TEMA 5

PROCESOS DE FABRICACIÓN CON ARRANQUE DE VIRUTA

Indice

- **1.-** Introducción
- **2.-** Herramientas de corte
- **3.-** Torneado
- **4.-** Taladrado
- **5.-** Fresado
- **6.-** Otros procesos de maquinado
- **7.-** Centros de maquinado
- **8.-** Maquinabilidad
- **9.-** Forma y tolerancia en el maquinado
- **10.-** Maquinado abrasivo
- **11.-** Maquinado no convencional

1.-Introducción

- El **maquinado** es un proceso de manufactura en el que **se usa una herramienta de corte para remover el exceso de material de una parte de trabajo, de tal manera que el material remanente sea de la forma y dimensiones deseadas**.
- Los procesos de mecanizado **se llevan a cabo en máquinas herramienta (MH**), utilizando herramientas de corte y elementos de sujección.
- **En la máquina herramienta se colocan y sujetan las herramientas y las piezas a mecanizar.**
- **Las herramientas de corte deben cortar el material en forma de viruta**, por lo que es preciso que soporten las fuerzas producidas en el corte y que presenten elevada dureza y resistencia al desgaste.

1.-Introducción

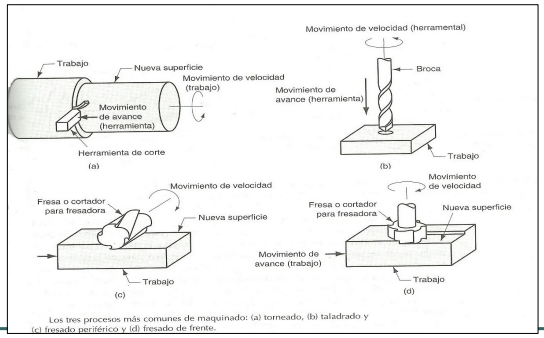
- El maquinado es uno de los **procesos más importantes de manufactura y se aplica más frecuentemente sobre metales**, aunque puede aplicarse a una amplia variedad de materiales.
- **Se pueden cortar por maquinado los plásticos, pero los cerámicos presentan dificultades debido a su alta dureza y fragilidad.** Sin embargo la mayoría **se pueden cortar mediante procesos de maquinado abrasivo** que se estudiarán más adelante.
- Se aplica para generar cualquier forma geométrica regular, como superficies planas, agujeros redondos y cilindros. También se pueden producir formas de variedad y complejidad ilimitada combinando varias operaciones.

1.-Introducción

- El **maquinado se realiza generalmente después de otros procesos de manufactura como fundición o deformación plástica**, dando lugar a la geometría, dimensiones y el acabado final.
- Para realizar la operación, **se requiere movimiento relativo entre la herramienta y el material de trabajo**, de forma que se produzca una interacción entre ambas.
- Este movimiento relativo se logra por medio de **un movimiento primario, principal,** más rápido, llamado **movimiento de corte** (que es aquel que sin el movimiento de avance sólo arranca viruta durante una revolución, si el movimiento es de rotación, o de una carrera si el movimiento es rectilíneo), y **un movimiento secundario** más lento, denominado **de avance**.
- Por último el **movimiento de penetración**, que determina la profundidad del corte, y por tanto el espesor de la viruta que se arranca.

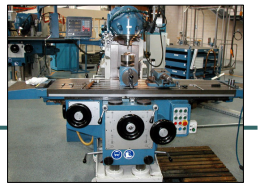
1.-Introducción

- Los tres tipos de operaciones más comunes son **el torneado** (a), **el taladrado** (b) y **el fresado** (c y d) (ver figura)



Los tres procesos más comunes de maquinado: (a) torneado, (b) taladrado y (c) fresado periférico y (d) fresado de frente.

1.-Introducción



- **Una máquina herramienta (MH) se define como una máquina compuesta que transmite trabajo y arranca viruta**. Así las diferenciamos de las máquinas compuestas que transmiten fuerzas (térmicas, eléctricas, hidráulicas…) y de las que realizando trabajo no arrancan viruta (corte, compresión…).
- Por lo tanto, **la misión de una MH es transformar la energía que recibe del exterior en la energía necesaria para la transmisión y la transformación del movimiento en corte, avance y penetración**.
- Las **MH convencionales** son manejadas por un trabajador, aunque las **MH modernas** están frecuentemente diseñadas para realizar sus procesos con un alto grado de automatización, bajo la forma denominada **control numérico (CN).**

1.-Introducción

- Como durante el mecanizado pueden presentarse **circunstancias que alteren las magnitudes establecidas en el proceso**, se hace preciso **regularlo**, es decir, que puedan corregir y establecer los valores prescritos.
- **El accionamiento** supone **una cadena abierta** formada por un conjunto de unidades consecutivas:

Preforma → Mecanizado → Pieza terminada

- **La regulación supone una cadena cerrada** ya que actúa sobre el mecanizado para restablecer los valores predeterminados si hay alguna alteración.

Magnitudes desajustadas → Zona de regulación → Magnitud regulada
Ajuste ↑ ↓Magnitud a regular
← Regulador ←

1.- Introducción

- **Una operación de maquinado requiere potencia**.
- Las fuerzas y las velocidades de corte que se encuentran en la práctica de esta operación pueden ser muy elevadas.
- **La potencia** (P = W) viene dada por el producto de la fuerza cortante (F_c = N) y la velocidad de corte (v = m/s):
- $\mathbf{P = F_c \cdot v}$
- **La potencia bruta** ($\mathbf{P_B}$) requerida para operar la MH es más grande que la potencia usada en el proceso de corte, debido a las pérdidas del motor y la transmisión de la máquina. Estas pérdidas se pueden contabilizar teniendo en cuenta la **eficiencia mecánica** (**E)** de la MH:
- $\mathbf{P_B = P/E}$

1.- Introducción

- Muchas veces es útil convertir la potencia en potencia por unidad de volumen ($\mathbf{P_u}$), denominándose entonces **potencia unitaria**:
- $\mathbf{P_u = P_B / MRR}$
- Siendo ***MRR*** (m^3/min) la **velocidad de remonición del material:** $\mathbf{MRR = vtw}$
- Por lo tanto, **la potencia unitaria** puede expresarse:
- $\mathbf{P_u = P/MRR = F_c v / (v t_0 w) = F_c / t_0 w}$
- En una **herramienta gastada, la potencia requerida para el corte es mayor**, traduciéndose en **valores mayores de potencia unitaria o energía requerida** para el proceso.

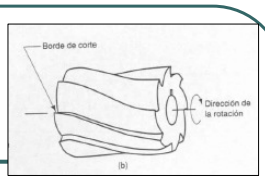
1.- Introducción

- **Ejemplo:**
- Determinar la potencia unitaria y la energía requerida para desempeñar el proceso de maquinado, si la velocidad de corte es de 200 m/min. Los datos de la pieza a maquinar son los siguientes: t_0 = 0.020 mm , w =0.125 mm y F_c= 350 N.
- La potencia de la operación: $P = F_c \cdot v = 350\ N \cdot 200\ m/min = 70000\ Nm/min$
- Por tanto, la potencia unitaria o energía requerida para la operación sería:
- $P_u = F_c/t_0 w = 350\ N / (0.020\ mm \cdot 0.125\ mm) = 140000\ N/mm^2$

1.-Introducción

- En el maquinado es **necesaria la refrigeración** puesto que **casi toda la energía que se consume** (aproximadamente el 98%) **es convertida en calor**, **provocando una temperatura muy elevada en la interfase herramienta-viruta**.
- Hay dos categorías de fluidos para el corte:
- **Los refrigerantes** son diseñados para reducir los efectos del calor en las operaciones de maquinado. Por lo general los refrigerantes son soluciones en **agua** debido a sus propiedades térmicas ideales. Son más **efectivas a altas velocidades de corte**.
- **Los lubricantes** son fluidos basados en **aceite**, por sus buenas propiedades lubricantes, formuladas para reducir la fricción en las interfases herramienta-viruta y herramienta-trabajo. Son más **efectivos a velocidades bajas de corte**.
- Uso habitual de la **taladrina**: mezcla de agua,

2.- Herramientas de corte



- Es **muy importante el diseño de la herramienta debido al ambiente en el que opera**. La herramienta debe tener **la geometría adecuada** para cortar el material y **debe hacerse de un material que sea más duro que el material de trabajo**. **Puede presentar uno o más filos cortantes.**

- Hay dos tipos básicos:
- **(a) Herramienta de una sola punta**, tiene un filo cortante y se utiliza para operaciones como el **torneado**.
- **(b) Herramienta de múltiples filos cortantes**, tiene más de un borde cortante y generalmente realizan su movimiento con respecto a la parte de trabajo mediante rotación. Las utilizan el **taladro** y el **fresado**.

(a) Herramienta de un filo para torneado

(b) Herramienta de múltiples filos para taladrado y fresado

2.- Herramientas de corte

- Hay **tres formas posibles de falla en una herramienta de corte** en maquinado:

- **1.- Falla por fractura:** cuando la fuerza de corte es excesiva en la punta de la herramienta.
- **2.- Falla por temperatura:** cuando la temperatura es demasiado alta para el material de la herramienta causando el ablandamiento en la punta, deformación plástica y pérdida de filo cortante
- **3.- Desgaste gradual:** ocasiona pérdida de la forma de la herramienta reduciendo la eficiencia del corte, desgaste acelerado y falla por temperatura.

- De las tres formas, **la falla preferible es el desgaste gradual**, debido a que permite una mayor utilización de la herramienta con la ventaja económica asociada.

- La falla repentina de la punta de la herramienta durante un corte, además de la pérdida prematura de la herramienta, provoca daños a la superficie, siendo necesario un nuevo maquinado.

