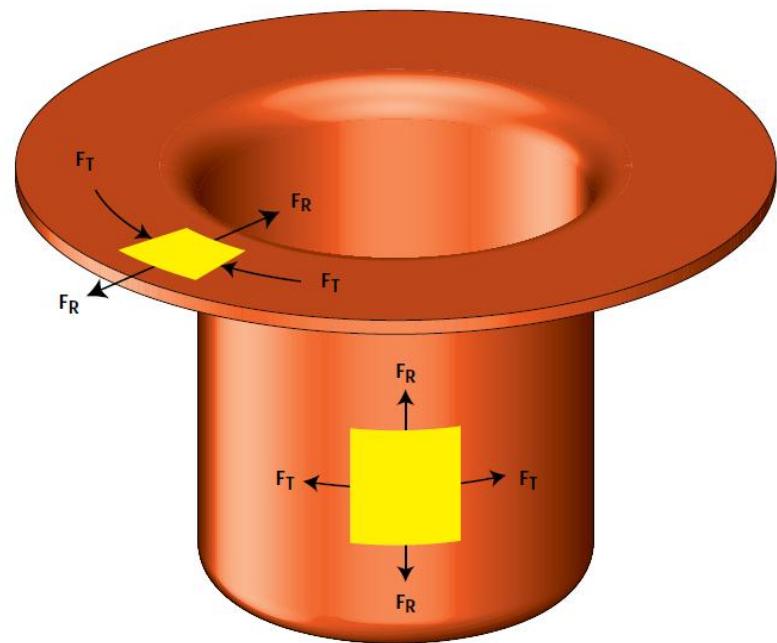
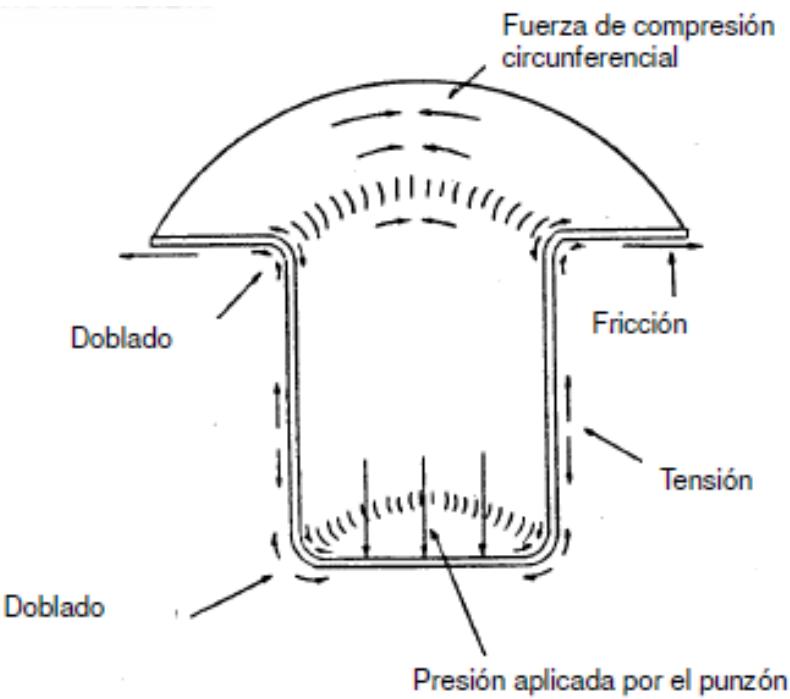
(1)



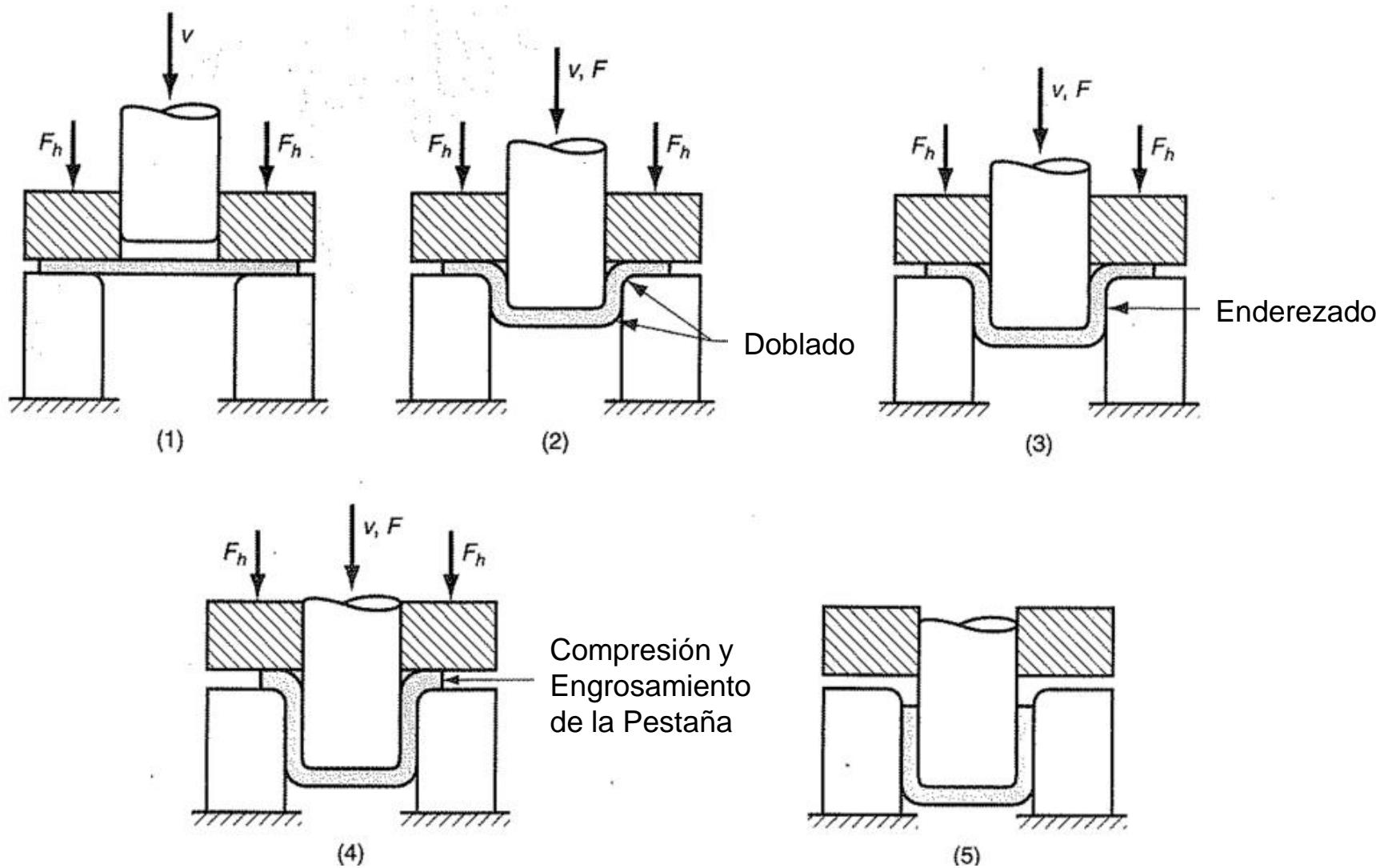
(2)

(b)

# Tensiones durante el Embutido



# Deformaciones durante el Embutido



# Variaciones del espesor luego del Embutido

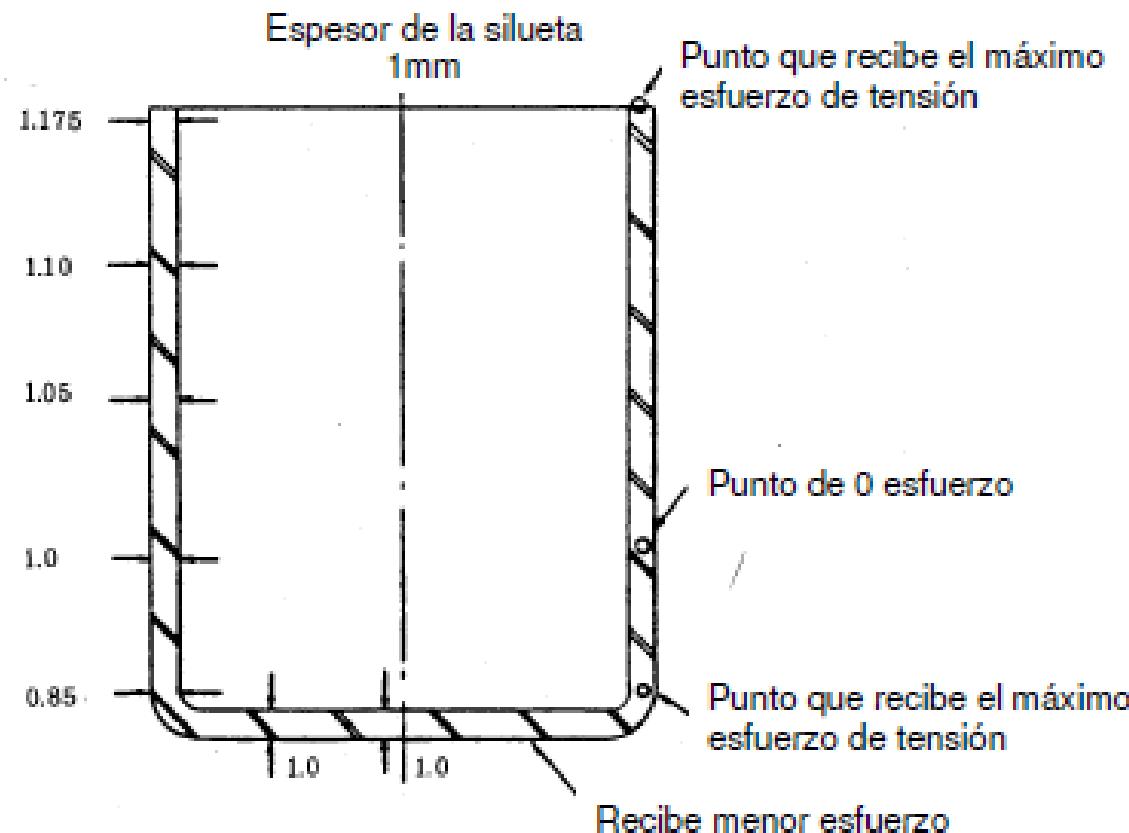


Figura 1.4: Variación del espesor del material en caso del embutido de vaso con fondo plano

# Calculo del desarrollo (Diámetro del Disco Primitivo)

- Se verifica en ensayos que el espesor permanece en promedio constante.

