

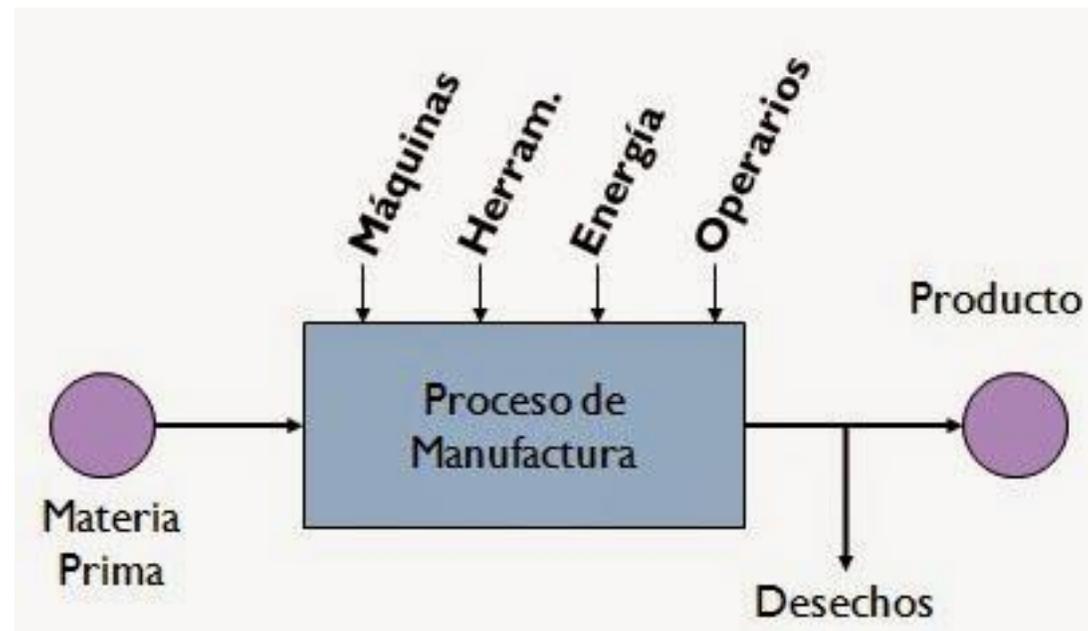
# Procesos de Conformado Plástico

**M.F. JORGE L. ROMERO**

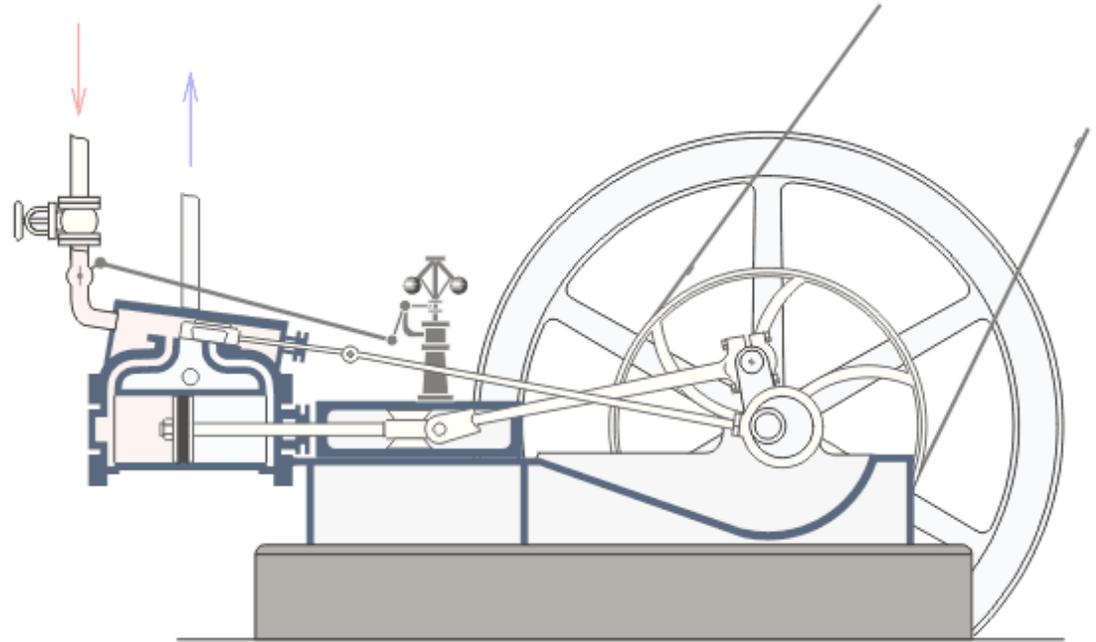
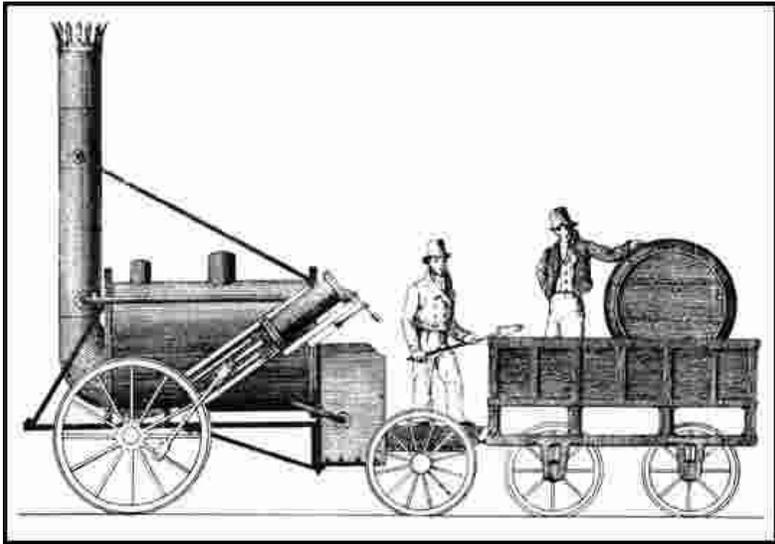


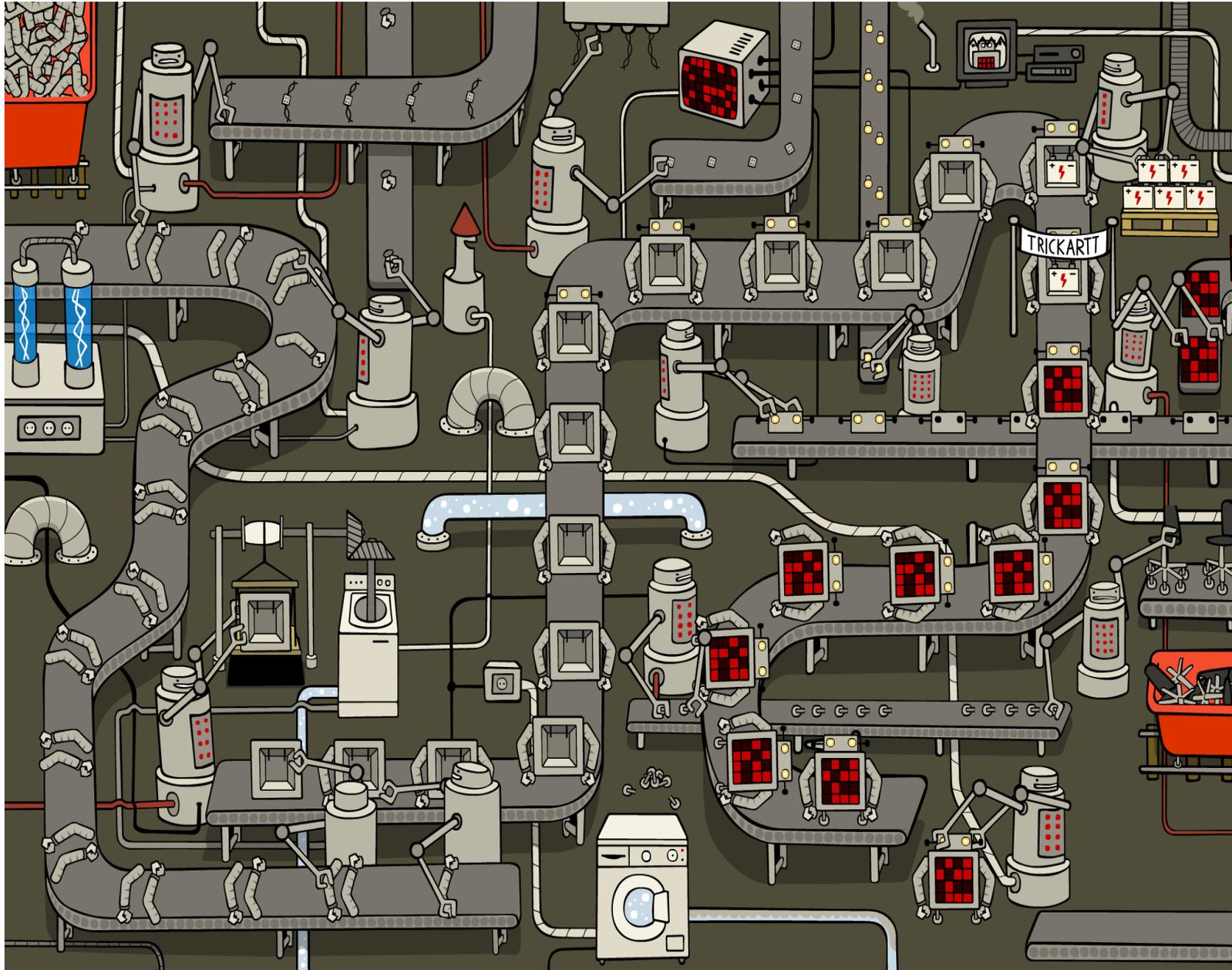
Manufactura: Obra hecha con auxilio de máquina.

**Procesos de Manufactura:** Se denomina de ésta forma a todo método de transformación y acabado (incluye cambios en la geometría del material, alteración de sus propiedades, operaciones de ensamble y también de acabado superficial) empleado para los materiales metálicos, cerámicos y polímeros.



Se considera que el concepto moderno de la manufactura surge alrededor de 1780 con la Revolución Industrial británica, expandiéndose a partir de entonces a toda la Europa Continental, luego a América del Norte y finalmente al resto del mundo.





