

II. PRINCIPALES PROCESOS DE FABRICACIÓN

1 PROCEDIMIENTOS BÁSICOS DE FORMACIÓN DE PIEZAS

1.1 Moldeo en fase fluida y sólida

1.1.1 Extrusión

Transformación de una materia prima amorfa y sólida, normalmente troceada o granulada, en una pieza homogénea y continua mediante fundición y posterior solidificación y endurecimiento. Generalmente es un polímero, es decir, un compuesto orgánico de cadena molecular muy larga, que puede adoptar cualquier forma al solidificarse ofreciendo adecuadas propiedades físicas estables a largo plazo.

Se utiliza un transportador de tornillo helicoidal como el de la Fig. 10. El polímero es transportado desde la tolva, a través de la cámara de calentamiento, hasta la boca de descarga, en una corriente continua. A partir de gránulos sólidos, el polímero emerge de la matriz de extrusión en un estado blando.

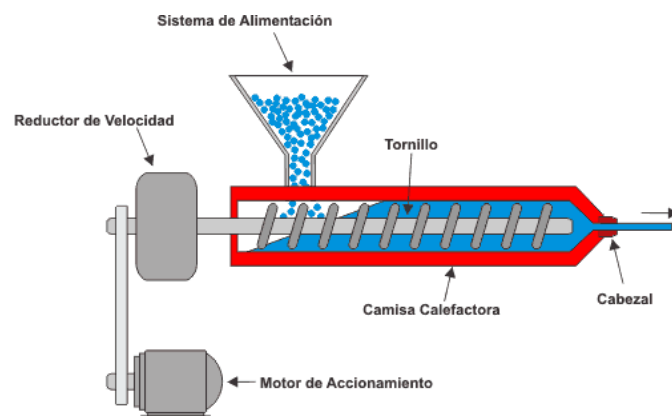


Fig. 10 Sistema de extrusión

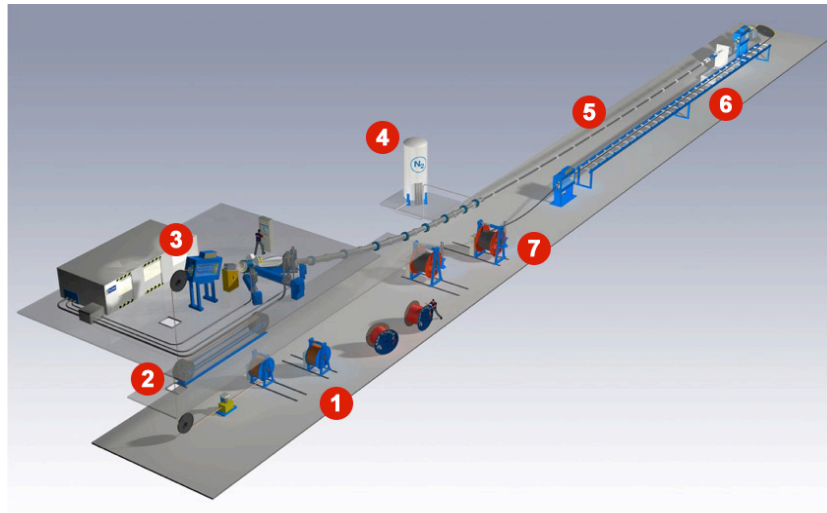
Como la abertura de la boca de la matriz tiene la forma del producto que se desea obtener, el proceso es continuo. Posteriormente se corta en la medida adecuada.

Para fabricar fundas tubulares, como los aislantes y cubiertas de los cables eléctricos (Fig. 11), se procede como sigue:

- Se funden compuestos diversos (poliolefinas, polietilenos, butilenos, incluso policloruro de vinilo PVC).
- El fundido es extruido a través de varias matrices anulares concéntricas para formar todas las capas alrededor del conductor (aislantes y cubierta).
- Se sopla aire inflando el tubo del polímero extruido para formar una burbuja del diámetro requerido por la que se introduce el cable conductor.
- Se enfría el producto extruido mediante una corriente de gas inerte (nitrógeno N_2).
- Se pasa el conjunto por una cadena de rodillos que terminan la conformación plástica y el reticulado molecular de los compuestos, a la vez que se controla el calibre final del cable.
- Se recoge en bobinas y se corta para formar las tiradas deseadas.

Fig. 11 Fabri-
 cación de ca-
 bles eléctricos
 [TOPCABLE]:

- 1- conductor
- 2- polímeros
- 3- triple extrusión
- 4- reticulado en N₂
- 5- control de espesores
- 6- enfriado
- 7- recogida



Los polímeros son estables a largo plazo siempre que se respeten las condiciones de tendido y la temperatura máxima en régimen permanente, que es la que condiciona la intensidad admisible para cada situación de instalación (ver UNE-HD 60364-5-52).

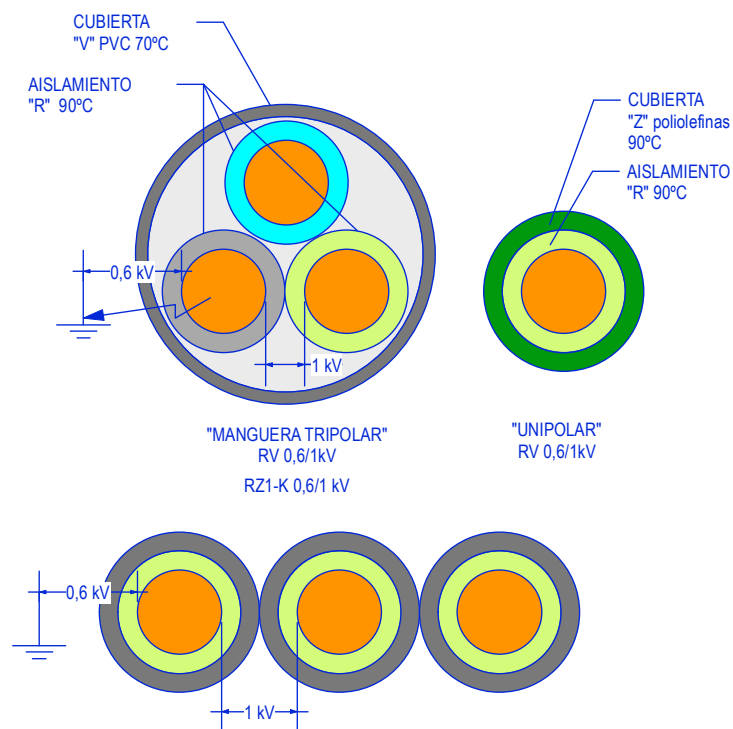


Fig. 12 Capas y significado del aislamiento eléctrico para cables multipolares (mangueras) y unipolares

1.1.2 Inyección de plásticos

El moldeo por inyección consiste en introducir *a presión* una cantidad medida de plástico líquido en un *molde* en el que, preferiblemente se ha hecho el vacío, o del que el aire puede salir por orificios practicados en lugares convenientes. El plástico consigue rellenar hasta los más pequeños huecos del molde. Una vez que el plástico se enfría y se endurece, el molde se abre para dejar salir el artículo terminado.



