

## FRESADO

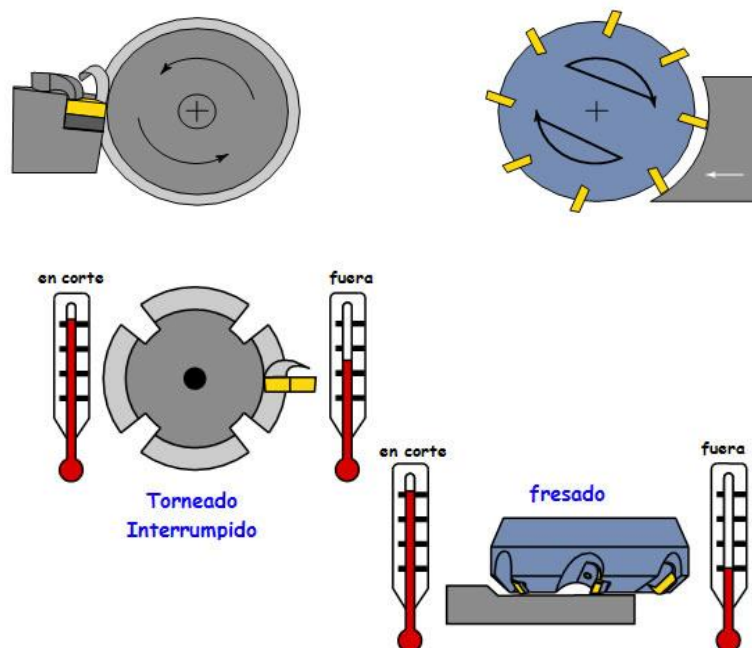
El fresado es una operación de corte en la que, a diferencia del torneado, usamos una herramienta giratoria de cortes múltiples que entran en contacto alternativamente con el material para producir su arranque.

Cada filo, trabaja como si fuera un filo único durante un período del giro de la herramienta. De esta manera, podremos considerar, con algunas salvedades, a cada filo como un filo de una herramienta mono cortante y aplicarle lo visto hasta aquí respecto a variables de corte y fallas.

Otra diferencia importante es que en el fresado siempre tenemos corte interrumpido, lo que implica que tenemos diferencias de temperatura entre el momento en que el inserto está en contacto y durante el resto de la vuelta, con los consiguientes problemas de choque térmico. Además, por el golpe mecánico del corte interrumpido, los insertos deben tener más tenacidad que los insertos de torneado para corte continuo.

Por último, la sección de viruta no tiene un espesor constante, sino que tiene una forma de coma, con un mínimo y un máximo. Dependiendo de la forma de trabajo, el mínimo podrá estar al comienzo del corte o al final.

**En las figuras siguientes vemos las diferencias entre el torneado y el fresado que hemos mencionado:**



### **Clasificación de las fresas**

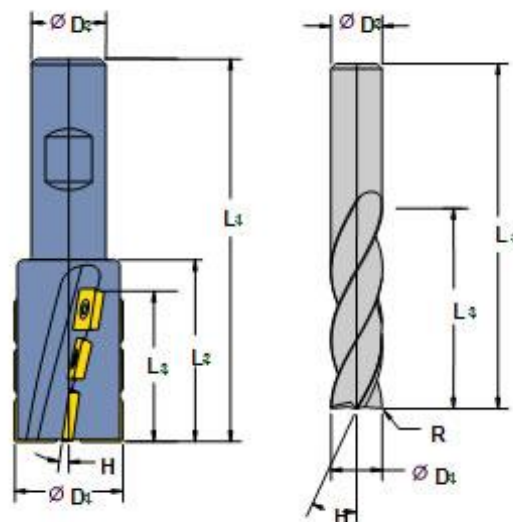
Como dijimos antes, por su importancia en la aplicación en las máquinas herramientas modernas, vamos a tratar las fresas integrales de metal duro y las de insertos intercambiables, dejando de lado las de acero rápido.

En primer lugar tenemos las llamadas **fresas de dedo** o **end mill** en inglés. Estas pueden ser integrales de metal duro o de insertos intercambiables. Estas fresas se caracterizan por tener un mango que sirve para su fijación. Las fresas integrales de metal duro se presentan en diámetros que van de aproximadamente 1 mm hasta 20 o 25 mm.

Diámetros más grandes no son viables económicamente por el alto costo de las barras de metal duro. Los diámetros normalizados son de 1 en 1 mm hasta 10mm y luego de 2 en 2 hasta 20 y de ahí a 25mm. En algunos fabricantes también encontramos de a medio milímetro entre las medidas menores a 5mm.