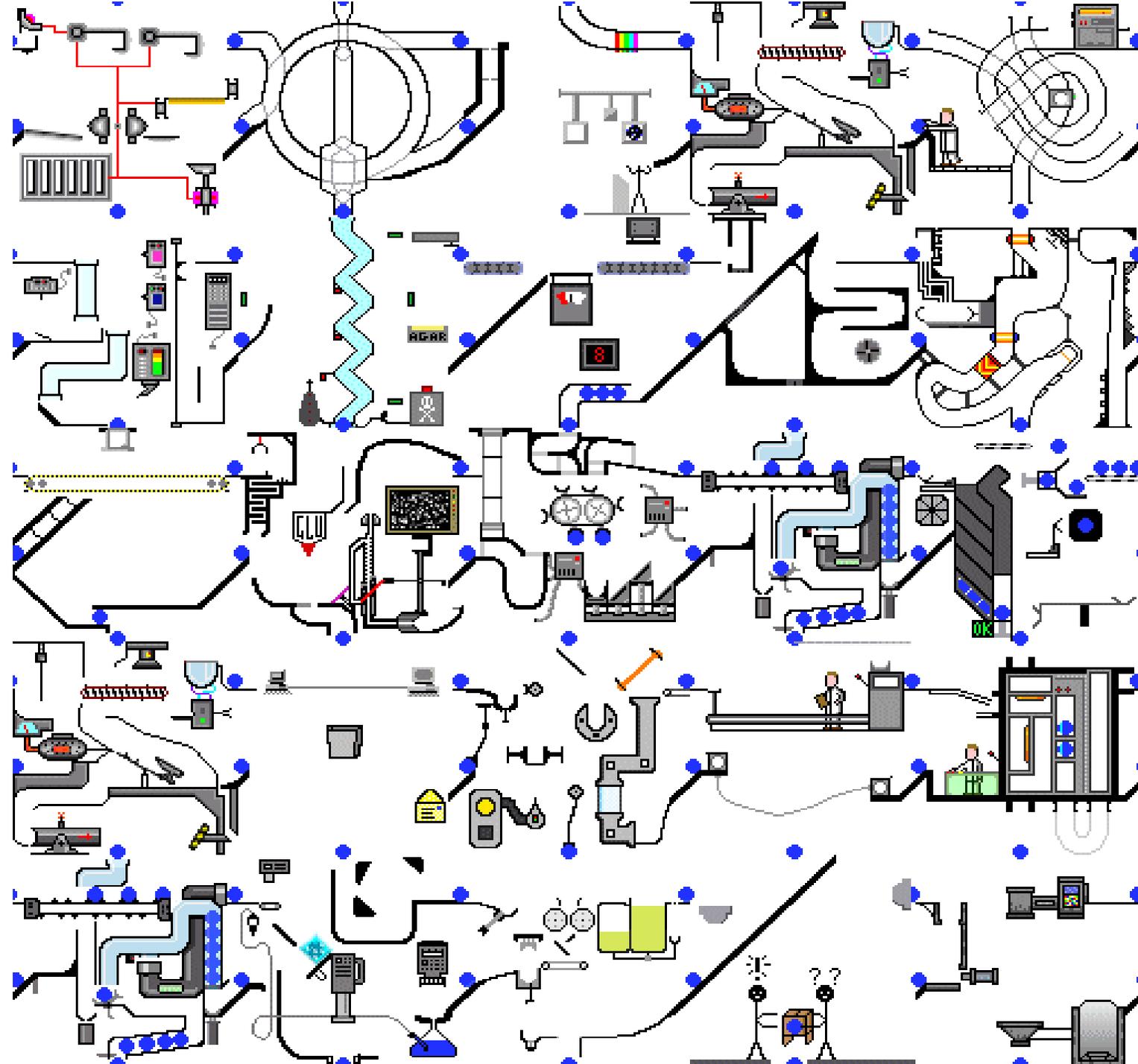
Durante los siglos XIX y XX el diseño de nuevos métodos y procesos fue incesante, lo que se ha traducido en un notable aumento de la productividad y por tanto del nivel de vida de la población.

Dentro de este período destaca:

- El concepto de manufactura intercambiable, desarrollado por Eli Whitney a mediados del siglo XIX,
- El ensamble en línea puesto en práctica por H. Ford al inicio del siglo XX,
- La introducción de la informática en la manufactura a través de los sistemas CAD/CAM, los cuales a la fecha han madurado generando una nueva revolución en las manufacturas.
- En la actualidad los esfuerzos se orientan, más que a la producción en serie de un bien, a la producción personalizada

• Factores que influyen en la selección de un proceso de manufactura

- **Número de piezas**
- **Espesores**
- **Tamaño de las piezas**
- **Disponibilidad del equipo**
- **Forma de las piezas**
- **Acabado**
- **Tolerancias**
- **Plazo de entrega**
- **Herramental necesario**
- **Consumo de energía**
- **Producción de efluentes**

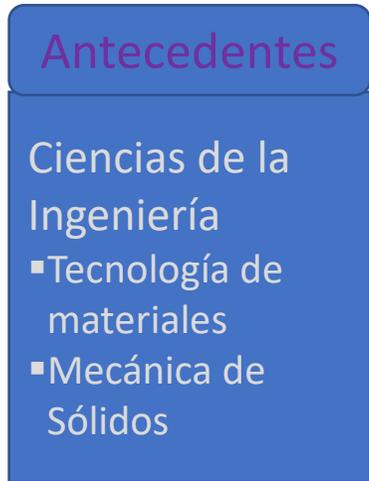


## Factores que influyen en la selección de un material

- Función
- Tamaño y tolerancias
- Tratamiento térmico
- Acabado
- Calidad metalúrgica
- Cantidad
- Facilidad de producción
- Disponibilidad
- Reciclado
- Toxicidad
- Costo



	Nombre	Fecha	Infe	
Diseñado	Javier Martínez	13/02/08	Título	Tija Superior 25 mm
Comprobado	Carlos Tabar	13/02/08		
Aprobado			A3	Plano
Materiales	Aluminio, 6061-T6		Archivo: Tija superior 25mm.dft	
Tratamiento			Escala: 1:2	Peso: 0 Kg
N° Piezas	Proyecto			Hoja 2
Cotas en milímetros angulos en grados tolerancias $\pm 0.2$ y $\pm 0.5^\circ$				



Procesos que involucran cambio de forma

1. Vaciado o colada
2. Conformado mecánico
3. Conformado de polímeros
4. A partir de polvos
5. Con arranque de viruta

Procesos de Manufactura I

Procesos para unir partes o materiales

Procesos para acabado de superficies

Procesos para modificar las props. de los materiales

Procesos de Manufactura

Procesos de Conformado

Procesos de Corte

# CONFORMADO MECÁNICO DE LOS METALES

Existen diversas formas de clasificar los procesos de conformado mecánico de los metales; ésta se puede realizar en función del endurecimiento, nivel de deformación, materia prima, etapa del proceso, entre otras.

- Si se , se puede hablar de **procesos primarios y secundarios o de acabado**.
- En el caso de tomar como base el nivel de acritud producto de la deformación, se pueden referir a procesos en **caliente, en frío y en tibio**.
- Si se toma en cuenta la materia prima se pueden referir a **procesos de deformación volumétrica y procesos de trabajo en chapa**.

## Considerando la etapa

- **Procesos Primarios;** Grandes deformaciones, normalmente realizadas en caliente
- **Procesos Secundarios o de acabado;** se obtiene la forma final, son procesos en frío.

## Considerando la temperatura

**Trabajo en caliente.** La temperatura de proceso  $T_p$  es mucho mayor que la de recristalización:  $T_p \geq 0.75 T_f$  ( $T_f$  es la temperatura de fusión en  $^{\circ} K$ ). Es por consecuencia que existirá recristalización dinámica, permitiendo así grandes deformaciones, aunadas a menores cargas.

**Trabajo en frío.** En este caso la deformación se realiza a temperaturas menores de la de recristalización siendo lo más usual a temperatura ambiente:  $T_p \approx T_a$ . Se tendrá con esto una mayor precisión dimensional a la vez de permitir el control de las propiedades mecánicas. Resulta por demás evidente que las deformaciones por etapa y acumuladas serán menores, ya que de otra forma se requerirá de recocidos intermedios.

**Trabajo en tibio.** En este caso la deformación se realiza a temperaturas mayores a la ambiente, las cuales pueden ser aún del orden de la de recristalización:  $T_p \approx 0.3$  y hasta  $0.6 T_f$ , sin embargo, las velocidades de deformación (por consecuencia de endurecimiento) son superiores a los fenómenos de recristalización dinámica

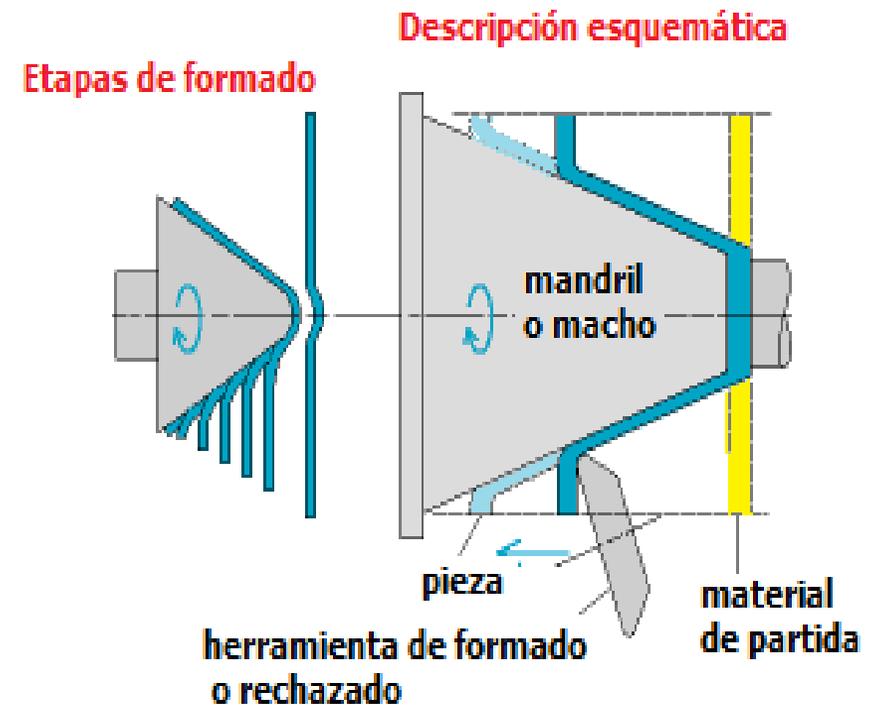
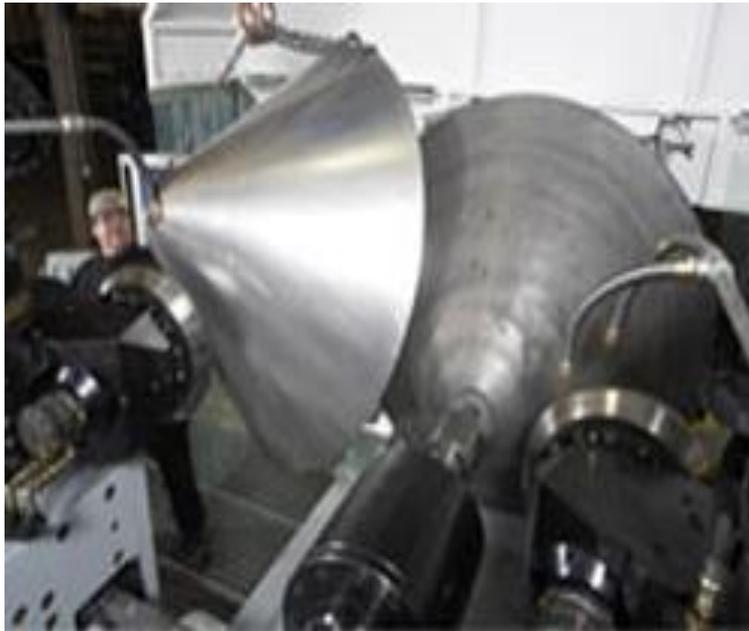
En caliente, se tiene grandes deformaciones, por ejemplo:

Forja libre o abierta



Sin embargo en frío las deformaciones son mucho más limitadas y además habrá que considerar la recuperación elástica, por ejemplo el trabajo en lámina;

## Operación de Rechazado de chapa metálica

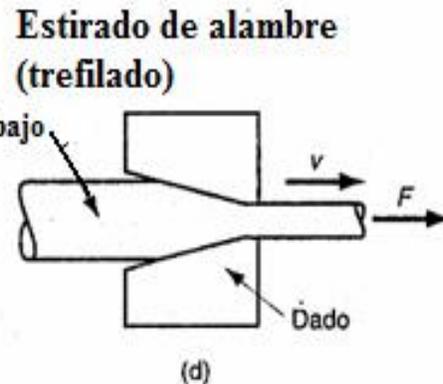
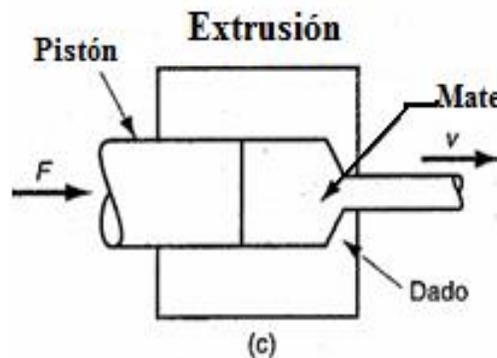
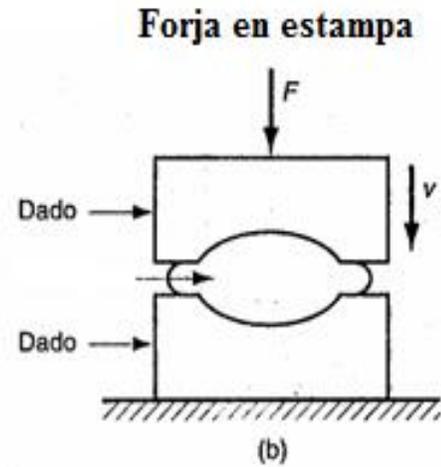
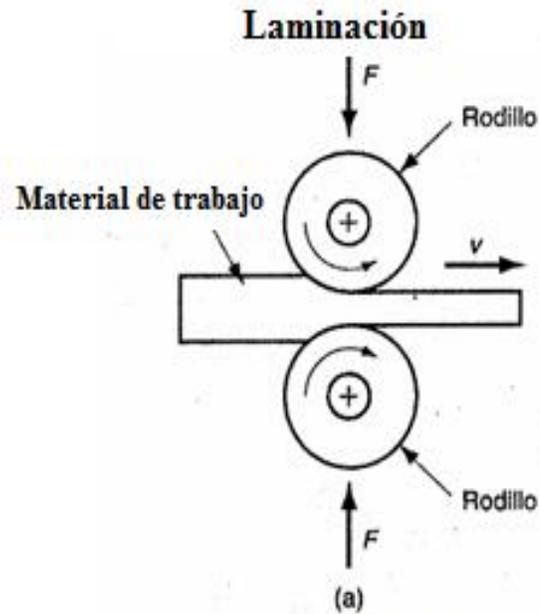


## Trabajo en frío de los metales. Características

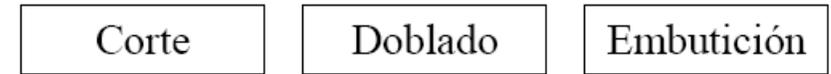
- Mejor acabado superficial.
- Tolerancias dimensionales más estrechas.
- Cambio en las propiedades físicas (se pueden ajustar las propiedades mecánicas de acuerdo con las necesidades del producto).
- Mayor capacidad para ser deformados por cargas de tracción.
- Mayor consumo de energía para la deformación.
- Anisotropía.
- Necesidad de recocidos intermedios, en el caso de grandes porcentajes de deformación.



# Procesos de deformación volumétrica y Procesos de trabajo en chapa

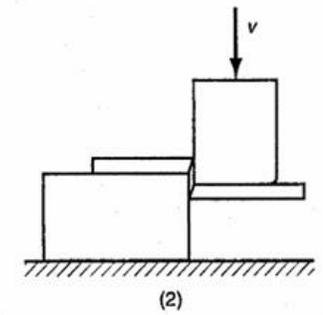
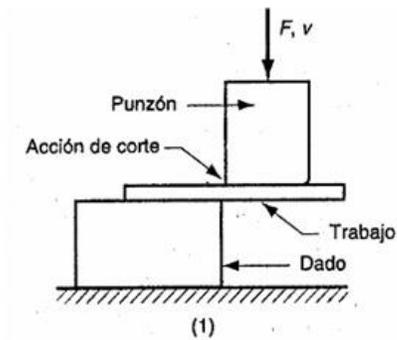


Este tipo de procesos se clasifican globalmente en tres grupos:

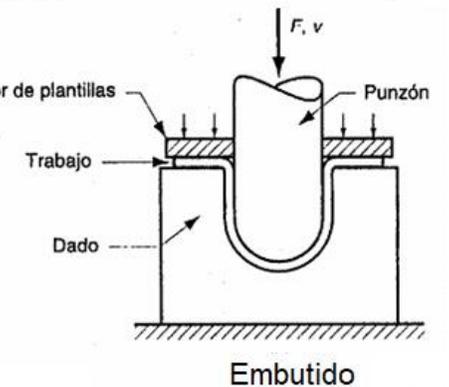
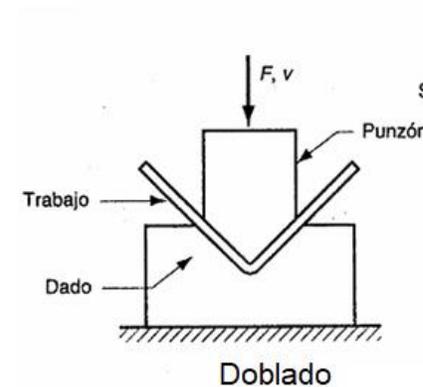


Troquelado  
Punzonado  
Cizallado

Doblado  
Rebordonado  
Redondeado



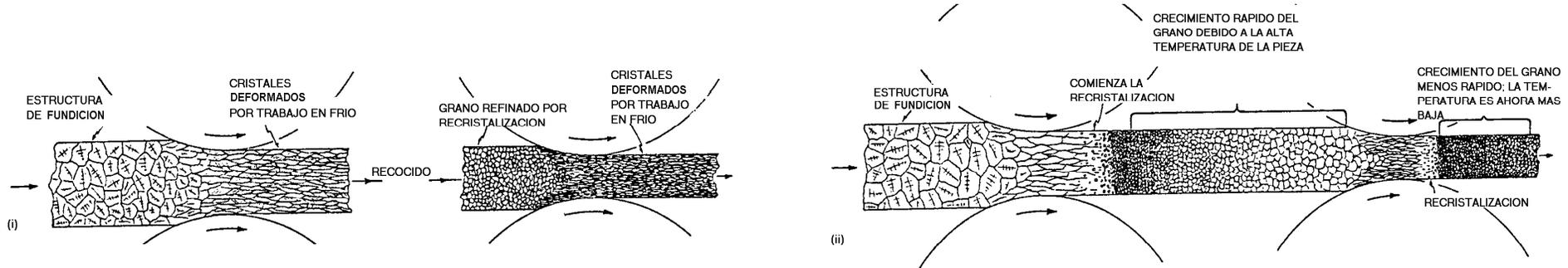
Corte



# Procesos de deformación volumétrica

- **Laminación.** Es un proceso de deformación por compresión directa, en el cual el espesor del lingote se reduce al pasar a través de dos rodillos que giran en sentido opuesto, y cuya separación es menor que el espesor inicial del rodillo. Se efectúa tanto en frío como en caliente.
- **Forja.** El material se deforma entre dos dados, de tal manera que la forma del dado se imprima para obtener la geometría deseada (forja en estampa). Geometrías simples forja libre. Grandes deformaciones, por lo tanto generalmente en caliente; aunque puede ser en frío.
- **Extrusión.** Proceso de compresión indirecta en el cual se fuerza el metal a fluir a través de la abertura de un dado para que tome la geometría de éste. El proceso se realiza en caliente
- **Estirado.** En este proceso el diámetro de un alambre o barra se reduce cuando se hace pasar éste, por efecto de una fuerza de tracción, a través de la abertura de un dado.

# Laminación



Reducción de la sección transversal de un material, al hacerlo pasar entre dos rodillos cilíndricos que giran en sentido opuesto.

Éstos producen la deformación plástica del material por medio generando esfuerzos de compresión y corte.

La compresión se debe a que la separación de los rodillos es menor del espesor inicial del material.

Los cortantes se generan por efecto de la fricción entre rodillos y material.