Fig. 13 Máquina de WITTMANN para fabricar piezas de plástico inyectado

MATERIAL PARA EL MOLDE

Los moldes de acero son más duraderos, pero hay que tener en cuenta que son los más costosos.

Los moldes de aluminio no son los más adecuados para la producción de grandes volúmenes o piezas con tolerancias dimensionales estrechas, ya que tienen propiedades mecánicas inferiores y pueden ser propensos al desgaste, la deformación y los daños debidos a las fuerzas de inyección y sujeción. Pero su coste es mucho menor.

CREACIÓN DEL MOLDE

Los moldes se mecanizan con precisión para adaptarlos a las características del producto que van a fabricar. Es necesario utilizar equipos y técnicas especializadas que veremos en los apartados siguientes.

PREPARACIÓN DEL MATERIAL PLÁSTICO

El material que se va a fundir e inyectar suele estar en forma de gránulos y hay que secarlo para eliminar la humedad que pueda afectar a la calidad del producto final. A continuación, los gránulos se cargan en una tolva que introduce el material en la máquina de moldeo por inyección.

INYECCIÓN

Una máquina inyectora habitual tiene dos partes:

- Unidad de fusión: recibe el granulado a fundir, lo calienta hasta que alcanza la consistencia fluida deseada y lo desplaza mediante un tornillo hacia la boquilla inyectora.
- Unidad de inyección: parte donde el tornillo comprime el fluido plástico para que alcance, en la boquilla de salida y el interior del molde, la presión deseada.

ENFRIAMIENTO

Una vez envasado el material, el molde se enfría por el exterior para que el plástico se

endurezca lo suficiente. El proceso de enfriamiento puede acelerarse utilizando líneas de refrigeración por las que circula agua o aceite a través del molde. La temperatura del medio de refrigeración se controla para garantizar que la pieza se enfría de manera progresiva, a ritmo conocido, evitando que se deteriore.

DESMOLDADO

Una vez que la pieza se ha enfriado lo necesario, se abre el molde y se expulsa su contenido mediante pines eyectores. Los pines empujan la pieza fuera del molde y la depositan en un contenedor de recogida o en una cinta transportadora.

Aquí es donde se comprueba si ha habido problemas de diseño del molde que impiden la extracción final, como forma de las esquinas, ángulos muy cerrados, e incluso superficies con inclinaciones negativas, que atrapan la pieza y obligan a destruirla para sacarla.

1.1.3 Inyección de elastómeros

Los elastómeros son materiales muy elásticos que generalmente cambian de forma bajo esfuerzos mecánicos externos, pero mantienen su volumen. Son las gomas, el caucho y los polímeros basados en siliconas, que se inyectan en moldes en forma líquida y luego se endurecen mediante cambios químicos conocidos como vulcanización.

Al ser tan elásticos el proceso de inyección no es tan exigente como el del plástico desde la perspectiva de los ángulos de desmoldeo y las superficies negativas, porque se puede tirar de la pieza para sacarla sin miedo a que se rompa aunque se deforme.

1.1.4 Moldeo por soplado

Es un proceso usado para hacer formas huecas (botellas, recipientes). Sigue las siguientes fases (Fig. 14):

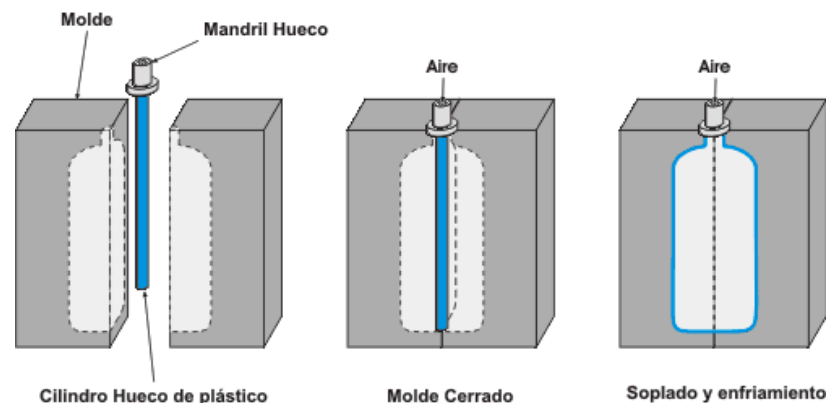


Fig. 14 Moldeo por soplado

- Un material plástico termofusible se calienta para extruirlo en forma de cilindro plástico de paredes delgadas.
- Se acopla a un mandril metálico hueco y se corta enseguida a la longitud deseada sin dar tiempo a que se enfríe. De esta forma se consigue el tubo plástico original que formará el recipiente hueco que se quiere fabricar.

- Manipulando el tubo por el mandril, se introduce inmediatamente en un molde que se cierra a su alrededor y le sella su parte inferior aplastándola.
- Una corriente de aire o vapor es insuflado por el otro extremo a través del mandril y expande el material hasta llenar la cavidad del molde.
- El molde es enfriado para que el material se endurezca y la pieza mantenga su forma.
- Se abre el molde y se expulsa el recipiente fabricado.

1.1.5 Sobremoldeo

Es el nombre que recibe la técnica de añadir una nueva capa de material sobre una pieza inicialmente moldeada, utilizando de nuevo alguna técnica de moldeo. Suele ser habitual para formar capas de elastómeros sobre piezas de plástico inyectado.

1.1.6 Espumas

En lugar de soplar dentro del tubo plástico como en el procedimiento de soplado, se puede utilizar algún material que sea de por sí expansivo, en forma de espuma, e introducirlo en el molde hueco por un orificio, facilitando la extracción de aire por el mismo o por otro agujero.

Se da tiempo suficiente a la espuma para que se expanda por todo el molde y para que se polimerice endureciéndose lo suficiente como para poderla desmoldar sin que pierda ya su forma.

1.1.7 Moldeo por vacío

Para entender esta técnica piénsese en una bolsa de plástico con ropa dentro de la que se extrae el aire con una aspiradora doméstica: la bolsa toma la forma exacta del contenido al que quedará recubriendo.

Industrialmente el proceso de moldeo de plásticos por vacío es parecido:



Fig. 15 El estuche de la izquierda se ha formado a partir de una delgada lámina plástica sobre el molde de la derecha por vacío.