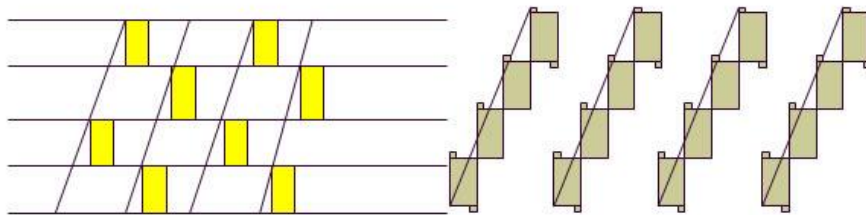
Por otro lado, las fresas de insertos intercambiables comienzan a partir de diámetros un poco más grandes, debido a la dificultad de colocar insertos en tamaños más pequeños que 10 o 12 mm. Y llegan a 32 o 40mm. Los diámetros normalizados son 12; 16; 20 25, 32 y 40.

**Veamos la siguiente figura:**



En este tipo de fresas, tenemos, como dimensiones importantes el diámetro de corte **D1**; el largo de corte **L3**, el largo total **L1** y el diámetro del mango **D2**. El otro parámetro importante es el número de dientes efectivos **Z**.

Decimos dientes efectivos, porque en las fresas de insertos, muchas veces vemos una determinada cantidad de insertos o hileras de ellos pero no todos trabajan al mismo tiempo, por lo que no podemos considerarlos para los cálculos a efectuar como efectivos.

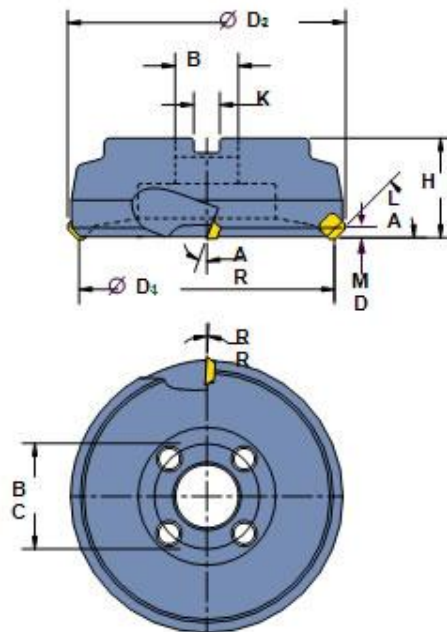


En los esquemas anteriores, correspondientes al desarrollo plano de una fresa del tipo erizo, vemos la misma cantidad de hileras de dientes en uno u otro. Sin embargo, la fresa de la derecha tiene colocados los insertos de cada fila superpuestos de una manera que cada hilera es efectiva, mientras que en la fresa de la izquierda, estos están superpuestos con el inserto de la hilera siguiente, de modo que los filos efectivos son la mitad de las hileras que vemos. Más adelante veremos la importancia de este punto.

Es importante remarcar dos temas. Uno es que no todas las fresas de insertos garantizan la obtención de un ángulo de 90 grados y el otro es que estas últimas, en el caso de fresas erizo, van a dejar pequeñas marcas en la pared mecanizada correspondientes a las diferencias ente las líneas de los insertos. Obviamente esto no pasa en las integrales de metal duro.

### Fresas de plato

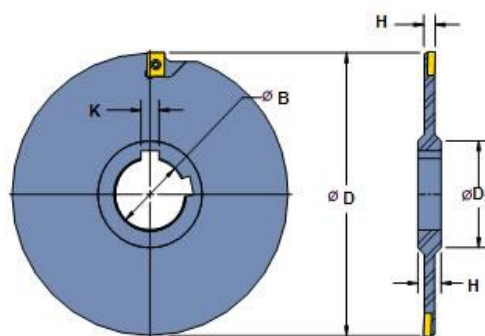
Estas fresas, también llamadas arañas pueden ser de **escuadrar**, o sea que van a dejar una pared a 90 grados, o simplemente de **planear**, es decir que van a realizar superficies planas con ángulos de 45; 60 o 70 grados, dependiendo de cada modelo y fabricante.



En estas fresas, el parámetro importante para su selección es el diámetro de corte de la fresa  $D_1$  aunque por cuestiones de interferencia debemos observar el diámetro externo  $D_2$ . En las fresas de escuadrar, estos diámetros son iguales. El diámetro de agarre  $B$  o los del cuadro de agujeros y la chaveta de arrastre están normalizados para cada diámetro. Los diámetros normalizados  $D_1$  son 40; 50; 63; 80; 100; 125; 250 y 315.

#### Fresas de disco o de ranurado

Estas fresas se usan para ranurar o para fresar superficies en partes en las que no se puede llegar de otra manera. Acá también debemos prestar atención a la cantidad de cortes y a los dientes efectivos, ya que dependiendo del modelo de fresa podemos tener que los filos efectivos son la mitad de los insertos que observamos, ya que unos cortan de un lado y otros cortan del otro, como se observa en la figura.



Otros modelos tienen corte de un solo lado, por lo que no podremos hacer una ranura en forma de "U" sino solo una en forma de "L". En este caso los dientes efectivos coinciden con el número de insertos.