2.- Herramientas de corte

- **Las propiedades más importantes que deben poseer los materiales para herramientas** son las siguientes:
- **1.- Tenacidad**: deben poseer alta tenacidad para evitar los fallos por fractura. (La tenacidad es la capacidad de absorber energía sin que falle el material. Se caracteriza por una combinación de resistencia y ductilidad).
- **2.- Dureza en caliente**: es la capacidad del material para retener su dureza a altas temperaturas.
- **3.- Resistencia al desgaste**: la resistencia al desgaste en el corte no sólo depende de la dureza de la herramienta, sino también de otros mecanismos de desgaste, como el acabado superficial de la herramienta, la composición química de la herramienta y de los materiales de trabajo, el uso de fluido para el corte,…

2.- Herramientas de corte

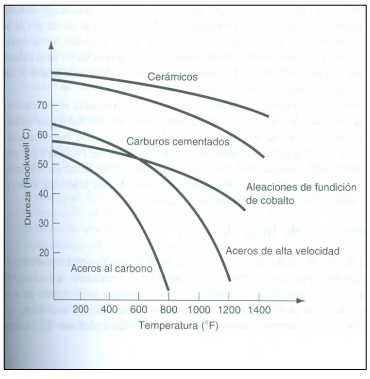
- Los **materiales utilizados para herramientas** en (MH) son:
- **1.-Aceros al carbono y de baja aleación**: antes del desarrollo del acero de alta velocidad, los únicos materiales para el corte de metales eran el acero al carbono y el acero de Mushet. En la actualidad se usan esporádicamente.
- **2.-Aceros de alta velocidad** (AAV o HSS): Son **aceros altamente aleados y capaces de mantener su dureza a altas temperaturas**. Existen varios tipos; tipo tungsteno=wolframio (contiene una combinación típica de 6% de tungsteno (W) y 5% de Mo).
- **3.-Aleaciones de fundición de cobalto**: que contienen de 40 a 50% de Co y 25-35% de Cr y Tungsteno 15 a 20% y trazas de otros elementos. La resistencia al desgaste es mejor que la del acero de alta velocidad, pero no tanto como la de los aceros cementados. La tenacidad y la dureza en caliente se sitúa entre los dos materiales.

2.- Herramientas de corte

- **4.-<u>Carburos cementados</u>**: Son fabricados a partir de carburo de tungsteno (WC) y manufacturados con técnicas de metalurgia de polvos en la que se utiliza cobalto como aglutinante.
- **5.-<u>Cerámicos</u>**: están compuestos por oxido de Al de grano fino y prensado y sinterizado a altas presiones y temperaturas.
- **6.-<u>Diamantes sintéticos y nitruro de boro cúbico</u>**: El diamante es el material más duro que se conoce. Según algunas medidas de dureza, el diamante es cerca de 3 o 4 veces más duro que el carburo de wolframio. Se fabrican mediante la sinterización de polvos finos de cristales de diamante granulado a altas temperaturas y presiones. No se utiliza aglutinante.

  Después del diamante, el material más duro que se conoce es el nitruro de boro cúbico, y su fabricación es prácticamente igual que para el diamante. Las herramientas fabricadas a base de diamante o nitruro de boro cúbico son muy costosas.

2.- Herramientas de corte

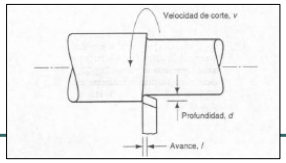


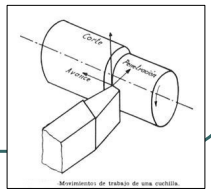
- Relaciones de dureza en caliente para materiales herramienta

2.- Herramientas de corte

- Existen **dos movimientos principales de la herramienta de corte:**
  (a) <u>Velocidad de corte</u>, más rápida (en el fresado)
  (b) <u>Velocidad de avance</u>, mucho más lenta (en el torneado)

- Dentro de la **<u>velocidad de avance</u> se considera <u>la profundidad de corte</u>, que es la penetración de la herramienta** de corte dentro de la superficie de trabajo.
- <u>Al conjunto de **velocidad de avance** y **profundidad de corte**</u> se denomina **<u>condiciones de corte</u>**.





2.- Herramientas de corte

- En la mayoría de las operaciones con herramientas de punta simple se puede utilizar el producto matemático para obtener **<u>la velocidad de remonición o eliminación de material del proceso (MRR)</u>.**

MRR = *v*fd

v= velocidad de corte (mm/seg); f ó a= avance (mm) y d= profundidad de corte (mm)

- **<u>La velocidad de corte (Vc)</u>** es la velocidad lineal relativa de la herramienta respecto de la pieza en la dirección y sentido del corte, se mide en m/min o mm/min y se calcula:
- **Vc = πDn** **n= Vc/π D**

n = velocidad de giro del husillo, por tanto las revoluciones de la pieza en el torneado, o de la herramienta en el fresado y taladrado, en rev/min

D = diámetro de la pieza (torneado) o de la herramienta (en taladrado y fresado)

2.- Herramientas de corte

- **El avance (a) es el desplazamiento relativo de la herramienta-pieza en cada revolución o carrera** y se expresa en mm.
- **La velocidad de avance, en mm/min,** se expresa**:** **Va = an**
- Va= velocidad de avance (mm/min) a= avance (mm/rev); n= velocidad de giro del usillo (rev/min)
- **La profundidad del corte o profundidad de pasada (p)** es la distancia que penetra la herramienta en la pieza. Se expresa en mm.
- **La sección de viruta** (**S**), en mm^2, se calcula a partir de la profundidad del corte:
- **S = ap**

2.- Herramientas de corte

- **La selección de la velocidad de corte en una operación de maquinado se basa en** aprovechar mejor la herramienta de corte particular, lo cual significa **escoger una velocidad que rinda una alta velocidad de remonición de material y que sea conveniente para una vida larga de la herramienta**.
- **Las fórmulas a aplicar** para estos estudios **tienen en cuenta:**
- **1.- La máxima velocidad de producción**
- **2.- El mínimo costo por unidad**, **buscando el balance entre la velocidad de remonición de material y la vida de la herramienta.**
- **Vamos a tomar como ejemplo una operación de torneado.**

2.- Herramientas de corte

- **1.- Maximización de la velocidad de producción:**
- **Para maximizar la velocidad de producción** se determina **la velocidad que minimiza el tiempo de maquinado por unidad** de producción.
- **En el torneado** existen tres **etapas que contribuyen a la duración** del ciclo:
- **1.- Tiempo de manejo de la parte (T_h):** el tiempo que toma el operador para cargar la parte en la MH y descargar la parte después de completar el maquinado.
- **2.- Tiempo de maquinado (T_m):** tiempo real en que la herramienta desempeña el maquinado.
- **3.- Tiempo de cambio de la herramienta (T_t):** al final de la vida de la herramienta, ésta debe cambiarse, lo cual toma tiempo.
- Este tiempo se calcula multiplicando el tiempo de corte por el tiempo de cambio de herramienta.
- **Este tiempo debe dividirse entre el número de partes que se produjeron durante la vida de la herramienta (n_p).**

2.- Herramientas de corte

- Por lo que el **tiempo del ciclo de la producción por pieza (T_c)**, min:
- $T_c = T_h + T_m + T_t/n_p$
- **El tiempo del ciclo (T_c) está en función de la velocidad de corte.**
- **Al incrementarse la velocidad de corte, T_m disminuye y T_t/n_p aumenta; T_h no es afectado por la velocidad.**
- **El tiempo de maquinado (T_m) en una operación de torneado recto o cilindrado,** está determinada por:

$T_m = L/V_a$ | $V_a = na$ | $T_m = L/na$ | $Vc = \pi Dn$ | $T_m = \pi DL/V_c a$

- Donde n = velocidad de giro del husillo (mm), D= diámetro de la parte de trabajo (mm), L= longitud de la parte de trabajo (mm), a= avance, (mm/rev), *v* = velocidad de corte (mm/min)

2.- Herramientas de corte

- **2.- <u>Minimización del costo por unidad</u>:**
- Es necesario determinar la velocidad que minimiza el costo de producción por unidad de producto.
- Los cuatro componentes que determinan el costo total por unidad durante una operación de torneado:
- **(a) Costo del tiempo de manejo de la parte**: es el costo del tiempo que ocupa el operador cargando y descargando la parte (C_0), de modo que el valor vendría dado por el producto: $\mathbf{C_0T_h}$
- **(b) Costo del tiempo de maquinado:** es el costo del tiempo que toma la herramienta para hacer el maquinado y viene dado por el producto: $\mathbf{C_0T_m}$

2.- Herramientas de corte

- (**c) Costo del tiempo de cambio de herramienta**, que viene dado por el producto C_0T_t/n_p
- **(d) Costo de la herramienta** que viene dado por el cociente: C_t/n_p
  El costo de la herramienta es afectado por diferentes situaciones particulares de la herramienta que se estudian en cada caso.
- **El costo total por unidad de producto (C_c)** vendría dado por la suma de los cuatro componentes de costo para el ciclo de maquinado:
- $C_c = C_0T_h + C_0T_m + C_0T_t/n_p + C_t/n_p$
- **El costo total de producto** (C_c), **al igual que el tiempo de producción** (T_c), **es una función de la velocidad de corte** (v).

2.- Herramientas de corte

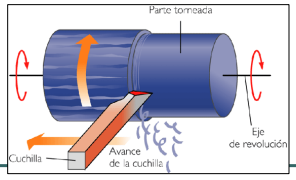
- **Al aumentar el tiempo de fabricación o el costo de las herramientas, las ecuaciones de la velocidad de corte producen valores más bajos**. Las velocidades más bajas permiten una mayor durabilidad de las herramientas.

- **En la práctica los criterios para seleccionar los avances y velocidades de maquinado son difíciles de aplicar:**
- La velocidad de corte óptima es difícil de calcular, porque son necesarios ensayos previos. Y los ensayos en un ambiente de producción son costosos.
- La mejor velocidad de avance es difícil de determinar porque las relaciones entre el avance y el acabado superficial, la fuerza, potencia… no están fácilmente disponibles para cada MH.
- **Se requiere por tanto, experiencia para seleccionar el avance y velocidades adecuados.**

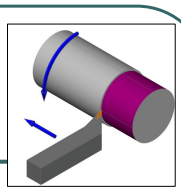
3.- Torneado

- **En el torneado** se utiliza una **herramienta con un borde cortante simple** destinado a remover material de una pieza de trabajo giratoria **para dar forma a un cilindro**.

