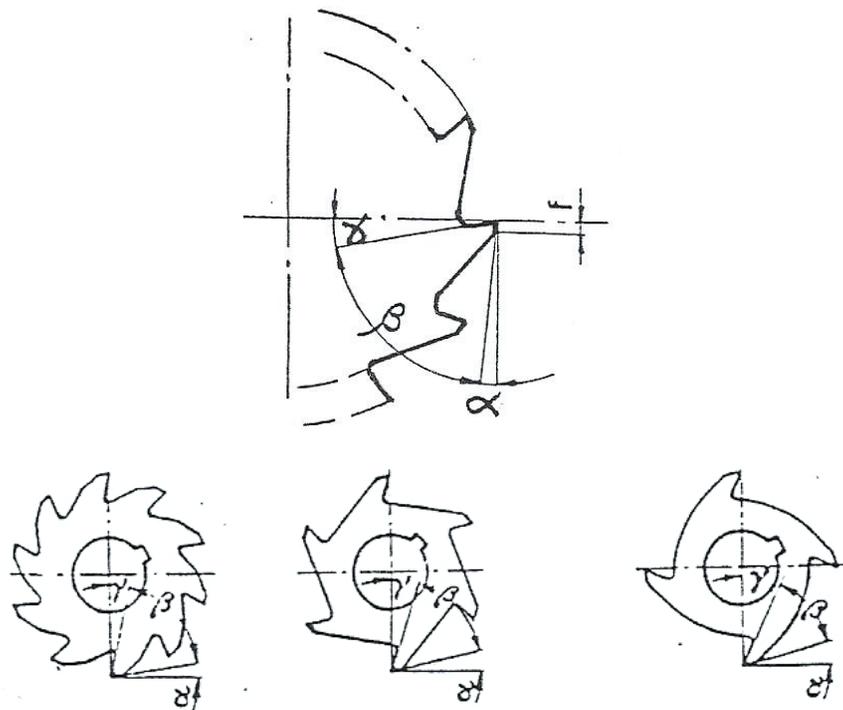


## Unidad Temática N°5: FRESADO

1. El fresado, es otra de las operaciones de mecanizado con arranque de viruta, que completándose con la operaciones de torneado, permite resolver la mayoría de los problemas de mecanizado que se presentan en la práctica. En general podemos definir al “fresado”, como la operación de mecanizado con arranque de virutas que permite obtener superficies planas (horizontal, vertical, inclinadas) y de “forma” (perfiladas: dientes de engranajes, ranuras, etc.). La herramienta de corte utilizada se denomina “fresa” y consecuentemente la máquina herramienta “fresadora”. Durante el mecanizado el movimiento principal de corte lo realiza la fresa que gira sobre su eje y los de avances la pieza en trabajo.

La fresa, es una herramienta policortante, formada por un sólido de revolución que presenta aristas de corte dispuestas simétricamente respecto al eje de giro. Es “condición necesaria”, que los filos cortantes (generatrices cortantes), sean iguales en longitud y perfil e igualmente repartidos sobre la circunferencia, a fin de obtener superficies de corte regulares y uniformes. Esta condición obliga a que las fresas sean construidas mecánicamente con la mayor precisión posible. Como consecuencia de ello los juegos de fresa son de alto costo por lo cual su utilización y mantenimiento, debe realizarse en forma correcta.

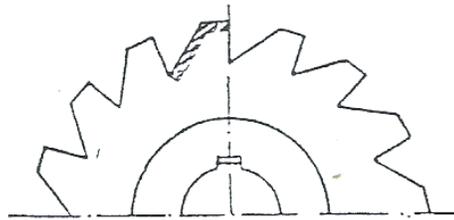
De acuerdo al “principio del corte de metales”, también en los dientes de la fresa deben considerarse los ángulos de incidencia de filo y de ataque, cuyos valores varían de acuerdo a las características del material a trabajar. El paso entre dientes también debe guardar relación con el material. En general, para materiales blandos el valor del paso debe ser mayor que para materiales duros:



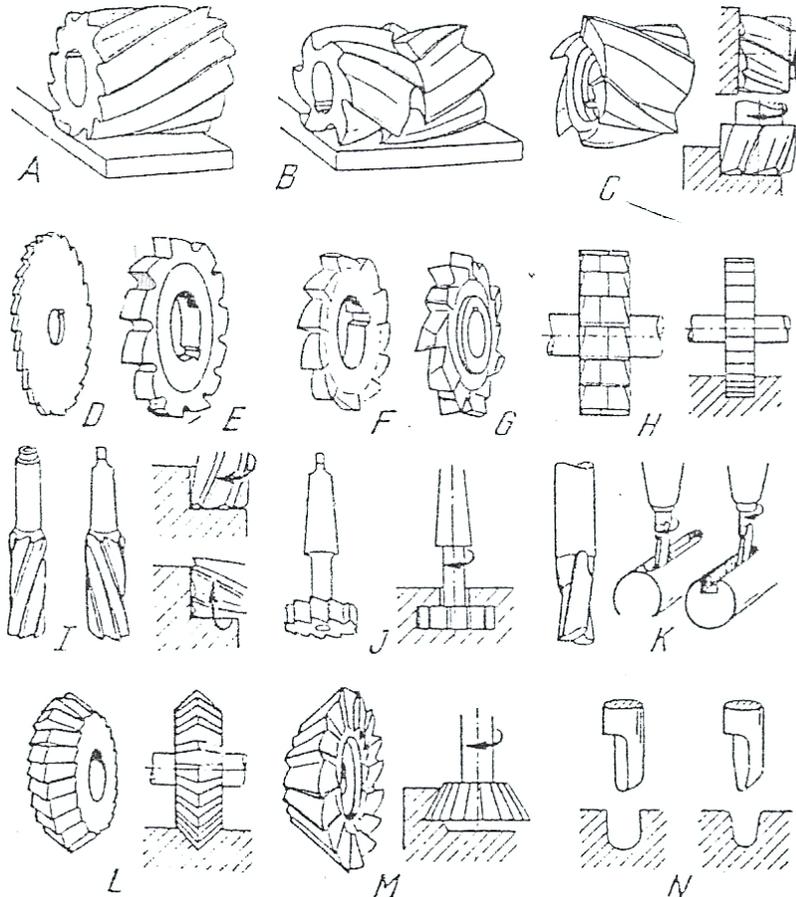
Una clasificación de las fresas resulta difícil, por la infinidad de tipos existentes. Las más aceptada es la que se realiza en base a la forma del diente, agrupándolas en a) fresas de

dientes fresados o fresas comunes y b) fresas de dientes destalonados o de perfil constante.

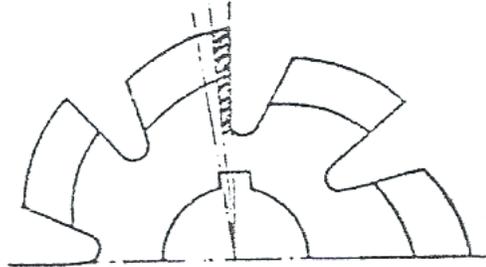
- a. Fresas de dientes fresados o fresas comunes: se consideran dentro de este grupo a aquellas fresas, cuando el perfil de sus dientes tiende a la forma triangular. En este caso el reafilado de los dientes, debe profundizar el espacio entre los mismos y efectuar un desgaste en sus caras periféricas. Como consecuencia de ello, se produce una reducción del diámetro de la fresa, que debe ser tenido en cuenta porque produce variaciones en sus características de trabajo. Se las utiliza para trabajar superficies planas y periféricas.