- Se dispone de un molde rígido negativo de la forma que se quiere dar a la pieza. El molde se mantendrá frío durante el proceso, por lo que no se requiere que

sea metálico.

- Se ajusta encima una lámina de material plástico en condiciones de admitir deformación: puede ser por estar caliente o puede encontrarse en una etapa temprana de endurecimiento por reacción química de sus componentes.
- Se extrae el aire entre el molde y la lámina. La presión atmosférica la aplastará para que tome la forma del molde.
- Se espera a que la lámina cambie su plasticidad, es decir, se endurezca y se pueda garantizar que conservará su nueva forma.
- Se despega del molde y se comienza de nuevo con otra lámina distinta.

Mediante el proceso de moldeo por vacío se fabrican, por ejemplo, los revestimientos interiores de frigoríficos y congeladores, y muchas piezas decorativas del interior de los automóviles.

1.1.8 Flotación

Es el procedimiento más utilizado para fabricar vidrio plano con el que hacer los cristales de las ventanas y los espejos domésticos.

- Se parte de una mezcla controlada de arena de sílice, ceniza de sosa, caliza y dolomía (roca sedimentaria formada a partir de plancton fósil con abundante magnesio), que se funde a partir de 1710°C. Incorpora también una parte de vidrio reciclado.
- Se vierte sobre un lecho de estaño fundido, que no reacciona con el vidrio, y que le da la planitud y el acabado liso necesario. El estaño es más denso, por lo que el vidrio flota sobre él. Es la fabricación por flotación.
- Después se saca, se corta y se enfría progresivamente sobre una cama de rodillos todavía en el interior del horno. Puede ser laminado después.



Fig. 16 Vertido y cortado del vidrio fundido [GUARDIANGLASS].

1.1.9 Laminado

Procedimiento de engrosar un material plano apilando capas de menor grosor, que pueden ser del mismo o de otro material. Se emplea para fabricar:

- Vidrio de características especiales, dándole color o incorporando filtros solares mediante capas interiores de plástico, que incluso se fracturan de una forma

menos peligrosa.

- Tablero contrachapado, cambiando la orientación de las vetas en cada capa para controlar la deformación natural de la madera.
- Madera estructural, de tipo laminado-encolado, compuesta de trozos perfectamente rectificadas y encolados entre sí, a alta presión, ideal para la fabricación de vigas y correas de cubiertas, cuyas características técnicas pueden incluso certificarse.

Esencial disponer de un comprobado sistema de adherencia entre capas, generalmente aplicado en caliente, y someterlas a presión suficiente para asegurar la unión perdurable entre ellas.



Fig. 17 Madera laminada-encolada para uso estructural.

Material	Madera laminada encolada combinada				Madera laminada encolada homogénea			
	GL 24c	GL 28c	GL 30c	GL 32c*	GL 24h	GL 28h	GL 30h*	GL 32h *
Valores de resistencia (N/mm²)								
Flexión ($f_{m,g,k}$)	24	28	30	32	24	28	30	32
Tracción: paralela ($f_{t,0,g,k}$)	17	19,5	19,5	19,5	19,2	22,3	24	25,6
Tracción: perpendicular ($f_{t,90,g,k}$)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Presión: paralela ($f_{c,0,g,k}$)	21,5	24	24,5	24,5	24	28	30	32
Valores de rigidez (N/mm²)								
Módulo de elasticidad: paralelo ($E_{0,g,mean}$)	11.000	12.500	13.000	13.500	11.500	12.600	13.600	14.200
Módulo de elasticidad: perpendicular ($E_{90,g,mean}$)	300	300	300	300	300	300	300	300
Módulo de cizalladura: $G_{g,mean}$	650	650	650	650	650	650	650	650
Valores característicos de densidad aparente (kg/m³)								
Densidad aparente $\rho_{g,k}$	365	390	390	400	385	425	440	440

* bajo pedido

Fig. 18 Resistencia certificada clases GL24, GL28, GL30 y GL32 según UNE-EN 14080.

1.1.10 Sinterizado

El sinterizado, también conocido como *pulvimetalurgia*, es un proceso que consiste en aplicar presión y alta temperatura, sin llegar al punto de fusión, a un material metálico en polvo. De esta manera el material se compacta y forma una pieza sólida dentro de un molde, del que adquiere su forma exacta.

El proceso consiste en lo siguiente:

- Preparación del polvo original: metales y aditivos en estado sólido (disolventes, ligantes, lubricantes), muy finamente triturados o molidos, dosificados con elevada precisión y adecuadamente mezclados.
- Vertido sobre el molde o inyección en él.

- Algunos aditivos pueden ser eliminados con procedimientos físico químicos en esta fase, como los ligantes, porque con el material ya en el molde no son necesarios.
- Sinterizado propiamente dicho, que es la transformación del producto en la pieza final por efecto de altas presiones y el calentamiento simultáneo a altas temperaturas. De esta manera se eliminan todos los poros o espacios entre partículas de material, que son sustituidos por más partículas del mismo material.

Este procedimiento es el que permite crear piezas con metales cuyo punto de fusión es muy elevado (wolframio 3410 °C, molibdeno 2610°C, platino 1770°C) pues resulta más sencilla y mucho más económica al requerir menos energía. El resultado son piezas muy perfectas y de propiedades físico químicas muy precisas, pero que no admiten ningún otro tratamiento posterior (por ejemplo, no se pueden soldar) ya que alteraría sus características.

Ideal para fabricar engranajes y piezas de geometría compleja o no al alcance de otros procedimientos de mecanizado.

1.2 Deformación plástica

1.2.1 Prensado

Mediante prensado se aplica presión al material de partida, lo que consigue en mayor o menor medida todas estos efectos:

- *Compactación*: mediante la presión se logra sustituir los poros entre partículas por partículas del mismo material. Así se logra darle otras propiedades distintas, como aumentar su densidad, o mejorarle las que ya tuviera, como incrementar la dureza.
- *Deformación permanente*: si la presión supera ampliamente el límite de elasticidad del material, la deformación entra en la zona plástica y se hace permanente una vez retirada la pieza de la prensa. La pieza adoptaría la forma en la que se dejó al retirar la presión.

La compactación es una deformación permanente.

- *Rotura*: presiones más allá del esfuerzo último ocasionan la estricción y rotura de la pieza, que resultaría así cortada o troquelada por el borde donde la presión fuera máxima.