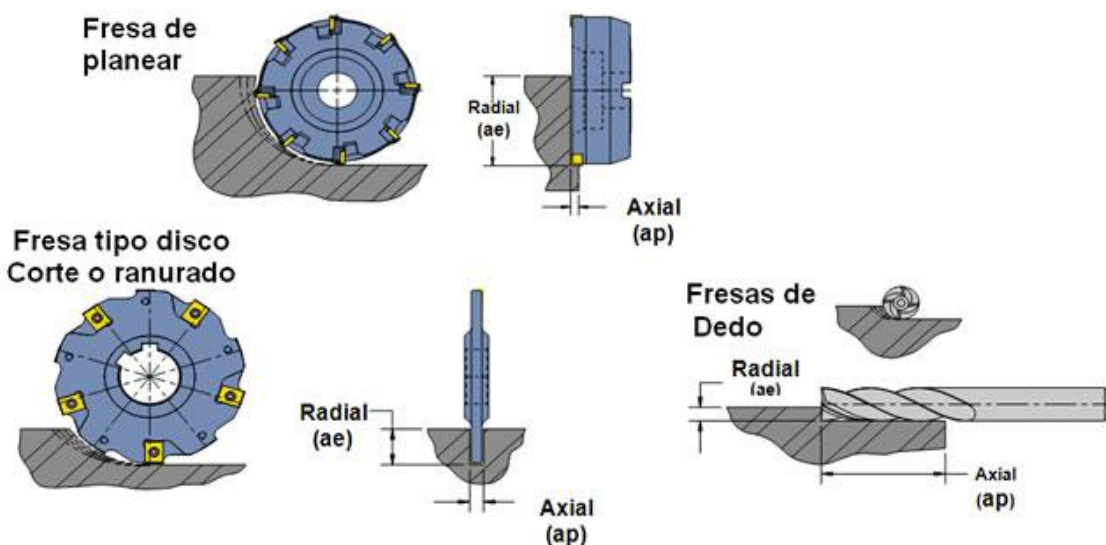
Por último, tenemos las fresas de corte, en las que el inserto corta de los dos lados, como las herramientas de torno de corte. En este caso también la cantidad de filos efectivos coincide con los insertos que podemos contar en la fresa.

Los parámetros importantes son el diámetro  $D$  y el ancho  $H$ . También la profundidad máxima de ranurado, que sale de la diferencia entre el diámetro exterior y el diámetro del cubo  $D_2$ .

### ***Profundidad de corte y ancho de corte***

En el fresado, y dependiendo de qué fresa usemos, vamos a tener, además de la profundidad de corte, otra variable que es el **ancho de corte**.

**En las siguientes figuras vemos cómo se definen:**



**La profundidad de corte siempre va a coincidir con el eje axial de la fresa, mientras que el ancho de corte está vinculado al radio de la fresa.**

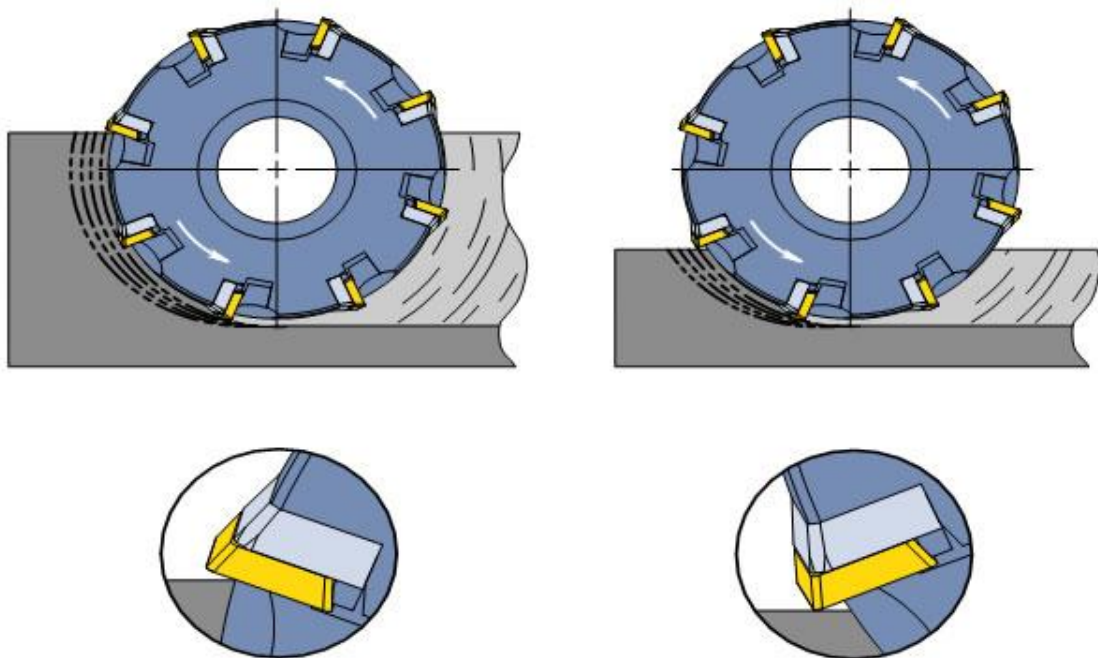
En el caso de las fresas de disco, el espesor  $A_p$  es el ancho de la fresa y el ancho de corte es lo que penetramos en el material para hacer la ranura, cuyo máximo dependerá, como dijimos antes, de la diferencia de diámetros exterior y el del cubo de la fresa. En las fresas de dedo tenemos la profundidad de corte

como el máximo permitido por la fresa en función de la longitud de la hélice y el ancho de corte en función del diámetro de la misma. En las fresas de plato, la profundidad de corte estará dada por el máximo permitido por el inserto y el ancho de corte por una proporción del diámetro de la fresa como veremos a continuación.

