

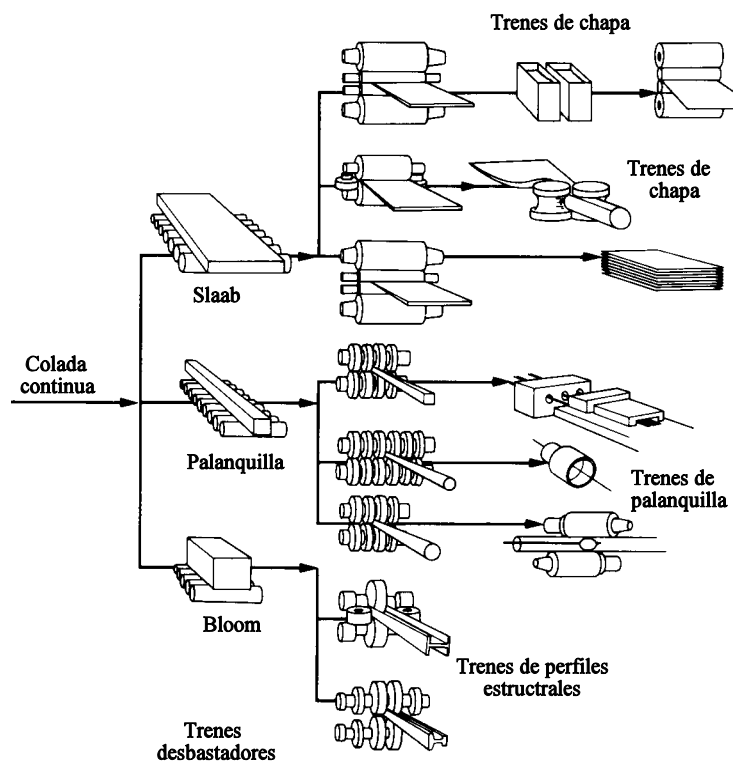
## TEMA 15

# ASPECTOS TECNOLÓGICOS DE LA LAMINACION

### Introducción.

Como se ha visto anteriormente, la laminación consiste, en general, en deformar un determinado material de partida, comprimiéndolo entre dos cilindros que giran en sentido contrario, de tal forma que se produzca una reducción (y en ocasiones una modificación), de la sección transversal inicial, consiguiendo en todos los casos una sección menor a base de una mayor longitud.

Realizando varias pasadas, con cilindros grabados con los perfiles apropiados y con las formas geométricas deseadas, pueden conseguirse perfiles finales de muy distintas secciones y tamaños.



Procedimientos típicos de laminación de acero

Se pueden laminar, dentro de los metales y aleaciones, todos los forjables, además de aquellos en los que su buena maleabilidad o ductilidad los hace idóneos para estos fines. Serán laminables, los aceros, aluminio, cobre, zinc, magnesio, plomo, estaño y sus aleaciones.

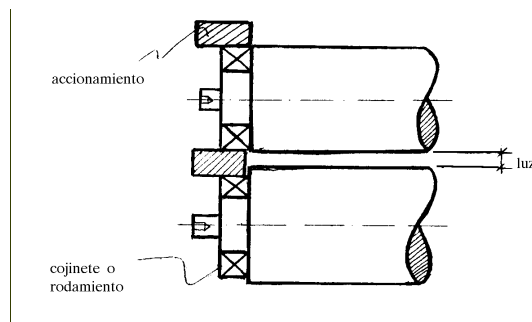
Se puede afirmar que todos los metales utilizados en la industria han sufrido laminación en alguna etapa de su conformación. Y como el proceso da lugar a productos muy distintos según forma y tamaño, también hay que distinguir en la maquinaria empleada.

El producto de partida es el **lingote**, al cual una primera laminación lo desbasta, dando origen al llamado **desbaste**. Una nueva laminación transforma al desbaste en producto **semielaborado**, que por laminación final, lo transforma en producto **acabado**.

