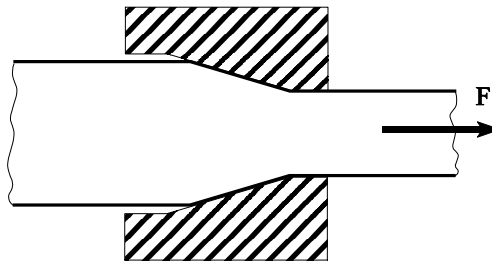


TEMA 16

ESTIRADO Y TREFILADO

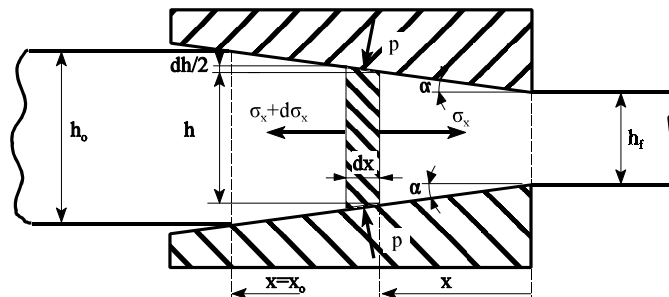
Introducción.

El estirado y el trefilado son procesos mediante los cuales se pretende conformar plásticamente un material con tensiones de tracción, al hacerlo pasar de forma continua a través de un orificio calibrado, con lo que se consigue su alargamiento. Se trabaja generalmente en frío, por lo que se aumenta la dureza, la resistencia y el grado de acabado superficial (menores tolerancias).

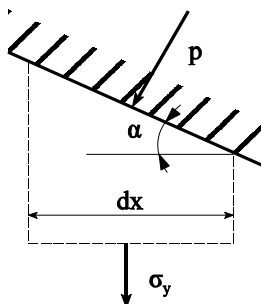


Tensiones en el estirado sin rozamiento.

Estudiaremos el problema suscitado por el estirado de una placa plana. Si se considera la siguiente figura:



Donde una placa de altura inicial h_0 y espesor w , se deforma hasta una altura h_f . Si se considera una sección diferencial de longitud dx , y se establece el equilibrio en ambos ejes, se tendrá:



Eje y:

por el equilibrio entre la presión p , sobre la superficie de contacto

$w \frac{dx}{\cos \alpha}$, y la tensión σ_y :



$$\sigma_y dx + w \left(p \frac{dx}{\cos \alpha} - w \right) \cos \alpha = 0$$

$$\sigma_y = p$$

Si admitimos que σ_x y σ_y están en las direcciones principales de inercia, y aplicamos el criterio de Von Mises, supuesta deformación plana:

$$\begin{aligned} \sigma_I &= \sigma_x \\ \sigma_{III} &= \sigma_y \end{aligned}$$

$$\sigma_I - \sigma_{III} = \frac{2\sigma_e}{\sqrt{3}}$$

$$\sigma_x - \sigma_y = \frac{2\sigma_e}{\sqrt{3}}$$

$$\sigma_x = p + \frac{2\sigma_e}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

Eje x:

Si se desprecia el rozamiento y se plantea el equilibrio de fuerzas:

$$(\sigma_x + d\sigma_x)(h + dh)w + \sigma_x hw - 2 \left(p \frac{dx}{\cos \alpha} - w \right) h \sin \alpha = 0$$

sumando y despreciando infinitésimos de orden superior:

$$\sigma_x dh + h d\sigma_x - 2p \operatorname{tg} \alpha dx = 0$$

si lo expresamos en función de la reducción de espesor dh :