### ***Elección del diámetro de la fresa***

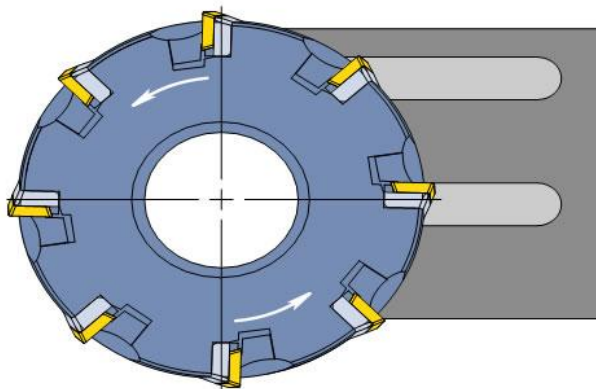
Para elegir el diámetro de la fresa en función del ancho del mecanizado que debemos realizar, o teniendo una fresa de un diámetro dado, definir el ancho de corte a utilizar, debemos usar la regla que dice que el ancho de corte tiene que estar entre el 60 y el 75 % del diámetro de la fresa. Es decir, si tenemos que mecanizar un ancho de 70 mm es recomendable usar una fresa de 100 mm o si tenemos una fresa de 80 mm es recomendable usar pasadas de ancho 60 aproximadamente.

Cumpliendo esta recomendación estamos seguros de que por un lado la fresa no quede toda ocupada por la superficie a mecanizar y no pueda evacuar correctamente la viruta y por el otro lado, permite trabajar al inserto de una manera más protegida, como se puede ver en la siguiente figura:



Vemos que si el ancho de corte es menor que el 50% del diámetro de la fresa, nos vamos a encontrar que el inserto golpea primero con la punta, mientras que si estamos por arriba va a tocar con la parte más fuerte del filo. De este modo además aprovechamos lo más posible el diámetro de la fresa, optimizando el proceso.

**Como se muestra en la figura siguiente, hay veces en que, por la geometría de la pieza, no es posible evitar que el inserto golpee con la punta.**



En la selección del diámetro de la fresa debemos considerar además la capacidades de la maquina, la rigidez de la fijación y la potencia disponible a la velocidad de giro en que va a trabajar.

### ***Elección del número de dientes***

Para elegir el numero de dientes, debemos tomar en consideración varios factores, principalmente el material a mecanizar y la potencia y rigidez de la máquina, pero sin olvidar la productividad.

Tengamos en cuenta que el avance de trabajo de una fresa está dado por la siguiente fórmula:

$$F = f_z \times Z \times n \text{ (mm/min)}$$

Donde F es el avance total en milímetros por minuto de la fresa,  $f_z$  es el avance por diente de la fresa, en mm/rev, que es el que vamos a obtener de las recomendaciones del fabricante, Z es el numero de dientes o cortes efectivos (recordar la observación hecha al principio sobre la determinación de los cortes

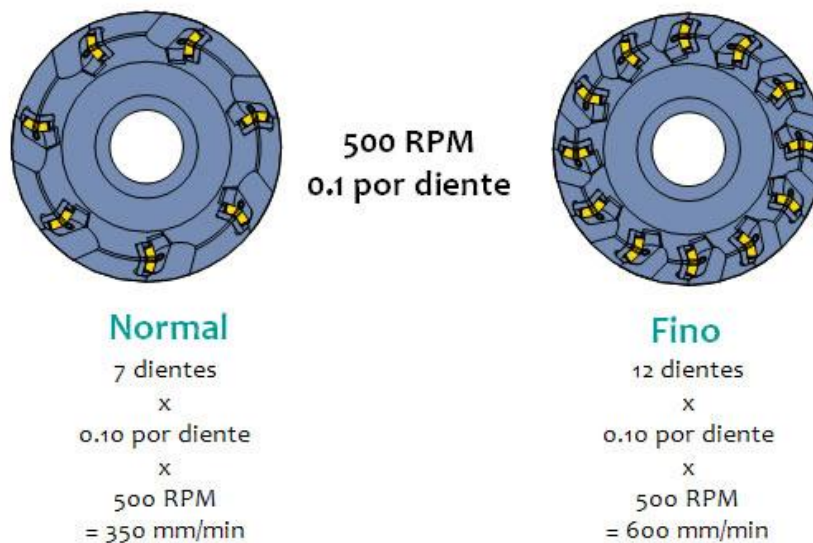
efectivos) y  $n$  son las revoluciones por minuto a la que va a girar la fresa y que vamos a obtener en función de la velocidad de corte recomendada por el fabricante y el diámetro de la fresa con la conocida fórmula:

$$\text{rpm} = \frac{V_c \times 1000}{\text{diámetro} \times 3.14}$$

Como dijimos al principio, cada diente se comporta como un filo independiente y por lo tanto el avance recomendado por diente va a estar en función de la fortaleza del mismo, independientemente de la cantidad de dientes que tenga la fresa.