Por lo tanto, aplicando el principio de conservación de volumen, tenemos que:

Área disco primitivo = Área exterior de la pieza embutida

En el caso de un casquillo cilíndrico de diámetro d y altura h:

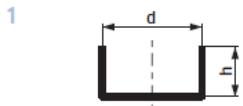
$$\pi/4 D^2 = \pi/4 d^2 + \pi d h$$

$$D = [d^2 + 4 d h]^{1/2}$$

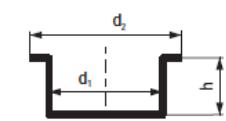
# Calculo del desarrollo (Diámetro del Disco Primitivo)

Container shape (cross-section)  
rotationally symmetrical shapes

Blank diameter D =



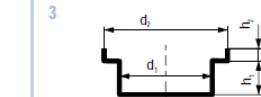
$$\sqrt{d^2 + 4 \cdot d \cdot h} *$$



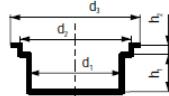
$$\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot d_1 \cdot h} *$$

Container shape (cross-section)  
rotationally symmetrical shapes

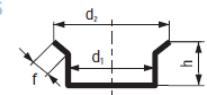
Blank diameter D =



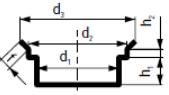
$$\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot (d_1 \cdot h_1 + d_2 \cdot h_2)} *$$



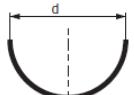
$$\sqrt{d_3^2 + 4 \cdot (d_1 \cdot h_1 + d_2 \cdot h_2)} *$$



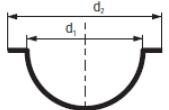
$$\sqrt{d_1^2 + 4 \cdot d_1 \cdot h + 2 \cdot f \cdot (d_1 + d_2)} *$$



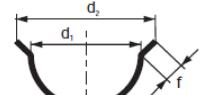
$$\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot (d_1 \cdot h_1 + d_2 \cdot h_2) + 2 \cdot f \cdot (d_2 + d_3)} *$$



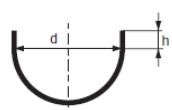
$$\sqrt{2 \cdot d^2} = 1.414 \cdot d$$



$$\sqrt{d_1^2 + d_2^2}$$



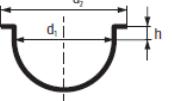
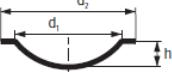
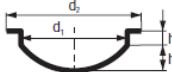
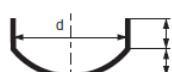
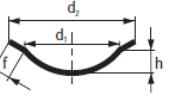
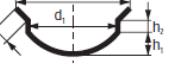
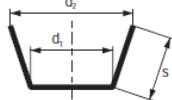
$$1.414 \cdot \sqrt{d_1^2 + f \cdot (d_1 + d_2)}$$



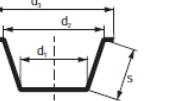
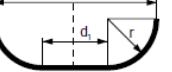
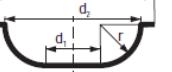
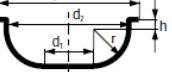
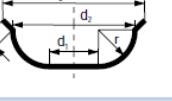
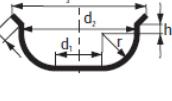
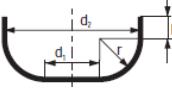
$$1.414 \cdot \sqrt{d^2 + 2 \cdot d \cdot h}$$

\* Containers with small (bottom) radii r < 10 mm

# Calculo del desarrollo (Diámetro del Disco Primitivo)

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		$\sqrt{d_1^2 + 2 \cdot s \cdot (d_1 + d_2)} *$

\* Containers with small (bottom) radii r < 10 mm

Container shape (cross-section) rotationally symmetrical shapes		Blank diameter D =
20		$\sqrt{d_1^2 + 2 \cdot s \cdot (d_1 + d_2) + d_3^2 - d_2^2} *$
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 $\sqrt{d_2^2 + 2.28 \cdot r \cdot d_2 - 0.56 \cdot r^2}$
23		$\sqrt{d_1^2 + 6.28 \cdot r \cdot d_1 + 8 \cdot r^2 + d_3^2 - d_2^2}$ or $\sqrt{d_3^2 + 2.28 \cdot r \cdot d_2 - 0.56 \cdot r^2}$
24		$\sqrt{d_1^2 + 6.28 \cdot r \cdot d_1 + 8 \cdot r^2 + 4 \cdot d_2 \cdot h + d_3^2 - d_2^2}$ or $\sqrt{d_3^2 + 4 \cdot d_2 \cdot (0.57 \cdot r + h) - 0.56 \cdot r^2}$
25		$\sqrt{d_1^2 + 6.28 \cdot r \cdot d_1 + 8 \cdot r^2 + 2 \cdot f \cdot (d_2 + d_3)}$ or $\sqrt{d_2^2 + 2.28 \cdot r \cdot d_2 + 2 \cdot f \cdot (d_2 + d_3) - 0.56 \cdot r^2}$
26		$\sqrt{d_1^2 + 6.28 \cdot r \cdot d_1 + 8 \cdot r^2 + 4 \cdot d_2 \cdot h + 2 \cdot f \cdot (d_2 + d_3)}$ or $\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot d_2 \cdot (0.57 \cdot r + h + 0.5 \cdot f) + 2 \cdot d_3 \cdot f - 0.56 \cdot r^2}$
27		$\sqrt{d_1^2 + 4 \cdot (1.57 \cdot r \cdot d_1 + 2 \cdot r^2 + d_2 \cdot h)}$ or $\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot d_2 \cdot (0.57 \cdot r + h) - 0.56 \cdot r^2}$

\* Containers with small (bottom) radii r < 10 mm

# Análisis del Embutido (Casquillo Cilíndrico)

## Relación de embutido (m)

$$m = d/D$$

La relación mínima depende del material. Con los materiales de mayor embutibilidad se logran valores de  $m = 0,55$

## Fuerza de embutido (Fe)

$$Fe = \pi d t \sigma_r ( D/d - 0.7 )$$

donde  $\sigma_r$  = tensión de rotura del material

## Fuerza del pisador o prensachapas

$$Fp = p \pi/4 ( D^2 - d^2 )$$

donde  $p$  es la presión del pisador. Un valor inicial de prueba puede ser

$$p = 0,015 \sigma_f$$

# Análisis del Embutido (Casquillo Cilíndrico)

## Trabajo de embutido (Le)

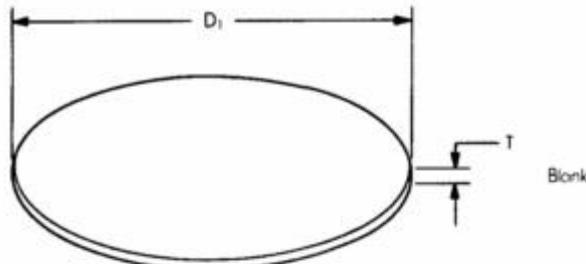
$$Le = (F_p + F_e \chi) h$$

Donde:

$\chi = f(d/D)$  valor adimensional, sale de tabla

$h$  = altura del casquillo embutido

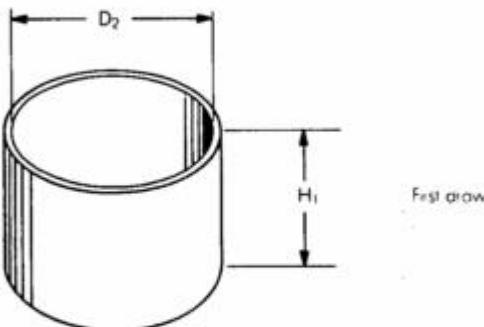
# Embutido en varios pasos



Primer paso:

$$d_1 = m_1 \cdot D$$

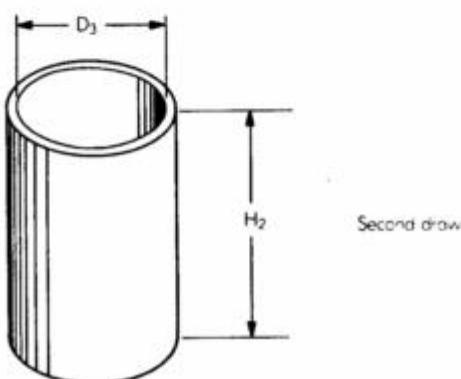
$$h_1 = (D^2 - d_1^2) / (4 \cdot d_1)$$



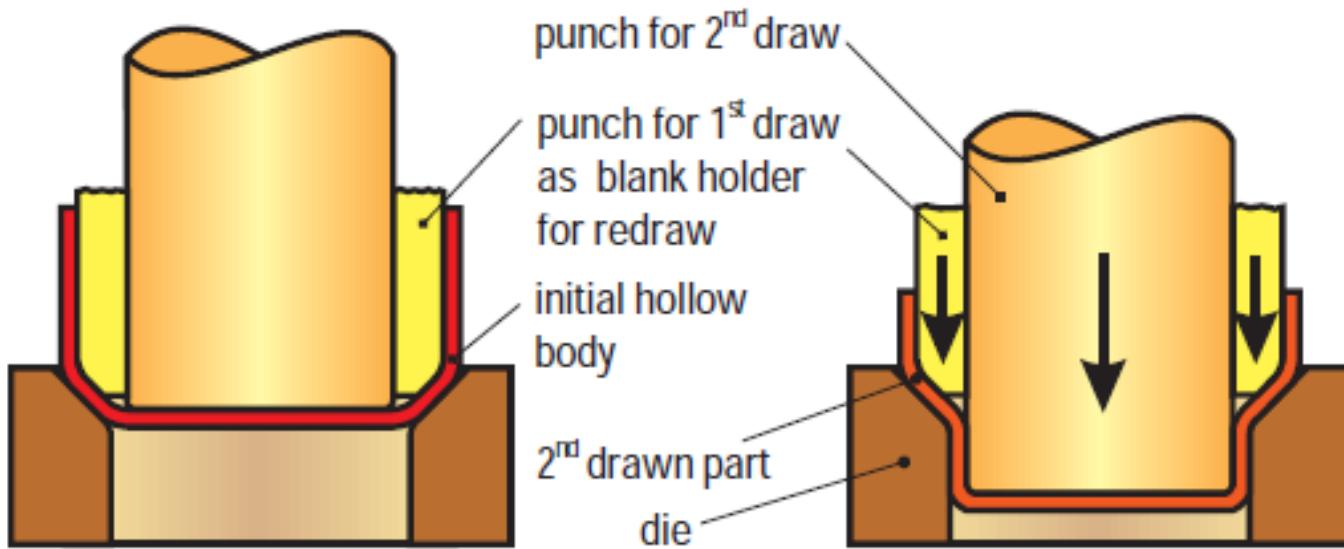
Pasos siguientes:

