

Clasificación de las Tecnologías de Fabricación



Ingeniería de
Sistemas y
Automática

**Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas**

Tecnologías de Fabricación

Por eliminación de material	Por fusión y moldeo	Por deformación	Por soldadura	Por sinterizado
Arranque de viruta Mecanizados por medios no convencionales	Moldeado en arena Moldeado en coquilla Moldeado bajo presión	Forja libre o con estampa Laminación Extrusión Estirado Conformado de chapas	Soldadura eléctrica Soldadura con gas Soldadura por medios no convencionales Unión por abrasivos	Compresión axial Compactación isostática Extrusión y laminación



Tema 4:

1. Introducción. Generalidades

1. Deformación plástica
2. Deformación en frío, en tibio y en caliente
3. Tensión real. Deformación logarítmica. Criterios de fluencia

2. Procesos de deformación volumétrica

1. Laminado
2. Forjado
3. Extrusión
4. Estirado

3. Trabajo de láminas metálicas

1. Doblado
2. Embutido
3. Corte

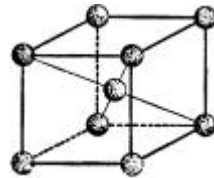
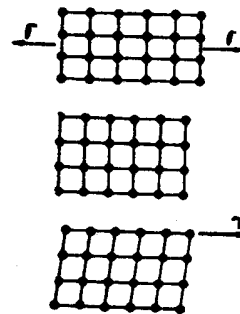
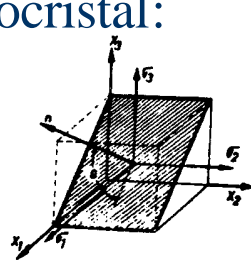
Deformación plástica



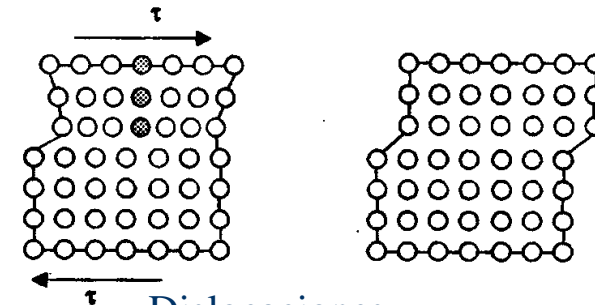
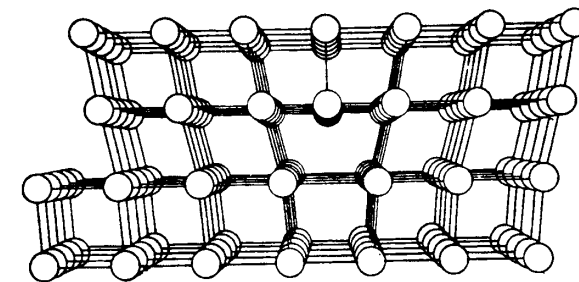
Ingeniería de
Sistemas y
Automática

Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

Monocristal:



- por deslizamiento
- por maclado



Dislocaciones

Vector de Burgers

Policristal:

Orientación diferente de cada monocristal

Deformación en frío, en tibio y en caliente



Ingeniería de
Sistemas y
Automática

Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

factores dependientes de la temperatura:

- Disminución de la resistencia de los cristales
- Disminución de sus bordes

Trabajo en frío:

- Proporciona mejor precisión, tolerancias más estrechas
- Mejora el acabado de la superficie
- El endurecimiento por deformación aumenta la resistencia y dureza de la parte
- El flujo de granos durante la deformación brinda la oportunidad de obtener propiedades direccionales convenientes en el producto resultante
- Ahorro en costos de horno y combustible
- Requiere mayor potencia para desempeñar las operaciones
- Se debe tener cuidado para asegurar que las superficies de la pieza de trabajo inicial estén libres de incrustaciones y suciedad
- La ductilidad y el endurecimiento por deformación del metal de trabajo limitan la cantidad de formado que se puede hacer sobre la pieza

Deformación en frío, en tibio y en caliente



Ingeniería de
Sistemas y
Automática

Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

Trabajo en caliente (*hot working*):

- Por encima de la temperatura de recristalización ($< 0.5 T_m$ donde T_m es el punto de fusión del metal particular en T^a absoluta)
- La forma de la parte de trabajo se puede alterar significativamente
- Se requiere menor potencia para deformar el metal
- Las propiedades de resistencia son generalmente isotrópicas debido a la ausencia de una estructura orientada de granos creada en el trabajo en frío
- El trabajo en caliente no produce fortalecimiento de la parte
- precisión dimensional más baja
- Mayores requerimientos de energía
- Oxidación de la superficie de trabajo
- Acabado superficial más pobre y menor duración en la vida de las herramientas

Deformación en frío, en tibio y en caliente



Ingeniería de
Sistemas y
Automática

Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

Trabajo en tibio (*warm working*):

- Por debajo de la temperatura de recristalización ($0.3 T_m$ donde T_m es el punto de fusión del metal particular en T^a absoluta)
- Fuerzas más bajas y menores requerimientos de potencia
- Son posibles trabajos más intrincados
- Se puede eliminar o reducir la necesidad de recocido

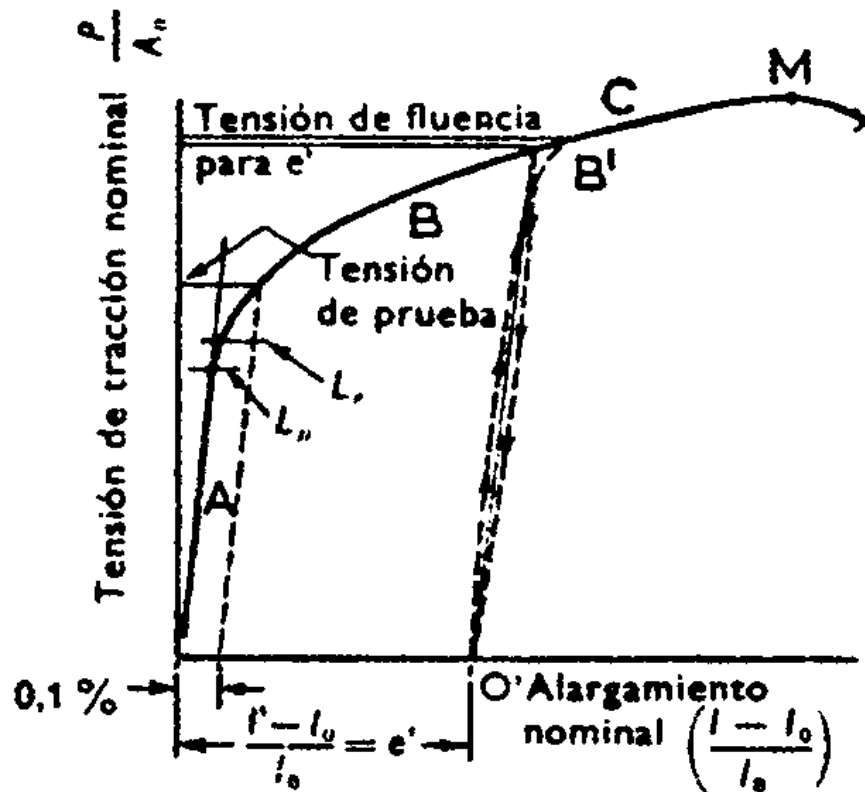
Formado isotérmico:

- Materiales especiales para altas temperaturas
- Consiste en eliminar el enfriamiento superficial y los gradientes térmicos mediante el precalentamiento de las herramientas.
- **Disminución de la vida de las herramientas**

Tensión real. Deformación logarítmica



Ingeniería de
Sistemas y
Automática
Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas



Región plástica:

Tensión real:

$$s = \frac{F}{A}$$

Deformación lineal:

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad de = \frac{dl}{l_0}$$

Deformación natural:

$$de = \frac{dl}{l} \quad e = \ln \frac{l}{l_0}$$

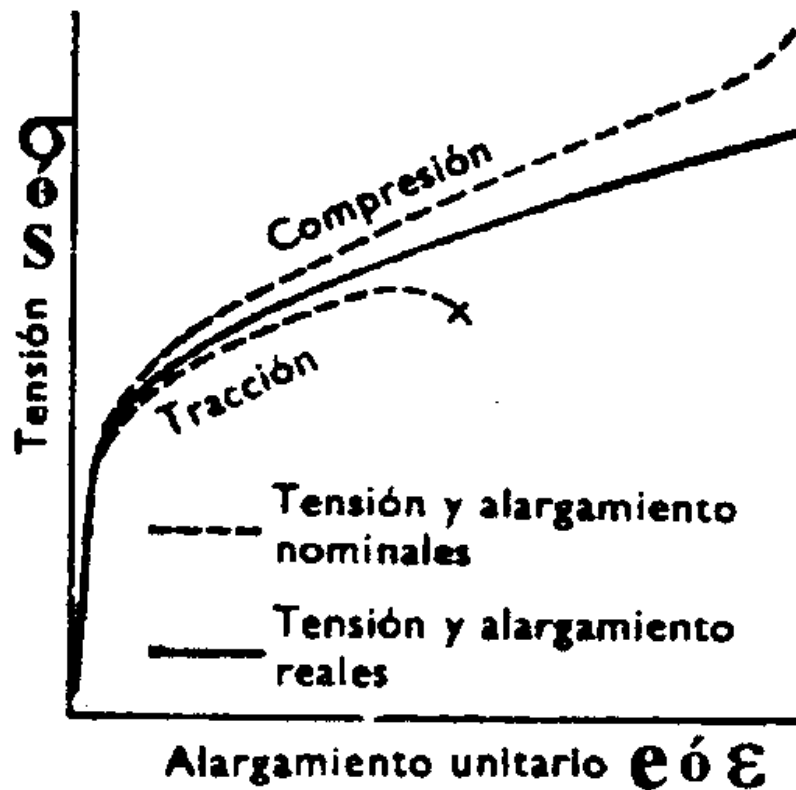
Reducción de área:

$$r = \frac{A_0 - A}{A_0} \quad e = \ln \frac{1}{1 - r}$$

Tensión real. Deformación logarítmica



Ingeniería de
Sistemas y
Automática
Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas



Región plástica:

Curva de fluencia:

$$s = Ke^n$$

Esfuerzo de fluencia:

$$Y_f = Ke^n$$

Esfuerzo de fluencia promedio:

$$\bar{Y}_f = \frac{Ke^n}{1+n}$$

Tensión real. Deformación logarítmica



Ingeniería de
Sistemas y
Automática
Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

Efecto de la velocidad de deformación:

Velocidad de deformación:

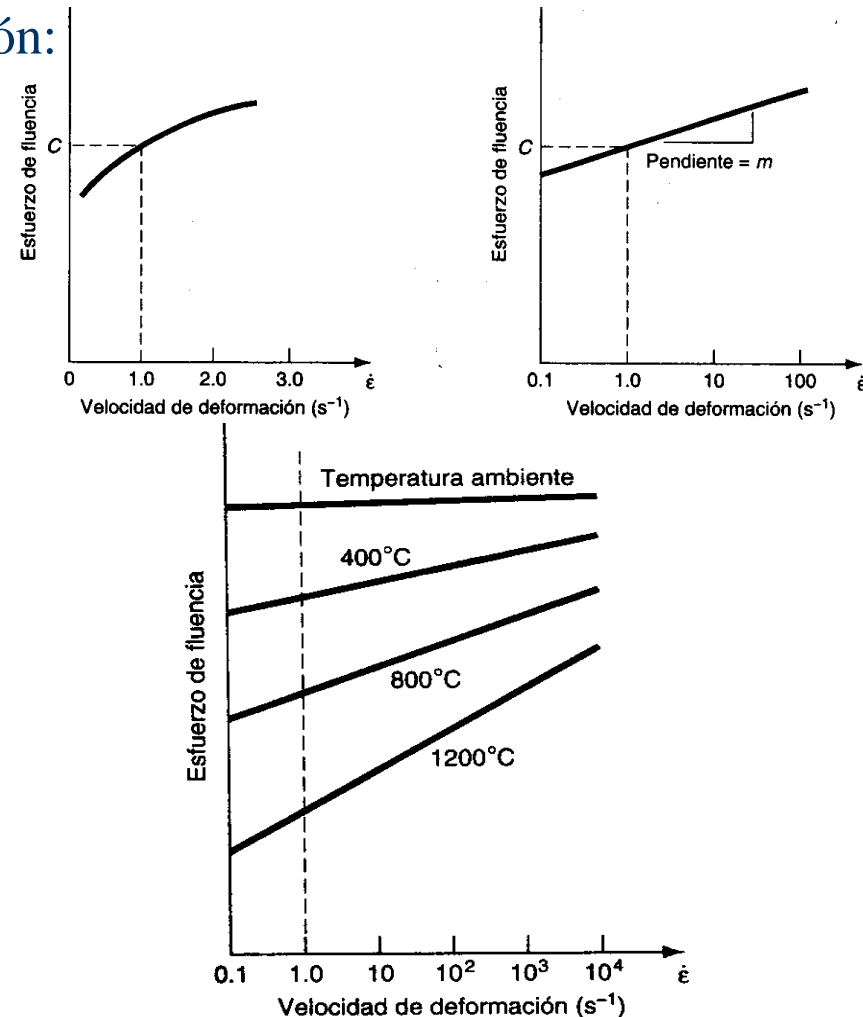
$$\dot{\epsilon} = \frac{v}{h}$$

Sensibilidad a la velocidad de deformación:

$$Y_f = C\dot{\epsilon}^m$$

Esfuerzo de fluencia:

$$Y_f = Ae^n \dot{\epsilon}^m$$



Criterios de fluencia



Ingeniería de
Sistemas y
Automática

Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

Tracción uniaxial:

Si un material plástico ha sido deformado previamente una cantidad ϵ_0 , la fluencia se producirá tan pronto como se alcance una tensión $(\sigma_f)_0$ que es la que corresponde a esa deformación en el gráfico tensión real-deformación logarítmica.