Ahora bien, si prestamos atención a la fórmula en la que definimos  $F$  vamos a ver que para que la fresa trabaje más rápido, lo ideal sería tener la mayor cantidad de dientes posibles.

Veámoslo con un ejemplo, en el que tengamos una fresa de paso normal de 7 dientes y otra de paso reducido o fino de 12. Como dijimos antes, las condiciones de corte son iguales para ambas, es decir, la velocidad de corte y por lo tanto las revoluciones y el avance por diente, por lo que la única diferencia es en el número de dientes, que en este caso es 7 contra 12. La misma proporción vamos a conseguir en el avance total y por consiguiente en la productividad.



**Esto es correcto y recomendable siempre y cuando prestemos atención a los dos factores mencionados al principio:**

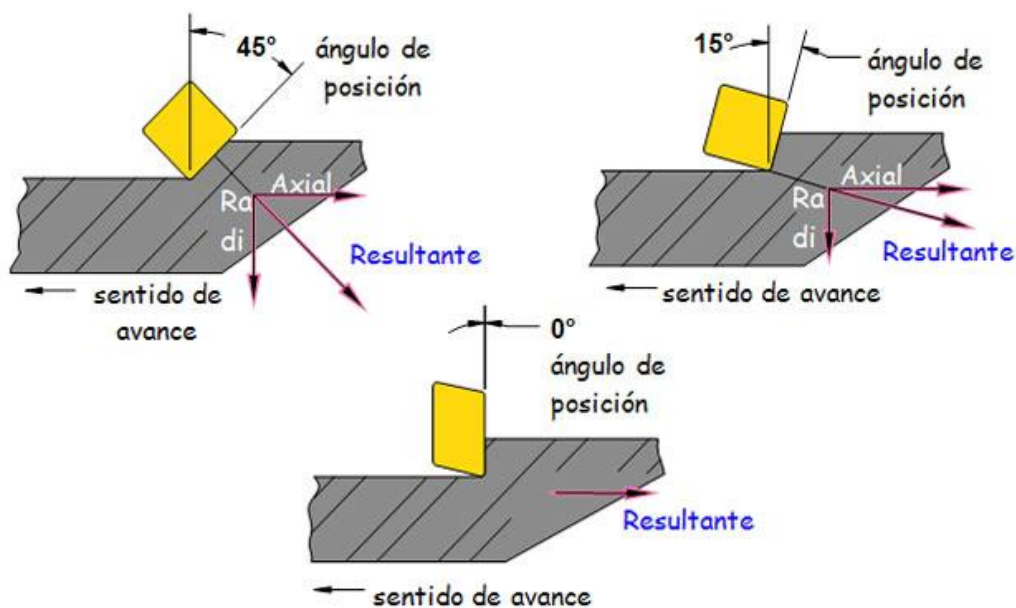


Por un lado, el material que estemos mecanizando nos va a exigir más o menos lugar para que la viruta se aloje durante la vuelta de la fresa, por lo que un material de viruta larga como el acero va a necesitar más lugar y por lo tanto menos dientes que la fundición gris, para el mismo diámetro. La otra limitación es que al tener más dientes, hay más dientes en el corte en forma simultánea. Esto va a exigir más potencia y más rigidez, ya que las fuerzas son mayores, por lo que a veces nos encontraremos con problemas al aplicar esta idea.

### Ángulo de posición

Como vimos en el capítulo de torneado, el ángulo de posición tiene una importancia considerable, ya que del mismo dependen las fuerzas de corte que aparecerán durante el mecanizado. Al igual que en el torneado, un ángulo menor a 90 grados es preferible, pero en ese caso no podremos realizar un escuadrado.

**Veamos la siguiente figura:**



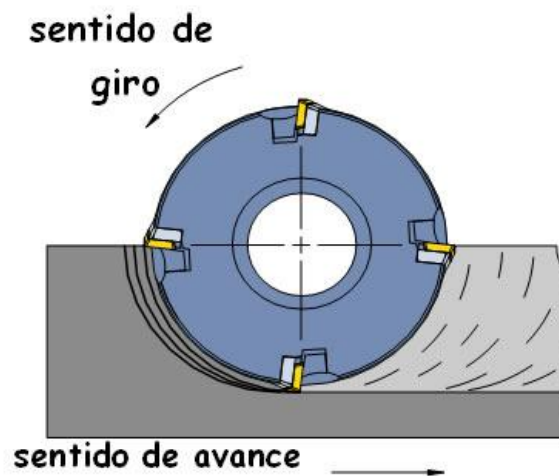
Podemos ver que al tener un ángulo de posición menor a 90 grados, aparecen fuerzas de corte perpendiculares al sentido de avance. Si la pieza o el dispositivo no tienen problemas de rigidez en esa dirección es preferible usar estos ángulos al de 90 grados por los mismos motivos que en el torneado, es decir, el filo queda más protegido y el espesor de viruta va a ser menor y por lo tanto el consumo de potencia va a ser menor.

