

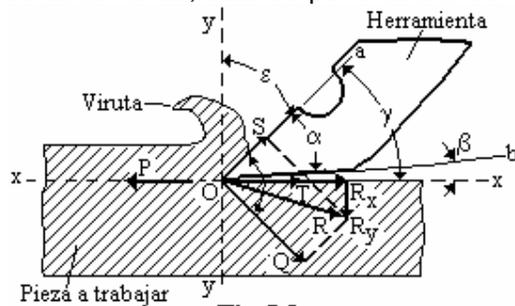
**GENERALIDADES:** Mediante la aplicación de potencias considerables, las máquinas herramientas realizan el trabajo específico de modificación de la forma de los cuerpos o piezas sobre las cuales actúan, mediante el *corte* o *arranque* del material de las mismas. Utilizan elementos especiales de gran resistencia llamados *herramientas de corte*, las cuales poseen filos cortantes en algunos de sus extremos, con los que se introducen en el material a cortar, arrancando trozos del mismo en formas de hojas, rizo, granillo, aguja, etc., el cual recibe el nombre de *viruta*. Según la cantidad de filos cortantes que posean, las herramientas pueden clasificarse como:

- a) Herramientas de corte de un solo ángulo de filo.
- b) Herramientas de corte con ángulos de filos múltiples.

Son varios los factores de los cuales depende el comportamiento de las herramientas de corte, como ser el tipo de filo de corte, ángulo de corte, velocidad de movimiento de la pieza o de la herramienta, enfriamiento, etc. Pero en forma fundamental depende del material del que está construida la herramienta de corte.

### **Fuerzas de corte en el mecanizado de metales**

**Herramientas de corte frontal:** este tipo de herramientas es el utilizado por las máquinas limadoras, cepilladoras, mortajadoras y otras de formas de trabajo similares, donde el desplazamiento de la herramienta se realiza en forma rectilínea y paralelamente al plano de la pieza a trabajar, o viceversa, arrancando durante el desplazamiento en la carrera activa, una viruta de espesor  $e$ . La herramienta posee en el extremo activo una uña o borde cortante frontal, estando por el otro extremo firmemente sujeta para permitir el trabajo.



**Fig.5.1**

Si se observa la figura (Fig.5.1), la herramienta incide como una cuña sobre el material de la pieza sobre la cual trabaja, arrancando parte de él en forma de viruta. La herramienta consta de una *cara anterior*  $Oa$  y una *cara posterior*  $Ob$ , las cuales determinan el *ángulo de filo*  $\alpha$  de la cuña de corte. La herramienta incide sobre el material formando con su cara posterior  $Ob$  y la línea de corte  $xx$  de la pieza el *ángulo de incidencia*  $\beta$ , el cual sumado al ángulo de filo  $\alpha$ , forman el *ángulo de corte*  $\gamma$ . Entre la cara

anterior  $Oa$  y la perpendicular  $yy$  a la línea de corte  $xx$  se forma el *ángulo de despojo*  $\epsilon$ . Al incidir la cuña formada por el filo de la herramienta, el material de la pieza trabajada es cortado, de tal forma que en el arranque de la viruta se producen sobre la herramienta los siguientes esfuerzos: 1- *Esfuerzo de corte*  $T$ , el cual utiliza la mayor parte de la potencia de la máquina herramienta. Es realizado en la dirección de la trayectoria del movimiento, siendo directamente proporcional a la resistencia a la rotura del material de la pieza que se trabaja, a la longitud de la arista de corte y al espesor de la viruta arrancada. 2- *Esfuerzo de deformación*  $Q$ , que actúa en forma perpendicular a la cara anterior  $Oa$  de la herramienta, dependiendo de la elasticidad del material a arrancar, siendo directamente proporcional a la longitud del filo cortante y al espesor de la viruta e inversamente proporcional al ángulo  $\epsilon$  de despojo. 3- *Esfuerzo de roce o resbalamiento*  $S$ , que se produce por el rozamiento de la viruta sobre la cara anterior  $Oa$  de la herramienta, aumentando al aumentar  $Q$  y disminuyendo con la disminución del ángulo de incidencia  $\epsilon$ .

$Q$  y  $S$  son componentes de fuerza  $R$ , la cual a su vez puede descomponerse en la fuerza vertical  $R_y$  y en la fuerza horizontal  $R_x$ , perpendicular y paralela respectivamente a la trayectoria de corte.

La fuerza principal de corte estará dada por la suma de las fuerzas:

$$P = T + R_x$$

(5.1)

La fuerza  $R_y$  es resistida por la mordaza de la máquina que sujeta a la herramienta.

Para el caso de herramientas de filos de corte lateral, según se muestra en la figura (Fig.5.2), el movimiento principal de corte es también de traslación rectilínea, pero las fuerzas actúan sobre el plano oblicuo de corte. La fuerza  $R_y$  es normal al plano oblicuo de corte y tiene dos componentes, una horizontal  $R'_y$  y una vertical  $R''_y$  las que son contrarrestadas por los órganos de sujeción de la máquina. La fuerza principal de corte también está dada por la expresión (5.1).

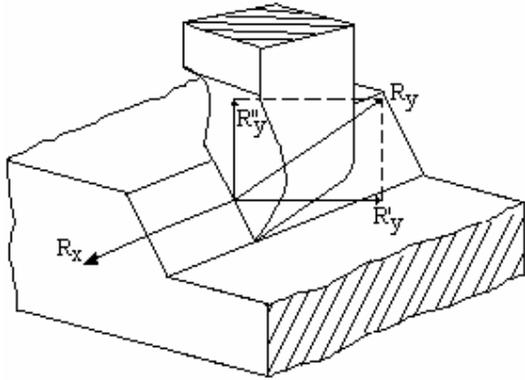


Fig.5.2

Al ser arrancada la viruta metálica por la herramienta, ésta pasa sobre la cara de la misma con una *velocidad de corte* o tangencial  $v$  según se observa en la figura (Fig.5.3). Si la herramienta avanza una  $a$  con una profundidad de penetración  $e$ , llamadas *avance de la herramienta* y *profundidad de corte* o *grueso de pasada* respectivamente, la *sección  $q$*  de viruta arrancada será:

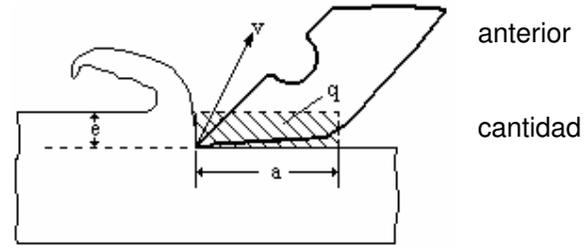


Fig.5.3

$$q = e \cdot a$$

(5.2)

Si  $a$  y  $e$  están en milímetro (mm), resulta  $q$  en milímetro cuadrado (mm<sup>2</sup>).

**Expresiones de la fuerza principal de corte para distintos materiales**

De acuerdo a sus experiencias Taylor, para los casos de mortajado, cepillado, limado y torneado encontró que la fuerza principal de corte  $P$ , varían para distintos materiales según las siguientes expresiones:

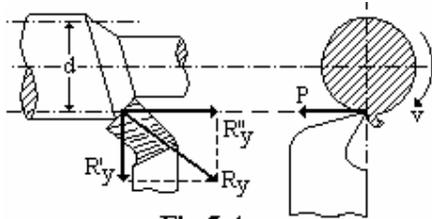


Fig.5.4

$$P = 88 \cdot a^{3/4} \cdot e^{14/15} \text{ kg para fundición blanda} \quad (5.3)$$

$$P = 138 \cdot a^{3/4} \cdot e^{14/15} \text{ kg para fundición dura} \quad (5.4)$$

$$P = 200 \cdot a^{14/15} \cdot e \text{ kg para acero semiduro} \quad (5.5)$$

Siendo  $a$  y  $e$  en la (5.3), (5.4) y (5.5) el avance de la herramienta y la profundidad de corte en el material, respectivamente. Para el caso del torneado, según muestra la figura (Fig.5.4), la distribución de esfuerzos es similar a las halladas anteriormente, estando la fuerza principal de corte dada también por la expresión (5.1), siendo  $R_y$  el esfuerzo resultante en el plano de corte,  $R'_y$  la resistencia a la penetración y  $R''_y$  la resistencia al avance de la herramienta.  $R_y$  debe ser anulada por los órganos de la máquina que sujetan la herramienta. La fuerza principal de corte  $P$ , es tangencial a la circunferencia media de la superficie torneada y normal al plano de corte. El momento que debe vencer el mecanismo principal de corte resulta:

$$M = P \cdot \frac{d}{2} \quad (5.6)$$

**Velocidad de corte**

Es la velocidad del movimiento que provoca el desprendimiento de la viruta. Si el movimiento es rectilíneo, la velocidad de corte coincide con la velocidad de traslación de la herramienta, caso de la *limadora*, o de la pieza en el caso de la *cepilladora*. Si el movimiento es giratorio, la velocidad de corte coincide con la velocidad periférica de la pieza, como en el *torneado*, o de la herramienta, como en el *fresado*.

### Cálculo de la velocidad de corte

Para el movimiento rectilíneo, la velocidad  $v$  de corte se calcula teniendo en cuenta la longitud  $L$  recorrida y el tiempo  $t$  empleado, siendo:

$$v = \frac{L}{t}$$

(5.3)

Para  $L$  en metros (m) y  $t$  en minutos (min),  $v$  resulta en m/min.

Para calcular la velocidad de corte  $v$  en el movimiento giratorio, se tiene en cuenta el número  $n$  de vueltas por minuto que da la pieza o herramienta y el diámetro medio  $d_m$  de la pieza o herramienta considerada, o sea que la velocidad tangencial  $v$  estará dada por la expresión:

$$v = \pi d_m n$$

(5.4)

Si está  $d_m$  en mm resulta  $v$  en mm/min. Para obtener esta velocidad en m/min se divide por 1000 m/mm:

$$v = \frac{\pi d_m n}{1000} \frac{m}{\text{min}}$$

(5.5)

En la práctica se considera el diámetro medio coincidente con el diámetro exterior  $d$ , por lo que la (5.5) se puede escribir:

$$v = \frac{\pi d n}{1000} \frac{m}{\text{min}}$$

(5.6)

La velocidad de corte para los distintos materiales varía según distintos factores, que según Taylor, los más importantes serían:

1- Dureza del material que hay que trabajar, el cual es el factor predominante. Por ejemplo, para metal duro es  $v = 1$  m/min y para metal blando  $v = 100$  m/min.

2- Calidad del material de la herramienta, dependiendo de la duración de su filo por el desgaste que experimenta el mismo. Cuanto menos desgaste presentan, mayor puede ser la velocidad de corte.

3- Sección de la viruta, cuando aumenta ésta, disminuye la velocidad de corte debido a la mayor resistencia que opone. Para trabajos de desbaste, la velocidad de corte es mínima siendo máxima la sección de la viruta; para trabajos de acabado, la velocidad es máxima, siendo mínima la sección de la viruta.

4- Enfriamiento de la herramienta, ya que al refrigerarla se disminuye el desgaste, pudiendo aumentar la velocidad de corte.

5- Duración de la herramienta, ya que al aumentar la velocidad de corte disminuye la duración del filo. Se debe lograr la velocidad de máximo rendimiento teniendo en cuenta la cantidad de afiladas de la herramienta con la producción del trabajo que realiza. Según Taylor, obtuvo experimentalmente para la velocidad de corte y la duración del filo de la herramienta, la relación:

$$v \cdot t^k = \text{constante}$$

(5.7)

Donde  $k$  es un coeficiente de vida hallado experimentalmente, siendo para los aceros corrientes al carbono  $k = 1/8$  y para fundición gris corriente  $k = 1/12$ .

### Potencia necesaria para el corte

Si la *resistencia específica de corte* o *presión específica de corte* del material es  $k_s$ , la fuerza necesaria para realizar el corte de la viruta de sección  $q$  es:

$$P = q \cdot k_s = e \cdot a \cdot k_s$$

(5.8)

Estando  $P$  en N si están  $k_s$  en  $N/m^2$  y  $q$  en  $m^2$ , o  $P$  en kg si están  $k_s$  en  $kg/mm^2$  y  $q$  en  $mm^2$ . La presión específica  $k_s$  se toma por lo general de 3 a 5 veces mayor que la resistencia unitaria a la rotura por tracción  $k_z$  del material que se trabaja, debido a los distintos factores que intervienen en el corte del material. Por lo general se encuentra tabulado o graficado según datos prácticos.

La potencia  $N$  necesaria para el corte, para la fuerza  $P$  y la velocidad  $v$ , está dada por la expresión:

$$N = P \cdot v = q \cdot k_s \cdot v = e \cdot a \cdot k_s \cdot v \quad (5.9)$$

Estando  $N$  en W si  $v$  está en m/s, o en  $kgm/min$  si  $v$  está en m/min. Para obtenerla en CV se aplica:

$$N = \frac{P \cdot v}{75.60} = \frac{e \cdot a \cdot k_s \cdot v}{4500} \quad (5.10)$$

### **CEPILLADO, LIMADO y MORTAJADO**

Estas operaciones son destinadas principalmente a la obtención de superficies planas. La herramienta utilizada tiene un solo ángulo de filo la que en el movimiento de un avance y retroceso, denominada generalmente *una pasada*, arranca una viruta de sección  $q$ . En el *limado*, la herramienta se mueve con traslación rectilínea de avance y retroceso, quedando fija la pieza a trabajar, en tanto que en el *cepillado* la pieza se desplaza en avance y retroceso rectilíneo, quedando fija la herramienta; en el *mortajado*, si bien la pieza está fija, la herramienta se desplaza en sentido rectilíneo de avance y retroceso vertical.

Las herramientas o piezas en estos casos están animados de movimiento rectilíneo alternativo, un avance útil o activo, en el cual se arranca el material en forma de viruta, y uno de retroceso o retorno pasivo sin arranque de material. Estas máquinas herramientas pueden ser accionadas mecánicamente o en forma hidráulica.

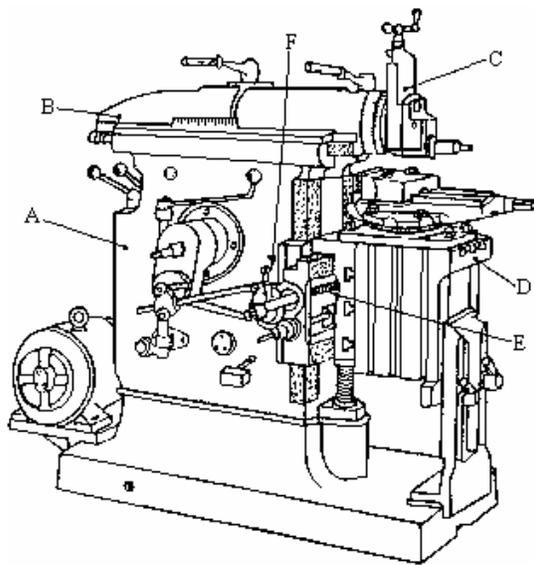


Fig.5.5

Las figuras que se muestran representan a las máquinas herramientas mencionadas. La figura (Fig.5.5) corresponde a una limadora accionada mecánicamente, cuyas partes principales son: un *cuerpo principal A* o *bancada* con base de apoyo de fundición, sobre la que desliza el *carro o cabezal B* sobre guías con movimiento rectilíneo de avance y retroceso, en el cual se encuentra el *porta herramienta C* que sujeta la herramienta de corte, pudiendo este carro inclinarse y subir o bajar por medio de un tornillo sin fin, con el cual se regula la profundidad de corte en una carrera activa; el cabezal porta herramienta es basculante, de tal forma que en el retroceso no ejerce presión sobre la pieza. El movimiento

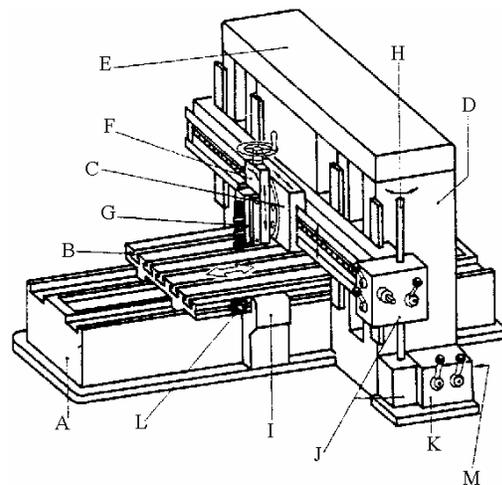


Fig.5.6

que tiene el cabezal puede regularse, según la longitud a limar. La *mesa portapiezas D* puede desplazarse hacia arriba o hacia abajo y transversalmente mediante dispositivos de tornillos sin fin *E* y *F*, los que permiten dar la profundidad y ancho total al trabajo de limado. La figura (Fig.5.6), muestra una cepilladora de *dos montantes*, pudiendo ser de *un montante* para el cepillado de piezas muy grandes que no pueden entrar entre dos montantes. Constan principalmente de una *bancada A* de fundición, sobre la que desliza sobre guías la *mesa porta pieza B* que se desliza en forma rectilínea de avance y retroceso, un *carro portaherramienta C*, el cual puede regular su altura desplazándose hacia

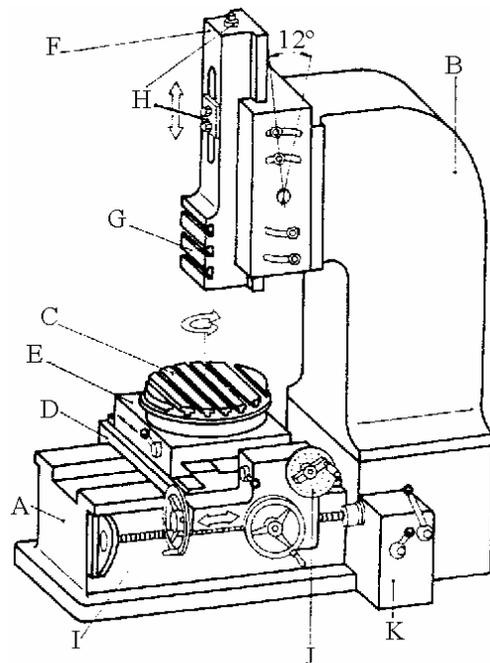


Fig.5.7

arriba y hacia abajo sobre las guías de los dos *montantes D*, los cuales están unidos por un *Travesaño E*; el carro contiene además una *corredera de la herramienta F* giratoria que le confiere el movimiento vertical a la herramienta bajándola para profundizar la *pasada* o elevándola para alejarla de la pieza; sobre ésta última se encuentra la *placa del soporte de la herramienta G*, que levantan la herramienta de la pieza durante la carrera de retroceso. Además cuenta con un *eje de mando de avance H*, una *caja de cambio de movimiento I*, un *mecanismo de velocidades del avance J*, una *caja de cambio de velocidades K*, un *tope de carrera L* y un *punto de conexión eléctrica M*.

La mortajadora, que se muestra en la figura (Fig.5.7), consta de un bastidor compuesto de una *bancada A* y un *montante B*, sobre la primera se encuentra la *mesa portapiezas C* giratoria, la cual tiene un movimiento de avance compuesto, dado por el *carro longitudinal D* que se mueve sobre las guías de la bancada, y por el *carro transversal E* que se mueve sobre guías en el

carro longitudinal; sobre el segundo se encuentra el *carro porta herramienta F*, el cual tiene el *soporte de la herramienta G*. También cuenta con un mecanismo de *variación de la posición de la carrera H*, un *husillo de avance I*, un *mecanismo divisor J* y la *caja de velocidades del avance K*.