$$d_n = m_2 \cdot d_{n-1}$$

$$h_n = (D^2 - d_n^2) / (4 \cdot d_n)$$

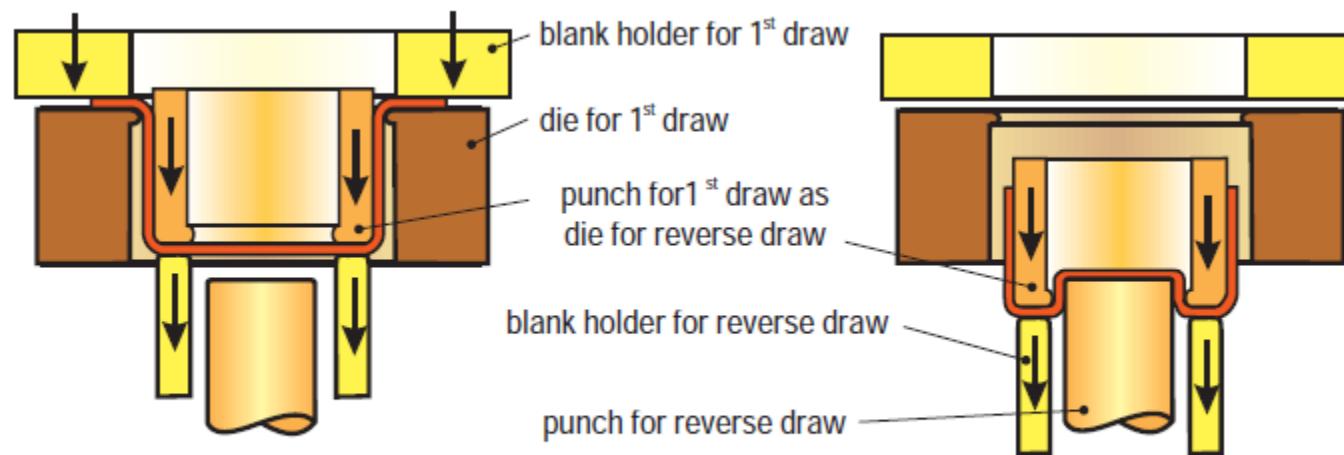


# Reembutido



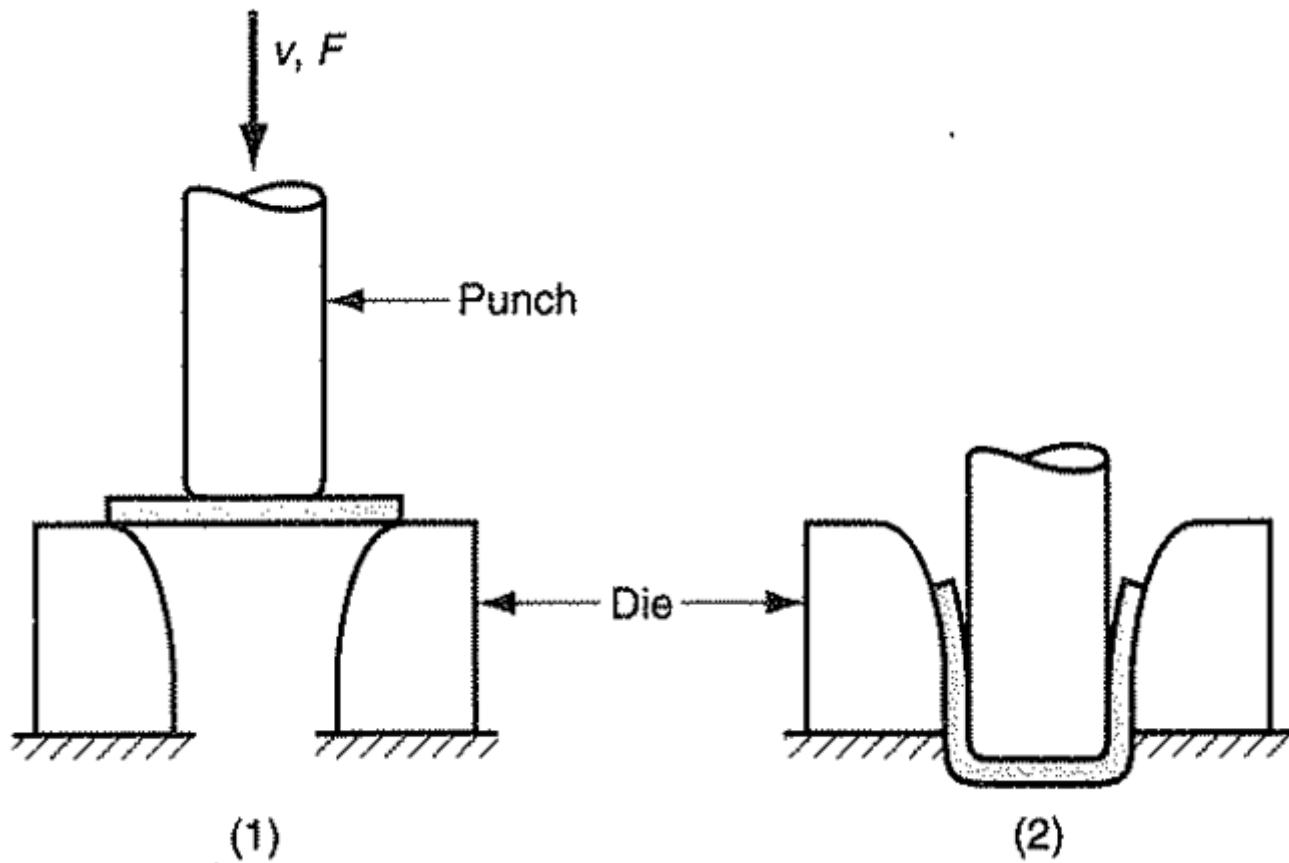
▲ Fig. 2.1.11 Multiple-draw deep drawing with telescopic punch

# Embutido Inverso



▲ Fig. 2.1.12 Reverse drawing

# Embutido sin Pisador



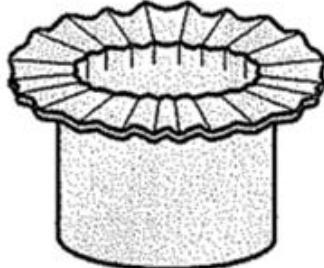
$$D_b - D_p < 5t$$

# Embutido de Piezas no Cilíndricas

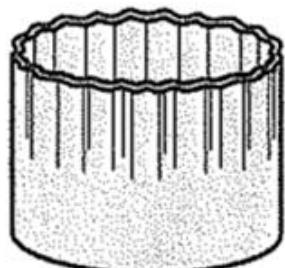


# Defectos de Piezas Embutidas

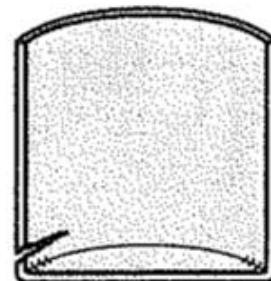
- (a) Arrugamiento en la pestaña;
- (b) Arrugamiento en la pared;
- (c) Desgarrado;
- (d) Orejeado;
- (e) Rayado superficial;



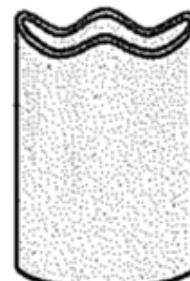
(a)



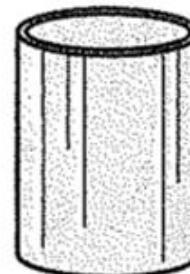
(b)



(c)



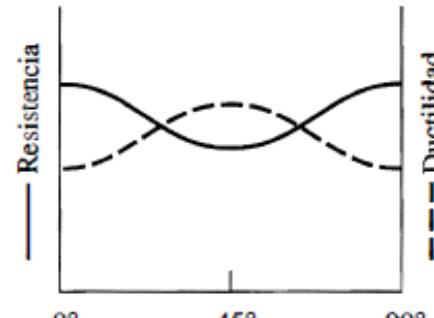
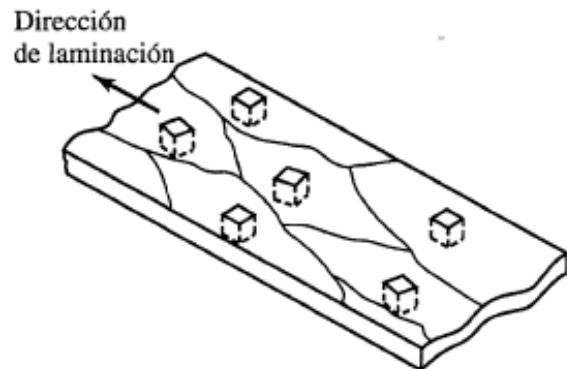
(d)



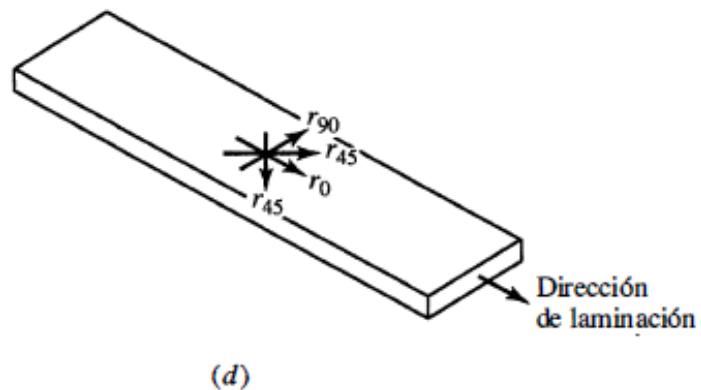
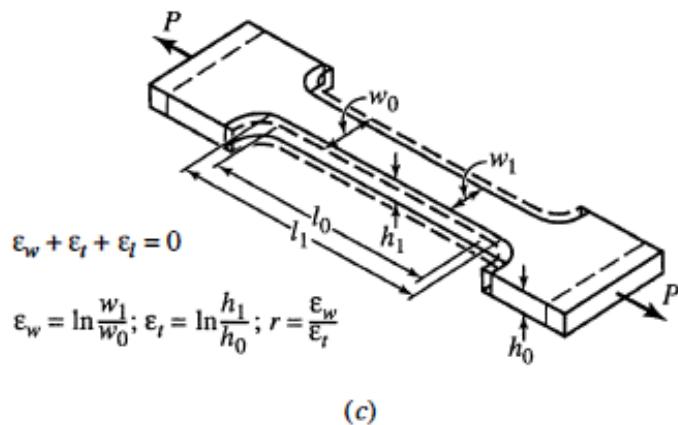
(e)

# Anisotropía Planar

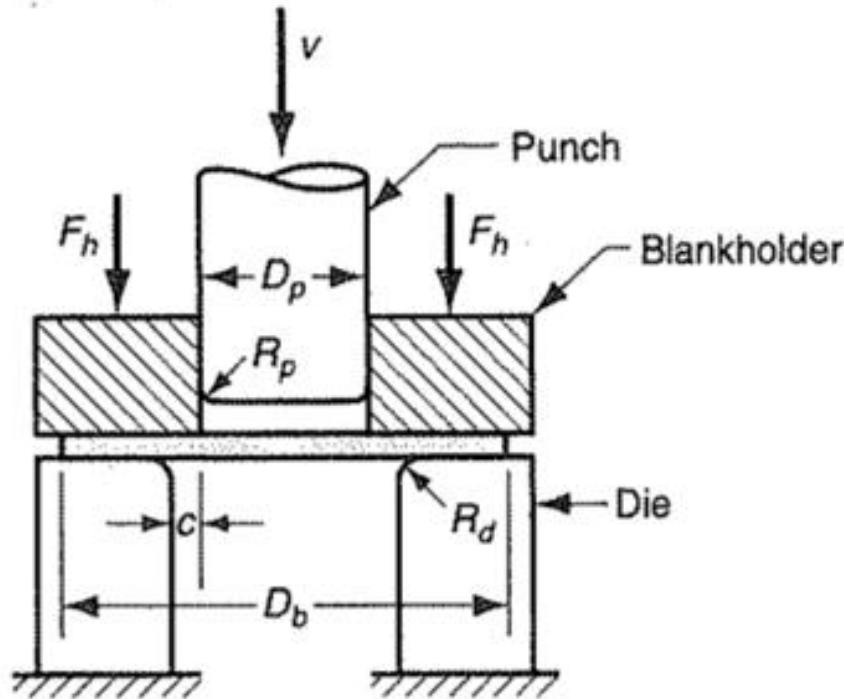
$$\varepsilon_l + \varepsilon_w + \varepsilon_t = 0$$



(b)



# Consideraciones para el Diseño de una Matriz de Embutido



- Radio de embutido  $R_d = 6t$  (valor recomendado para embutidos exigidos, puede ser menor para embutidos menos severos)
- Radio de la nariz del punzón  $R_p = 5t$  (idem anterior)
- Luz entre matriz y punzón  $c = 1,1t$