- **En el torno se mueve la pieza, mediante un movimiento circular y continuo, mientras que la herramienta sólo avanza**. Es decir el **movimiento de velocidad de torneado lo proporciona la parte de trabajo giratoria**, y **el movimiento de avance lo realiza la herramienta de corte**, moviéndose lentamente en una dirección paralela al eje de rotación de la pieza de trabajo.



3.- Torneado

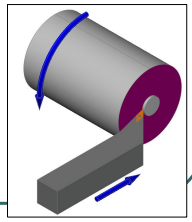


- Se pueden realizar una **gran variedad de operaciones de maquinado en un torno**:

- **1.- Cilindrado:** es una de las operaciones más habituales realizadas en el torno y consiste en la **reducción del diámetro de la barra que se está trabajando**. Para ello **el movimiento de avance de la herramienta es paralelo al eje de rotación del trabajo**.

- **2 .- Refrentado o careado**: la herramienta se desplaza perpendicularmente con respecto al eje rotatorio de la pieza para **crear una superficie plana**. (Figura a)

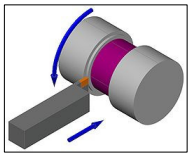
http://www.youtube.com/watch?v=MVnHti6LbkA&NR=1
http://www.youtube.com/watch?v=VXHib62jSHU&NR=1



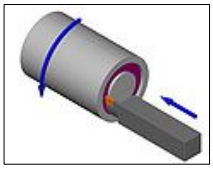
Herramienta para refrentar y cilindrar

3.- Torneado

- **3.- Ranurado:** operación que consiste en mecanizar unas ranuras cilíndricas de anchura y profundidad variable.
- **(a) Ranurado cilíndrico**: **la herramienta de corte se mueve radialmente, en dirección perpendicular al eje de rotación para realizar una ranura en una superficie cilindrada.**
- **(b) Ranurado frontal**: la **herramienta de corte avanza paralelamente al eje de rotación del trabajo, en una superficie refrentada**.

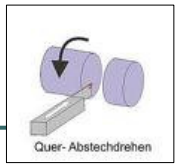


(a) Ranurado cilíndrico



(b) Ranurado frontal

3.- Torneado

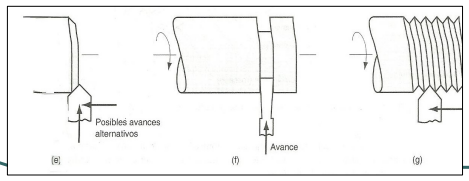


- **4.-<u>Tronzado</u>:** la herramienta **avanza radialmente dentro del trabajo en rotación**, en algún punto a lo largo de su longitud, **para trozar o cortar el extremo de la parte**. (Figura (f))

http://www.youtube.com/watch?v=3KsAOVjcmkc

http://www.youtube.com/watch?v=0VdM5pl-Khs

Herramienta para tronzado y ranurado

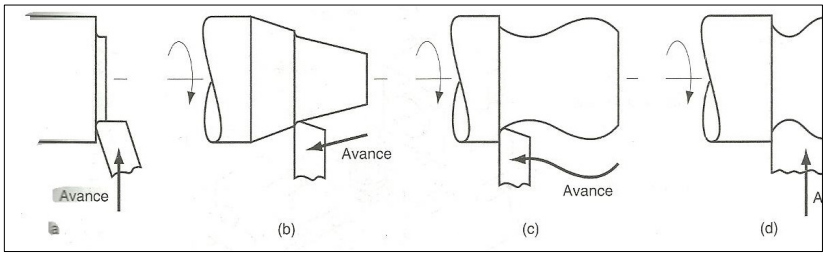


(e) Achaflanado ; (f) Tronzado; (g) Roscado

3.- Torneado

- **5.-<u>Torneado cónico o ahusado</u>**: la herramienta en lugar de avanzar paralelamente, lo hace **en cierto ángulo con respecto al eje de rotación del trabajo creando una forma cónica** (figura b).
- http://www.youtube.com/watch?v=tNx0CF_ZpbA
- **6.- <u>Torneado de contornos</u>:** en lugar de que **la herramienta avance** a lo largo de una línea recta paralela al eje de rotación **sigue un contorno diferente a la línea recta** (figura c)**.**
- **7.- <u>Torneado de formas:</u>** se llama algunas veces formado, **la herramienta tiene una forma que se imparte al trabajo y se hunde radialmente dentro del trabajo** (figura d)**.**

3.- Torneado

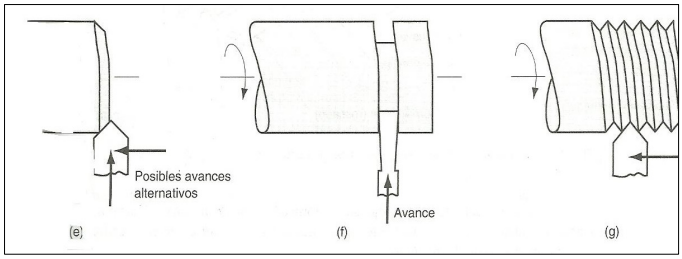


(a) Cilindrado ; (b) Torneado cónico; (c) Torneado de contornos; (d) Torneado de formas.

3.- Torneado

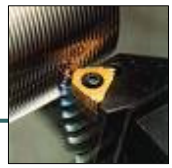
Herramienta para achaflanado

- **8.-<u>Achaflanado</u>**: la herramienta se usa para **cortar un ángulo en esquina del cilindro y forma lo que se llama un "chaflán".** (Figura (e))



(e) Achaflanado ; (f) Ranurado y Tronzado; (g) Roscado

3.- Torneado

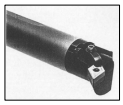


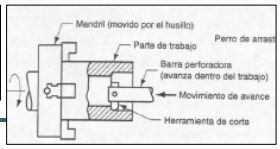
- **9.-<u>Roscado</u>**: una herramienta puntiaguda **avanza linealmente a través de la superficie externa de la parte de trabajo en rotación y en dirección paralela al eje de rotación**, **a una velocidad de avance suficiente para crear cuerdas roscadas** en el cilindro. (Figura (g))

Roscado exterior: http://www.youtube.com/watch?v=APDEalfOS1E

Herramienta para roscado externo

3.- Torneado





Perforado

- **10.-<u>Perforado</u>**: una **herramienta de punta sencilla avanza en línea paralela el eje de rotación**, **<u>sobre el diámetro interno de un agujero existente</u>** en la parte, esto es lo que lo diferencia del taladrado. (Figura h)

- **11.-<u>Taladrado</u>**: el taladro se puede ejecutar **en un torno haciendo avanzar la broca dentro del trabajo rotatorio a lo largo de su eje**. El escariado se realiza de forma similar (Figura i)

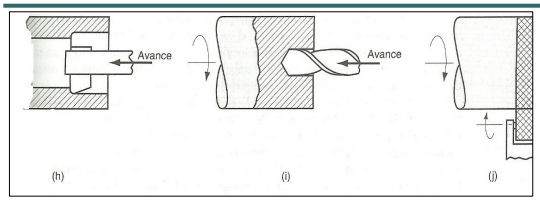
http://www.youtube.com/watch?v=nj7AJzhxEsc

- **12.-<u>Moleteado</u>**: **<u>no es una operación de maquinado</u> porque no involucra corte de material, <u>es una operación de formado</u> de metal que se usa para producir un rayado regular**. (Figura j)

http://www.youtube.com/watch?v=IN5n9l1v8_g

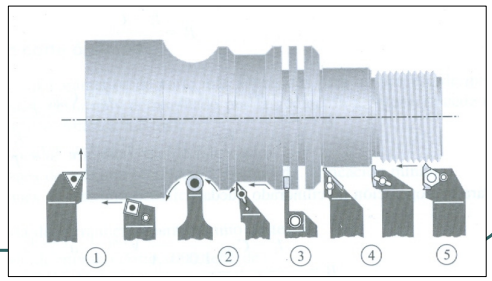
Moleteado

3.- Torneado



(h) Perforado; (i) Taladrado; (j) Moleteado

(1) Refrentado y cilindrado
(2) Torneado de formas
(3) y (4) Ranurado
(5) Roscado



3.- Torneado

- El torno básico usado para torneado y operaciones básicas es un **torno mecánico**. Es una herramienta muy versátil que se opera en forma manual y se utiliza ampliamente en producción baja y media.
- Los componentes principales de un torno mecánico son:
- **1.- El cabezal**: que contiene la unidad de transmisión que mueve el husillo que hace girar al trabajo.
- **2.- El contrapunto:** opuesta al cabezal en el cual se monta un centro para sostener el otro extremo del trabajo.
- **3.- Torreta:** sostiene la herramienta de corte y se encuentra fija al **carro transversal** que se ensambla al carro principal.

3.- Torneado

- **4.-Carro principal:** se diseña para deslizarse sobre las guías del torno a fin de hacer avanzar la herramienta paralelamente al eje de rotación.
- **5.-Guías**: rieles a lo largo de los cuales se mueve el carro.
- **6.-Bancada**: provee una armazón rígida para el torno mecánico.

3.- Torneado

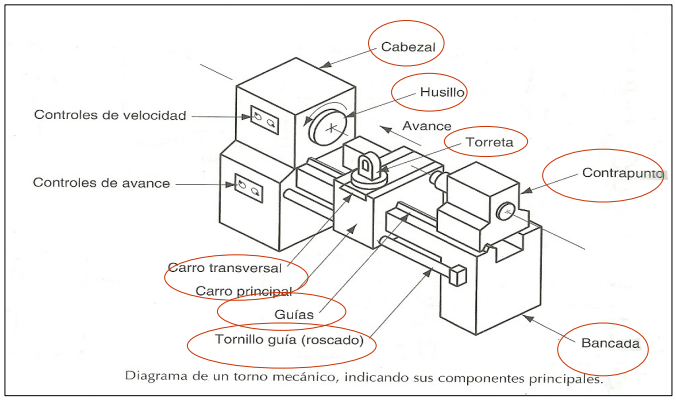


Diagrama de un torno mecánico, indicando sus componentes principales.

http://www.youtube.com/watch?v=BpJQ6tAnuaQ&feature=related

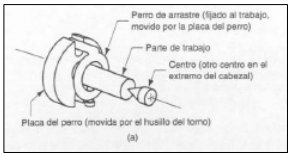
3.- Torneado

- El **cabezal** contiene la unidad de transmisión que **mueve el husillo que hace girar el trabajo.**
- **La herramienta de corte es sostenida por una torreta** que se encuentra **fija al carro transversal**, que **se ensambla al carro principal**.
- El **carro principal** se diseña para **deslizarse sobre las guías del torno** a fin de hacer **avanzar la herramienta paralelamente al eje de rotación**.
- **La guías** se construyen **sobre la bancada** del torno que provee una armazón rígida para el torno mecánico.
- **El carro** se mueve **por medio de un tornillo guía** sin fin que gira a la velocidad propia **para obtener la velocidad de avance** deseada.

