

LAMINACIÓN



CONTENIDO

- Definición y Clasificación de los Procesos de Laminación
- Equipos y sus Características Técnicas
- Variables Principales del Proceso
- Métodos Operativos (Equipos requeridos)
- Ventajas y Desventajas frente a Otros Procesos
- Defectos en Productos Laminados
- Ejemplos Industriales de Aplicación.

LAMINACIÓN

El laminado es un proceso de deformación en el cual el metal pasa entre dos rodillos y se comprime mediante fuerzas de compresión ejercidas por los rodillos. Los rodillos giran, como se ilustra en la figura 1, para jalar el material y simultáneamente apretarlo entre ellos.

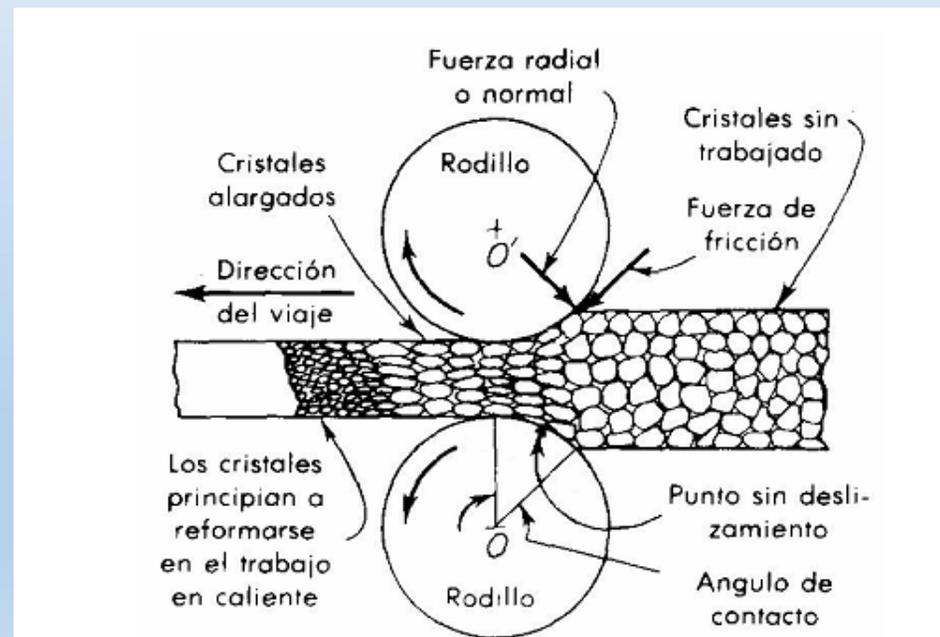
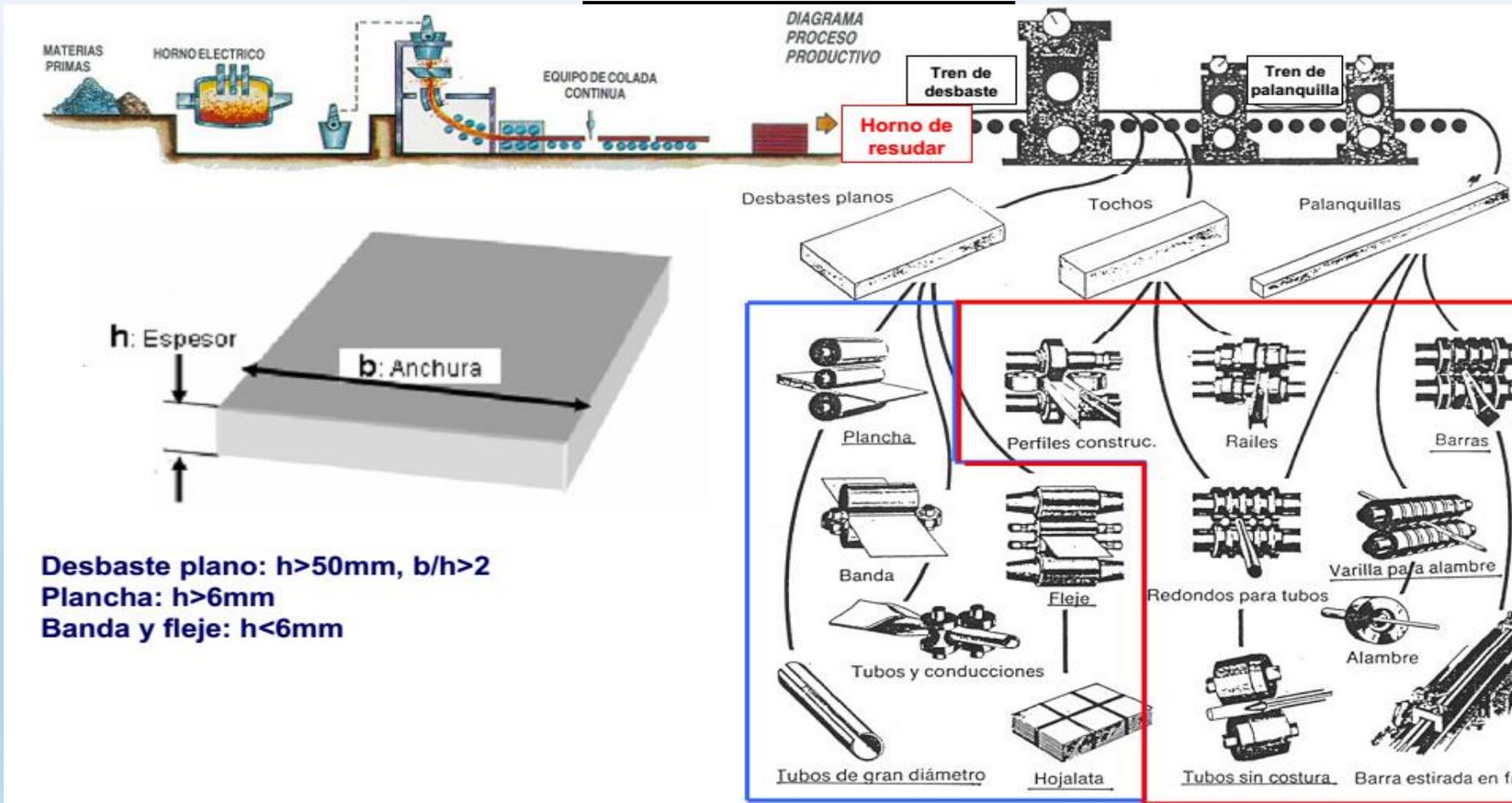


Figura 1. Proceso de laminación, específicamente laminado plano.

LAMINACIÓN



LAMINACIÓN

Laminado de Perfiles

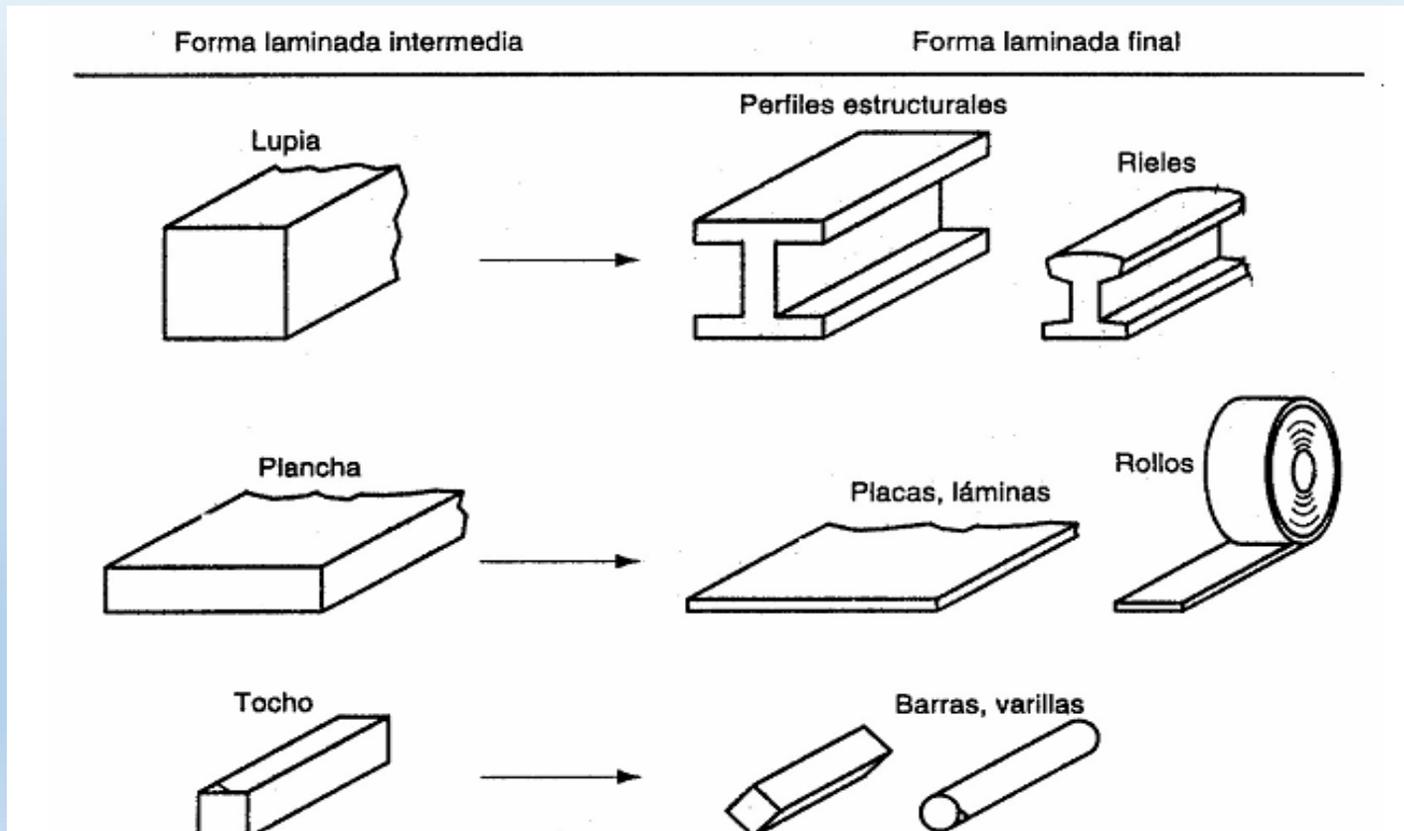


Figura 2. Algunos productos de acero hechos en molino de laminación.

LAMINACIÓN

LAMINACIÓN: primer paso en la transformación de productos metálicos.

PRODUCTOS LAMINADOS:

- Productos semi-acabados que sirven de materia prima a otros procesos.
- Productos acabados: perfiles de construcción, railes, tubos,...

GRANDES INSTALACIONES que se amortizan mediante producción masiva de productos normalizados. Las instalaciones de laminación ocupan mucha superficie en planta y su producción puede superar las 800.000Tm/año.

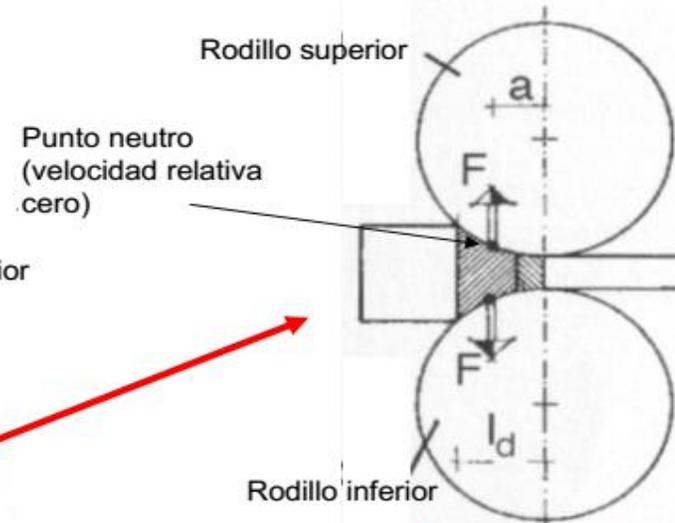
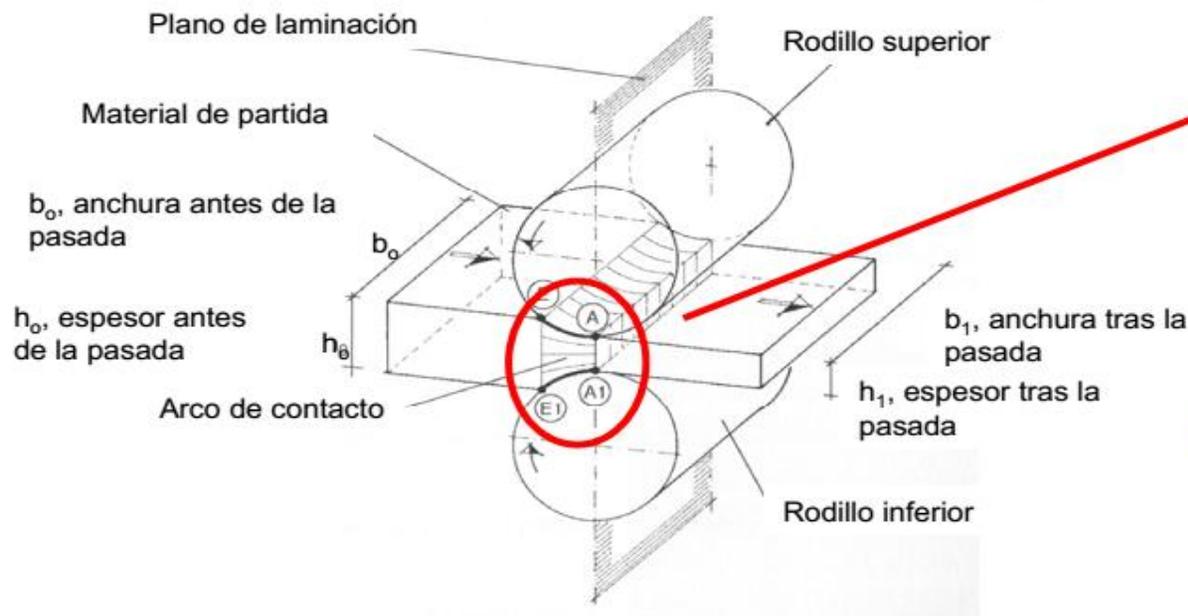