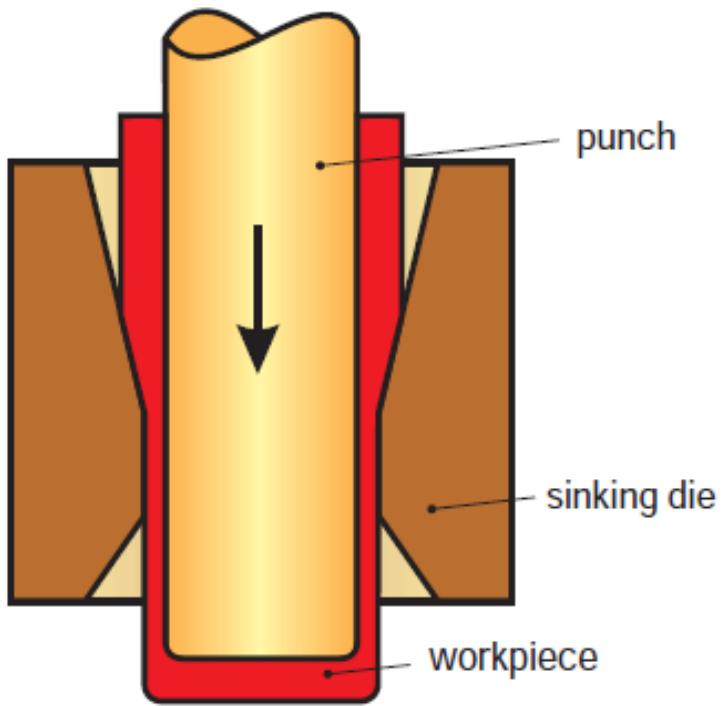
# **OTRAS OPERACIONES DE CONFORMADO DE LÁMINAS EN PRENSA**

**1º - 2013**

## Otras operaciones de Conformado de Láminas en Prensa

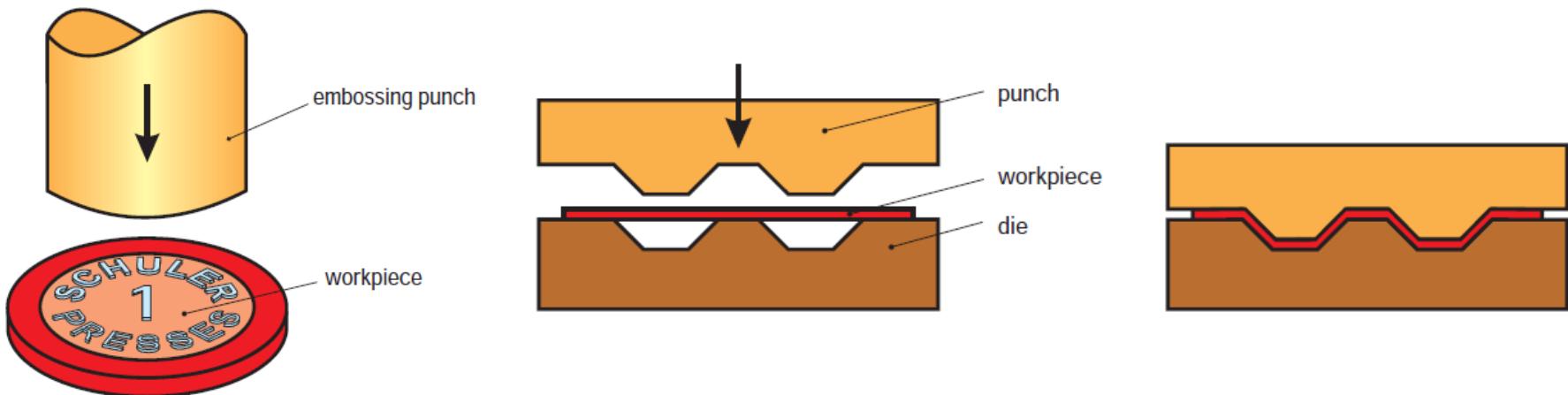
- Herramientas Metálicas
  - Planchado
  - Acuñado y estampado
  - Desplegado
  - Torcido
  - Flanging
- Con Hule
  - Proceso de Guerin
  - Hidroformado

# Planchado



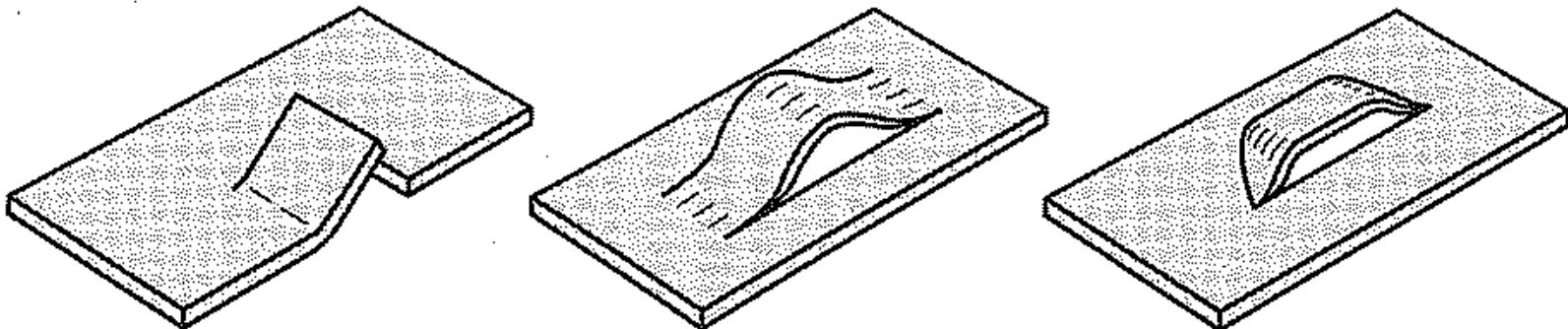
- Se utiliza para calibrar (uniformar) espesores de piezas embutidas.

# Acuñado y Estampado



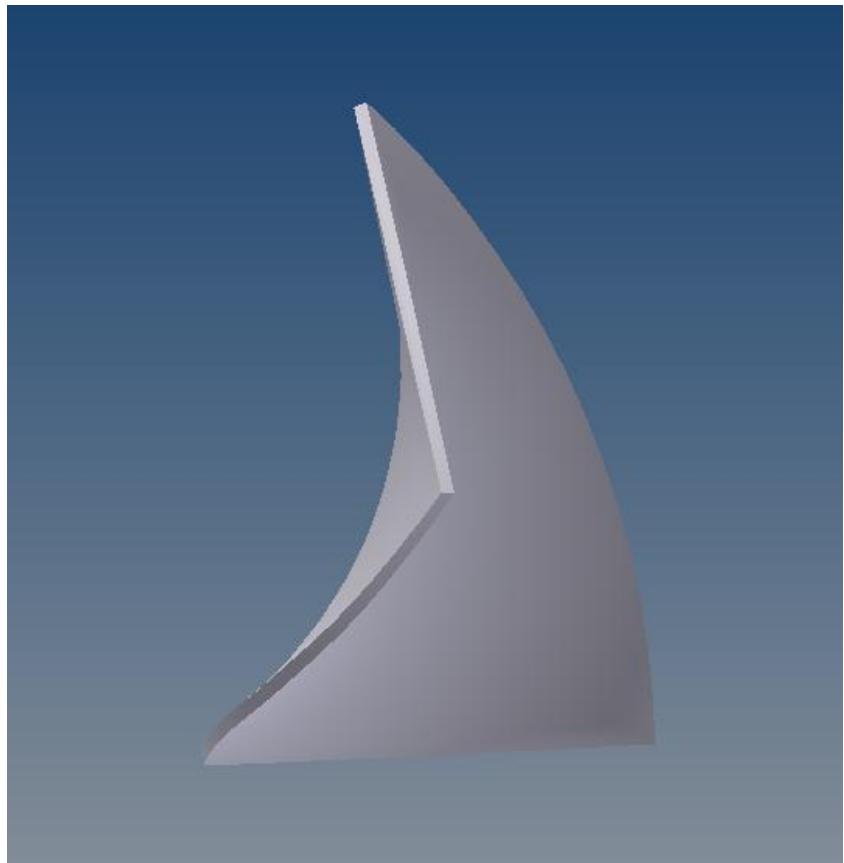
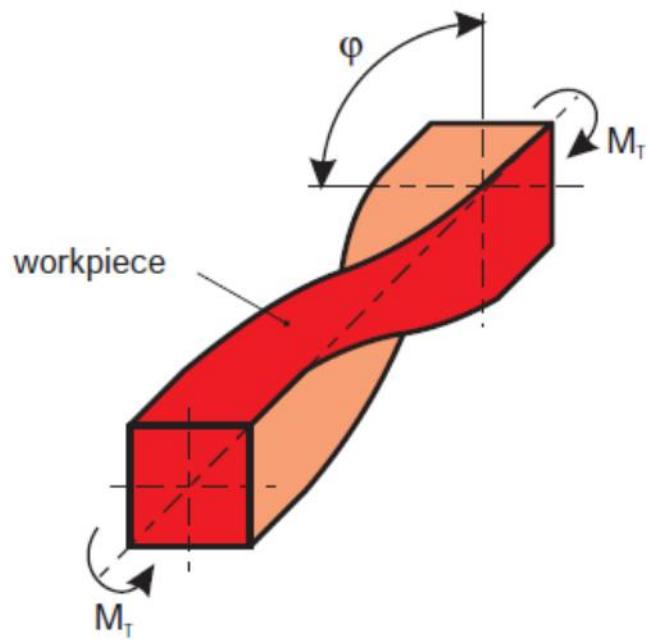
- Se utiliza para crear refuerzos y grabados en relieve.
- En el Estampado la forma de la matriz superior es positiva y la inferior es negativa (o viceversa).
- El acuñado las formas obtenidas en las caras opuestas son diferentes (mayor deformación que en el estampado).

# Desplegado



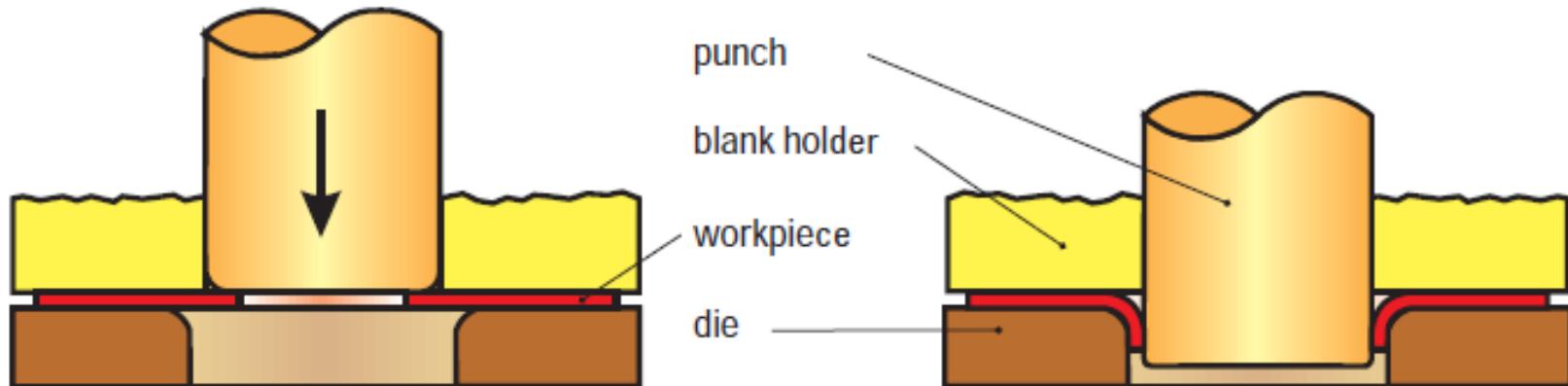
- Es una combinación de corte y doblado ó corte y formado.
- Se utiliza para hacer rejillas de ventilación, ensamblar piezas