# Laminación.

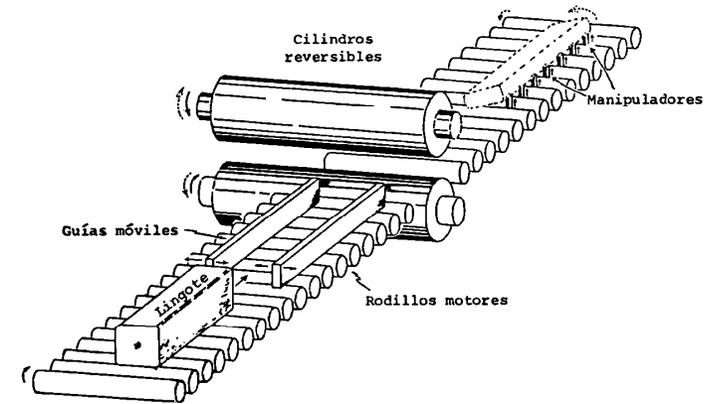
## Laminación de planos Laminación de perfiles

### Laminación en frío:

- Buen acabado superficial
- Buen control dimensional
- Bajo porcentaje de reducción posible.
- Se hace necesario un recocido para aliviar tensiones por deformación plástica en frío (acritud)

### • Laminación en caliente:

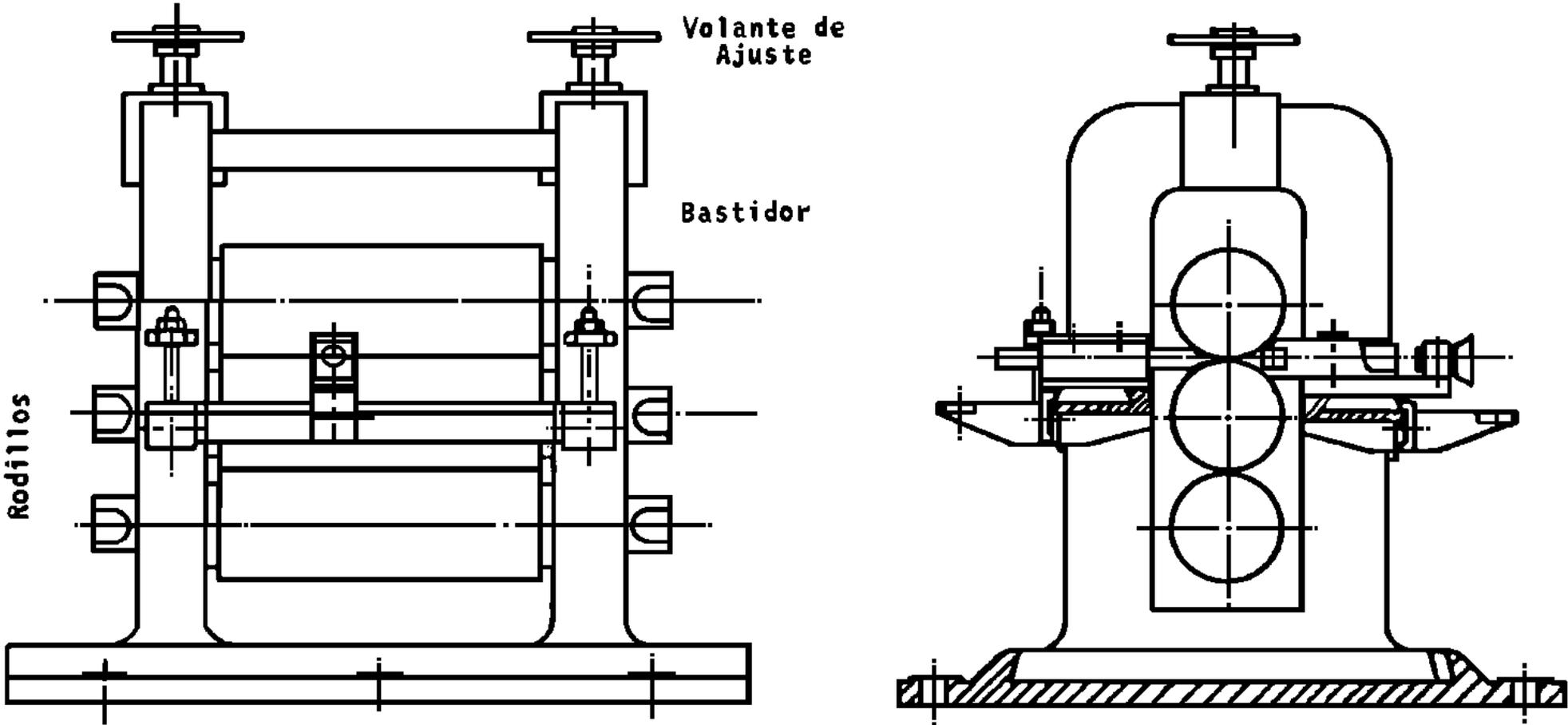
- Posibilidad de altos porcentajes de reducción
- Deficiente acabado superficial
- Bajo control dimensional
- Menores cargas de deformación



**Fig. 7.4 (b)**Laminador dúo de grandes dimensiones con ajuste hidráulico (Cauffiel Technologies).



Fig. 7.5 (a) Laminador trío (vista frontal y lateral).

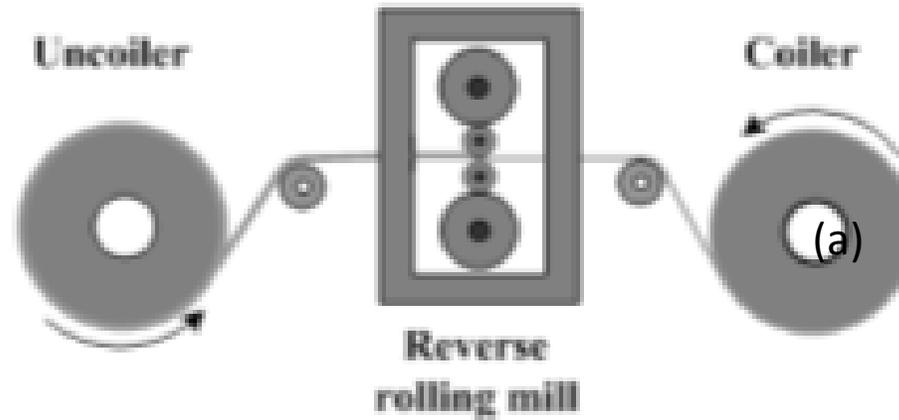


**Fig. 7.5 (b)**Caja trío (dongyun, China).



**Fig. 7.6** Laminador cuarto, (a) Descripción esquemática de un laminador cuarto con enrollador y freno (desenrollador), (b) caja de laminación, (c) Laminador cuarto reversible con enrollador y freno.

$\phi_{\text{rodillos trabajo}} 1/2 \text{ a } 1/3 \phi_{\text{rodillos apoyo}}$



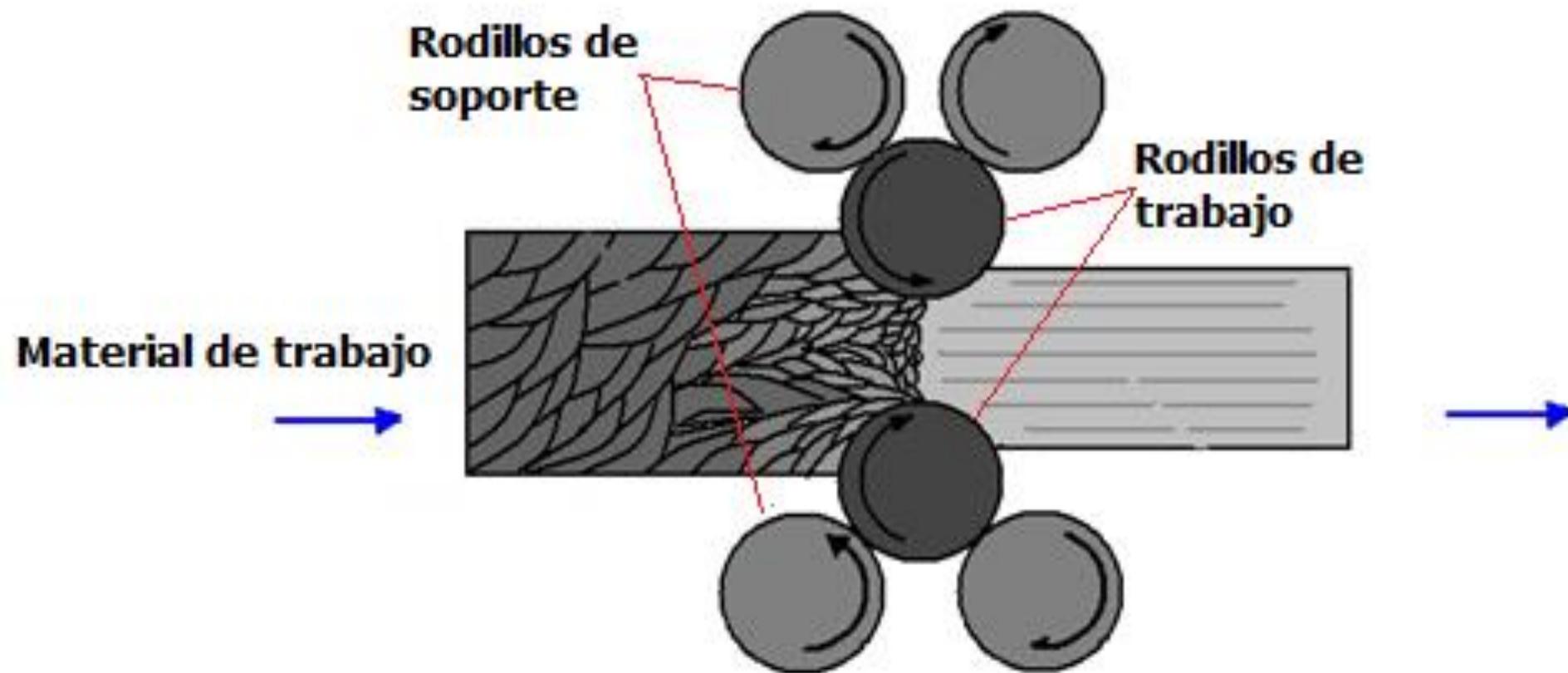
(b)



(c)