LAMINACIÓN

REDUCCIÓN:

$$\Delta h = h_0 - h_1$$

La reducción aumenta al aumentar el ROZAMIENTO, pero para un cierto valor del coeficiente de rozamiento hay una reducción máxima que no se puede superar.



$$F = K_m \cdot l_d \cdot b_m$$

donde:

K_m es un coef. función de la resistencia del material a la deformación

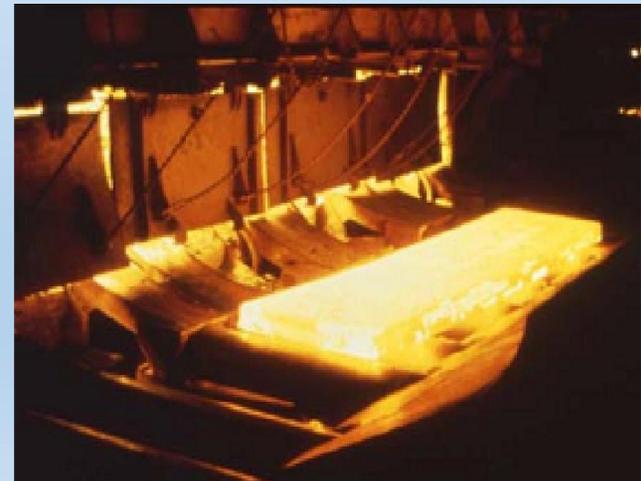
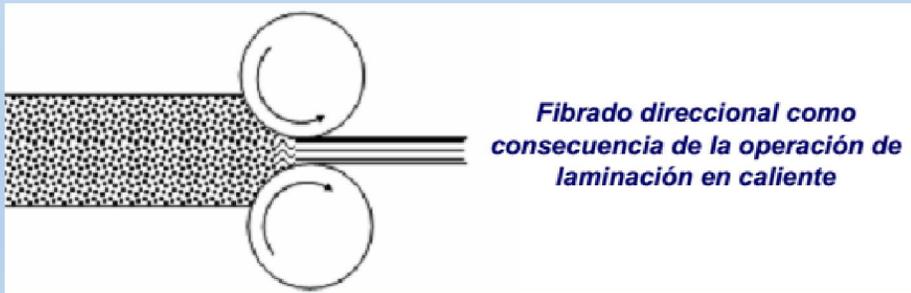
b_m es un valor medio de la anchura durante el proceso
 l_d es la longitud de contacto

LAMINACIÓN

La mayor parte de operaciones de laminación se lleva a cabo en CALIENTE:

- Temperatura superior a la de recristalización.
- Reorientación de grano: fibrado en la dirección de laminación, anisotropía direccional.
- Rugosidad entre 12 y 25 μm (Ra)

Cuando se buscan tolerancias y acabados (incluso por debajo de 3 μm Ra) se llevan a cabo pasadas en frío.

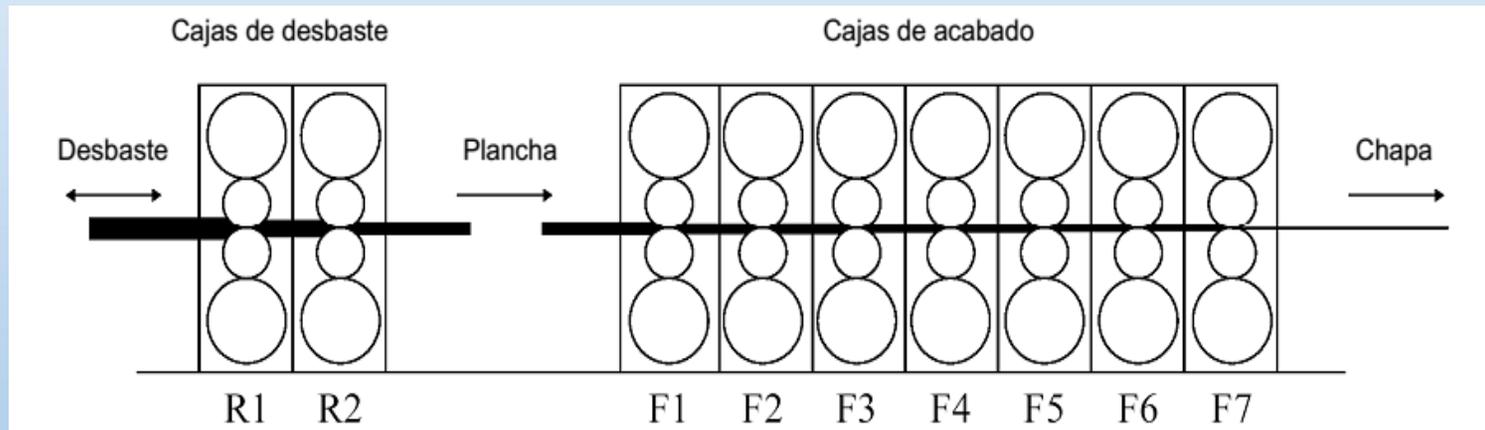


LAMINACIÓN

Para la obtención de un producto laminado se necesitan varias operaciones en las que se va reduciendo el espesor paso a paso.

EJEMPLO:

- Se parte de desbaste plano de 200mm de espesor y se reduce el espesor hasta 35mm con dos bastidores (cilindros de desbaste).
- Reducción hasta chapa de 2mm de espesor usando 7 bastidores.

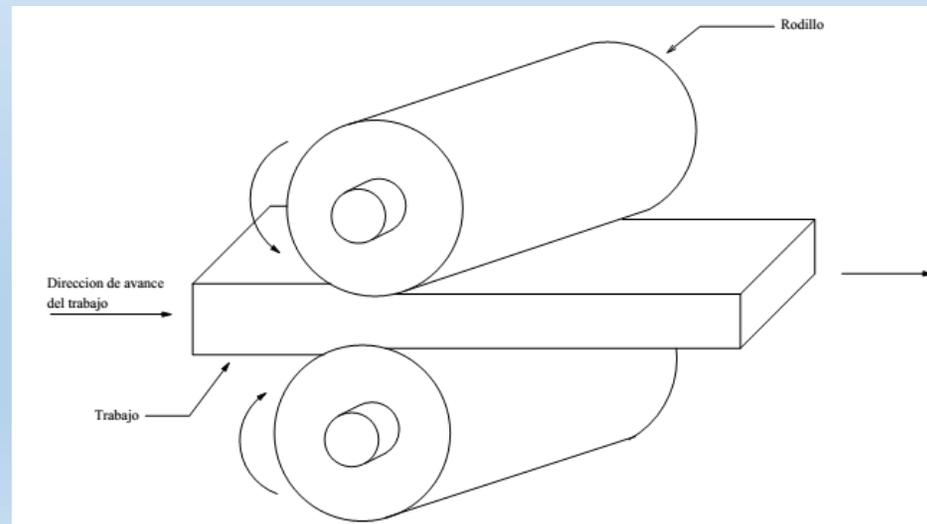


Los cilindros se agrupan en CAJAS o BASTIDORES. El conjunto de cajas forma el TREN DE LAMINACIÓN. Existen diferentes configuraciones de bastidores (dos, tres, cuatro o más rodillos).

Los cilindros suelen ser de acero forjado (normalmente) o de fundición de hierro.

LAMINACIÓN

La laminación es un proceso de conformado por deformación plástica en el que el material fluye de modo continuo y en una dirección preferente mediante fuerzas de compresión, ejercidas al pasar el metal entre cilindros, y de cizallamiento, originadas por el rozamiento entre los cilindros y el metal. Esencialmente la laminación consiste en hacer pasar un metal entre dos rodillos separados por un hueco algo menor que el grueso del metal entrante, y que rotan en sentido contrario.



Laminación (Rolling)

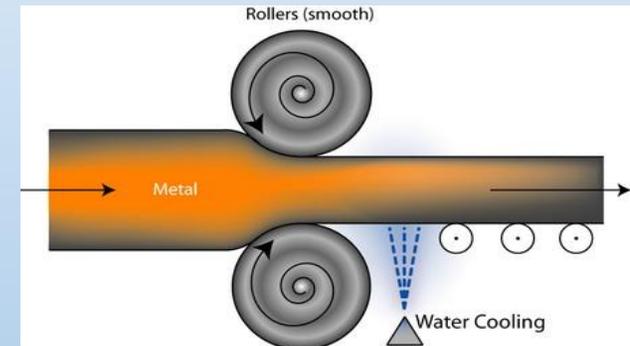
Parámetros de Laminación.

1. Resistencia del material a la deformación plástica, que es función de la temperatura y las velocidad de deformación.

2. Fricción

3. Diámetro del rodillo.

4. Presencia de un frente de tensión en el plano de la chapa.



LAMINACIÓN

DEFORMACIONES PRODUCIDAS EN LA LAMINACIÓN

Al pasar un tocho entre los dos cilindros se producen diferentes tipos de deformaciones:

- *Ensanchamiento* : el material apenas se ensancha
- *Dilatación a la salida* : al dejar de aplicar la presión tras salir el material de los cilindros, aumenta su espesor o altura ligeramente como consecuencia de la elasticidad del material
- *Alargamiento-aceleración* : al disminuir el espesor y aumentar muy poco su anchura la velocidad de avance del material a la salida es superior a la velocidad de entrada

LAMINACIÓN

Laminación en Caliente

Un efecto del trabajo en caliente con la operación de laminado, es el refinamiento del grano causado por recristalización.

(Procesando lupias, tochos y planchas en placas, láminas, barras, formas estructurales u hojalata.)

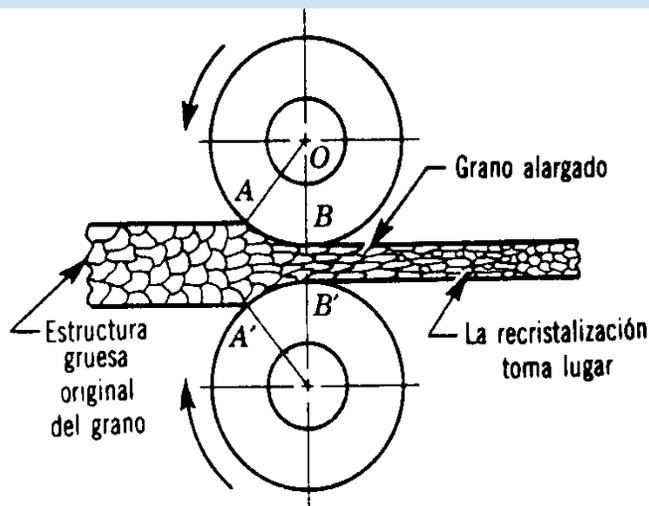


Figura 2 Efecto del rolado en caliente sobre la estructura del grano.

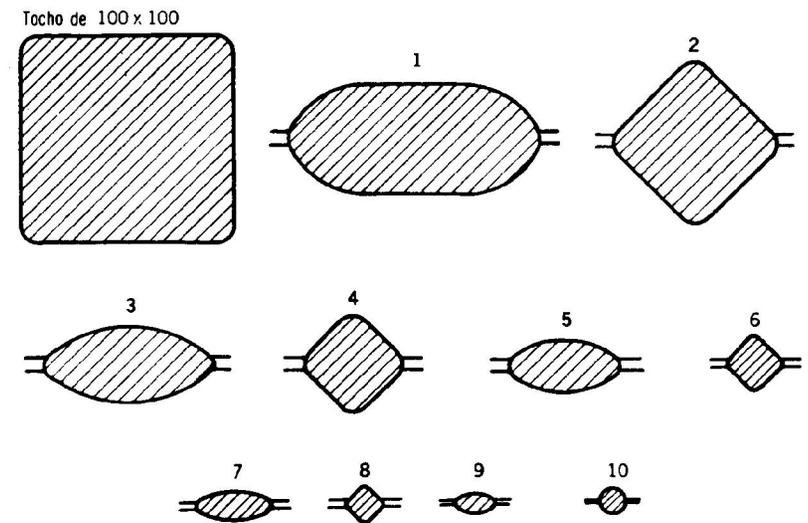


Figura 4 El diagrama ilustra el número de pasadas y secuencia de reducción de la sección transversal de un tocho de 100 x 100 mm hasta ser una barra redonda.

LAMINACIÓN

LAMINACIÓN EN CALIENTE

La laminación en caliente se aplica a la conformación inicial de grandes lingotes (actualmente también se parte del producto de la fundición continua), en los que las considerables deformaciones que sufren solo son posibles con el concurso de energías mecánica y térmica simultáneamente y para altos volúmenes de producción. Los productos más comunes son placas, barras, varillas, perfiles estructurales, etc.

Los productos laminados en caliente presentan superficies ligeramente rugosas cubiertas de óxido conocido como cascarilla o calamina. Las tolerancias dimensionales se sitúan entre el 2 y 5 %.

LAMINACIÓN

LAMINACIÓN EN CALIENTE

Hay dos etapas en la laminación en caliente:

(1ª) Calentamiento y laminación desbastadora de los lingotes y petacas obtenidos en la colada en lingotera para transformarlos en blooms (palanquillas) o slabs (planchones).

(2ª) Nuevo calentamiento seguido de laminación forjadora y acabadora de los blooms y slabs obtenidos en el paso anterior o en máquina de colada continua para obtener, respectivamente, largos o planos.

En la laminación en caliente se aprovecha la ductilidad del acero, es decir, su capacidad de deformación que es mucho mayor cuanto más elevada sea su temperatura.