Según predomine un efecto sobre los demás, la técnica de prensado recibe los nombres

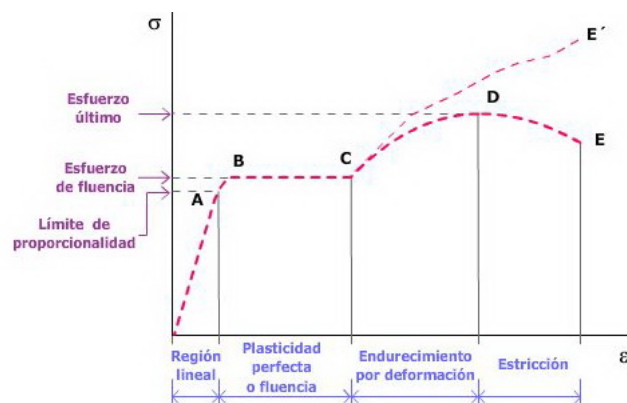


Fig. 19 Curva típica de esfuerzo aplicado σ frente a deformación producida ϵ

específicos de las operaciones que veremos a continuación:

- Compactación: calandrado, forjado, estirado y recalado.
- Deformación permanente: estampado, plegado, embutición.
- Rotura: cizallado, troquelado, repulsado.

1.2.2 Calandrado

Proceso que se emplea para la fabricación de chapas y películas plásticas continuas.

Consiste en pasar una masa de polímero entre una serie de rodillos calefactados, graduando velocidad, temperatura y presión para producir, tras el enfriado en los últimos rodillos, un cambio molecular permanente, que da a la película las propiedades deseadas.

Los vapores de PVC deben aspirarse y liberarse a la atmósfera altamente diluidos.



Fig. 20 Calandrado para fabricar lámina de vinilo.

NOTA DE SEGURIDAD:

Los vapores que se desprenden del calandrado del cloruro de polivinilo (PVC) son muy peligrosos, pues llevan una elevada proporción de cloro gaseoso Cl_2 . Este gas, al ser inhalado, reacciona con la humedad del aparato respiratorio, convirtiéndose en ácido clorhídrico HCl . Este ácido disuelve las mucosas y perfora los tejidos produciendo la muerte por hemorragia interna.

1.2.3 Forjado

Es un proceso de endurecimiento y formación de piezas de metal en el que la presión se aplica sobre material incandescente o muy caliente y a golpes. Es lo que hace el herrero con la clásica barra de acero incandescente, martillándola sobre el yunque, para fabricar una espada. Pero también se pueden dar golpes al material fundido para introducirlo en una matriz (molde) y que adopte la forma de esta.

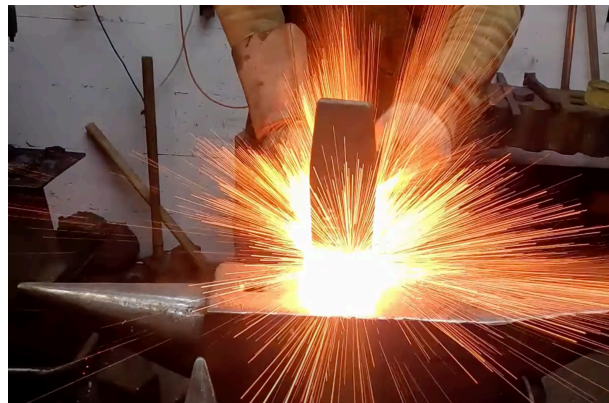


Fig. 21 Forjado del acero

La evolución que sufre el acero con esta técnica, combinada con la temperatura a la que se lleve a cabo y los cambios bruscos o graduales de ella, le confiere a la pieza mayor

resistencia que con el fundido o el sinterizado.

1.2.4 Estirado y recalado

También se parte de material incandescente o muy caliente, como en el forjado, pero no se aplica presión a golpes sino gradualmente mediante rodillos. El resultado es:

- *Estirado*: aumentar mucho una dimensión (largo) y reducir las otras dos (ancho y alto). Se emplea para adelgazar barras, perfiles estructurales y tubos.
- *Recalado*: acortar una dimensión (largo) para aumentar las otras dos. Usual en la fabricación de pernos y tornillos.

En la Fig. 22 se muestra el estirado de un tubo que atraviesa una matriz hacia la derecha. La pinza interior tira del tubo mientras que el molde interior lo obliga a aplastarse contra la matriz cónica (en forma de embudo decreciente). El resultado es un tubo más largo y de menor calibre que el original, y con el espesor deseado: puede ser similar o menor que el del tubo original.

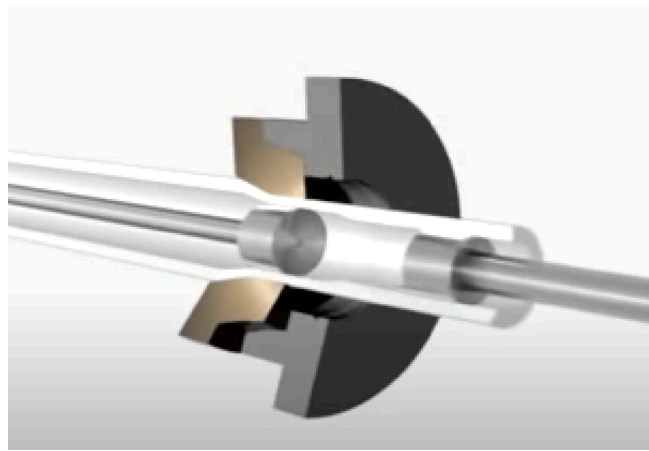


Fig. 22 Estirado de tubos

1.2.5 Estampado

Utilización de la presión, y a veces también el calor, para deformar permanentemente láminas de material que adoptarán la forma de la prensa (molde y contramolde). La secuencia típica es la siguiente:

- El material original se coloca sobre el molde abierto.
- Si el material es fácilmente maleable (deformable) un taco calentado y flexible aplica suficiente calor y presión para ablandarlo y ajustarlo al molde.
- Si el material requiere más presión entonces se le comprime con un contramolde, que tiene idéntico relieve que el molde pero invertido (las crestas pasan a ser huecos y viceversa), y se comprime mediante él, de manera que queda ajustado por una cara al molde y por la otra al contramolde.
- Si el proceso fue en caliente se requiere enfriamiento antes de retirar la pieza de la prensa.

Mediante estampado en caliente se moldean infinitud de piezas de plástico. En frío se estampan, por ejemplo, las carrocerías de los automóviles y los bastidores de los grandes electrodomésticos.



Fig. 23 A partir de una bobina de chapa se fabrica una puerta de coche por estampación.



Fig. 24 Pieza estampada.

1.2.6 Plegado

Las plegadoras, usualmente para doblar chapa metálica de acero o aluminio, comprimen el material mediante un punzón contra una matriz. Ambos tienen forma similar, pero uno es el negativo del otro.