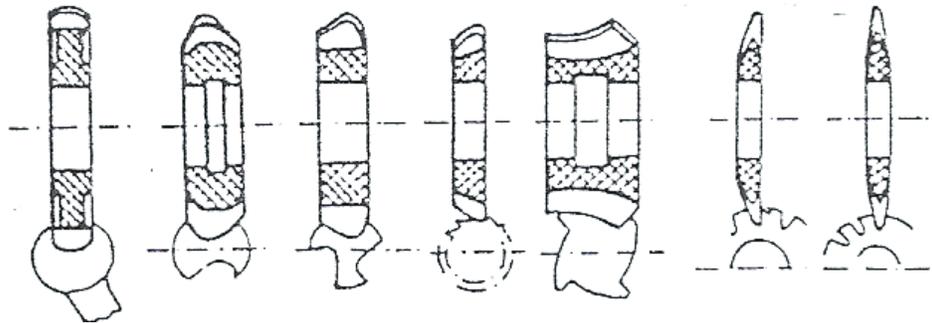
Pertencen a este grupo las fresas cilíndricas (A-B); las cilíndricas; frontales (C), las de disco (D-E-F-G-H), las de vástago de punta (I-J-K), de formas (L-M) y (N), fresas a disco con hojas postizas.



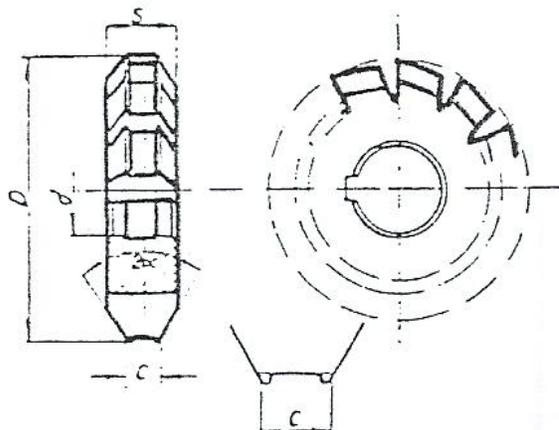
- b. Fresas de dientes destalonados o de perfil constante: la forma de los dientes tienen un perfil rectangular. El reafilado desgasta únicamente la cara del diente entre las acanaladuras de separación, en un plano radial. Como consecuencia de ello el diámetro de la fresa permanece constante hasta el fin de su vida útil. Se las utiliza para la construcción de perfiles y ranuras de precisión. Dentro de las mismas tenemos:



Fresas de perfil constante:



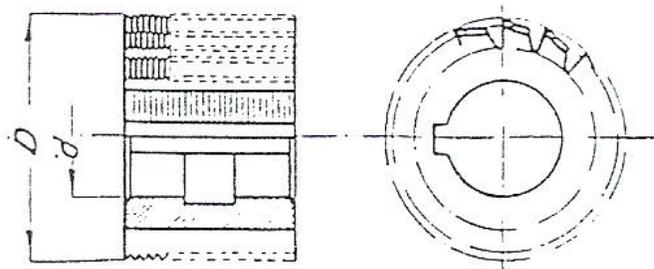
Fresas de disco y de módulo:



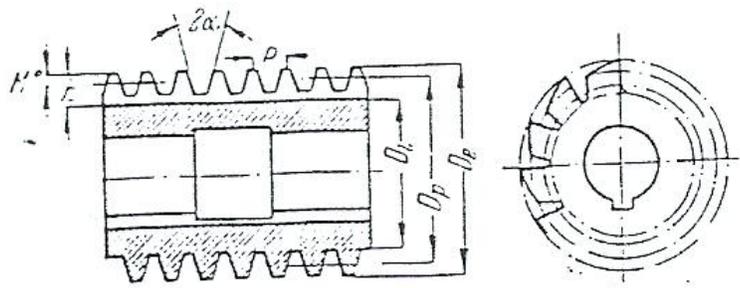
Las fresas de disco y de módulo son las más conocidas, ya que si bien tienen múltiples aplicaciones, su uso más común es en la construcción de dientes de engranajes. Para ello se construyen juegos de 8 fresas cada una para módulo que varían de 0.5 a 20. Cada fresa puede construir un determinado número de dientes dentro de un mismo módulo:

FRESA N° 1	Desde	12 a 13 dientes
FRESA N° 2	Desde	14 a 16 dientes
FRESA N° 3	Desde	17 a 20 dientes
FRESA N° 4	Desde	21 a 25 dientes
FRESA N° 5	Desde	26 a 34 dientes
FRESA N° 6	Desde	35 a 54 dientes
FRESA N° 7	Desde	55 a 134 dientes
FRESA N° 8	Desde	135 a cremalleras

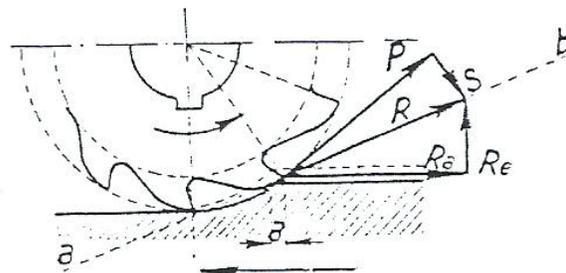
### Fresas para dientes en espiral



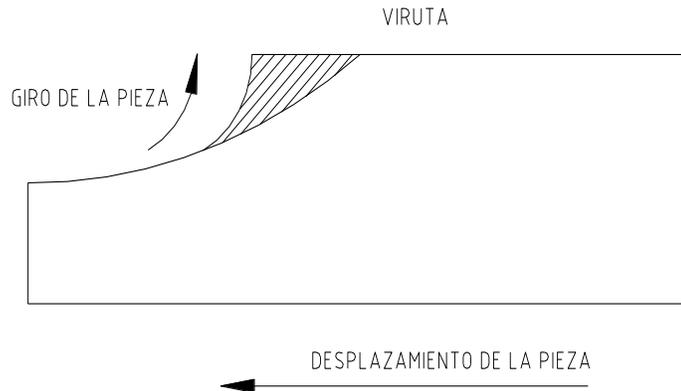
### Fresas tornillo o creador



De acuerdo a la posición del eje de la fresa con respecto a la superficie a mecanizar la operación de fresado puede ser a) periférico b) frontal. En el primer caso el eje de la fresa es paralelo a la superficie y actúa un diente a la vez y puede realizarse en 1) oposición 2) en concordancia. En el fresado en oposición (la más común) la fresa gira en sentido contrario al de avance de la pieza.



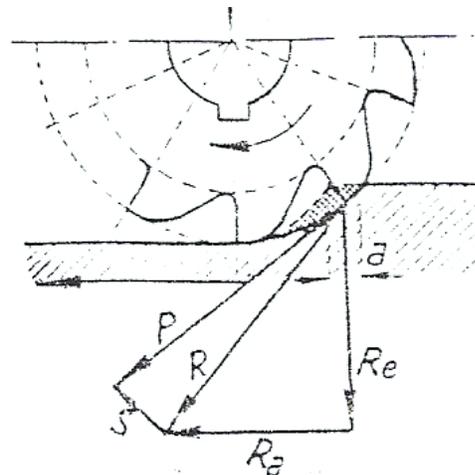
- Fresado por oposición.

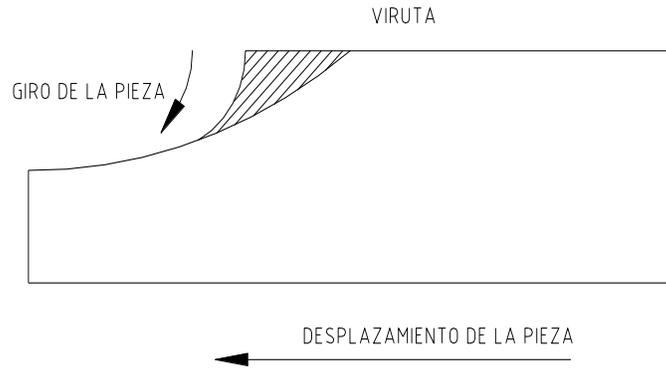


El corte se indica con el mínimo espesor y termina con el máximo. La fresa no corta desde el comienzo, sino que primero se produce un aplastamiento, y luego recién comienza el corte propiamente dicho. Como este termina con el máximo de espesor, la separación de la fresa del material es brusca, pudiendo producirse vibraciones, que se produce en superficie de corte irregular. La fresa ejerce un esfuerzo de corte tangencial "P", que debe ser la necesaria para vencer la resistencia "S" de desplazamiento de la viruta cortada sobre la cara del diente y la que ofrece el material a ser cortado "R" (resistencia de deformación sobre la cara a-b). La resistencia "R", la podemos descomponer en un esfuerzo  $R_e$  que debe ser resistido por el eje de la fresa y un esfuerzo  $R_a$  contrario al sentido de desplazamiento de la pieza. Este último asegura el íntimo contacto entre dientes de la fresa y material.