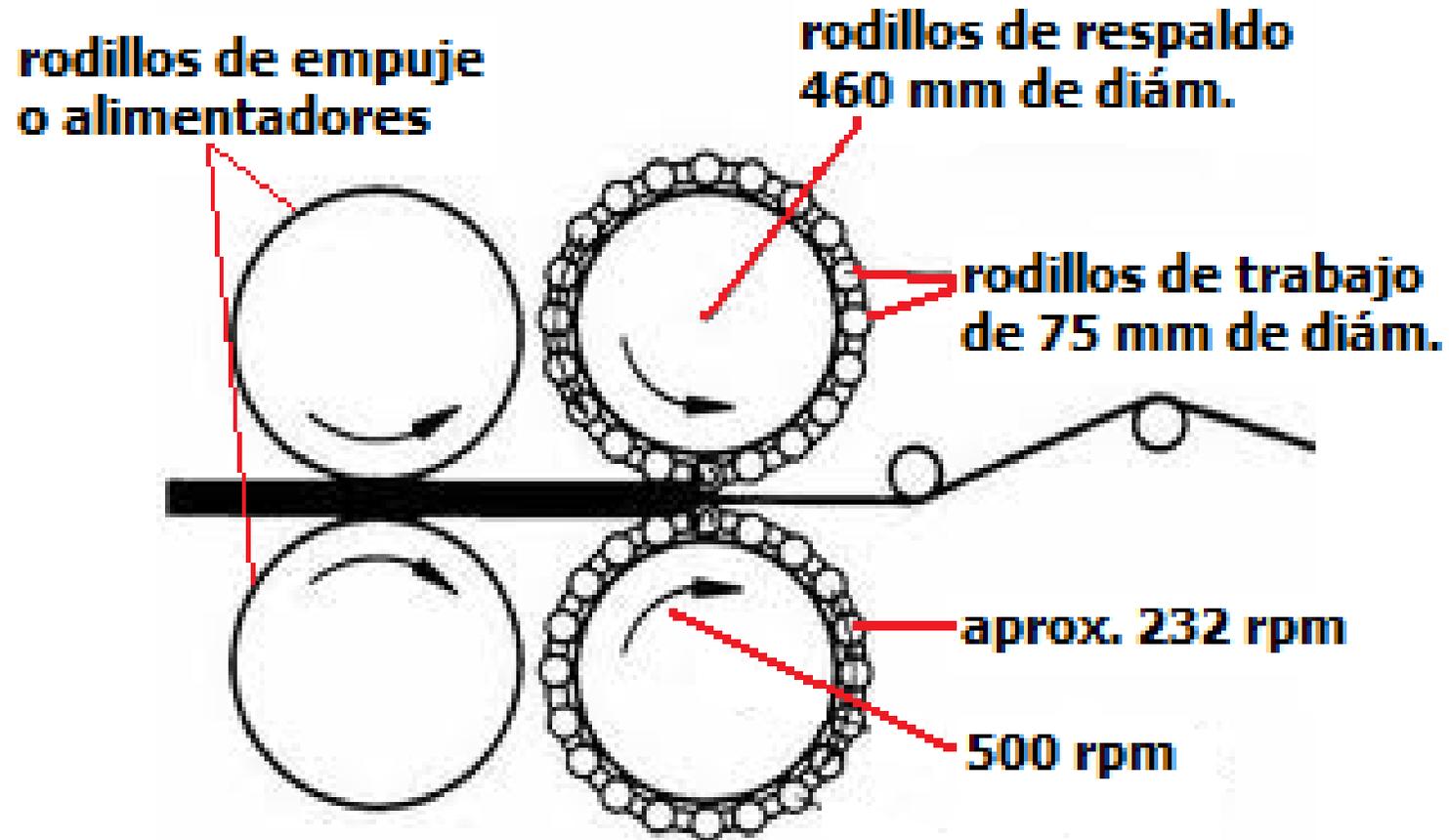
Fig. 7.7 Laminador en racimo.



**Fig. 7.8** Laminador Sendzimir.



Fig. 7.9 Laminador planetario.



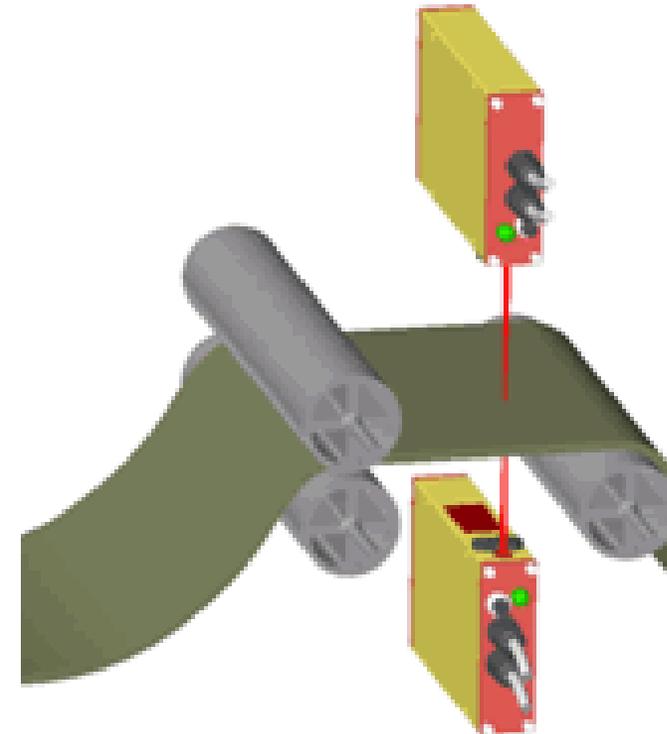
## Elementos auxiliares del tren de laminación.

El número y tipo de los elementos auxiliares que se presentan en un tren dependerá del tipo de éste, del producto que se va a fabricar y del grado de automatización de la planta, entre otros son comunes:

- Horno de precalentamiento.
- Mesas fijas y basculantes.
- Tijeras de despunte y descole.
- Guías de entrada y salida.
- Repetidores.
- Arrastradores.

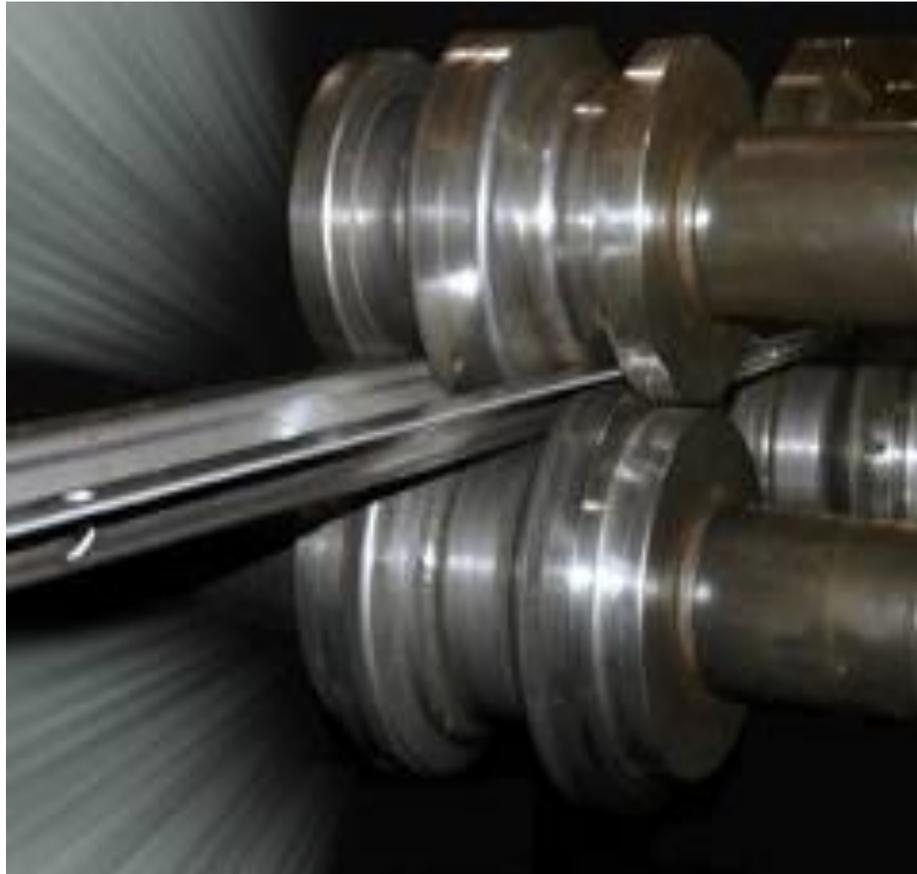
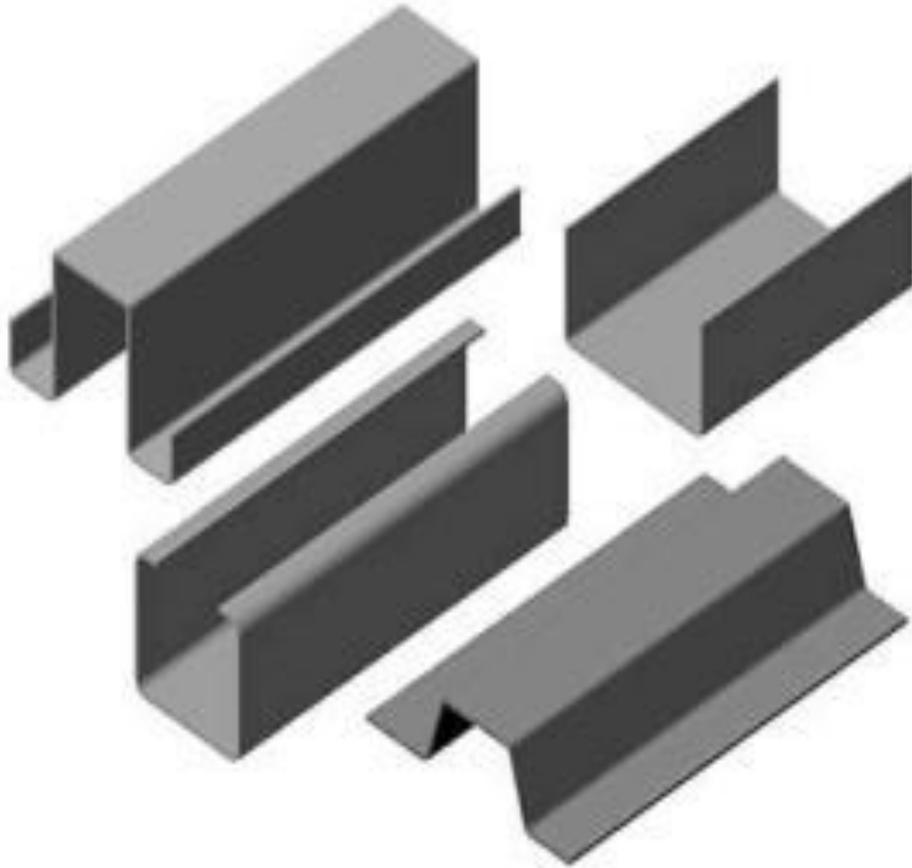
Además de los anteriores se tienen Tijeras de emergencia, canaletas, frena colas y mesas de enfriamiento, así como otros equipos que dependerán del caso particular.