Deformación industrial:

No es posible realizar ensayos de fluencia de todas las posibles variantes, de aquí la necesidad de establecer una norma que nos indique las combinaciones de tensiones que producirán la fluencia del material.

Criterios más conocidos:

Tresca:

$$t_{\max} = \frac{(s_1 - s_2)}{2}$$

Von Mises:

$$A = \frac{1}{6G} [(s_1 - s_2)^2 (s_2 - s_3)^2 (s_3 - s_1)^2]$$

Planteamiento general



Ingeniería de
Sistemas y
Automática

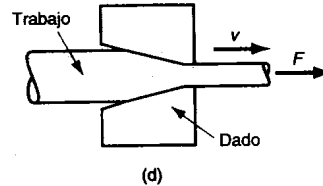
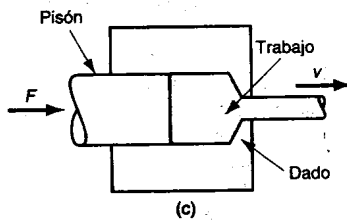
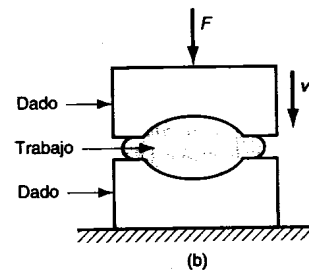
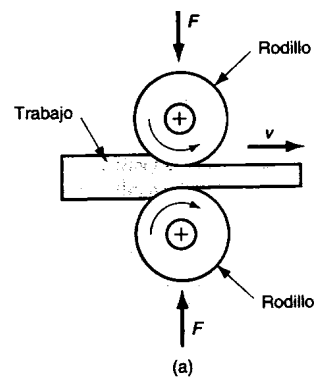
Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

1. Conocer el comportamiento del material en su deformación en función de su estado de deformaciones previo
2. Aplicar criterio de fluencia para determinar el estado de tensiones que debemos crear
3. Determinar los esfuerzos necesarios para crear ese estado de tensiones
4. Establecer si nuestra instalación es capaz de soportar esos esfuerzos

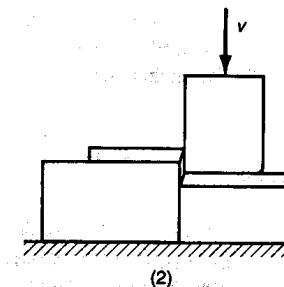
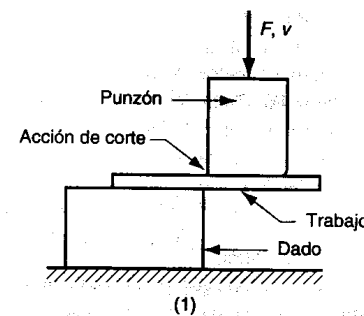
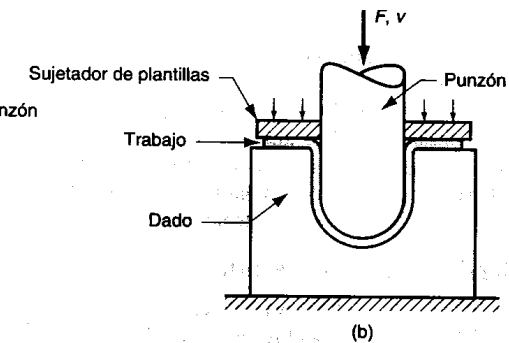
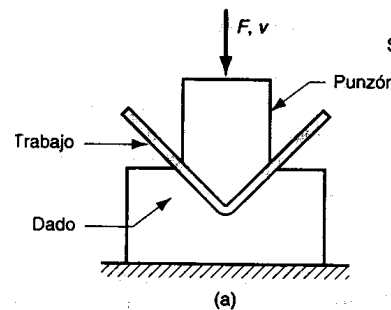
- a) Considerando deformación homogénea
- b) Deformación homogénea + rozamientos
- c) Considerando además el trabajo adicional necesario para la distorsión interna del material
- d) Calculando por un método simplificado un límite superior

Procesos de deformación plástica

Deformación volumétrica:



Trabajo de láminas:



Deformación homogénea

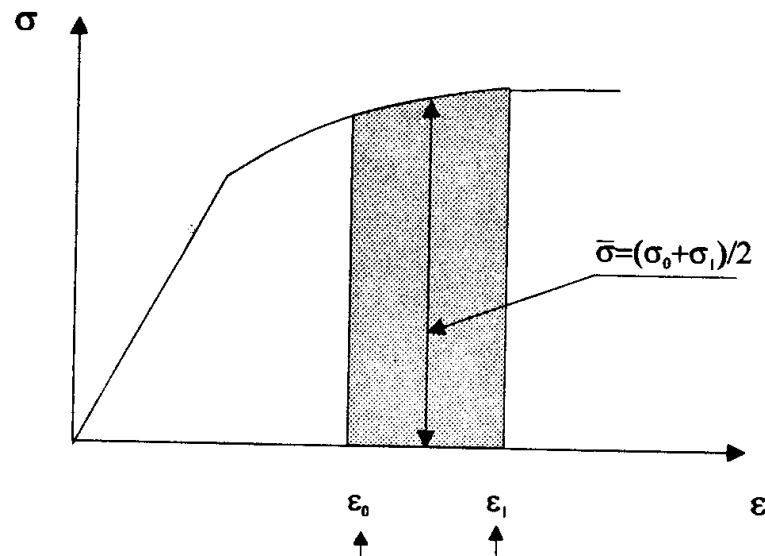


Ingeniería de
Sistemas y
Automática

Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

Método general:

Se considera el trabajo necesario para producir la deformación de un elemento diferencial de la pieza y después integrarlo a lo largo de toda la región de deformación



Tracción pura ($\sigma_1 = \sigma$, $\sigma_2 = 0$, $\sigma_3 = 0$)

$$dW = (As) dl$$

Incremento de trabajo por unidad de volumen:

$$\frac{dW}{V} = \frac{dW}{Al} = \frac{As}{A} \frac{dl}{l}$$

$V = \text{cte}$

$$\frac{W}{V} = \int_{l_0}^{l_1} \bar{s} \frac{dl}{l} \sim \bar{s} \ln \frac{l_1}{l_0}$$

En términos de deformación real:

$$\frac{W}{V} = \int_{l_0}^{l_1} \bar{s} \frac{dl}{l} = \int_{e_0}^{e_1} \bar{s} de = \bar{s} (e_1 - e_0)$$

Laminado (1)



Ingeniería de
Sistemas y
Automática

Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

Conformado en el cual se hace pasar al metal por trenes de rodillos paralelos que le dan una forma progresivamente más parecida a la deseada.

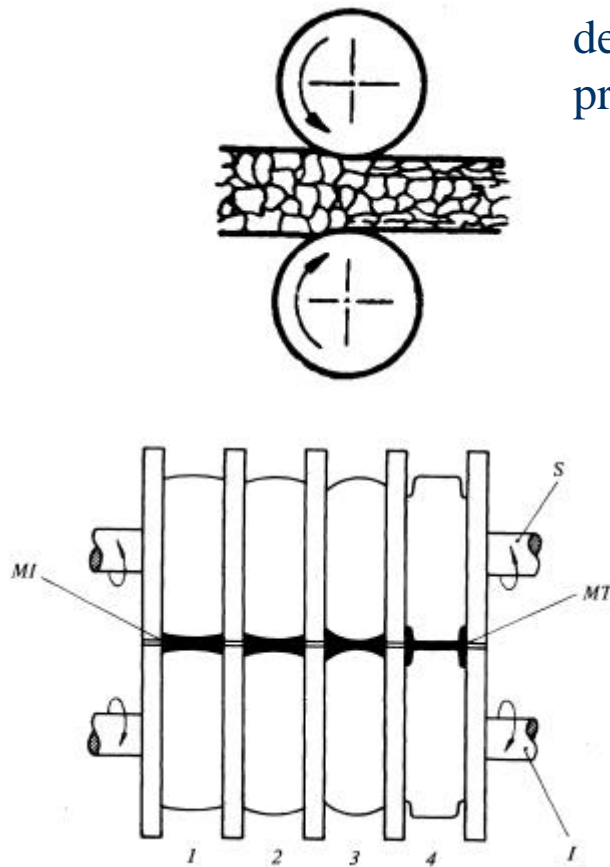
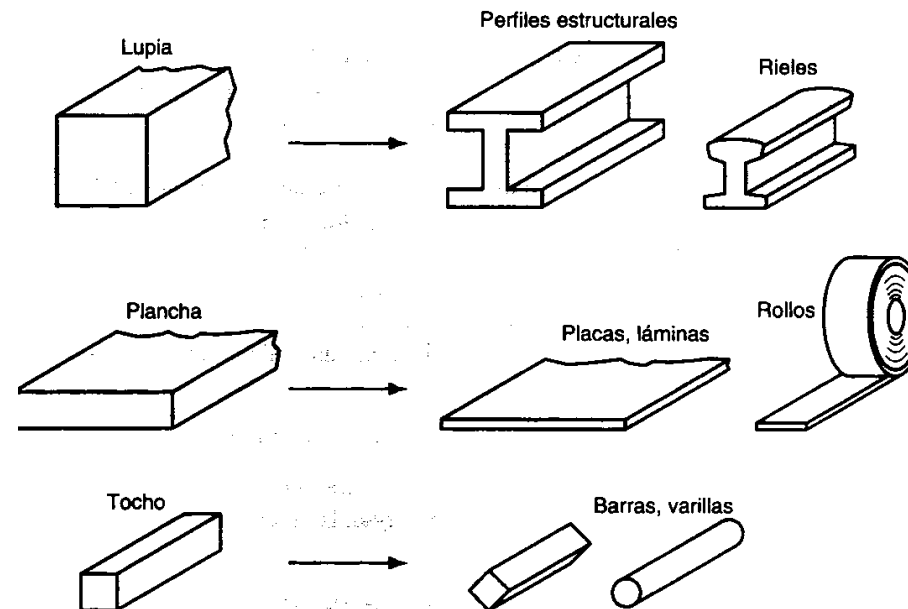


Fig. 5.1.22





Ingeniería de
Sistemas y
Automática

**Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas**

Laminado (2)

Materiales:

- metales puros: Al, Cu, Fe, Ti, Zn
- aleaciones: Acero, de Al, (Al-Cu, Al-Mg, Al-Zn, Al-Mn) de Mg (Mg-Al, Mg-Zn, Mg-Mn), de Cu (Cu-Zn, Cu-Zn-Sn, Cu-Zn-Pb) o bronce (Cu-Al, Cu-Ni, Cu-Si)