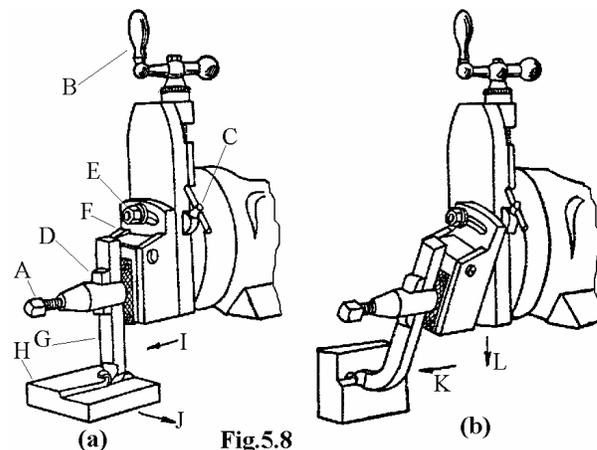


Fig.5.8

En la figura (Fig.5.8a) se muestra, a modo de ilustración, el arranque de viruta de una pieza en un limado horizontal, indicándose la forma de sujeción de la herramienta de la limadora al cabezal, siendo en la misma *A* el *tornillo de apriete*, *B* *manivela de desplazamiento vertical*, *C* *traba de ajuste*, *D* *suplemento*, *E* *tornillo de desplazamiento angular*, *F* *placa sujeta herramienta*, *G* *herramienta*, *H* *pieza trabajada*, *I* *desplazamiento del cabezal porta herramienta* y *H* *desplazamiento lateral de la pieza*. En la figura (Fig.5.8b) se

muestra un limado vertical, donde *K* y *L* son movimientos de traslación rectilínea y vertical respectivamente, que lo realiza el cabezal porta herramienta, estando la placa sujeta herramienta *F* desplazada angularmente.

### Cálculo de la potencia necesaria o absorbida

Debido al movimiento de avance y retroceso rectilíneo para efectuar el corte, en los extremos de la carrera el cabezal porta herramienta o la mesa porta pieza se detiene

cambiando de sentido el movimiento, siendo en esos puntos la velocidad de desplazamiento nula y variable en los puntos intermedios.

Se toma un valor medio de la velocidad de trabajo, dependiendo el mismo del tipo de material a trabajar, de la herramienta utilizada, de su enfriamiento y de los esfuerzos que se generan debido a las masas desplazadas en el movimiento. A continuación se transcribe una tabla con velocidades de corte y de avances en el cepillado:

<i>Velocidades de corte y avance en el cepillado</i>			
Material a trabajar	Material de herramienta	Velocidad de corte m/min	Avance en mm
Acero de construcción	Acero al carbono	6 a 12	0,1 a 8
	Acero rápido	10 a 30	0,2 a 12
Acero moldeado	Acero al carbono	5 a 10	0,1 a 8
	Acero rápido	10 a 25	0,2 a 12
Fundición de hierro	Acero al carbono	5 a 10	0,1 a 8
	Acero rápido	10 a 20	0,2 a 12
Bronce, latón, etc.	Acero al carbono	10 a 20	0,1 a 10
	Acero rápido	20 a 30	0,2 a 12
Metales ligeros	Acero al carbono	10 a 25	0,1 a 10
	Acero rápido	25 a 50	0,2 a 12

Para elegir el motor adecuado que accionará la máquina herramienta, se debe calcular la potencia necesaria, teniendo en cuenta las resistencias que oponen en la carrera activa tanto el material a ser cortado, como los desplazamientos de las masas de las distintas partes de la máquina que soportan la herramienta o la pieza, y las fuerzas de rozamiento que se producen y que se deben vencer.

Por este motivo deberá ser considerada una potencia  $N_1$  necesaria para realizar el trabajo de corte del material y una potencia  $N_2$  necesaria para vencer el trabajo que oponen las fuerzas de rozamiento, siendo la potencia total  $N$  dada por la siguiente expresión:

$$N = N_1 + N_2$$

(5.11)

La potencia  $N_1$  estará dada por la expresión (5.9) o (5.10) para la fuerza de corte  $P$ , la velocidad media de trabajo  $v$ , el espesor  $q$  de viruta cortada por pasada y la resistencia específica al corte  $k_s$  del material de la pieza trabajada, en tanto que la potencia  $N_2$  se calcula considerándola fuerza de rozamiento, dada por desplazamiento del peso  $Q$ , del carro porta herramienta o de la mesa y pieza que soporta y el coeficiente de rozamiento  $\mu$ , y la velocidad media de trabajo  $v$ , resultando:

$$N_2 = Q \cdot \mu \cdot v$$

(5.12)

La (5.12) estará en vatios (W) si  $Q$  está en Newton (N) y  $v$  en metro sobre segundo (m/s). Si  $Q$  está en kilogramos (Kg), la (5.12) resulta en kilográmetros (kgm). Para este último caso y para  $v$  en m/min, para obtener  $N_2$  en Caballo Vapor se utiliza la expresión:

$$N_2 = \frac{Q \cdot \mu \cdot v}{75 \cdot 60} = \frac{Q \cdot \mu \cdot v}{4500}$$

(5.13)

Por lo tanto, la potencia total  $N$  es, según la (5.9) y la (5.12):

$$N = P \cdot v + Q \cdot \mu \cdot v = k_s \cdot q \cdot v + Q \cdot \mu \cdot v = v(k_s \cdot q + Q \cdot \mu)$$

(5.14)

Estando  $N$  en vatios (W) si están  $P$  y  $Q$  en Newton (N),  $k_s$  en  $N/m^2$ ,  $q$  en  $m^2$  y  $v$  en  $m/s$ . De la (5.10) y de la (5.13) resulta  $N$  en CV:

$$N = \frac{k_s \cdot q \cdot v}{4500} + \frac{Q \cdot \mu \cdot v}{4500} = \frac{v(k_s \cdot q + \mu \cdot Q)}{4500}$$

(5.15)

Para un rendimiento mecánico  $\eta$  del mecanismo de transmisión, la potencia del motor de accionamiento, de la (5.14) será, en vatios:

$$N_m = \frac{N}{\eta} = \frac{v(k_s \cdot q + \mu \cdot Q)}{\eta}$$

(5.16)

Y de la (5.15) se obtiene, en CV:

$$N_m = \frac{N}{\eta} = \frac{v(k_s \cdot q + \eta \cdot Q)}{\eta \cdot 4500}$$

(5.17)

Como en las limadoras y mortajadoras las fuerzas de rozamiento no son significativas, la potencia  $N_2$  resulta muy pequeña frente a  $N_1$ , por lo que es factible desestimarla, resultando la (5.16) en vatios:

$$N_m = \frac{N_1}{\eta} = \frac{k_s \cdot q \cdot v}{\eta}$$

(5.18)

Y la (5.17) en CV:

$$N_m = \frac{k_s \cdot q \cdot v}{\eta \cdot 4500}$$

(5.19)

### Cálculo del tiempo de máquina

El tiempo de máquina empleado en el limado, cepillado o mortajado, dependerá, según se muestra en la figura (Fig.5.9), del espesor  $e$  de la pasada, del avance transversal  $a$  por pasada y de la velocidad media de corte  $v_m$ , como así también de la carrera longitudinal  $s$ , del ancho  $b$  de la pieza y de la cantidad de pasadas  $m$  necesarias para completar la profundidad total  $h$  de corte.

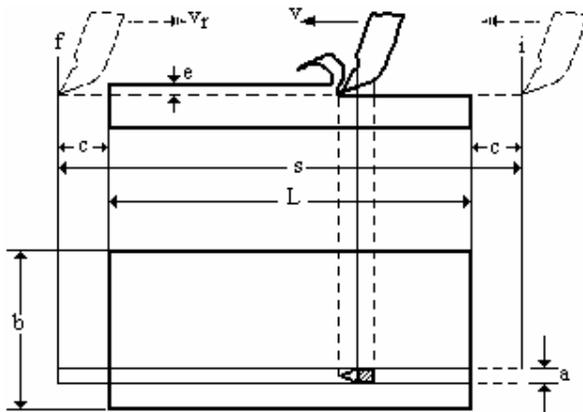


Fig.5.9

Si es  $L$  la longitud total de la superficie de la pieza a trabajar, llamando  $n$  al número de carreras longitudinales dobles realizadas por minuto y  $n'$  el número de carreras dobles de la mesa o carro porta herramienta para completar una pasada en el ancho  $b$  de la pieza, o pasada completa, se tendrá:

$$b = a \cdot n'$$

(5.20)

De la (5.20) se obtiene:

$$n' = \frac{b}{a}$$

(5.21)

Por otra parte, si es  $v_m$  la velocidad media de trabajo, el número  $n$  de carreras longitudinales por minuto será :

$$n = \frac{v_m}{2s}$$

(5.22)

Para dar las  $n'$  pasadas completas, para cubrir el ancho  $b$  de la pieza, se empleará un tiempo  $t$  igual a:

$$t = \frac{n'}{n} \text{ (minutos)}$$

(5.23)

De la (5.21), de la (5.22) y de la (5.23) se obtiene:

$$t = \frac{2.s.b}{a.v_m} \text{ (minutos)}$$

(5.24)

La profundidad total es  $h$ , por lo tanto, la cantidad total  $m$  de pasadas completas  $n'$  que se tienen que dar para completar el trabajo es:

$$m = \frac{h}{e}$$

(5.25)

Por lo que resultará que el tiempo total  $T$  que se empleará en las  $m$  pasadas será:

$$T = m.t = \frac{2.s.b.m}{a.v_m} = \frac{2.s.b.h}{a.e.v_m} \text{ (minutos)}$$

(5.26)

Si se llama  $c$  a la distancia que se desplaza la herramienta fuera de la pieza, tanto al comienzo como a la salida de la pieza según se muestra en la figura (Fig.5.9), la carrera longitudinal  $s$  en función del largo  $L$  de la pieza y de estas distancias  $c$ , se puede escribir:

$$S = L + 2c$$

(5.27)

Por lo tanto, reemplazando en la (5.26) el valor de  $s$  dado por la (5.27) se obtiene:

$$T = \frac{2.(L + 2c).b.h}{a.e.v_m} \text{ (minutos)}$$

(5.28)

La velocidad media  $v_m$  se obtiene a partir de los tiempos utilizados  $t_a$  y  $t_r$  en recorrer las carreras activa y pasiva respectivamente considerando la velocidad de corte  $v$  y la velocidad de retorno  $v_r$ , obteniéndose las siguientes expresiones:

$$\text{a) } t_a = \frac{s}{v} \quad \text{b) } t_r = \frac{s}{v_r}$$

(5.29)

Como la velocidad media  $v_m$  es igual a:

$$v_m = \frac{2.s}{t_a + t_r}$$

(5.30)

Se tendrá, reemplazando los valores de  $t_a$  y  $t_r$  dadas por la (5.29) en la (5.30):

$$v_m = \frac{2s}{\frac{s}{v} + \frac{s}{v_r}} = \frac{2s}{\frac{v_r \cdot s + v \cdot s}{v \cdot v_r}} = \frac{2 \cdot v \cdot v_r}{v + v_r}$$

(5.31)

### Determinación del esfuerzo de corte mediante gráficos

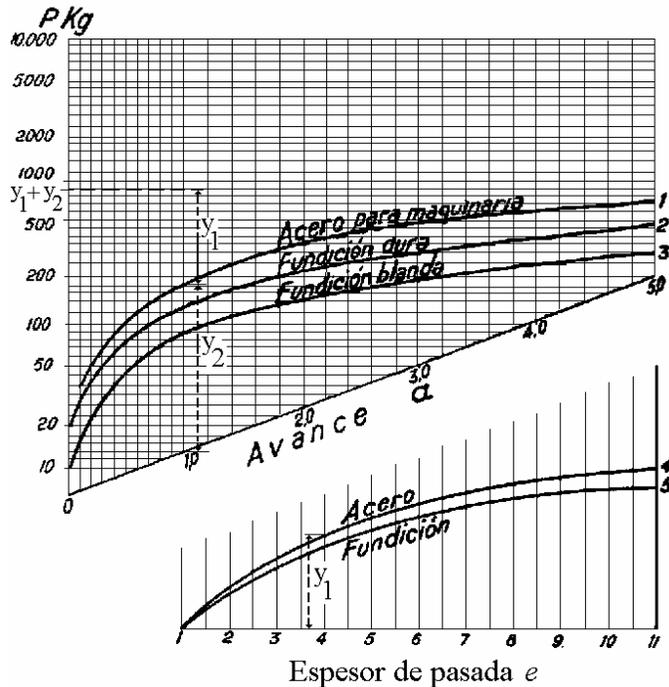


Fig.5.10

P está dado en kg para e y a en milímetros.

Existen gráficos, como el de la figura (Fig.5.10), que resuelven las expresiones (5.3), (5.4) y (5.5) de Taylor ya vistas anteriormente, según el siguiente procedimiento:

- 1- 1- Con el espesor de la pasada o de viruta e y el tipo de material se obtiene la ordenada  $y_1$ , en el diagrama inferior.
- 2- 2- Se obtiene la ordenada  $y_2$  según el avance a y el tipo de material, en el diagrama superior.
- 3- 3- Se adiciona a la ordenada  $y_2$  del diagrama superior la ordenada  $y_1$  obtenida en el diagrama inferior, resultando:  $y_1 + y_2$ ;
- 4- 4- Se traslada  $y_1 + y_2$  sobre el eje de ordenadas a la izquierda en el diagrama superior y se lee P sobre el mismo.

### TORNEADO

El torneado, realizado con el *torno*, el cual se muestra en la figura (Fig.5.11), es una de las operaciones más útiles en el trabajo de materiales con máquinas herramientas, ya que el mismo sirve para realizar una gran cantidad de trabajo con herramientas por lo general de forma sencilla, siendo además, este tipo de máquinas, una de las más empleadas en talleres tanto industriales como de mantenimientos.

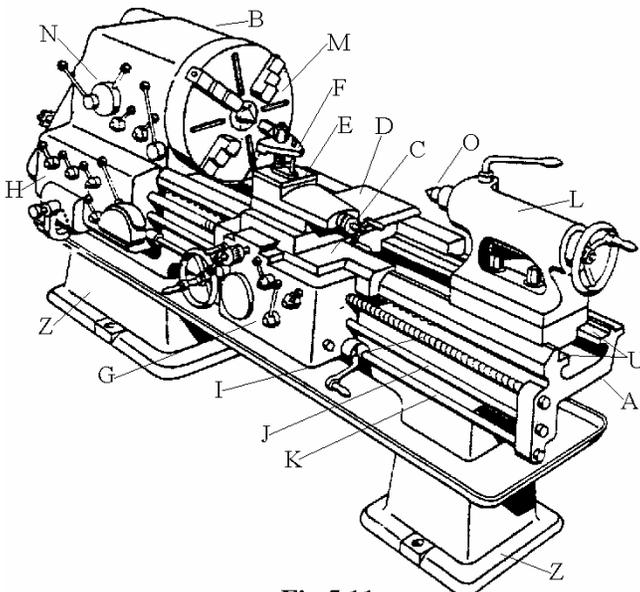


Fig.5.11

El torno está conformado, principalmente, según se indica en la figura (Fig.5.11), por las siguientes partes: la *banca* A que posee las *patas de apoyo* Z, soporta las otras partes del torno y tiene la *guía* U por la cual desliza el *carro principal de banca* C, que desplaza a la herramienta en forma longitudinal, obteniéndose el avance a, estando sobre este último el *carro de desplazamiento transversal* D, con el cual se le da el desplazamiento transversal a la herramienta y con ello la profundidad de pasada e, éste a su vez soporta el *carro superior*

porta herramienta *E* en el cual se encuentra el porta herramienta *F* propiamente dicho. En uno de los extremos se encuentra el *cabezal fijo B*, el cual contiene en su interior el tren de engranajes y comandos para la variación de velocidades y tiene además el *husillo principal o de trabajo* que es un eje con un extremo roscado en voladizo, el cual gira imprimiéndole al *plato de mordaza M* y a la pieza sujeta por el mismo, el movimiento de rotación principal de corte. En el otro extremo opuesto al cabezal fijo se encuentra el *cabezal móvil L* que contiene en su interior la *contrapunta O* desplazable, que se utiliza para sujetar por uno de sus extremos las piezas largas que se trabajan o para sujetar una herramienta de taladrar o escariar, y se puede mover axialmente en la guía *U*. Se puede observar también en la figura las *palancas de comando del movimiento de rotación N* con los que se varía la velocidad de rotación de la pieza que se trabaja o se la detiene; el *mecanismo de avance H*, el cual le imprime a la *barra de avance K*, a la *barra de cilindrar J* y al *tornillo de roscar o patrón I* los movimientos de giro que hacen desplazar axialmente el carro principal de bancada *C* para realizar el avance, el cilindrado o el roscado respectivamente; la *caja de movimiento transversal G* del carro principal de bancada *C*, que permite a éste desplazarse transversalmente.

### Generalidades

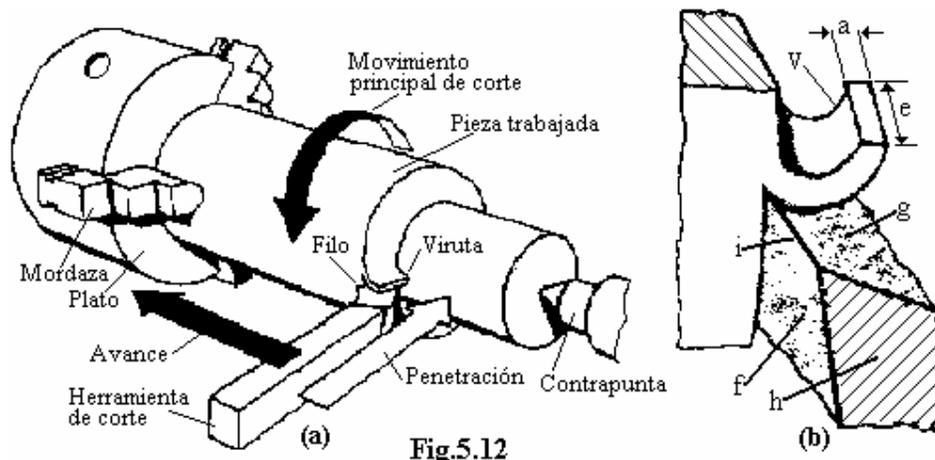


Fig.5.12

Los tornos más utilizados son los de *bancada horizontal*, en los cuales se imprime a la pieza, por lo general un sólido de revolución, un movimiento de rotación según su eje horizontal, constituyendo éste el movimiento principal de corte. Al mismo tiempo, la herramienta de corte, sujeta por el carro porta herramienta, efectúa un movimiento longitudinal y transversal, que constituyen el *avance a* y la *penetración e* respectivamente. En la figura (Fig.5.12a) se puede observar la operación de torneado cilíndrico, donde se muestra la herramienta y la viruta que el corte de ésta produce, al penetrar con una profundidad o espesor de corte *e* y un avance *a* en la pieza que se trabaja, la cual gira, sujeta por la mordaza del plato en un extremo y por el otro por la contrapunta del cabezal móvil, con una velocidad tangencial *v*. En la figura (Fig.5.12b) se muestra la cuña de superficie *h* formada por las superficies *f* y *g*, las que en su convergencia forman el filo *i* de la herramienta. La herramienta efectúa el corte de la viruta *V* cuya sección está dada por la penetración o espesor *e* y el avance *a*.

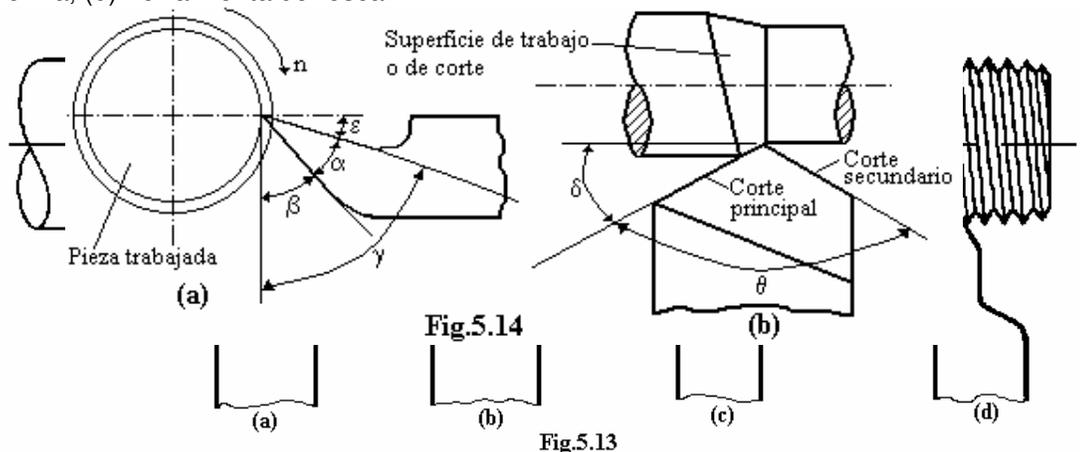
El arranque de material puede ser realizado tanto exteriormente a la pieza como interiormente, desprendiéndose, como ya se viera, virutas de espesores que dependerán del tipo de material a trabajar, de la herramienta utilizada y de la velocidad de corte requerida.