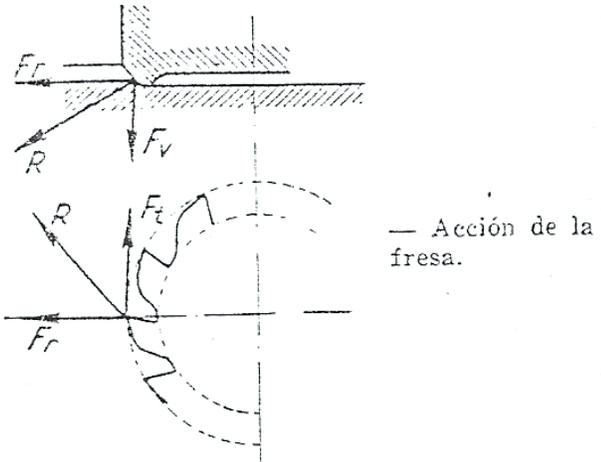
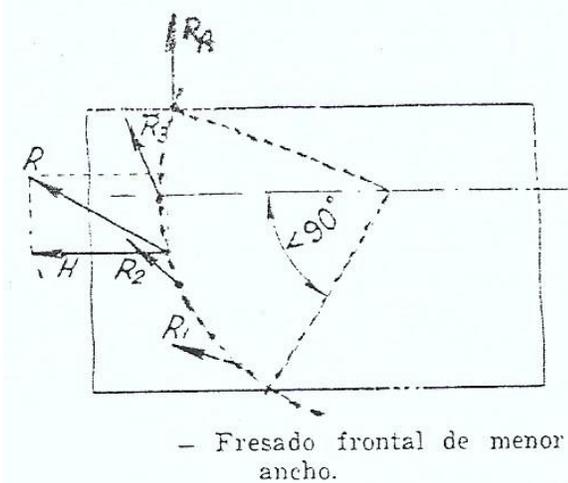
En el fresado en concordancia e sentido de giro de la fresa es el del movimiento del material a fresar. Como consecuencia de ello el corte se indica con el máximo de espesor y termina con el mínimo. Los esfuerzos actuales son los mismos que mencionamos en el fresado en oposición, pero en este caso la componente  $R_a$  actúa en el sentido del avance de la pieza, tendiendo a separar el diente del material en trabajo. Por tal motivo, y si bien con este procedimiento se obtienen superficies más regulares (menos imperfecciones), solo puede utilizarse si la maquina fresadora posee los mecanismos necesarios que aseguren el contacto firme entre fresa y material.

— Fresado en concordancia.





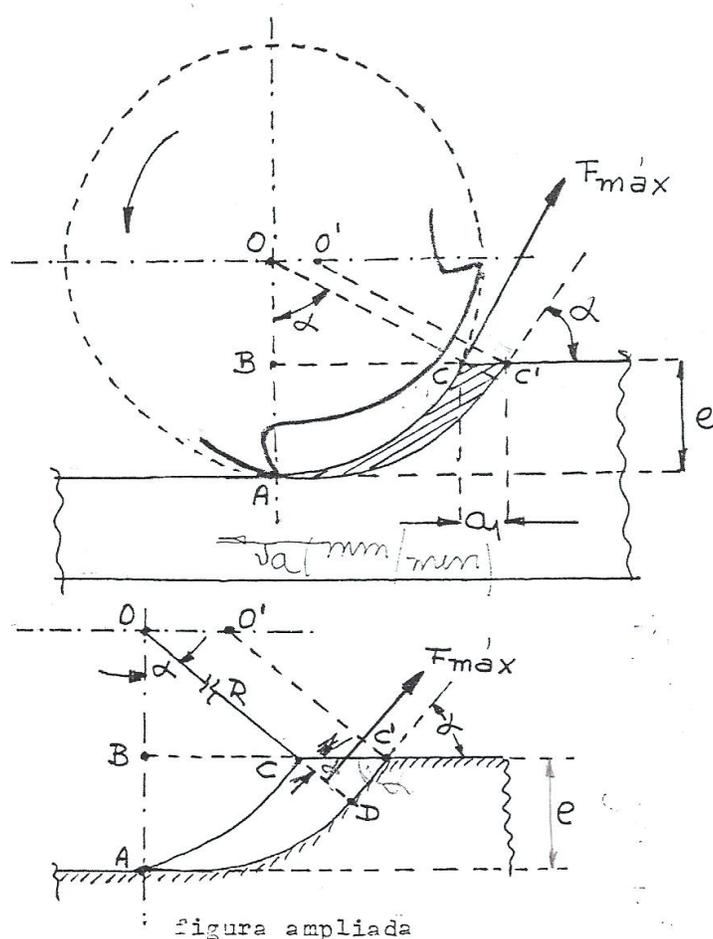
En el fresado frontal, por cada diente actúa una componente normal ( $F_r$ ), una tangencial ( $F_t$ ) y una vertical ( $F_y$ ), que dan lugar a un esfuerzo resultante "R". Esta resultante de cada diente da origen a su vez a una total " $R_t$ ", que debe originar una componente horizontal "H" en sentido contrario al avance de la pieza, a fin de eliminar el juego entre fresa y material.



2. Fuerza y potencia de corte: nos referimos a la fuerza y potencia de corte, en el fresado periférico en oposición, por el más común, lo que no excluye el estudio para los otros tipos de fresado en la bibliografía correspondiente. La forma de la viruta cortada podemos asemejarla a la de una “coma”. El análisis para establecer la expresión que nos permita calcular la fuerza necesaria a aplicar para el corte y consecuentemente la potencia a suministrar puede realizarse de diversas maneras. Nos referimos a las más comunes que son 1) en función de la fuerza tangencial total de corte 2) en función del volumen de viruta cortada.

*En función de la fuerza tangencial total de corte:* si bien en la práctica de fresa gira sobre su eje, consideramos a fin de simplificar la deducción, que la misma realiza el movimiento principal de corte y el de alimentación, permaneciendo en reposo la pieza. Con esta suposición la acción de corte de la fresa comenzará en “A” y terminará en “C”, desplazándose el centro de la misma la distancia  $O-O' = C-C'$ . El máximo espesor de corte se producirá en la dirección OC. La sección máxima de corte será  $CD \times b$ , siendo “b” el ancho de la fresa en mm. El esfuerzo máximo de corte por diente, que actúa en forma tangencial a la fresa, se expresa por:

$$F_{max} = (CD \times b) \times K_s$$



Del triángulo DCC' (figura ampliada) es  $CD = CC' \times \text{sen} \angle$  siendo  $CC'$  el avance en mm por vuelta y por diente. Reemplazando en la anterior resulta:

$$F_{max} = (CC' \times \text{sen} \angle) \times b \times K_s \Rightarrow \left( mm \times mm \times \frac{kg}{mm^2} = kg \right)$$

Si designamos por:

$V_a =$  velocidad de avance de la fresa en mm/min

$Z =$  número de dientes de la fresa

$n =$  número devueltas/ minutos, fresa

Será también:

$$CC' \left( \frac{mm}{vueltas} \times diente \right) = \frac{V_a}{Z \times n} \Rightarrow F_{max} = \frac{V_a}{Z \times n} \times b \times K_s \times \text{sen} \angle$$