# Torcido



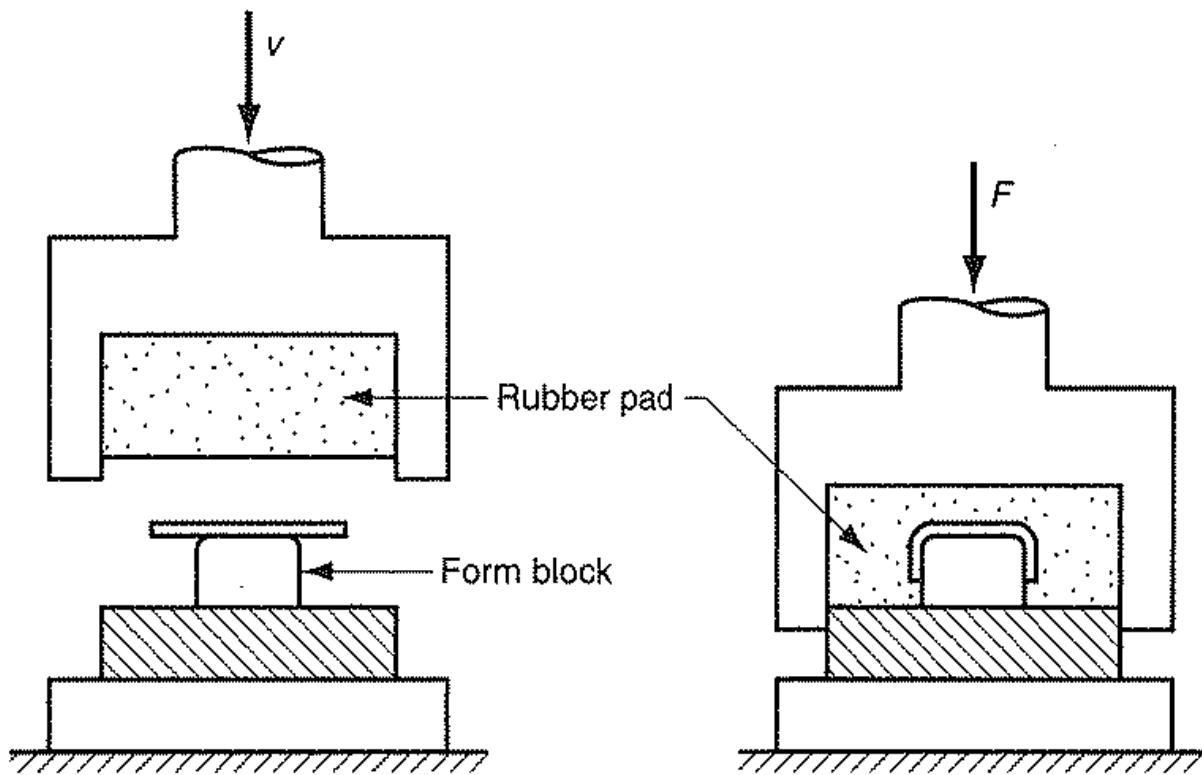
- La pieza se somete a una carga de torsión.
- Tiene aplicaciones limitadas: Paletas de ventiladores
- Se realiza en prensa con matrices especiales.

# Formado de Cuellos: Flanging



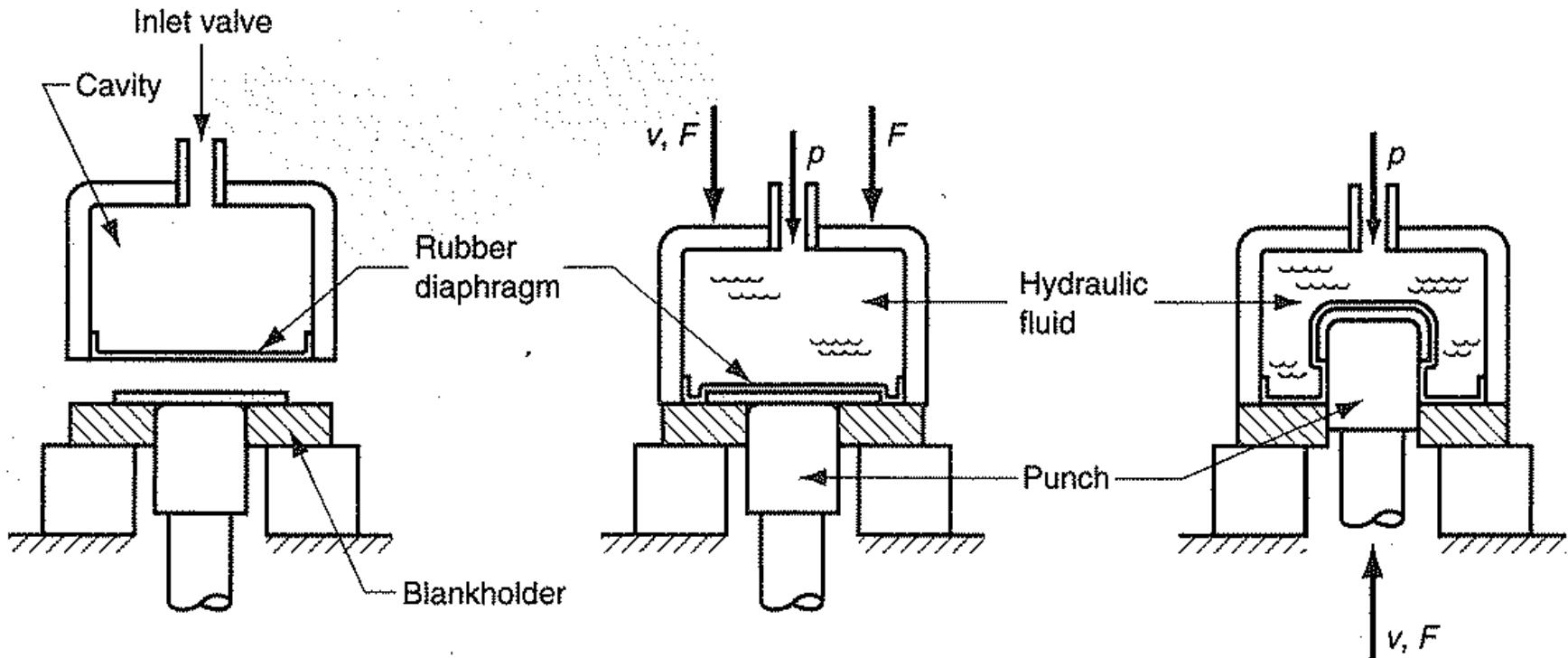
- Se forman cuellas a una pieza previamente punzonada
- Se utiliza para poder roscar piezas de chapa (poca longitud de rosca)

# Formado con Hule: Proceso Guerin



- Se limita a piezas poco profundas (Presiones no suficientes para evitar arrugado)
- Ventajas: Bajo costo herramiental
- Usos: Baja Producción (Industria Aérea)

# Formado con Hule: Hidroformado



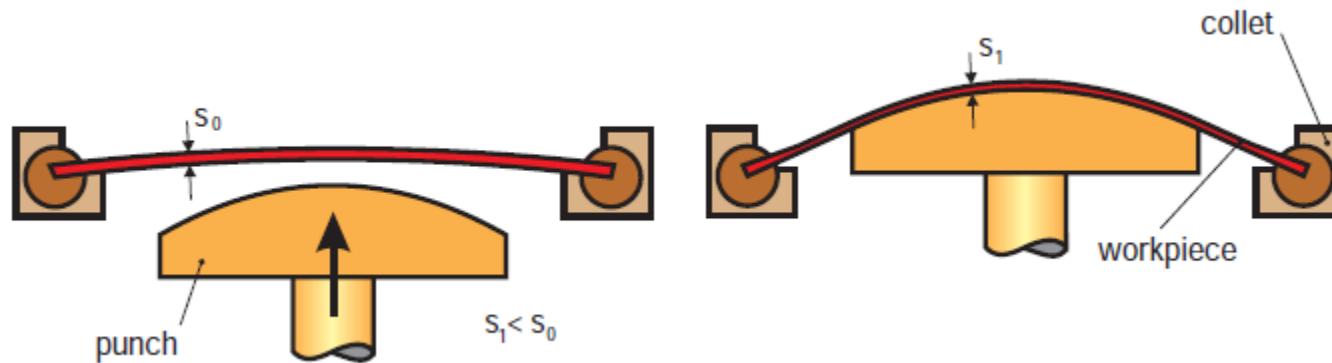
- Similar al de Guerin.
- Se sustituye el cojín de hule por un diafragma con fluido hidráulico.
- Se logran Mayores presiones, piezas más profundas.
- Presión uniforme permite mayores deformaciones que en el embutido profundo.

# **OTRAS OPERACIONES DE CONFORMADO DE LÁMINAS SIN PRENSA**

## Otras operaciones de Conformado de Láminas sin Prensa

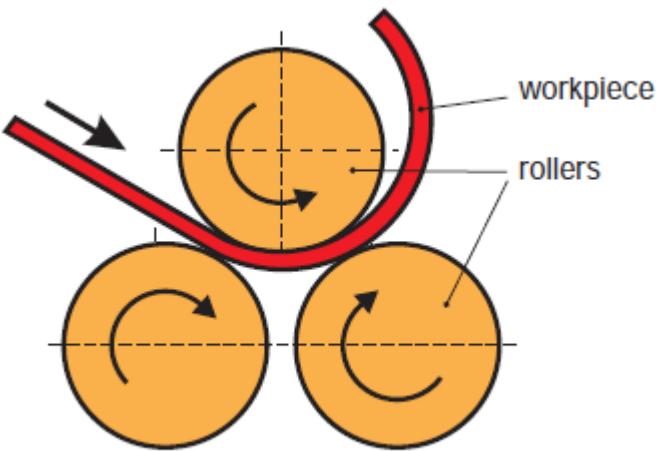
- Restirado
- Doblado y formado con Rodillos
- Rechazado
- Formado por alta velocidad

# Formado por Reestirado



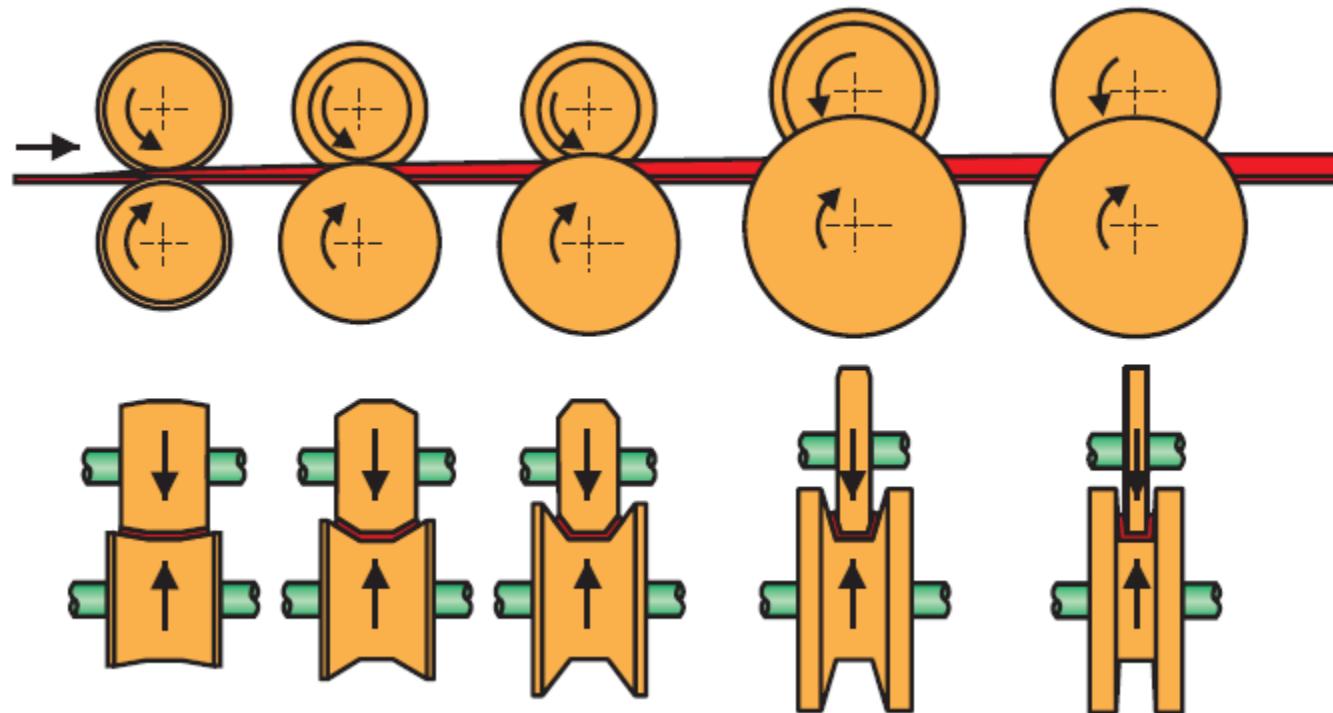
- Se produce Doblado y Estirado de la chapa en forma simultanea
- La chapa tiene poca recuperación elástica
- Se utiliza en la industria aérea: Grandes Piezas en bajas cantidades