## Equipos de laminación.

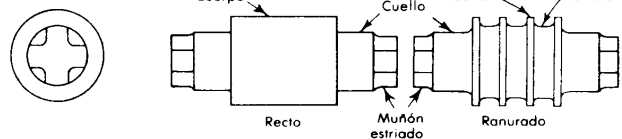
Todos los procesos de laminación se realizan en una **unidad elemental** o en un **tren de laminación**, formado por el acoplamiento de varias unidades. Como el equipo a emplear depende del tamaño, forma, reducción, etc., del producto final, estos factores serán los que determinen la unidad de laminación más conveniente.

La unidad elemental está constituida por un par de rodillos, situados en un bastidor, de manera que puedan girar, presionar y modificar la distancia entre sus ejes, denominándose a este conjunto *caja*. Un cilindro se mueve por el accionamiento y el otro por fricción.



Los cilindros de laminación se componen de tres partes principales:

- *Cuerpo o tabla*, liso para laminación de chapa y acanalado para perfiles.
- *Cuellos*, situados a ambos lados de la tabla.
- *Muñones o trefles*, que se asientan en los cojinetes.



Para laminar perfiles, bandas y flejes, de acero, cobre, aluminio, latón, alpaca, plomo, estaño, etc., sobre todo cuando se trabaja en frío, se usan cilindros de acero forjados, con un tratamiento térmico que les confiere una gran dureza superficial. Para su fabricación se emplean aceros aleados, de diversos tipos, con lo que se consigue elevada dureza en el núcleo, alta dureza superficial y buena tenacidad.

Para cilindros de laminar en caliente se usan cilindros de fundición, aunque en ocasiones también se utilicen de acero forjado templado.

Para la fabricación de cilindros de laminar se parte de piezas brutas fundidas o forjadas, que posteriormente se desbastan en tornos apropiados, se templan y se revienen, y por fin se rectifican en máquinas de gran precisión para conseguir un fino acabado. A veces son sometidos a tratamientos superficiales apropiados.

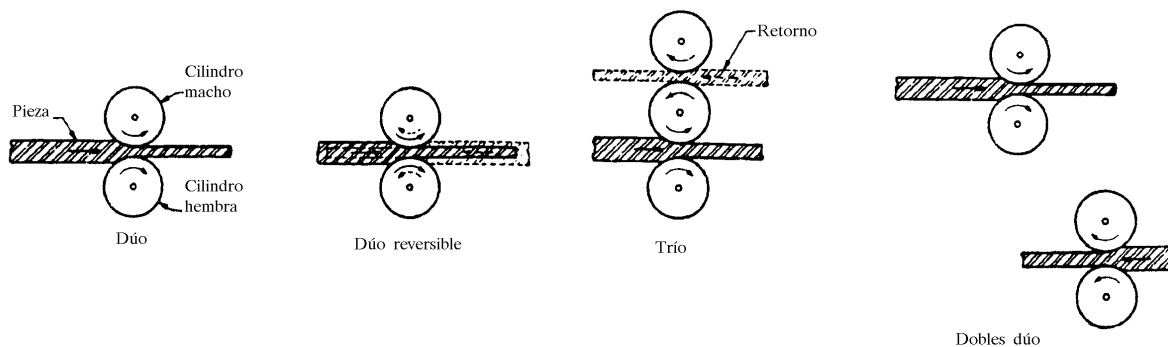
Durante la laminación debe usarse una buena lubricación y refrigeración, tanto en la tabla (zona de trabajo) del cilindro, como en los cuellos del mismo, así como es preciso mantener limpias sus superficies durante el trabajo.

Los cojinetes son casquillos de bronce o de teflón (los rodamientos y los cojinetes de lubricación de aceite son más caros pero tienen menos fricción, permitiendo presiones y velocidades mayores). Todos los cojinetes llevan un circuito de agua de refrigeración para mantener sus temperaturas por debajo de un cierto límite.

Los accionamientos se realizan con motores eléctricos, pudiendo tener uno general para todo el tren, uno en cada par de rodillos, o bien sólo en el último que tirará del resto.

Existen guías que originan el autoalineamiento según el canal del cilindro, antes y después de la laminación.