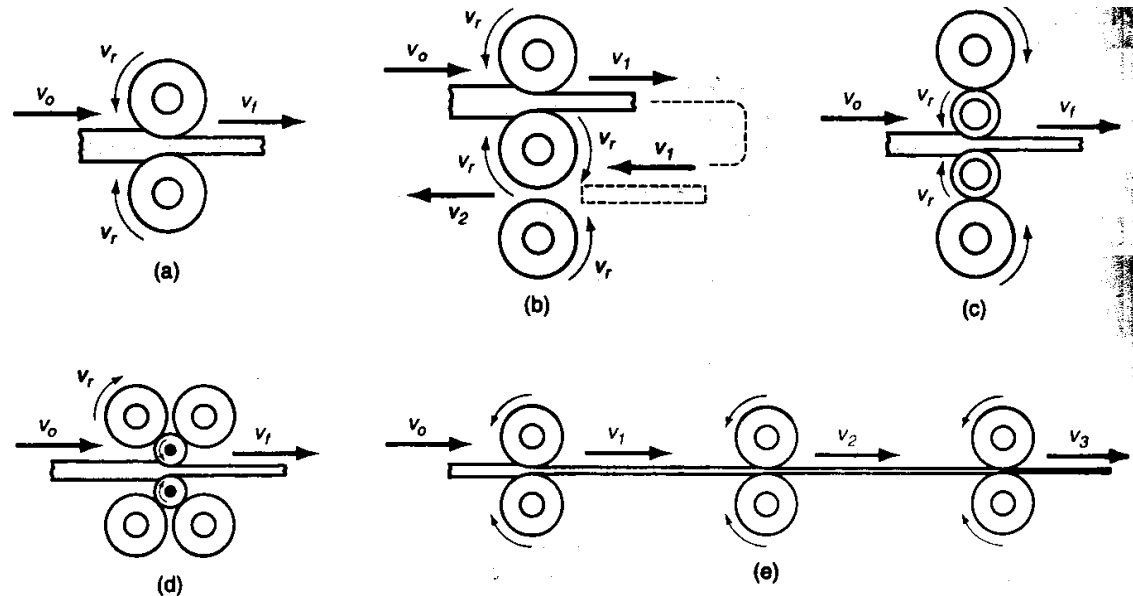
Trenes de laminación:

- De desbaste
- De palanquilla
- De acabado

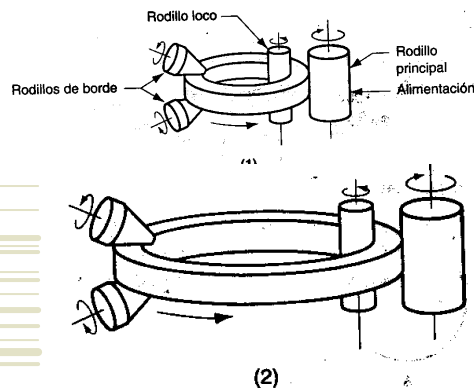


Laminado (3)

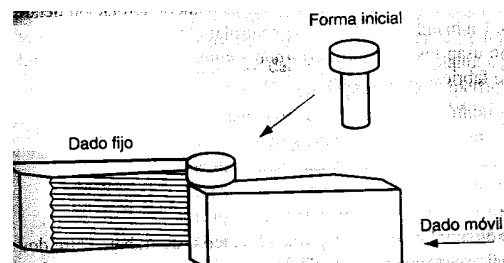
Molinos laminadores



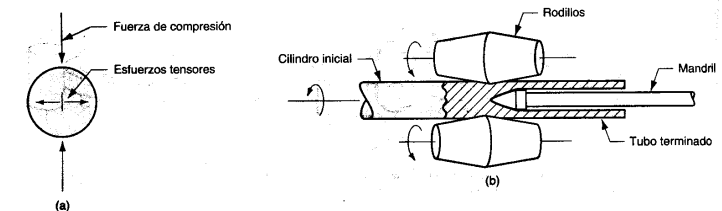
Laminado de anillos



Laminado de cuerdas



Perforado de rodillos



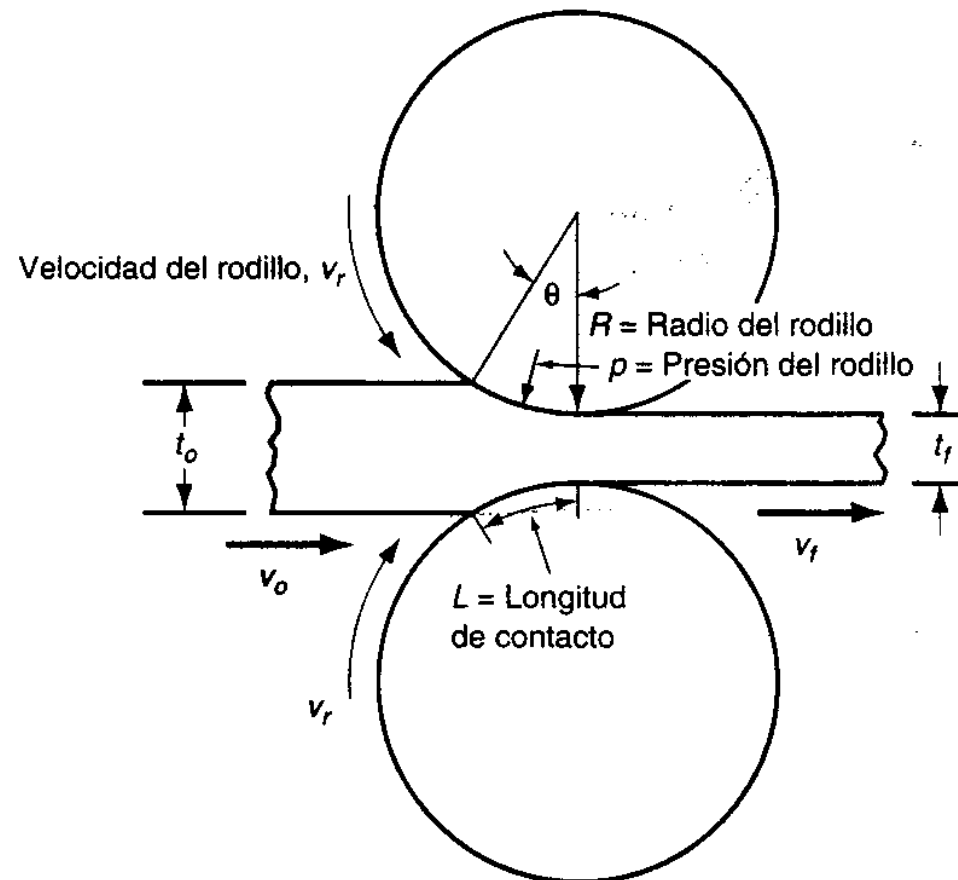
Laminado (4)

laminado plano



Ingeniería de
Sistemas y
Automática

Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas



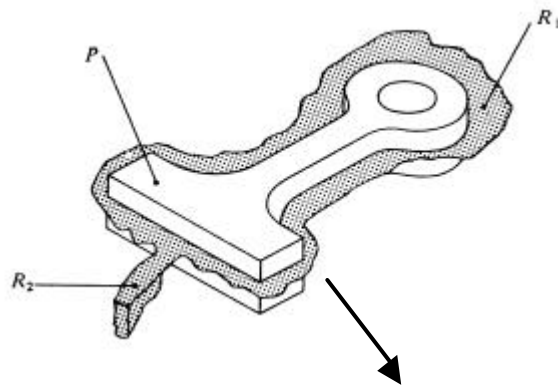
Forjado (1)

Conformado en caliente mediante la aplicación de grandes presiones:

- Intermitentemente (golpes)
- De forma continua (prensado)

Dos posibilidades:

- Forja libre (martillo y yunque)
- Forja con estampa (matrices)



Necesidad de un proceso posterior de desbarbado

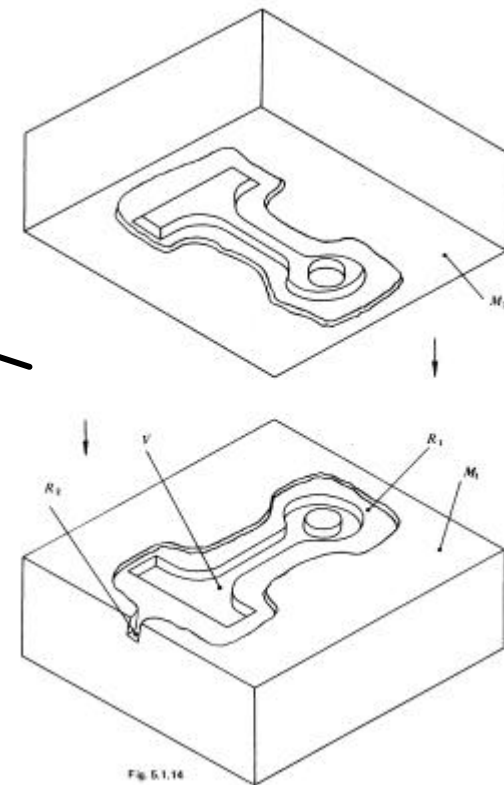


Fig. 6.1.14

Característica fundamental: aumento de la resistencia de las piezas



Ingeniería de
Sistemas y
Automática

**Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas**

Forjado (2)

Efectos de la forja:

- eliminar cavidades
- afinar el grano

Materiales:

- metales puros: Al, Cu, Fe, Ti, Zn
- aleaciones: Acero, de Al, (Al-Cu, Al-Mg, Al-Zn, Al-Mn) de Mg (Mg-Al, Mg-Zn, Mg-Mn), de Cu (Cu-Zn, Cu-Zn-Sn, Cu-Zn-Pb) o bronce (Cu-Al, Cu-Ni, Cu-Si)

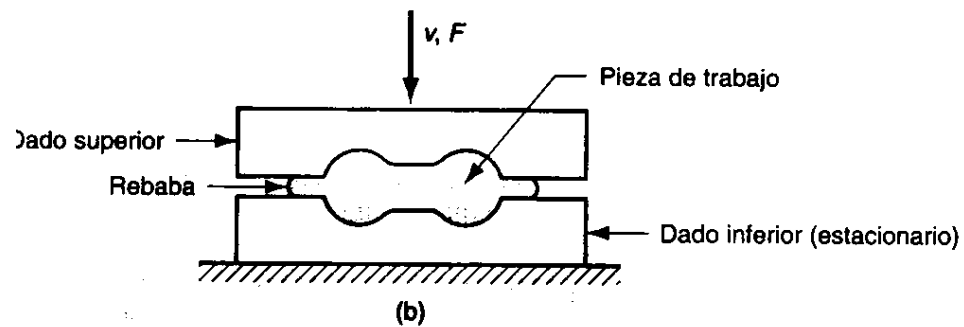
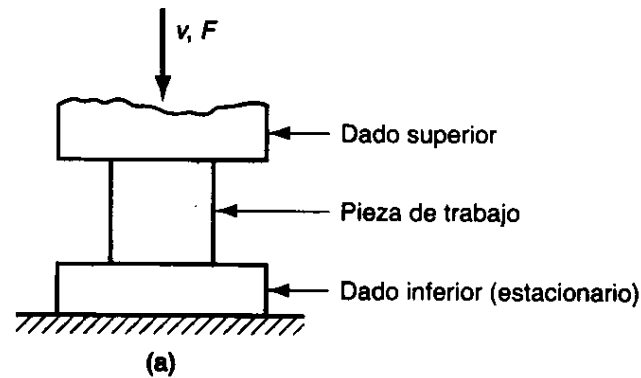
Forjado (3)

operaciones de forjado

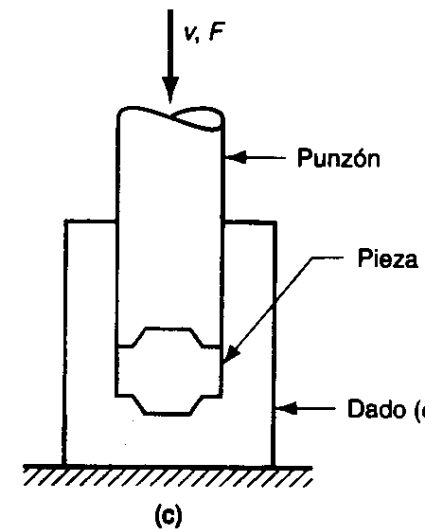


Ingeniería de
Sistemas y
Automática
Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