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{dh}{2dx} \\ dx &= \frac{dh}{2\operatorname{tg} \alpha} \end{aligned}$$

luego sustituyendo y reagrupando:

$$h d\sigma_x + (\sigma_x - p) dh = 0$$

y quedará la ecuación diferencial:

$$\frac{dh}{h} + \frac{d\sigma_x}{\sigma_x - p}$$

teniendo en cuenta (1) quedará como:



$$\frac{d\sigma_x}{s} = \frac{dh}{h}$$

pudiendo integrar entre $x=x_f=0$ y $x=x_o$:

$$\int_{\sigma_{x_f}}^{\sigma_{x_o}} d\sigma_x = s \int_{h_f}^{h_o} \frac{dh}{h}$$

$$\sigma_{x_o} - \sigma_{x_f} = s \ln \frac{h_o}{h_f}$$

y como en $x=x_o$, $\sigma_x = \sigma_{x_o} = 0$:

$$\sigma_{x_f} = s \ln \frac{h_o}{h_f}$$

o, de forma general, integrando entre x_o y un punto genérico x :

$$\sigma_x = s \ln \frac{h_o}{h}$$

sustituyendo el valor de $s = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_e$ en la anterior:

$$\sigma_{x_f} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_e \ln \frac{h_o}{h_f}$$

o bien, expresándolo en función del factor de reducción $r = \frac{A_o A_1}{A_o}$ donde $A = hw$.

$$\sigma_{x_f} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_e \ln \frac{1}{1-r}$$

Tensiones en el estirado con rozamiento débil.

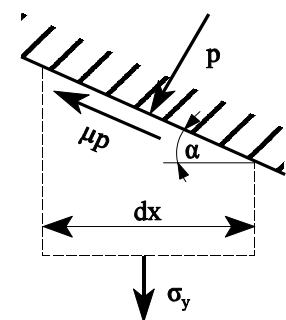
El equilibrio de fuerzas según ambos ejes nos daría en este caso:

prescindiendo de w :

$$(\sigma_x + d\sigma_x)(h + dh) + \sigma_x h + 2 \left(\mu p \frac{dx}{\cos \alpha} \right) \cos \alpha - 2 \left(p \frac{dx}{\cos \alpha} \right) \sin \alpha = 0$$

$$\sigma_y dx + \left(\mu p \frac{dx}{\cos \alpha} \right) \sin \alpha - \left(p \frac{dx}{\cos \alpha} \right) \cos \alpha = 0$$

sumando y despreciando términos de orden inferior:





$$hd\sigma_x - \sigma_x dh - 2p dx (\mu \tan \alpha) = 0$$

$$\sigma_y - p (\mu \tan \alpha + 1) = 0$$

y como $dx = \frac{dh}{2 \tan \alpha}$, la primera ecuación se podrá reducir a:

$$hd\sigma_x - \sigma_x dh - 2p \left(\frac{dh}{2 \tan \alpha} \right) (\mu \tan \alpha) = 0$$

$$hd\sigma_x - \sigma_x dh - p dh \left(\frac{\mu}{\tan \alpha} + 1 \right) = 0$$

agrupando, quedan las dos ecuaciones siguientes:

$$hd\sigma_x - \left[\sigma_x - p \left(\frac{\mu}{\tan \alpha} + 1 \right) \right] dh = 0$$

$$\sigma_y = p (\mu \tan \alpha + 1)$$

con iguales hipótesis a las consideradas en el punto anterior, y con rozamiento débil, por ejemplo:

$$\mu = 0.05 ; \alpha = 10^\circ \quad \text{Y} \quad \mu \tan \alpha \ll 1 \quad \text{Y} \quad \sigma_y \ll p$$

como sucedía en el caso de no considerar el rozamiento.

Como, de acuerdo con el criterio de plastificación de Von Mises, se tiene:

$$\sigma_x - p = \frac{2\sigma_c}{\sqrt{3}} = s$$

podemos sustituir en la ecuación de equilibrio en el eje x:

$$hd\sigma_x - [(\sigma_x - p) - \mu p \cot \alpha] dh = 0$$

$$hd\sigma_x - (s - \mu p \cot \alpha) dh = 0$$

y como : $p = s - \sigma_x$

$$hd\sigma_x - [s - (s - \sigma_x) \mu \cot \alpha] dh = 0$$

$$hd\sigma_x - [s(1 - \mu \cot \alpha) + \sigma_x \mu \cot \alpha] dh = 0$$

$$\frac{dh}{h} = \frac{d\sigma_x}{\sigma_x \mu \cot \alpha + s(1 - \mu \cot \alpha)}$$