LAMINACIÓN

Productos Laminados

Denominación y sección de los semimanufacturados (acero).					
Semi-manufacturados	Cantos	Sección	Anchura mm	Espesor mm	Producto de partida para:
 Lingotes desbastados (desbastes)	redondeados	Cuadrada	Mín. 130	Mín. 130	Palanquilla, llantón, acero en barra, fleje estrecho de acero, alambre laminado, chapas y materiales para forja.
		Rectangular	menor de 1,5 x espesor	Mín. 130	
 Palanquilla	redondeados	Cuadrada	50 a 130	50 a 150	Acero en barra, alambre laminado, perfiles especiales y materiales para forja.
		Rectangular	50 hasta menos de 115	Mín. 30	
 Desbastes planos	redondeados	Rectangular	Mín. 115	Mín. 75	Acero universal o fleje ancho, fleje estrecho de acero, chapas y materiales para forja.
 Llantones	abombamiento por la cara estrecha	Rectangular	Mín. 150	5 hasta menos de 75	Chapas y materiales para forja.
 Fleje ancho	Redondeados	Rectangular	45 a 150	15 hasta menos de 75	Acero en barra, alambre laminado, perfiles especiales y materiales para forja.

LAMINACIÓN

LAMINACIÓN EN FRIO



La laminación en frío se aplica en el caso de producirse deformaciones con un pequeño campo de tolerancias (mayores precisiones dimensionales), cuando se desean obtener en el material características propias de estos tratamientos (mejores propiedades mecánicas), así como conseguir un acabado superficial más fino. Ejemplos son laminas, largueros, varillas, etc.

- La laminación en frío produce superficies lisas y mejores tolerancias dimensionales (entre 0,5 y 1 %).
- Tiene un acabado brillante y bastante exacto.
- Mejora la resistencia, la maquinabilidad.

El endurecimiento por deformación plástica en frío es el fenómeno por medio del cual un metal dúctil se vuelve más duro y resistente a medida es deformado plásticamente. La resistencia del material aumenta al aumentar el porcentaje de trabajo en frío, sin embargo la ductilidad del material disminuye.

LAMINACIÓN

Proceso de Laminado en Frío

- Por lo general la fabricación se realiza en 5 pasos
- El **decapado**, realizado en marcha “continua” en una línea que comprende un proceso de “limpieza” y baños con ácido sulfúrico diluido.
- El **laminado** también realizado en forma continua utilizando un rollo, llamado bobina, con varias toneladas de peso, con un ancho que varía generalmente entre 680 mm y 1000 y un espesor menor que 3 mm.
- El **desengrasado** de la banda o cinta metálica ya reducida al espesor definitivo por laminación, utilizando silicato de soda activado por electrolisis.
- El **recocido**, provocado en hornos continuos calentados a gas o fuel-oil en una atmósfera neutra para evitar una oxidación provocada por la llama directa.
- El **endurecimiento**, temple superficial que le confiere una serie de propiedades del orden mecánico que se aprecia por un ensayo de dureza superficial.
- Un laminador para laminar en frío comprende:
 - Una rampa para ubicar en lugar a la bobina.
 - Dispositivos de apoyo en la bobina, la cual debe girar sobre si misma durante la primera pasada.
 - Dispositivo de arrastre formada por tres rodillos de pequeño diámetro paralelos.

LAMINACIÓN

Características de la Laminación en Frío

- Endurecimiento durante la deformación.
- Excelentes tolerancias dimensionales y acabados superficiales.
- Método de bajo costo para la producción de piezas pequeñas.
- Ductilidad, conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión se reducen mediante los procesos de laminación en frío.
- Puede generarse comportamiento anisotrópico y esfuerzos residuales.

Tolerancias

Placas laminadas a frío: (+/-) 0.1mm – 0.35mm

- Planicidad: +/- 15m/mm a frío
- Rugosidad Superficial
Excelente acabado

Para producir mayores deformaciones en un material conformado en frío es necesario realizar ciclos de trabajo en frío-recocido.

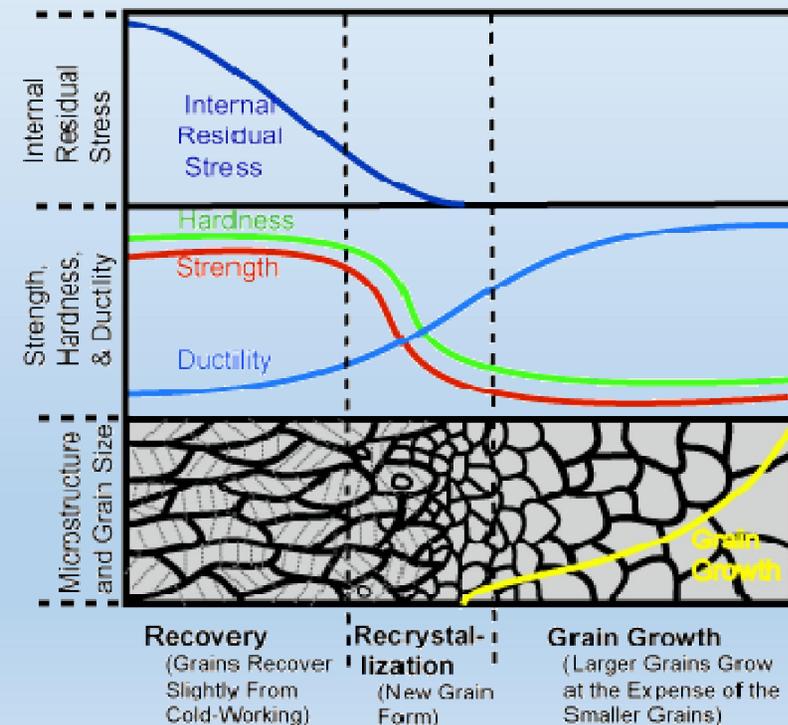
Laminación

Tratamiento Térmico de RECOCIDO

- Ciclo de calentamiento hasta una temperatura previamente definida en la que se mantiene por un determinado tiempo el material y luego se enfría lentamente.

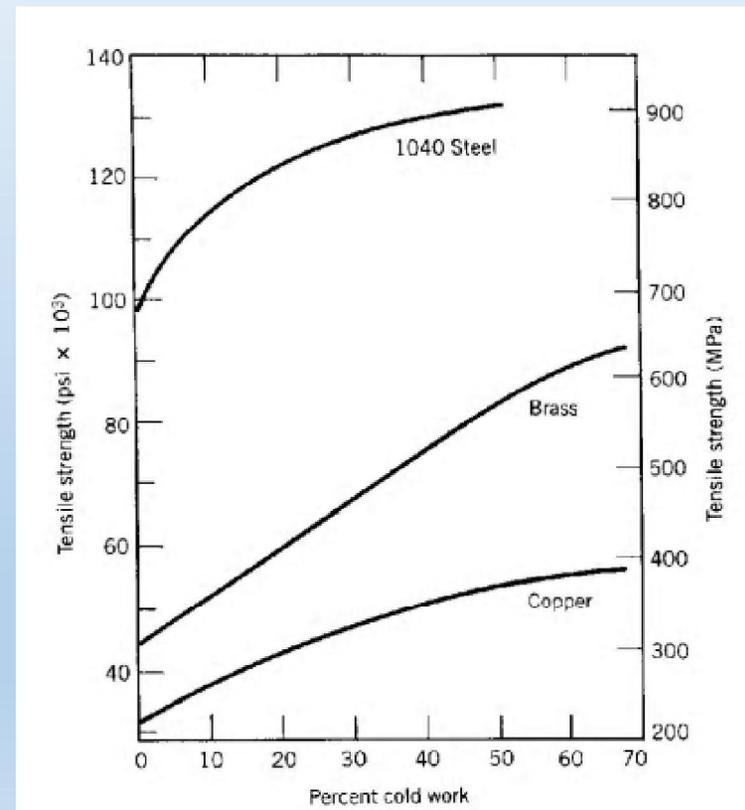
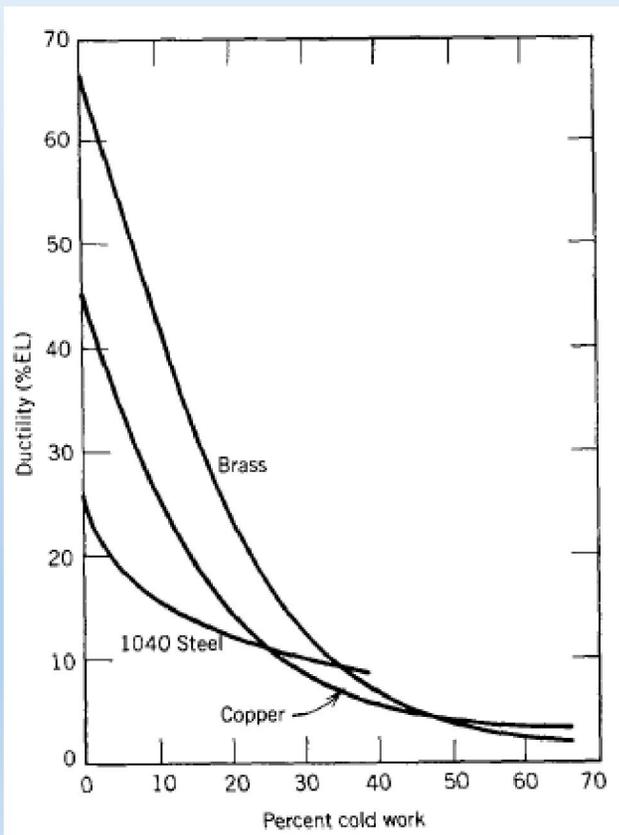
- Etapas:

- Recuperación
- Recristalización y
- Crecimiento de grano.