En el torno se pueden ejecutar una gran variedad de trabajos, siendo los principales los siguientes: a) obtención de superficies cilíndricas, tanto exteriores como interiores, b) obtención de superficies planas, mediante la operación denominada *frentado*, en la cual la herramienta únicamente penetra en forma normal al eje de la pieza sin avanzar longitudinalmente, c) obtención de superficies esféricas, d) obtención de superficies

cónicas, e) obtención de superficies de sólidos de revolución de perfiles variables, d) obtención de roscas de paso variables.

### Herramientas de corte

Los materiales más usados en la construcción de herramientas de corte son el *acero al carbono*, *acero rápido*, que es una aleación con Wolframio (W), Cromo (Cr) y Vanadio (V), metales que le confieren mayor resistencia al calentamiento y al desgaste, *acero extrarápido* o *metales duros*, aleado con los metales ya mencionados más Molibdeno (Mo) y Cobalto (Co); *aleaciones duras*, como las denominadas *estelitas*, *carburos metálicos*, conocidos con su nombre comercial *Widia*, *aleaciones no ferrosas*, *cerámicos*, *diamante*. Según sea el tipo de material de la herramienta será su ángulo de filo de corte; las herramientas de acero al carbono y de acero rápido tienen los ángulos de filos de corte casi de un mismo valor ya que son de materiales similares, pero como las primeras tienen menor poder de absorción de calor, pierden el filo de corte con mayor rapidez. En general se exige en las herramientas un mínimo empleo de fuerza y una máxima velocidad de corte, lo cual se admite en trabajos que carezcan de vibraciones. Los tipos y formas de herramientas varían de acuerdo al material a trabajar y al tipo de trabajo, existiendo herramientas de corte con distintos ángulos de filos frontales y laterales, utilizados para desbastar, afinar, tronzar, dar forma, taladrar, tallar engranajes, etc., estando normalizadas, según normas ISO, como más importantes, nueve formas distintas. En la figura (Fig.5.13) se muestran algunas de las formas de las herramientas ya mencionadas, correspondiendo: (a) herramienta de tronzar, (b) y (c) herramientas de forma, (d) herramienta de roscar.



Los ángulos que se deben considerar en el torneado no solo corresponden al filo y forma de la herramienta en sí, sino que además se deben tener en cuenta los ángulos de posición de la herramienta respecto de la pieza a trabajar. Así se pueden observar en la figura (Fig.5.14), en la herramienta el ángulo *de filo*  $\alpha$ , mayor para materiales duros que para los blandos y el ángulo *de punta*  $\theta$ , si es pequeño la herramienta se desafilta rápidamente, y en el posicionamiento de la herramienta respecto de la pieza trabajada se tiene el ángulo *de incidencia*  $\beta$ , para evitar que la herramienta roce la pieza, el ángulo *de despojo* o *de ataque*  $\epsilon$ , cuanto mayor es más fácil es el arranque de viruta, estando limitado por el ángulo de filo, el ángulo *de corte*  $\gamma$  que es la suma de los ángulos de incidencia y de filo, y el ángulo *de posicionamiento* o *colocación lateral*  $\delta$  el cual da el ancho de la viruta, cuando más grande, menor es el ancho de esta última. Los ángulos de la herramienta dependen por lo general del material de la misma y del tipo de material a trabajar, en tanto que los de posición dependen del tipo de trabajo a realizar.

Al aumentar el ángulo de ataque  $\epsilon$ , disminuye la fuerza de corte, resintiéndose el filo, por lo que es aconsejable hacer  $\epsilon$  tanto más pequeño cuanto más duro sea el material a trabajar. También el ángulo de incidencia  $\beta$  debe ser pequeño, ya que un ángulo mayor de lo necesario, además de debilitar el filo, puede producir vibraciones. Cuanto menor es el ángulo de colocación lateral  $\delta$ , más se ve favorecida la herramienta y su filo. El ángulo de filo  $\alpha$  dependerá de los ángulos de ataque  $\epsilon$  y de incidencia  $\beta$ .

La posición de la herramienta es importante, ya que ello influye en el trabajo de cilindrado, tanto interno como externo. Pueden presentarse tres casos, según muestra la figura (Fig.5.15), 1- que el plano que pasa por el punto medio de la arista de corte pase también por el eje geométrico de la pieza y que además sea paralelo al plano de base sobre el cual apoya la herramienta (Fig.5.15a), 2- que la herramienta esté más baja que

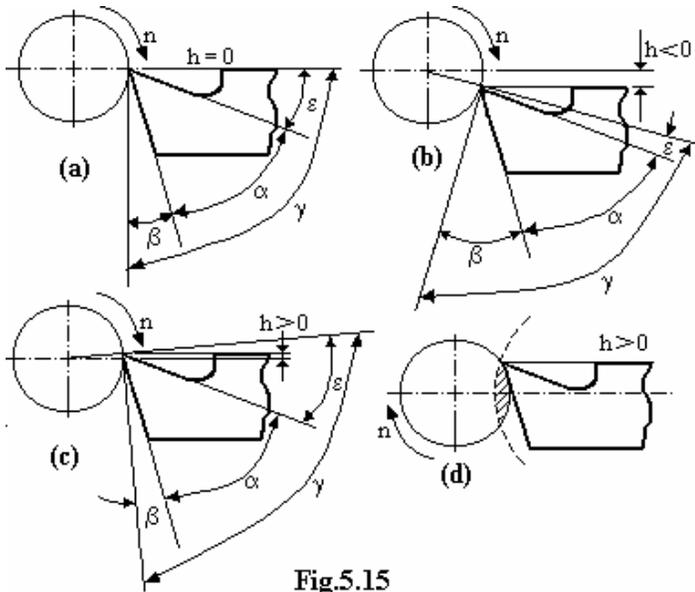


Fig.5.15

la correspondiente a la posición normal media, como se indica en la figura (Fig.5.15b), para la cual existe un aumento del ángulo de incidencia  $\beta$  y una disminución del ángulo de despojo  $\epsilon$ , 3- que la herramienta esté por encima de la posición normal media (Fig.5.15c).

La herramienta en la posición A se utiliza para pasadas finas o de acabado, ya que para virutas de secciones grandes se produciría la flexión de la herramienta que podría a su vez anular el ángulo o hacerlo negativo, con lo cual solo se produciría

el raspado de la pieza en lugar del corte.

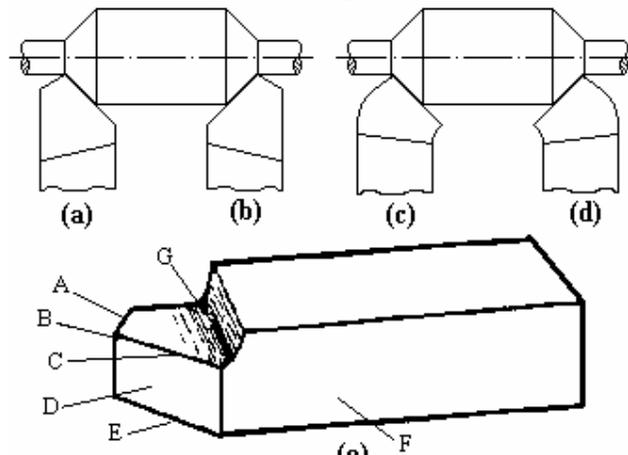


Fig.5.16

La elevación exagerada de la herramienta sobre la posición normal media (Fig.15.5d) puede producir lo que se denomina *clavada* o interferencia, o aún producir la rotura de la herramienta.

Las herramientas de corte, según se puede observar en la figura (Fig.5.16) tienen, por lo general la forma prismática recta (a) y (b) o curva (c) y (d), con corte a la izquierda (a) y (c), o con corte a la derecha (b) y (d), pudiendo observarse en (e) las partes principales de la misma, siendo A

filo de corte secundario, B punta, C filo de corte principal, D superficie de incidencia principal, E base, F mango y G hombro. Pueden ser de un solo material, o cuando el mismo es muy caro, tener como se muestra en la figura (Fig.5.17) para abaratar costos, soldadas al mango, en (a) *plaquitas de metal duro A*, en (b) *plaquitas de material cerámico B*, sujetas en soportes especiales, o como en (c) la parte cortante C de *acero rápido*. Las herramientas, según sea el tipo de trabajo al que estén sometidas en el torno, son sujetadas firmemente para evitar que se muevan o flexionen en el trabajo del corte del material, utilizándose diversos tipos de portaherramientas, algunos de los más utilizados se muestran en la figura (Fig.5.18), empleándose el (a) para cortes de poca fuerza, el (b), denominado *punte de sujeción* o también *garra de sujeción*, se utiliza para fijar la herramienta en caso de grandes

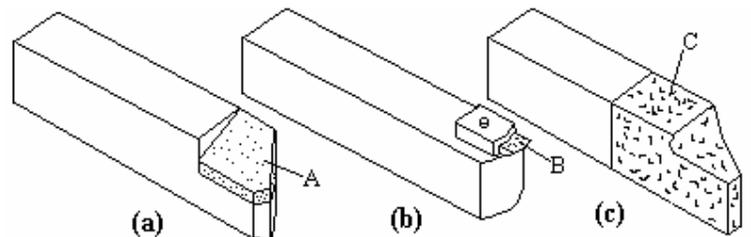
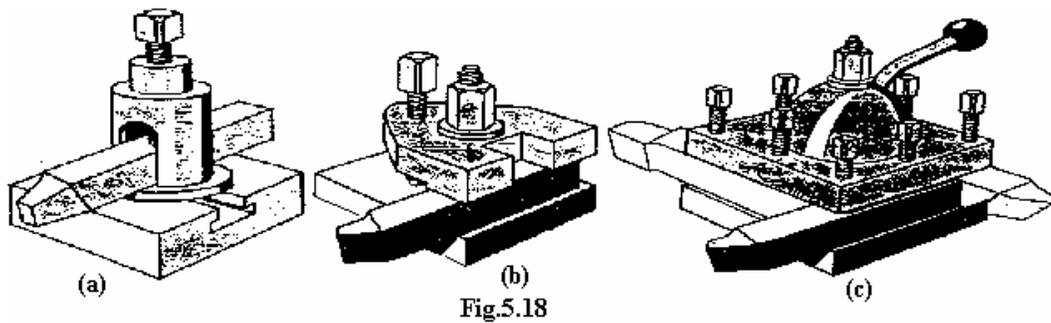


Fig.5.17



esfuerzos de cortes y el (c) es un portaherramienta cuádruple, ya que sujeta simultáneamente cuatro herramientas permitiendo cambiar rápidamente la herramienta con la cual se trabaja, rotando el portaherramienta.

### Velocidad de corte

La velocidad de corte  $v$ , como ya se mencionara, depende del tipo de material a tornearse y de la herramienta de corte. Si el número de vueltas por minuto es  $n$  y el radio de la pieza está en milímetros, es:

$$v = \frac{2\pi n r}{1000} \frac{m}{\text{min}}$$

(5.32)

Las velocidades de corte  $v$  se encuentran tabuladas por lo general, según datos obtenidos de la experiencia, de acuerdo a la sección  $q$  (mm<sup>2</sup>) de viruta, del material a tornearse, del material de la herramienta utilizada y del tipo de acabado de la superficie a tornearse. Una de estas tablas se muestra a continuación

#### Valores medios de las velocidades de corte y avance en el torneado

TRABAJO	Herramienta	MATERIAL A TORNEAR											
		ACERO			Acer o moldeado	Fundición de hierro	Fundiciones en coquilla	Fundición maleable	Acer o de herramienta	LATON		BRONCE	
		Resistencia kg/mm <sup>2</sup>	40	60						80	Semi-Duro	Duro	Blanco
DESBASTE	C	12	10	8	10	8	6	12	8	24	20	18	12
	R	25	20	15	15	18	8	20	13	40	30	25	18
	M	20	15	10	90	65	12	70	40	450	300	400	200
ACABADO	C	20	15	12	15	15	8	18	15	90	32	30	20
	R	30	25	20	20	20	15	25	18	50	40	35	25
	M	30	18	13	120	95	20	85	60	600	400	450	300
ROSCADO	C	10	8	6	8	8	4	10	4	20	15	12	8
	R	14	12	10	12	12	8	15	6	30	24	22	15
	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AVANCE	C	0,1 a 0,3											
	R	0,5 a 5,0								0,2 a 3,0			
	M	hasta 1,5					hasta 8	hasta 1,5		hasta 1,0			

Las velocidades de corte y avance están en m/min, correspondiendo C: acero al carbono, R: acero rápido y M: metales duros.

Potencia absorbida en el trabajo de torneado

Según lo visto anteriormente, la herramienta en el torno realiza un movimiento de penetración  $e$  y un movimiento de avance  $a$ , ambos en milímetros (mm) lo que hace que se arranque en el giro de la pieza una viruta de sección  $q$  en  $\text{mm}^2$  dada por la expresión (5.2) ya vista:

$$(5.33) \quad q = a.e$$

Si la resistencia específica de corte del material es  $k_s$ , en  $\text{kg/mm}^2$ , la fuerza necesaria para realizarlo será:

$$(5.34) \quad P = k_s.q = k_s.a.e$$

Resultando  $P$  en kg.

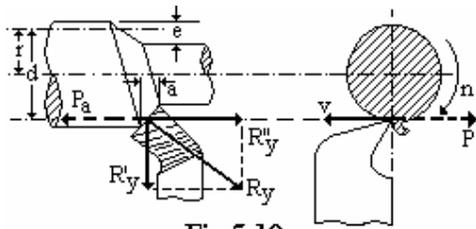


Fig.5.19

Si, como se muestra en la figura (Fig.5.19), la pieza gira con una velocidad de rotación  $n$  en vueltas por minuto (rpm), y una velocidad tangencial  $v$  en m/min, la potencia empleada en CV para efectuar el corte es :

$$(5.35) \quad N = \frac{P.v}{75.60} = \frac{P.v}{4500}$$

Si estuviera  $P$  en newton (N),  $v$  en m/s, la potencia  $N$  resultará en vatios (W) y estará dada por la expresión:

$$(5.36) \quad N = P.v$$

La potencia del motor de accionamiento, teniendo en cuenta el rendimiento mecánico  $\eta$  de la máquina será:

$$(5.37) \quad N_m = \frac{N}{\eta}$$

Si se reemplaza en las (3.35), el valor de  $P$  dado por la (3.34), se obtendrá:

$$(5.38) \quad N = \frac{k_s.a.e.v}{75.60} = \frac{k_s.a.e.v}{4500} \quad (\text{CV})$$

De igual forma, si en la (5.35) estuviera  $k_s$  en pascas (Pa),  $q$  en  $\text{m}^2$ , resultaría  $P$  en newton (N), por lo que reemplazándolo en la (5.36) será:

$$(5.39) \quad N = k_s.a.e.v \quad (\text{W})$$

En función del número de vueltas  $n$ , las expresiones (5.38) se puede escribir de la siguiente forma:

$$(5.40) \quad N = \frac{2\pi n r k_s.a.e}{4500.60} = \frac{2\pi n r k_s.a.e}{270000} \quad (\text{CV})$$

De igual manera, la (5.39) resulta:

$$(5.41) \quad N = \frac{2\pi n r k_s.a.e}{60} \quad (\text{W})$$

### Cálculo del tiempo de máquina

Se debe considerar para el cálculo la velocidad de corte  $v$  en m/min con que se efectúa el trabajo, el espesor de pasada  $e$  y el avance  $a$  por vuelta, ambos en milímetros, la longitud  $L$  de la pieza trabajada también en milímetros, según se muestra en la figura (Fig.5.20), el número de vueltas por minuto  $n$  con que debe girar la pieza para obtener la velocidad de corte o tangencial  $v$ , y la profundidad total  $h$  en milímetros de material que se debe retirar en el torneado.

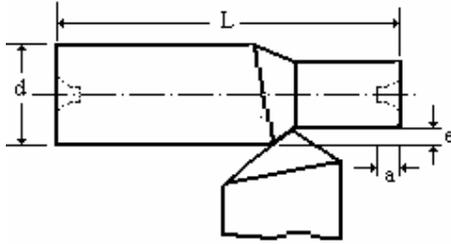


Fig.5.20

Si se llama  $n'$  el número de vueltas que debe girar la pieza para realizar una pasada en la longitud  $L$ ,  $m$  al número total de pasadas para tornearse la profundidad total  $h$ ,  $T$  al tiempo empleado en minutos para completar una pasada en la longitud  $L$  y  $T_t$  al tiempo total en minutos para realizar las  $m$  pasadas, se puede realizar el siguiente razonamiento:

Si avanza  $a$  mm por cada vuelta, la cantidad de vueltas para realizar una pasada en los  $L$  milímetros del largo de la pieza será:

$$n' = \frac{L}{a} \quad (\text{vueltas})$$

(5.42)

El tiempo que tarda para dar esta cantidad de vueltas, si da  $n$  vueltas por minuto, será:

$$T = \frac{L}{a \cdot n} \quad (\text{minutos})$$

(5.43)

Por otra parte, para lograr la profundidad total  $h$ , la cantidad de pasadas totales es:

$$m = \frac{h}{e}$$

(5.44)

Por lo tanto, si para dar una pasada en el largo  $L$  con una profundidad  $e$  se emplean  $T$  minutos, para dar las  $m$  pasadas se emplearán:

$$T_t = m \cdot T = \frac{h}{e} \frac{L}{a \cdot n} = \frac{h \cdot L}{a \cdot e \cdot n} \quad (\text{minutos})$$

(5.45)

Existen *tornos verticales* con eje de rotación vertical, *tornos de plato*, para piezas cortas y gran diámetro, por lo general de eje horizontal, *tornos revólver* o de múltiples herramientas, las que actúan secuencialmente según el trabajo que deben realizar en la pieza, *tornos semi-automáticos* y *automáticos* que trabajan la pieza sin necesidad del operario para cada operación, *tornos copiadores*, operados por un servomecanismo, reproduciendo en la pieza los cortes que copian de una plantilla mediante un palpador o con *control numérico de mecanizado computarizado*.

### Torneado cónico

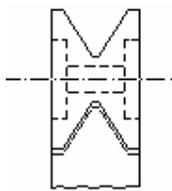


Fig.5.21

Para lograr obtener piezas cónicas mediante el torneado pueden utilizarse diferentes procedimientos, siendo alguno de ellos los que continuación se describen.

#### 1- Con herramientas de forma

Permite ejecutar torneado cónico de piezas en serie que no son de gran tamaño y que no exigen gran precisión, realizándose con tornos de tamaño y robustez adecuadas. Es un caso particular de la aplicación más amplia de la obtención de piezas de diversas formas con herramientas de este tipo.