# Doblado con Rodillos



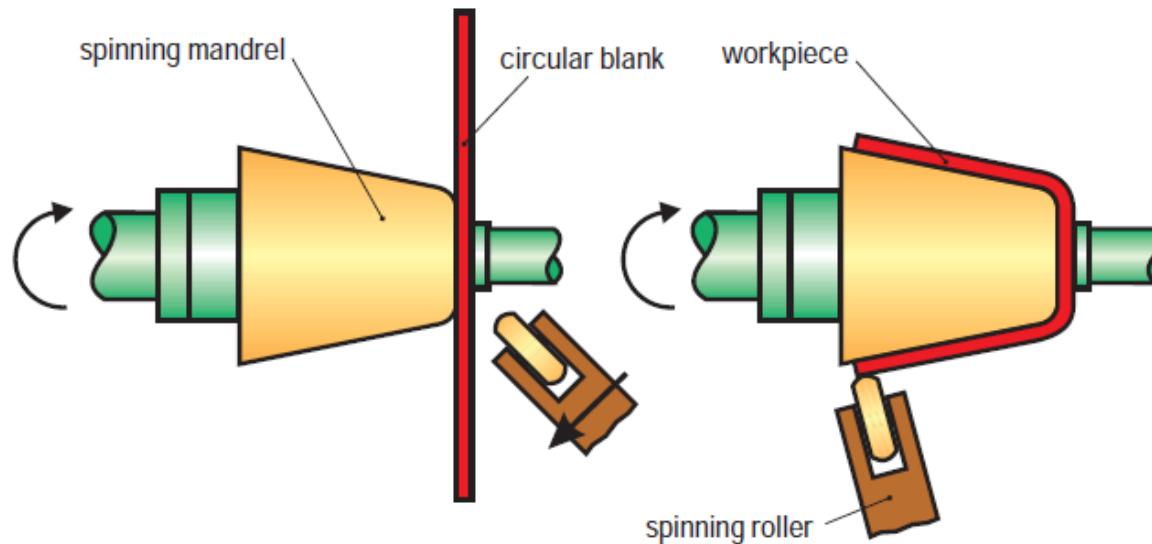
- Se pueden curvar chapas, perfiles estructurales y tubos
- Utilizado en la fabricación de grandes tanques de almacenamiento y recipientes a presión

# Formado con Rodillos



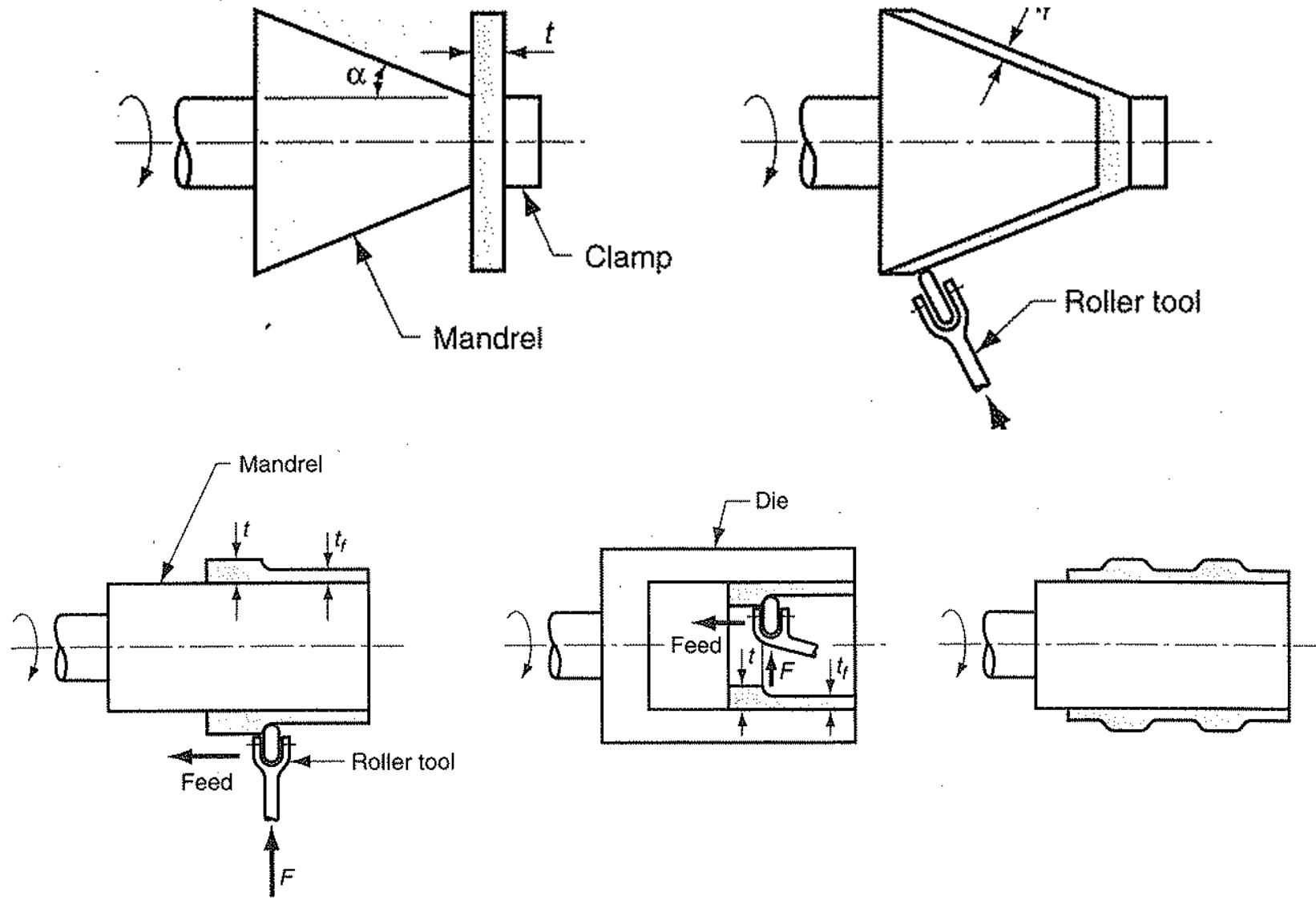
- Es un proceso continuo utilizado para doblar largas secciones de chapas.
- Se pueden fabricar canaletas, perfiles de puertas y ventanas, tubos con costura.
- La diferencia con el proceso de laminación, es que prevalece el doblado sobre la compresión.

# Rechazado



- Utilizado para conformar piezas de simetría axial.
- Una herramienta redondeada ejerce una presión elevado sobre la chapa, haciendo que la misma tome la forma del Mandril.
- Existen 3 tipos:
  - Convencional (sin variación del espesor)
  - Cortante (se reduce el espesor inicial)
  - De Tubos (similar al cortante pero la pieza inicial es un tubo)
- Puede ser manual o automatizado
- Herramientas de bajo costo (sustituto de embutidos)