Disposición de los cilindros. Las cajas de laminación más elementales son las de dos cilindros, pero se construyen cajas compuestas de tres o más cilindros, con las consiguientes denominaciones:

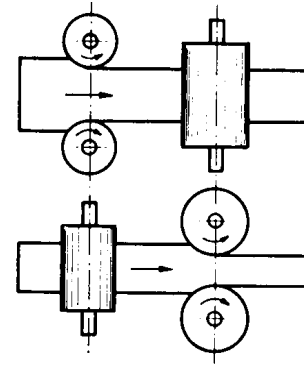


**Dúo.** Caja de dos cilindros de ejes horizontales. Pueden ser *reversibles* y *no reversibles*, según pueda invertirse o no el sentido de giro de los cilindros. Los reversibles tienen el inconveniente de que, en cada pasada, hay que invertir el sentido de rotación de los cilindros, con la consiguiente parada intermedia. Dada la gran masa de aquellos, se requiere un mecanismo complicado para realizarlo, además de un consumo considerable de energía.

**Trío.** Con esta caja se lamina en los dos sentidos, sin tener que parar e invertir el giro de los cilindros, pues pasa el tocho entre el cilindro inferior y el intermedio en un sentido, y convenientemente elevado por una mesa elevadora, pasa en retorno entre los cilindros intermedio y superior.

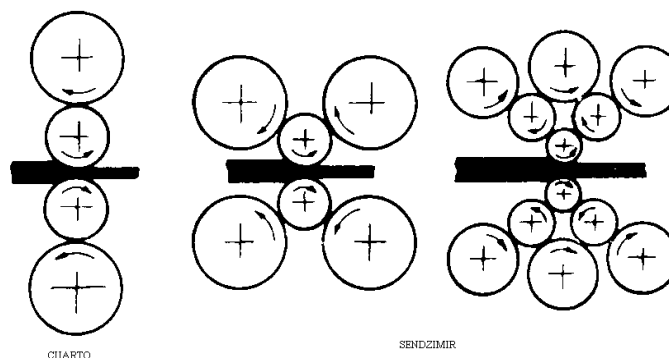
**Dobles dúos.** Se componen de dos cajas con dos parejas de cilindros cada una, con sus ejes en dos planos verticales paralelos.

**Cajas universales.** Aunque el aumento de dimensiones en el producto laminado tiene lugar principalmente en dirección longitudinal, se produce también un ensanchamiento, que muchas veces se limita y controla mediante cilindros verticales. Estos laminadores se llaman *universales*. El laminador universal a dúo utiliza cuatro cilindros: dos horizontales y otros dos verticales. Los dos primeros laminan y los segundos limitan la anchura. Este sistema tiene la ventaja de evitar el corte lateral de la chapa con objeto de darle forma rectangular.



**Laminadores para pequeños espesores.** A medida que disminuye el espesor en los materiales laminados resulta cada vez más difícil conseguir mayores reducciones, pues en cada pasada se crean tensiones residuales que provocan acritud (aumento de la resistencia a la deformación debido a la propia deformación), de forma que llegará un cierto momento en el que sean imposibles mayores reducciones de espesor. Para obviar este inconveniente pueden seguirse varios métodos: aumentar la lubricación, recocer el material o *reducir el diámetro de los rodillos*.

Los cilindros de menor diámetro dan una superficie de contacto menor, por lo que requieren cargas menores y menos energía para un cambio de medidas determinado. Además tienen la ventaja de proporcionar un acabado más perfecto. Pero tienen el inconveniente de flexarse fácilmente, por lo que se requieren otros cilindros de mayor radio, que hagan contacto con ellos. El material de los cilindros de trabajo suele ser de acero rápido, muy pulimentado, mientras que los de apoyo son de acero de baja aleación, tratados térmicamente. Pueden ser de 4 cilindros (*Cuartos*) o de 6, 8, 12, 20 o más cilindros (*Sendzimir*). Se utilizan exclusivamente para laminación de chapa, sobre todo en frío.