A los fines prácticas, es conveniente expresar la formula a anterior en función de valores conocidos (datos) o fácilmente determinables. Aplicando Pitágoras al triangulo BOC y operando, tendremos:

$$OC^2 = OB^2 + BC^2 \Rightarrow OC^2 = R^2 \Rightarrow OB^2 = (R - e)^2 \Rightarrow BC^2 = (R \times \text{sen} \angle)^2$$

$$BC = \sqrt{OC^2 - OB^2} \Rightarrow R \times \text{sen} \angle = \sqrt{R^2 - (R - e)^2}$$

$$(R - e)^2 = R^2 - 2 \times R \times e + e^2$$

$$R \times \text{sen} \angle = \sqrt{R^2 - (R^2 - 2 \times R \times e + e^2)} = \sqrt{R^2 - R^2 + 2 \times R \times e - e^2}$$

$$R \times \text{sen} \angle = \sqrt{2 \times R \times e - e^2} = \sqrt{D \times e - e^2} = \sqrt{e \times (D - e)}$$

$$\text{sen} \angle = \frac{\sqrt{e \times (D - e)}}{R} = \frac{\sqrt{e \times (D - e)}}{\frac{D}{2}} = \frac{2\sqrt{e \times (D - e)}}{D}$$

$$F_{max} = \frac{v_a}{Z \times n} \times b \times K_s \times \frac{2\sqrt{e \times (D - e)}}{D} \Rightarrow n = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D}$$

$$F_{max} = \frac{v_a}{Z \times \frac{1000 \times v}{\pi \times D}} \times b \times K_s \times \frac{2\sqrt{e \times (D - e)}}{d} = \frac{2 \times \pi \times v_a \times b \times K_s \times \sqrt{e \times (D - e)}}{1000 \times Z \times v_c}$$

La potencia a suministrar en este caso, lo obtenemos por:

$$M_t = 716200 \frac{N}{n} = F_{max} \times \frac{D}{2}$$

$$N = \frac{n \times M_t}{716200} = \frac{n \times F_{max} \times D}{716200 \times 2}$$

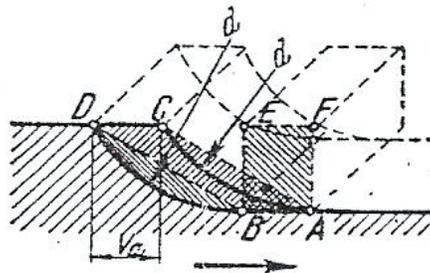
*En función del volumen de viruta cortada:* la viruta cortada la podemos considerar limitada por dos arcos de círculo, de cuerdas iguales (DB y CA). El volumen de viruta cortada será equivalente al rectángulo EFBA por b (siendo b ancho de la fresa). EB = e = espesor de viruta cortada (mm) y EF =  $v_a$  = avance de la pieza (mm/min). El volumen de viruta cortada es:

$$V \left( \frac{mm^3}{min} \right) = e \times b \times v_a$$

Multiplicando la expresión anterior por la resistencia específica  $K_s$  (kg/mm<sup>2</sup>) del material, obtenemos, por las unidades utilizadas directamente la potencia a suministrar para el corte:

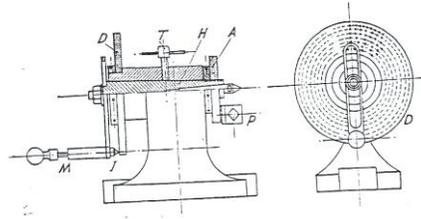
$$V(mm^3) \times K_s \left( \frac{kg}{mm^2} \right) = e(mm) \times b(mm) \times v_a \left( \frac{mm}{minutos} \right) \times K_s \left( \frac{kg}{mm^2} \right)$$

$$N_{cv} = \frac{e \times b \times v_a \times K_s}{75 \times 60 \times 1000} \Rightarrow \left( \frac{kgm}{minutos} \times \frac{1}{\frac{kgm}{seg \times CV} \times \frac{seg}{minutos} \times \frac{mm}{m}} = CV \right)$$



— Volumen de viruta.

- Aparatos divisores:** una de las operaciones más comunes de fresado es la construcción de engranajes o ruedas dentadas (de dientes rectos, helicoidales, etc.), donde se requiere divisiones exactas. A tal efecto las fresadoras están dotadas de un accesorio que se monta sobre la mesa porta-pieza de la misma, y que se lo denomina genéricamente “aparato divisor”. Para un ordenamiento se los clasifican en giratorios y lineales. Los primeros se utilizan para obtener divisiones exactas sobre superficies cilíndricas y los segundos sobre superficies planas.



Los giratorios pueden ser de accionamiento directo o indirecto. Los de accionamiento directo, están constituidos, en términos generales, por un soporte que se fija a la mesa porta pieza de la fresadora. Dicho soporte posee un husillo "H", provisto de un cono Morse o punta de sostén "P". En el extremo opuesto lleva una manivela "M" provisto de un punzón "I" que puede girar sobre un disco "D" provisto de circunferencias de distintos números de agujeros. El punzón se puede desplazar radialmente y fijarse por acción de un resorte en distintas posiciones (sobre circunferencias de distintos números de agujeros). Al girar la manivela, produce el giro de la pieza.

En los de accionamiento indirecto el movimiento de la manivela sobre el disco de circunferencias (disco divisor) se transmite a un tornillo sinfín "T" y una rueda de dientes helicoidales "R", cuyo eje prolongado es el husillo donde se coloca el material a mecanizar. Si designamos por:

$n_m$  = vueltas de la manivela (punzon)

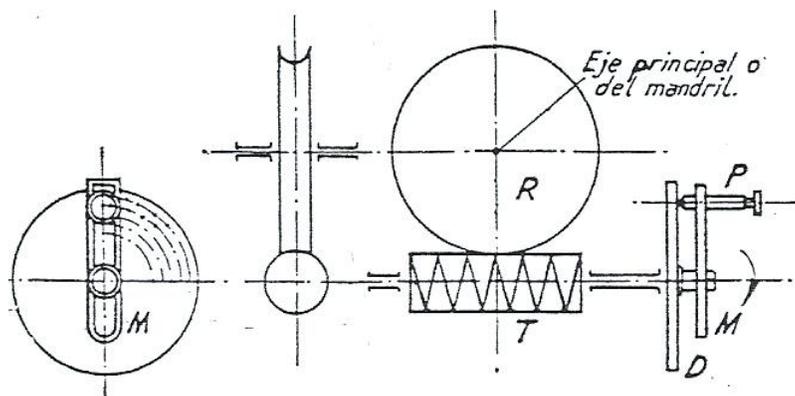
$n$  = vueltas de la rueda helicoidal

$Z$  = número de dientes de la rueda

$m$  = número de filetes del tornillo sin fin

La relación de transmisión que vincula dicho elemento será:

$$n_m \times m = Z \times n \Rightarrow n_m = \frac{Z}{m} \times n$$



La relación  $\frac{Z}{m} = c$ , se denomina constante del aparato divisor y su significado físico es que el indica el número de vueltas que debe girar la manivela (punzón) sobre el disco divisor, para que el eje principal o husillo gire una vuelta. En efecto para  $n = 1$  es  $n_m = C$ .

Esto permite que si no se conocemos el valor de la constante del aparato divisor, basta con colocar un redondo en el husillo, marcar sobre una generatriz del mismo una raya con una

tiza, y luego girar la manivela contando el número de vueltas que se debe dar a la misma para que el redondo gire una vuelta. Una variante lo constituye el “aparato divisor universal” y el “aparato divisor diferencial”. En el diferencial, el eje de la rueda helicoidal se prolonga hacia la izquierda y permite vincular, a través de un tren de engranaje, con otro eje que acciona un par de engranajes cónicos, montados a 90° uno de otro y que se vinculan con el disco divisor. Este aparato se utiliza, como estudiaremos posteriormente en el método de división diferencial. El divisor universal es similar al anterior, pero la diferencia reside en el hecho, que el husillo puede girar un cierto ángulo. El valor de la constante “C” puede ser 40-60-80-120 según el tipo de divisor:

4. Métodos de división: se consideran tres métodos de división: a) directo b) indirecto c) diferencial.

División directa: se utiliza el aparato divisor directo. Como en este caso, al girar el punzón, gira la pieza, el número de vueltas completas y/o fracción que debe girar el punzón se determina por la siguiente relación:

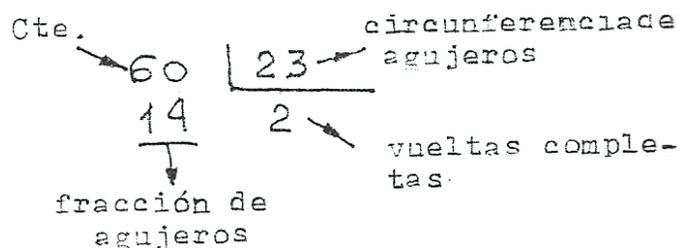
$$n_m = \frac{\text{número de agujeros sobre la que debe girar el punzón}}{\text{número de divisiones a ejecutar}}$$

Ejemplo: si se desea efectuar 15 divisiones y el disco divisor posee una circunferencia de 60 agujeros, basta con girar al punzón sobre la misma un valor  $\frac{60}{15} = 4$  luego de cada mecanizado, para realizar el siguiente:

División indirecta: se utiliza el aparato divisor indirecto. Como en este caso el movimiento del husillo donde está colocada la pieza, se realiza a través de la cadena cinética manivela tornillo sin fin rueda dentada, en el cálculo del número de vueltas completas y/o fracción de agujeros, que debe girar la manivela sobre el disco divisor debe realizarse con la intervención del valor de la constante “C” del aparato divisor en uso. En una vuelta completa del material e trabajo se debe obtener las “Z” divisiones deseadas. Luego será vuelta pieza  $n_p = \frac{1 \text{ vuelta completa}}{\text{número de divisiones}} = \frac{1}{Z}$  a su vez  $n_m = n_p \times C = C \times \frac{1}{Z} = \frac{C}{Z}$ .

$Z = \text{número de divisiones a realizar}$   
 $n_p = 1 \text{ vuelta de la pieza a mecanizar}$

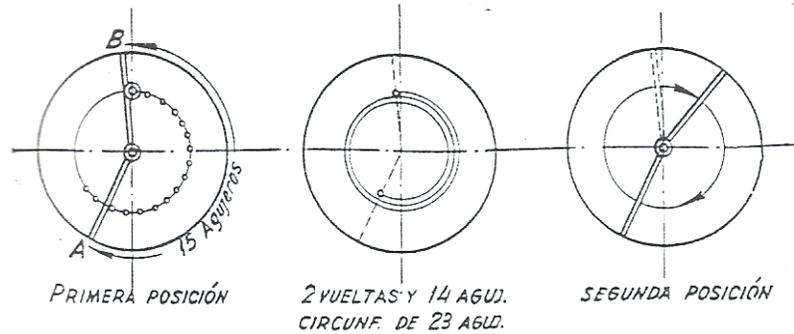
Si el cociente  $\frac{C}{Z}$  da un número entero se puede adoptar cualquier circunferencia de agujeros. Si ello no ocurre, el divisor indica la circunferencia de agujeros a adoptar: el cociente, el número de vueltas completas y el resto la fracción o número de agujeros que se debe tomar sobre la circunferencia adoptada.



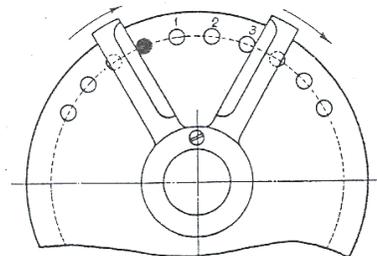
La ecuación se indica de la siguiente manera:

$$n_m = \frac{C}{Z} = \frac{60}{23} = 2V \times \frac{14}{23}$$

Que significa 2 vueltas completas más 14 agujeros sobre la circunferencia de 23 agujeros.



A fin de facilitar el manejo del aparato divisor, cuando el cálculo indica fracción de agujeros, sobre el disco divisor se dispone dos brazos (V) de abertura variable, para abarcar un determinado número de agujeros. Su uso tiene por finalidad evitar el conteo de números de agujero después de cada mecanizado. Para ello se procede de la siguiente manera:



Se coloca el punzón (clavija) en un agujero de la circunferencia adoptada de acuerdo al cálculo realizado. A la izquierda del mismo se fija uno de los brazos, según se indica en la figura. El punzón queda fijo en el orificio marcado en negro. A partir de esta primera posición se cuenta el número de agujeros indicado por el cálculo. A la derecha del último agujero contado, se fija el otro brazo. Es decir el ángulo formado por la "V" debe abarcar  $n+1$  agujeros siendo "n" el valor del cálculo. La abertura de la V debe quedar perfectamente ajustada para que no variara su valor, ya que si ello ocurre, se cometerá un error en el número de divisiones al girar la pieza una vuelta completa. Mecanizando el primer corte, se destraba el punzón y se lo fija en el último agujero (antes del brazo) y se gira la V, y el aparato queda en condiciones para realizar el segundo mecanizado y así sucesivamente. En la figura el cálculo ha dado una fracción de 3 agujeros.

Si en el disco divisor no existiera una circunferencia con el número de agujeros coinciden con las divisiones a realizar, existen dos soluciones. La primera consiste en proceder como en el caso anterior y luego simplificar la fracción a su mínima expresión y posteriormente multiplicar numerador y denominador de la misma por un mismo número, de tal manera que el producto obtenido en el denominador coincida con un número de circunferencia existente en el disco divisor. Por ejemplo constante de aparato divisor  $C=60$ ; número de divisiones a ejecutar  $Z=14$ , resulta:

$$n_m = \frac{C}{Z} = \frac{60}{14} = 4 \times \frac{4}{14} = 4 \times \frac{2}{7} = 4 \times \frac{2 \times 3}{7 \times 3} = 4 \times \frac{6}{21}$$

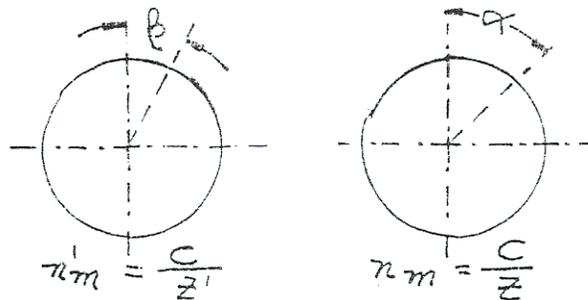
Es decir, después de cada mecanizado se debe girar el punzón 4 vueltas completas más 6 agujeros, sobre la circunferencia de 21 agujeros. También se puede multiplicar directamente, sin simplificar, el numerador y denominador por un mismo número, siempre y cuando el producto del denominador de un valor igual a una circunferencia de agujeros existente en el disco divisor.

Por ejemplo, si en el disco divisor existieran circunferencias de 28 agujeros, directamente se procede de la siguiente manera:

$$n_m = \frac{C}{Z} = \frac{60}{14} = 4 \times \frac{4}{14} = 4 \times \frac{4 \times 2}{14 \times 2} = 4 \times \frac{8}{28}$$

La otra solución es recurrir al método de división diferencial.

División diferencial: en este método se utiliza cuando en el disco divisor no existe un número de circunferencias que coincida con el de las divisiones realizadas. El mismo consiste en adoptar un número de divisiones "ficticio" mayor o menor que el número de divisiones a realizar, con lo cual se comete un error en más o en menos ( $e=Z-Z'$  o  $e=Z'-Z$ ). Supongamos por ejemplo que adoptamos un número  $Z'$  mayor que  $Z$ . Para el valor  $Z$  la manivela debe girar el valor  $\frac{C}{Z}$  y para el  $Z'$   $\frac{C}{Z'}$ .