agrupando términos:

para facilitar la escritura llamaremos: $B = \mu \cot \alpha$ luego:

$$\frac{dh}{h} = \frac{d\sigma_x}{B\sigma_x + (1-B)s}$$

e integrando:

$$\frac{1}{B} \ln[B\sigma_x \&s(1\%B)] \cdot \ln h \quad \% \quad \ln C \quad (2)$$

imponiendo las condiciones de contorno:

$$\text{en } x = x_0 \quad h = h_0 \quad \text{y } \sigma_x = \sigma_{x_0}:$$

$$\frac{1}{B} \ln[B\sigma_{x_0} \&s(1\%B)] \cdot \ln h_0 \quad \% \quad \ln C$$

$$C \cdot \frac{[B\sigma_{x_0} \&s(1\%B)]^{\frac{1}{B}}}{h_0}$$

y sustituyendo en (2):

$$\left(\frac{B\sigma_x \&s(1\%B)}{B\sigma_{x_0} \&s(1\%B)} \right)^{\frac{1}{B}} \cdot \frac{h}{h_0}$$

elevando a B ambos miembros y dividiendo entre Bs el numerador y el denominador:

$$\frac{\frac{\sigma_x}{s} \& \frac{1\%B}{B}}{\frac{\sigma_{x_0}}{s} \& \frac{1\%B}{B}} \cdot \left(\frac{h}{h_0} \right)^B$$

y agrupando, se obtiene finalmente:

$$\frac{\sigma_x}{s} \cdot \frac{\sigma_{x_0}}{s} \left(\frac{h}{h_0} \right)^B \quad \% \quad \frac{1\%B}{B} \left[1 \& \left(\frac{h}{h_0} \right)^B \right]$$

imponiendo la otra condición de contorno:

$$x = x_f = 0, \quad h = h_f \quad \text{y } \sigma_x = \sigma_{x_f}:$$

$$\frac{\sigma_{x_f}}{s} \cdot \frac{\sigma_{x_0}}{s} \left(\frac{h_f}{h_0} \right)^B \quad \% \quad \frac{1\%B}{B} \left[1 \& \left(\frac{h_f}{h_0} \right)^B \right]$$

que, puesto en función del grado de reducción, quedaría como:

$$\sigma_{x_f} \cdot \sigma_{x_0} (1\&r)^B \quad \% \quad \frac{1\%B}{B} s \left[1 \& (1\&r)^B \right]$$

Generalmente nunca se realiza una tensión en la entrada, luego: $\sigma_{x_0} \cdot 0$

por lo que la expresión anterior quedaría como:

$$\sigma_{x_f} = \frac{1}{B} \sigma_e \left[1 + (1+r)^B \right]$$

con $B = \mu \cotg \alpha$.

Caso de simetría de revolución.

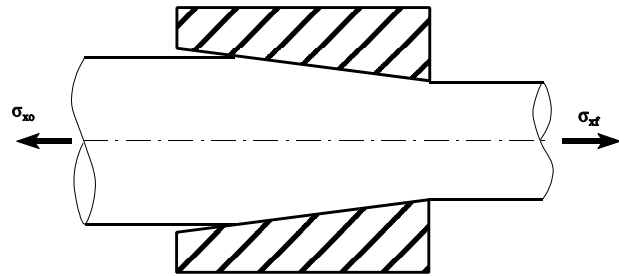
En el caso de que exista una simetría de revolución, como sería el caso en el estirado de una palanquilla, puede llegarse, de forma similar a lo expuesto anteriormente, a:

$$\sigma_{z_f} = \sigma_{z_o} (1+r)^B = \sigma_e \frac{1}{B} \left[1 + (1+r)^B \right]$$

que, en el caso de que $\sigma_{z_o} = 0$ daría lugar

a:

$$\sigma_{z_f} = \sigma_e \frac{1}{B} \left[1 + (1+r)^B \right]$$



y, en el caso de despreciar el rozamiento:

$$\sigma_{z_f} = \sigma_e \ln \frac{1}{1+r}$$

donde: $B = \mu \cotg \alpha$

$$r = \frac{D_o^2 - D_f^2}{D_o^2}$$

Diferencias entre estirado y trefilado.