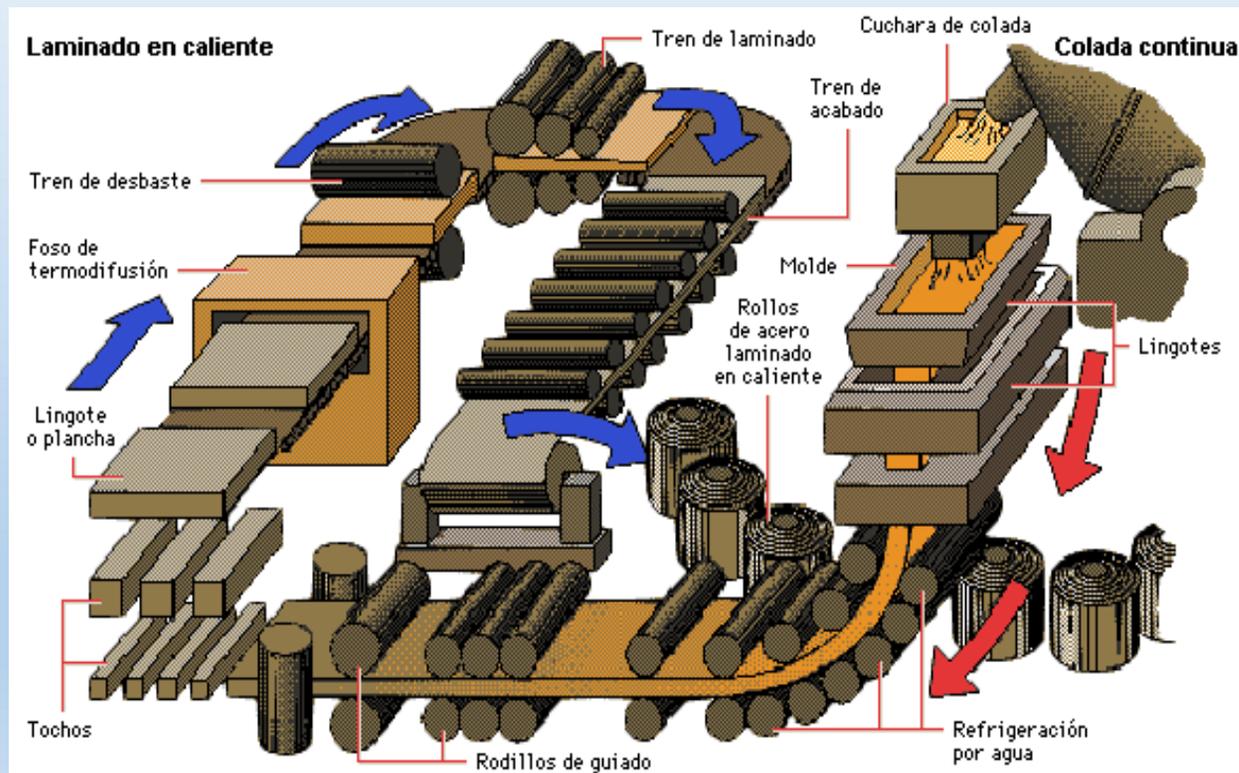
LAMINACIÓN

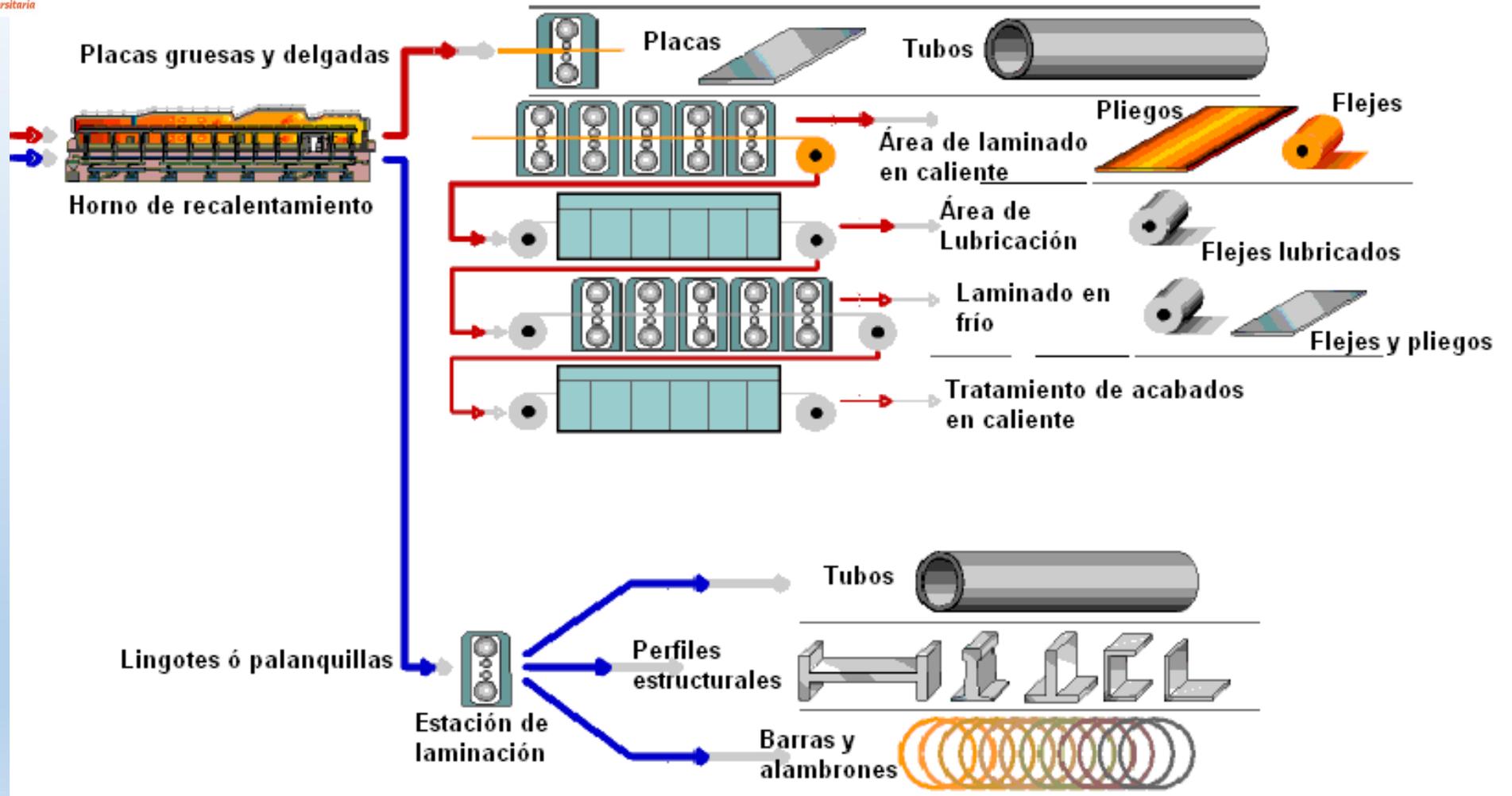
Laminación en Frio



LAMINACIÓN

Laminación en Caliente

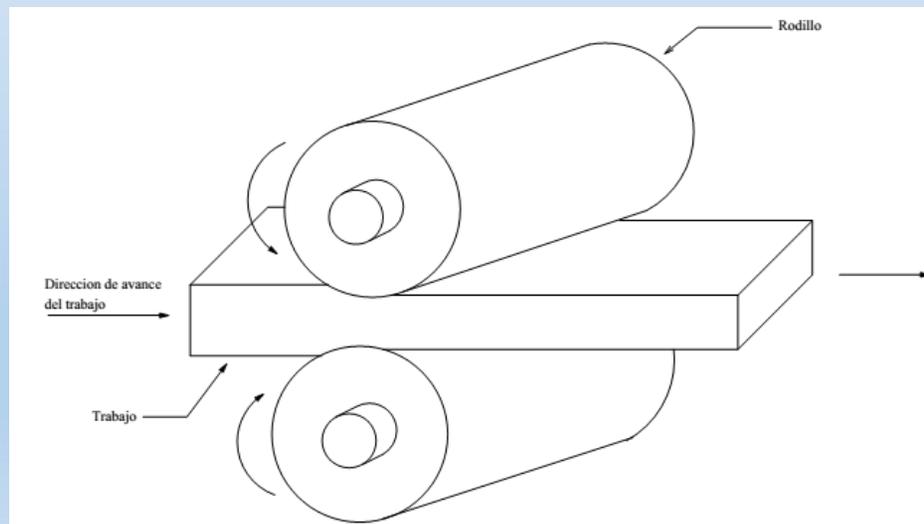




LAMINACIÓN

Tipos de Laminado

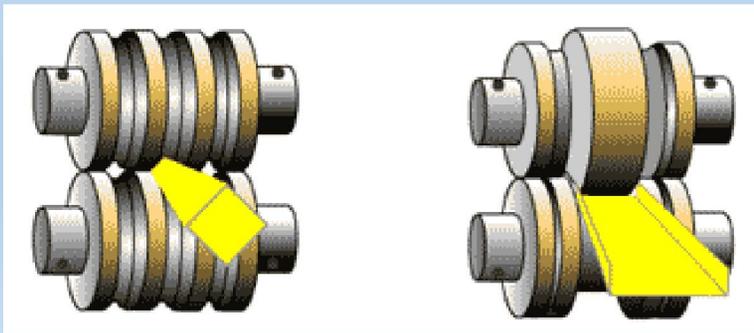
Laminado Plano: Involucra el laminado de planchas, tiras, láminas y placas, piezas de trabajo de sección transversal rectangular con un ancho mayor que el espesor.



LAMINACIÓN

Tipos de Laminado

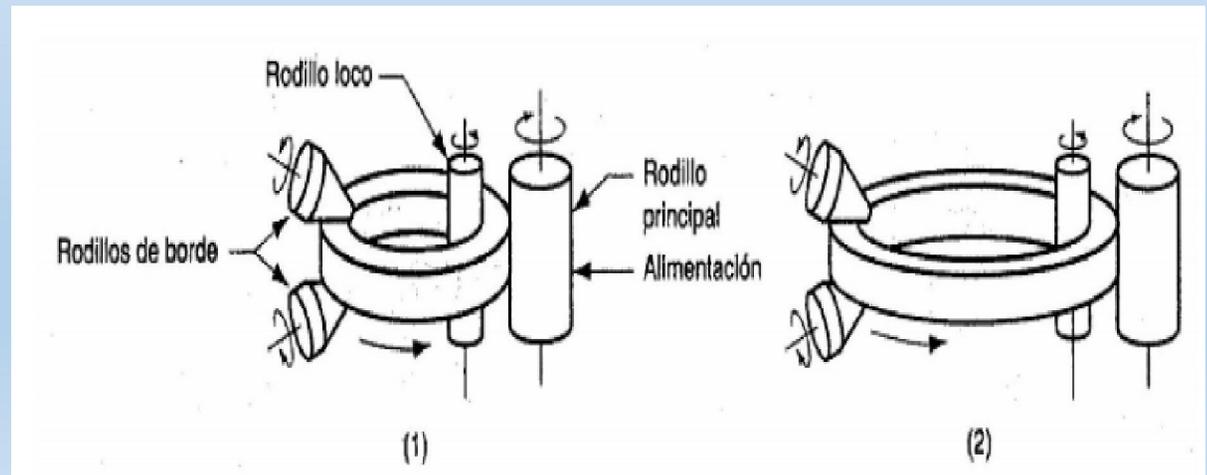
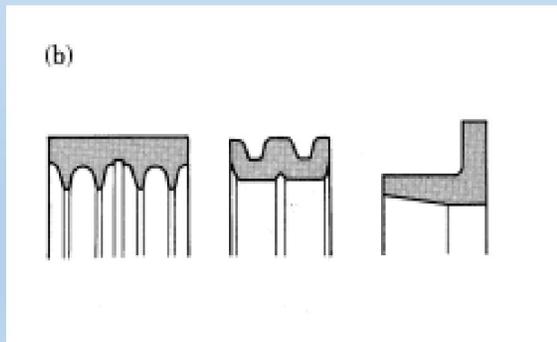
Laminado de Barras y Perfiles. En el laminado de perfiles, el material de trabajo se deforma para generar un contorno en la sección transversal, es decir, donde la sección transversal del material es reducida en dos direcciones. Los productos hechos por este procedimiento incluyen perfiles de construcción como vigas en I, en L o canales en U; rieles para vías de ferrocarril y barras redondas y cuadradas, así como varillas. El proceso se realiza pasando el material de trabajo a través de rodillos que tienen impreso el reverso de la forma deseada.



LAMINACIÓN

Tipos de Laminado

Laminado de Anillos. Lamina las paredes gruesas de un anillo para obtener anillos de paredes más delgadas pero de un diámetro mayor. Ejemplos: Collares para rodamientos de bolas y rodillos, llantas de acero para ruedas de ferrocarril y cinchos para tubos, recipientes a presión y máquinas rotatorias.



LAMINACIÓN

Tipos de Laminado

Laminado de Roscas o Cuerdas. Se usa para formar roscas en piezas cilíndricas mediante su laminación entre dos matrices. Es un proceso de conformado en frío. Ejemplos: pernos, tornillos, etc.

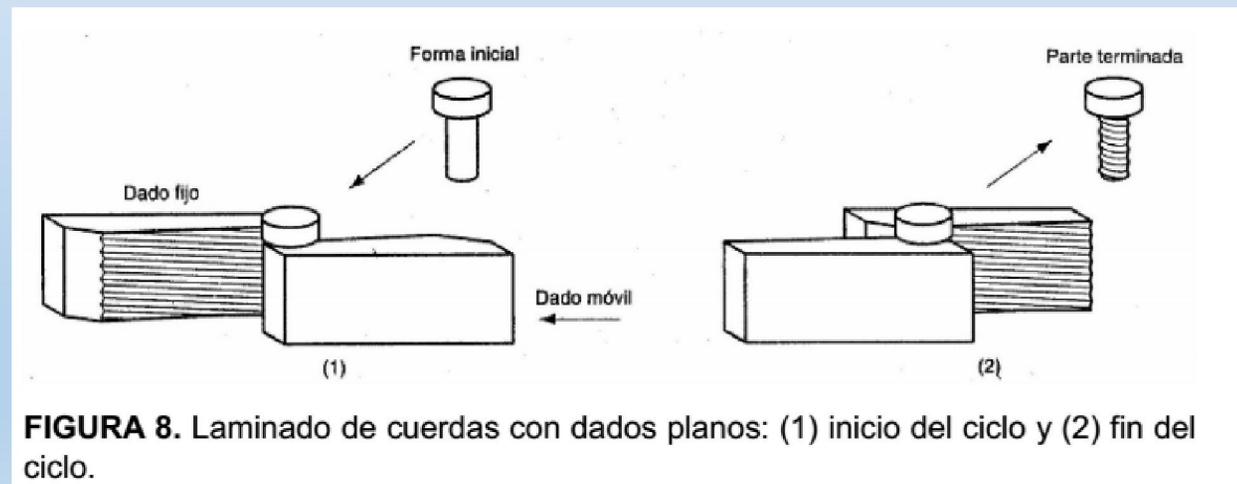
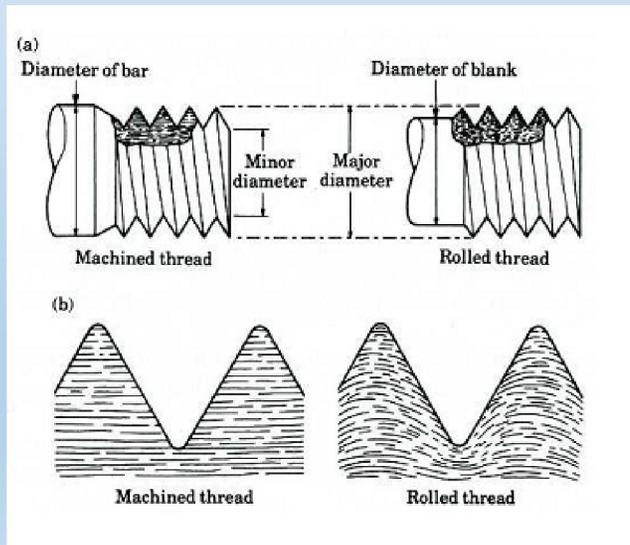


FIGURA 8. Laminado de cuerdas con dados planos: (1) inicio del ciclo y (2) fin del ciclo.

LAMINACIÓN

Tipos de Laminado

Laminado de Engranajes. Es un proceso de conformado en frío muy usado en la industria automotriz y donde se producen ciertos engranajes.

Laminación de Tubos:

- **Laminación de Tubos sin Costura (Perforado)**
- **Laminación de Tubos.** Este proceso permite obtener tubos de diferentes diámetros mediante la reducción del diámetro de un tubo de partida.
- **Laminación de Tubos con Costura.** Este proceso consiste en obtener tubos a partir de una chapa que es curvada por la acción de unos rodillos con la forma apropiada.