#### 2- Mediante el desplazamiento de la contrapunta

La contrapunta, como ya se indicó precedentemente, es el apoyo móvil que puede deslizarse sobre la bancada del torno, pudiendo además desplazarse lateralmente una determinada distancia, de acuerdo a la pieza que se esté por trabajar. Se presentan dos casos:

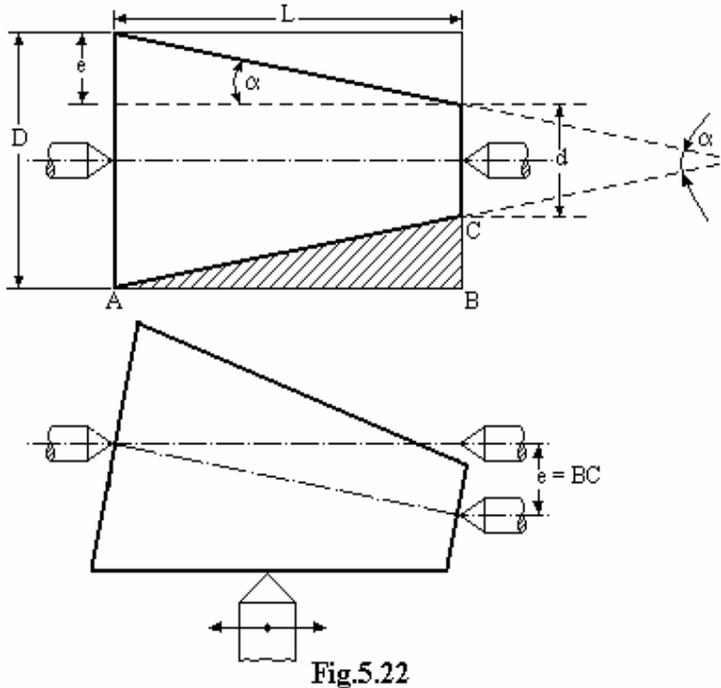


Fig.5.22

a) Que el torneado cónico se efectúe sobre toda la longitud de la pieza, según se muestra en la figura (Fig.5.22). Suponiendo un cono de diámetro mayor  $D$  y diámetro menor  $d$ , se debe desbastar en la pieza el material indicado con  $ABC$  sobre toda la superficie de la misma. Es aplicable cuando se trata de obtener pequeñas conicidades.

Para realizarlo se debe descentrar el eje de la contrapunta en una cantidad igual a:

$$e = BC = \frac{D - d}{2} \quad (5.46)$$

La conicidad en este caso es:

$$z = \operatorname{tg} \alpha = \frac{D - d}{2L} \quad (5.47)$$

La conicidad en porcentaje es:

$$z\% = \frac{D - d}{2L} \cdot 100 \quad (5.48)$$

b) Que el torneado cónico afecte solamente una parte de la longitud de la pieza.

Si de un cilindro de diámetro  $D$  y longitud  $L$  se desea obtener una pieza compuesta por dos cilindros de diámetros  $d'$  y  $d''$  y longitudes  $l'$  y  $l''$  respectivamente en sus extremos, y en su parte central un cono de longitud  $l$  y diámetro mayor  $D$  y menor  $d$ , según se indica en la figura (Fig.5.23).

En primer lugar se tornea la pieza para obtener las partes cilíndricas y, una vez obtenidas éstas, para obtener el cono se debe desbastar la parte  $ABC$  como se indica en la figura mencionada precedentemente. Para ello se procede de la siguiente manera: se traza a partir del punto  $E$  la recta  $EF$  paralela a la generatriz  $AC$  del cono, con lo que se obtienen los triángulos  $EGF$  y  $ABC$ , los cuales resultan semejantes por tener sus lados paralelos, por lo que se puede escribir la relación de proporcionalidad entre sus lados:

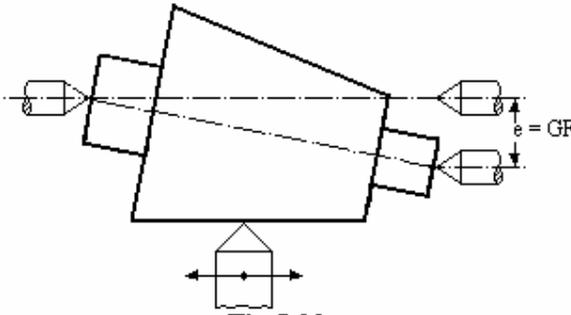
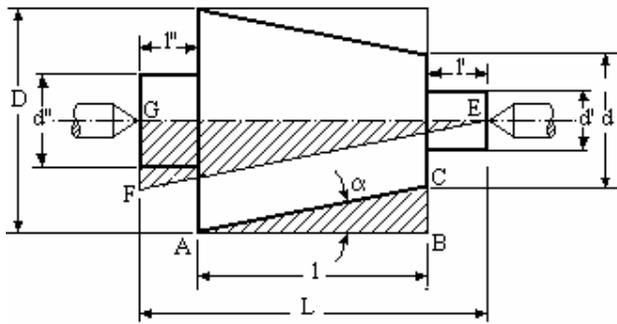


Fig.5.23

$$\frac{GF}{GE} = \frac{BC}{AB} \quad (5.49)$$

Siendo la excentricidad  $e$ , o distancia que se debe desplazar la contrapunta móvil del torno:

$$e = GF \quad (5.50)$$

Por otra parte es:

$$BC = \frac{D-d}{2} \quad (5.51)$$

Además de la figura es:

$$GE = L \quad (5.52)$$

y

$$AB = l \quad (5.53)$$

Reemplazando en la (5.49) los valores de  $GF$ ,  $BC$ ,  $GE$  y  $AB$  dados por la

(5.50), (5.51), (5.52) y (5.53) respectivamente, se obtiene:

$$\frac{e}{L} = \frac{\frac{D-d}{2}}{l} = \frac{D-d}{2l} \quad (5.54)$$

Pero es:

$$\frac{CB}{AB} = \frac{D-d}{2l} = \operatorname{tg} \alpha \quad (5.55)$$

Por lo tanto, reemplazando en la (5.54) el valor del tercer miembro dado por la (5.55) resulta:

$$\frac{e}{L} = \operatorname{tg} \alpha \quad (5.56)$$

O sea, el valor de  $e$  es, despejando de la (5.56):

$$e = L \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (5.57)$$

Las dimensiones de la pieza deben ser obtenidas en la operación de cilindrado, anterior al torneado cónico, ya que en esta última operación varía la longitud debido a la inclinación que sufre la pieza para ser trabajada.

### 3- Inclinación del carrito portaherramienta



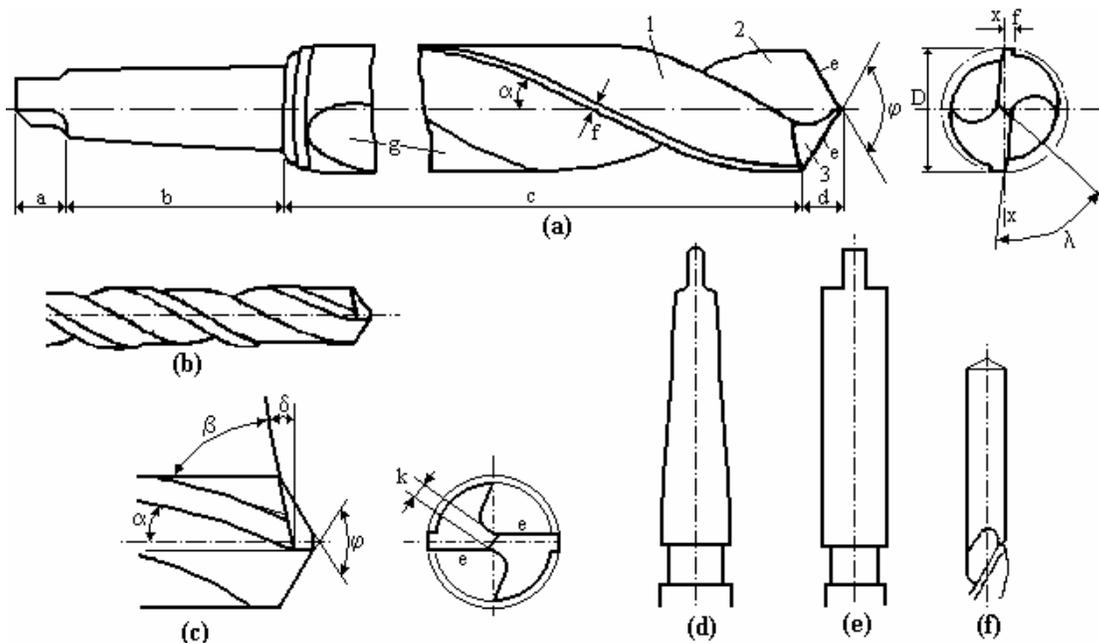


Fig.5.27

La mecha o broca es una herramienta que consta de dos filos cortantes, a la cual se le imprime, como ya se mencionara, un movimiento de rotación que constituye el movimiento principal de corte y un movimiento rectilíneo de avance en la dirección longitudinal del agujereado. Hay distintos tipos de brocas, algunas de las cuales se muestran en la figura (Fig.5.26) siendo (a) mecha *lengua de aspid*, (b) mecha *de forma*, (c) mecha *de aplanar* y (d) mecha *helicoidal*. La última de las brocas mencionadas es justamente una de las herramientas más comúnmente utilizadas en el trabajo de agujereado. El material, en el proceso del corte, a medida que se va desprendiendo, adquiere la forma de una espiral cilíndrica, escurriéndose hacia el exterior a través de dos canales helicoidales cortados en la propia herramienta. En la figura (Fig.5.27) se muestran los principales detalles constructivos de una broca o mecha helicoidal, siendo en la figura (Fig.5.27a) *a tenón*, *b cola*, *vástago o mango*, *c cuerpo*, *d punta*, *e borde cortante*, *f guía helicoidal cilíndrica*, *g acanaladura para salida de la viruta*, *1 superficie de despojo lateral*, *2 cara anterior de despojo*, *3 cara posterior de despojo*, *D diámetro de la broca*,  $\alpha$  *ángulo de la hélice de salida de viruta*,  $\varphi$  *ángulo de punta*,  $\lambda$  *ángulo de inclinación del núcleo*, donde el núcleo es la recta de intersección de los conos que forman la punta de la mecha; en la figura (Fig.5.27b) la posición de la mecha muestra la disposición del borde cortante *e* de la punta de la herramienta; en la figura (Fig.5.27c) se indican: *ángulo  $\alpha$  de inclinación de la hélice*, *ángulo  $\beta$  de filo*, *ángulo  $\delta$  de incidencia*, *ángulo  $\varphi$  de la punta*, *k espesor del núcleo y borde cortante e*; la figura (Fig.5.27d) muestra un *vástago de sujeción cónico*, el cual evita que la broca resbale al ser presionada; en la figura (Fig.5.27e) se ve un *vástago de sujeción cilíndrico con tenón* y la figura (Fig.5.27f) muestra un *vástago de sujeción cilíndrico común*. El trabajo de taladrado, además de ser una operación final o de terminación es además un trabajo previo a otras operaciones de mecanizado, como por ejemplo de *roscado*, *alesado* o *escariado*, *torneado interior*, *brochado*, etc. Inclusive, taladradoras con suficiente velocidad y precisión pueden realizar roscado y alesado como operación final.

### Fuerza principal de corte

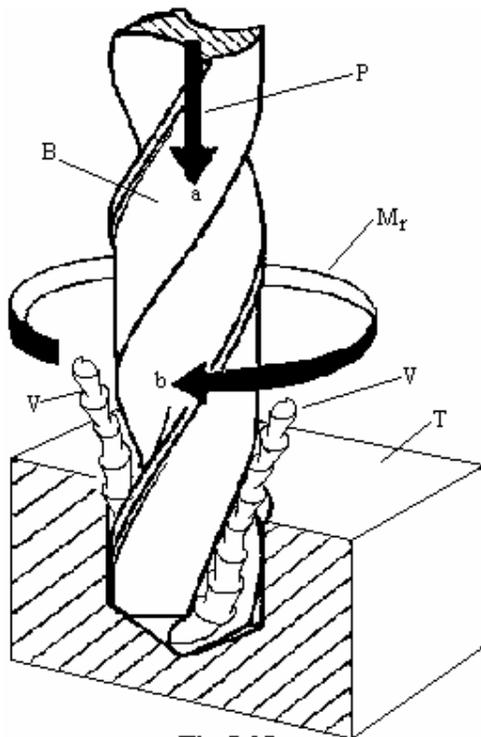
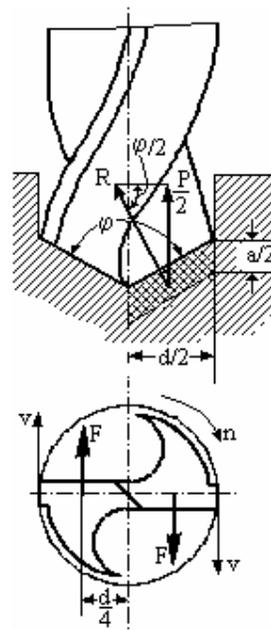


Fig.5.28

Según se muestra en la figura (Fig.5.28), la broca *B* para arrancar las virutas *V* del material *T* necesita dos movimientos simultáneos, uno el movimiento de avance o penetración *a* y el otro el movimiento de rotación *b*, que es el que corresponde al movimiento principal de corte, siendo *P* la fuerza de penetración y *M<sub>r</sub>* el momento de rotación. Por lo general, como en el caso de la figura (Fig.5.28) la herramienta presenta dos bordes cortantes. Si se analiza la vista superior de la figura (Fig.5.29), y en la misma es *a* el avance por vuelta de la herramienta, la cual tiene un diámetro *d*, cada uno de los bordes cortantes cortará una viruta de sección, dada por la expresión:

$$q = \frac{a d}{2 \cdot 2} = \frac{a \cdot d}{4}$$

(5.59)



Si es *k<sub>2</sub>* la componente vertical de la resistencia específica de corte del material trabajado, la fuerza resistente *R* que se produce será:

$$R = q \cdot k_2$$

(5.60)

La fuerza axial de penetración, o fuerza componente vertical de *R*, siendo su

$$\frac{P}{2} = R \cdot \text{sen} \frac{\varphi}{2}$$

de corte *P/2* es la valor:

(5.61)

De la (5.60) y (5.61) se obtiene:

$$\frac{P}{2} = q \cdot k_2 \cdot \text{sen} \frac{\varphi}{2} = \frac{a d}{2 \cdot 2} k_2 \cdot \text{sen} \frac{\varphi}{2}$$

(5.62)

Y operando matemáticamente en la

Fig.5.29

(5.62), se obtiene:

$$P = a \cdot k_2 \cdot d \cdot \frac{1}{2} \cdot \text{sen} \frac{\varphi}{2}$$

(5.63)

Si se adopta para el ángulo de punta  $\varphi$  el valor de  $120^\circ$ , resulta  $\varphi/2 = 60^\circ$ , y como es  $\text{sen}60^\circ = 0,866$ , la (5.63) se puede escribir:

$$P = 0,433 a k_2 \cdot d$$

(5.64)

En la (5.64), para *a* y *d* en metros y *k<sub>2</sub>* en N/m<sup>2</sup>, *P* estará en N (Newton). Si están *a* y *d* en milímetros y *k<sub>2</sub>* en kg/mm<sup>2</sup>, *P* estará en kg fuerza.

Para la determinación del valor *a.k<sub>2</sub>* se puede utilizar el gráfico de Coudrón, el que se muestra en la figura (Fig.5.30a), el cual da dicho valor en función del avance *a* y del tipo de material a trabajar. Luego, la fuerza *P* se puede obtener, conociendo el valor del diámetro *d* de la herramienta, aplicando la expresión dada por la (5.64).

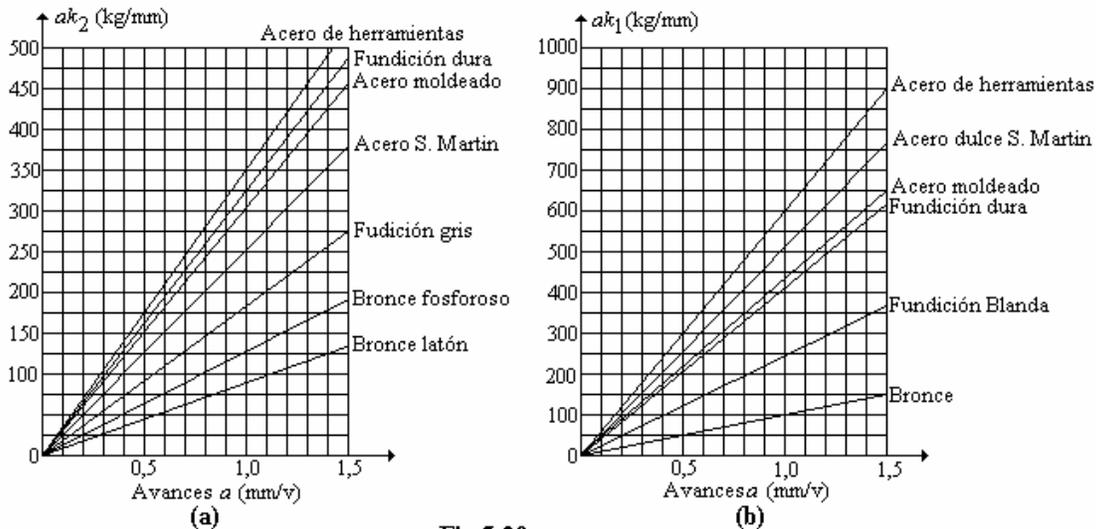


Fig.5.30

### Momento de rotación

El movimiento principal de corte lo tiene la mecha o broca en su rotación alrededor de su eje, el cual lo obtiene del mecanismo principal correspondiente de la taladradora. Si se analiza la vista inferior de la figura (Fig.5.29), se observa que, si es  $F$  la fuerza horizontal de corte, la que se supone aplicada en el centro de cada uno de los filos a una distancia del centro de rotación igual a  $d/4$ , el momento de rotación  $M_r$  que debe ejercer el mecanismo principal para vencer la resistencia horizontal al corte presentada por el material, siendo  $k_1$  la componente horizontal de la resistencia específica de corte de éste último, estará dada por la siguiente expresión:

$$M_r = 2F \cdot \frac{d}{4} = F \frac{d}{2}$$

(5.65)

Para la sección  $q$  de viruta considerada dada por la (5.59), la fuerza  $F$  para efectuar el corte del material es:

$$F = k_1 \cdot q = k_1 \frac{a d}{2} = ak_1 \frac{d}{4}$$

(5.66)

Resultando por lo tanto, el momento de rotación para el corte, según las (5.65) y (5.66), el siguiente:

$$M_r = 2ak_1 \frac{d}{4} \frac{d}{4} = ak_1 \frac{d^2}{8}$$

(5.67)

Para  $k_1$  en  $N/m^2$  y  $a$  y  $d$  en metros,  $M_r$  resulta en Nm o Joule; para  $k_1$  en  $kg/mm^2$  y  $a$  y  $d$  en milímetros,  $M_r$  resulta en kgmm.

El producto  $ak_1$  se lo puede obtener de gráficos, como el de Coudrón que se muestra en la figura (Fig.5.30b), el cual da dicho valor en función del avance  $a$  y del tipo de material a trabajar. Luego, conociendo el valor de  $ak_1$ , se pueden obtener la fuerza  $F$  y el momento  $M_r$  para un valor determinado  $d$  del diámetro de la herramienta, aplicando las expresiones dadas por las (5.66) y (5.67) respectivamente.