Si bien ambos procesos se reducen al mismo -el estirado-, suele diferenciarseles por la especialización del trefilado en la obtención de alambre. Podemos, de esta forma, hacer las siguientes distinciones:

a) Clase de material que se emplea:

Estirado: ·barras de 4 a 6 m con $\phi > 10$ mm
 ·perfiles con espesor $\bullet 3$ mm
 ·tubos

Trefilado: ·redondos de $\phi \bullet 5-8$ mm (*fermachine*)

b) Objeto de la operación:

Estirado: calibrar, endurecer, dar una forma determinada.

Trefilado: adelgazar el material.

c) Realización:

Estirado: una sola pasada (40% reducción máxima).

Trefilado: varias pasadas (hasta 1000/1 de reducción).

Los materiales que se suelen utilizar son los aceros al carbono y aleados, latones, cobre, aluminio y sus aleaciones, que deben verificar las siguientes características:

- a) Ductilidad
- b) Suficiente resistencia a la tracción, para que no rompan al estirar
- c) Uniformidad en composición y estructura, pues un defecto originaría la rotura

Descripción del proceso del estirado.

En cualquiera de los casos (perfiles, tubos, hilos, etc.) se reduce a hacer pasar el material (banda, tubo o barra) a través de una o varias matrices, hasta conseguir la forma definitiva, por tracción desde el extremo.

El estirado de barras comprende las siguientes operaciones:

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1) Operaciones preparatorias { Afilado
Decapado 2) Estirado propiamente dicho 3) Operaciones de acabado { Corte
Recocido
Enderezado
Pulido |
|--|

A continuación se va a dar una breve visión sobre cada una de ellas.

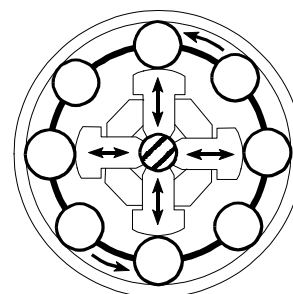
Operaciones preparatorias.

Antes de someter las barras al estirado, deben sufrir dos operaciones preparatorias: afilado de su extremo y decapado.

Afilado: Para introducir un extremo de las barras a través del orificio de la hilera, y agarrarla con la mordaza para estirar, debe reducirse su sección a un diámetro inferior al de la hilera en una longitud de unos 250 mm. Esta operación se puede realizar por cuatro procedimientos:

- *Forja*: en caliente con martillo generalmente neumático.

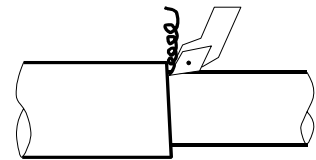
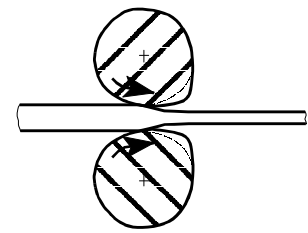
- *Forja rotativa*: en un martillo compuesto de dos o cuatro mazos que, separados por la fuerza centrífuga al girar, son proyectados al pasar bajo rodillos fijos repartidos en la periferia de la máquina. De esta manera, el extremo de la barra colocada en el centro de la máquina recibe un martillado rápido a razón de dos mil golpes por minuto, endureciendo la superficie y mejorando el extremo para su cogida con las mordazas.



- *Laminación*: en un laminador con canales decrecientes interrumpidos para facilitar el enganche de la barra con cilindros especiales excéntricos.

- *Torno*: cuando la barra es de un diámetro superior a 30mm, aunque este procedimiento se debe emplear lo menos posible, porque es el más caro.