Dado abierto



Dado impresor

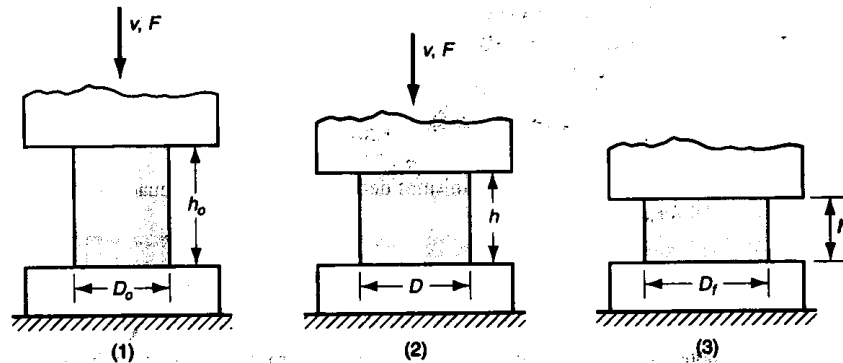


Forjado sin rebaba

Forjado (4) en dado abierto

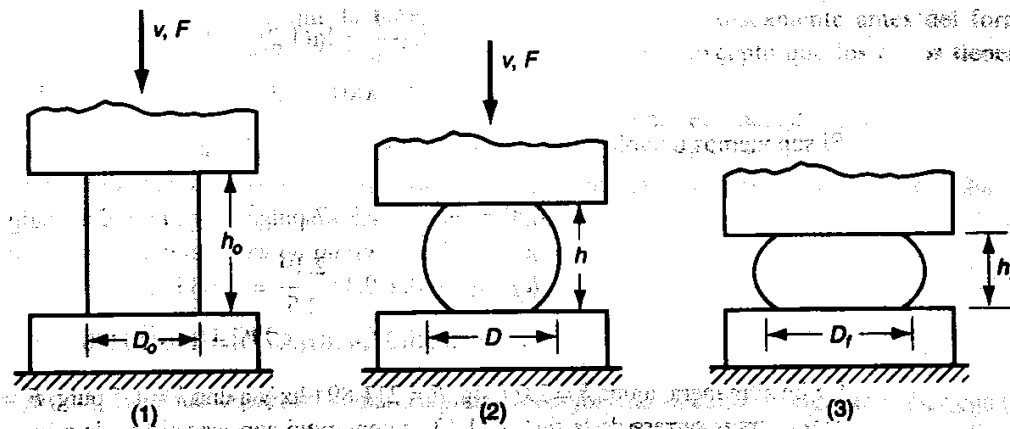


Ingeniería de
Sistemas y
Automática
Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas



$$e = \ln \frac{h_0}{h}$$

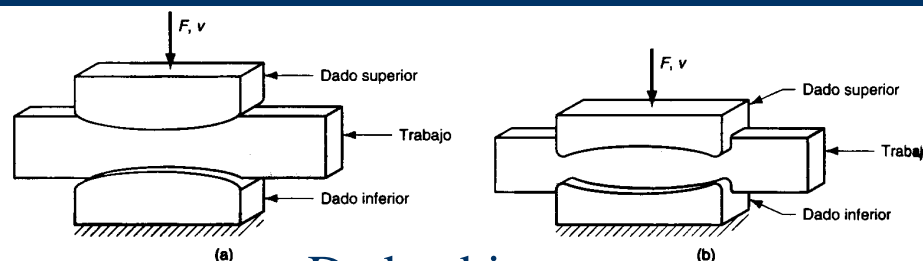
$$F = K_f Y_f A$$



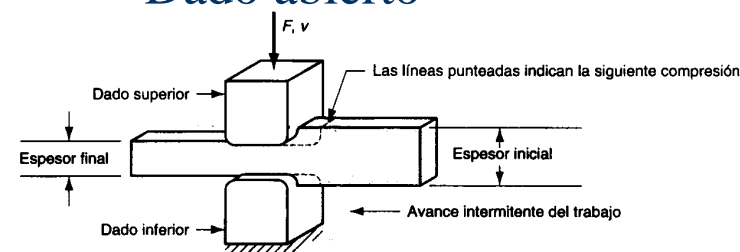
$$K_f = 1 + \frac{0.4\mu D}{h}$$



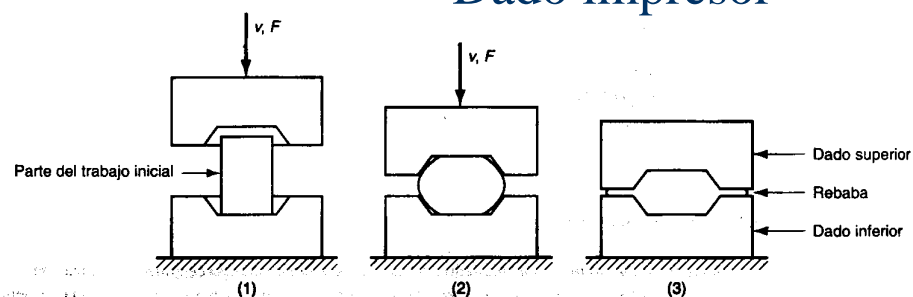
Forjado (5)



Dado abierto



Dado impresor



$$F = K_f Y_f A$$



Factor de forma del forjado

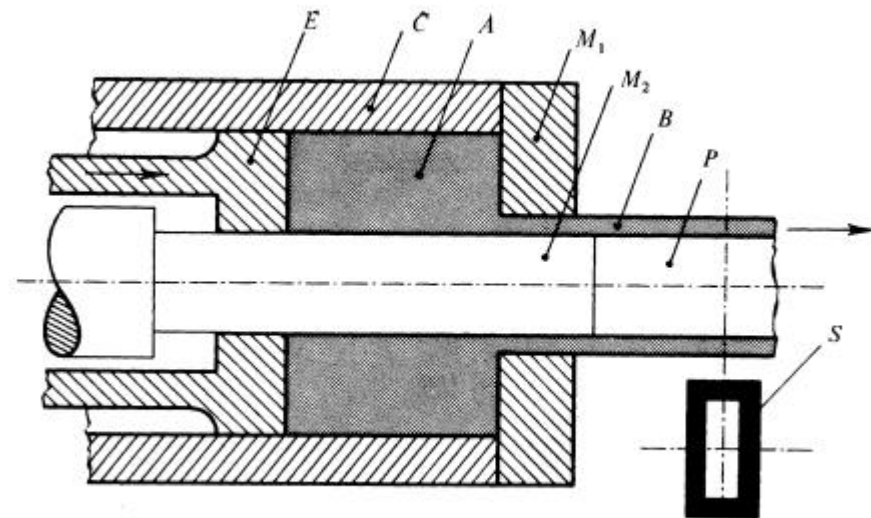
Forma de la parte	Kf
<i>Forjado con dado impresor</i>	
Formas simples con rebaba	6.0
Formas complejas con rebaba	8.0
Formas muy complejas con rebaba	10
<i>Forjado sin rebaba</i>	
Acuñado	6.0
Formas complejas	8.0

Extrusión (1)

La extrusión es un proceso de formado por compresión en el cual el metal de trabajo es forzado a fluir a través de la abertura de un dado para darle forma a su sección transversal.

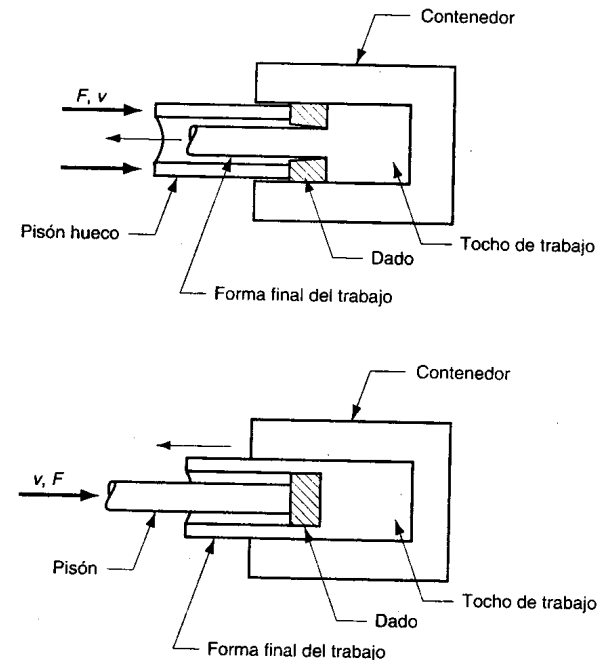
Características principales:

- Necesidad de grandes fuerzas de prensado (de 2.000 a 20.000 Tn)
- Grandes reducciones de sección (20:1 en acero, hasta 100:1 en aluminio)



- Se puede extruir una gran variedad de formas, especialmente en caliente; sin embargo, una limitación de la geometría es que la sección transversal debe ser la misma a lo largo de toda la parte
- la estructura del grano y las propiedades de resistencia se mejoran con la extrusión
- Son posibles tolerancias muy estrechas.
- Poco o ningún material de desperdicio

Extrusión directa e indirecta





Extrusión (3)

Análisis

Relación de extrusión

$$r_x = \frac{A_0}{A_f}$$

Deformación ideal sin
fricción y sin trabajo
redundante

$$e = \ln r_x \quad p = \bar{Y}_f \ln r_x$$

Deformación con
fricción. Fórmula de
Johnson

$$e_x = a + b \ln r_x$$

$$a = 0.8$$

$$b = [1.2, 1.5]$$

Extrusión indirecta

$$p = \bar{Y}_f e_x$$

Extrusión directa

$$\frac{p_f p D_0^2}{4} = \mu p_c p D_0 L$$



$$p = \bar{Y}_f (e_x + 2L/D_0)$$

Fuerza y potencia del pistón

$$F = p A_0$$

$$P = Fv$$

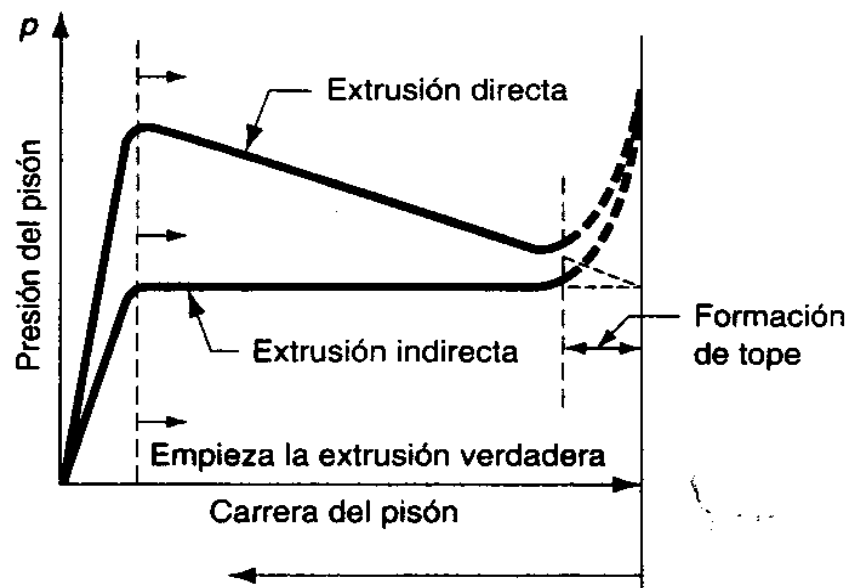
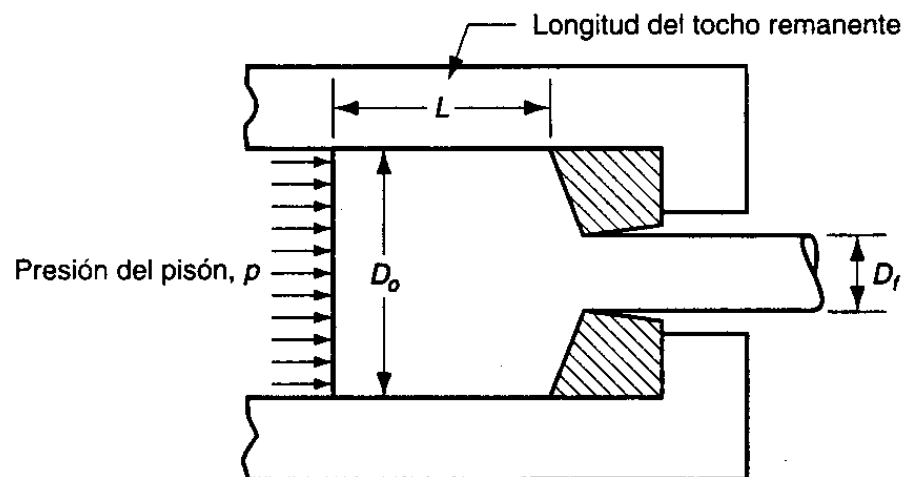
Extrusión (4)

Análisis



Ingeniería de
Sistemas y
Automática

Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

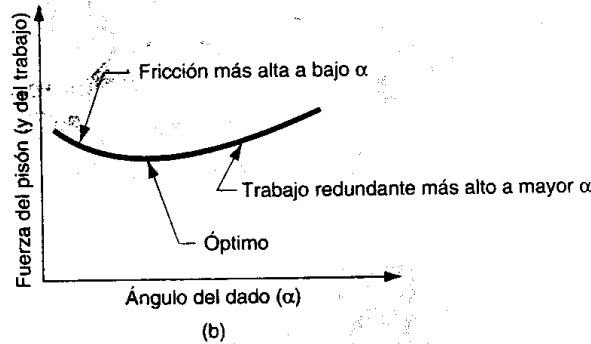
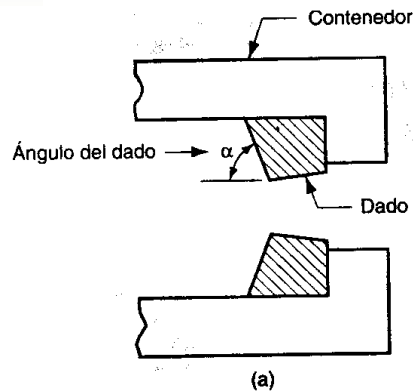