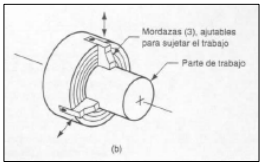
3.- Torneado

- **El carro transversal está diseñado para avanzar en una dirección perpendicular al movimiento del carro.**
- Al **mover el carro principal, la herramienta puede avanzar paralela al eje del trabajo** para ejecutar el torneado recto.
- Y **al mover el carro transversal**, **la herramienta puede avanzar radialmente dentro del trabajo para ejecutar el torneado o el refrentado**.
- Se pueden utilizar varios **métodos par sujetar las partes de trabajo** en el torno para centrarlas y mantenerlas en posición **sobre el eje del husillo** y hacerlo girar.
- **En el centro del cabezal** se fija una brida llamada **perro o plato de arrastre.**
- **El mandril tiene varios diseños, con tres o cuatro mordazas para sostener la parte cilíndrica sobre su diámetro exterior.**

3.- Torneado

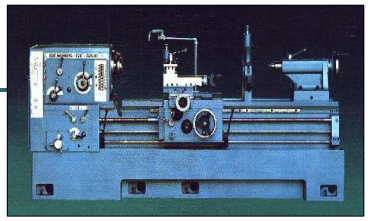


(a) Montado del trabajo usando un **perro**



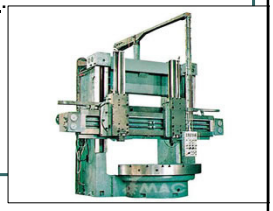
(b) **Mandri**l de tres mordazas

3.- Torneado



Torno horizontal

- El torno mecánico convencional es una **máquina de torneado horizontal**, es decir, el eje del husillo es horizontal. Esto es adecuado para la mayoría de los trabajos del torno, donde **la longitud es mayor que el diámetro**.
- Para trabajos donde **el diámetro es mayor que la longitud** es más conveniente utilizar las **máquinas de torneado vertical**.

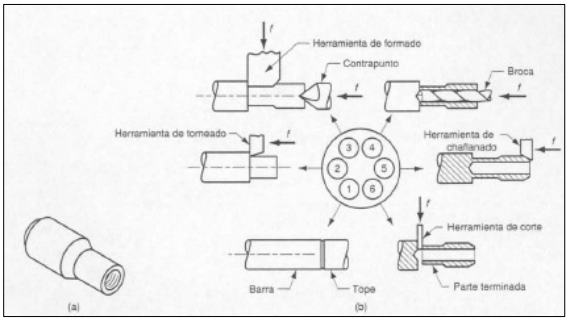


Torno vertical doble

3.- Torneado

- **Una máquina de barra automática constituye otro tipo de torno**, en la que se utiliza una boquilla que permite alimentar barras largas a través del cabezal en posición de trabajo.
- Al final de cada ciclo de maquinado, una operación de corte o tronzado retira la parte torneada.
- La barra se mueve entonces automáticamente hacia delante para presentar nuevo material para volver a trabajar.
- Las máquinas de barras pueden clasificarse como de husillo simple y de husillo múltiple.
- **(a) Máquina de usillo simple:** permite usar sólo una herramienta de corte a la vez por cada parte que se maquina, el resto de herramientas están ociosas.
- **(b) Máquina de husillo múltiple**: tienen más de un husillo de manera que muchas partes se pueden maquinar simultáneamente por muchas herramientas
- http://www.youtube.com/watch?v=tDc0l9Gm8D4

3.- Torneado



- **(a) Parte producida en una máquina de barras automática de seis husillos**
- **(b) Secuencia de operaciones para producir la parte**: **(1)** Avance del material hasta el tope, **(2)** Torneado o cilindrado del diámetro principal, **(3)** Formado del segundo diámetro y centrado, **(4)** Taladrado, **(5)** Achaflanado, **(6)** Tronzado

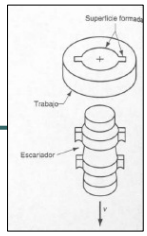
4.- Taladrado

- Es una operación de maquinado que se usa **para crear agujeros redondos** en una parte de trabajo.
- Se pueden crear agujeros completos y agujeros ciegos.
- Se realiza, por lo general, con una herramienta cilíndrica rotatoria, llamada **broca**, que tiene dos bordes cortantes en su extremo. **La broca helicoidal** es la más común.
- **La herramienta avanza dentro de la parte de trabajo estacionaria para formar un agujero cuyo diámetro está determinado por el diámetro de la broca.**

4.- Taladrado

- **Por tanto la herramienta o broca realiza los dos movimientos: el movimiento principal o de corte girando alrededor de su eje, y el movimietno de avance en la dirección de su eje.**
- Para **fijar la velocidad de corte en el taladrado es necesario determinar la velocidad de rotación de la broca por su diámetro.**
- Como **la fricción** entre la herramienta y la pieza es importante**,** es necesario utilizar **refrigerante (taladrina: compuesta por agua, aceite, anitoxidantes y otros componentes)**
- Existe la **complicación de eliminar la viruta**, puesto que se introduce dentro del orificio, sobre todo en los agujeros ciegos.

4.- Taladrado



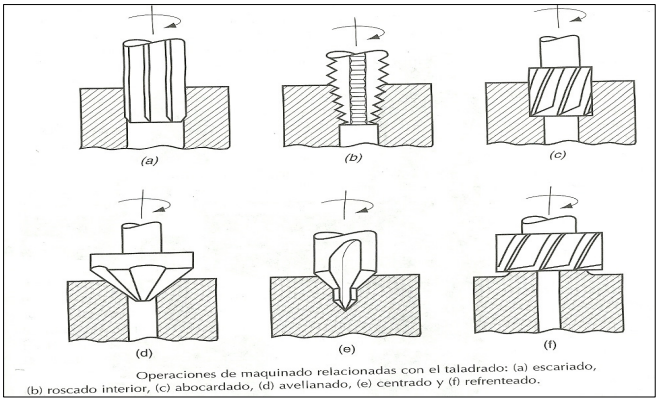
- **Varias <u>operaciones se relacionan con el taladrado</u>**.
- **Muchas de ellas <u>son posteriores al taladrado</u>**, es decir primero debe hacerse un agujero por taladrado y después modificarse por alguna de estas operaciones.
- **El centrado y punteado son excepciones**.
- **<u>Todas las operaciones usan herramientas que realizan un movimiento rotatorio</u>.**
- **1.- <u>Escariado:</u>** se usa para agrandar ligeramente un agujero, suministrar una mejor tolerancia y mejorar su acabado superficial. La herramienta se llama escariador. El escariado se puede llevar a cabo en una taladradora o en un torno.
- **2.- <u>Roscado interior:</u>** o roscado con macho, se usa para cortar una rosca interior en un agujero ya existente. **En las operaciones de roscado es importante que el taladrado inicial tenga un diámetro algo menor que el roscado final** y debe tener una profundidad algo mayo que la de la zona escariada.

4.- Taladrado

Herramienta para avellanado

- **3.- <u>Abocardado</u>:** Se produce un agujero escalonado en el cual un diámetro más grande sigue a un diámetro más pequeño.
- **4.- <u>Avellanado</u>**: es una operación similar al abocardado salvo que en el agujero tiene forma de cono (para tornillos y pernos de cabeza plana).
- **5.- <u>Centrado:</u>** también llamado taladrado central, esta operación taladra un agujero inicial, para establecer con precisión el lugar donde se taladrará el siguiente agujero.
- **6.- <u>Refrenteado</u>:** es una operación similar al fresado que se usa para suministrar una superficie maquinada plana en un área localizada del agujero.
- Muchos de estos procesos se pueden llevar a cabo en un torno o en una fresadora.

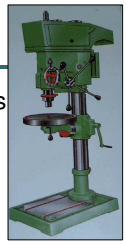
4.- Taladrado



Operaciones de maquinado relacionadas con el taladrado: (a) escariado, (b) roscado interior, (c) abocardado, (d) avellanado, (e) centrado y (f) refrenteado.

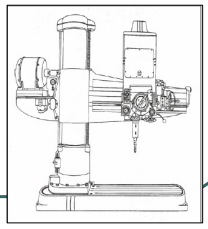
4.- Taladrado

- **<u>El taladro prensa</u> es la máquina estándar para taladrar**. Hay varios tipos de taladros, de los cuales **el básico es el vertical**.



Taladro prensa

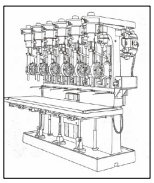
- **<u>El taladro radial</u>** está diseñado para cortar agujeros en partes grandes. Tiene la mesa de trabajo en la parte inferior para poder acomodar piezas grandes.



Taladro radial

4.- Taladrado

- **El taladro múltiple** es un taladro prensa que consiste básicamente en una serie de dos a seis taladros verticales conectados en una línea. Cada usillo se acciona de forma operaciones en serie (p.e: centrado, taladrado, escariado y roscado interior).