**Trenes de laminación.** Son una sucesión de cajas laminadoras longitudinales que, perfectamente sincronizadas entre sí, realizan las sucesivas pasadas que permiten, partiendo de un determinado perfil inicial, obtener el perfil final deseado. Su movimiento es continuo y no intermitente; y pueden clasificarse:

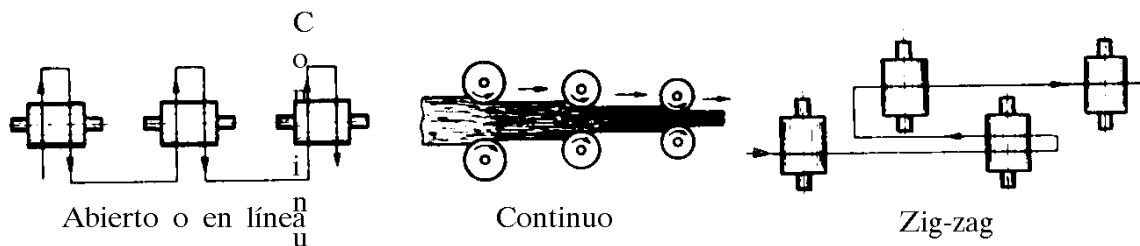
## 1) Según su disposición en planta:

*Abiertos o en línea*, compuestos por cajas en una misma línea o en líneas paralelas. Normalmente un sólo motor acciona todas las cajas del tren, uniendo los ejes de los cilindros por medio de árboles de transmisión acoplados a los trefles por unos manguitos denominados *chocolateras*. Entre caja y caja hay dispositivos volvedores y formadores de lazos, de forma que puede laminarse la misma barra en varias cajas a la vez.

*Continuos*, constituidos por cajas dispuestas una a continuación de la otra, pasando el material que se lamina de una a otra sin interrupción, laminando la misma barra varias cajas a la vez. Pueden estar accionados por un sólo motor o por motores independientes.

*Semicontínuos*, en los que se deja suficiente espacio entre caja y caja para poder retirar el material después de cada pasada, si así interesa.

*En zig-zag o cross-country*, que son trenes mixtos de continuos y en línea. Se utiliza, sobre todo, cuando se carece de espacio suficiente para los tipos de trenes anteriores.



## 2) Según sea el producto final obtenido:

*Trenes desbastadores (Blooming-Slabbing)*. Parten siempre de los lingotes obtenidos por fundición y de peso variable, según la capacidad del tren, pero pueden llegar hasta las 18.000 t. Se denominan *trenes blooming* los destinados a laminar bloom (*tochos*), de sección cuadrada de 120 a 500 mm<sup>2</sup>. Los *trenes slabbing* son los que laminan slab (*petacas*) de sección rectangular hasta 1800 por 300 mm. También son muy usados los trenes para laminar tochos y petacas indistintamente, que se denominan *Blooming-Slabbing*. Utilizar cajas de dos cilindros o universales.

*Trenes de palanquilla*. Laminan el desbaste y lo transforman en *palanquilla*, producto de sección cuadrada, de lado 40-125 mm, o en *llantón*, de espesor comprendido entre 10-125 mm y anchura entre 200-600 mm. Suelen ser trenes continuos con cajas trío.

*Trenes para fermachines*. Se denomina *fermachine* al redondo de acero de 5 a 8 mm especialmente preparado para la fabricación de alambre por trefilado. Para su fabricación se parte de la palanquilla. Los trenes para fermachines son, en general, continuos y están formados por tres secciones: una de preparación o desbaste, otra intermedia y otra de acabado. Al final de la



última caja se elimina el óxido de hierro pulverizando agua sobre el redondo y ventilando fuerte la bobinadora donde se arrolla para el transporte, una vez terminada la operación.

*Trenes estructurales.* Se destinan a 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 desbaste obtenido en el blooming.

*Trenes comerciales.* Se emplean para la fabricación de carriles y perfiles de peso mediano y pequeño. Se parte también de desbastes obtenidos en los blooming.