Extrusión (5)

Dados



Ingeniería de
Sistemas y
Automática
**Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas**



Factor de forma de
orificio:

$$K_x = 0.98 + 0.02 \left(\frac{C_x}{C_c} \right)^{2.25}$$

C_x = perímetro de la sección
transversal extruida

C_c = perímetro de un círculo de la
misma área que la forma extruida

Extrusión indirecta

$$p = K_x \bar{Y}_f e_x$$

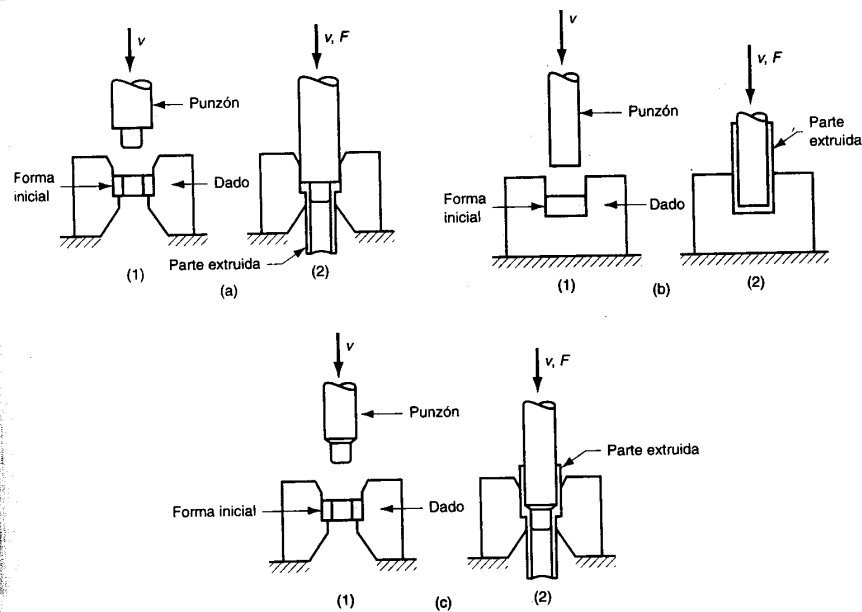
Extrusión directa

$$p = K_x \bar{Y}_f \left(e_x + \frac{2L}{D_0} \right)$$

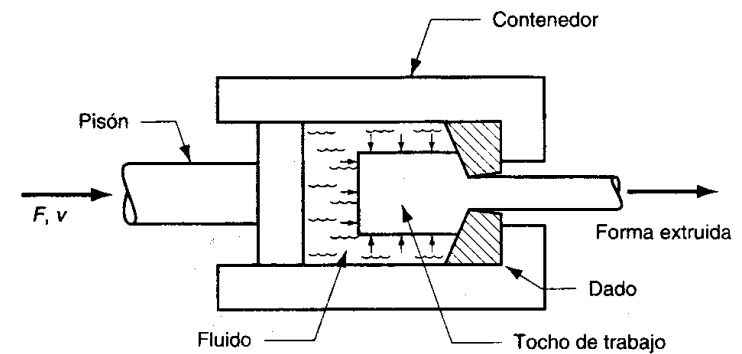
Extrusión (6)

Otros procesos

Extrusión por impacto



Extrusión hidrostática



Extrusión (7)

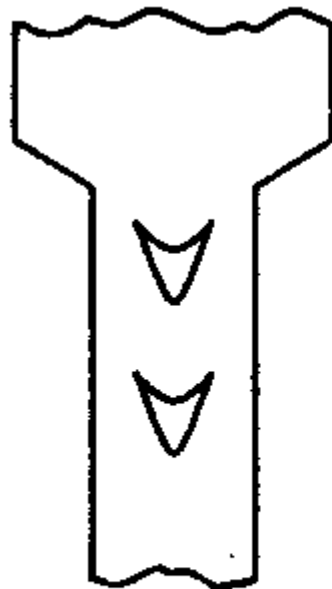
Defectología



Ingeniería de
Sistemas y
Automática

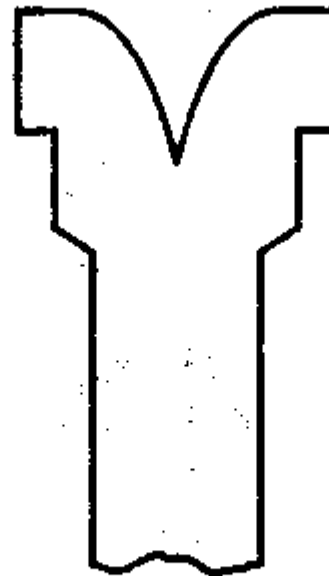
Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

Reventado central



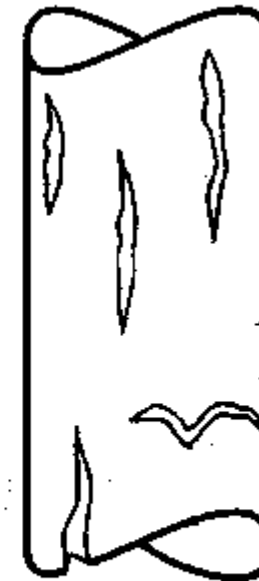
(a)

Tubificado



(b)

Agrietado superficial



(c)

Estirado (1)

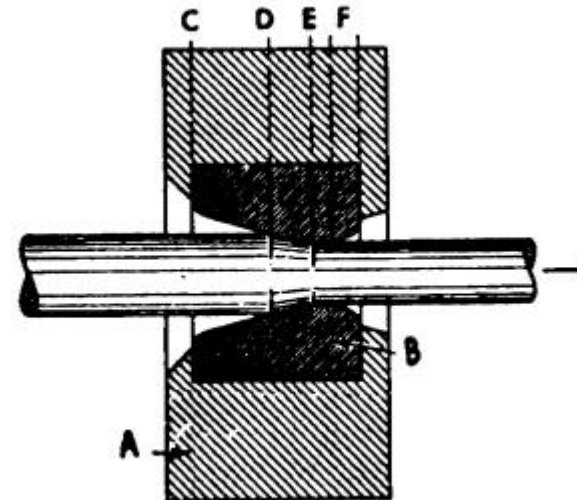


Ingeniería de
Sistemas y
Automática

Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

El estirado es una operación donde la sección transversal de una barra, varilla o alambre se reduce al tirar del material a través de la abertura de un dado

- Estirado de barras
- Estirado de alambres



$$r = \frac{A_0 - A_f}{A_0}$$

$$d = D_0 - D_f$$

Estirado (2)

Análisis

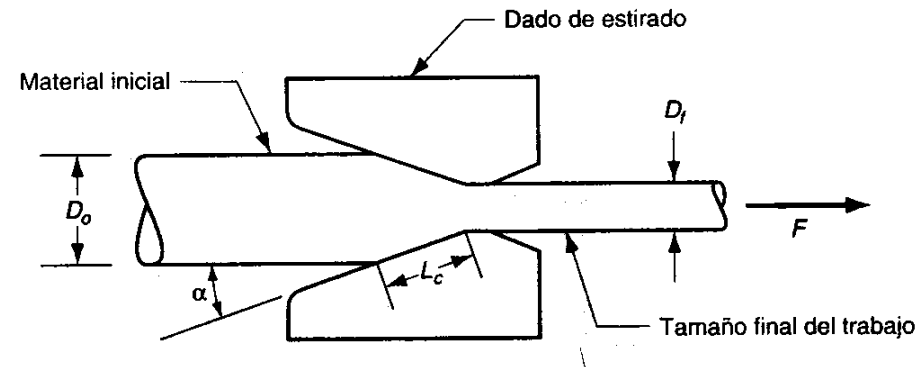


Ingeniería de
Sistemas y
Automática
**Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas**

$$e = \ln \frac{A_0}{A_f} = \ln \frac{1}{1-r}$$

$$s = \bar{Y}_f e = \bar{Y}_f \ln \frac{A_0}{A_f}$$

$$s_d = \bar{Y}_f (1 + \mu / \tan \alpha) f \ln \frac{A_0}{A_f}$$



$$f = 0.88 + 0.12 \frac{D}{L_c}$$

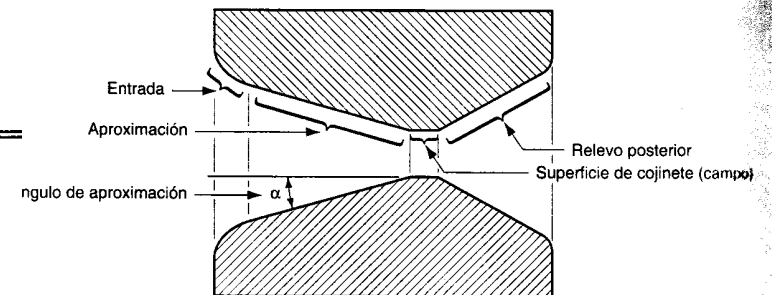
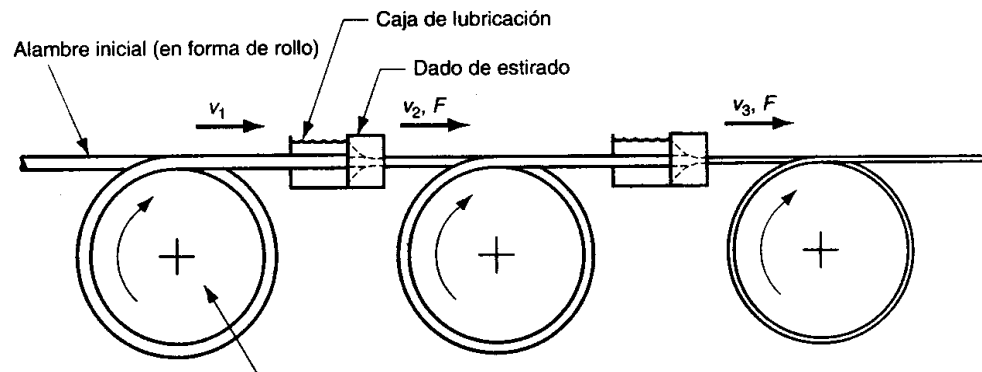
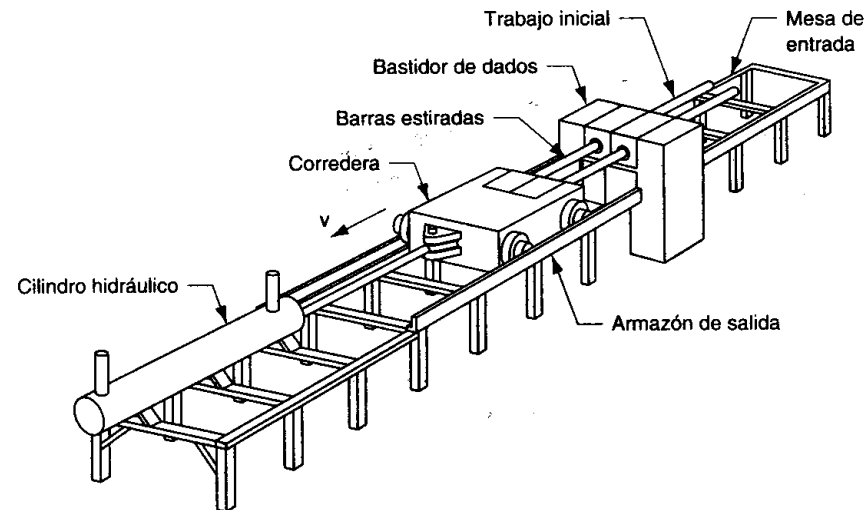
$$D = \frac{D_0 + D_f}{2}$$

$$L_c = \frac{D_0 - D_f}{2 \operatorname{sena}}$$

$$F = A_f s_d = A_f \bar{Y}_f (1 + \mu / \tan \alpha) f \ln \frac{A_0}{A_f}$$

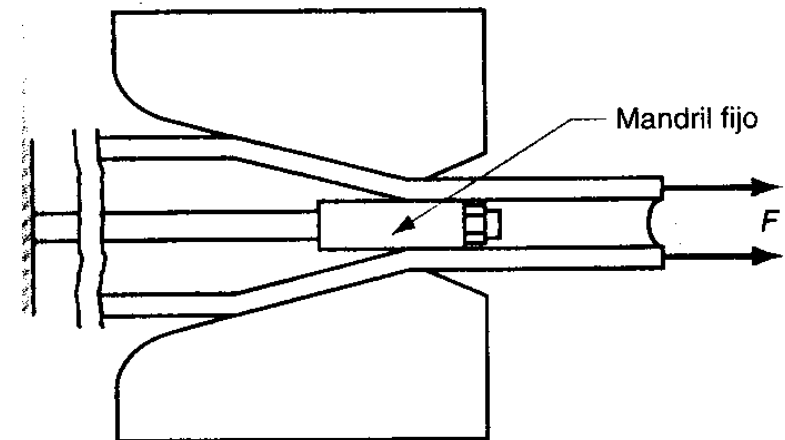
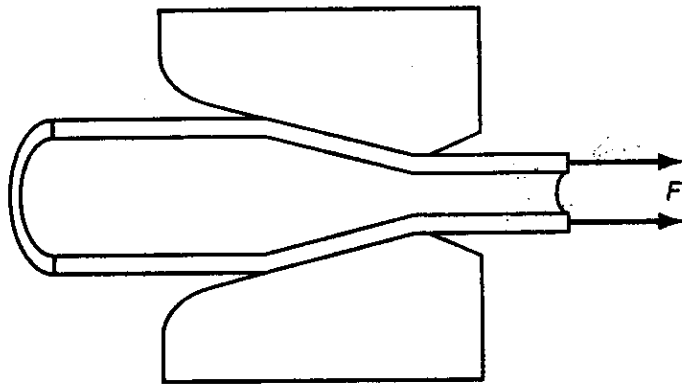
Estirado (3)