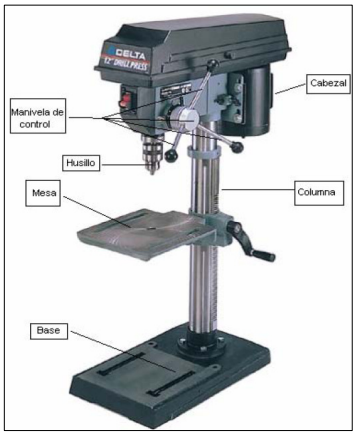
Taladro múltiple

- Existen también los **taladros de control numérico.**

Taladro CNC

- **Por último la mandrinadora**: la pieza se puede colocar en cualquier posición debajo del husillo. De esta forma se puede generar agujeros en cualquier posición sobre la pieza**.**

4.- Taladrado

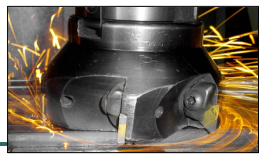


Partes de un taladro prensa

4.- Taladrado

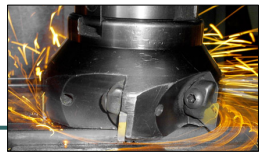
- **Condiciones de corte en el taladrado**
- El tiempo de corte en el taladrado se calcula, al igual que para el torneado, a partir de la siguiente expresión:
- $T_m = L/V_a$ $V_a = na$ $T_m = L/na$ $Vc = \pi Dn$ $T_m = \pi DL/V_c a$
- **La longitud total** en la que el filo de la broca arranca viruta es la longitud a taladrar más la longitud que tiene la zona de la punta de la herramienta.
- $L = L + 0.3D$
- A **este tiempo de corte habrá que añadirle** los tiempos de maniobra asociadas a la operación como son **el tiempo invertido en el movimiento de aproximación** y el **tiempo invertido en el movimiento de retroceso** de la broca una vez realizado el taladro.

5.- Fresado



- Es una **operación de maquinado en la cual se hace pasar una parte de trabajo enfrente de una herramienta cilíndrica rotatoria (fresa) con múltiples bordes o filos cortantes**.
- **El movimiento principal o de corte lo realiza la herramienta o fresa, y el movimiento de avance la pieza de trabajo (la mesa).**
- **En una operación básica de fresado el eje de rotación de la herramienta cortante es perpendicular a la dirección de avance del trabajo** y la herramienta o fresa, solamente gira. Esta es la característica que diferencia el taladrado del fresado.

5.- Fresado



- Como el **movimiento de la herramienta es circular**, hay un intervalo en el que ésta gira sin cortar hasta que alcanza el trabajo a maquinar, lo que supone que durante este tiempo **puede refrigerarse y el calentamiento es menor**, **pudiendo trabajar a mayores velocidades de corte.**

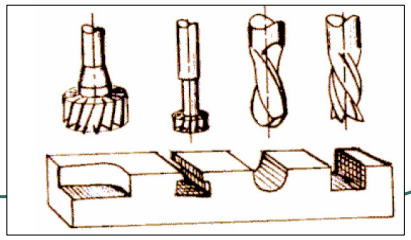
- **De todos modos la fricción entre fresa y trabajo es muy grande** por lo que es necesario **utilizar refrigerante (taladrina: compuesta por agua, aceite, antioxidantes y otros componentes.)**

5.- Fresado

- **La forma creada por el fresado es una superficie plana**. Se pueden crear otras formas mediante la trayectoria de la herramienta de corte o la forma de dicha herramienta. **El fresado es una de las operaciones de maquinado más versátiles y** ampliamente utilizadas

- El fresado es una **operación de corte interrumpido**; los dientes de la fresa entran y salen del trabajo durante cada revolución, interrumpiendo la acción de corte

- El **material de la herramienta y la geometría del cortador deben diseñarse para soportar estas condiciones**.



Fresas y formas generadas por éstas

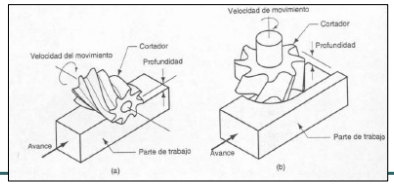
5.- Fresado

- **MOVIMIENTOS EN EL FRESADO**

- **A.- MOVIMIENTOS DE LA HERRAMIENTA**
- **El principal movimiento o movimiento de corte, habitualmente, lo realiza la herramienta y es el giro sobre su eje.**
- En algunas fresadoras también es posible variar la inclinación de la herramienta o incluso prolongar su posición a lo largo de su eje de giro.

- Hay **dos tipos básicos de operaciones de fresado** en **función del movimiento de la herramienta:**

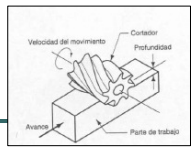
- **A.- Fresado periférico**
- **B.- Fresado frontal o en las caras**



(a) Fresado periférico; (b) Fresado frontal

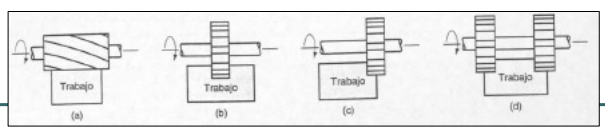
5.- Fresado

Fresado periférico de placa

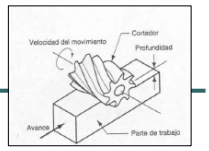


- **A.-Fresado periférico** : donde el **eje de rotación de la herramienta es paralelo a la superficie que se está maquinando y la operación se realiza por los bordes de corte, en la periferia exterior del cortador**.

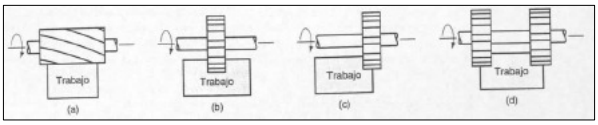
- **(a)- Fresado de placa**, la forma básica del fresado periférico, donde el ancho de la fresa se extiende más allá de la pieza de trabajo en ambos lados.
- **(b)- Ranurado**, donde el ancho de la fresa es menor que el ancho de la pieza de trabajo, creando una ranura en el trabajo.



5.- Fresado

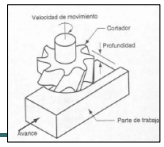


- **(c)- <u>Fresado lateral</u>**, donde la fresa maquina el lado de una pieza de trabajo.
- **(d)- <u>Fresado paralelo simultáneo</u>,** similar al fresado lateral, excepto que el corte tiene lugar en ambos lados del trabajo.



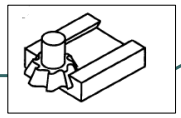
5.- Fresado

Fresado parcial frontal



- **B.- <u>Fresado frontal o en las caras:</u>** donde **el eje de rotación de la fresa es perpendicular a la superficie de trabajo y el maquinado se ejecuta por los bordes** o filos cortantes de la fresa.
- Se distinguen varios tipos:
- **1.- <u>Fresado frontal convencional</u>:** cuando **el diámetro de la fresa es más grande que el ancho de la parte de trabajo,** de manera que la fresa sobresalga al trabajo en ambos lados.
- **2.- <u>Fresado parcial frontal</u>:** donde **la fresa sobrepasa al trabajo sólo en un lado**.
- **3.- <u>Fresado terminal</u>:** donde el diámetro de la fresa es menor que el ancho del trabajo, de manera que **se corta una ranura.**

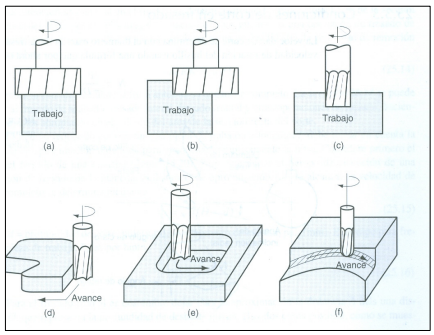
Fresado terminal



5.- Fresado

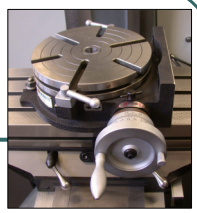
- **4.- <u>Fresado de perfiles</u>:** donde se **corta una parte plana de la periferia.**
- **5.- <u>Fresado de cavidades</u>:** donde se producen cavidades de formas planas.
- **6.- <u>Fresado de contorno superficial:</u>** la **fresa con una punta de bola**, en lugar de cuadrada, se hace avanzar hacia una lado y otro a lo largo de una trayectoria rectilínea.

5.- Fresado



(a) Fresado frontal convencional; (b) Fresado parcial frontal; (c) Fresado terminal; (d) Fresado de perfiles; (e) Fresado de cavidades; (f) Fresado de contorno superficial.

5.- Fresado



Mesa de trabajo giratoria

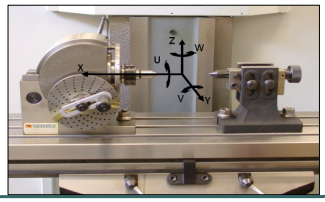
- **B.- MOVIMIENTOS DE LA MESA**
- **Puede haber fresadoras de tres, cuatro y hasta cinco ejes**
- **La mesa de trabajo** se puede desplazar de forma manual o automática con velocidades de avance de mecanizado, dando lugar al movimiento de avance.
- Para ello cuenta con una caja de avances expresados de mm/min, donde es posible seleccionar el avance de trabajo.

- **1.- Movimiento longitudinal: según el eje *X*,** que corresponde habitualmente al movimiento de trabajo.

- **2**.- **Movimiento transversal: según el eje *Y*,** que corresponde al desplazamiento transversal de la mesa de trabajo. Se utiliza básicamente para posicionar la herramienta de fresar en la posición correcta.

5.- Fresado

- **3.- Movimiento vertical: según el eje *Z***, que corresponde al desplazamiento vertical de la mesa de trabajo. Con el desplazamiento de este eje se establece la profundidad de corte del fresado.
- **4.- Giro respecto a un eje longitudinal: según el grado de libertad *U*.**
  Se obtiene con un cabezal divisor o con una mesa oscilante
- **5.-Giro respecto a un eje vertical: según el grado de libertad *W*.** En algunas fresadoras se puede girar la mesa 45º a cada lado, en otras la mesa puede dar vueltas completas.



Ejes posibles de una fresadora

5.- Fresado

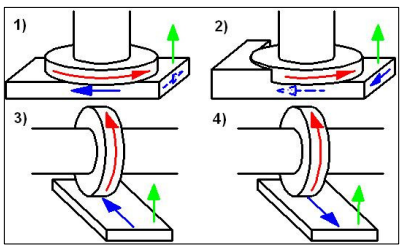
- **C.- MOVIMIENTO RELATIVO ENTRE LA PIEZA Y LA HERRAMIENTA**

- El movimiento relativo entre la pieza y la herramienta puede clasificarse en tres tipos básicos:
- **1.- El movimiento de corte** es el que realiza la punta de la herramienta alrededor del eje del portaherramientas.