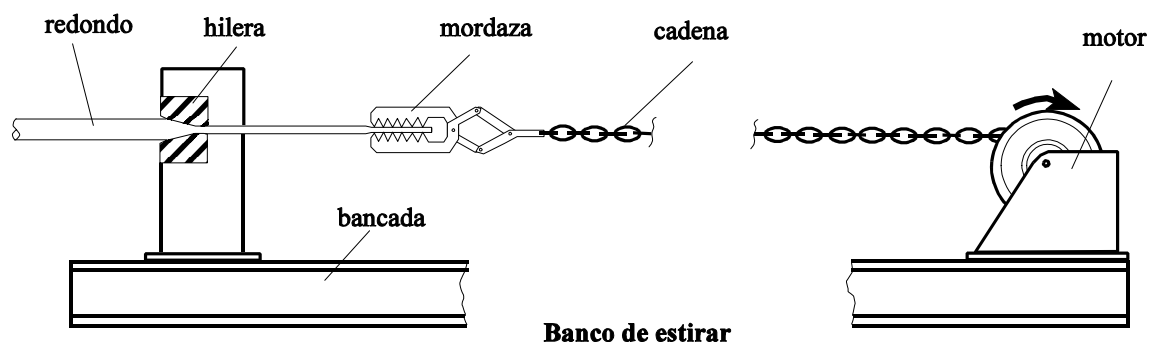
En los modernos bancos de estirado no es necesario el afilado previo de la barra, pues están provistos de un dispositivo delante de la hilera con el que se empuja el extremo de la barra obligándolo a pasar por aquélla en la longitud suficiente sin necesidad de afilarla. Con esto se economiza la operación del afilado y la pérdida del material de la punta afilada, que se cortaría después del estirado.



Decapado: Limpieza superficial mediante una solución de ácido sulfúrico al 20%, para eliminar el óxido superficial (que le confiere dureza y fragilidad), y posterior inmersión en un baño de óxido de cal, para que detenga el ataque del ácido y sirva de lubricante. También se puede usar granalla sobre la superficie, que rompe los óxidos y, adicionalmente, le confiere propiedades superficiales y resistencia mecánica. El decapado es especialmente necesario cuando se emplean barras de acero.

Estirado propiamente dicho.

El estirado se realiza en los denominados *bancos de estirar*, formados por una robusta bancada con una cabeza portahilera, un carro de tracción provisto de mordaza para sujetar la barra y un dispositivo para desplazar el carro (de cremallera, cadena sinfín, cilindro y pistón, etc.). Es muy frecuente utilizar bancos de estirado múltiples, generalmente de tres bancos.



La pieza, tras ser afilada, es introducida en el orificio de la hilera, sujetándose su extremo con una mordaza y procediéndose a estirar, por ejemplo con una cadena que está accionada por un motor.

Hilera. Es el órgano fundamental del estirado. Su perfil longitudinal se puede dividir en cuatro partes:

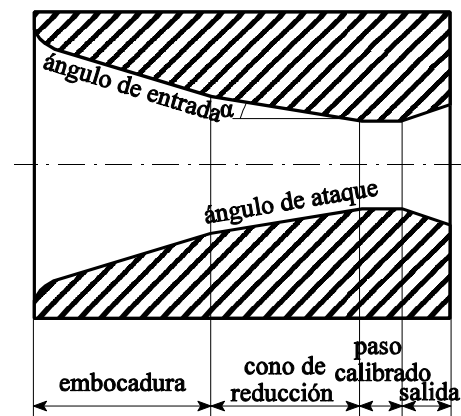
a) *Embocadura*, de ángulos redondeados para facilitar la introducción del extremo afilado de la barra.

b) *Sección de reducción*, compuesta de un tronco de cono de reducción, de ángulo en el vértice variable según el material a estirar. Valores habituales de este ángulo de ataque son:

c) *Sección de calibrado*: cilíndrica, donde se ajusta bien el diámetro de la barra y se pule su superficie. Su longitud es de 1/2 del diámetro

d) *Cono de salida*: tronco de cono con ángulo de 30E.

material	α
aceros dulces	12 - 16E
aceros dulces	14 - 18E
latones	4 - 5E
cobre	12 - 16E
aluminio	16 - 20E



Las cuatro secciones tienen redondeados los ángulos de unión entre sí, para facilitar el flujo del material.