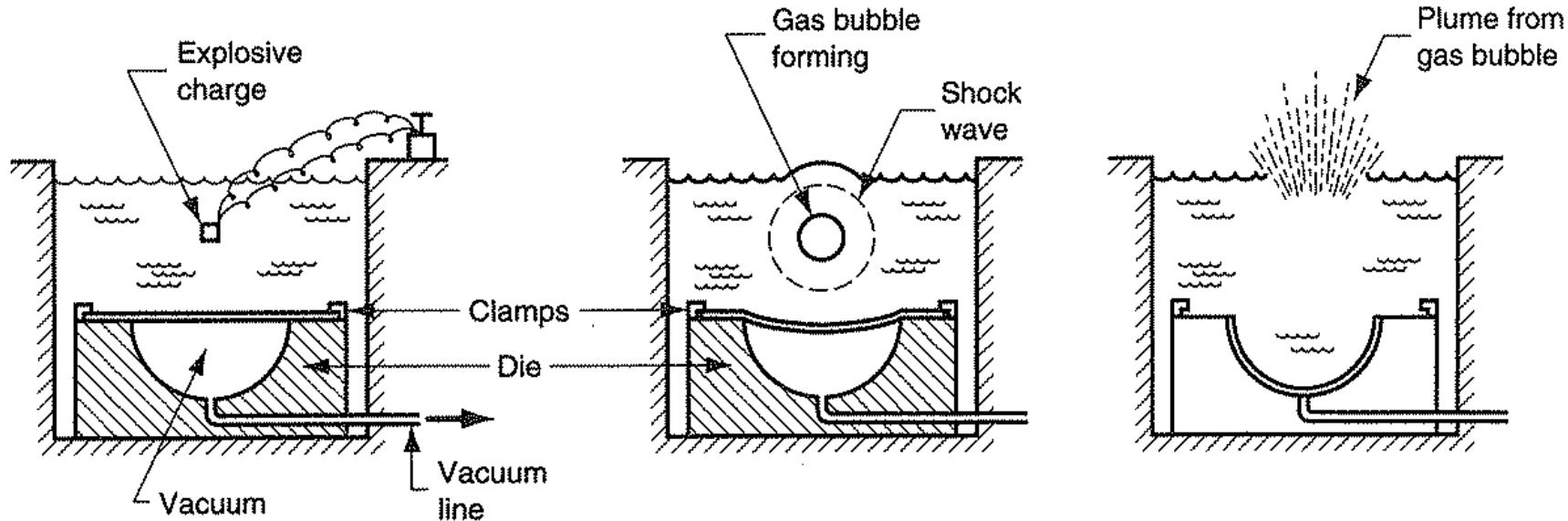
# Rechazado



# Formado por alta velocidad

## Formado por Explosión

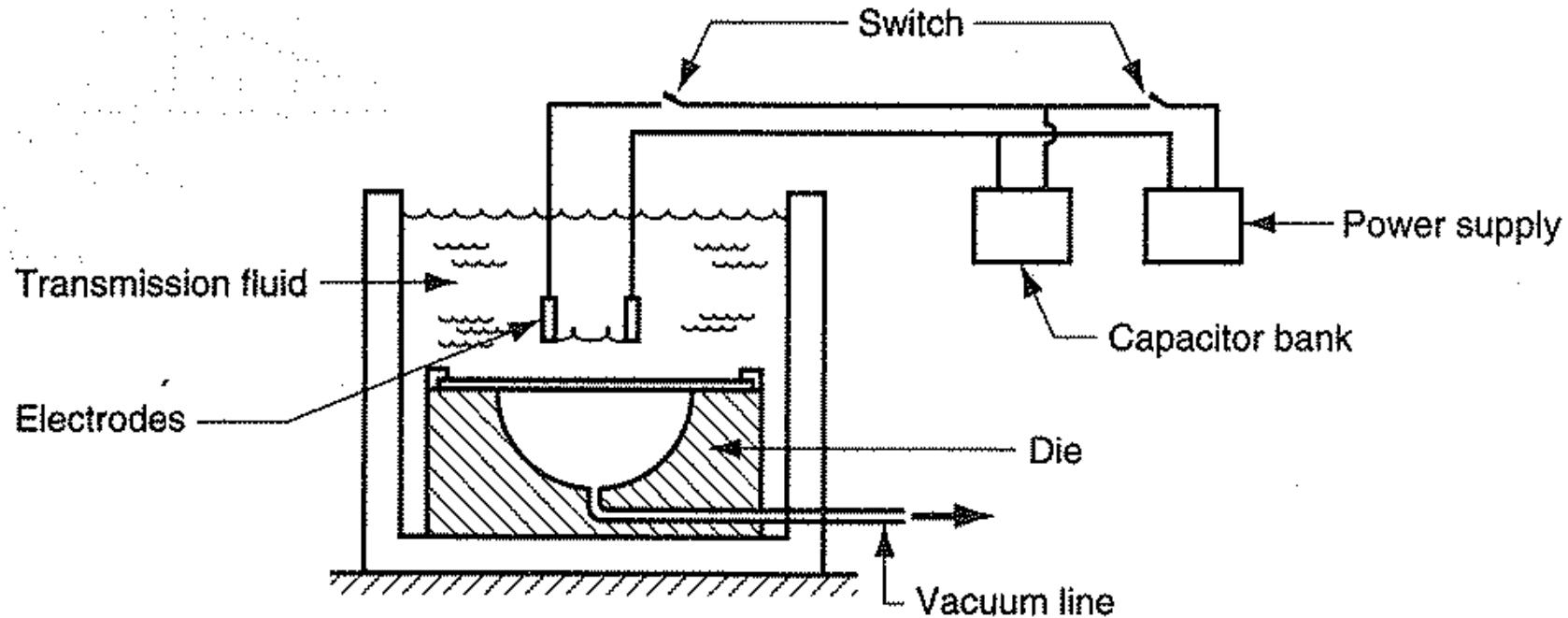
- Utilizado para conformar Grandes piezas (Industria Aeroespacial)



# Formado por alta velocidad

## Formado Electrohidráulico

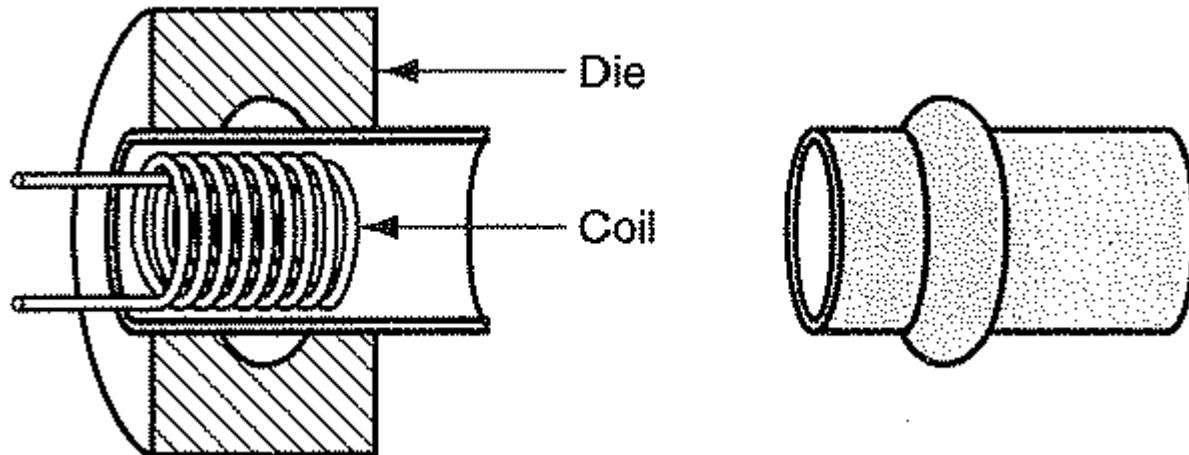
- Similar al anterior
- La onda de choque se genera por una descarga eléctrica
- Menor Energía. Piezas más pequeñas.



# Formado por alta velocidad

## Formado Electromagnético

- Es el proceso de alta energía más utilizado
- Se utiliza para conformar tubos.



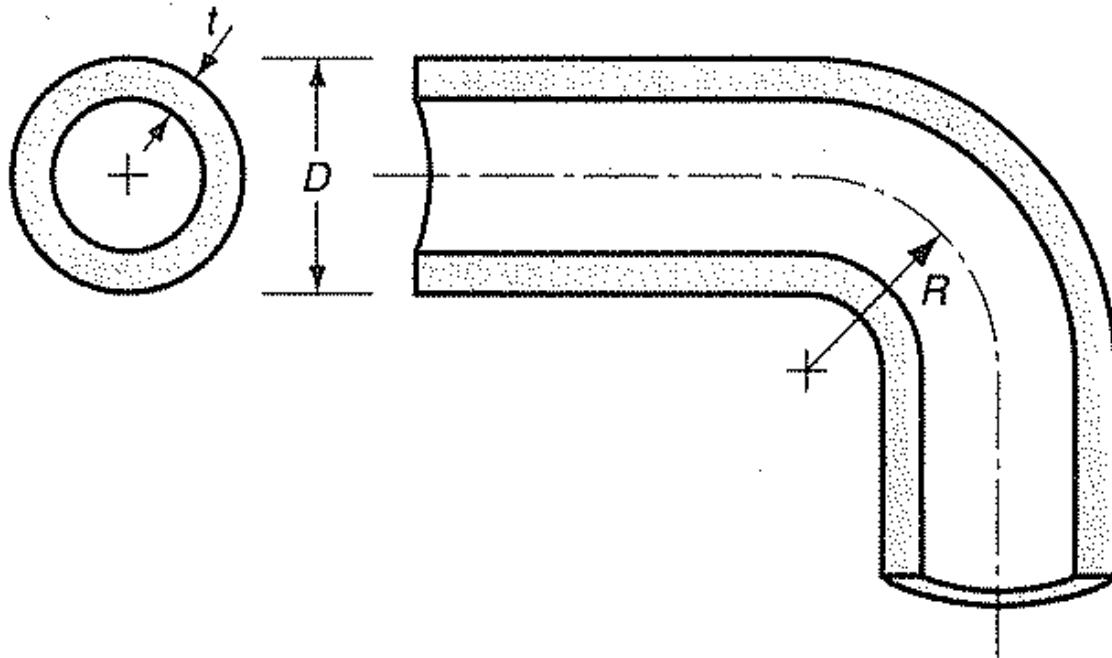
**72.04 Industrias de Procesos de Conformación**



# **DOBLADO DE TUBOS**

**1º - 2013**

# Doblado de Tubos



R: Radio de Doblado

$R_{\text{MINIMO}} = 1.5.D$  Con Mandril

$R_{\text{MINIMO}} = 3.D$  Sin Mandril

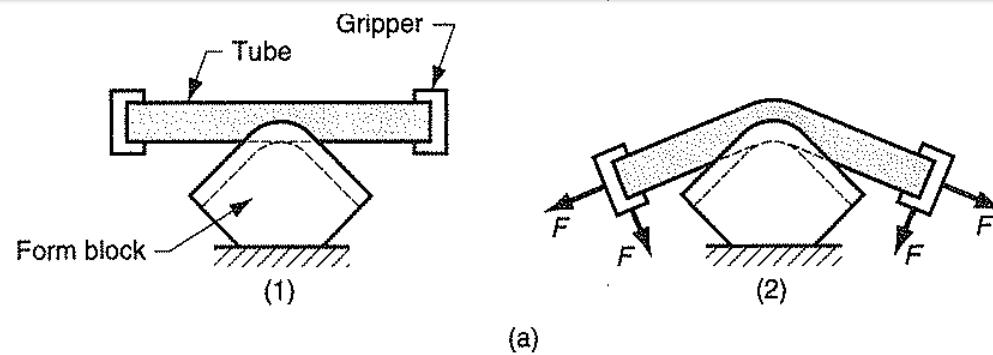
- Es mas difícil doblar cuanto más delgado es el espesor del tubo ( $t$ )
- Se utilizan mandriles para evitar que el tubo colapse.