*Trenes para chapa:*

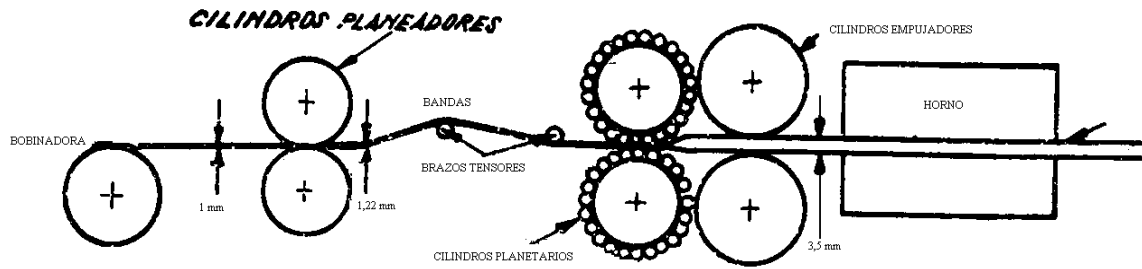
**1. Trenes para chapa gruesa.** Las petacas obtenidas en el tren desbastador se laminan en trenes de chapa gruesa formados, en general, por cajas dúo.

**2. Trenes continuos de laminación en caliente de bandas.** Los llantones se laminan, una vez calentados a la temperatura adecuada, en trenes continuos en fases preparadoras y acabadoras, y finalmente la banda es cortada por medio de cizallas situadas a la salida de la última caja, en longitudes determinadas, o bien se bobina, si su espesor es menor de 5 mm. Por medio de estos tipos de trenes, partiendo de llantones de 100 a 200 mm de espesor, se obtienen bandas de 1,5 a 4,75 mm, con longitudes de 500 a 200 m.

Una variante es el denominado *tren Steckel*, formado por un tren dúo y dos hornos continuos situados uno a cada lado del tren, entre éste y las bobinadoras. La banda pasa en un sentido y en otro, calentada por el horno correspondiente, en el número de pasadas necesario, hasta reducir su espesor al límite fijado.

**3. Trenes continuos de laminación en frío de bandas.** Para obtener bandas de chapa de espesores inferiores a 1,5 mm, es necesario laminar en frío, pero como los metales aumentan su resistencia a la deformación a medida que se deforman en frío, se debe someter a las chapas a recocido al final de la operación. Además toda la instalación debe estar provista de una fase de decapado continuo. Partiendo de bobinas de chapa de 1,25 a 5 mm, se obtienen espesores de hasta 0,20 mm.

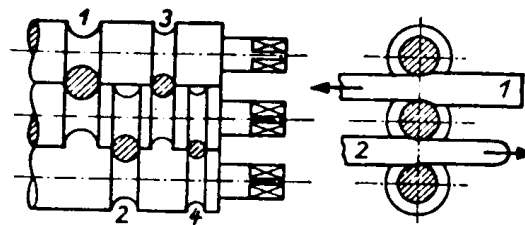
Existen los llamados *trenes planetarios* que están compuestos de un gran cilindro de apoyo y numerosos cilindros en su periferia de pequeño diámetro. Estos se completan con un tren dúo empujador y una caja planeadora compuesta de dos cilindros, que además efectúa una pequeña reducción de la barra. Los trenes planetarios hacen reducciones hasta del 96%.



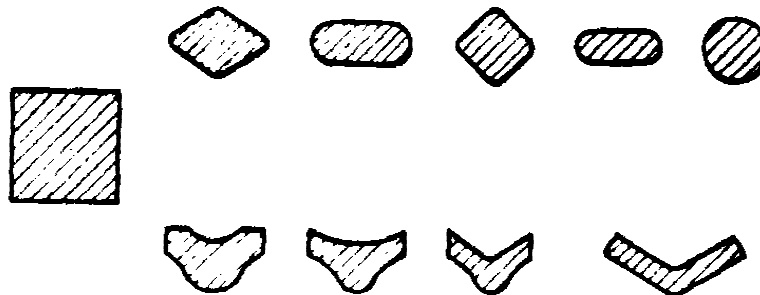
### Laminación de perfiles: trazado de canales.