Existen dos tipos de hileras, en función de que se puedan o no regenerar, que a su vez depende del material con el que están hechas. Las primeras se fabrican de acero de herramienta (acero rápido al cromo) y permiten velocidades de estirado de 5 a 6 m/min, y las segundas de widia (carburo de tungsteno) pudiendo alcanzar los 20÷45 m/min.

Como lubricantes se emplean jabones, cera, parafina, grafito, etc., dependiendo su elección del material que se pretenda estirar.

Operaciones de acabado.

Las operaciones de acabado son las siguientes:

Corte de los extremos: Tanto el primero como el último, pues éste quedará replegado sobre sí mismo. Se emplean cizallas o sierras.

Recocido: Las barras estiradas quedan con acritud, lo que mejora la maquinabilidad de algunos aceros, y aumenta la resistencia mecánica y el límite elástico de casi todos los metales y aleaciones estirados. En caso de no desearse este endurecimiento del material, al terminar el estirado se puede dar un tratamiento térmico de recocido antiacritud o de normalización, que



alivie las tensiones residuales.

Si la deformación es muy intensa y se realiza, por excepción, en varias pasadas, puede ser interesante someter al material a un recocido entre cada dos operaciones, con objeto de ablandarlo y facilitar el estirado en la operación siguiente.

Enderezado: Se hace sufrir a la barra una deformación, en el sentido que convenga, mediante enderezadoras especiales formadas por cilindros de generatrices hiperbólicas, uno cóncavo y el otro convexo.

Pulido: Se realiza solamente en las barras redondas, empleando discos pulidores colocados por parejas, que pulen la superficie de la barra al avanzar y girar ésta. Existen máquinas que realizan el pulido y el enderezado de forma simultánea.

Estirado de tubos.

Las operaciones de preparación, afilado y decapado se realizan de una manera similar a la explicada para las barras. El estirado propiamente dicho se realiza por tres procedimientos:

Reducción solamente del exterior del tubo.- El estirado más sencillo es el que solamente modifica el material de la superficie exterior del tubo, que es la que queda calibrada y pulida. En cambio la superficie interior queda igual que antes de la operación. Esta modalidad del estirado de tubos se realiza igual que el estirado de barras aunque con hileras más cortas, con velocidades de hasta 50 m/min para el acero.

Reducción exterior e interior.- Cuando se trata de calibrar la superficie exterior y la interior del tubo, se utiliza un punzón a continuación de la hilera, que tiene una longitud de unos 40 a 100 mm, y cuya forma es cilíndrica, de diámetro igual al que se desea para el interior del tubo. Con este procedimiento debe estirarse con velocidades muy pequeñas, de 25 a 35 m/min, y alargamientos del 15 al 30%.

Reducción exterior sobre mandril.- Esta operación se realiza utilizando un mandril calibrado, que se introduce en el interior del tubo, y cuya longitud debe ser igual o superior a la de éste. La reducción de espesor se hace únicamente a costa del diámetro exterior, no variando el diámetro interior del tubo.

Como el mandril queda encajado después de la operación, para extraerlo se somete al tubo con el mandril a un enderezado con rodillos hiperbólicos, que dilatan ligeramente las paredes del tubo y dejan libre el mandril, que se retira fácilmente.

Las operaciones de acabado son similares a las del estirado de barras.

Operaciones en el trefilado.

El trefilado es un caso particular de estirado, teniendo por objeto la fabricación de alambres por adelgazamiento de redondos de metales y aleaciones dúctiles, en base a grandes reducciones en varias pasadas.