La chapa sobrepasa su límite elástico en la zona de la doblez, de manera que al retirar la presión la deformación es permanente menos una ligerísima recuperación que hay que tener en cuenta.

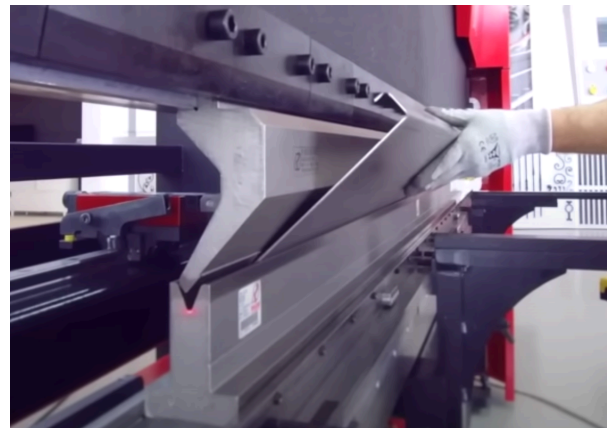


Fig. 25 Plegado de chapa metálica



Fig. 26 Máquina plegadora de chapa



Fig. 27 Detalle de matriz (inferior) y punzón (superior) de una plegadora

1.2.7 Embutición

Es un proceso de estampado extremo, normalmente en frío, que usando una técnica parecida a la del plegado transforma una lámina plana no demasiado gruesa en una pieza cóncava o hueca (Fig. 28):

- La matriz o molde es muy profunda, y el punzón es similar pero de geometría justamente negativa o inversa.
- El material a embutir debe ser enormemente maleable a la temperatura del proceso.
- El uso de lubricantes es inevitable.



Fig. 28 Piezas fabricadas por embutición profunda de chapa de acero inoxidable.

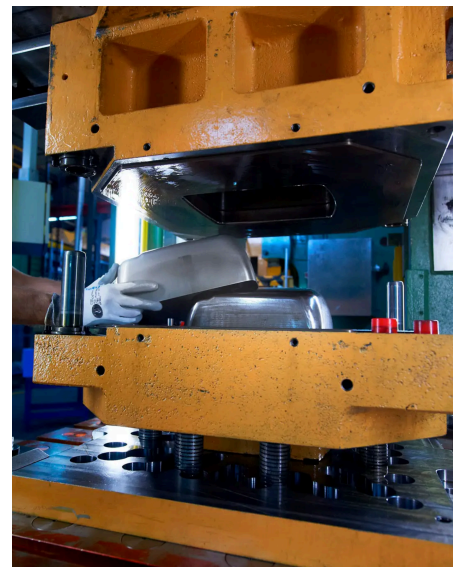


Fig. 29 Prensa para fabricar fregaderos por embutición.

1.2.8 Cizallado

La presión aplicada por el filo de una hoja muy dura es suficiente para llevar el material en la zona de contacto más allá de su punto de rotura. El esfuerzo transversal o cortante es elevadísimo. El resultado es un corte tanto más limpio (sin rebabas) cuanto más próximos están los dos bordes que imprimen el esfuerzo cortante a la lámina.



Fig. 30 Cizallado manual de una lámina metálica.

1.2.9 Troquelado

Se trata de producir agujeros apretando con un punzón de forma apropiada, que igual

que en la cizalladura, eleva tanto la presión en la línea de contacto que el material cede al esfuerzo cortante y se rompe.

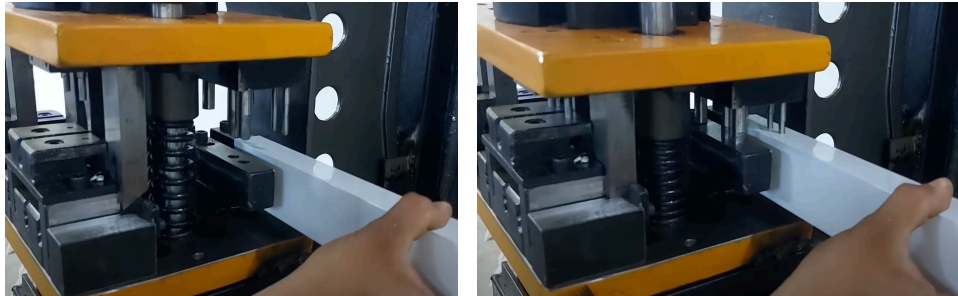


Fig. 31 Se coloca la pieza y se baja la prensa con los troqueles (los punzones)

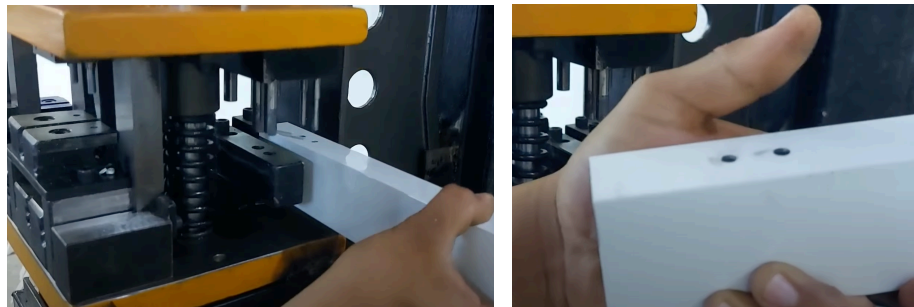


Fig. 32 Se levanta la prensa para retirar los troqueles y las perforaciones quedan hechas

1.2.10 Repulsado

Esta técnica consiste en deformar sobre una matriz simétrica una lámina metálica que gira a grandes velocidades en un torno. Se emplea para obtener objetos metálicos cóncavos sin la necesidad de costosos troqueles, como recipientes de cocina, trofeos, llantas de neumáticos e incluso instrumentos musicales.



Fig. 33 El operario va obligando hacia atrás a la lámina que gira a gran velocidad en el torno, hasta formar el recipiente que adopta la forma de la matriz utilizada.

1.3 Mecanizado por arranque de material

El material adopta la forma y naturaleza superficial definitivas mediante arranque de virutas por medios mecánicos usando herramientas con *filo*.

Las herramientas están dotadas de los siguientes movimientos.

- *Aproximación*: antes de entrar en contacto con la pieza a mecanizar.
- *Corte*: arranca viruta en cada revolución o carrera.
- *Avance*: desplazamiento de la herramienta con cada revolución. Combinado con el de corte posibilita el corte continuo.
- *Penetración*: determina la profundidad del corte y el espesor de la viruta.

Las virutas continuas tienden a atascar las herramientas y es conveniente romperlas. Para ello se mejora la geometría del filo o se le añade algún resalte postizo, que se llama *rompevirutas*.