Práctica del estirado



Estirado (4)

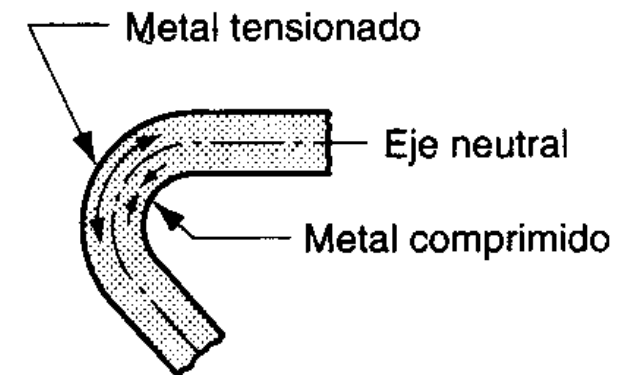
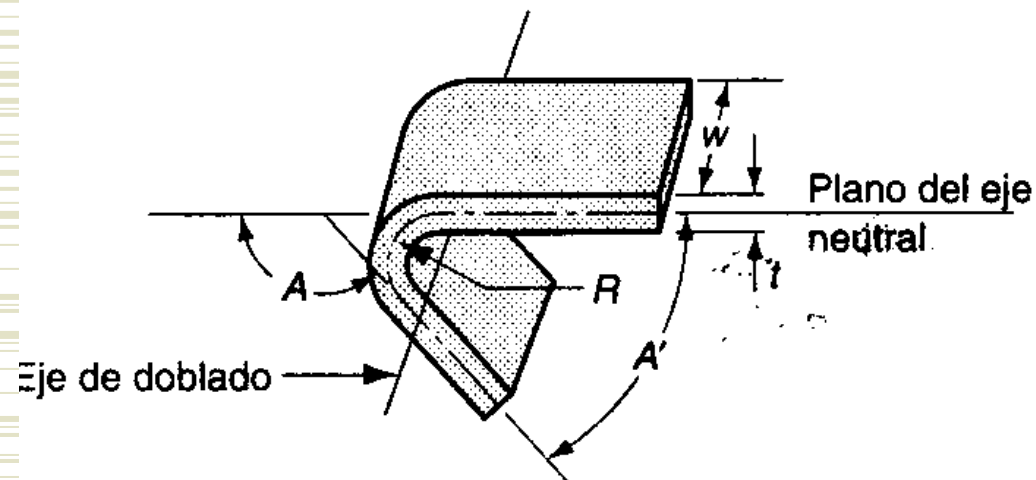
Estirado de tubos





Doblado (1)

El doblado se define como la deformación del metal alrededor de un eje recto. El metal por dentro del plano neutral se comprime, mientras que el metal por fuera del plano neutral se estira.



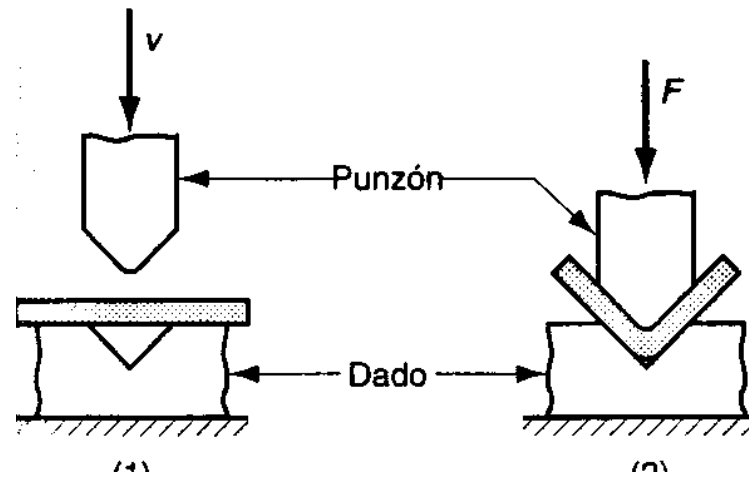
Doblado (2)

Tipos

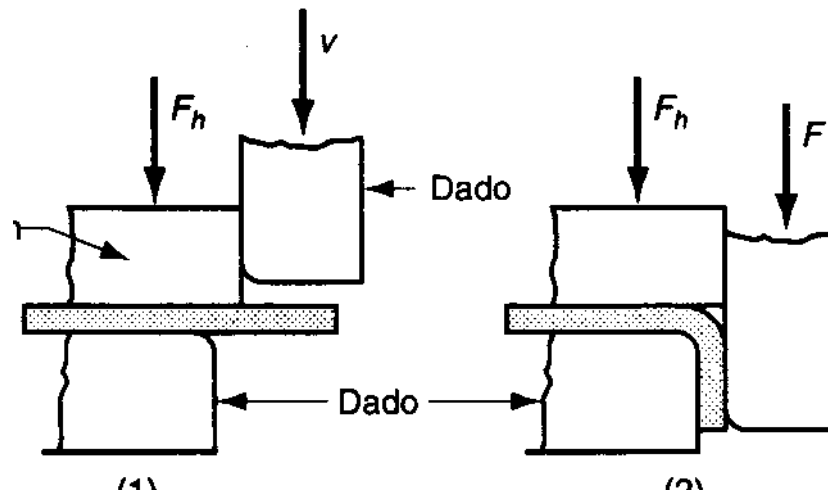


Ingeniería de
Sistemas y
Automática
Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

Doblado en V



Doblado de bordes



Doblado (3)

Análisis



Ingeniería de
Sistemas y
Automática

Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

Tolerancia al doblado

$$BA = 2p \frac{A}{360} (R + K_{ba} t)$$

Si $R < 2t \longrightarrow K_{ba} = 0.33$

Si $R \geq 2t \longrightarrow K_{ba} = 0.50$

Recuperación elástica

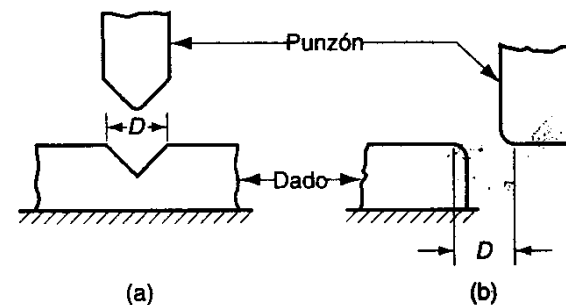
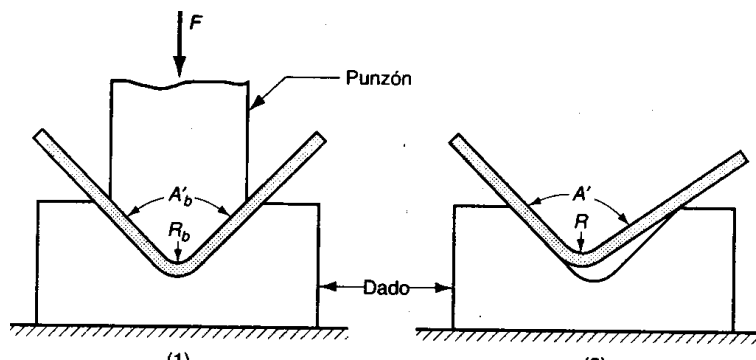
$$SB = \frac{A' - A'_b}{A'_b}$$

Fuerza de doblado

$$F = \frac{K_{bf} T S w t^2}{D}$$

Doblado en V $\longrightarrow K_{bf} = 1.33$

Doblado de bordes $\longrightarrow K_{bf} = 0.33$



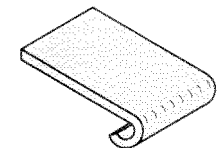
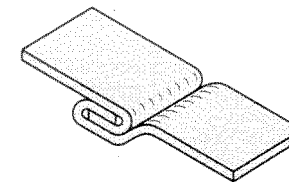
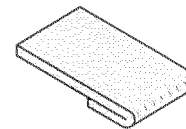
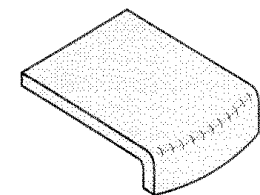
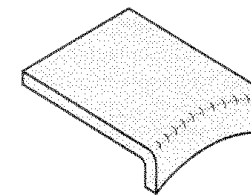
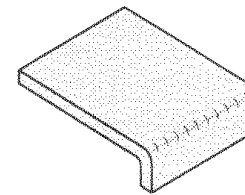
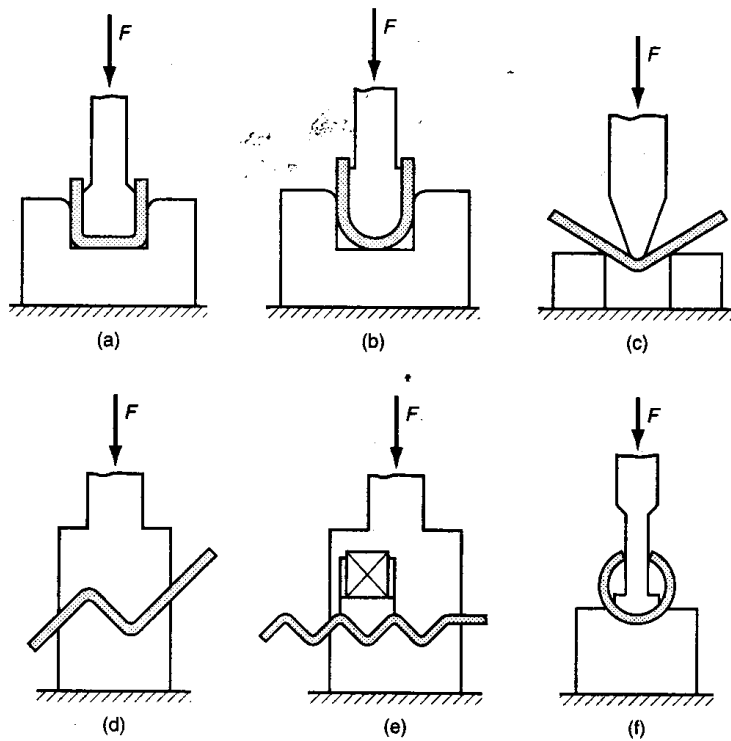
Doblado (4)

Otros doblados



Ingeniería de
Sistemas y
Automática

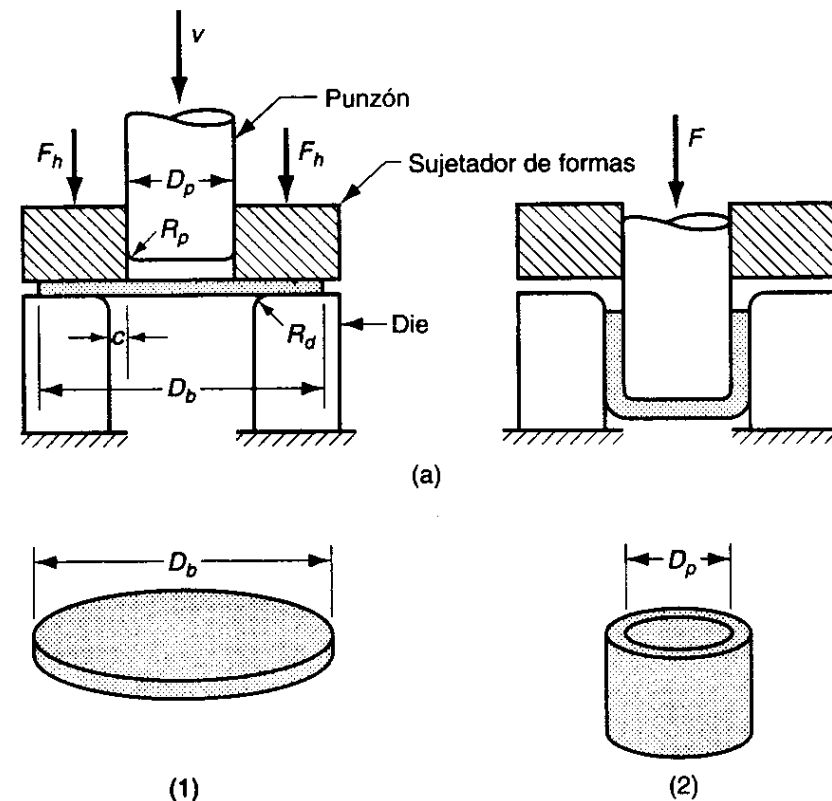
Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas





Embutido (1)

El embutido es una operación de formado de láminas metálicas que se usa para hacer piezas de forma acopada, de caja y otras formas más complejas. Se realiza colocando una lámina de metal sobre la cavidad de un dado y empujando el metal hacia la cavidad de éste con un punzón.