**Fig. 7.15** El control del proceso de laminación se efectúa a través de complejos sistemas computacionales y de adquisición de datos.

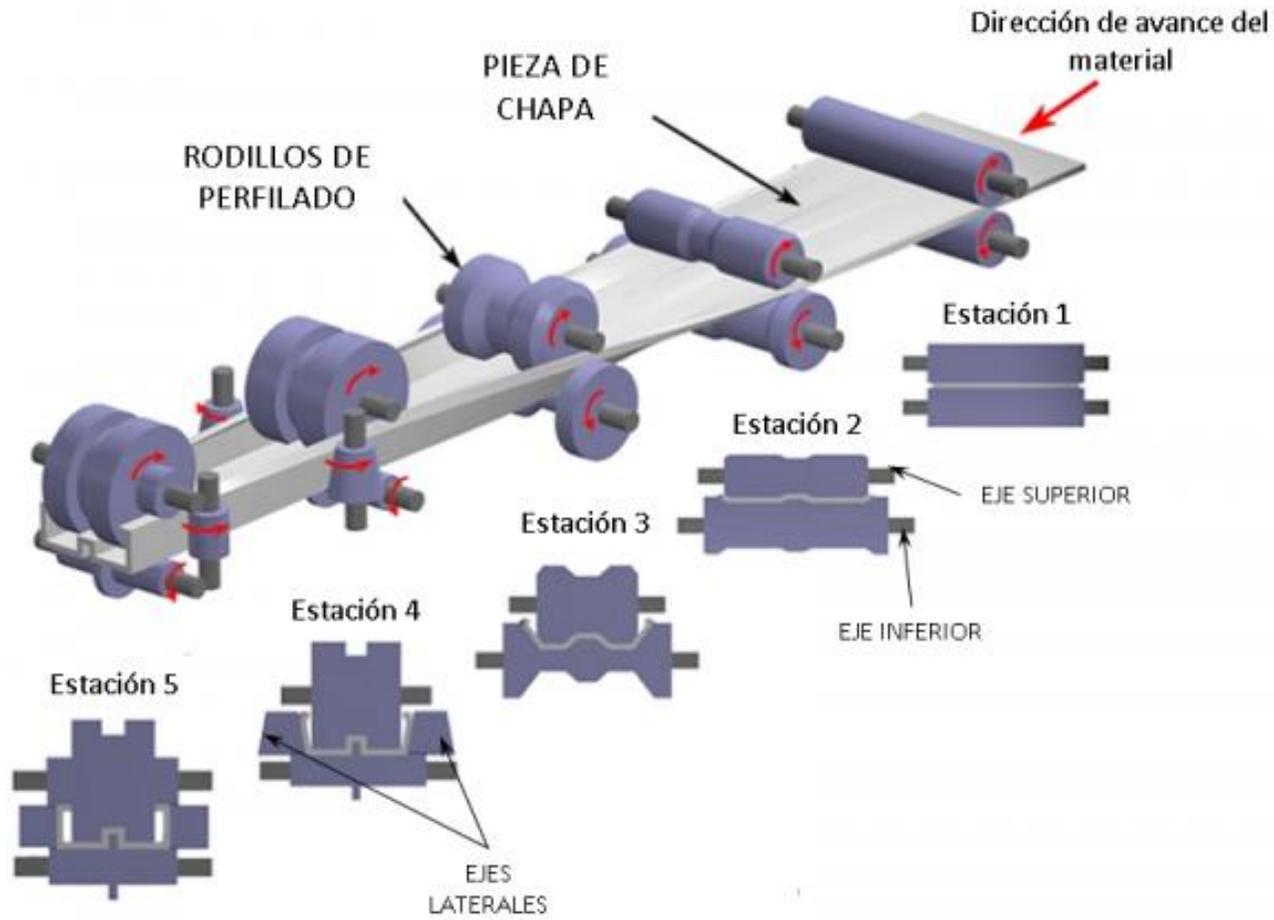


Sensores de rayos X

**Formado por rodillos.**

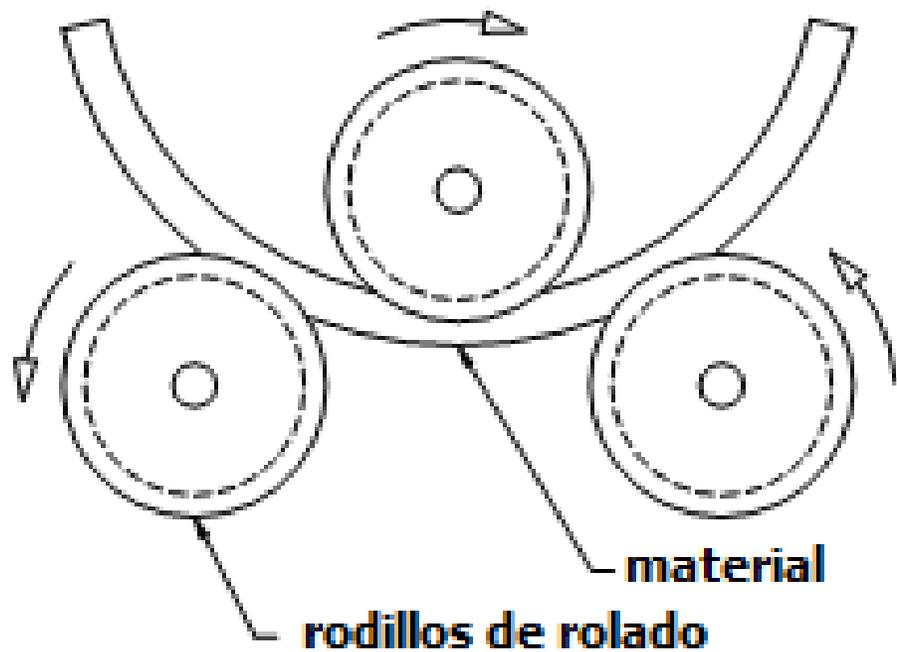


## Formado por rodillos.



**El formado con rodillos permite la producción de laminas acanaladas.**





Descripción esquemática del mecanismo de operación de una roladora. Roladora con capacidad de 10 a 35 mm y longitud de hasta 4 m.

# Forja



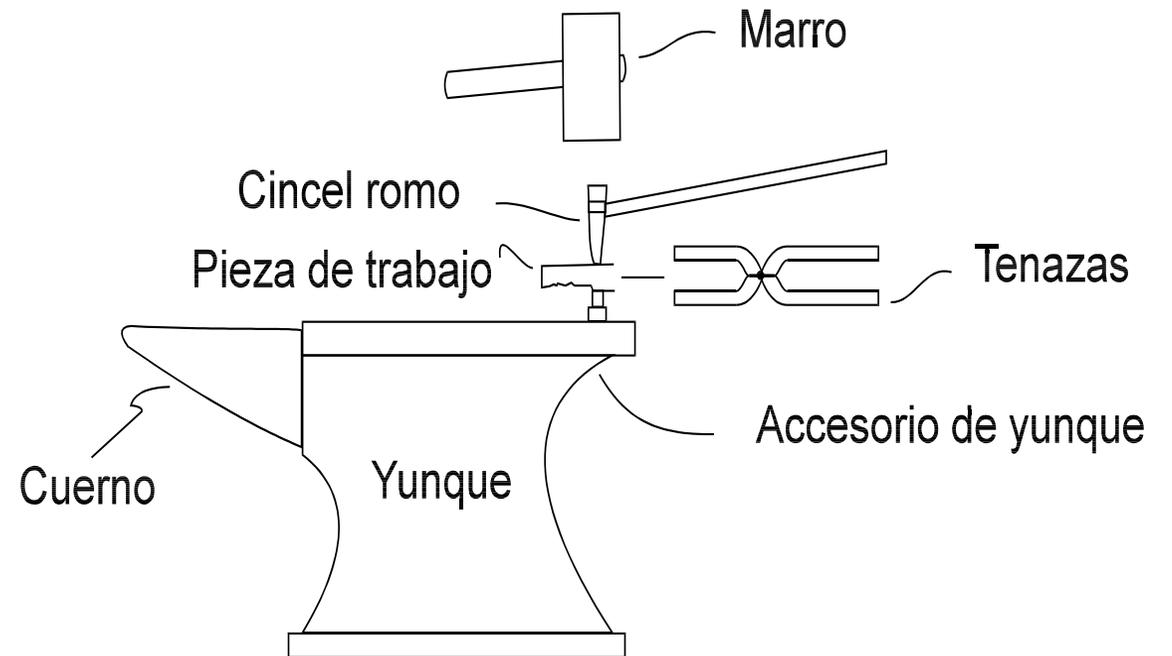
# Forja.

Proceso en el que se producen piezas de sección transversal irregular de distintos tamaños (desde un remache hasta un rotor), mediante la compresión de un bloque metálico (tocho).

Dimensiones, geometrías y pesos muy variados.

Medidas finales que sería imposible obtener mediante otras operaciones.

Facilidad y rapidez de maquinado.