### Velocidad tangencial de corte

La velocidad  $v$  de corte es tangencial al movimiento de rotación de la broca. Varía desde cero en el centro o punta de la herramienta, hasta un máximo en la periferia del filo. Esta velocidad depende del tipo de material de la mecha y del material a trabajar, estando tabulada para distintos casos según valores obtenidos de la experiencia, en tablas como la que se da como ejemplo a continuación:

### Valores medios de la velocidad de corte para mechas de acero rápido

Material trabajado	$K_z$ kg/mm <sup>2</sup>	$v$ m/min	$a$ mm/vuelta
Fundición.....	12 a 22	35 a 25	$d/50$
Fundición de cilindros.....	22 a 28	22 a 15	$15d/1000$
Acero dulce.....	35 a 65	38 a 25	$d/100$
Acero duro.....	65 a 90	25 a 14	$d/100$
Acero muy duro.....	90 a 120	18 a 14	$d/100$
Bronce, latón y cobre.....	23 a 50	60 a 25	$d/100$
Aluminio, electrón, duraluminio....	14 a 26	250 a 80	$15d/1000$

Una vez determinada la velocidad  $v$  de corte en m/min, se determina la velocidad angular  $\omega$  (radianes/s) o  $n$  (rpm), que la taladradora debe suministrar a la herramienta de diámetro  $d$  en milímetros para efectuar el corte, resultando las expresiones:

$$v = \frac{60 \cdot \omega \cdot d}{1000 \cdot 2} = \frac{2 \pi d n}{1000 \cdot 2} = \frac{\pi d n}{1000} \quad (5.68)$$

De la (5.68) se obtiene, despejando  $n$ :

$$n = \frac{1000v}{\pi d} \quad (5.69)$$

#### Potencia desarrollada en el corte

La potencia  $N$  que se debe suministrar a la herramienta para efectuar el corte del material, teniendo en cuenta el momento de rotación  $M_r$  y la velocidad angular  $\omega$  o la velocidad de rotación  $n$ , es:

$$N = M_r \cdot \omega = M_r \cdot \frac{2 \pi n}{60} \quad (5.70)$$

Teniendo en cuenta la (5.67), si  $M_r$  está en Nm, la (5.70) estará en vatios (W); si en cambio  $M_r$  estuviera en kgmm, la (5.70) estará en kgmm/s. Si se deseara tener la (5.70) en CV, se la deberá dividir por 75.1000, obteniéndose la expresión siguiente:

$$N = \frac{M_r \cdot 2 \pi \cdot n}{60 \cdot 75 \cdot 1000} = \frac{M_r \cdot n}{716200} \quad (5.71)$$

La potencia  $N$  dada por la (5.70) y por la (5.71) corresponde solo a la necesaria para vencer la resistencia del material al efectuar el corte del mismo, por lo que para dimensionar la potencia  $N_m$  del motor que accionará la máquina herramienta se debe además tener en cuenta el rendimiento mecánico  $\eta$  de la maquinaria que interviene en la transmisión del movimiento y de la potencia, obteniéndose por lo tanto la expresión:

$$N_m = \frac{N}{\eta}$$

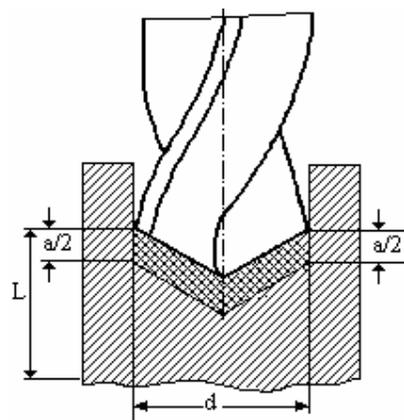


Fig.5.31

(5.72)

#### Cálculo del tiempo de máquina

A los efectos del cálculo es necesario conocer previamente la profundidad  $L$  del agujereado, o carrera de la mecha, la que se da generalmente en milímetros, el avance  $a$  en milímetros de la herramienta por cada vuelta que ella gira y el número de vueltas  $n$  por minuto que da la herramienta; en función de estos parámetros se puede

calcular el tiempo de máquina  $T$  empleado para realizar el agujereado en la longitud  $L$ . De acuerdo a lo mencionado precedentemente, la herramienta habrá penetrado en un minuto la profundidad dada por la expresión:

$$\text{Penetración en un minuto} = a.n \quad (5.73)$$

Por lo tanto, en un tiempo de  $T$  minutos penetrará una profundidad total  $L$ , por lo que se puede escribir:

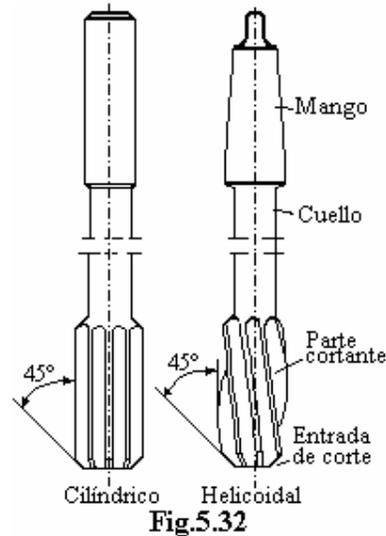


Fig.5.32

(5.74)

$$L = a.n.T$$

De la (5.74) se puede despejar  $T$ , por lo que resulta

$$T = \frac{L}{a.n} \quad (5.75)$$

**Escariado o alesado:** Como los agujeros realizados en el trabajo de taladrado, y especialmente cuando se utiliza una broca helicoidal con solo dos filos de corte, no resultan perfectamente cilíndricos ni uniformes, y presentan además una superficie que no del todo lisa, es necesario, cuando el mismo requiere una terminación dentro de ciertos valores y grado de precisión, completar la operación mediante el trabajo de **escariado** o el de **alesado**, para lo cual se pueden utilizar la propia taladradora o también tornos,

además de las propias máquinas herramientas específicas para dicho trabajo, denominadas **alesadoras** o **mandriladoras**. Ambas operaciones, de escariado y el alesado, son similares, consistiendo la diferencia en que en el alesado se quita menor cantidad de material que en el escariado, siendo un verdadero torneado interior. Generalmente el trabajo de alesado se realiza además para lograr un agujero de mayor diámetro de gran precisión.

El escariado se realiza con una herramienta llamada **escariador**, la cual presenta distintas formas según sea el trabajo para el cual se lo utilice, mostrándose en la figura (Fig.5.32) a modo de ejemplo, dos tipos diferentes de ellos; los escariadores son herramientas de filos múltiples de cortes y que están construidas dentro de tolerancias exigidas según el grado de precisión requerido, en tanto que para el alesado se pueden utilizar distintos tipos de herramientas, como por ejemplo herramientas de torno, que cumplan con el objetivo buscado.

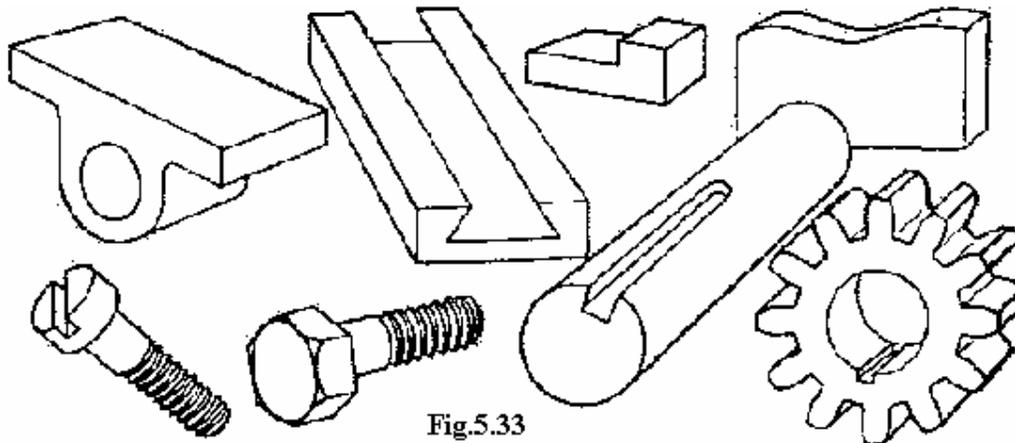


Fig.5.33

## **FRESADO**

El fresado es una de las operaciones más utilizadas en los talleres e industrias debido a la multiplicidad de trabajos que con él se pueden realizar, y además a la precisión que se logra

en éstos. Entre otras, se pueden obtener piezas de superficies planas y curvas, ranuradas, dentadas, estriadas, roscadas, etc., algunas de la cuales se muestran en la figura (Fig.5.33).

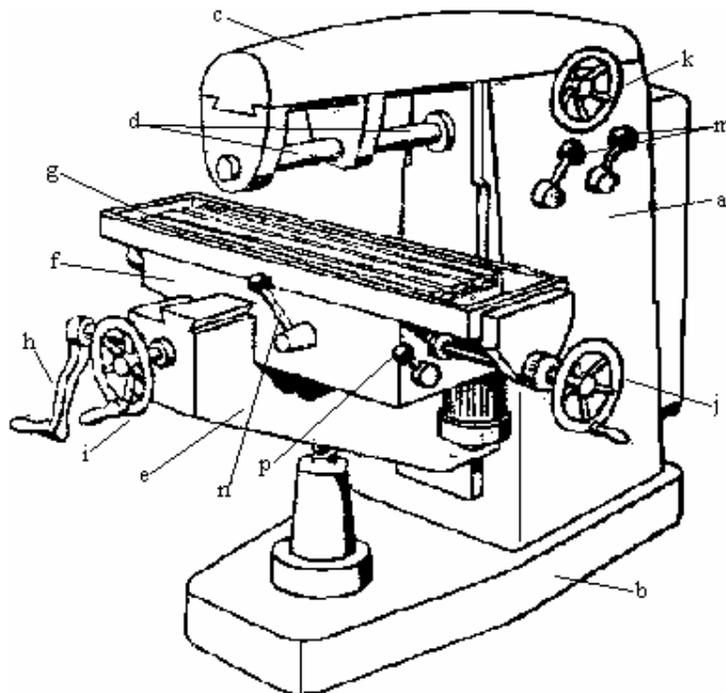


Fig.5.34

Según la posición del husillo, las máquinas fresadoras pueden ser horizontales o verticales, existiendo las denominadas universales que permiten la inclinación del carro porta pieza hasta 45°; también existen fresadoras especiales, que son utilizadas cuando se construyen piezas en serie, las que pueden realizar, entre otras operaciones, el tallado de engranajes, hélices, tornillos, fresas, escariadores, etc. En la figura (Fig.5.34) se muestra una fresadora horizontal, siendo sus partes principales, el *cuerpo o bastidor a*, en el cual se aloja el mecanismo de accionamiento del *árbol porta fresa d*, el cual es accionado por el *volante k* y las *palancas m*, la *base b*, donde se apoya

toda la máquina y se la fija al suelo, el *brazo superior c*, que soporta al *árbol porta fresa*, la *mesa de consola móvil e*, la cual se eleva o desciende por medio de un tornillo sinfín accionado por la *manivela h*, soportando al *carro transversal f* el cual se desplaza en la dirección del eje del *árbol porta fresa*, en ambos sentidos, con el accionamiento del *volante i* y la *palanca n*, la *mesa de fresar g*, la cual puede desplazarse en forma perpendicular al eje del *árbol porta fresa* mediante el accionamiento del *volante j* y la *palanca p*, sobre la cual se encuentra la pieza a fresar.

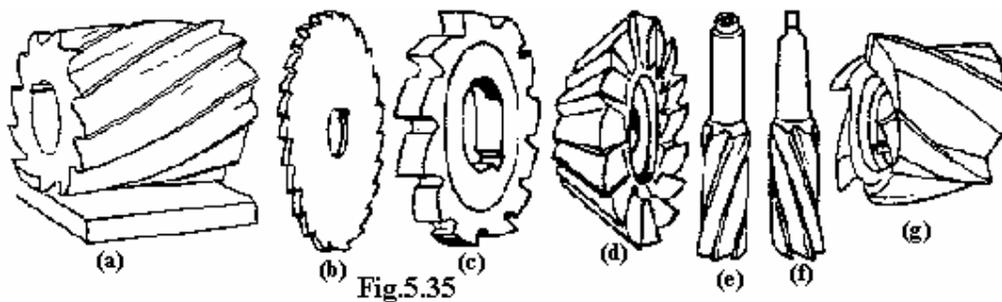


Fig.5.35

### Generalidades

La fresa es una herramienta de ángulos de filos múltiples, dispuestos simétricamente alrededor de un eje. Es de corte intermitente ya que el corte del material se efectúa cuando actúa un diente sobre la pieza, la cual disminuye cuando mayor cantidad de dientes tiene la fresa, pero nunca puede eliminarse. Existen distintos tipos de fresas, algunas de las cuales se muestran en la figura (Fig.5.35), correspondiendo (a) a una fresa *cilíndrica* con filo en su

periferia, utilizada para desbaste y afinado en las máquinas fresadoras horizontales, (b) es una *sierra circular* utilizada para efectuar ranuras estrechas y cortar piezas, (c) corresponde a una fresa de *disco de dientes rectos*, se usan para fresar ranuras planas, (d) es una fresa *frontal angular* utilizada para el mecanizado de guías en ángulo, (e) y (f) son fresas de *vástago frontales* de pequeños diámetros utilizadas para frentear agujeros, cantos y pequeñas superficies, y (g) fresa *frontal cilíndrica* con dientes con filos cortantes en la periferia y en una de las caras frontales, utilizadas para trabajar superficies planas y rebajes en ángulo recto. Las fresas están construidas de acero al carbono, acero rápido, acero extra rápido, carburos metálicos, materiales cerámicos, aleaciones no ferrosas y materiales especiales, siendo su comportamiento similar a las herramientas del torno.

En el trabajo de fresado, el movimiento principal de corte está a cargo de la herramienta. Consiste en la rotación con movimiento uniforme de la fresa, de tal modo que sus filos cortantes adquieren una velocidad tangencial periférica adecuada para el corte del material de la pieza que se trabaja y el de la herramienta empleada para efectuar el corte. El desplazamiento de alimentación de la mesa de fresar, y por lo tanto el de la pieza, depende del movimiento principal. Cada uno de los dientes de la herramienta corta, por lo general,

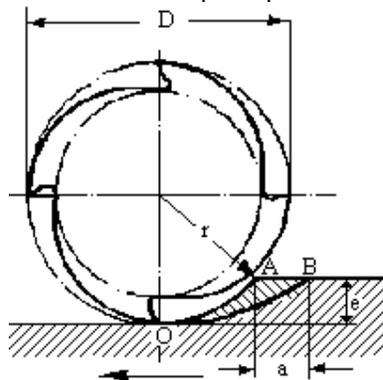


Fig.5.36

una viruta en forma de cuña, según se muestra en la figura (Fig.5.36). Por lo tanto, el espesor de la viruta pasa de un valor mínimo de cero en  $O$  a un valor máximo en  $AB$ , que dependerá del movimiento de alimentación  $a$ , del diámetro  $D$  de la fresa utilizada y de la profundidad  $e$  de corte. Esta característica del trabajo de fresado la distingue en forma absoluta de la forma de corte de las otras máquinas herramientas ya vistas, donde la sección de viruta era constante. Por esta forma de trabajo, cada uno de los dientes o ángulos de filos de la fresa, está sometido a esfuerzos variables que van desde un mínimo a un máximo, descendiendo hasta cero cuando el diente de la herramienta deja de actuar sobre el material de la pieza que se está mecanizando.

Por sus características particulares, las máquinas fresadoras se adaptan especialmente para los trabajos de precisión aunque también se emplean para realizar operaciones de desbastado.

### **Tipos de fresas y dimensiones principales**

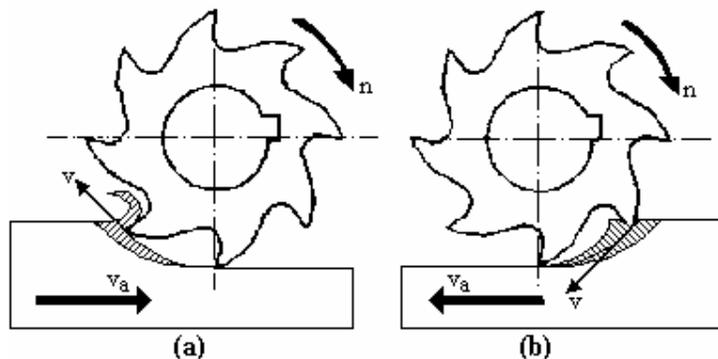


Fig.5.37

El avance del carro porta pieza (movimiento longitudinal) puede ser, según se muestra en la figura (Fig.5.37a) de distinto sentido o según la figura (Fig.5.37b) de igual sentido al del movimiento principal de corte  $n$  (movimiento de rotación de la fresa), los que se

denominan respectivamente: *fresado corriente en contra dirección o contra avance* y *fresado paralelo o a favor del avance*.

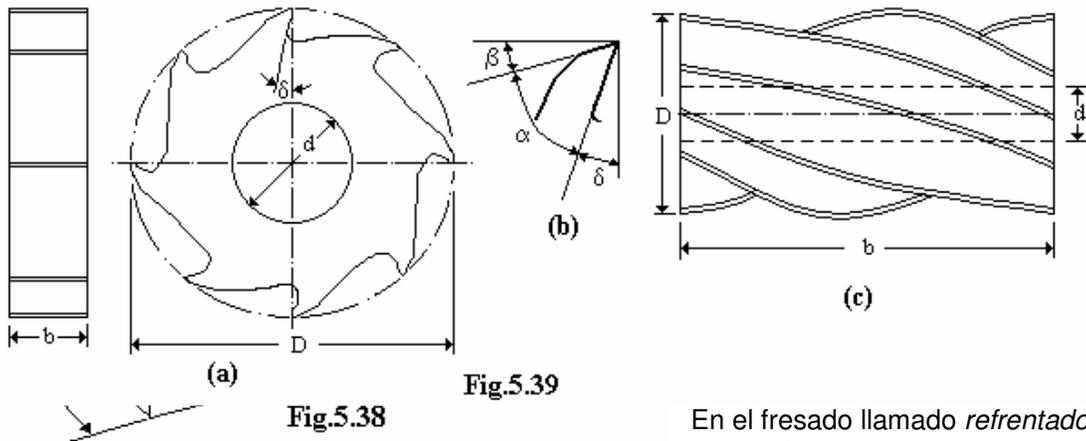


Fig.5.38

Fig.5.39

En el fresado llamado *refrentado* se utilizan fresas circulares con dientes

con filos periféricos  $u$  y filos frontales  $i$ , según muestra la figura (Fig.5.38), dispuestos en la periferia y en la cara frontal respectivamente; el eje de giro  $X$  de la fresa es en este caso normal a la superficie de la pieza trabajada. En este caso, los filos periféricos de los dientes cortan el material, en tanto que los dispuestos frontalmente trabajan alisando la superficie horizontal que se forma. La viruta, en este caso, no es en forma de cuña, sino que presenta una sección transversal en forma de paralelogramo de espesor  $e$  y ancho  $b$ , siendo el avance por diente  $a$  el dado por la expresión (5.77), resultando la carga sobre los dientes uniforme.

Todas las fresas presentan elementos comunes, siendo algunos de los principales, mostrados en la figura ( Fig.5.39a), el *diámetro exterior*  $D$  de la fresa, el *diámetro interior*  $d$ , donde encaja el árbol porta fresa, el *ancho*  $b$  de la fresa; en la figura (Fig.5.39b) el *ángulo de filo*  $\alpha$ , el *ángulo de incidencia*  $\beta$ , el *ángulo de ataque*  $\delta$ . La figura (Fig.5c) muestra una fresa circular de filos helicoidales, la cual presenta los mismos elementos que la fresa circular de dientes rectos.

### Resistencia al corte y momento torsor

El trabajo de corte en el fresado, según lo indicado en la figura (Fig.5.37), es realizado por una fuerza periférica  $P$  tangencial a la fresa, la cual debe vencer la resistencia ofrecida por el material sobre el diente. Además aparece una fuerza  $S$  radial, soportada por el árbol porta fresa. Como resultante de  $P$  y de  $S$  actúa la fuerza  $R$  sobre el árbol porta fresa, provocando un esfuerzo de flexión compuesta.