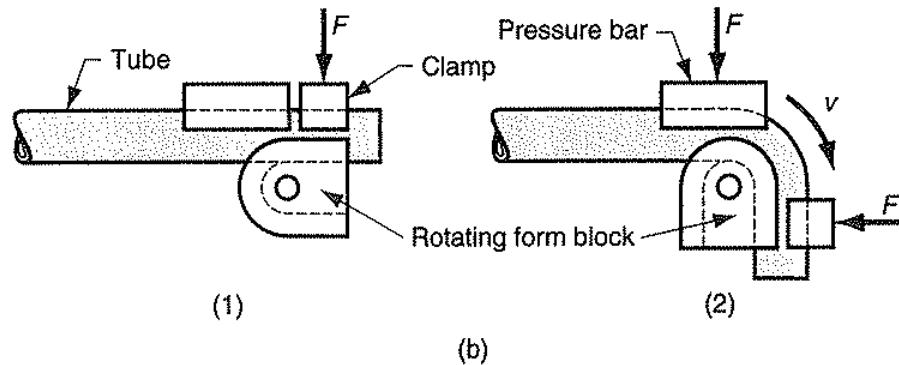
## Doblado de Tubos

- Por extensión
- Por arrastre
- Por compresión

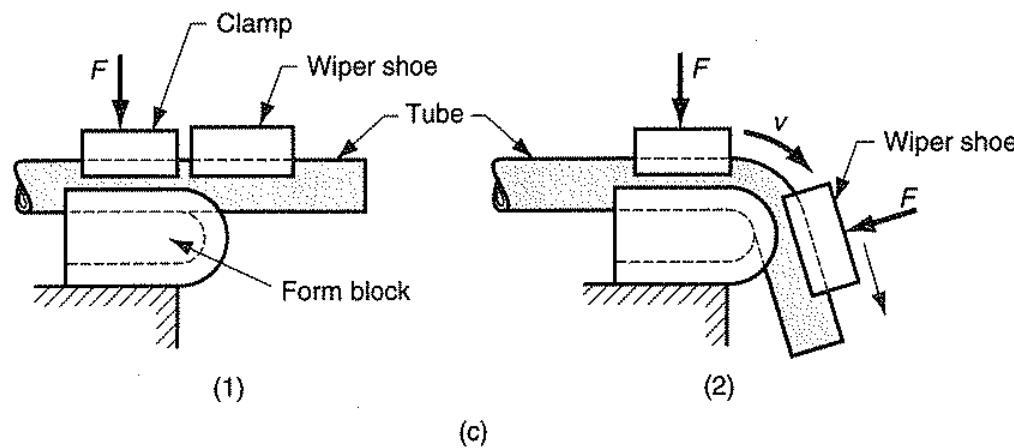
# Doblado de Tubos



Por Extensión

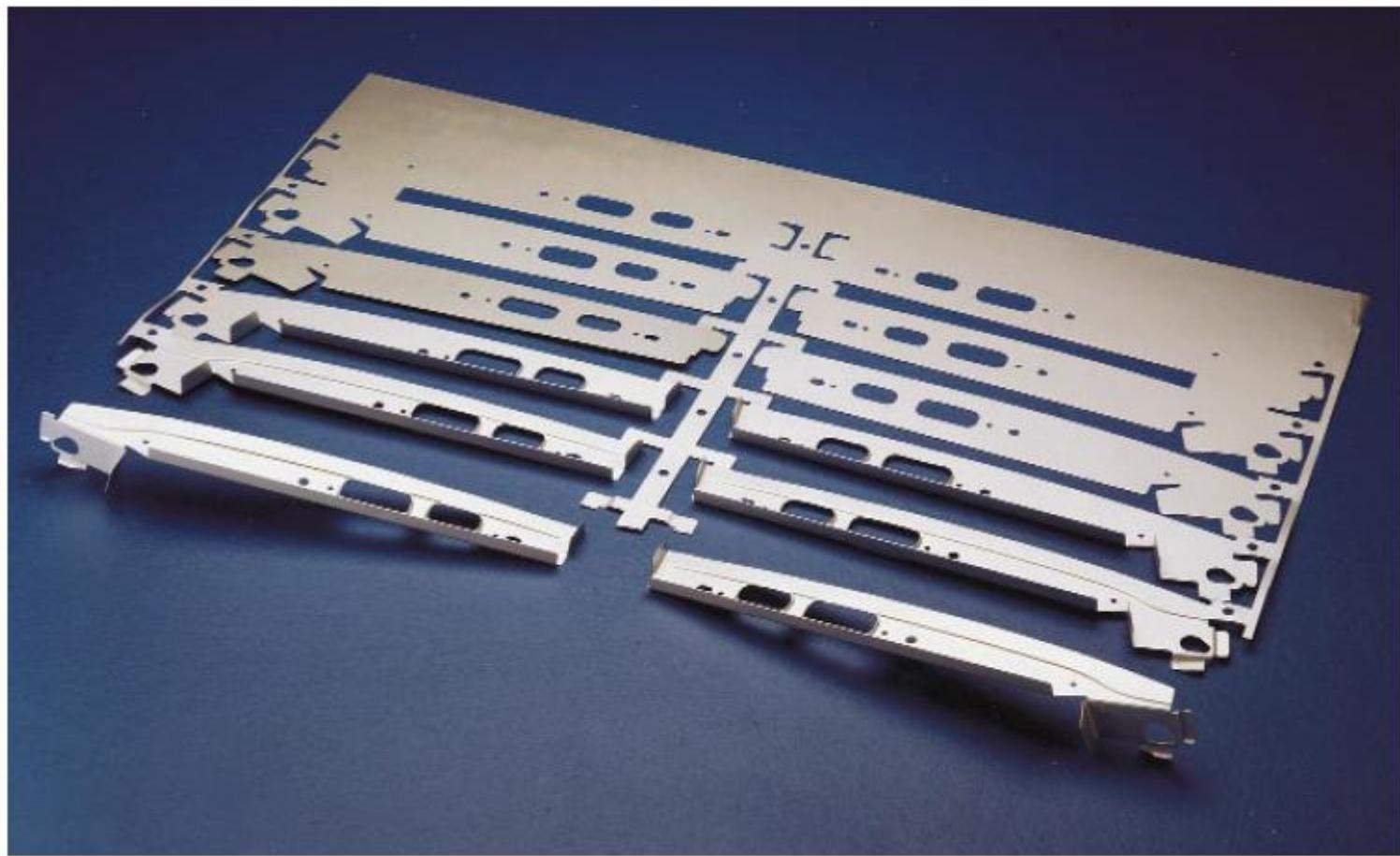


Por Arrastre



Por Compresión

# Piezas obtenidas en Matriz Progresiva



# Propiedades para manufactura

**Tabla 8-2** Propiedades de manfactura de aceros y aleaciones de cobre\*

(Condición recocida)

Designación y composición, %	Liquidus/solidus, °C	Temperatura usual, °C	Trabajo en caliente						Trabajo en frío						Temperatura de recocido, °C	
			Esfuerzo de fluencia, † MPa			Factibilidad ¶	Esfuerzo de fluencia, ‡ MPa			$\sigma_{0.2}$ , MPa	TS, MPa	Elongación, %	$q_R$ , %			
			no °C	C	m		K	n								
<b>Aceros:</b>																
1008 (0.08C), lámina		<1 250	1 000	100	0.1	A	600	0.25	180	320	40	70	70	850-900 (F)		
1015 (0.15C), barra		<1 250	800	150	0.1	A	620	0.18	300	450	35	70	70	850-900 (F)		
			1 000	120	0.1											
			1 200	50	0.17											
1045 (0.45C)		<1 150	800	180	0.07	A	950	0.12	410	700	22	45	45	790-870 (F)		
			1 000	120	0.13											
			1 000	120	0.1	A			350	620	30	60	60			
~8620 (0.2C, 1Mn, 0.4Ni, 0.5Cr, 0.4Mo)																
D2 acero para herramientas (1.5C, 12Cr, 1Mo)		900-1 080	1 000	190	0.13	B	1 300	0.3							880 (F)	
H13 acero para herramientas (0.4C, 5Cr 1.5Mo, 1V)			1 000	80	0.26	B										
302 SS (18Cr, 9Ni) (austenítico)	1 420/1 400	930-1 200	1 000	170	0.1	B	1 300	0.3	250	600	55	65	65	1 010-1 120 (Q)		
410 SS (13Cr) (martensítico)	1 530/1 480	870-1 150	1 000	140	0.08	C	960	0.1	280	520	30	65	65	650-800		
<b>Aleaciones con base de cobre:</b>																
Cu (99.94%)	1 083/1 065	750-950	600	130 (48)	0.06 (0.17)	A	450	0.33	70	220	50	78	78	375-650		
			900	41	0.2											
Latón para cartuchos (30Zn)	955/915	725-850	600	100	0.24	A	500	0.41	100	310	65	75	75	425-750		
Metal Muntz (40Zn)	905/900	625-800	600	38	0.3	A	800	0.5	120	380	45	70	70	425-600		
Latón con plomo (1Pb, 39Zn)	900/855	625-800	600	58	0.14	A	800	0.33	130	340	50	55	55	425-600		
Bronce fosforado (5Sn)	1 050/950		700	160	0.35	C	720	0.46	150	340	57	57	57	480-675		
Bronce de aluminio (5A1)	1 060/1 050	815-870				A			170	400	65	65	65	425-750		

\* Compilados de varias fuentes; la mayoría de los datos del esfuerzo de fluencia son de T. Altan y F.W. Boulger, *Trans. ASME, Ser. B, J. Eng. Ind.* 95: 1009 (1973).

† El esfuerzo de fluencia en el trabajo en caliente es para una deformación de  $\epsilon = 0.5$ . Para convertir a 1 000 psi, divida los esfuerzos entre 7.

‡ El esfuerzo de fluencia en el trabajo en frío es para tasas moderadas de deformación, alrededor de  $\epsilon = 1 \text{ s}^{-1}$ . Para convertir a 1 000 psi, divida los esfuerzos entre 7.

§ El enfriamiento en el horno se indica con F, el templado con Q.

¶ Clasificaciones relativas, con A la mejor, correspondiente a la ausencia de agrietamiento en el laminado y en el forjado en caliente.

# Propiedades para manufactura

**Tabla 8-3** Propiedades de manufactura de varias aleaciones no ferrosas<sup>a</sup>  
(Condición de recocido, excepto 6061-T6)

Designación y composición, %	Líquidus/sólidos, °C	Temperatura usual, °C	Trabajo en caliente						Trabajo en frío					
			Esfuerzo de fluencia, MPa			Factibilidad <sup>d</sup>	Esfuerzo de fluencia <sup>c</sup> MPa			$\sigma_{0.2}$ , MPa	TS <sup>e</sup> , MPa	Elongación, %	RA, %	Temperatura de recocido, °C
			no °C	C	m		K	n						
<b>Metales ligeros:</b>														
1100 Al (99%)	657/643	250-550	300	60	0.08	A	140	0.25	35	90	35			340
			500	14	0.22									
-3003 Al (1Mn)	649/648	290-540	400	35	0.13	A			40	110	30			370
~2017 Al (3.5Cu, 0.5Mg, 0.5Mn)	635/510	260-480	400	90	0.12	B	380	0.15	70	180	20			415 (F)
			500	36	0.12									
5052 Al(3.5Mg)	650/590	260-510	480	35	0.13	A	210	0.13	90	190	25			340
6061-0(1Mg, 0.6Si, 0.3Cu)	652/582	300-550	400	50	0.16	A	220	0.16	55	125	25	65		415 (F)
			500	37	0.17									
6061-T6	NA <sup>f</sup>	NA	NA	NA	NA	NA	450	0.03	275	310	8	45		
~7075 Al(6Zn, 2Mg, 1Cu)	640/475	260-455	450	40	0.13	B	400	0.17	100	230	16			415
<b>Metales bajo punto de fusión:</b>														
Sn (99.8%)	232	100-200				A			15	45	100			150
Pb (99.7%)	327	20-200	100	10	0.1	A			12	35	100			20-200
Zn (0.08% Pb)	417	120-275	75	260	0.1	A			130/170	65/50				100
			225	40	0.1									
<b>Aleaciones para temperatura elevada:</b>														
Ni (9.4Ni + Co)	1 446/1 435	650-1 250				A			140	440	45	65		650-760
Hastelloy X (47Ni, 9Mo, 22Cr, 18Fe, 1.5Co, 0.6W)	1 290	980-1 200	1 150-	140	0.2	C			360	770	42			1 175
Ti (99%)	1 660	750-1 000	600	200	0.11	C			480	620	20			590-730
			900	38	0.25	A								
Ti-6Al-4V	1 660/1 600	790-1 000	600	550	0.08	C			900	950	12			700-825
			900	140	0.4	A								
Circonio	1 852	600-1 000	900	50	0.25	A			210	340	35			500-800
Uranio (99.8%)	1 132	~700	700	110	0.1				190	380	4	10		

<sup>a</sup>Los espacios vacíos indican no disponibilidad de datos. Compilados de varias fuentes; la mayoría de los datos del esfuerzo de fluencia son de T. Altan y F.W. Bolger, *Trans ASME, Ser. B.J. Eng. Ind.* **95**: 1009 (1973).

<sup>b</sup>El esfuerzo de fluencia en el trabajo en caliente es para una deformación de  $\epsilon = 0.5$ . Para convertir a 1 000 psi, divida los esfuerzos calculados entre 7.

<sup>c</sup>El esfuerzo de fluencia en el trabajo en frío es para tasas moderadas de deformación, alrededor de  $\dot{\epsilon} = 1 \text{ s}^{-1}$ . Para convertir a 1 000 psi, divida los esfuerzos entre 7.

<sup>d</sup>Donde se dan dos valores, el primero es longitudinal, el segundo transversal.

<sup>e</sup>El enfriamiento en el horno se indica con F.

<sup>f</sup>Clasificaciones relativas, con A como la mejor, correspondiente a la ausencia de agrietamiento en el laminado y en el forjado en caliente.

<sup>g</sup>NA no aplicable al temple -T6.

# 72.04 Industrias de Procesos de Conformación



# GRACIAS

1º - 2013