LAMINACIÓN

Tipos de Laminado

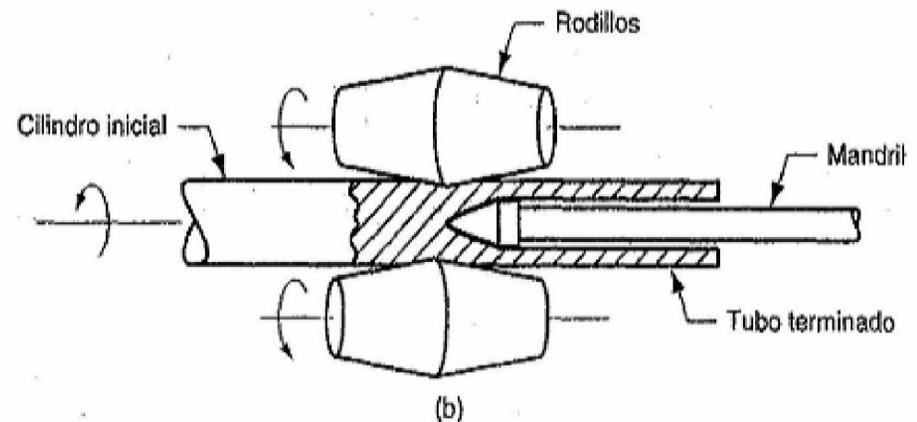
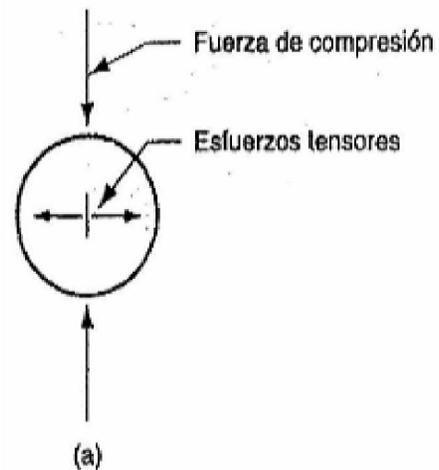
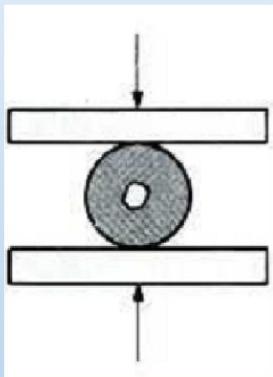
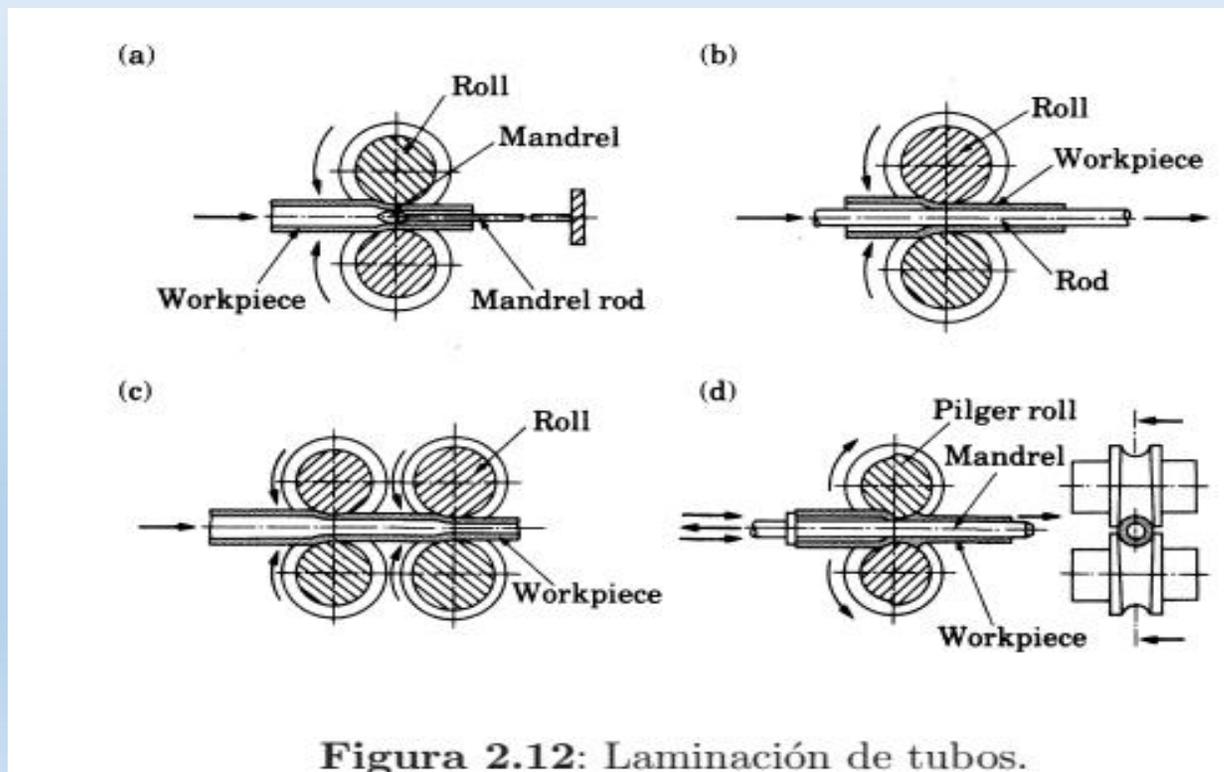


FIGURA 9. Perforación de rodillos: (a) formación de esfuerzos internos y de la cavidad por compresión de la parte cilíndrica y (b) disposición del molino de laminación Mannesmann para producir tubo sin costura.

LAMINACIÓN

Tipos de Laminado

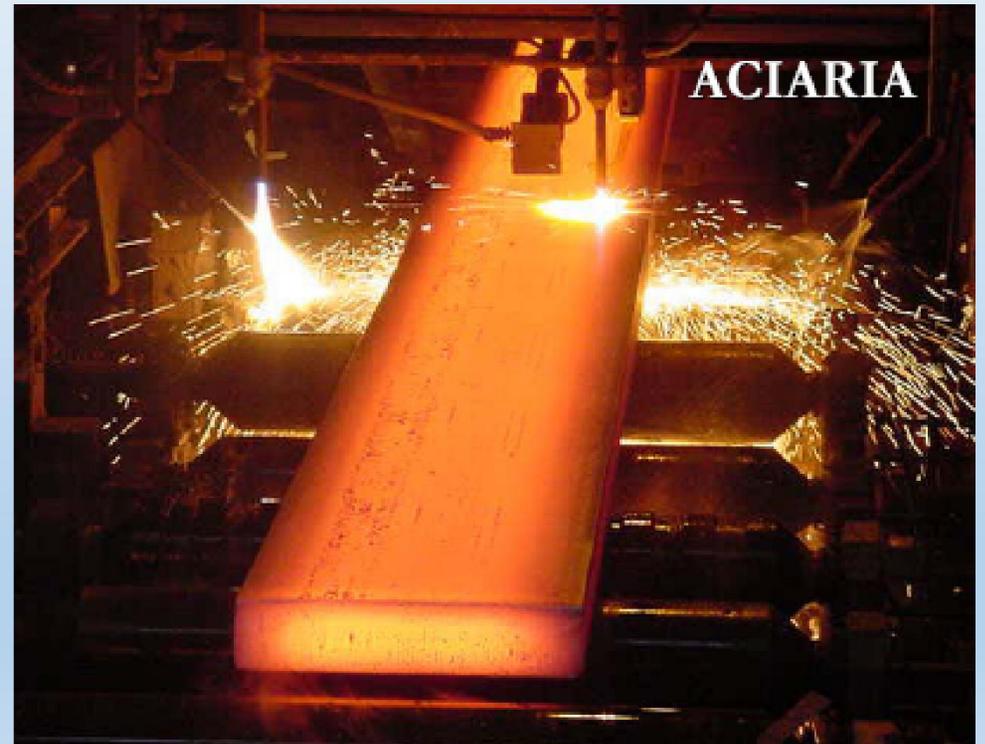


Laminación

Características de la Laminación en Caliente

- No se produce endurecimiento durante la deformación (la cantidad de deformación plástica es casi ilimitada).
- Algunos defectos de fundición en el material, pueden ser eliminados o minimizados sus efectos (porosidad, heterogeneidades químicas).
- Los acabados superficiales son de menor calidad con respecto a la laminación en frío debido a la oxidación superficial (depende del material).
- La precisión dimensional es menor que en el proceso en frío debido a que el metal se contrae durante el enfriamiento.
- Para laminado a caliente las tolerancias son mucho mayores:
 - Planicidad: +/- 35 mm/mm en caliente
 - Laminado a caliente tiene valores de rugosidad a los obtenidos en fundición en arena

LAMINACIÓN

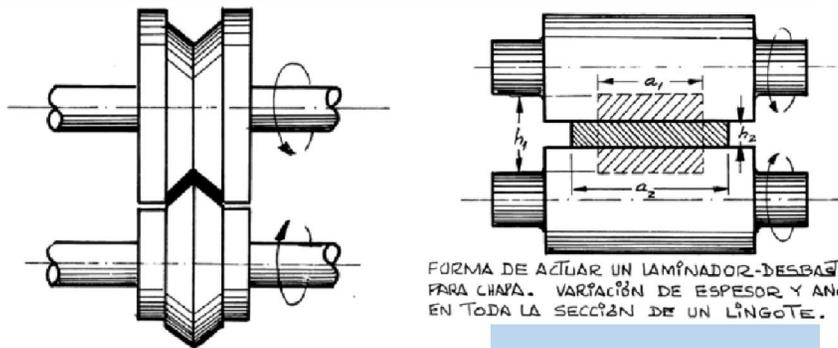


LAMINACIÓN

CAJA DE LAMINACIÓN (CHASIS + CILINDROS)

Cilindros.

Los cilindros para laminar planos son de tabla lisa, mientras que los destinados a obtener otras formas son perfilados.



CILINDROS PARA PERFILES ANGULARES

Figura 3 Cilindros de laminación.

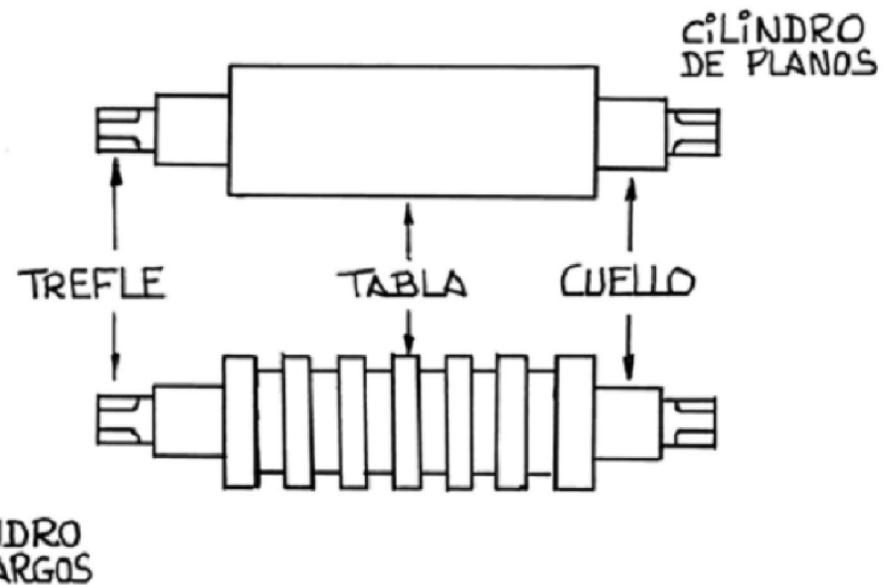


Figura 4 Partes de un cilindro.

Tabla 1: Materiales utilizados en cilindros de trenes de laminación

Material	Utilizado desde	C (%)	Si (%)	Σ (Cr, Mn, Mo, Ni, Co) (%)	Σ (V, W, Ti, Nb) (%)	Carburos (%)	Grafito (%)	Dureza de la tabla (HV)	Forjado (F), Colado (C)	Monocolada (M) Colada compuesta (C)	Peso en el mercado/consumo (de 0 a 10, máximo: 10)	
Cerámicos	2000	---	Si ₃ N ₄	---	---	---	---	2200	Otros	Camisas	?	¿Diámetro máximo?
Carburo sinterizado	1970	8-15	---	5-15 (Co)	70-90	70-900	---	1300-1800	Otros	Camisas	2-5	Diámetro máximo: 450
Antiguos grados de fundición grs (ligeramente duro/semi-duro)	1850	---	1-3	<3	---	5-15	✓	250-450	C	M	0	Productos largos
Fundición modular	1960	---	---	3-6	---	---	✓	280-500	C	M	3-4	Productos largos
Fundición con alto contenido en cromo	1965	2-4	---	14-22	<0,5 ?	20-30	---	500-700	C (y otros)	C (M)	8-9	Cilindros de trabajo en trenes de lam. en caliente
ICDP, carburo mejorado	1995	---	---	6-9	1-4	30-40	✓	600-700	C	C	7-8 (10)	Cilindros de trabajo en trenes de lam. en caliente, trenes de chapa, ST
ICDP	1930	---	---	---	---	30-40	✓	600-900	C	C	?	Trenes de chapa (prácticamente obsolentos), camisas de pequeño diámetro
GHM ("Carburo fundido")	2000	---	0,4-1,0	2-10	30	40-50	---	500-650	C	M	1	
CC (Fundición templada)	1870	---	0,8-2,0	---	<0,5 ?	---	✓	300-450	C (F)	M (C)	2-3	Trenes de perfiles pesados, desbastadores en TBC, pr. largos
Fundición de acero gráfico	1950	---	---	2-5	---	5-15	✓	---	---	---	---	
Acero alto en cromo	1980	1-22	0,8-2,0	8-12	?	10-20	✓	500-700	C	C	4-7	Cilindros de trabajo en TBC, desbastadores, F1, F2
HSS (acero rápido)	1990	---	0,4-0,8	<6	8-15	3-5	---	600-750	C, F, otros	C (M)	?	Cilindros de trabajo en TBC, productos largos, trenes de alambres
Adamite (acero hipereutectoide)	1920	---	---	<4	<0,5	6-15	---	300-450	C (F)	M	4	Productos largos
Semi-HSS	1995	---	---	5-8	5-10	2-5	---	500-700	C (F)	C	3	Desbastadores en TBC, F1, F2, ? Rompedora, ? Universal
Acero hipoeutectoide	1870	0,4-1,0	0,3-1,0	1-6	<0,5	0-2	---	180-700	E/C	M/C	10	Cil. trabajo, GSM: cilindros de apoyo para TBC/CSM; cajas rompedoras, ...