También suele suceder que con el ángulo de 90 grados, el borde de la pieza se desmorone si estamos trabajando fundición gris. Por otro lado, por la ausencia de fuerzas perpendiculares a la superficie de la pieza, la terminación superficial que deja una fresa de 90 grados es mejor que una de menos ángulo.

### ***Sentido de avance***

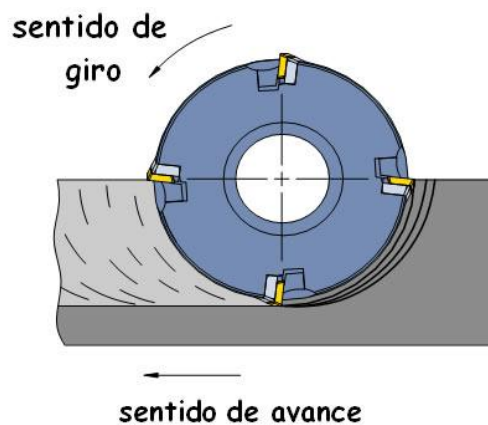
En el fresado tenemos dos opciones para el avance.

**Una es el llamado concordante, como se muestra en la siguiente figura:**



En este caso vemos que por la posición relativa de la fresa y de la pieza, a medida que la fresa avanza, se va encontrando con un espesor de viruta máximo y termina saliendo del corte con un espesor de viruta mínimo.

**El otro caso es el llamado discordante, como muestra la siguiente figura:**



En este caso, vemos cómo el espesor de viruta pasa de un mínimo al comenzar el corte a un máximo al salir.

Ahora bien, ¿Cuál es el recomendado?

En la aplicación de fresas de insertos de metal duro en máquinas herramientas modernas, el recomendado es el primero, es decir el concordante. Como vimos en capítulos anteriores, los insertos modernos no son filosos sino que por el contrario, tienden a tener un redondeado para disminuir los efectos de la fragilidad del metal duro.

También como dijimos antes, este redondeado no causa problemas si el espesor a cortar es bastante mayor que el redondeado, pero en el sistema de trabajo discordante, el espesor de corte al inicio es cero, aumentando a medida que avanza. Esto va a ocasionar que durante los primeros instantes de la entrada al corte de cada diente, el inserto roce, presionando sin lograr penetrar el material, hasta que el espesor sea tal que lo pueda hacer. Esto genera un elevado rozamiento y generación de calor que va a afectar la vida del inserto. En el caso del fresado concordante, el inserto va a empezar con el máximo espesor y no tendremos problemas de este tipo.

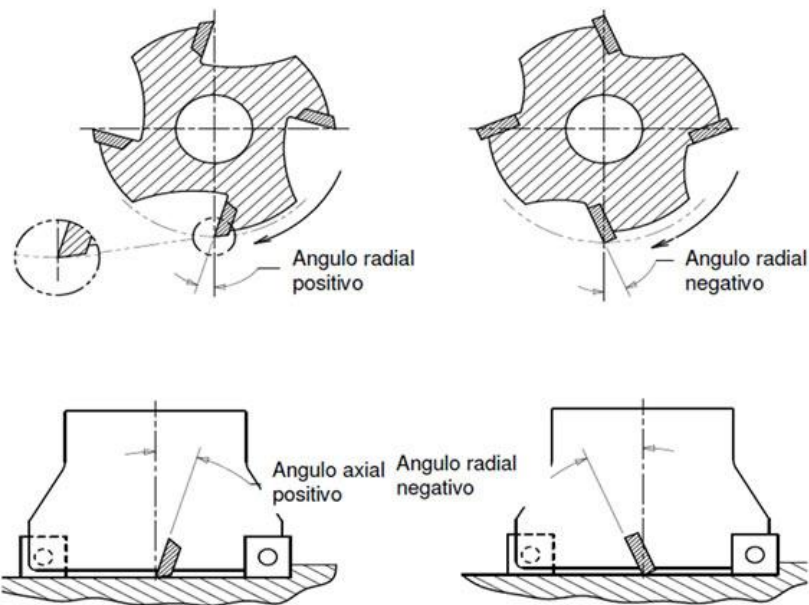
Sin embargo, los antiguos fresadores solían trabajar con el sistema discordante. ¿Por qué? Porque en el sistema concordante, la fuerza del corte, en la misma dirección que el avance, tendía a separar la tuerca del tornillo de movimiento y producía un golpeteo dañino para la máquina y la herramienta, que por otro lado era más filosa que las actuales por ser de acero rápido o de metal duro sin recubrir. Hoy día, las máquinas tienen tornillos de esferas recirculantes con tuercas precargadas, que de estar en buenas condiciones, elimina el juego y evita el golpeteo mencionado.