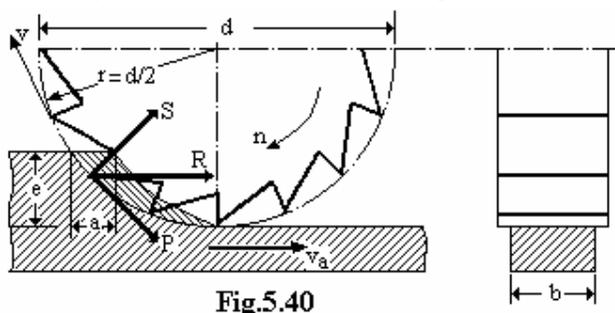


Fig.5.40

Si la fresa de la figura realiza el corte del material, siendo  $d$  el diámetro de la fresa,  $a$  el avance por diente de la fresa,  $b$  el ancho del corte,  $e$  espesor o profundidad de corte, tomadas todas en milímetros, y además es  $v_a$  la velocidad de avance en mm/min de la mesa porta pieza, lo que se puede toma como un movimiento relativo de la fresa,  $v$  la velocidad de corte de la fresa en m/min,  $n$  el número de vueltas por minuto de la fresa (rpm) y  $z$  el número de dientes de la fresa, se obtiene que el volumen  $Vol$  en  $mm^3/min$  de metal cortado por un diente estará dado por la expresión:

$$Vol = e \cdot b \cdot v_a$$

(5.76)

La velocidad de avance  $v_a$ , en algunos casos se toma como el avance  $z \cdot a$  en mm/vuelta, por lo que resultará, en función del número de vueltas  $n$ :

$$z.a.\left(\frac{mm}{vuelta}\right).n\left(\frac{vueltas}{min}\right) = v_a\left(\frac{mm}{min}\right)$$

(5.77)

Si la resistencia específica de corte del material trabajado es  $k_s$ , la fuerza  $F$  necesaria para efectuar el corte del material es:

$$F = k_s \cdot q = k_s \cdot e \cdot b$$

(5.78)

Por lo tanto, teniendo en cuenta la velocidad de avance  $v_a$ , el trabajo de corte por unidad de tiempo  $T_r$ , o potencia de corte, requerido resulta:

$$T_r = F \cdot v_a = k_s \cdot e \cdot b \cdot v_a$$

(5.79)

Como el trabajo de corte lo realiza la fuerza  $P$ , que actúa con la velocidad tangencial  $v$ , desarrollando una potencia  $N$  dada por la expresión:

$$N = P \cdot v$$

(5.80)

Por lo tanto, como la (5.80) debe ser igual a la (5.79):

$$N = T_r$$

(5.81)

Por lo tanto, por la (5.79) y la (5.80) la (5.81) se puede escribir:

$$P \cdot v = k_s \cdot e \cdot b \cdot v_a$$

(5.82)

Operando matemáticamente en la (5.82) se obtiene:

$$P = \frac{k_s \cdot e \cdot b \cdot v_a}{v}$$

(5.83)

por otra parte, el momento torsor al cual se somete la fresa de radio  $r = d/2$  es:

$$M_r = P \cdot r = P \cdot \frac{d}{2}$$

(5.84)

O por la (5.83):

$$M_r = \frac{k_s \cdot e \cdot b \cdot d \cdot v_a}{2 \cdot v}$$

(5.85)

### **Potencia absorbida**

La potencia necesaria para efectuar el trabajo de corte está dada por la (5.80) y por la (5.82). Teniendo en cuenta la velocidad de rotación  $n$  en vuelta/min y el avance  $v_a$  en mm/vuelta, según la (5.77), la (5.82) se puede escribir como:

$$N = P \cdot v = k_s \cdot e \cdot b \cdot v_a = k_s \cdot e \cdot b \cdot z \cdot a \cdot n$$

(5.86)

Las dimensiones de las expresiones anteriores corresponderán al sistema utilizado, debiendo poner especial cuidado en utilizar los factores de conversión correctos para pasar de un sistema a otro. Como la expresión (5.86), para  $k_s$  en  $kg/mm^2$ , y según las dimensiones

ya mencionados de los otros factores, estará dada en kgmm/min, para obtenerla en vatios (W), se deben introducir los factores de transformación, resultando la siguiente expresión:

$$N = 9,8 \left( \frac{N}{kg} \right) \cdot 10^{-3} \left( \frac{mm}{m} \right) \frac{1}{60} \left( \frac{min}{s} \right) \cdot k_s \left( \frac{kg}{mm^2} \right) \cdot e(mm) \cdot b(mm) \cdot z \cdot a \left( \frac{mm}{vuelta} \right) \cdot n \left( \frac{vuelta}{min} \right) \quad (5.87)$$

Operando matemáticamente la (5.87), se obtiene:

$$N = 1,63 \cdot 10^{-4} \cdot k_s \cdot e \cdot b \cdot z \cdot a \cdot n \quad (W) \quad (5.88)$$

Y para obtenerla en CV, la expresión resultante es la siguiente:

$$N = \frac{e(mm) \cdot b(mm) \cdot z \cdot a \left( \frac{mm}{vuelta} \right) \cdot n \left( \frac{vuelta}{min} \right) \cdot k_s \left( \frac{kg}{mm^2} \right)}{60 \left( \frac{s}{min} \right) \cdot 75 \left( \frac{kgm}{s} \frac{1}{CV} \right) \cdot 1000 \left( \frac{mm}{m} \right)} \quad (5.89)$$

Operando matemáticamente la (5.89), obtenemos:

$$N = \frac{e \cdot b \cdot z \cdot a \cdot n \cdot k_s}{4500000} \quad (CV) \quad (5.90)$$

Las expresiones (5.88) y (5.90) dan la potencia para cortar el material únicamente, motivo por el cual se las debe afectar del rendimiento total de la máquina  $\eta_T$  para calcular la potencia del motor que la accionará, debiéndose tener en cuenta los rendimientos propios de la transmisión por los rozamientos existentes en la misma, resultando finalmente la expresión:

$$N_m = \frac{N}{\eta_T} \quad (5.91)$$

### **Velocidad de rotación de la fresa**

La velocidad de rotación  $n$  de la fresa debe ser la correspondiente a la velocidad de corte  $v$  del material trabajado y al material de la fresa, para lo cual la fresadora tiene dispuesto un sistema de transmisión que varía la velocidad de acuerdo a la necesidad de cada caso.

Las velocidades de rotación y de corte ya fueron introducidas en la (5.77) y (5.80) respectivamente, correspondiendo la primera a la velocidad angular  $\omega$  en rad/s de la fresa y la segunda a la velocidad tangencial en m/s de la misma, estando relacionadas por las siguientes expresiones:

$$v = \omega \cdot \frac{d}{2} = \omega \cdot r \quad (5.92)$$

y

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

(5.93)

De la (5.92) y (5.93) se puede escribir:

$$v = \frac{2\pi n r}{60} = \frac{\pi n d}{60}$$

(5.94)

Operando la (5.94), se puede escribir:

$$n = \frac{60v}{\pi d}$$

(5.95)

Existen distintas tablas que dan los valores de  $k_s$ ,  $v$  y  $v_a$ , según el material a trabajar y del tipo de material con el cual está construida la fresa, una de las cuales se da a continuación a modo de ejemplo.

**Avances y velocidades de corte de fresas comunes de acero rápido**

MATERIAL	VELOCIDAD DE CORTE		VELOCIDAD DE AVANCE $V_a$ (mm/min)
	(m/min)		
	Desgrosado $v$	Acabado $v$	
Cobre y aluminio.....	60 – 80	80 – 100	80 – 120
Bronce común.....	25 – 28	35 – 40	80
Bronce común.....	20 – 25	30 – 35	45
Bronce común.....	16 – 20	25 – 30	60
Bronce endurecido.....	15 – 18	22 – 25	40
Bronce endurecido.....	12 – 16	18 – 22	30

Acero dulce..... $K_z = 40$ - 50kg/mm <sup>2</sup>	10 – 15	16 – 18	25
	9 – 13	14 – 16	22
Acero..... $K_z = 60$ kg/mm <sup>2</sup>	8 – 12	13 – 15	20
	12 – 15	18 – 20	45
Acero mediano... $K_z = 70$ kg/mm <sup>2</sup>	17 - 20	12 - 15	18
Acero duro..... $K_z = 80$ kg/mm <sup>2</sup>			
Acero muy duro.. $K_z = 90$ kg/mm <sup>2</sup>			
Acero muy duro.. $K_z = 100$ kg/mm <sup>2</sup>			
Fundición común.....			
Fundición dura.....			

-  
-  
-

### Cálculo del tiempo de máquina

Para determinar el tiempo de mecanizado, cuando se realiza la operación de fresado, se debe conocer el número  $z$  de dientes de la fresa, su velocidad de rotación  $n$  y su velocidad tangencial  $v$  que constituye el movimiento principal de corte como también el movimiento de avance o alimentación  $v_a$  del carro portapieza. Por otra parte también será necesario contar con los datos de la longitud  $L$  a fresar de la pieza, el espesor total  $h$  que se debe rebajar la pieza y la cantidad total de pasadas  $m$  para lograr la misma, el espesor por pasada  $e$  y el avance por diente  $a$ .

Si están  $L$ ,  $h$  y  $e$  en milímetros,  $n$  en vueltas por minuto (rpm),  $v_a$  en mm/vuelta, se tiene:

$$m = \frac{h}{e}$$

Profundidad total de pasada:  
(5.96)

Tiempo empleado en una pasada:  
(5.97)

$$T = \frac{L}{v_a} = \frac{L}{z \cdot a \cdot n} \quad (\text{min})$$

Tiempo total empleado en hacer las  $m$  pasadas:

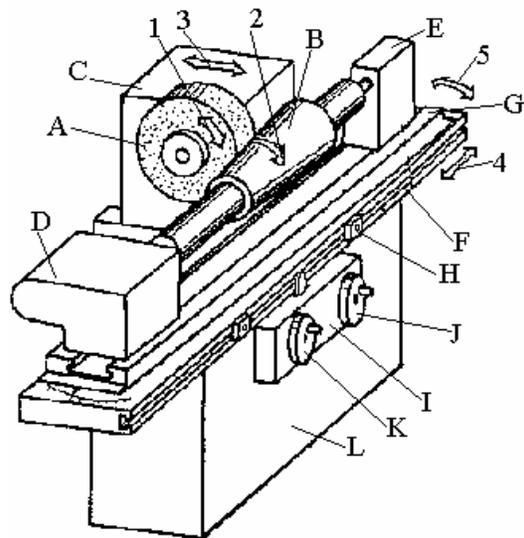
$$T_t = m \cdot T = m \frac{L}{v_a} = m \frac{L}{z \cdot a \cdot n} \quad (\text{min})$$

(5.98)

### **AMOLADO**

El *amolado* consiste en quitar el material de una pieza mediante una herramienta de filos múltiples denominada *pedra* o *disco*, constituido por material abrasivo que gira sobre un eje a una velocidad adecuadas, pudiendo tener además la pieza un movimiento lineal o de rotación, o combinados.

El amolado o *esmerilado* se emplea para el *afilado de herramientas* que se utilizan en el corte de metales; para *desgrossar*, *desbarbar* y *pulir* distintas piezas obtenidas por moldeo u otro método, quitándoles la rebaba o el material en exceso, obteniendo un mejor acabado de la misma; para *rectificar* distintas superficies obtenidas con otras máquinas herramientas, logrando dimensiones más precisas; para *rectificación de piezas templadas*, cuando las mismas sufrieron deformaciones por haber sido expuestas a altas temperaturas, ya sea por tratamientos térmicos o recalentamientos.



El amolado se realiza con máquinas herramientas, las que según sea el trabajo que realizan reciben diferentes denominaciones, como por ejemplo las *amoladoras comunes*, que pueden ser portátiles o fijas, utilizadas por lo general en todos los talleres para afilado y desgrosado, las *cortadoras a disco sensitivas*,

que se utilizan para cortar metales o el desbarbado de piezas, y las *rectificadoras*, que pueden ser para *rectificación plana, cilíndrica o cónica, externa o interna, de roscas, sinfines, engranajes*, etc. En la figura (Fig.5.41) se muestra una rectificadora cilíndrica, indicándose sus partes principales siendo éstas: *pedra* o *disco de rectificar A*, la cual tiene el movimiento de giro 1, con una velocidad de rotación  $n$ ; *pieza que se rectifica B*, que gira según 2 con una velocidad de rotación  $n_p$ ; *carro con motor C*, que le confiere el giro y desplaza a la piedra en la dirección 3 según el radio de la pieza; *cabezal del eje de sujeción y de giro de la pieza D*, con motor y caja de velocidades que hace girar la pieza a la velocidad  $n_p$ ; *contrapunta de sujeción de la pieza E*, que sujeta la pieza para mantenerla firme en su posición de trabajo; *mesa inferior F*, soporte de la pieza desplazable hidráulicamente en forma lineal según la dirección 4, sobre guías; *mesa superior G*, desplazable angularmente en la dirección 5, para dar la inclinación a la pieza para el fresado cónico; *tope de la mesa H*, para ajustar la posición y carrera de la mesa; *caja de control I*, para el movimiento de la pieza; *manivela de desplazamiento radial J*, que desplaza hacia la pieza el carro porta disco y disco de rectificar; *manivela de comprobación de desplazamiento y ajuste de la mesa K*; *bastidor L*, con el accionamiento hidráulico de la mesa.

### **Generalidades**

El amolado se caracteriza por el arranque de virutas muy pequeñas mediante herramientas constituidas, en algunos casos, con sustancias minerales naturales como el *esmeril*, *cuarzo*, *corindón*, *areniscas*, etc., y en otros casos, lo más común actualmente, constituidas

por materiales artificiales como *carborundum* o *carburo de silicio* (CSi), *Alundum* ( $Al_2O_3$ ), *diamante negro* o *carburo de boro* ( $CB_4$ ), y diamantes de baja calidad.

Las herramientas más comunes tienen forma de disco, siendo su forma de trabajo muy similar al de las fresas, siendo como ésta, según ya se mencionara, una herramienta de filos de corte múltiples, solo que en este caso los mismos están constituidos por pequeños granos muy agudos, que no se tallan especialmente como en el caso de los dientes de la fresa en número relativamente pequeño, sino que su cantidad es muy grande y se hallan distribuidos sobre la superficie de la muela.

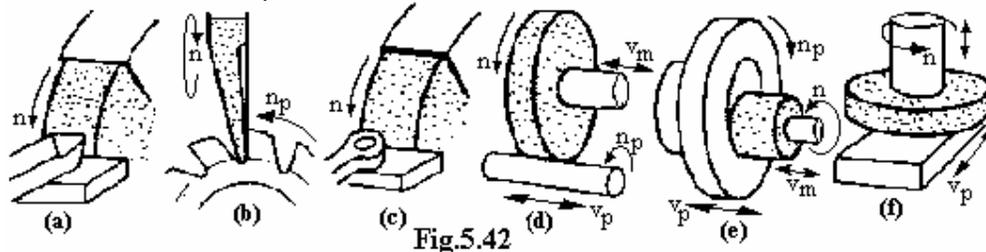


Fig.5.42

Las operaciones más comunes realizadas con estas herramientas, según ya se mencionara precedentemente, son las indicadas en la figura (Fig.5.42), correspondiendo (a) afilado de una herramienta o útil de torno, (b) afilado de una fresa, (c) desbarbado de una palanca, (d) rectificado cilíndrico de un árbol o eje, (e) rectificado interior de una pieza cilíndrica, (f) rectificado plano de una pieza rectangular.

Existe una operación, denominada *pulimentado a polea*, la que utiliza una rueda constituida por discos de género, siendo los extremos de cuero para facilitar su formación. Esta rueda se monta directamente sobre en el extremo del eje de los motores, constituyendo una polea que gira a alta velocidad, por lo que a causa de la fuerza centrífuga los discos se ponen rígidos y como la polea se cementa o encola con polvos abrasivos o pasta especial para pulir, secándose en hornos, se puede con ella efectuar pulidos gruesos y finos.

### Características del amolado

En algunos casos las muelas, además de girar, se desplazan con respecto a la superficie trabajada la cual permanece fija, en otros la muela gira en la misma posición y se desplaza la pieza, existiendo además casos en que ambas se desplazan.

Las ruedas de amolar son sólidos de revolución conformadas por innumerables granos de material abrasivo unidos por un aglomerante o aglutinante especial y apropiado para cada tipo de trabajo, cuyo poder de retención de dichos granos constituyen la *dureza* de la muela. Haciendo variar la proporción y composición de estos aglomerantes se obtienen las durezas de las ruedas de amolar las que se clasifican en grados. Por lo tanto, la dureza de una rueda de amolar no depende del tipo de abrasivo que la constituye, sino del aglomerante utilizado para unir los granos del abrasivo.

**Grados de dureza:** se ha normalizado universalmente la designación por letras mayúsculas, los distintos grados de dureza de las muelas, según se indica en la tabla que está a continuación:

Designación de la dureza de las muelas de rectificar	
Muy blandas: EFG	Semi-duras: PQRS
Blandas: HIJK	Duras: TUVW
Medias: LMNO	Muy duras: XYZ

El material aglomerante puede ser V: vitrificado (cerámico o vidrio), son resistentes al agua y pueden realizarse trabajos húmedos, soportan bien la temperatura; S: silicato (silicato de sodio), de iguales características que el anterior; R: goma (goma vulcanizada), al calentarse se vuelven pegajosos; B: resina (resina sintética o bakelita), resiste bien la alta temperatura; E: goma laca (productos elásticos), comportamiento similar a la goma; O: oxiclورو (magnesita), es sensible a la humedad, solo son apropiadas para esmerilado en seco. El grado de dureza se elige de acuerdo al desgaste de los granos, debiendo soltarse del aglomerante y dejar lugar a nuevos afilados, por lo que se deben utilizar por lo general muelas blandas para materiales duros y muelas duras para materiales blandos.

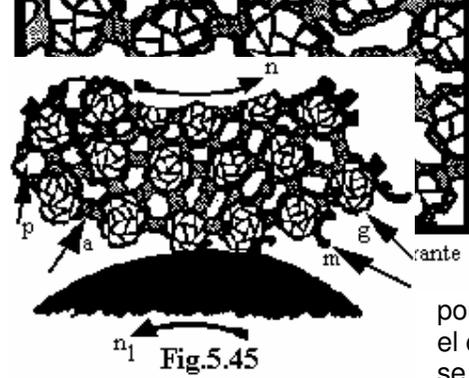
**Empleo de los abrasivos:** como se dijo, existen distintos tipos de abrasivos. Cada uno de ellos se emplean para el amolado de distintos tipos de materiales y trabajos. El óxido de aluminio, obtenido de la bauxita, se utiliza para trabajar materiales de alta resistencia a la tracción, tales como aceros y sus aleaciones, hierro maleable, etc. Carburo de Silicio, recomendado para el corte de materiales de baja resistencia a la tracción como hierro fundido, bronce, aluminio, cobre, carburo de tungsteno, materiales no metálicos, etc. Otro tipo de abrasivo de gran resistencia es el diamante, para amolado de materiales duros, confiriendo a las muelas con aglomerante metálico la propiedad de no calentarse durante el afilado de herramientas de metal duro como el carburo metálico.



**Tamaño del grano:** la cantidad de material arrancado depende del tamaño del grano del abrasivo que conforma la muela. El tamaño de los granos se clasifica empleando tamices que presentan distintas medidas de mallas, a través de las cuales se hacen pasar los granos. Cuanto más cerrada es la malla, más pequeño es el tamaño de grano que puede pasar por ella. Se ha estandarizado el tamaño según el número de orificios o aberturas que tiene la malla por pulgada, según muestra la figura (Fig.5.43), la cual corresponde a una malla de 32 orificios por pulgada, correspondiendo a un grano 32, siendo su tamaño en pulgadas y milímetros  $1/32 = 0,03125'' = 0,79375 \text{ mm}$ . La tabla precedente indica la clasificación del tamaño del grano según el número  $N$  de orificios de la malla por pulgada y su uso para los distintos tipos de trabajos que se pueden realizar con la muela.

El tamaño del grano influye en el rendimiento del trabajo de rectificando y sobre la calidad superficial de la pieza trabajada, de tal forma que con un granulado grueso se obtiene un gran rendimiento pero superficies ásperas y con un granulado fino el rendimiento es pequeño pero las superficies son lisas, por lo tanto, el tamaño del grano de las muelas de desbaste deberá ser mayor que en las de acabado.