CILINDROS DE TRABAJO PARA TRENES DE LAMINACIÓN EN CALIENTE (BANDA Y CHAAPA)
 CILINDROS PARA PRODUCTOS LARGOS
 MATERIALES NUEVOS DESARROLLADOS RECIENTEMENTE

LAMINACIÓN

Ejemplo de Fallas de Cilindros

(R. Rotura, Buen Acabado Superficial, R. Desgaste, R. Agrietamiento en Caliente, R. Oxidación) R: Resistencia

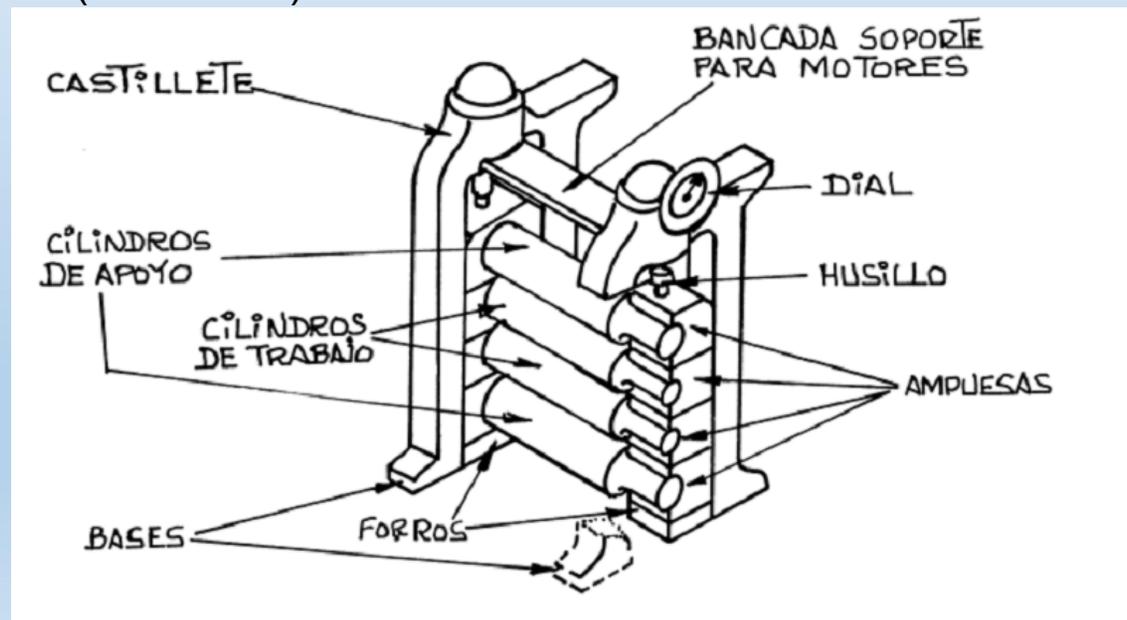


LAMINACIÓN

CAJA DE LAMINACIÓN (CHASIS + CILINDROS)

COJINETES Y AMPUESAS.

Los cojinetes son unos rodamientos que encajados entre las ampuestas sujetan el cuello de cada cilindro respectivo para permitir su giro. Las ampuestas son unas piezas desmontables con huecos en los que se alojan los rodamientos del cilindro y se encargan de mantener en posición los cilindros en su chasis (“castillete”).



LAMINACIÓN

CAJA DE LAMINACIÓN (CHASIS + CILINDROS)

Estructura Principal

Los castilletes son dos estructuras verticales en cuyas ventanas encuentran asiento y sujeción las ampuestas y los cojinetes de los cilindros. Esta formado por las zapatas, placas base o bancadas, que son unas viguetas sobre las que se fijan los castilletes. Estas zapatas deben estar firmemente fundadas.

El calibrador es un mecanismo de ajuste que permite modificar la distancia entre los cilindros y, en consecuencia, las dimensiones de salida de los productos laminados.

Sistemas de Movimiento

Son motores de accionamiento (eléctricos) que transmiten a través de las alargaderas la potencia necesaria para que los cilindros realicen la laminación.

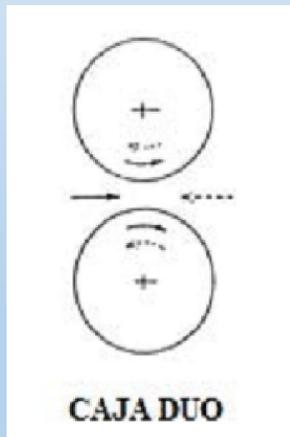
LAMINACIÓN

CAJA DE LAMINACIÓN (CHASIS + CILINDROS)

Tipos de Cajas de Laminación

Según disposición de los cilindros en cada caja, éstas se pueden dividir en:

➤ Caja Dúo: Dos cilindros



DÚO



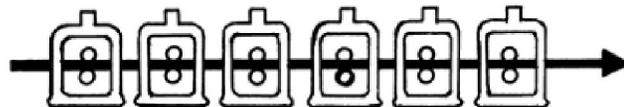
DÚO REVERSIBLE



SEMICONTINUO



CONTINUO



➤ Caja Trío: Tres cilindros

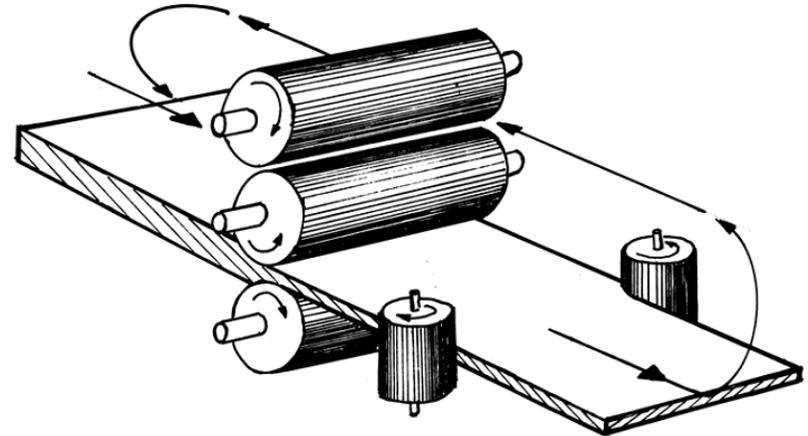


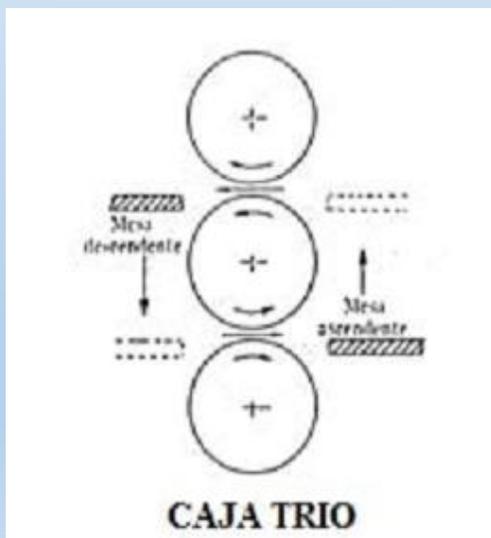
Figura 18 Caja trío con rodillos canteadores.

LAMINACIÓN

CAJA DE LAMINACIÓN (CHASIS + CILINDROS)

Tipos de Cajas de Laminación

➤ Caja trío: Tres cilindros



➤ Caja Cuatro: Dos cilindros de trabajo, y dos cilindros de apoyo

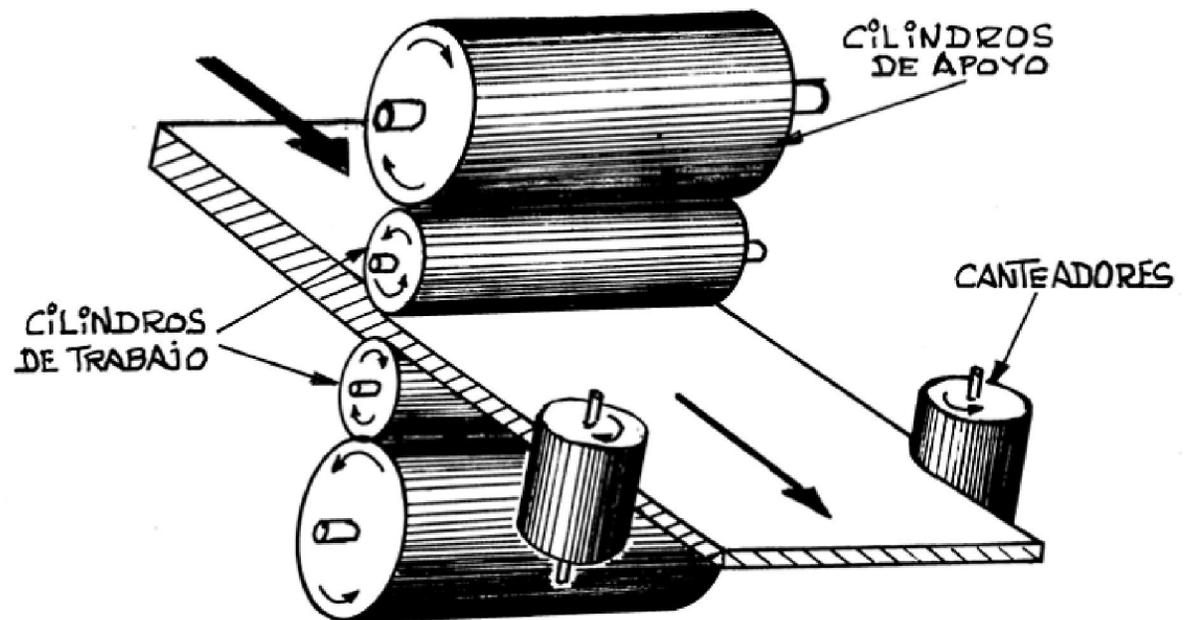


Figura 19 Caja cuarto con rodillos canteadores.

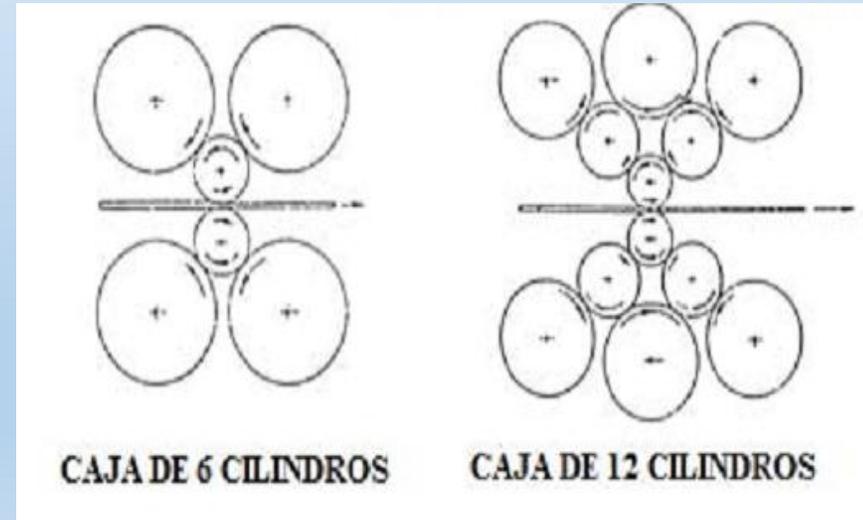
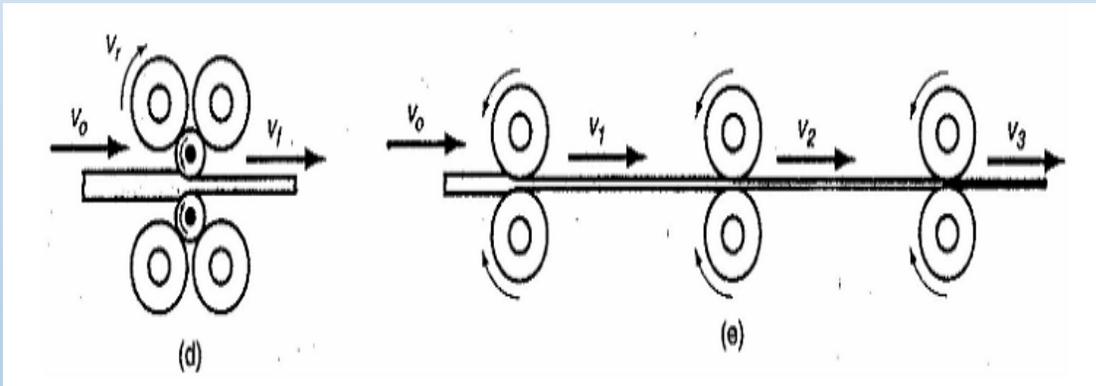
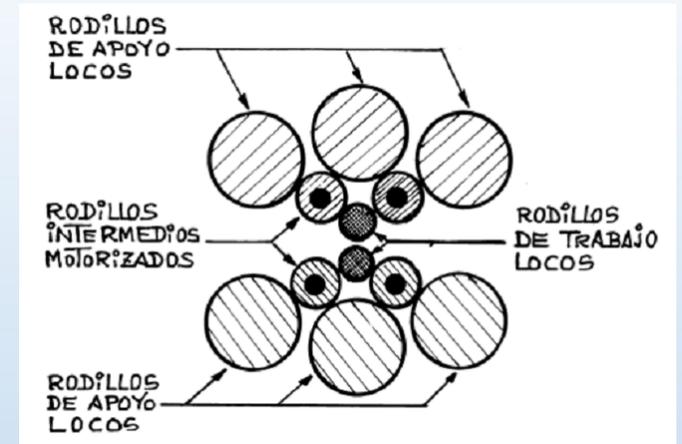
LAMINACIÓN

CAJA DE LAMINACIÓN (CHASIS + CILINDROS)

Tipos de Cajas de Laminación

Cajas Múltiples: Séxtuplo de doce cilindros

Sendzimir de veinte cilindros



LAMINACIÓN

Trenes de Laminación

Se denomina así al conjunto de cajas y elementos auxiliares como motores de accionamiento de los cilindros, caminos de rodillos comandados para entrada y salida del material, cizallas, escarpadoras, etc.