Si se presentan problemas de vibraciones, puede ser que el sistema discordante las amortigüe más, en cuyo caso cambiaremos el problema más grave por otro y usaremos este tipo de avance.

### ***Ángulos de desprendimiento***

En el fresado tenemos dos ángulos de desprendimiento, el radial y el axial. La combinación de los dos definen las características de la fresa.

**Veamos las siguientes figuras:**

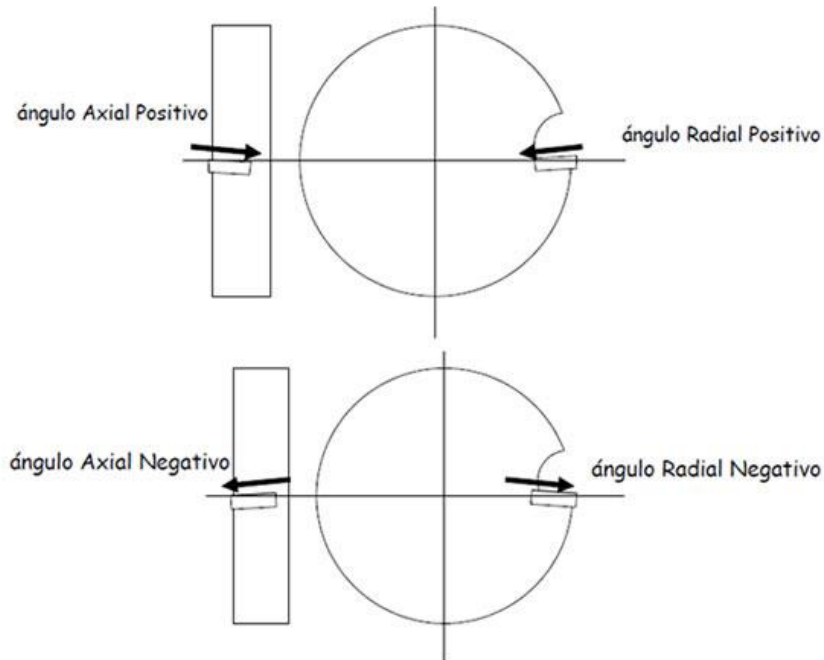


**Los ángulos están exagerados en las figuras, los negativos suelen estar alrededor de los 5 grados y los positivos pueden llegar a 14 grados, dependiendo de cada modelo de fresa.**

Antiguamente se usaban las llamadas doble negativas, porque tenían los dos ángulos negativos. Esto era acorde con el tipo de insertos de la primera época y además para ser utilizados en máquinas fresadoras de gran rigidez, ya que esta configuración genera fuerzas más elevadas que las positivas. En los centros de mecanizados modernos, más rápidos pero también más livianos, la tendencia es usar fresas doblemente positivas, ya que los esfuerzos son menores.

Además los ángulos positivos tienden a levantar la viruta, sacándola de la zona de corte, evitando que ésta sea recortada por los insertos, que se encuentran con las virutas duras, casi templadas cortadas por los dientes anteriores, provocándoles roturas o desgastes prematuros.

**Veamos los siguientes croquis:**



### **Potencia**

Para calcular la potencia en el fresado usaremos la siguiente fórmula:

$$P = \frac{A_p \times A_e \times F \times K_c}{60,000}$$

Donde:  $A_p$  es la profundidad de corte,  $A_e$  es el ancho de corte,  $F$  es el avance total en milímetros por minuto como se definió antes,  $K_c$  es la constante específica de corte.

En realidad, la constante específica de corte hay que ajustarla por el espesor medio de virutas, pero para simplificar no lo hacemos.

### **Terminación superficial**

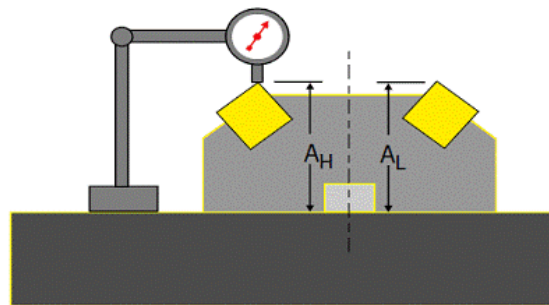
Al igual que en el torneado, la terminación superficial que obtendremos en el proceso de fresado depende del avance y del radio del inserto. Como ahora estamos trabajando con varios insertos, va a depender de la precisión con que estén montados para que trabajen todos juntos o trabajen en forma individual.

En general los insertos de fresado no tienen radio en la punta sino que tienen una pequeña faceta plana o chanfle que es el que va a definir la rugosidad obtenida. Lo ideal sería lograr que todos los insertos queden a la misma altura,

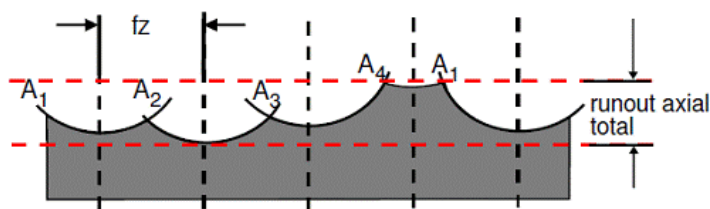
pero para ello los insertos deben ser rectificadas o la fresa debe tener los alojamientos regulables. Ambas opciones son más caras que lo que se usa normalmente, que son los insertos moldeados y fresas sin regulación.