Para la obtención de perfiles se emplean trenes de laminado con cilindros acanalados que sucesivamente, por su paso a través de distintas cajas conformadoras, van acercándose a la sección que se desea obtener.

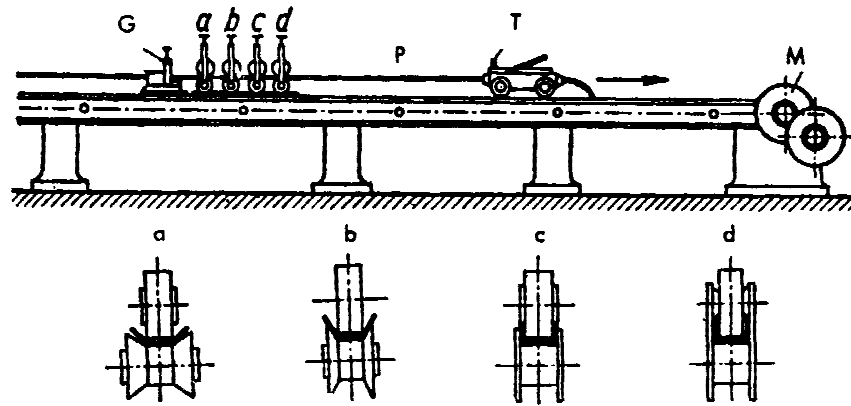
Si el perfil se lamina en caliente, se parte de la palanquilla, que se lamina en trenes como el que se muestra a continuación:



Al pasar por los distintos cilindros, éstos van deformándolo sucesivamente hasta conseguir la forma definitiva. Así, por ejemplo, para obtener un angular o un redondo, partiendo de una palanquilla, se pasará por los siguientes estadios intermedios:



Los perfiles laminados en frío parten del llantón, el cuál se hace pasar mediante una tenaza, movida por un motor a través de una guía, por un conjunto de cilindros acanalados. Cambiando los cilindros se cambia la forma. Son en general perfiles de chapa fina cuya laminación aventaja económicamente, para fabricación en serie, a los laminados en caliente.



En el caso de la laminación en caliente el proceso sería:

Palanquilla 6 Cilindros perfiladores 6

Cuadrados  
Redondos  
Angulares

siendo las secciones intermedias más usuales:

6 cuadrado - rectángulo  
6 ojivales  
6 rombo - cuadrado  
6 cuadrado - óvalo

En el labrado de los canales se habrá de tener en cuenta que la profundidad debe ser menor que la geométrica de los perfiles a obtener. El trazado se generará en el sentido inverso al de laminación: partiendo del perfil final, y con consideraciones de la temperatura a la que llega el material, se diseñará el perfil anterior.

perfil final 6 temperatura 6 perfil anterior

Así, si se considera:

·sección final:  $S_1$   
·sección anterior:  $S_2$

la relación de reducción será:

$$S_2 = \lambda_1 S_1$$

y recorriendo en sentido inverso:

$$S_3 = \lambda_2 S_2$$

...

$$S_x = \lambda_{x-1} S_{x-1}$$

que se relacionará con el final a través de:

$$S_x = \lambda_{x-1} S_{x-1} = \lambda_{x-1} (\lambda_{x-2} S_{x-2}) = (\lambda_{x-1} \dots \lambda_1) S_1$$



con  $\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_{x-1}$

es decir, las reducciones mayores se realizan en los primeros cilindros.

Para un primer cálculo de tanteo se puede tomar:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_{x-1}$$

luego:

$$S_x = S_1 \lambda^{x-1}$$

$$S_x \quad x-1$$

$$\frac{S_x}{S_1} = \lambda^{x-1}$$

$$\lambda = \sqrt[x-1]{\frac{S_x}{S_1}}$$

$\lambda$  oscila entre el 5% para las últimas pasadas (acabado) y el 40% para las primeras (desbaste). Luego se reparten por bloques de reducciones iguales.

## Ejemplos de laminación.

Como colofón a este tema, se considerarán a continuación distintos ejemplos de laminación, identificando las sucesivas pasadas de alargamiento y perfilado, mediante diferentes métodos alternativos.