➤ Clasificación según número y disposición de cajas

En cuanto al número y disposición de cajas, los trenes de laminación pueden estar constituidos por una sola caja o ser múltiples:

- El tren más sencillo está compuesto por una caja dúo.
- Tren con cajas trío que disponen de tres cilindros y trenes donde se utilizan cajas cuarto que disponen de dos juegos de cilindros.
- Los “**trenes semicontinuos**” están compuestos por un tren continuo precedido por una caja dúo reversible o trío que actúa como desbastadora inicial
- **Trenes continuos**: producto laminado en una caja entra en la caja siguiente, donde sufre una nueva reducción. Se cumple la condición de continuidad (sección x velocidad lineal = constante).

LAMINACIÓN

Trenes de Laminación

➤ Clasificación según número y disposición de cajas

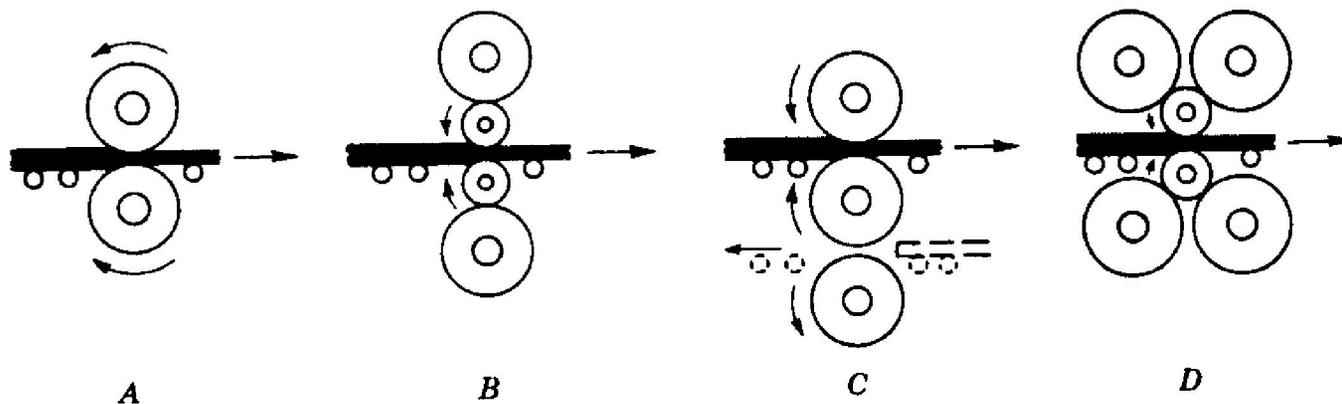
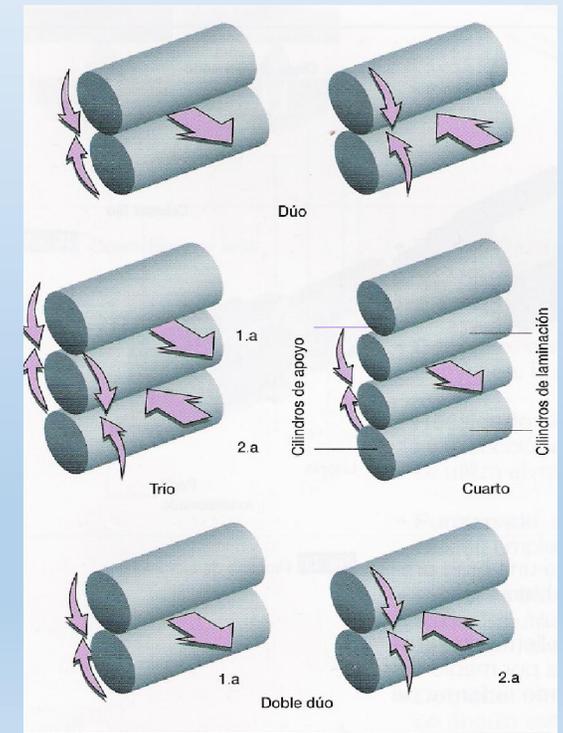


Figura 3 Diferentes disposiciones usadas en trenes de laminación. **A**, Laminador de dos rodillos, continuos o reversibles. **B**, Laminador de cuatro rodillos para láminas anchas, con rodillos de respaldo. **C**, Laminador de tres rodillos para laminado de vaivén. **D**, Laminador de conjunto usando cuatro rodillos de respaldo.



LAMINACIÓN

Trenes de Laminación

➤ Clasificación según productos inicial y final

7. TRENES DE LAMINACIÓN

Se denomina **tren de laminación** al conjunto de varios laminadores o cajas de laminación dispuestas sucesivamente para obtener un determinado perfil. Con frecuencia también se les llama así a una sola caja.

Los trenes de laminación para el acero son:

7.1. Trenes desbastadores (Blooming-Slabbing)

Se utilizan siempre para la laminación de los lingotes obtenidos por fundición, los cuales pueden ser de sección cuadrada (bloom) o de sección rectangular (slab).

El cilindro inferior es fijo, y el superior es desplazable arriba y abajo en una amplitud de hasta 2000 mm, y pueden llegar hasta las 18000 Tm.

En los Blooming modernos cada cilindro va accionado directa e independientemente por un motor de corriente continua que permite una variación de velocidad muy exacta. La potencia de estos motores puede llegar hasta los 6000 CV.

Se puede llegar a laminar petacas de hasta 1800 mm por 300 mm.

LAMINACIÓN

Trenes de Laminación

➤ Clasificación según productos inicial y final

7.2. Trenes de palanquilla

Estos trenes reciben ya un producto desbastado en los Blooming, y se encargan de reducir la sección de los tochos, pudiéndose obtener llantones comprendidos entre 10 mm y 25 mm y de anchuras entre 200 mm y 600 milímetros. Estos trenes son normalmente continuos. También se laminan los pasamanos, medios redondos, fermachine (para obtener alambre).

7.3. Trenes para fermachine

Se denomina fermachine al redondo de acero de 5 a 8 mm, especialmente preparado para la fabricación de alambre por trefilado.

El fermachine se fabrica partiendo de la palanquilla. La fermachine pasa por el desbaste, el intermedio y el acabado, tras el cual se embobina.

LAMINACIÓN

Trenes de Laminación

➤ Clasificación según productos inicial y final

7.2. Trenes de palanquilla

Estos trenes reciben ya un producto desbastado en los Blooming, y se encargan de reducir la sección de los tochos, pudiéndose obtener llantones comprendidos entre 10 mm y 25 mm y de anchuras entre 200 mm y 600 milímetros. Estos trenes son normalmente continuos. También se laminan los pasamanos, medios redondos, fermachine (para obtener alambre).

7.3. Trenes para fermachine

Se denomina fermachine al redondo de acero de 5 a 8 mm, especialmente preparado para la fabricación de alambre por trefilado.

El fermachine se fabrica partiendo de la palanquilla. La fermachine pasa por el desbaste, el intermedio y el acabado, tras el cual se embobina.

LAMINACIÓN

Trenes de Laminación

➤ Clasificación según productos inicial y final

7.4. Trenes estructurales

Se utilizan para la laminación de perfiles pesados, como angulares de 90 a 150, doble T de 200 a 500 y u de 200 a 300.

Se parte de desbastes obtenidos en el Blooming. Están formados por dos o tres cajas dúo, de desbaste, la intermedia - si existe-, y la acabadora.

7.5. Trenes comerciales

Se emplean para la fabricación de carriles y perfiles de pesos mediano y pequeño. Se parte de desbastes obtenidos en los Blooming. Utilizan de catorce a dieciocho cajas, de desbaste, preparadores y acabadores.

7.6. Trenes para chapa

Para la laminación de chapas se emplean distintos tipos de trenes :

- * *Trenes de chapa gruesa*: las petacas obtenidas en el tren desbastador se laminan en estos trenes, en general, por cajas dúo.
- * *Trenes continuos de laminación en caliente de bandas*: Los llantones procedentes de los trenes desbastadores se laminan una vez calentados a la temperatura adecuada.

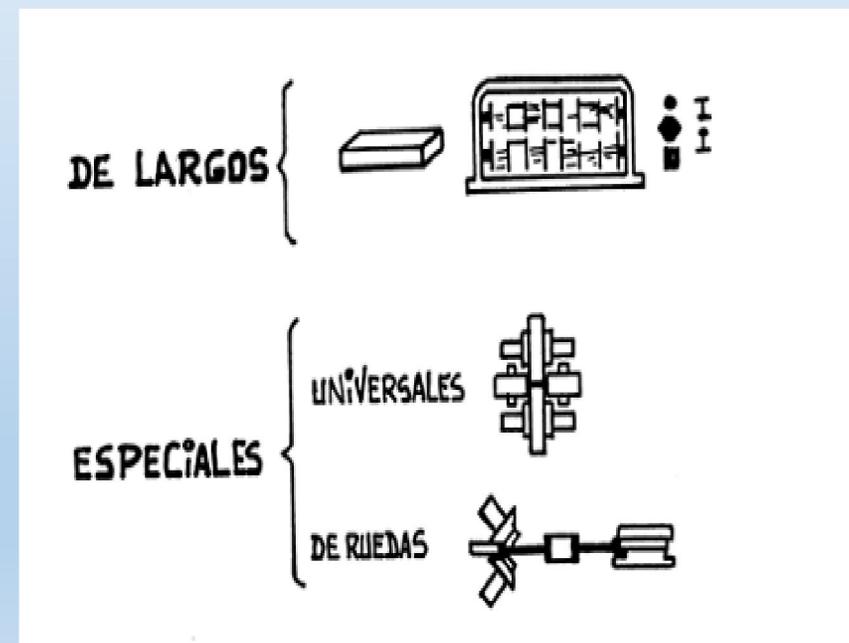
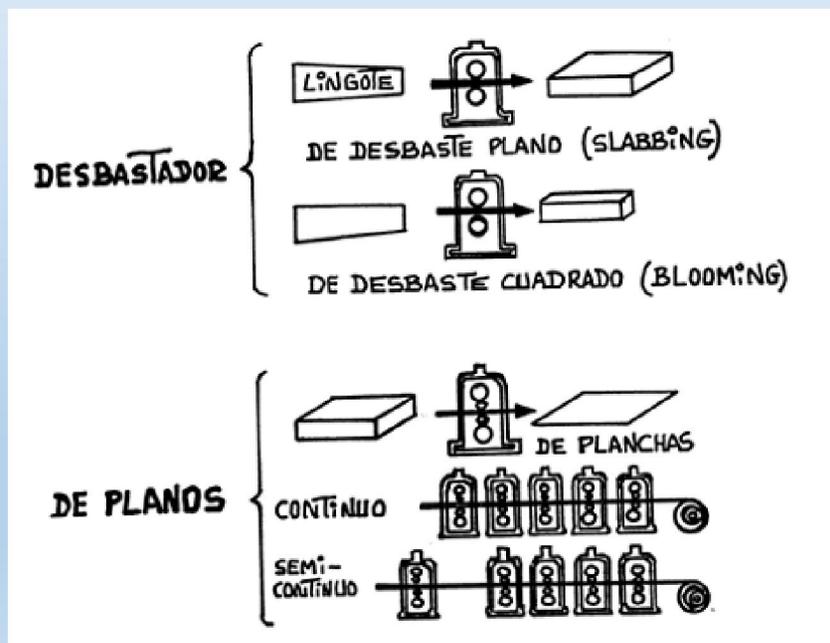
La banda de chapa es cortada en longitudes determinadas o embobinadas si su espesor es inferior a 5 mm.

Además, toda la instalación de laminación en frío debe estar provista de una fase de decapado continuo, haciendo pasar la banda por tanques con ácido sulfúrico al 20 % a 80 °C, a continuación por otros con agua caliente y por fin desecado al aire a unos 75°.

LAMINACIÓN

Trenes de Laminación

➤ Clasificación según productos inicial y final



LAMINACIÓN

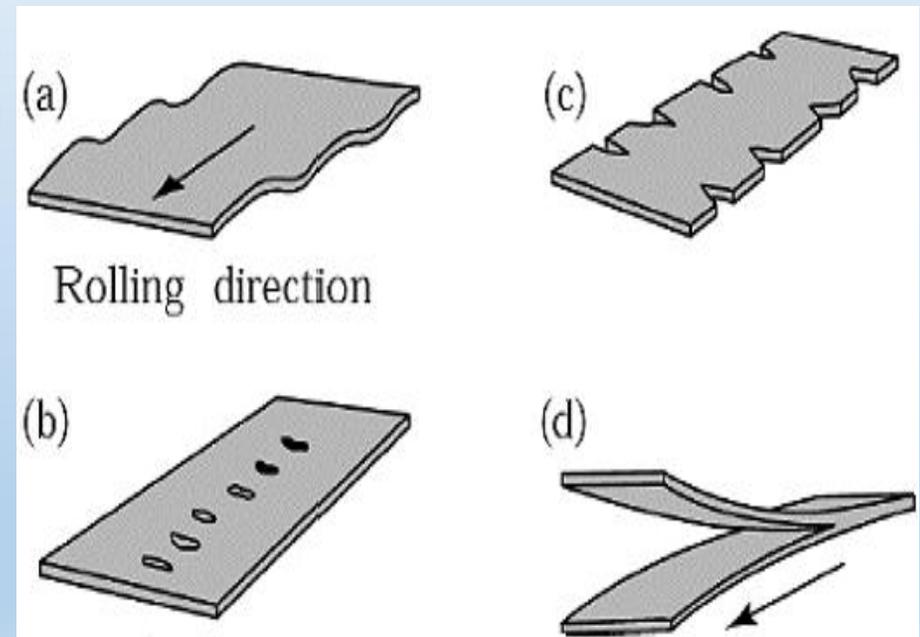
Defectos en Productos Laminados

- Defectos superficiales o defectos estructurales internos
- Afectan :
 - Apariencia
 - Resistencia
 - Capacidad de ser formados
- Cascarilla, corrosión, rayaduras, mordeduras, picaduras y grietas.
- Causas: inclusiones, impurezas u operacionales.