Como hemos adoptado  $Z'$  mayor  $Z$ , resulta

$$n_m = \frac{C}{Z} > n'_m = \frac{C}{Z'}$$

Como consecuencia de ello al utilizar el valor  $Z'$ , la manivela girara un ángulo beta menor que el ángulo alfa, que correspondería si trabajamos con " $Z$ ". Esto va a provocar que cuando la pieza en trabajo gire una vuelta completa, se obtendrá un número de divisiones mayor que el deseado. Para corregir este error el disco divisor debe girar al mismo tiempo que al punzón y también en el mismo sentido. Al adoptar  $Z'$  mayor  $Z$  el error que se cometería al efectuar el segundo mecanizado será:

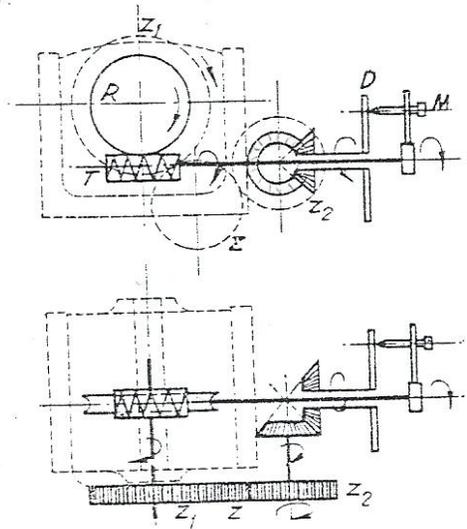
$$e_2 = n_m - n'_m = \frac{C}{Z} - \frac{C'}{Z'} = \frac{Z'C - ZC}{Z \times Z'} = \frac{C(Z' - Z)}{Z \times Z'} = \frac{C \times e}{Z \times Z'}$$

Y al completar la vuelta el error será Z veces mayor:

$$e_t = Z \times e = \frac{Z \times C \times e}{Z \times Z'} = \frac{C \times e}{Z'}$$

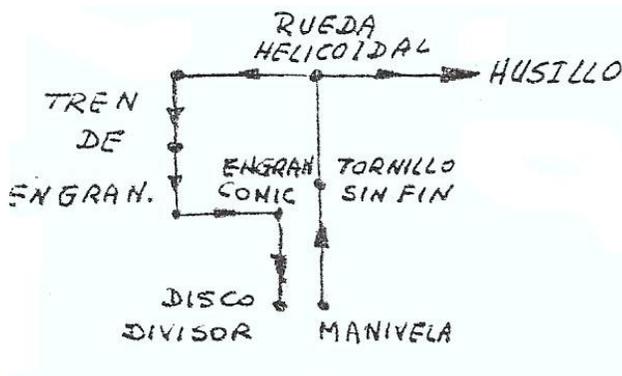
Para no cometer este error, el disco divisor debe girar e valor  $\frac{C \times e}{Z'}$  en el mismo o distinto sentido que el punzón según se adopte para el calculo Z' mayor Z o Z mayor Z'. Esto se consigue con un tren de engranajes que une el movimiento del husillo con el par de engranajes cónicos; disco divisor, punzón, tornillo sin fin y rueda dentada, de acuerdo a lo que indica el esquema, la relación de transmisión de dichos engranajes deberá tener el valor

$$i = \frac{C \times e}{Z'} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_1 \times Z_3}{Z_2 \times Z_4} = \dots$$



- Mecanismo divisor diferencial (esquema).

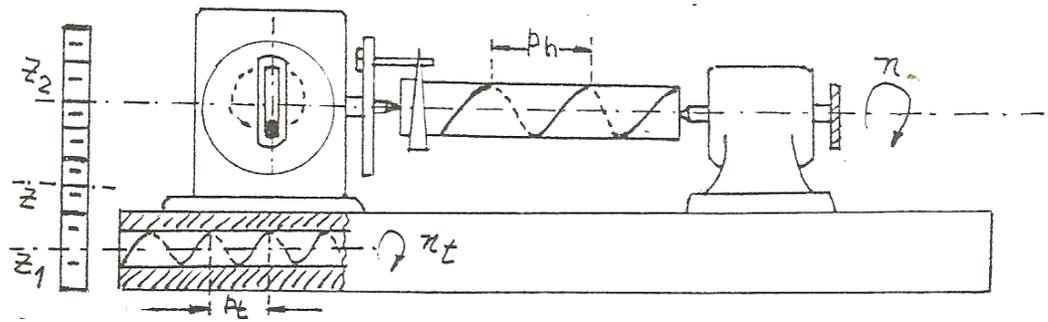
Cadena de cinética



5. Operaciones de fresado: como mencionamos anteriormente, las operaciones más comunes de fresado son aquellas destinadas a obtener divisiones exactas. Dentro de las mismas mencionaremos:

1. Fresado de ranuras helicoidales: el mecanizado helicoidal es el resultado de la combinación de dos movimientos: uno de rotación y otro de translación que en el caso del fresado los realiza el material en trabajo. La herramienta de corte (fresa) gira únicamente sobre su eje. El movimiento de translación de la pieza se logra vinculando el movimiento de la mesa porta-pieza (en este caso del aparato divisor), con el del husillo del aparato divisor donde está colocado el material a mecanizar. Se pueden presentar dos casos de mecanizado:

a. *Hélice de paso corto (de poca longitud)*: en este caso se debe unir directamente el eje porta-pieza con el tornillo de desplazamiento de la mesa-porta pieza de la fresadora:



El paso helicoidal se logra cuando el material en trabajo gira una vuelta sobre su eje geométrico ( $n=1$ ) y a la vez se ha desplazado una cierta distancia "1", que será proporcional al producto del número de giro del tornillo de la mesa por el valor del paso del mismo ( $n_t \times p_t$ ). Del esquema anterior podemos establecer las siguientes relaciones:

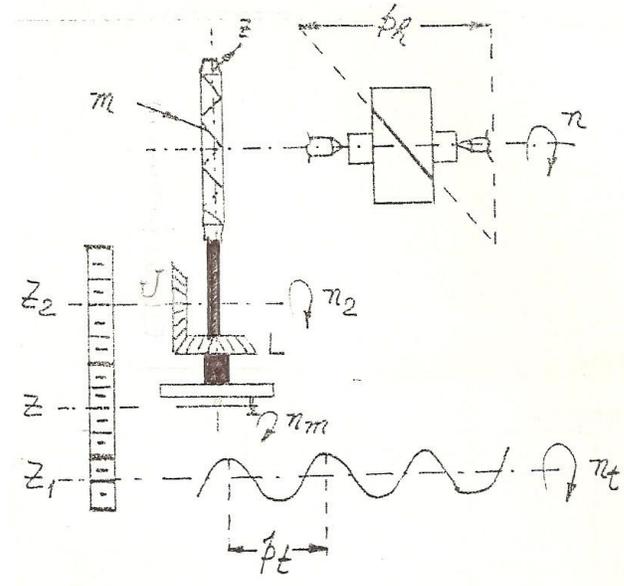
$$p_h = l = n_t \times p_t$$

$$n_t \times Z_1 = n \times Z_2 \Rightarrow n_t = n \times \frac{Z_2}{Z_1}; n = 1v \Rightarrow n_t = \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$p_h = p_t \times \frac{Z_2}{Z_1} \Rightarrow \frac{p_h}{p_t} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{Z_2 \times Z_4}{Z_1 \times Z_3} = i$$

se debe verificar:  $p_h = p_t \times i$

b. *Hélice de paso largo (gran longitud)*: en este caso debemos hacer intervenir el sistema disco divisor-tornillo sin fin-rueda dentado del aparato divisor, para unir el movimiento de la mesa con el del eje porta-pieza. Al mover la manivela sobre el disco divisor, produce el giro del tornillo sin fin: este la rueda dentada helicoidal, que transmite el movimiento al par de ruedas dentadas. El último engranaje del mismo produce el giro del par de engranajes cónicos J y L. Este último está unido al disco divisor. Esta cadena cinética produce el giro del disco del disco divisor en el mismo sentido o en sentido contrario que el de la manivela, de acuerdo a lo que indique el cálculo realizado. En el esquema siguiente se indica los distintos elementos que intervienen, de cuyas relaciones se deduce:



$$p_h = l = p_t \times n_t$$

$$n_t \times Z_1 = Z_2 \times n_2 \Rightarrow n_t = n_2 \times \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$n_2 \times j = L \times n_m \Rightarrow n_2 = n_m \times \frac{L}{j}$$

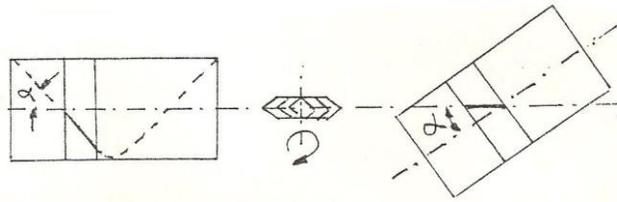
$$n_m \times m = n \times Z \Rightarrow n_m = n \times \frac{Z}{m} = n \times C = C (n = 1)$$

$$\text{luego } p_h = p_t \times C \times \frac{L}{j} \times \frac{Z_2}{Z_1}; \text{ normalmente } \frac{L}{j} = 1$$