- **2.- El movimiento de avance o aproximación** que puede realizar la herramienta desde la zona cortada a la zona sin cortar.

- **3.- El movimiento de profundización** de perforación o de profundidad de pasada es un tipo de movimiento de avance que se realiza para aumentar la profundidad del corte.

5.- Fresado

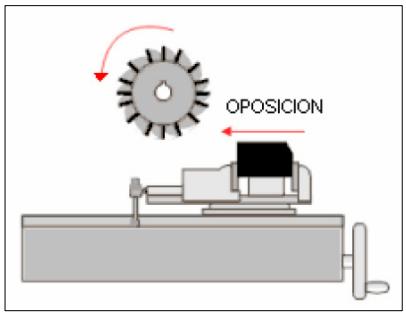


- **Movimientos básicos de fresado**.
- 1.- Fresado frontal (planeado)
  2.- Fresado en escuadra
  3.- Fresado tangencial o periférico en oposición o fresado normal.
  4.- Fresado tangencial o periférico en concordancia.

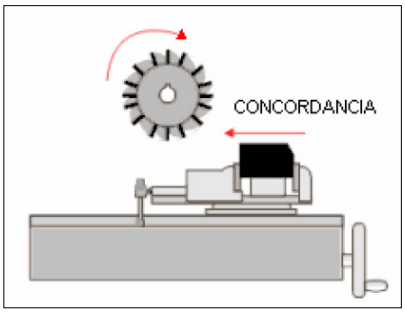
- **Movimiento de corte (herramienta o fresa).**
- **Movimiento de avance (el trabajo sujeto a la mesa).**
- **Movimiento de profundización (la mesa con la pieza).**

5.- Fresado

- Podemos distinguir **dos tipos de movimientos según la dirección de fresado:**

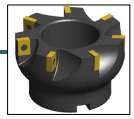


(a) Fresado en oposición:
Cuando el giro de la fresa y el avance de la pieza se oponen



(b) Fresado en concordancia:
Cuando el giro de la fresa y el avance coinciden

5.- Fresado



Fresa de planear

- **CLASIFICACIÓN DE FRESAS**
- **Fresas planas**, se usan en el **presado periférico de planchas**.
- **Fresas formadoras**, los **bordes cortantes tienen un perfil especial que imparten trabajo.** Sirven para fabricación de engranajes, formando la geometría del diente del engrane.
- **Fresas frontales**, con **dientes que cortan tanto lateralmente como en la periferia de la fresa.**
- **Fresas terminales**, se **parecen a una broca**. Se diseñan con extremos cuadrados, con radio y de bola y estos extremos pueden usarse para fresado frontal, de perfiles, cortar ranuras, grabar.

Ejes portafresas

5.- Fresado

Fresa formadora
Fresado periférico maquinando un piñón

Fresa plana
Fresa para chaveteros

Fresa para ranurar en T

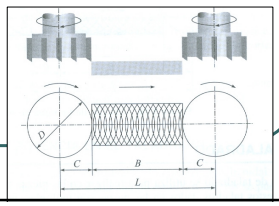
Fresas terminales

5.- Fresado

- **CONDICIONES DE CORTE EN EL FRESADO**
- La fórmula general para calcular **el tiempo de corte en el fresado** es:

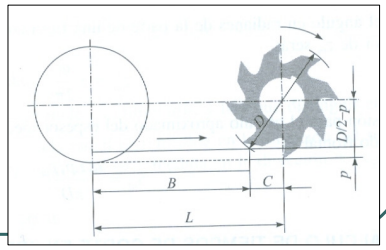
- $T_m = L / V_a$ | $V_a = na$ | $T_m = L / na$ | $Vc = \pi Dn$ | $T_m = \pi DL / V_c a$
- L=recorrido de la fresa (mm), V_a=velocidad avance en mm/min,V=velocidad corte(m/min)
- a = avance: $a = a_z z$ a_z = avance por diente (mm), z = número de dientes

- **(a) Fresado frontal:** el eje de la fresa es perpendicular a la superficie de trabajo.
- **El tiempo requerido para fresar una pieza de trabajo de longitud L debe tener en cuenta la distancia de aproximación requerida para enganchar completamente la fresa (C).**
- Por tanto la longitud L se calcula como L= C + B + C
- Donde C = C/2, por lo que:
- $L = D + B$



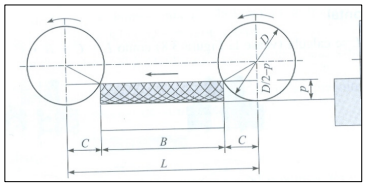
5.- Fresado

- **(b) Fresado cilíndrico**: el eje de la fresa es paralelo a la superficie de trabajo de la pieza.
- La longitud L = B + C
- Donde $C^2 = (D/2)^2 - (D/2-p)^2$
- Por tanto resulta:
- $C^2 = p(D-p)$; $C = \sqrt{[p\,(D-p)]}$
- En consecuencia:
- **$L = B + \sqrt{p(D-p)}$**



5.- Fresado

- **Fresado en escuadra:** esta operación es **a la vez frontal y periférico**
- L = B + 2C
- **$L = B + 2\sqrt{p(D-p)}$**



- Por último, **la velocidad de remonición de material en el fresado MRR** se determina usando el producto del área de la sección transversal del corte por la velocidad de avance:
- ***MRR = wdV*$_a$**
- w= ancho de la pieza, d = profundidad, V_a = velocidad de avance.
- Este cálculo ignora la entrada inicial de la fresa antes de su enganche completo.

5.- Fresado

Fresadora horizontal

- **MÁQUINAS FRESADORAS**
- Las máquinas fresadoras deben tener un husillo rotatorio y una mesa para sujetar, poner en posición y hacer avanzar la parte de trabajo.
- Se pueden clasificar:

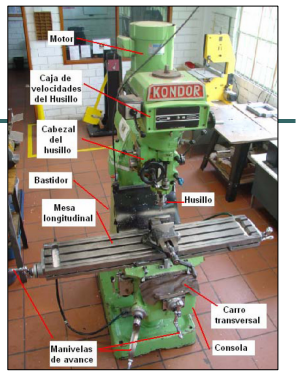
- (a) **Máquinas horizontales** (con **husillo horizontal,** paralelo a la superficie de la mesa, adecuadas para fresado periférico, p.e: fresado de planchas, rasurado, fresado lateral…)
  http://www.youtube.com/watch?v=v1yeiKHhwmk

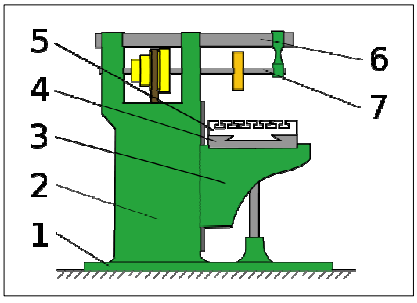
- (b) **Máquinas verticales** (con **husillo vertical**, perpendicular a la superficie de la mesa. Útil para fresado frontal, de acabado, de contorno, de superficies…).
- http://www.youtube.com/watch?v=r_E5W-y4fuw

Fresadora vertical

5.- Fresado

Esquema de una fresadora vertical



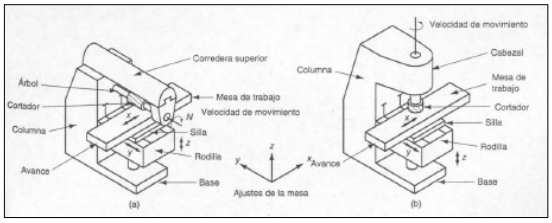


Esquema de una fresadora horizontal.
1.- Base (Base).
2.- Columna (Column).
3.- Consola (Console).
4.- Carro transversal (Transversal Carriage).
5.- Mesa (Table).
6.- Puente (Bridge)
7.- Eje portaherramientas (Axis Tool)

5.- Fresado

Cabezal universal

- Podemos clasificar las máquinas:
- **1.- <u>De rodilla y columna</u>:** es la **máquina básica para fresado**. Sus dos componentes son una columna que soporta el husillo y una rodilla (se parece a una rodilla humana) que soporta la mesa de trabajo.
- **Pueden ser verticales u horizontales**.

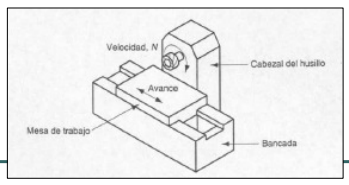


- Fresadora vertical: http://www.youtube.com/watch?v=r_E5W-y4fuw

5.- Fresado

- **Una característica de estas máquinas** que las hacen tan versátiles **es la capacidad de la mesa de trabajo para hacer avanzar el trabajo en cualquiera de los tres ejes x,y, Z.** La mesa se puede mover en dirección x, la silla en dirección y, la rodilla verticalmente en eje z.

- **2.- <u>Fresadora tipo bancada</u>:** se diseñan para la producción en masa. La mesa de trabajo está montada directamente a la cama de la MH, <u>limitando el posible movimiento longitudinal</u> de la mesa para pasar el trabajo por delante de la fresa. <u>Son más rígidas que las de columna y rodilla</u>.