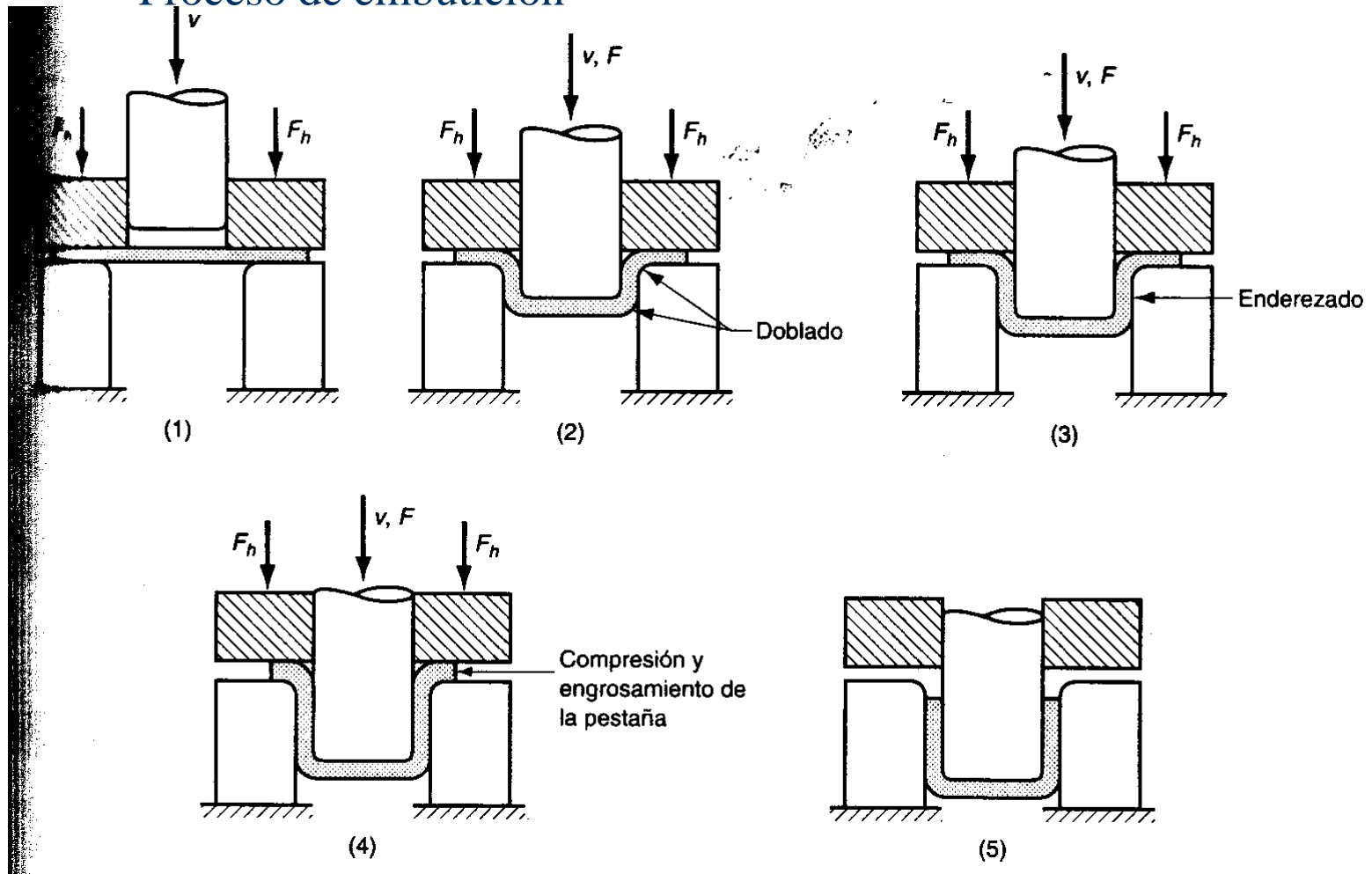


Embutido (2)



Ingeniería de
Sistemas y
Automática
Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

Proceso de embutición



Embutido (3)



Ingeniería de
Sistemas y
Automática

Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

Medidas del embutido:

Relación de embutido:

$$DR = \frac{D_b}{D_p} < 2.0$$

$$c = 1.1t$$

Reducción

$$r = \frac{D_b - D_p}{D_b} < 0.5$$

Relación de espesor al
diámetro:

$$\frac{t}{D_b} \text{ Superior al 1\%}$$

Fuerzas:

Fuerza de embutido:

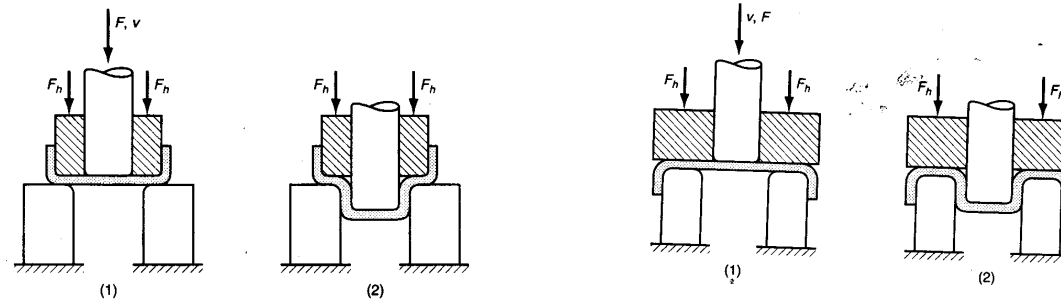
$$F = pD_p t (TS) \left(\frac{D_b}{D_p} - 0.7 \right)$$

Fuerza de sujeción:

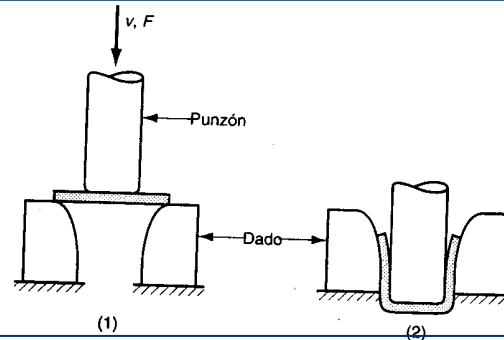
$$F_h = 0.015 Y_p \left[D_b^2 - (D_p + 2.2t + 2R_d)^2 \right]$$

Embutido (4)

Reembutado:

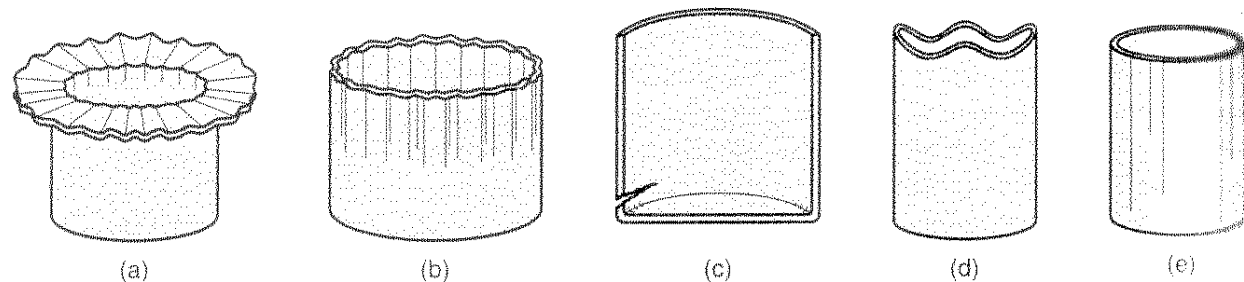


Embutido sin
sujetador:



$$D_b - D_p < 5t$$

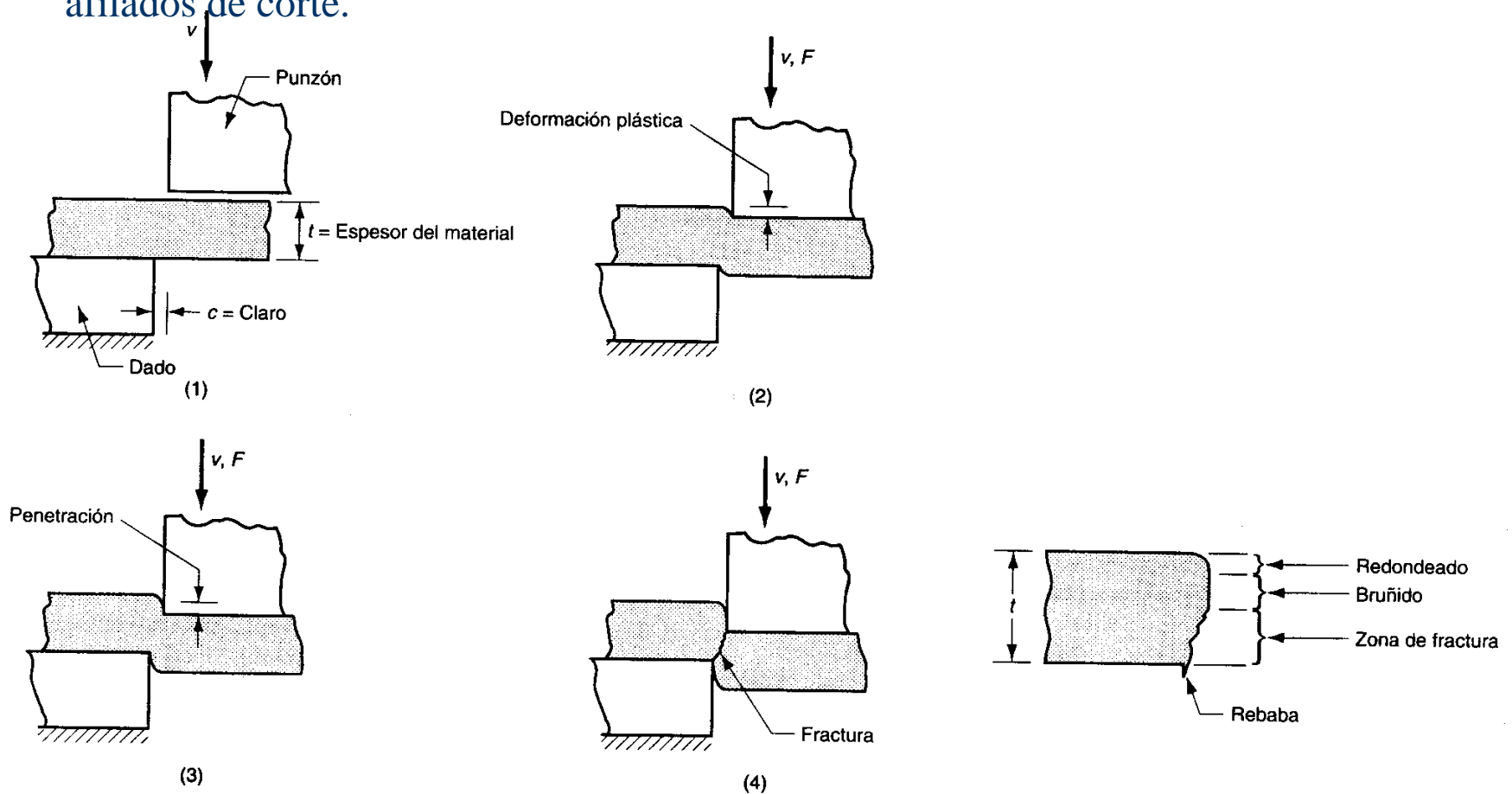
defectología:





Corte (1)

El corte de lámina se realiza por una acción de cizalla entre dos bordes afilados de corte.