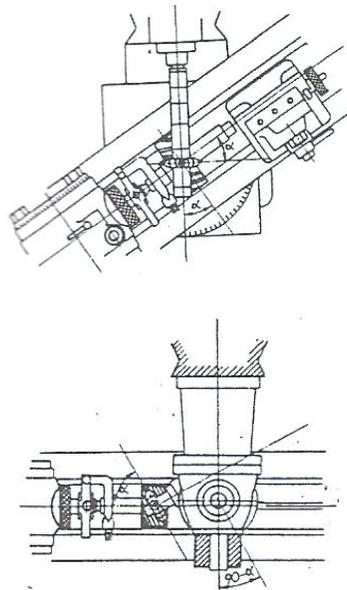
$$\text{queda } \frac{p_h}{p_t} = C \times \frac{Z_2}{Z_1} = C \times i \Rightarrow \frac{p_h}{p_t \times C} = i$$

En algunas fresadoras el producto  $p_t \times C$  se indica directamente como constante del aparato divisor, lo cual se deberá verificar.

En cualquiera de los dos casos mencionados, y antes de proceder al mecanizado se debe girar la mesa porta pieza de la fresa, sobre la cual está colocado el aparato divisor. Esta operación debe realizarse para que a la fresa actúe en todo momento en forma tangencial a la hélice que se desea mecanizar.



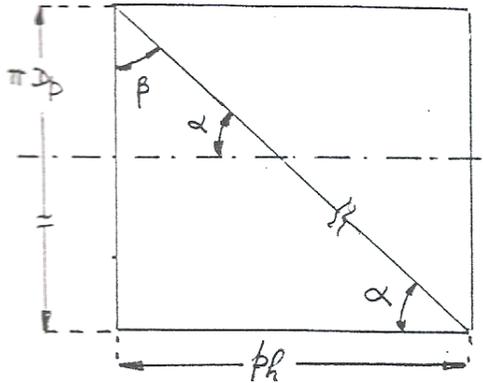
El ángulo que debe girar la mesa es el de inclinación de la hélice con respecto al eje geométrico del material a mecanizar, si la fresa es fija perpendicularmente al plano de la mesa. Si gira la porta-fresa el ángulo a girar es el complementario del de inclinación de la hélice.



El desarrollo de la hélice se transforma en la hipotenusa de un triángulo rectángulo, cuyos catetos son respectivamente el paso de la hélice y la longitud de la circunferencia. En base a dicho triángulos podemos establecer las siguientes relaciones:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\pi \times D_p}{h_p}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h_p}{\pi \times D_p}$$



Si la hélice no corresponde al del diente de un engranaje helicoidal, en lugar del diámetro primitivo se debe utilizar el diámetro medio:

$$\text{Diámetro medio} = \frac{\text{diámetro exterior} + \text{diámetro interior}}{2}$$

2. Fresado de engranajes de dientes rectos: los engranajes en general, se utilizan para transmitir movimientos entre dos ejes y/o elementos. Esta condición exige que sus dientes se construyan con fresas de Modulo, para asegurar el “engrane” correcto entre los mismos. Su construcción se realiza utilizando un aparato divisor indirecto, y los métodos de división indirecto o universal, según corresponda. Se debe calcular los engranajes a colocar en la “lira” y el accionamiento de la manivela del disco divisor. En el método de división indirecto se utilizara:

$$\text{Para el accionamiento de la manivela: } n_m = \frac{C}{Z}; \text{ en el diferencial.}$$

- a. Para el cálculo de los engranajes a colocar en la lira:

$$i = \frac{C \times e}{Z'}$$

$C$  = constante del aparato divisor utilizado

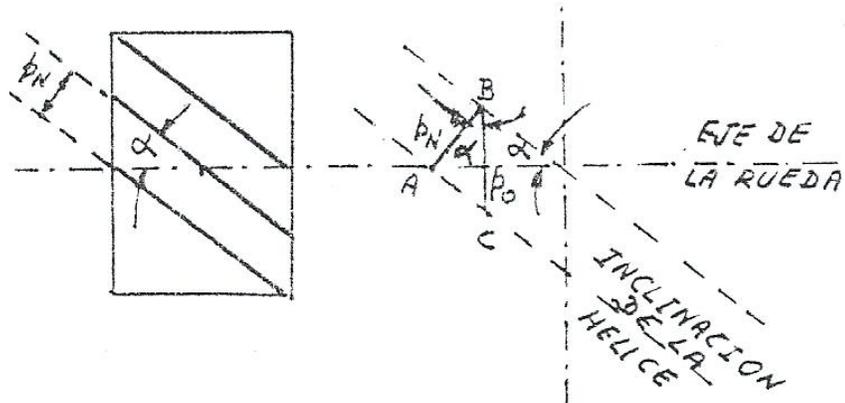
$Z'$  = número ficticio de dientes adoptado para el cálculo

$e$  = error cometido al adoptar  $Z'$  mayor o menor que  $Z$

- b. Para el accionamiento de la manivela =  $n_m = \frac{C}{Z}$

Antes de colocar los engranajes en la lira, se debe verificar como gira el disco divisor al girar la manivela, ya que puede coincidir o no con el de esta última, debido a los mecanismos interiores que posee el aparato divisor. Esto puede llevar a la necesidad de colocar un engranaje, además de los colocados, para lograr el sentido de giro correcto consecuencia del valor adoptado de  $Z'$  ( $Z' > Z \Rightarrow$  igual sentido de rotacion  $Z' < Z \Rightarrow$  distinto sentido de rotacion)

3. Fresado de engranajes de dientes helicoidales: el fresado de los dientes de engranajes helicoidales debe realizarse con el aparato divisor preparado de acuerdo a lo indicado anteriormente, para el fresado de ranuras helicoidales de paso largo. La única diferencia está en el hecho que el cálculo de los engranajes a colocar en la lira debe realizarse utilizando “el paso oblicuo o circunferencial”. Este paso es el que se mide sobre la circunferencia primitiva paralela a la cara plana de la rueda. De acuerdo al gráfico y definiciones correspondientes tendremos:



$$\cos \alpha = \frac{p_N}{p_o}$$

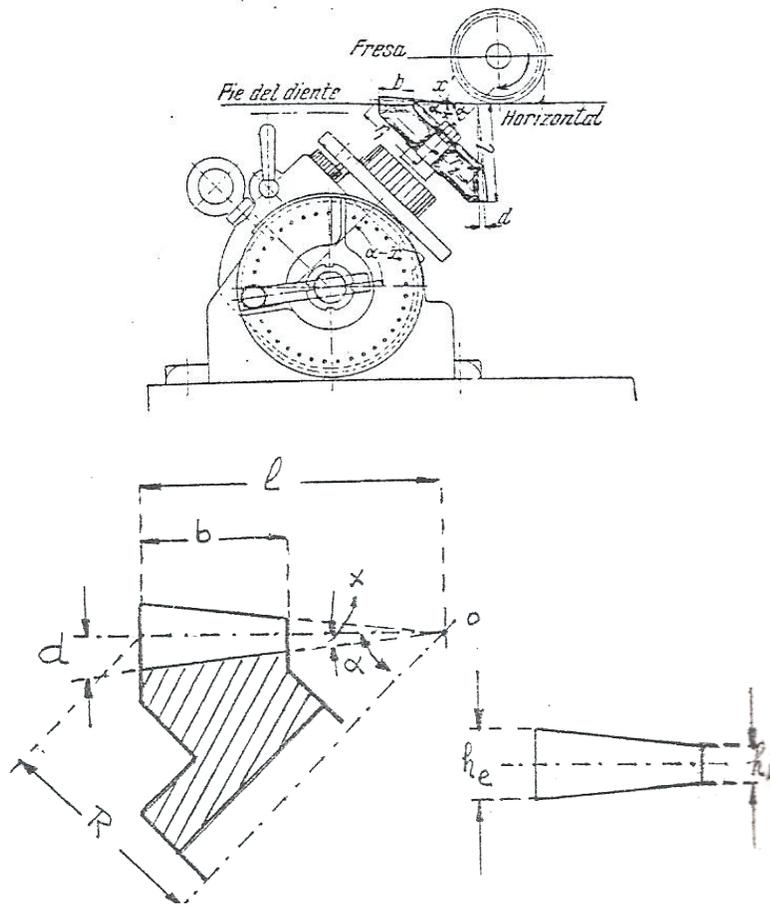
$$p_N = \pi \times M_N; p_o = \pi \times M_o$$