1.3.1 Torneado

En un torno se pueden fabricar piezas generalmente de simetría radial: se parte de una pieza en bruto, normalmente de cualquier forma, y se la hace girar a gran velocidad mientras se la raya con punzones muy duros que le arrancan material.

A diferencia del repulsado, aquí se producen abundantes desperdicios en forma de virutas, pero el ruido es similar.

Mediante esta técnica se hacen multitud de piezas de máquinas, como acoplamientos y ejes de motores, aunque un artesano habilidoso ayudado de un torno dotado de control numérico puede fabricar incluso engranajes y tornillos de elevadísima perfección.



Fig. 34
Torneado artesano de un tronco de madera de peral

Las operaciones posibles en un torno reciben los nombre siguientes:

- *Cilindrado*: se mecanizan superficies cilíndricas moviendo la punta de corte sobre el carro longitudinal, perpendicular al eje del torno.
- *Mandrinado*: es el cilindrado interior, para hacer orificios concéntricos con el eje el torno.
- *Refrentado*: se mecanizan planos perpendiculares al eje del torno moviendo la punta de corte sobre el carro transversal, paralela al eje del torno.

- *Torneado de formas*: mediante el movimiento longitudinal y transversal de la punta de corte.
- *Ranurado y tronzado*: rebajar ranuras que no lleguen a cortar la pieza, o cortarla del todo para liberarla de la barra original.

1.3.2 Fresado

Modificación de piezas mediante una herramienta que incorpora una cabeza rotatoria dotada de uno o varios filos, llamada fresa, y que va arrancando el material con el que roza lateral o frontalmente.

Hay fresadoras cuya cabeza se mueve en 3 y hasta en 5 y 6 ejes, lo que permite crear piezas de geometrías muy complicadas. Las fresadoras más simples son fijas y es el material el que debe moverse contra ellas.

El avance y la velocidad de giro determinan el espesor de las virutas, y este fija el rendimiento de la herramienta en unidades de caudal (mm^3/s) de material arrancado.

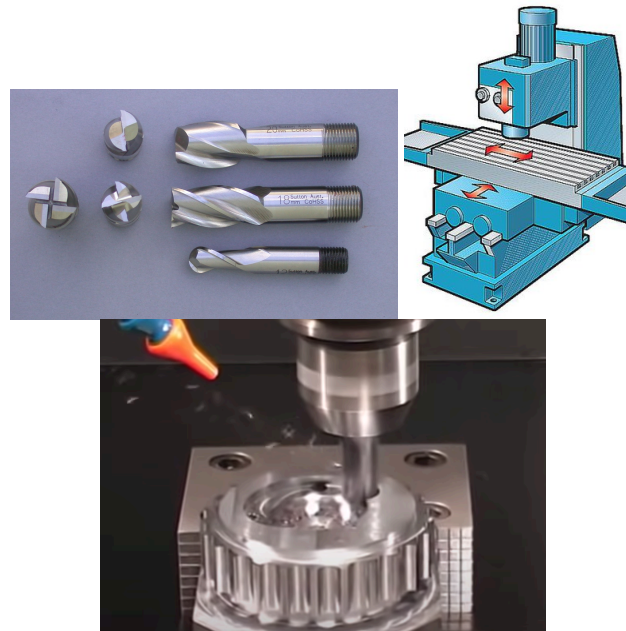


Fig. 35 Fresas de diferente forma y función (izquierda).
Fresadora automática mecanizando una rueda dentada (derecha).

1.3.3 Taladrado

Es probablemente la técnica de hacer agujeros más conocida. Se emplea una broca que penetra en el material arrancando virutas, animada por dos movimientos: circular sobre su eje longitudinal y de avance progresivo en un sentido, aunque a veces se fomenta un retroceso o rebote periódico para añadir un efecto percutor. Según el material a perforar, puede ser requerida lubricación.

La punta de la broca está afilada y corta el material definiendo un cono característico.

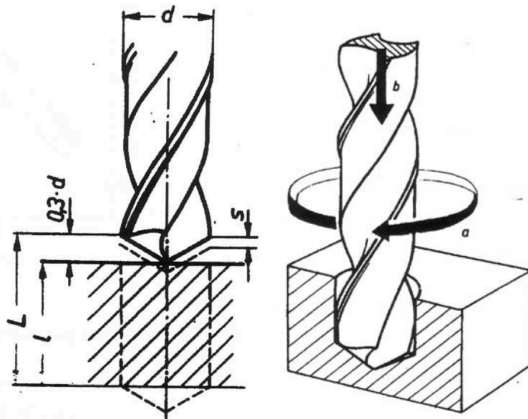


Fig. 36 Taladrado de orificios.

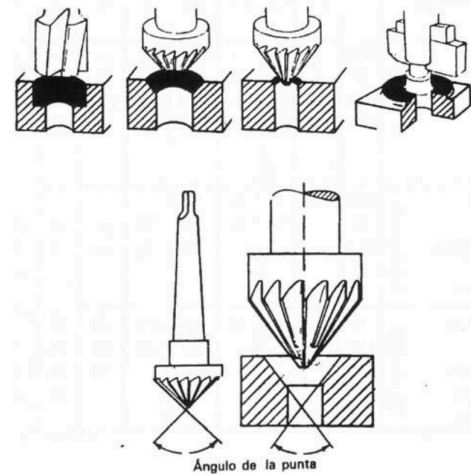


Fig. 37 Avellanado de la parte superior de un orificio.

El avellanado y escariado son variantes del taladrado, que tan solo con el cambio de broca permiten adecuar el orificio taladrado ensanchando solo su boca (avellanado) o todo el canal perforado (escariado).

El roscado mediante un macho roscador permite crear filetes de rosca en las paredes del orificio previamente taladrado para recibir tornillos. Cuando se hace a mano se utiliza un juego de tres machos (Fig. 39), cada uno de más diámetro que el anterior. A máquina se puede utilizar solo el último.

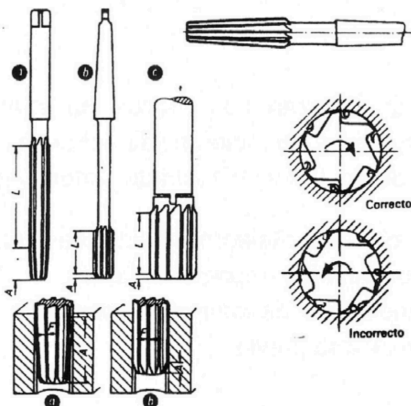


Fig. 38 Escariado del interior de un orificio.