5.- Fresado

- **3.- Máquinas tipo cepillo:** se construyen para maquinar partes muy grandes. Su apariencia general y su construcción son las de un cepillo grande, la diferencia es que en vez de llevar a cabo operaciones de cepillado llevan a cabo operaciones de fresado.
- **4.- Fresadoras CNC**: la trayectoria de la fresa se controla por datos numéricos. Para fresado de perfiles, de cavidades, de contorno de superficies, tallado en dados, en los que se debe controlar simultáneamente 2 o 3 ejes de la mesa de trabajo. Normalmente se requiere el operador para cambiar las fresas y cargar y descargar las partes de trabajo.
- http://www.youtube.com/watch?v=-06An5p-o60&feature=related
- http://www.youtube.com/watch?v=iiqOgN6AZ4M
- http://www.youtube.com/watch?v=ATxISidzWAk
- http://www.youtube.com/watch?v=oOZwJ1zugvU&feature=related

Fresadoras CNC

6.- Otras operaciones de maquinado

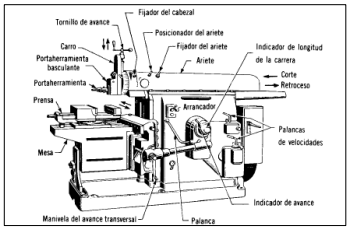
- Además del torneado, taladrado y fresado vamos a estudiar brevemente otras operaciones de maquinado:

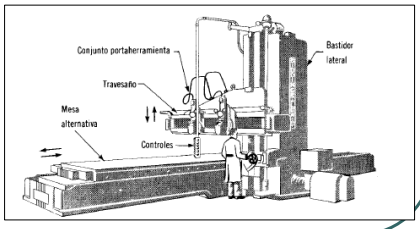
- **1.- Cepillado:** La MH se llama cepillo. Se utiliza **para mecanizar superficies planas** en piezas de grandes dimensiones.
- **Utiliza una herramienta de un solo filo**.
- **El movimiento principal de mayor velocidad (de corte) lo realiza el trabajo moviéndose de manera rectilínea, mientras que el movimiento de avance y aproximación lo realiza la herramienta**.
- Se utiliza para maquinar superficies largas y estrechas.
- **http://www.youtube.com/watch?v=HV1m91v_9Zg**

6.- Otras operaciones de maquinado

- **2.- <u>Limado</u>**: Consiste en arrancar viruta horizontalmente, a diferencia del mortajado que lo hace verticalmente, para mecanizar una superficie plana.
- **El movimiento principal, alternativo de ida y vuelta, lo realiza la herramienta, mientras que el movimiento de avance lo realiza la pieza o el trabajo**.

Limadora



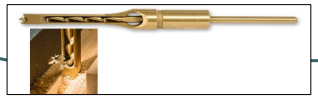


Cepillo de mesa

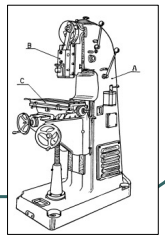
6.- Otras operaciones de maquinado

- **3.- <u>Mortajado</u>**: MH la mortajadora. **Arranca material linealmente del interior de un agujero.** Es muy utilizado **para realizar ranuras dentro de un orificio**.
- **Proceso denominado también: <u>limado vertical</u>**
- **<u>El movimiento principal de corte lo realiza la herramienta de manera rectilínea, con un solo filo</u> al igual que en el cepillado,** y el **<u>movimiento de avance lo realiza la mesa que sujeta la pieza a maquinar</u>.**
- Se utilizan para maquinar trabajos en series reducidas.
- Por ejemplo, se producen chaveteros (hueco que se mecaniza en las piezas para insertar las chavetas. Las chavetas son piezas que se introducen entre dos partes solidarias entre sí).
- http://www.youtube.com/watch?v=D2O4ve_k1v8

Broca mortajadora

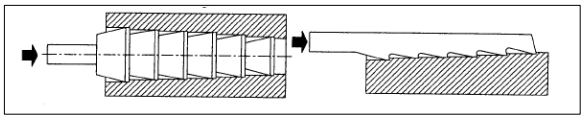


Mortajadora



6.- Otras operaciones de maquinado

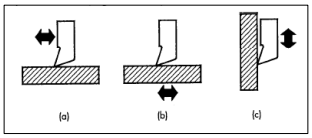
- **4.- <u>Brochado</u>**: MH brochadora. Consiste en la eliminación de material de la superficie **interior de un orificio** en una pieza, mediante **el <u>desplazamiento rectilíneo de una herramienta con filos múltiples</u>** en forma de barra llamada **brocha, que contiene una serie de aristas cortantes, escalonadas**.
- El brochado también puede ser exterior, pero no es tan frecuente. Por lo que lo normal, es que el brochado sea interior, y por tanto será previa una operación de taladrado.
- **<u>El movimiento de corte lo produce la brocha al avanzar, mientras que la pieza está fija</u>.**



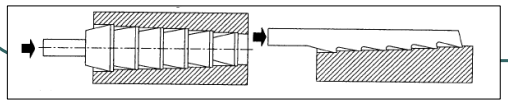
(a) Brochado interno (b) Brochado externo

6.- Otras operaciones de maquinado

- Se obtienen piezas mecanizadas en un tiempo muy inferior al tiempo de mecanización mediante torneado, taladrado, fresado o mortajado.
- Pero sólo resulta económico su empleo **para mecanizar grandes series**, ya que para cada perfil de brochado hay que fabricar una herramienta.
- http://www.youtube.com/watch?v=h8Lqh9mD-Rc



(a) y (c) Mortajado
(b) Cepillado



(a) Brochado interno
(b) Brochado externo

7.- Centros de maquinado

- Un **centro de maquinado es una máquina altamente automatizada capaz de realizar múltiples operaciones de maquinado en una instalación bajo CNC con la mínima intervención humana.**
- Las operaciones típicas son aquellas que usan herramientas de corte rotatorio como los cortadores y las brocas.
- Las fresadoras pueden realizar, disponiendo de los útiles adecuados: taladrado, escariado, mandrinado, mortajado (cambiando el cabezal de la fresadora por un mecanismo que sustituye el movimiento de rotación en un movimiento rectilíneo), etc,…

Fresa escariadora

7.- Centros de maquinado

- Las siguientes características hacen de estos centros de maquinado unas máquinas productivas:

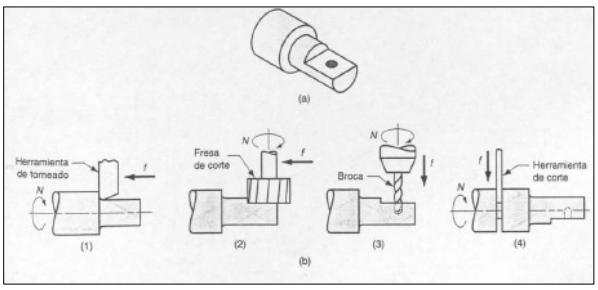
1.- **Cambio automático de herramientas**, para cambiar de una operación de maquinado a la siguiente.
2.- **Paletas transportadoras**, varias paletas que transfieren automáticamente la pieza de trabajo al husillo de la máquina.
3.- **Posicionamiento automático de las partes de trabajo**, para poner la parte formando un ángulo específico con respecto al husillo.

7.- Centros de maquinado

- **Según la orientación del husillo**, los centros de maquinado se clasifican en **horizontales, verticales o universales**.
- El éxito de los centros de maquinado CNC ha conducido al desarrollo de **centros de torneado CNC** que son capaces de desempeñar varias operaciones de torneado y operaciones relacionadas. Además pueden realizar: calibrado de partes de trabajo, control de vida de las herramientas, cambio automático de herramientas cuando se desgastan y cambio automático de partes de trabajo al final de cada ciclo.
- **El centro de torno y fresa CNC**, tiene la configuración de un centro de torneado y además puede posicionar una parte de trabajo en un ángulo específico, de manera que una herramienta de corte (p.e:una fresa) pueda maquinar formas en la superficie externa de la parte.

7.- Centros de maquinado

- **Operación de un centro de torneado y fresado**:
- **(a)** Ejemplo de una parte con superficies torneadas, fresadas y taladradas
- **(b)** Secuencia de operaciones en un centro de torneado y fresado: **(1)** Torneado o cilindrado de un segundo diámetro, **(2)** Fresado plano en una posición angular programada, **(3)** Taladrado de un agujero, **(4)** Corte.



8.- Maquinabilidad

- **Las propiedades del material de trabajo tienen una influencia significativa** sobre el éxito de la operación de maquinado.
- Estas propiedades y otras características del trabajo se resumen con el término de **maquinabilidad**, que se describe como la **facilidad relativa con la cual se puede maquinar un material usando las herramientas y las condiciones de corte apropiadas.**
- Para **evaluar la maquinabilidad** se usan varios criterios y los más importantes son:
- **(1)Vida de la herramienta**
- **(2)Fuerzas y potencia**
- **(3)Acabado superficial**
- **(4)Facilidad de eliminación de la viruta**

8.- Maquinabilidad

- Las **propiedades mecánicas** de un material de trabajo **que afectan la maquinabilidad** incluyen la **dureza y la resistencia**.
- Al **incrementarse la dureza de la pieza a maquinar** aumenta el desgaste abrasivo y **la vida de la herramienta se reduce**.
- Al **aumentar la resistencia del material** (se indica generalmente como resistencia a la tensión, aún cuando el maquinado implica esfuerzos cortantes), se aumentan las fuerzas de corte y la temperatura de corte, haciendo que **el material sea más difícil de maquinar**.
- Por otro lado, **una dureza muy baja puede dificultar el maquinado** y la **alta ductilidad produce desgarramientos del metal** al formarse la viruta, problemas en la eliminación de la viruta y un pobre acabado.

8.- Maquinabilidad

- La **composición química del metal** tiene un efecto importante sobre sus propiedades.
- **P.e:** el **contenido en carbono en un acero afecta** de la siguiente manera, **al aumentar el C, aumenta la resistencia y la dureza** del acero, reduciendo el maquinado. Muchos elementos de aleación se añaden para mejorar sus propiedades como el plomo, azufre y fósforo, pero algunos van en detrimento de su maquinabilidad como el cromo, el molibdeno y el tungsteno.
- **Las aleaciones de acero formuladas para mejorar la maquinabilidad se conocen como aceros de maquinado libre.**

9.- Forma y tolerancia en el maquinado

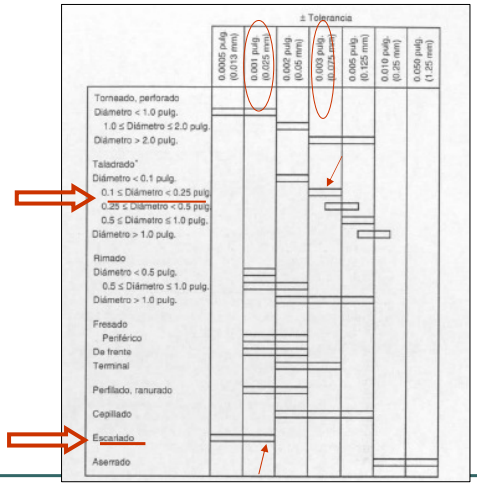
- Las operaciones de maquinado se usan para producir **partes de formas definidas con tolerancias y acabados superficiales que especifica el diseñador del producto**.
- **El maquinado es el más versátil de todos los procesos de manufactura por su capacidad de producir una diversidad de partes con geometría de precisión**. **La fundición** también puede producir variedad de formas, pero **carece de la precisión** y exactitud del maquinado.
- **En cualquier proceso de manufactura hay variabilidad y las tolerancias se usan para establecer los límites admisibles de esta variación**.