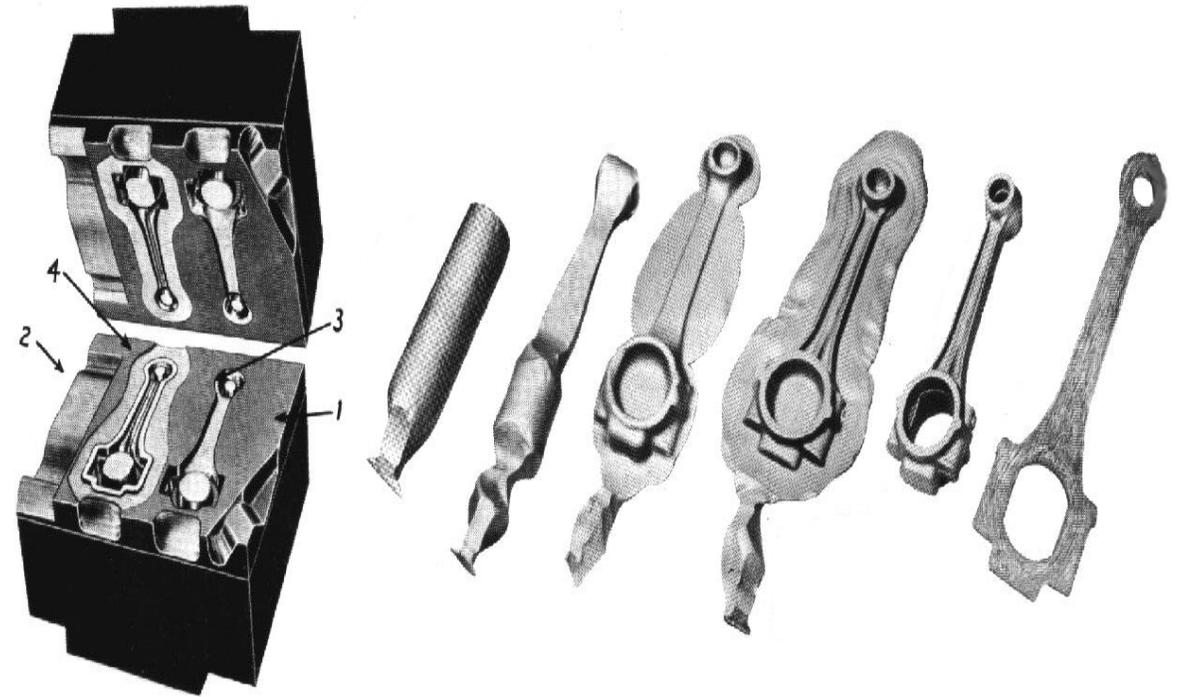
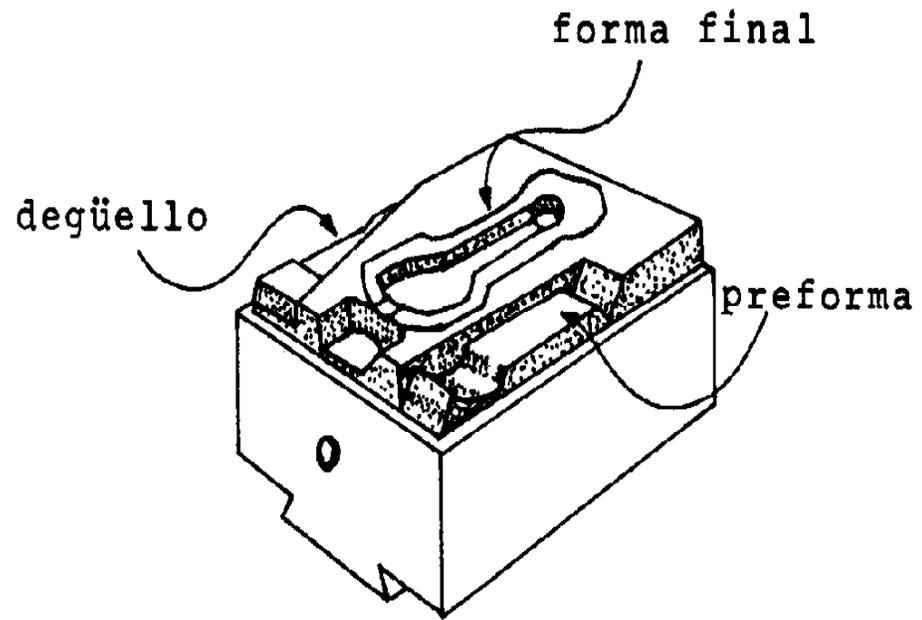


**FIG. 5.1** Forja abierta en prensa de bastidor abierto.

**Fig. 6.2** (a)El dibujo muestra la forja de una armadura durante la Edad Media. La revolución industrial permitió sustituir la fuerza del herrero por la de las máquinas (figura 6.2b).



# Forja



## Forja: Clasificación

	Por las condiciones del proceso	Frío Caliente
FORJA	Por las características de las herramientas	Matriz abierta Matriz cerrada Forja con rodillos

## Forja en frío

- En este método no se calienta la pieza de trabajo pero la maquinaria usada es más compleja.
- Fundamentalmente se efectúan operaciones de acabado o aquellas que se caracterizan por pequeños porcentajes de deformación.
- Esto se debe a los problemas que se presentan por el endurecimiento del material al pretender elevadas deformaciones.

## Forja en caliente

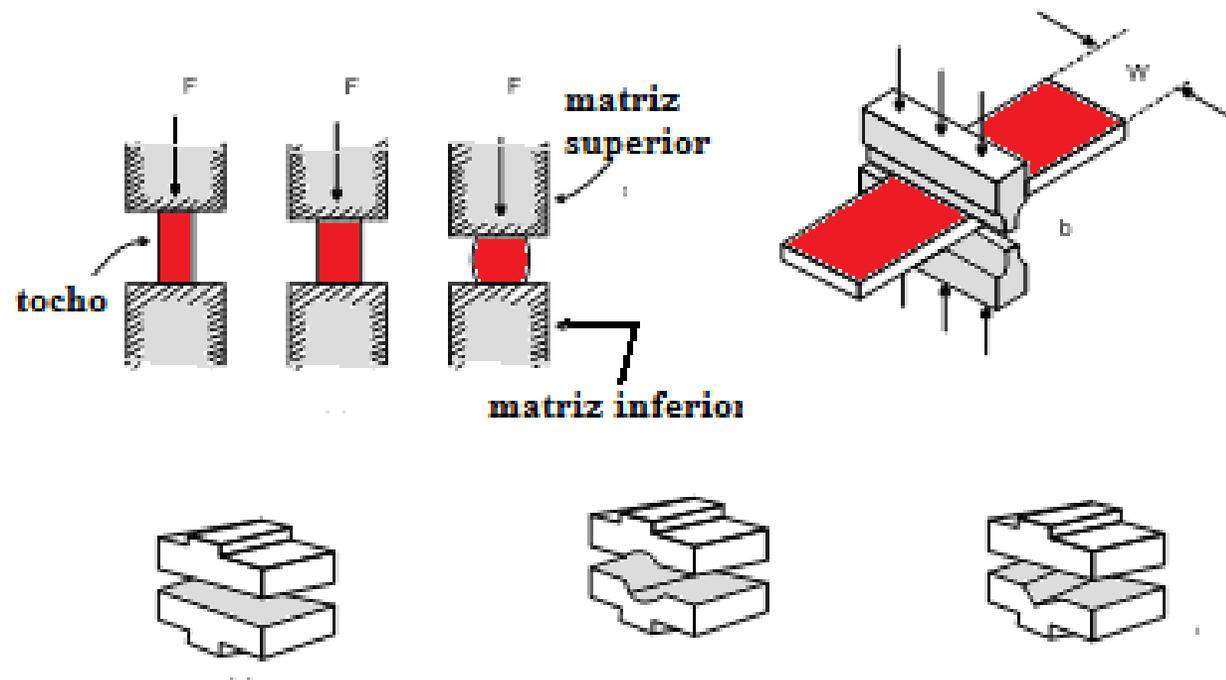
- El 90% de piezas forjadas son hechas con este método.
- Con el calentamiento correcto de la pieza se mejora la capacidad de ésta para cambiar de forma y dimensiones, sin que se presenten fallas o agrietamiento.
- Comprimiéndolas de las herramientas por presión (prensa), o por impacto (martillo)

**Fig. 6.3** (a) Forja en caliente en un martillo de bastidor abierto. (b) Forja en prensa. En ambos casos se trata de forja abierta



## Forja de Matriz Abierta o Libre

- Se emplea para producir formas simples en poco tiempo y con bajo costo, esto es debido a que carecen de detalles y dimensiones exactas.
- Las formas producidas con matriz abierta usualmente requieren de maquinaria adicional para poder terminar la geometría de la pieza.



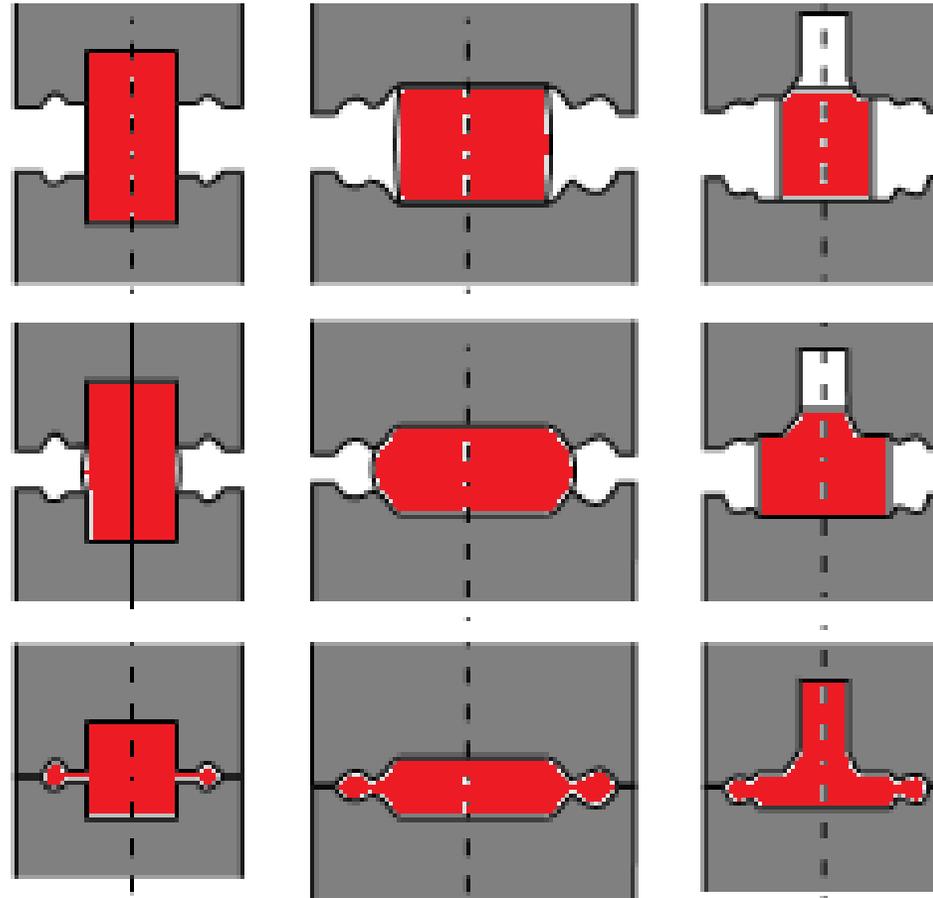
## Forja con Estampa

- Se utiliza una matriz, dado o estampa con una o varias cavidades de la geometría de la pieza.
- El impacto de la maza o la presión del émbolo sobre la pieza de trabajo, la obliga a llenar todo el hueco de las matrices coincidentes.