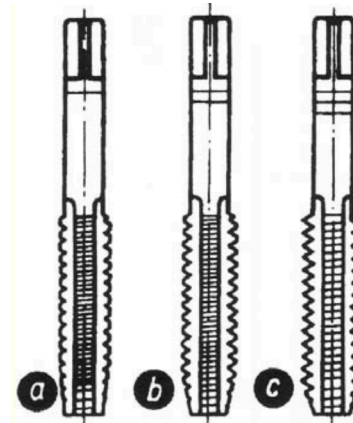


Fig. 39 Roscado del interior de un orificio.

1.3.4 Otras operaciones habituales

- *Rectificado*: operación que pretende conseguir superficies planas o con alguna forma especial (dientes de engranaje por ejemplo), utilizando un abrasivo de la forma requerida.

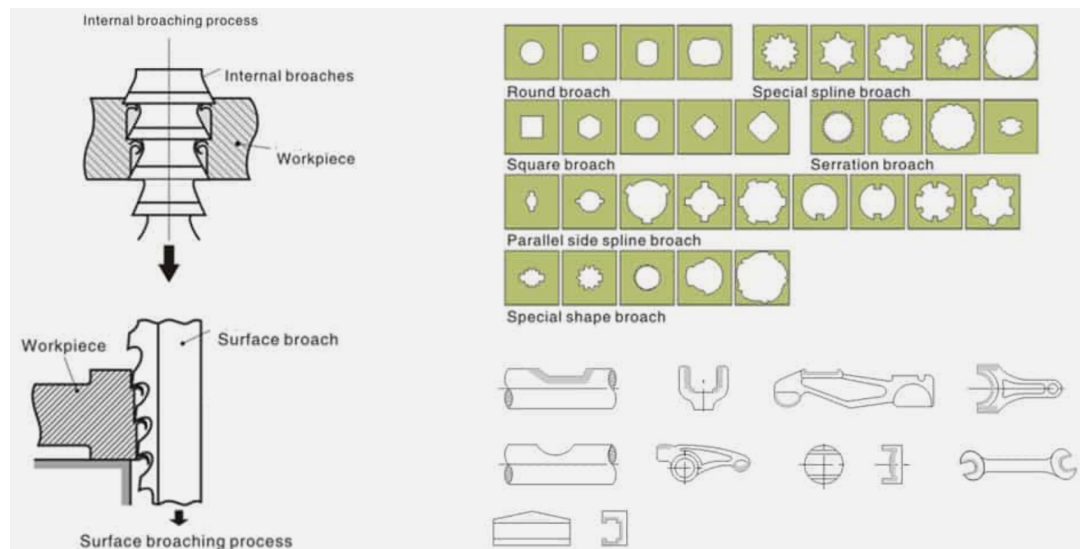


Fig. 40 Brochado [<https://broaching-machine.net/>]

- *Serrado*: corte empleando una hoja dentada, que puede ser una cinta lineal o un disco. Se requiere que al menos apoyen tres dientes en la superficie a serrar, pues de lo contrario la sierra no desliza y puede partirse. La sierra arranca viruta cuando se mueve en un sentido y la expulsa al moverse hacia el otro.
- *Brochado*: (Fig. 40) operación destinada a mecanizar ranuras, en el interior de orificios o en el exterior de ejes, empleando unas brocas multifilo llamadas brochas que, de forma similar a una sierra, arrancan material al entrar y lo expulsan al salir.

1.4 Mecanizado no convencional

1.4.1 Electroerosión EDM

Se trata de un proceso de corte de metales mediante un arco eléctrico entre el material y el electrodo (en inglés *Electrical Discharge Machining EDM*) en un baño de aceite. El arco crea instantáneamente temperaturas varias veces por encima del punto de fusión tanto de la pieza a cortar como del electrodo, y se vaporizan los dos. El proceso es el siguiente:

- Un pulso de tensión continua produce la ionización de un finísimo canal en el punto más próximo entre el electrodo y la pieza a mecanizar.
- Se produce una chispa eléctrica a través del canal ionizado. La energía concentrada en un punto minúsculo de la pieza y del electrodo los vaporiza a ambos.
- La fuente de tensión detiene el pulso y la chispa se apaga.
- El aceite se hace circular para retirar el material evaporado y el proceso se repite moviendo la punta (penetración, avance o ambos).

La punta del electrodo determina el volumen evaporado y la forma del corte. Pero también se puede utilizar electrodo en forma de hilo.

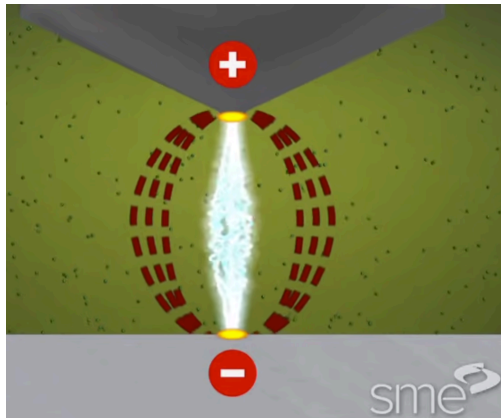


Fig. 41 Chispa entre un electrodo acabado en punta (arriba) y el material a cortar (abajo) en un baño de aceite (color verde)

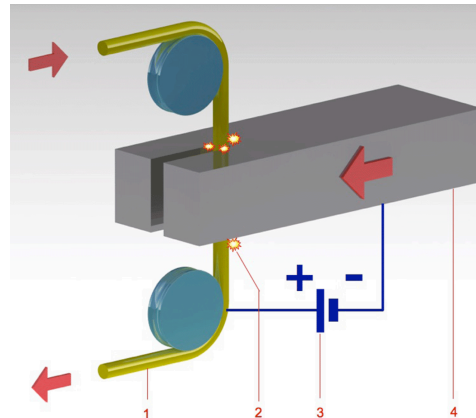


Fig. 42 El electrodo que corta puede ser un hilo, que se hace avanzar a medida que se desgasta, antes de que se rompa.

1.4.2 Grabado y corte por láser

Uso de un haz de luz coherente espacial y temporalmente (*), un *láser*, para aportar mucha energía a un punto muy pequeño de la pieza a mecanizar, que se vaporiza justo ahí. Una pasada es suficiente para grabar una marca en la superficie del material. Varias pasadas repetidas consiguen cortar espesores cada vez mayores.

(*) Coherencia espacial: el haz no se dispersa a medida que recorre distancia. Coherencia temporal: el espectro luminoso del haz implica un muy reducido rango de frecuencias luminosas (luz monocromática).

Algunos requisitos para lograr un adecuado rendimiento con esta técnica son:

- El movimiento del haz debe ser muy preciso, por lo que se requieren máquinas automáticas de control numérico.
- Si el material a cortar es buen conductor térmico la energía concentrada en el punto irradiado se difunde más aprisa y resulta más difícil cortar.
- Hay que conseguir que la pieza absorba la energía luminosa que se le irradia. Si el material es reflectante puede que no se consiga cortarlo.
- Puede ser necesario soplar mediante nitrógeno o algún otro gas inerte para retirar el material evaporado.