**Estructura de las muelas:** está dada por la distribución de los granos abrasivos y el aglomerante que los retiene y el tamaño de los espacios abiertos, comúnmente llamados poros, entre éstos. La estructura podrá ser *cerrada* o *compacta*, *mediana* y *abierta* o *porosa*. Se tiene así que en una estructura *cerrada* o *compacta* los poros son menos abiertos que en las estructuras *mediana* y en éstos que en las *abiertas*. Con la variación de la estructura se logra que las partículas o virutas arrancadas no queden adheridas a la muela, que el refrigerante pueda ingresar a la zona de contacto entre la rueda y la pieza trabajada e inclusive variar la profundidad de corte. Cuando mayor son los poros el grosor de la viruta que es arrancada puede ser mayor ya que no se *tapa* o *atora* la rueda.



En la figura (Fig.5.44) se muestra, a modo de ejemplo una estructura con la distribución del aglomerante, de los granos abrasivos y de los poros, y en la figura (Fig.5.45), la forma de como efectúa el corte el grano de la muela al girar ésta y la pieza que se trabaja a  $n$  y  $n_1$  vueltas por minuto respectivamente, siendo  $m$  la partícula o viruta arrancada por el grano abrasivo  $g$ ,  $a$  el aglomerante que lo

retiene y  $p$  la abertura o poro que permite se desprenda la viruta arrancada y que define el tipo de estructura de la muela. Por lo general, la estructura cerrada se utiliza para trabajar materiales muy duros, teniendo un mejor acabado superficial, la mediana para materiales tenaces o cuando la muela debe abarcar superficies amplias y por último, la abierta para trabajar materiales blandos o plásticos. La estructura de las muelas se designan con números romanos, según se indica a continuación:

Cerrada o compacta	Media	Abierta o porosa
I, II, III	IV, V, VI	VII, VIII, IX

### **Rectificado**

Una de las principales operaciones que se efectúa con el amolado es el rectificado, que es una operación de acabado superficial con un elevado grado de precisión, el cual consiste en un amolado fino con avances perfectamente uniformes, el cual se realiza con máquinas rectificadoras, según lo ya visto anteriormente. El rectificado puede ser realizado en el exterior o interior de piezas cilíndricas o cónicas, o en superficies planas.

Con la operación de rectificado se pueden corregir imperfecciones de piezas sometidas a tratamientos térmicos, las cuales debido al calentamiento han sufrido deformaciones, como es por ejemplo, el caso de las tapas de cilindros de los motores de explosión y de combustión interna, en las cuales se realiza un rectificado plano. También se pueden corregir deformaciones causadas por el desgaste, logrando medidas homogéneas en las piezas que se trabajan, como por ejemplo en la rectificación de los cilindros de automóviles, mediante un rectificado cilíndrico interior. Con el rectificado también se da a las piezas su acabado definitivo, llevándolas a sus medidas correspondientes entre los límites establecidos.

El rectificado es aplicable a distintos tipos de materiales, tanto metálicos como no metálicos, como el acero y el vidrio, por ejemplo. Es muy importante la velocidad  $v$  relativa entre la muela y la pieza, dependiendo éstas del material a rectificar y del aglomerante utilizado, así como también del tipo y tamaño del abrasivo. En función del diámetro  $d$  en mm de la muela y de su número de vueltas  $n$  por minuto, la velocidad tangencial o de corte  $v$  de la muela en m/s es:

$$v = \frac{\pi d n}{1000.60}$$

(5.99)

Existen tablas que dan la velocidad de las muelas en función de su dureza y tipo, una de las cuales para el rectificado cilíndrico, se transcribe a continuación:

#### **Velocidades periféricas de las muelas en m/s**

Tipo de muela	Aglomerante vitrificado y al silicato			Aglomerante de resina sintética y goma		
	Dureza			Dureza		
	Blanda	Media	Dura	Blanda	Media	Dura
De disco.....	25	30	33	33	40	60
De anillos, de taza, cónicas, bicónicas.....	23	25	28	25	30	40
De disco, para tronzado.....	-	-	-	-	50	60
De disco especial para tronzado.....	-	-	-	-	-	60 a 80

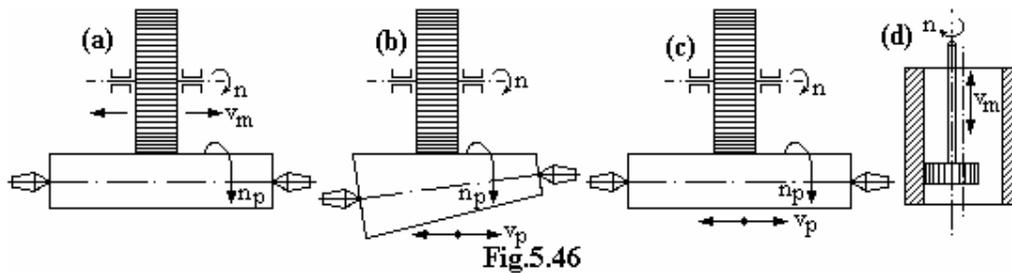


Fig.5.46

En el rectificado cilíndrico se utilizan muelas cilíndricas, girando tanto la muela como la pieza trabajada, pudiendo desplazarse longitudinalmente tanto una como la otra, según se puede observar en la figura (Fig.5.46) distintos tipos de rectificados, en (a) y (c) cilíndrico externo, (b) cónico externo y (d) cilíndrico interno.

### Rectificación plana

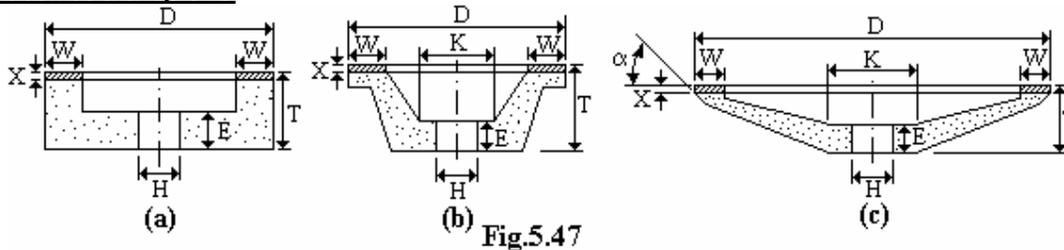


Fig.5.47

Una de las operaciones más utilizadas y por lo tanto importante, es el rectificado de superficies planas que han sufrido deformaciones, como se comentara anteriormente, utilizándose para ello tanto muelas cilíndricas como de formas especiales, algunas de las cuales se muestran en la figura (Fig.5.47) denominadas (a) *rueda de copa recta*, (b) *de copa cónica* y (c) *rueda de platillo*.

Las muelas tienen dimensiones características, normalizadas, las cuales vienen especificadas por los fabricantes y según un código que las identifica. Las velocidades utilizadas también en este caso dependen del tipo de material a rectificar y el tipo de muela. En la figura (Fig.5.47) es  $D$  el diámetro exterior de la muela,  $W$  ancho de la superficie abrasiva,  $X$  espesor del abrasivo,  $T$  alto total de la muela,  $E$  grueso de la piedra,  $H$  encastre

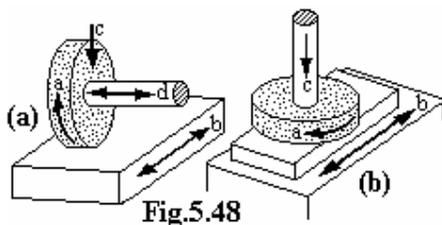


Fig.5.48

para el montaje de la muela en el eje,  $\alpha$  ángulo de inclinación de la superficie abrasiva de la muela.

El rectificado plano, según la posición que tome la muela con respecto a la pieza que se trabaja, puede ser *tangencial* o *frontal*, lo que se indica en la figura (Fig.5.48a) y (Fig.5.48b) respectivamente, dependiendo del tipo de muela utilizada. Al girar la muela se produce el movimiento de corte  $a$ , al mismo

tiempo, el mecanismo hidráulico produce el avance  $b$  de la mesa porta pieza y por lo tanto de la pieza, siendo  $c$  la penetración o avance en profundidad en tanto que  $d$  corresponde al movimiento transversal de la muela, o también de la pieza, para cubrir su ancho.

En la figura (Fig.5.49) se indican ambos tipos de rectificado plano, los cuales se realizan de la forma siguiente:

1- En el rectificado tangencial el eje de la muela es paralelo a la superficie de la pieza que se trabaja. La muela gira sobre su eje a una determinada velocidad mientras la pieza se desplaza con movimiento rectilíneo, lo que se muestra en la figura (Fig.5.49a). La superficie de la muela que trabaja es pequeña, por lo que la producción es reducida. Se utiliza para el esmerilado de listones.

2- En el rectificado frontal el eje de la muela es perpendicular a la superficie trabajada. La muela gira alrededor de su eje, trasladándose la pieza con movimiento rectilíneo, dando lugar al *esmerilado en cruz*, según se observa en la figura (Fig.5.49b). Como hay una gran superficie de contacto de la muela con la pieza, la producción es grande.

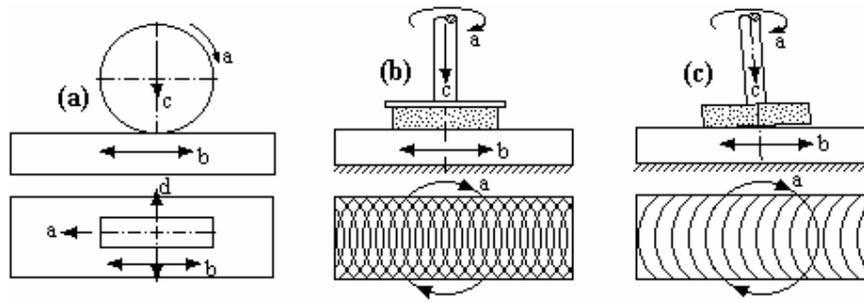


Fig.5.49

3- En este caso también se trata de un rectificado frontal, pero el eje de la muela tiene una leve inclinación respecto de la perpendicular al plano de la pieza trabajada, siendo los movimientos similares al del punto 2, dando lugar al *esmerilado radial*, según muestra la figura (Fig.5.48c). Con esta forma de trabajar, la muela trabaja con un solo canto, evitando la convexidad (*abombamiento*) que puede producirse con el esmerilado en cruz.

**Velocidad periférica de la pieza que se trabaja**

Es de fundamental importancia esta velocidad en relación con la velocidad periférica de la muela para la correcta ejecución del trabajo. Estas velocidades son diferentes para cada tipo de operación donde la pieza tiene movimiento. Por lo general, cuando se trata de desgrosado o desbastado, se aconseja emplear bajas velocidades periféricas de la pieza, en cambio se deben utilizar grandes avances laterales y profundidades de corte. Las velocidades periféricas de las piezas trabajadas se expresan en metros sobre minuto. La expresión que da la velocidad periférica  $v_p$  en m/min de la pieza, en función de su diámetro  $d_p$  dado en mm y de su número de vueltas  $n_p$  por minuto está dado por la expresión:

$$n_p = \frac{v_p 1000}{\pi d_p}$$

(5.100)

Se encuentran tabulados valores de estas velocidades para los distintos materiales y tipos de trabajos a los que están sujetos y a las distintas muelas utilizadas. A continuación se transcribe una de las tablas mencionadas, en la cual se han colocado en las distintas columnas el tipo de material de la pieza que se trabaja, tipo de mecanizado a realizar, velocidad y dureza y tamaño del grano para el esmerilado exterior como interior:

**VELOCIDAD PERIFÉRICA DE LA PIEZA EN m/min**

Material	Mecanizado	Esmerilado cilíndrico exterior		Esmerilado cilíndrico interior	
		Vel. periférica	Grano/Dureza	Vel. periférica	Grano/Dureza
Acero blando	Desbastado	12 a 15	46 L a M	16 a 21	45 a 50 J a O
	Afinado	9 a 12	"	-	-
Acero templado	Desbastado	14 a 16	46 K	-	-
	Afinado	9 a 12	"	18 a 23	46 K a 60 H
Fundición gris	Desbastado	12 a 15	46 K	-	-
	Afinado	9 a 12	"	18 a 23	40 a 46 K a M
Latón	Desbastado	18 a 20	36 K a 46 J	-	-
	Afinado	14 a 16	"	25 a 30	36 K a 46 J
Aluminio	Desbastado	40 a 50	30 K a 40 J	-	-
	Afinado	28 a 35	"	32 a 35	30 H

**Avance longitudinal por giro de la pieza y espesor o profundidad de corte**

Si por cada giro de la pieza la muela se desplaza longitudinalmente una distancia  $a$ , la cual corresponde a una fracción de su ancho  $b$ , según se indica en la figura, se tendrá:

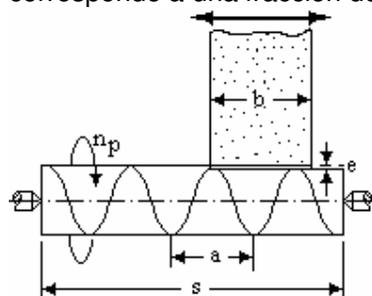


Fig.5.50

Desgrosado-----  $a = \frac{1}{2}b$  a  $\frac{4}{5}b$

Acabados-----  $a = \frac{1}{10}b$  a  $\frac{1}{4}b$

Existen tablas que dan para los distintos materiales, tipos de muelas y trabajos a realizar el avance  $a$  en función del ancho  $b$  de la muela. Una de estas tablas es la que a continuación se transcribe:

**AVANCE LATERAL POR REVOLUCIÓN DE LA PIEZA, EN FRACCIONES DEL ANCHO  $b$  DE LA MUELA**

Material	Esmerilado cilíndrico exterior		Esmerilado cilíndrico interior	
	Desbastado	Afinado	Desbastado	Afinado
Acero	$\frac{2}{3}$ a $\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$	$\frac{1}{5}$ a $\frac{1}{4}$
Fundición gris	$\frac{3}{4}$ a $\frac{5}{6}$	$\frac{1}{3}$ a $\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$ a $\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{3}$

Para el espesor o profundidad  $e$  de pasada, según el tipo de material que se trabajará, se toman valores radiales, que también se encuentran tabulados, en tablas como la siguiente:

MATERIAL	DESGROSADO (mm)	ACABADO (mm)
Acero templado	0,02 a 0,03	0,005 a 0,01
Acero normalizado	0,03 a 0,06	0,005 a 0,02
Fundición	0,08 a 0,16	0,02 a 0,05
Latón y Aluminio	0,125 a 0,25	0,02 a 0,1

**Potencia necesaria:** La potencia  $N$  necesaria en kgm/s para el corte estará en función de la fuerza tangencial o de corte  $P$  en kg, que realiza la muela y de su velocidad periférica de corte  $v$  en m/s. Esta potencia es igual a la necesaria para imprimir a la pieza trabajada una velocidad periférica  $v_p$  en m/min, donde el material ofrece una fuerza resistente  $F$  en función de la sección del material arrancado que estará dado por el avance  $a$  en mm/vuelta de la muela, del espesor o profundidad de corte  $e$  en mm y de la presión específica de corte  $k_s$  en  $\text{kg/mm}^2$ , resultando por lo tanto:

$$N = P \cdot v = 60 \cdot v_p \cdot e \cdot a \cdot k_s$$

(5.101)

Para obtenerla en CV se la divide por 75 kgm/CV, resultando:

$$N = \frac{P \cdot v}{75}$$

(5.102)

Para obtener la (5.102) en vatios se tiene:

$$N = 9,8 P \cdot v$$

(5.103)

De la (5.102) y (5.103) se obtiene:

$$1\text{CV} = 735\text{ W}$$

(5.104)

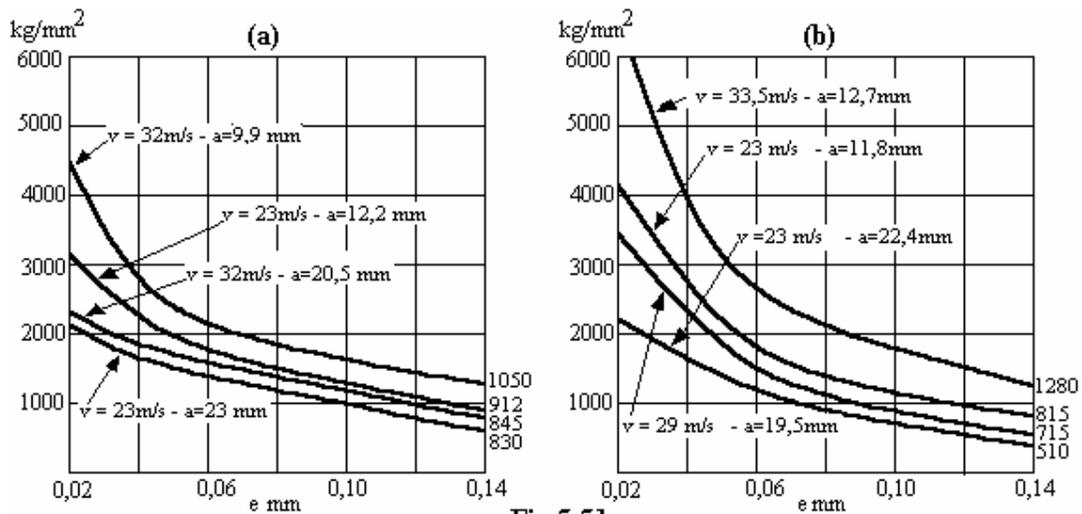


Fig.5.51

La presión específica  $k_s$  se la obtiene de gráficos como los de la figura (Fig.5.51), en función del espesor o profundidad de corte  $e$  y de las velocidades tangenciales o de corte  $v$ , siendo la figura (Fig.5.51a) para rectificar piezas de acero y la figura (Fig.5.51b) para rectificar piezas de fundición:

#### Tiempo de rectificado cilíndrico

Analizando la figura (Fig.5.50), se tiene en este caso que la pieza gira, con una velocidad de rotación  $n_p$  vueltas por minuto, entre dos puntas, siendo además  $s$  la longitud que se debe esmerilar de la pieza, por lo que, o la mesa que la soporta o la muela, se desplaza longitudinalmente la longitud total  $2s$  en milímetros, en un movimiento alternativo de ida y vuelta, realizando el trabajo de esmerilado en cada pasada simple. La muela gira con la velocidad de rotación  $n$  en vueltas por minuto y puede acercarse a la pieza en forma micrométrica. El avance lateral de la pieza por cada giro que realiza es  $a$ , siendo el espesor de una pasada  $e$ , llegando con  $m$  pasadas a una profundidad total  $h$ , estando todas estas medidas en milímetros. Si es  $t$  en minutos, el tiempo empleado en realizar una pasada doble, es decir de ida y vuelta, se tendrá:

$$2s = n_p \cdot a \cdot t \quad (5.105)$$

El número de pasadas  $m$  para llegar a la profundidad  $h$ , es:

$$m = \frac{h}{e} \quad (5.106)$$

El tiempo  $T$  en minutos, empleado para realizar estas  $m$  pasadas es:

$$T = m \cdot t = \frac{2 \cdot s \cdot h}{n_p \cdot a \cdot e} \quad (5.107)$$

Si el esmerilado se realizara en la carrera de ida únicamente, el tiempo  $T$  para realizar el trabajo será:

$$T = \frac{s \cdot h}{n_p \cdot a \cdot e} \quad (5.108)$$

No se consideran los tiempos pasivos, los que deberán tenerse en cuenta en cada caso según las características de las piezas a trabajar, agregándose al tiempo obtenido anteriormente.

## Tiempo de rectificado plano

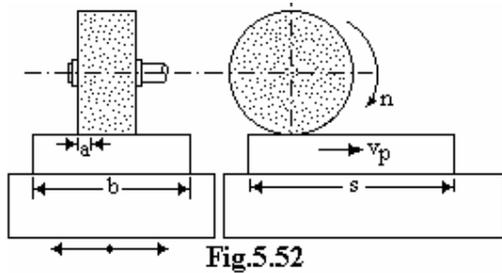


Fig.5.52

lateral al final de cada doble pasada, al final de la cual se ha logrado una profundidad de penetración o espesor de pasada  $e$ . Para total  $b$  de la pieza se necesitan  $m'$  pasadas. Tanto  $s$  y  $e$  están dados en milímetros, estando  $b$  y  $e$  en milímetros, estando  $m'$  en milímetros. En la figura (Fig.5.53) se muestra un frontal, en el cual la muela, la cual gira a  $n$  vueltas por minuto, cubre totalmente la pieza, motivo por el cual la pieza solo cuenta con un movimiento de avance longitudinal de velocidad  $v_p$ , no siendo necesario un movimiento lateral perpendicular al corte principal de la muela.