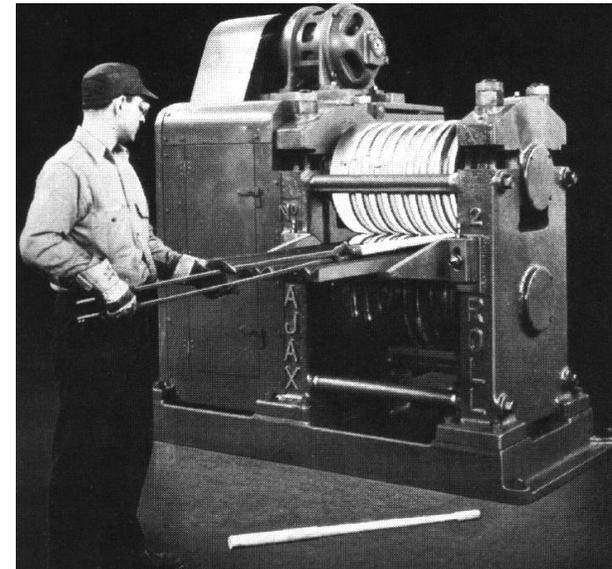
**Fig. 6.5** Forja con estampa, secuencia de la deformación.

- La estampa puede constar de varias etapas que faciliten la deformación del material y garanticen precisión y duración del herramienta.
- El número de etapas estará definido por la complejidad de la pieza a producir.



## Forja con Rodillos

- Se emplea para reducir la sección transversal de barras, razón por la cual normalmente se aplica en operaciones de preforma para la posterior forja en estampa.
- Por la forma en que se realiza y debido a su limitada aplicación, en muchas ocasiones no se le menciona al definir los procesos de forja
- Normalmente involucra grandes deformaciones, por lo que se efectúa en caliente.
- Se trata de un método de aplicación particular y prácticamente en desuso.

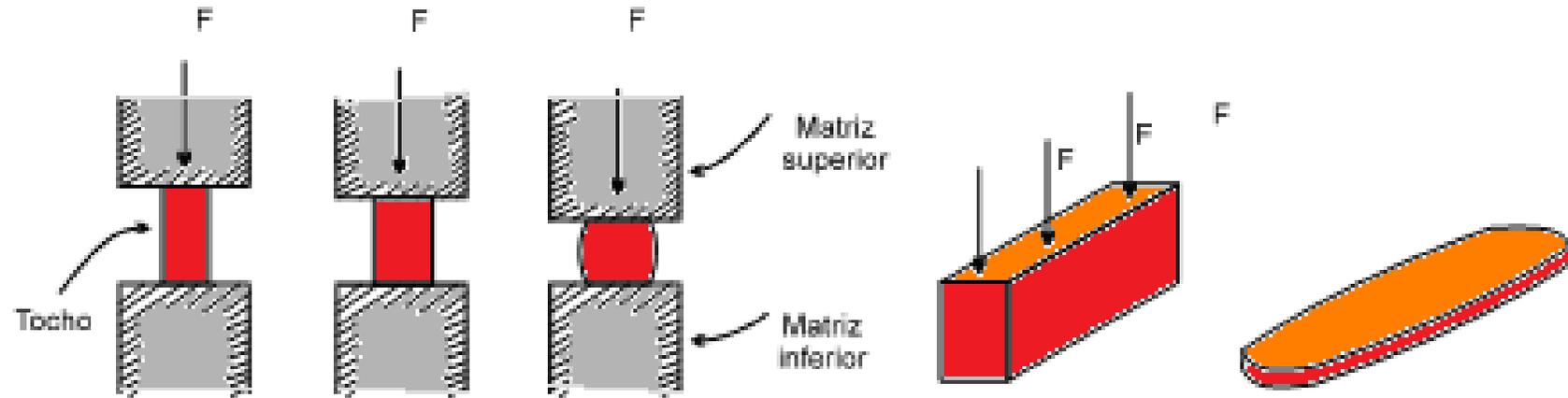


**Fig. 6.8** Equipo para forja con rodillos.



## Operaciones de forja: Recalcado

- Incremento en el diámetro del material cuando éste se comprime → Reducción en su altura o espesor.
- La fricción entre herramientas y el metal no puede evitarse, → Flujo de material menor en intercaras que en el centro, → La forma final es un cilindro abarrilado → Mayor diámetro hacia la mitad de su altura



**Fig. 6.9** Recalcado de un Tocho Durante una Operación de Forja Libre

## Operaciones de forja: Rebordeado

- Se hace con estampas para dar forma a los extremos de las barras y acumular metal

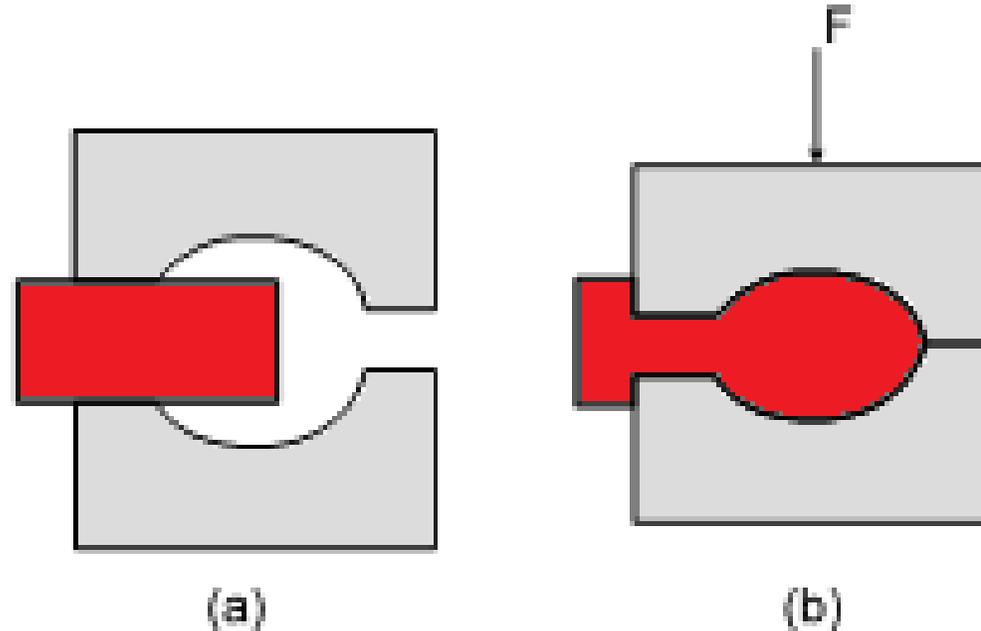


Fig. 6.10 Rebordeado

## Consideraciones para el Diseño de Estampas

El costo de la mano de obra, el tamaño del lote, además de, por supuesto, las facilidades de que se disponga

→ Varias máquinas que trabajen secuencialmente o una sola que cuente de una matriz múltiple.

Varias → series muy grandes

Una sola → No justifique la inversión en varias prensas.

Series menores a 1000 piezas → No convienen matrices múltiples, → Una sola etapa para la fabricación.

→ Si tuvieran que fabricarse unas pocas piezas de un determinado tipo, sería suficiente una matriz de un acero de poca calidad e incluso no se requeriría mucha precisión en el maquinado del dado

## Materiales usualmente forjados

•En general podrán ser forjados todos aquellos materiales y aleaciones que presenten una buena plasticidad a determinadas temperaturas,

- Aceros inoxidables
- Aceros refractarios
- Aluminio y aleaciones de aluminio
- Cobre y sus aleaciones
- Magnesio y sus aleaciones
- Titanio y sus aleaciones
- Níquel y sus aleaciones
- Algunas aleaciones de materiales refractarios tales como el tungsteno, niobio, y el molibdeno

## Materiales usualmente forjados

La **forjabilidad en los aceros** estará determinada por su contenido de carbono y de otros aleantes. Se pueden clasificar como:

Aceros de forja normal.

$C < 0.66\%$  y  $Mn + Ni + Cr + Mo + V + W < 6\%$

Aceros de forja difícil.

$C > 0.66\%$  o  $Mn + Ni + Cr + Mo + V + W > 6\%$

**Fig. 6.14** Diversas piezas producidas por forja



## Martillos

- Los martillos cuentan con una maza que desliza en una corredera, la cual, cuando el movimiento es vertical, tiene una carrera descendente, y ejerce una fuerza de golpeo contra un componente estacionario o yunque que se encuentra cerca de la base del martillo.
- La mitad superior de la matriz se coloca en la mesa móvil o corredera que tiene el peso que se va a proyectar, la mitad inferior se encuentra colocada sobre el yunque de la máquina.

**Fig. 6.15** (a) Martillo de bastidor cerrado para forja en estampa. Figura (b) Martillo de accionamiento neumático, 75 kg de la masa deslizante, 1 KJ de energía, hasta 210 golpes/minuto.



## Máquinas para forja por aplicación de presión

Prensas	Mecánicas	Husillo-tuerca De cuña De rodillera De biela-cigüeñal
	Hidráulicas	Aplicación más lenta de la presión, mayor eficiencia, mayor costo inicial

## Prensas

- Se caracterizan porque la deformación del material es homogénea, así como por una mayor precisión y calidad de las piezas producidas.
- Aun cuando la velocidad de aplicación de la carga es menor, su productividad es mayor
- La principal desventaja al compararlas con los martillos es su elevado costo inicial.
- Las prensas para forja incorporan una corredera que se mueve en dirección vertical para ejercer la presión sobre la pieza de trabajo
- En general, todas las prensas pueden producir todos los tipos de forja producidos por los martillos.

## Prensas

- ***Prensa Hidráulica.*** La corredera de una prensa hidráulica es manejada por pistones. Seguido a una aproximación rápida la corredera se mueve con una velocidad baja realizando la compresión de la pieza de trabajo, que se retiene en la matriz inferior.
- La velocidad de compresión puede ser exactamente controlada así, permitiendo también el control de la velocidad del flujo del metal. Esta característica es particularmente ventajosa ya que produce forjas con tolerancias cerradas.
- Las capacidades de las prensas hidráulicas están entre 300 y 60,000 toneladas.

**Fig. 6.16** (a) Prensa para forja abierta con capacidad de 4000 ton. Figura (b) Prensa hidráulica para forja en estampa con capacidad de 2000 ton.



## **Ventajas de las Prensas Hidráulicas**

- La presión puede ser modificada, en cualquier punto de la carrera, de acuerdo con las necesidades del proceso.
- El porcentaje de deformación puede ser controlado al igual que la variación uniforme durante la carrera, si se requiere

## **Desventajas de las Prensas Hidráulicas**

- El costo inicial de la prensa hidráulica es más alto que el de la prensa mecánica de equivalente capacidad.
- La acción de la prensa hidráulica comparada con la mecánica es más lenta.
- La menor velocidad de accionamiento de la prensa hidráulica trae como consecuencia la disminución de la vida de la matriz debido al calentamiento de ésta.

**Fig. 6.19** Diferentes matrices para forja de acero.