1.4.3 Haz de electrones

Una técnica muy similar a la del corte mediante rayo láser, en la que en lugar de fotones se irradia el material a cortar con electrones lanzados a muy alta velocidad. La fuente emisora es similar a un tubo de rayos catódicos, como los de las antiguas pantallas de televisión, donde un filamento libera electrones que un sistema de lentes magnéticas (solenoides) concentra y acelera. El corte es más fino y preciso que con el láser.

Este procedimiento sufre algunas restricciones que hacen que esté perdiendo utilidad:

- Se requiere mantener el más elevado vacío entre la fuente emisora de electrones y el material a cortar.
- Se ha de trabajar a muy altas tensiones, superiores a los 50 kV, lo que complica

la construcción de la máquina.

- En la descomposición del material irradiado se producen fotones muy energéticos, del espectro de los rayos X, contra los que hay que tomar las debidas precauciones.

1.4.4 Plasma

Procedimiento de corte de materiales eléctricamente conductores, que consiste en vaporizarlos usando un chorro muy acelerado de plasma.

El plasma es un gas que se calienta para llevarlo al cuarto estado de agregación de la materia, donde una elevada proporción de sus moléculas están momentáneamente ionizadas. Este estado se alcanza gracias a un arco eléctrico continuo (no pulsante, como en la electroerosión) entre la boquilla inyectora y el material a cortar.

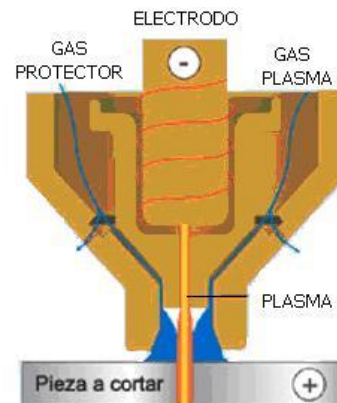


Fig. 43 Esquema de una boquilla inyectora de plasma.

La boquilla debe canalizar el plasma hasta la pieza a cortar formando un chorro lo más fino posible para permitir cortes delgados pero profundos, y para no destruirse enseguida debe estar fabricada con un material de elevado punto de fusión y nunca tocar la pieza a cortar. Un gas protector la refrigera, pues el plasma puede superar los 20 000°C.

2 TRATAMIENTO SUPERFICIAL

2.1 Acabados

Se trata de conseguir superficies con una *rugosidad superficial* determinada, no necesariamente reducida. La rugosidad se mide, con frecuencia, en función de la altura media cuadrática de los microrrelieves detectados en una zona de prueba a partir de una profundidad de nivelación o línea central.

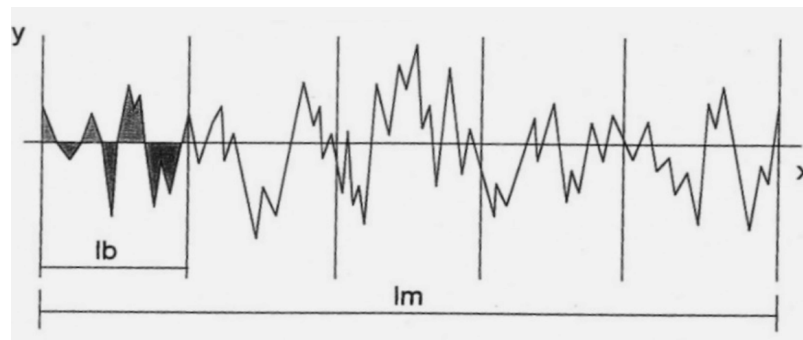


Fig. 44 Línea central y rugosidad. El eje vertical suele estar en μm .

La rugosidad media cuadrática se calcula según la expresión siguiente:



$$R_q = \sqrt{\frac{1}{lm} \int_0^{lm} y^2 dx}$$

Mientras que un serrado puede producir superficies con $R_q \approx 50 \mu\text{m}$, el pulido puede dar lugar a superficies con $R_q \approx 0.05 \mu\text{m}$, es decir, 1000 veces más suaves.

Las técnicas habituales de acabado superficial son:

- *Esmerilado*: consiste en frotar con esmeril, que es una amalgama de una resina aglutinante más elementos muy duros como el corindón, y en menor medida el rutilo y la magnetita. Se suelen esmerilar los vidrios, los metales o las piedras preciosas para fabricar joyas.
- *Cepillado*: usualmente de madera, consiste en rebajarla mediante pasadas sucesivas de una máquina dotada de una cuchilla giratoria. La suavidad del acabado suele ser directamente proporcional a la velocidad de rotación de la cuchilla, e inversamente proporcional a la profundidad del rebaje: virutas más pequeñas suelen implicar acabados más suaves, pero un rendimiento en rebaje considerablemente menor.
- *Lijado*: consiste en pasar un abrasivo llamado *lija* sobre una superficie considerablemente más blanda. El más habitual es el *papel de lija*, que es un papel grueso sobre el que se adhiere óxido de aluminio, carburo de silicio o corindón. Puede estar reforzado con una tela de fibras de poliamida para formar una *banda* para una lijadora motorizada. Algunos se deben utilizar mojados con agua.

Se fabrican con densidades de grano muy variadas (cuanta mayor es la densidad menor tiene que ser el tamaño del grano):

P12 a P36: grano muy grueso
Hasta P60: grano grueso
Hasta P120: grano medio
Hasta P220: grano fino
Hasta P360: grano muy fino
Hasta P600: grano extra fino
Hasta 1200: grano ultra fino

- *Limado*: rebajado progresivo mediante una herramienta manual llamada lima, que tiene poca capacidad de arranque de viruta. Por ello se utiliza para lograr ajustes de precisión en trabajos finos (joyería por ejemplo).
- *Pulido*: abrillantado de una superficie metálica utilizando medios abrasivos de grano extra o ultra fino, montado sobre soporte blando en forma de disco o banda.
- *Lapeado*: pulido en el que el abrasivo se espolvorea entre el soporte blando y la pieza metálica.
- *Granallado*: proceso mecánico en frío que consiste en bombardear una superficie a altísima velocidad, mediante propulsión con aire comprimido, con una enorme cantidad de bolitas (la granalla) de menos de 2 mm de diámetro. El granallado no elimina material, eleva la dureza superficial del material tratado, reduce el riesgo de rotura por fatiga y acondiciona la superficie para recibir recubrimientos (pinturas). La granalla suele ser acero con alto contenido de