En el rectificado plano tangencial, para realizar las  $m'$  pasadas que permitan obtener en la pieza la profundidad total  $h$  en  $T$  minutos. Si se emplea un tiempo total  $T$  en minutos. Si se emplea un tiempo  $t'$  en un doble recorrido  $2s$  es  $t'$  para realizar las  $m'$  pasadas es  $t$ , se puede

$$v_p = \frac{2 \cdot s}{t'} \quad (5.109)$$

Despejando  $t'$  de la (5.109) se obtiene:

$$t' = \frac{2 \cdot s}{v_p} \quad (5.110)$$

Por otra parte se tiene que es:

$$m' = \frac{b}{a} \quad (5.111)$$

Para realizar las  $m'$  pasadas, el tiempo  $t$  empleado será:

$$t = m' \cdot t' = \frac{2 \cdot s \cdot b}{v_p \cdot a} \quad (5.112)$$

Las  $m$  pasadas para lograr la profundidad  $h$ , está dada por la expresión:

$$m = \frac{h}{e} \quad (5.113)$$

Y para terminar el trabajo con las  $m$  pasadas, se tendrá:

Según lo visto en rectificado plano, el mismo puede ser tangencial o frontal. El rectificado cilíndrico utiliza una muela cilíndrica que gira a  $n$  vueltas por minuto, la que se muestra en la figura (Fig.5.52). Para cubrir el largo  $s$  y el ancho  $b$  a esmerilar, la muela o la pieza debe estar animada con un movimiento transversal de avance y retroceso perpendicular al movimiento de corte principal de la muela, el cual tiene una velocidad  $v_m$  y de un movimiento

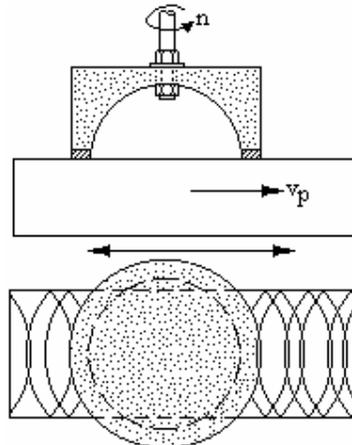


Fig.5.53

lateral al final de cada doble pasada, al final de la cual se ha logrado una profundidad de penetración o espesor de pasada  $e$ . Para total  $b$  de la pieza se necesitan  $m'$  pasadas. Tanto  $s$  y  $e$  están dados en milímetros, estando  $b$  y  $e$  en milímetros, estando  $m'$  en milímetros. En la figura (Fig.5.53) se muestra un frontal, en el cual la muela, la cual gira a  $n$  vueltas por minuto, cubre totalmente la pieza, motivo por el cual la pieza solo cuenta con un movimiento de avance longitudinal de velocidad  $v_p$ , no siendo necesario un movimiento lateral perpendicular al corte principal de la muela.

En el rectificado plano tangencial, para realizar las  $m'$  pasadas que permitan obtener en la pieza la profundidad total  $h$  en  $T$  minutos. Si se emplea un tiempo total  $T$  en minutos. Si se emplea un tiempo  $t'$  en un doble recorrido  $2s$  es  $t'$  para realizar las  $m'$  pasadas es  $t$ , se puede

$$T = m.t = \frac{2.s.b.h}{v_p.a.e}$$

(5.114)

Para el caso que no se necesite desplazamiento lateral, será  $m'=1$ , y el tiempo total que se empleará es:

$$T = m.t' = \frac{2.s.h}{v_p.e}$$

(5.115)

La sujeción de las piezas a la mesa portapiezas debe realizarse con cuidado, a los efectos de evitar todo movimiento que introduzcan defectos en el rectificado. Se utilizan montajes especiales para sujetar las piezas, y en las que tienen un trabajo previo se pueden emplear platos magnéticos, debiendo posteriormente desmagnetarse las piezas de acero y de fundición de hierro sujetadas por este último medio.

## **BROCHADO**

### **Generalidades**

El brochado es una operación que permite modificar el perfil interno o externo de una pieza, por lo que se pueden presentar dos tipos de brochado, el interno y el externo. La máquina utilizada en el brochado se denomina *brochadora*, las que pueden ser a su vez horizontales o verticales, según que la posición de la herramienta, la que se llama *brocha*, sea horizontal o vertical respectivamente. La *brocha*, está constituida por una espiga o barra que consta de una cantidad de filos distribuidos a lo largo de la misma, que conforman el perfil que se desea obtener en el maquinado.

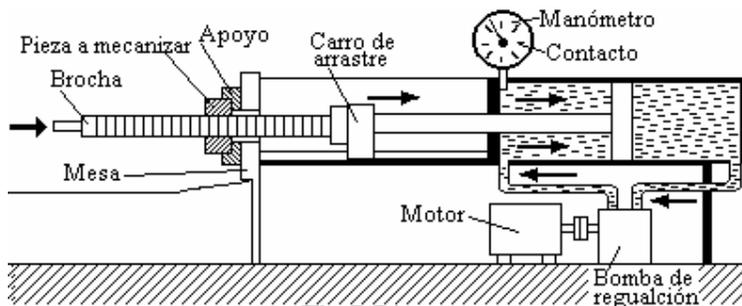


Fig.5.54

La figura (Fig.5.54) muestra el esquema de una brochadora horizontal para brochado interno, en la cual se indican sus partes principales. El carro de arrastre tracciona hidráulicamente a la brocha haciéndola pasar por el agujero previamente hecho en la pieza, y con los filos cortantes de la espiga realiza el corte del material obteniéndose la forma deseada.

Para el caso del brochado interno, que es el caso más corriente, la herramienta consiste en una barra o espiga que posee resaltes o anillos con filos, en forma de dientes cortantes, dispuestos en orden geométrico ascendente a lo largo del eje longitudinal de la barra. La medida diametral de estos anillos o dientes cortantes, se obtiene en base a una progresión aritmética, incrementando radialmente la altura de los dientes.

La operación se realiza haciendo pasar la herramienta en forma forzada a través de un agujero previamente practicado en la pieza. El brochado se presta a la ejecución de trabajos de acabados muy finos, los cuales se consiguen porque en la serie de dientes que poseen las herramientas, el orden ocupado por éstos es generalmente, según se indica en la figura

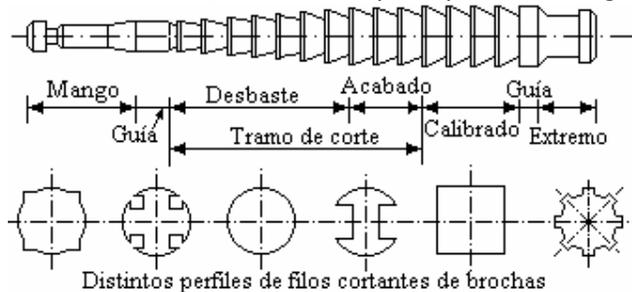


Fig.5.55

(Fig.5.55) el siguiente: dientes de desbaste, de acabado y de calibrado o alesado.

En razón de las características señaladas de la herramienta, solicitada ésta ya sea por tracción o compresión, se logra retirar gradualmente el material de la pared del agujero, el cual ha sido practicado previamente en la pieza, y según sea la forma o perfil de la brocha, obtener

agujeros cuadrados, hexagonales, circulares, acanalados, elípticos, estriados, etc. Además, dando junto con la tracción axial un movimiento de rotación a la herramienta, ésta puede generar en el corte, hélices de paso constante, constituyendo el brochado helicoidal. Los trabajos de brochado son varios, algunos de los cuales se muestra en la figura (Fig.5.56), correspondiendo el *a*, *b*, *c* y *d* a brochado interior y los *e*, *f*, y *g* a brochado exterior.



Fig.5.56

Cuando se exige el empleo de herramientas de gran longitud, se utiliza el brochado por tracción, estando por lo general, el conjunto en forma horizontal, como se indicó en la figura (Fig.5.54); en recorridos cortos se prefiere la acción por compresión y la máquina con disposición vertical.

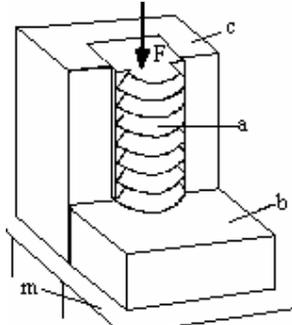


Fig.5.57

En la figura (Fig.5.57) se muestra el proceso de brochado exterior, donde la brocha *a* se mueve en la guía *c*, presionada hacia abajo por la fuerza *F*, efectuando en la pieza *b*, la cual se halla soportada por la mesa *m*, el corte del material con la forma que posee la herramienta.

El accionamiento de la herramienta puede ser mecánico o hidráulico, dándose actualmente preferencia a la última forma. Las brochadoras, por sus altos costos, son utilizadas por lo general, para la fabricación en serie de piezas, no siendo una máquina de uso común en los talleres de mantenimiento.

### Características del corte y de las herramientas cortantes

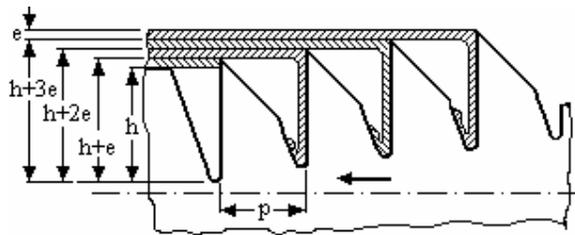


Fig.5.58

En la figura (Fig.5.58) se muestra una brochadora para interior. Los dientes de la brochadora trabajan radialmente cortando la viruta a lo largo de la superficie a trabajar. Una exigencia del trabajo de brochado es que los dientes o anillos cortantes de la herramienta se verifique un aumento diametral progresivo, siguiendo la serie aritmética, cuya diferencia la

constituye el incremento radial *e*. De acuerdo a esto, las diversas alturas de los dientes cortantes se ordenan en la siguiente forma:

$$h; h+ e; h+ 2e; h+ 3e; \dots h+ (z - 1)e$$

(5.116)

Siendo *z* en la (5.116), el número de dientes o anillos cortantes de la brocha. El primer diente o anillo cortante de altura *h*, debido al agujero previo realizado, cortará solo una viruta de espesor *e*, el segundo cortará una viruta de espesor *h + e*, es decir de idéntico espesor, y así sucesivamente.

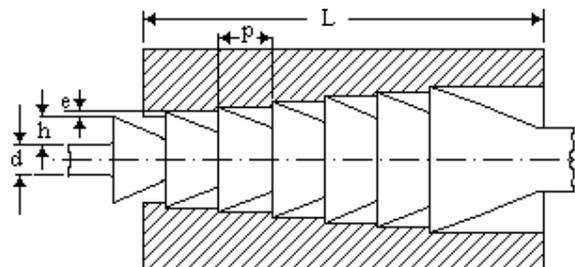


Fig.5.59

Si, según se indica en la figura (Fig.5.59) se llama *paso p* a la distancia entre dos dientes consecutivos de la brocha y *l* a la longitud activa de la misma, es decir, la que trabaja realmente, el número *z* de dientes de la brocha se determina de la siguiente relación:

$$l = (z - 1) \cdot p$$

(5.117)

Despejando  $z$  de la (5.117), se obtiene:

$$z = \frac{l}{p} + 1$$

(5.118)

También es importante el número de dientes  $n$  que trabajan en la longitud  $L$  de la pieza a mecanizar, la cual se indica en la figura (Fig.5.59), siendo, en este caso

$$n = \frac{L}{p} + 1$$

(5.119)

El número de dientes en función de  $l$  está tabulado, en tablas como la que se muestra a continuación:

**Número de dientes de la brocha en situación de trabajo**

min.....	9	18	32	50	75	105	145	190	250
.....									
$l$ en mm									
max.....									
z.....	$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$7\frac{1}{2}$	$8\frac{1}{2}$	$9\frac{1}{2}$

El valor del incremento radial  $e$  de corte depende del tipo de material a trabajar y del tipo de material que constituye la herramienta. Se encuentran tabulados distintos valores obtenidos de la experiencia, en tablas como la que se transcribe a continuación:

Material a trabajar	Valor máximo de $e$ en mm según el tipo de brocha		
	Redonda	Estriada acanalada	Para chaveteros
Acero de $K_z = 110 \text{ kg/mm}^2$ .....	0,032	0,040	0,050
Acero de $K_z = 80 \text{ kg/mm}^2$ .....	0,040	0,05	0,063
Acero de $K_z = 55 \text{ kg/mm}^2$ .....	0,050	0,063	0,080
Acero muy dulce.....	0,063	0,080	0,100
Fundición dura.....	"	"	"
Fundición blanda.....	0,080	0,100	0,125
Bronce duro.....	"	"	"
Bronce dulce.....	0,100	0,125	0,160
Latón.....	"	"	"
Aluminio (aleaciones duras)...	0,125	0,180	0,200

**Solicitaciones de la brocha por tracción. Cálculo del esfuerzo exigido por el corte**

La máquina brochadora deberá proveer una potencia  $N$  para poder ejercer la fuerza axial  $P$  con que se debe traccionar o comprimir la brocha para realizar el corte, que a su vez dependerá de la resistencia específica de corte  $k_s$  del material que se trabaja, de la sección  $q$  de viruta arrancada y del número de dientes  $n$  que actúan en el corte, debiendo al mismo tiempo dimensionarse el núcleo de la brocha para que resista esta fuerza sin romperse. La sección de viruta dependerá de la longitud  $a$  del perímetro de filo y del espesor o incremento radial  $e$ . Por lo expuesto se puede escribir:

$$q = e.a.n$$

(5.120)

Resultando por lo tanto:

$$P = k_s.q = k_s.e.a.n$$

(5.121)

La resistencia específica de corte  $k_s$ , que dependerá del material que se trabaja, se obtiene de la experiencia, volcándose los valores en tablas como la que se muestra a continuación:

**Resistencia específica en el brochado**

Material a trabajar	$k_s$ kg/mm <sup>2</sup>	Material a trabajar	$k_s$ kg/mm <sup>2</sup>
Acero 90-115	500	Fundición	160
kg/mm <sup>2</sup> .....	400	dura.....	125
Acero 70-90	315	Fundición	125
kg/mm <sup>2</sup> .....	250	semidura.....	100
Acero 50-70	200	Bronce	80
kg/mm <sup>2</sup> .....		duro.....	63
Acero 50		Fundición dulce –	
kg/mm <sup>2</sup> .....		Bronce.....	
Acero extra dulce		Latón –	
.....		Cobre.....	
		Aluminio	
		duro.....	

Además, al producirse el corte, se ejerce un esfuerzo periférico sobre el diente de la brocha, el cual es llamado *esfuerzo periférico sobre el diente K* y que está dado en kg/mm, cuyos valores depende del material que se trabaja y de la forma de la brocha, estando tabulados:

**Valores del esfuerzo periférico sobre el diente K**

Brocha	Acero - Fundición dura kg/mm	Fundición – bronce – latón kg/mm	Aleación de aluminio kg/mm
Redonda.....	12,5	10	8
Estriada.....	16	16	10
Acanalada.....	20	12,5	12,5
Plana.....	25	20	16

El núcleo de la brocha solicitado a la tracción, se verifica considerando el coeficiente de trabajo a la tracción. Su diámetro  $d_0$  está determinado por el diámetro inicial  $d$  del agujero en la pieza, resultando, para la altura  $h$  de los dientes de la brocha:

$$d_0 = d - 2h$$

(5.122)

Si el coeficiente de trabajo es  $k_z$ , resultando éste de considerar aplicado a la resistencia unitaria de corte del material  $K_z$  un coeficiente de seguridad  $\kappa$ , de tal modo que es:

$$k_z = \frac{K_z}{\kappa}$$

(5.123)

La fuerza  $P_{max}$  que soportará el núcleo de la brocha, será:

$$P_{max} = \frac{\pi d_0^2}{4} k_z$$

(5.124)

De la (5.124) se puede obtener el diámetro del núcleo:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4P}{\pi k_z}}$$

(5.125)

Si la brocha actúa a la compresión, el núcleo de la espiga de la brocha debe verificar al pandeo, por lo que el largo  $l_0$  del tramo sometido a la compresión, en función del diámetro  $d_0$  o del lado  $b$  para el núcleo rectangular, es:

- (5.126) Brocha circular:  $l_0 = 18,5 d_0$
- (5.127) Brocha rectangular:  $l_0 = 21,5 b$

**Potencia desarrollada en el brochado**

La brocha se desplaza con una velocidad de corte  $v$  en m/min, la que no debe ser elevada a fin de no exponer a la herramienta a esfuerzos excesivos, ya que el tiempo empleado en el trabajo es corto. En la tabla siguiente se indican velocidades empleadas para distintos materiales:

Material a trabajar	Resistencia a la rotura $K_z$ kg/mm <sup>2</sup>	Velocidad $v$ de corte
Fundición.....	12 – 22	1,2
Fundición maleable.....	22 – 28	2
Acero dulce.....	35 – 65	4
Acero duro.....	65 – 90	3 – 3,5
Acero muy duro.....	90 – 120	2,5
Bronce, latón, cobre.....	28 - 50	3

La velocidad en la carrera de retorno o pasiva es muy superior a la velocidad de corte en la carrera activa.

La potencia  $N$  necesaria para efectuar la fuerza  $P$  con que se tracciona la brocha a una velocidad de corte  $v$  está dada por la expresión siguiente:

$$N = P \cdot v = q \cdot k_s \cdot v$$

(5.128)

Para  $P$  en Newton,  $v$  en m/min,  $q$  en mm<sup>2</sup> y  $k_s$  en kg/mm<sup>2</sup>, la potencia  $N$  en vatios (W) será:

$$N = \frac{P \cdot v}{60} = 0,163 \cdot q \cdot k_s \cdot v$$

(5.129)

Para obtener  $N$  en CV, estando  $P$  en kg, se tiene la expresión:

$$N = \frac{P \cdot v}{60 \cdot 75} = 2,22 \cdot 10^{-4} q \cdot k_s \cdot v$$

(5.130)

Si se tiene en cuenta el rendimiento  $\eta$  del mecanismo que mueve la brocha, la potencia  $N_m$  del motor de accionamiento de toda la máquina herramienta será:

$$N_m = \frac{N}{\eta}$$

(5.131)

**Tiempo de máquina**

El tiempo  $t$  en minutos, empleado para realizar el corte en la carrera activa, la cual tiene una velocidad  $v$  en m/min, siendo la longitud  $c$  del recorrido de la brocha igual a la longitud  $L$  de la pieza más la longitud  $l$  de la parte dentada de la brocha, ambas en metros, se obtiene de las siguientes relaciones:

$$c = L + l$$

(5.132)

Por lo tanto, el tiempo  $t$  será:

$$t = \frac{c}{v} = \frac{L + l}{v}$$

(5.133)

Apuntes de clases extractados de la siguiente bibliografía

TÍTULO	AUTOR	EDITORIAL
- Aplicaciones de Tecnología Mecánica	Felipe. F. Freyre	Alsina
- Manual del Constructor de Máquinas	H. Dubbel	Labor
- Tecnología Mecánica I y II	Pascual Pezzano	Alsina
- Alrededor de las Máquinas Herramientas	Heinrich Gerling	Reverté
- Manual del Ingeniero Hütte II A	Academia Hütte	Gustavo Gili
- Tecnología Mecánica I y II	C. E. Thomas	Nigar S.R.L.
- Manual del Ingeniero Mecánico de Marks	Baumeister y Marks	Uteha
- Mecánica de Taller	E. Solsona	Alsina
- Máquinas Herramientas Modernas I y II	Mario Rossi	Científico Médica
- Máquinas. Cálculos de Taller	A. L. Casillas	Máquinas
- Tecnología de los Metales	Happold-Feiler-Schmidt	Reverté