$$\cos \alpha = \frac{\pi \times M_N}{\pi \times M_o} = \frac{M_N}{M_o}$$

$$M_o = \frac{M_N}{\cos \alpha}$$

Conocido  $M_o$  se determinan  $D_{p_o} = Z \times M_o$ . Con el valor obtenido se calcula el paso de la hélice y/o el valor del ángulo que debe girar la mesa según corresponda. La fresa a utilizar se calcula por  $Z'_1 = \frac{Z}{\cos 3\alpha}$  donde:  $Z'_1 =$  número ideal de dientes;  $Z =$  número de dientes a fresar.

4. Fresado de engranajes cónicos: se realiza en casos extremos, ya que el perfil de los dientes, que se obtiene con una fresa no es perfecto y es necesario ajustarlo con una operación de rectificad. En este caso se debe utilizar el aparato divisor diferencial, cuyo husillo puede girar con respecto a la posición horizontal de tal manera que la generatriz del diente del engranaje cónico quede también horizontal.



Si designamos por:

$b$  = longitud del diente

$l$  = longitud total de la generatriz

$R$  = radio de la circunferencia primitiva

$h_e$  = altura del diente en su perfil máximo

$h_i$  = altura del diente en su perfil mínimo

$d$  = altura del pie del diente

$\alpha$  = Ángulo formado por la generatriz correspondiente a la circunferencia primitiva y el eje del cono principal

Y de acuerdo al gráfico será:

$$\operatorname{tg} x = \frac{d}{l}$$

Con estos valores y los obtenidos en el cálculo del engranaje, se calcula el ángulo  $\alpha - x$ , que se debe girar el divisor. Para el fresado se adopta el método de división que corresponda y el módulo de la fresa a utilizar debe ser igual al módulo del diente en su dimensión mínima que se determina por la siguiente relación:

$$\frac{M_{ext.}}{M_{int.}} = \frac{l}{l-b} \Rightarrow M_{int.} = \frac{M_{ext.}(l-b)}{l}$$

Dónde:

$M_{ext.}$  = módulo del diente en su máxima dimencion

$M_{int.}$  = módulo del diente en su mínima dimencion

Para el mecanizado final de corrección de los flancos derechos e izquierdos de cada diente, los flancos de lo mismos deben quedar en una misma línea con la dirección longitudinal de la mesa de la fresadora. Para ello se retira el punzón de la manivela del disco divisor de la posición que tenía en el fresado previo y luego se lo avanza un cierto número de agujeros a derecha e izquierda, que se calcula por:

$$\frac{n}{C} = \frac{\frac{1}{2}(h_e - h_i)}{2\pi \times R_{max.}} \Rightarrow \frac{C(h_e - h_i)}{4\pi \times R_{max.}}$$

Dónde:

$C$  = constante del aparato divisor

$n$  = Giro que es necesario ejecutar en la manivela para la corrección de mecanizado, sobre una circunferencia de agujeros del disco divisor

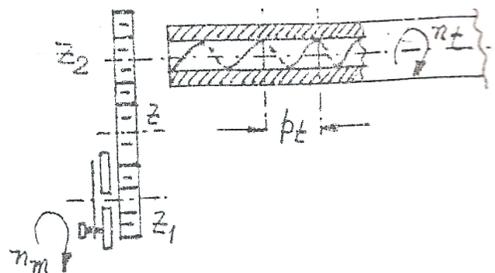
$h_e$  = altura del diente del costado ensu perfil máximo

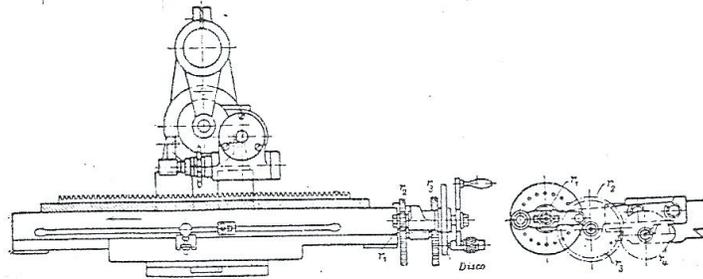
$h_i$  = altura del diente del costado en su perfil mínimo

$R_{max.}$  = radio de la circunfencia primiriva máxima

Si el cálculo de "n" indica una fracción cuyo denominador no es múltiplo de una circunferencia de agujeros existente en el disco divisor se adopta una fracción de valor equivalente, cuyo denominador sea fácilmente simplificable.

5. **Fresado de cremalleras:** Una cremallera es en definitiva una rueda dentada de infinitos número de dientes, cuya circunferencia primitiva se ha transformado en una recta. Para construirla se utiliza un aparato divisor lineal que se monta en un soporte que se fija lateralmente a la mesa porta-pieza. La unión del movimiento de la manivela se une al eje de al mesa a través de un tren de engranajes, según se indica en el esquema siguiente:





El desplazamiento de la mesa, después de cada mecanizado debe ser igual al paso de la cremallera:  $p = p_t \times n_t$ , de acuerdo al esquema y operando tendremos:

$$n_m \times Z_1 = n_t \times Z_2 \Rightarrow n_t = n_m \times \frac{Z_1}{Z_2}$$

Luego será:

$$p = p_t \times n_m \times \frac{Z_1}{Z_2}$$

Normalmente el tren de engranajes (2 o 4), es parte del aparato divisor lineal. Por tal motivo lo que se debe calcular es el número de vueltas que se debe dar a la manivela:

$$n_m = \frac{p}{p_t} \times \frac{Z_2}{Z_1}$$

Para facilitar el proceso, normalmente (se deberá verificar), el aparato divisor se construye de manera que la relación  $Z_2/Z_1 \times p_t$  sea igual a la unidad. Con esta disposición resulta  $p = n_m$ . Además el disco divisor en estos casos, posee una sola circunferencia de 100 agujeros. Con este número de agujeros el desplazamiento angular entre dos agujeros consecutivos de ellos resulta  $1/100=0.01$ . El pasó entre dientes de engranajes es:

$$p = \pi \times M \quad (M = \text{módulo del diente})$$

El producto  $\pi \times M$  resulta normalmente un número decimal. Por tal motivo y dado el valor 0.01, el número entero del producto  $\pi \times M$  indica el número de vueltas completas que se debe dar sobre la circunferencia de 100 agujeros y el valor decimal, la fracción de agujeros. Por ejemplo si M tiene un valor de 3, será:

$$p = \pi \times M = 3.14 \times 3 = 9.42$$

Resultado que indica, que después de cada mecanizado, (hueco entre dientes) que debe girar la manivela 9 vueltas completas y 42 agujeros, sobre la circunferencia de 100 agujeros.

6. Tiempo de mecanizado: se determina por la formula general, estudiada anteriormente.

$$T = T_p + T_m$$

Dónde:

$T_p$  = tiempo de preparación (estadística)

$T_m$  = tiempo de mecanizado =  $n_p \times t_p$

De acuerdo al esquema será:

$$L(mm) = n' \times a \times Z \Rightarrow \left( n^\circ \text{ vueltas} \times \frac{mm}{\text{vueltas} \times \text{dientes}} \times \text{dientes} \right)$$

$$t_p = \frac{n'}{n} = \frac{L}{a \times z \times n} = \frac{L}{V_a}$$

Resulta:

$$T_m = \frac{e_t}{e_n} \times \frac{L}{V_a} \Rightarrow \left( \frac{mm}{mm} \times \frac{mm}{\frac{mm}{min}} = \text{minuto} \right)$$