El trefilado es una de las operaciones de más amplia aplicación en la industria, por el extenso empleo que tiene el alambre y sus derivados. Entre ellos alambres para ataduras y fabricación de muelles; alambres conductores de cobre, bronce, aluminio y hierro galvanizado; cables trenzados, alambres de espino, clavos y tornillos, telas metálicas, agujas, ejes para aparatos de medida, ejes de pequeñas dimensiones para aparatos de relojería, radios de bicicletas, accesorios diversos de joyería y bisutería; filamentos de lámparas eléctricas, etc.

El redondo del que se parte para la fabricación de alambres tiene generalmente un diámetro alrededor de 5 mm, no rebasando nunca los 10 mm, y se presenta enrollado, en lugar de en barras, como ocurría para el estirado. Los redondos de acero preparados para el trefilado se denominan *fermachine*.

Los materiales generalmente trefilados son, en primer lugar, el acero dulce al carbono, para la fabricación de toda clase de alambres, telas metálicas, etc.; los aceros duros para la fabricación de puntas, muelles, etc. y los aceros aleados para la fabricación de muelles especiales, ejes pequeños, etc. También se trefilan el cobre, el bronce y el aluminio. Los filamentos de las lámparas eléctricas se obtienen de wolframio trefilado.

El trefilado se realiza en las siguientes operaciones, muy similares a las del estirado:

1) Operaciones preparatorias	{ Afilado Decapado soldado
2) Trefilado propiamente dicho	
3) Operaciones de acabado	{ Corte Recocido Pulido o revestimiento superficial

Operaciones preparatorias en el trefilado.

Afilado: Lo mismo que en el estirado, debe de afilarse el extremo del redondo a fin de poderlo introducir en la hilera, en unos 200 ó 250 mm. Esta operación se puede realizar por laminación o martillado. Para evitar el afilado de cada punta de un nuevo rollo, se acostumbra a soldar el extremos del rollo que se acaba con el extremo del rollo siguiente.

Decapado: En el trefilado como en toda operación de deformación en frío, debe de limpiarse lo más perfectamente posible su superficie, pues los óxidos metálicos son muy duros y muy poco plásticos. Esta limpieza de la superficie se puede realizar por medios mecánicos o químicos.

La limpieza mecánica se realiza haciendo pasar el redondo por una serie de poleas que lo obligan a curvas muy agudas, que hacen saltar la cascarilla de óxido, que después es eliminada con cepillos metálicos automáticamente. Pero, generalmente, la limpieza superficial de los redondos se realiza por decapado químico, con baños de soluciones de ácido sulfúrico al 20%, a los que se le añaden inhibidores para limitar la corrosión del metal después de la disolución de la capa de óxido, pudiéndose utilizar dispositivos de agitación de los baños, mecánicos o de aire comprimido, para aumentar la velocidad de reacción. Posteriormente se pasan los rollos de

alambre a un tanque de agua para lavarlos y, por último, se neutralizan los restos ácidos en una solución de cal introduciéndolos en un tercer tanque, dejando una delgada capa de hidróxido de cal sobre la superficie, que sirve de lubricante.

Trefilado propiamente dicho.

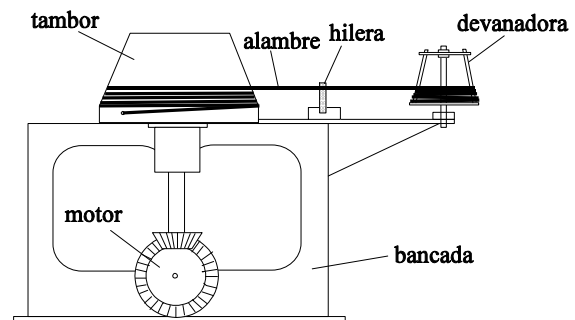
El trefilado se realiza en máquinas de trefilar, compuestas por:

- a) *Devanadora*, donde se coloca el rollo de redondo (gira loca).
- b) *Hilera*, de acero al cromo o metal duro (widia). La sección de la hilera es similar a la del estirado, siendo el ángulo del tronco de cono de reducción de 8 a 16E, según los metales y lubricantes empleados. Se utilizan también hileras de diamante para la fabricación de hilos muy finos. La hilera está colocada en un soporte refrigerado por agua y provisto de un dispositivo para la lubricación continua del alambre.
- c) *Bobina de arrastre o tambor*, que tira del alambre.