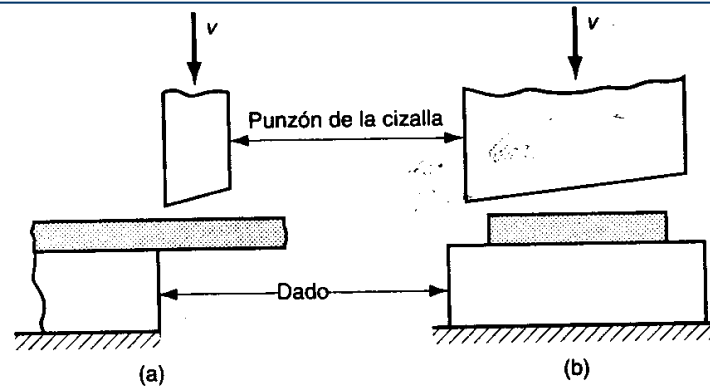


Ingeniería de
Sistemas y
Automática

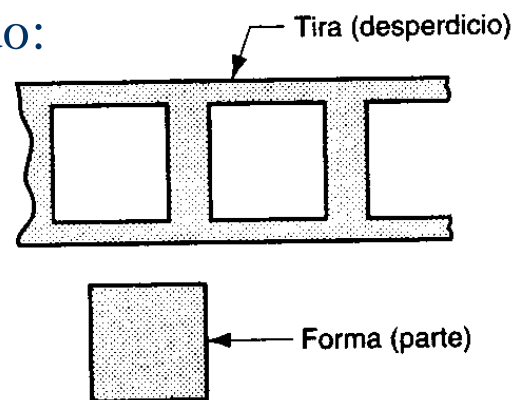
Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

Corte (2)

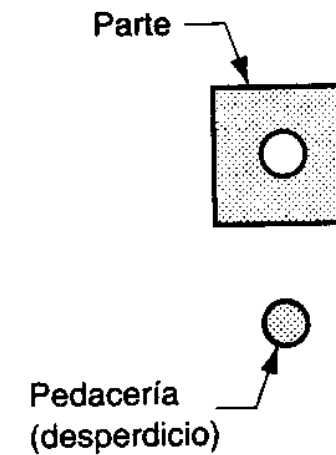
Cizalla:



Punzonado:

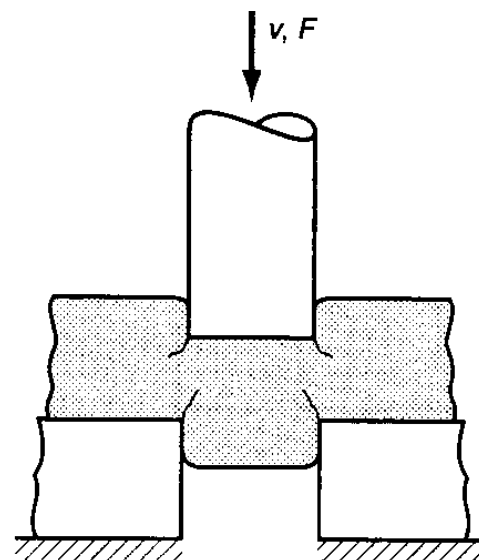


Perforado:

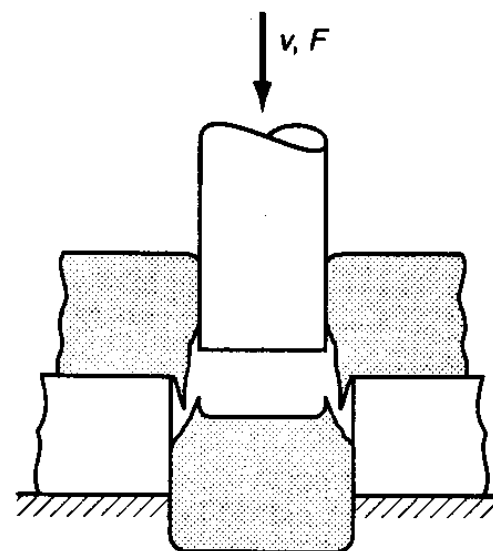




Corte (3)



(a)



(b)

$$c = at$$

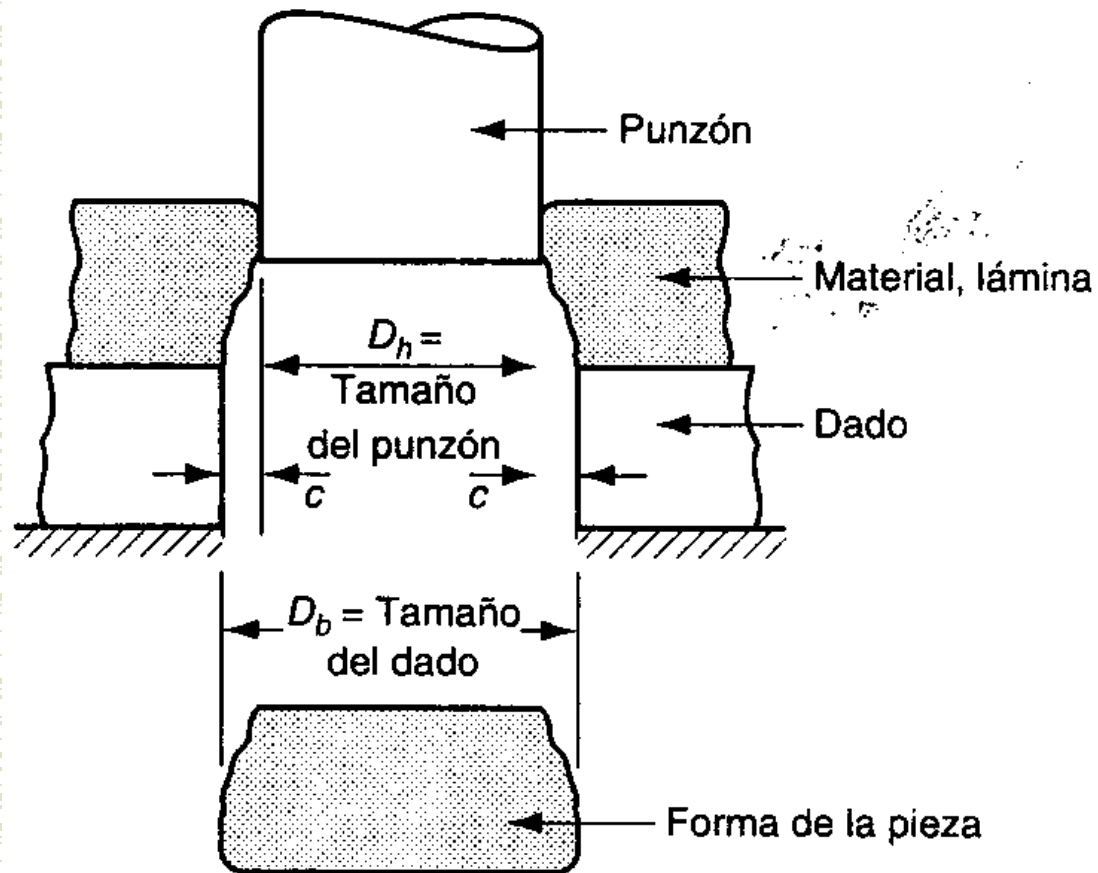
Grupo metálico	a
Aleaciones de aluminio, todos los temple 1100S y 5052S	0.045
Aleaciones de aluminio 2024ST y 6061ST; latón, todos los temple; acero suave laminado en frío; acero inoxidable frío	0.060
Acero laminado en frío, dureza media; acero inoxidable, dureza media y alta	0.075

Corte (4)



Ingeniería de
Sistemas y
Automática

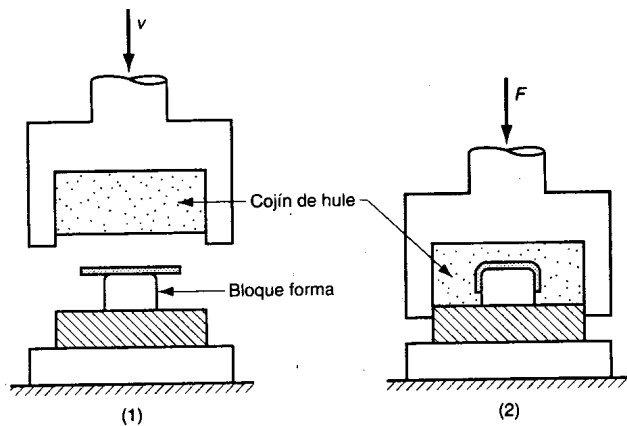
Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas



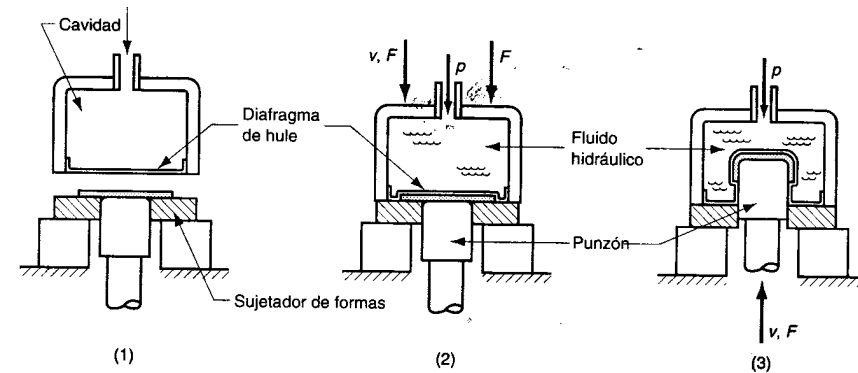
$$F = StL$$
$$F = 0.7(TS)tL$$

Otras operaciones (1)

En prensa:



Guerin



hidroformado

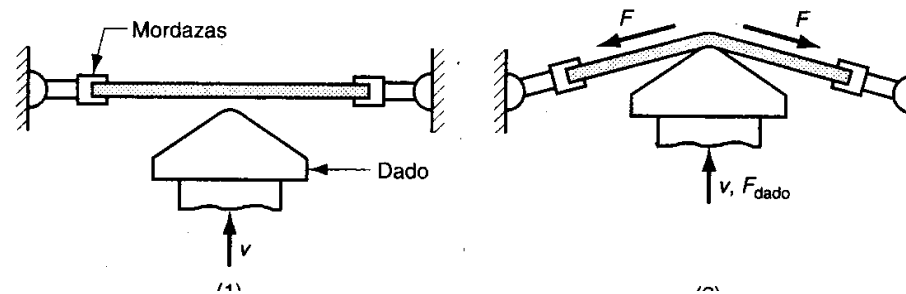
Otras operaciones (2)



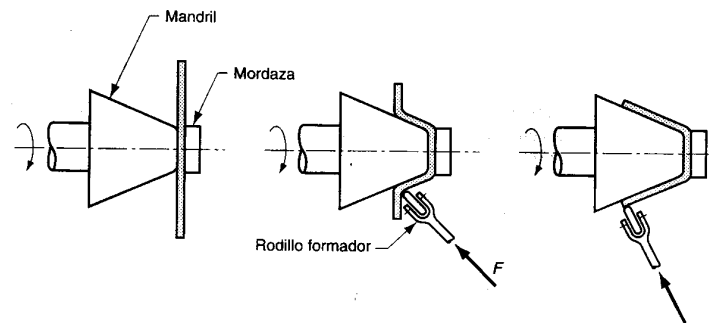
Ingeniería de
Sistemas y
Automática
Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

Sin prensa:

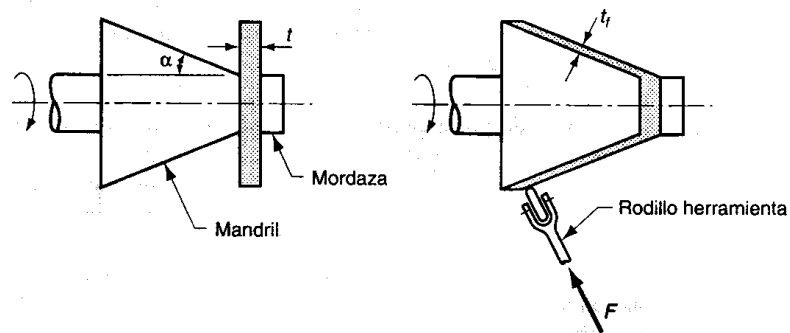
restirado



Rechazado
convencional



Rechazado
cortante



Otras operaciones (3)



Ingeniería de
Sistemas y
Automática
Tecnología de Fabricación y
Tecnología de Máquinas

Sin prensa:

Por alta
velocidad