9.- Forma y tolerancia en el maquinado

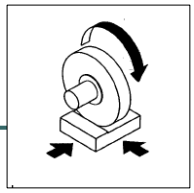
- **Cuando las tolerancias son pequeñas se selecciona frecuentemente el maquinado**.
- En general, **las tolerancias más cerradas significan costos altos.**

- **P.e:** si el diseñador de productos especifica una **tolerancia de ‡0.003 pulgadas** (‡ 0.076 mm) para el **diámetro de un agujero de 0.250 pulgadas** (6.35 mm). **Esta tolerancia podría lograrse con una operación de taladrado**.
- Sin embargo, si el diseñador especifica una tolerancia de **‡0.001 pulgadas** (‡ 0.025 mm), **entonces se necesitaría una operación adicional de escariado**.
- Consultar tabla diapositiva siguiente

9.- Forma y tolerancia en el maquinado



10.- Maquinado abrasivos: Esmerilado



- El maquinado abrasivo implica la **eliminación del material por la acción de partículas abrasivas duras** que están por lo general **pegadas a una rueda** que opera **a velocidades muy altas**.
- **El esmerilado es el proceso abrasivo más importante**. Otros procesos serían el rectificado, pulido, abrillantado, bruñido...
- Los procesos de maquinado abrasivo se usan generalmente como **operaciones de acabado**, aunque algunos de ellos son capaces de altas velocidades de remonición del material que rivalizan con las operaciones de maquinado convencional.

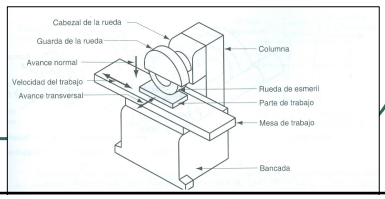
10.- Maquinado abrasivos: Esmerilado

- Las **ventajas** para la utilización de los procesos abrasivos son :

1.- Se pueden usar en todos los tipos de materiales, desde los metales suaves hasta aceros endurecidos, y en **materiales no metálicos** como **cerámicos y** silicio, que no era posible maquinarlos por los procedimientos anteriormente explicados por su alta fragilidad.

2.- Algunos de estos procesos se pueden utilizar para producir **acabados superficiales extremadamente finos**.

3.- Para ciertos procesos abrasivos **las dimensiones pueden mantener tolerancias extremadamente cerradas**.

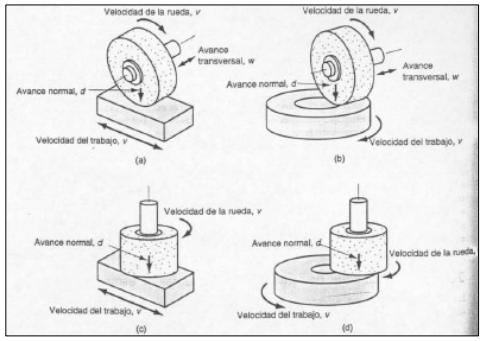


Esmeriladora con husillo horizontal

10.- Maquinado abrasivos: Esmerilado

- Por tanto, el esmerilado es un proceso de remonición del material en el cual las partículas abrasivas están contenidas en una rueda de esmeril aglutinado que opera a velocidades superficiales muy altas.
- **El esmerilado, al igual que en el fresado, el corte ocurre en la periferia o en el frente de la rueda de esmeril** (similar al fresado periférico y al fresado de frente). **Es mucho más común el esmerilado periférico**.
- Sin embargo **hay diferencias significativas entre el esmerilado y fresado**:
- **(a) Los granos abrasivos en la rueda son mucho más pequeños y numerosos que los dientes de una fresa.**
- **(b) Las velocidades de corte en el esmerilado son mucho más altas** que en el fresado.
- **(c) Los granos abrasivos en una rueda están orientados aleatoriamente**.
- **(d) Una rueda de esmeril es autoafilante**, las partículas abrasivas al desgastarse se fracturan para crear nuevos bordes cortantes.

9.- Maquinado abrasivos: Esmerilado



Cuatro tipos de esmerilado superficial: (a) (b) Husillo horizontal; (c)(d) Husillo vertical.

10.- Maquinado abrasivos: Esmerilado

- **La rueda de esmeril** consiste en muchos dientes cortantes (partículas abrasivas) y el trabajo avanza hacia esta rueda para lograr la remonición del material.
- Por tanto, una **rueda de esmeril** consiste en **partículas abrasivas y material aglutinante**.
- **Los materiales aglutinantes** mantienen a las partículas en su lugar y establecen la forma y estructura de la rueda. Los más usados son : **aglutinantes vitrificados** (formados por arcilla cocida y materiales cerámicos), **aglutinantes metálicos** (p.e de bronce), etc…

10.- Maquinado con abrasivos: Esmerilado

- **Los materiales abrasivos** deben incluir **alta dureza**, **resistencia al desgaste, tenacidad y fragilidad**.
- Los más importantes son: **Al_2O_3** para el acero; **SiC** es más duro que el anterior pero menos tenaz, se usa para esmerilado de metales dúctiles como el Al, latón o acero inoxidable, y para algunos materiales frágiles como algunas fundiciones de hierro y ciertos cerámicos; **CBN** (nitruro de boro cúbico) se utiliza para materiales duros como aceros de herramientas endurecido; **Diamante** se usa en forma natural o preparado sintéticamente y se utiliza para esmerilado de materiales duros como cerámicos y carburos cementados o vidrio.

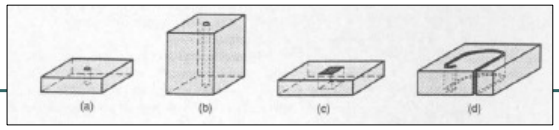
10.- Maquinado con abrasivos: Esmerilado

- **Otros procesos de maquinado con abrasivos, para mejorar el acabado de las superficies son:**
- **1.- <u>Bruñido</u>:** es un proceso de **<u>superacabado con arranque de viruta y con abrasivo</u> que se realiza con el objetivo de elevar la precisión y calidad** superficial de la pieza. Está indicado para el acabado de superficies cilíndricas interiores.
- **2.- <u>El rectificado</u>** es una operación de acabado igual que el bruñido, pero utiliza piedras abrasivas para mejorar el acabado de la superficie.
- Está indicado para el acabado de superficies planas (**rectificado plano**) o bien para superficies cilíndricas sin sujeción de la pieza (**rectificado sin centros**)
- **<u>3.- Pulido y abrillantado</u>**

11.- Maquinado no convencional

- Los **procesos de maquinado no convencionales permiten obtener trabajos con geometrías de características especiales o de materiales que no se procesan con facilidad mediante las técnicas convencionales**.

- Por ejemplo:
- **(a) Orificios muy pequeños** (diámetros menores de 0.125 mm o 0.005 pulg). No es posible encontrar una broca con este diámetro y por tanto habría que utilizar el mecanizado con rayo láser.
- **(b) Orificios cuya relación profundidad/diámetro es grande**.
- **(c) Orificios que no son redondos**, y por lo tanto no pueden taladrarse con una broca de taladro rotatorio.
- **(d) Corte de ranuras estrechas**, que no son necesariamente rectas
- **(e) Creación de contornos especiales.**
- **(f) Micromaquinado**, operaciones de remonición en pequeñas áreas de trabajo

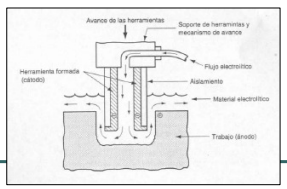


11.- Maquinado no convencional

- Los procesos de maquinado convencionales como el torneado, taladrado o fresado, usan una herramienta de corte afilada para formar viruta de un trabajo mediante deformación por una fuerza cortante.
- **Los procesos de maquinado no convencional utilizan la energía mecánica, térmica o química, o la combinación de ellas, para remover el material**.

11.- Maquinado no convencional

- **1.- Los procesos de maquinado que utilizan la egía mecánica** son el maquinado ultrasónico, el corte con chorro de agua, etc..
- **2.- Los procesos de maquinado que utilizan la egía. eléctrica** son aquellos donde **el material de una pieza de trabajo conductor de la electricidad se elimina por medio de una disolución anódica** obteniendo la forma de la pieza de trabajo **a través de una herramienta formada por electrodos, muy próximos al trabajo, pero separado de él mediante un electrolito** que fluye con rapidez. Este proceso se denomina **maquinado electroquímico**.



Maquinado electroquímico

11.- Maquinado no convencional

3.- <u>Los procesos de maquinado que utilizan egía. térmica</u> se caracterizan por **temperaturas locales muy altas, con calor suficiente para remover material mediante fusión o vaporización**.

- Debido a las altas temperaturas producen daños físicos y metalúrgicos en la nueva superficie de trabajo, a veces se requiere un proceso posterior para alisar la superficie, ya que el acabado es muy pobre.
- Los procesos más importantes son: **maquinado por descarga eléctrica, con haz de electrones, con rayo láser, etc**…

11.- Maquinado no convencional

4.- <u>Los procesos de maquinado químico</u>, se produce la remoción del material **mediante el contacto con sustancias de ataque químico fuerte**, donde la pieza **se sumerge en un material de ataque químico que afecta aquellas porciones de la superficie de la pieza que no están protegidas previamente**. Como protectores se utilizan el PVC (cloruro de polivinilo), polietileno u otros polímeros.