La velocidad del trefilado depende del material y de la reducción impuesta, y puede llegar hasta los 1500 m/min.

Hay dos clases de máquinas de trefilar: las *simples* y las *múltiples*.

Las máquinas simples están compuestas por una sola hilera, con una devanadora y una bobina de arrastre.



Las máquinas múltiples están compuestas de varias hileras de boquilla decreciente, por las que pasa el hilo sucesivamente, arrastrado por un número igual de bobinas de arrastre (bobinadoras intermedias), colocadas entre hilera e hilera, y se pueden clasificar en tres tipos:

a) Las *máquinas múltiples continuas*, en las que las velocidades periféricas de las bobinas de arrastre intermedias están calculadas para absorber el aumento de longitud del hilo al adelgazarse, manteniéndose constante el número de vueltas del alambre que se enrolla en cada bobina durante toda la operación.

b) Las *máquinas múltiples de acumulación*, en las que las velocidades periféricas de las bobinas de arrastre no están calculadas para compensar el aumento de la longitud del hilo de alambre, sino que son algo inferiores, por lo que se produce una acumulación de alambre en cada bobina, para que pueda enfriarse antes de pasar a la hilera siguiente. Además, esta reserva de alambre permite continuar el trefilado en las demás hileras en caso de que sea necesario interrumpir la operación en una de ellas por rotura del alambre para reafilarlo o soldarlo.

c) Las *máquinas múltiples compensadas*, en las que las bobinas de arrastre son conos con gargantas en número igual al de hileras, de forma que el aumento de longitud del alambre es absorbido por el aumento progresivo del desarrollo de las poleas.



El paso de los alambres por las hileras eleva rápidamente su temperatura por frotamiento con los conos y por el trabajo interno producido por la deformación. Esta elevación de temperatura es completamente indeseable y, para reducirla en lo posible, se lubrican siempre los alambres, empleándose los siguientes productos (lubricantes que no se deterioren con la temperatura):

- Grafito finamente pulverizado y perfectamente seco para el trefilado del wolframio.
- Grafito en suspensión coloidal en aceite o en agua para trefilar el molibdeno, algunos bronce y también el wolframio.
- Cera, parafina y, sobre todo, jabones para el trefilado de la mayor parte de los metales y aleaciones, siendo los más empleados los jabones de cal y los de sosa.

Operaciones de acabado.

Las operaciones son similares a las del estirado:

Corte. El corte del extremo afilado se realiza con cizalla o tijera, y no reviste mayor importancia, al no superar los 5 mm las secciones máximas de los alambres.

Recocido. Como el alambre trefilado queda endurecido por la deformación, se somete generalmente a un recocido contra la acritud en hornos de campana, con atmósfera controlada, hornos con baños de sales en los que se introducen las bobinas enteras, o bien hornos colocados en el circuito de trefilado, por los que pasa el alambre al final de la operación, realizándose el recocido de una manera continua.

A los alambres para muelles se les da un tratamiento final de estabilización a 200EC para eliminar tensiones.

Pulido o revestimiento superficial. Frecuentemente se les da alguno de los siguientes acabados superficiales:

- a) *Rectificado* de su superficie para eliminar el óxido superficial, descarburaciones y defectos, dejando las varillas a un diámetro exacto (fabricación de muelles).
- b) *Galvanizado* con cinc para aumentar la resistencia a la corrosión.
- c) *Esmaltado* con barnices especiales para dar aislamiento eléctrico.
- d) *Pulido, niquelado o cromado* para mejorar su aspecto superficial, desde un punto de vista decorativo.