LAMINACIÓN

Defectos en Productos Laminados

- **Bordes Ondulados:** Causadas por la flexión del rodillo. La tira es más delgada en los bordes que en el centro (a).
- **Grietas:** son resultado de una ductilidad insuficiente a la T° de laminado (b y c)
- **Hojeamiento:** causado por la deformación no uniforme durante el laminado (d)



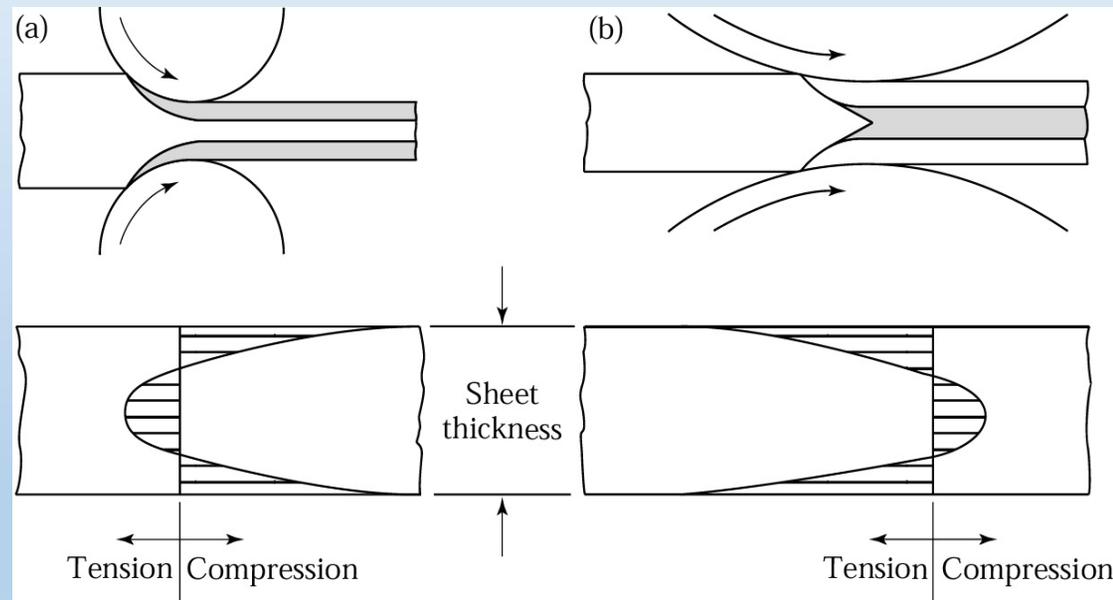
LAMINACIÓN

Defectos en Productos Laminados

➤ **Esfuerzos Residuales:** Deformación no uniforme (especialmente en laminación a frío)

Los rodillos de pequeño diámetro o en pequeñas reducciones por pase tienden a formar esfuerzos residuales a la compresión en la superficie y tracción en el centro. (a)

Los rodillos de mayor diámetro y en grandes reducciones tienden a deformar todo el volumen más que únicamente las superficies, produciendo esfuerzos residuales opuestos a los presentados en el caso anterior. (b)



LAMINACIÓN



GRACIAS

LAMINACIÓN

Análisis del Laminado Plano

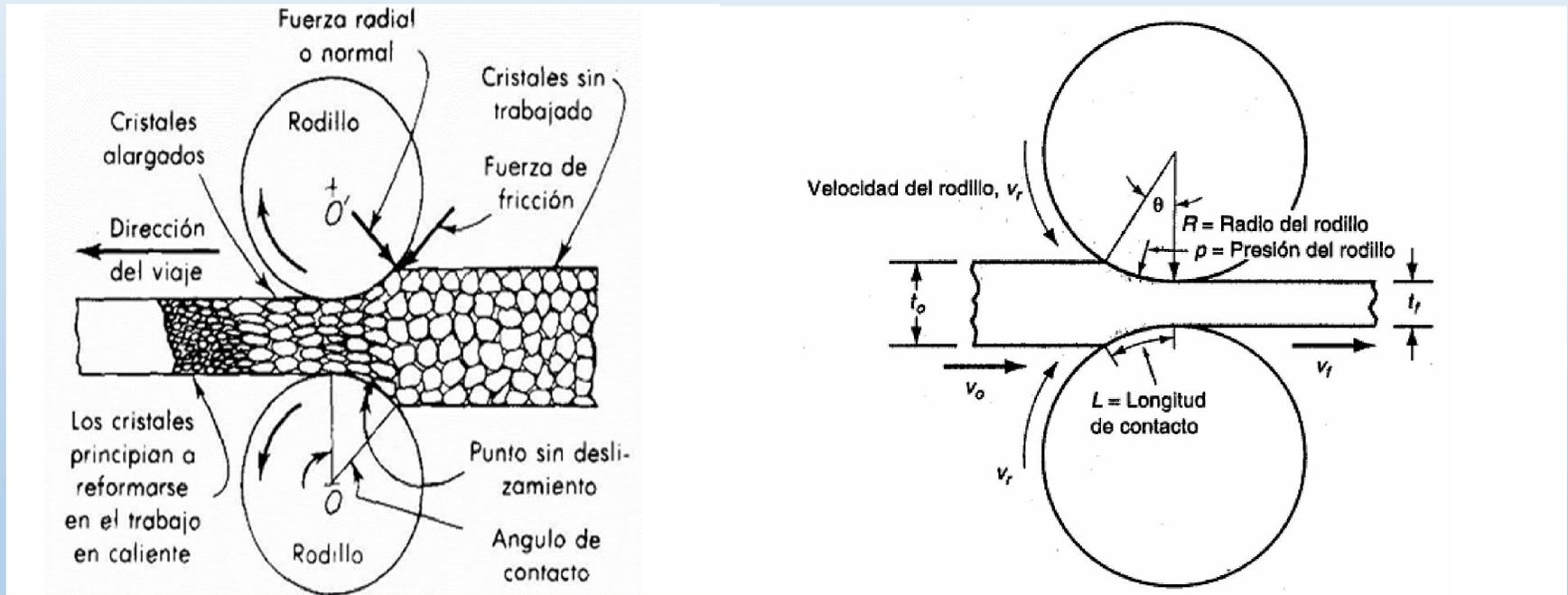


FIGURA 3. Vista lateral del laminado plano indicando el espesor antes y después, las velocidades de trabajo, el ángulo de contacto con los rodillos y otras características.

LAMINACIÓN

Análisis del Laminado Plano

En el laminado plano, se presiona el material de trabajo entre dos rodillos de manera que su **espesor se reduce**:

$$d = t_o - t_f$$

Donde:

d = diferencia, (mm); t_o = espesor inicial, (mm); t_f = espesor final, (mm)

➤ **Reducción**

$$r = \frac{d}{t_o}$$

Existe la conservación del material, de tal manera que el volumen de metal que sale de los rodillos es igual al volumen que entra a los rodillos:

$$t_o w_o l_o = t_f w_f l_f$$

Donde:

W_o , l_o son el ancho y largo iniciales de trabajo (mm),

W_f , l_f son el ancho y largo finales de trabajo (mm).

LAMINACIÓN

Análisis del Laminado Plano

La velocidad volumétrica del material antes y después debe ser la misma

$$t_o W_o V_o = t_f W_f V_f$$

V_o y V_f son las velocidades de entrada y salida del material de trabajo

Deslizamiento hacia Adelante

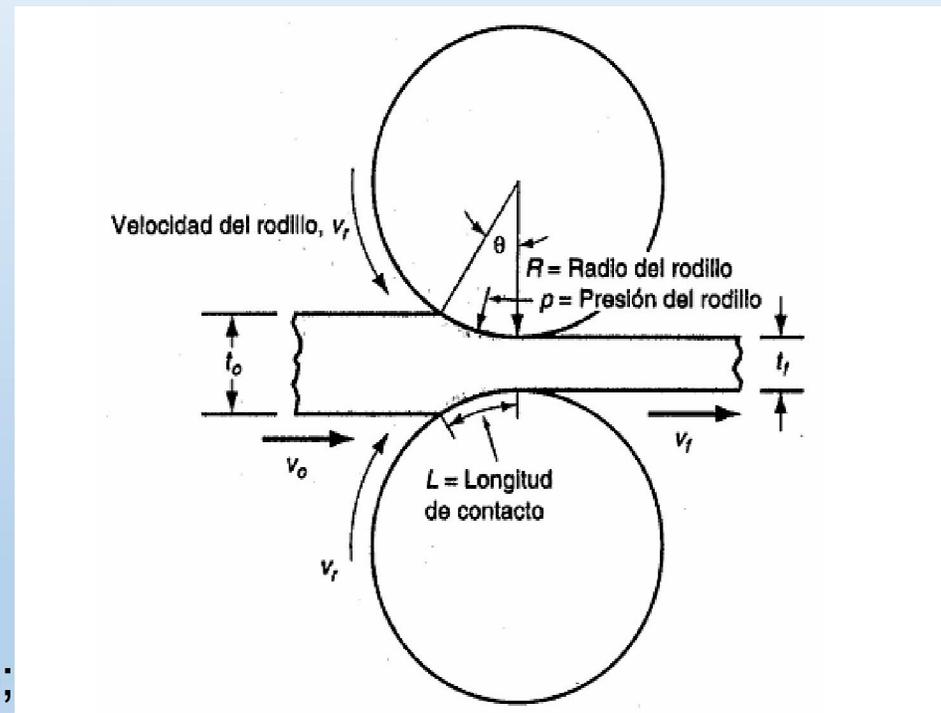
$$s = \frac{v_f - v_r}{v_r}$$

Donde:

s = deslizamiento hacia adelante,

V_f = velocidad final del trabajo (salida), (m/seg);

V_r = velocidad del rodillo (m/seg).



LAMINACIÓN

Análisis del laminado Plano

La **deformación real**, experimentada por el material de trabajo, se basa en el espesor del material antes y después del laminado.

$$\epsilon = \ln \frac{t_o}{t_f}$$

El **esfuerzo de fluencia** se define como el valor instantáneo del esfuerzo requerido para continuar la deformación del material o mantener "fluyendo" al metal

Donde:

$$Y_f = K\epsilon^n$$

Y_f = esfuerzo de fluencia, (MPa).

K = coeficiente de resistencia, (MPa);

n = es el exponente de endurecimiento por deformación.

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

Esfuerzo de fluencia promedio aplicado al material de trabajo en el laminado plano:

LAMINACIÓN

Análisis del laminado Plano

➤ Fuerza de Fricción

$$d_{\max} = \mu^2 R$$

(DRAFT)

Donde: d_{\max} = diferencia máxima, (mm); μ = coeficiente de fricción; R = radio del rodillo, (mm).

TABLA 1. Valores típicos de coeficientes de fricción [4]

Tipo de laminado	Coeficiente de Fricción μ
Laminado en frío	0.1
Laminado en tibio	0.2
Laminado en caliente	0.4

$$F = w \int_0^L p dL$$

El laminado en caliente se caracteriza frecuentemente por una condición llamada **adherencia** en la cual la superficie caliente del material de trabajo se pega a los rodillos sobre el arco de contacto. Esta condición ocurre frecuentemente en el laminado de aceros y aleaciones para alta temperatura.

LAMINACIÓN

Análisis del Laminado Plano

➤ Fuerza de Fricción

$$F = w \int_0^L p dL$$

Donde:

F = fuerza de laminado (N)

w = ancho del material de trabajo que se está laminando (mm)

p = presión de laminado, (MPa);

L = longitud de contacto entre el rodillo y el material de trabajo, (mm).

FIGURA 4. Variaciones típicas de presión a lo largo de la longitud de contacto en el laminado plano. La presión pico se localiza en el punto neutro. El área bajo la curva, representada por la integración de la **ecuación 10**, es la fuerza de laminación F.



LAMINACIÓN

Análisis del Laminado Plano

➤ Fuerza de Fricción:

$$F = \bar{Y}_f wL$$

Donde:

\bar{Y}_f = esfuerzo de fluencia promedio, (MPa);

wL = es el área de contacto rodillo-material de trabajo, (m²)

➤ La Longitud de Contacto:

$$L = \sqrt{R(t_0 - t_f)}$$

➤ Momento de Torsión para cada rodillo es:

$$T = 0.5FL$$

LAMINACIÓN

Análisis del Laminado Plano

La potencia requerida para mover cada rodillo es el producto del momento de torsión y la velocidad angular. La velocidad angular es $\pi N/30$, donde N = velocidad de rotación del rodillo en (rev/min).

➤ Potencia para cada rodillo es:

$$P' = \frac{\pi NT}{30}$$



$$P = \frac{\pi NFL}{30}$$

Donde

P = potencia (W);

N = velocidad de rotación (rev/min);

F = fuerza de laminado, (N);

L = longitud de contacto, (m)

LAMINACIÓN

Análisis del Laminado Plano (Ejercicio)

Una tira con un ancho de 300 mm y 25 mm de espesor se alimenta a través de un molino laminador de dos rodillos de 250 mm de radio cada uno. El espesor de material de trabajo se reduce a 22 mm en un paso, a una velocidad de 5 rad/seg. El material de trabajo tiene una curva de fluencia definida por $K = 276 \text{ MPa}$ y $n = 0.15$, se asume que el coeficiente de fricción entre los rodillos y el trabajo es 0.12. Determine si la fricción es suficiente para realizar la operación de laminado. Si es así, calcule la fuerza de laminado, el momento de torsión y la potencia en caballos de fuerza.

TABLA 3.1 Valores típicos de temperatura, sensibilidad a la velocidad de deformación, y coeficiente de fricción en trabajo en frío, tibio y caliente.

Categoría	Rango de Temperatura	Exponente de Sensibilidad	Coefficiente de Fricción
Trabajo en frío	$\leq 0.3T_m$	$0 \leq m \leq 0.05$	0.1
Trabajo a 0.3 T_m	$\leq 0.3T_m - 0.5T_m$	$0.05 \leq m \leq 0.1$	0.2
Trabajo en caliente	$\leq 0.5T_m - 0.75T_m$	$0.05 \leq m \leq 0.4$	0.2 - 0.5