También existe la posibilidad de usar insertos alisadores, que son insertos que tienen una faceta plana más grande que la normal y por diseño sobresale un poco más que todos los demás insertos. Este inserto es el que definirá la rugosidad obtenible siempre que el avance total sea un ochenta por ciento del largo de la faceta plana. No todos los modelos de fresa tienen esta opción, pero si necesitamos una buena rugosidad, debemos buscar esta opción.

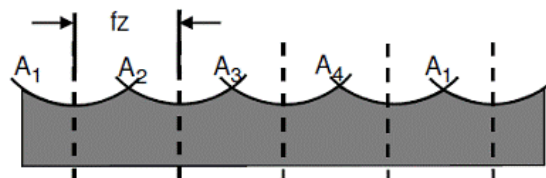
**Veamos las siguientes figuras para entender lo dicho:**



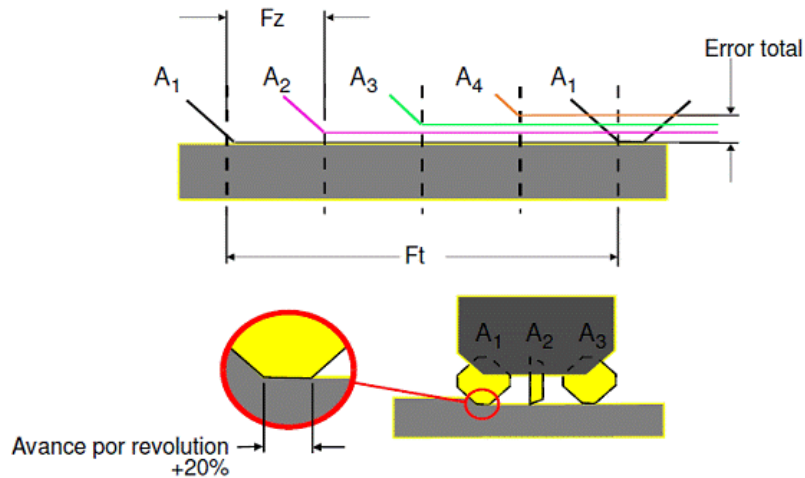
$$\text{runout axial} = A_H - A_L$$



runout axial > 0



runout axial = 0



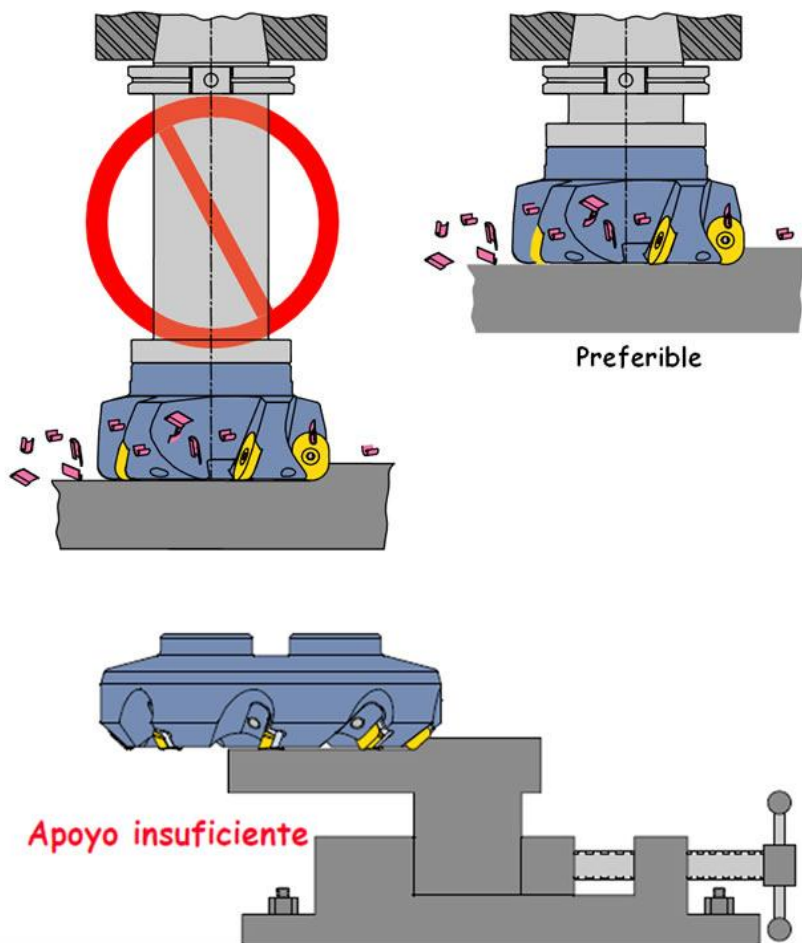
### ***Optimización del espesor de viruta***

Como explicamos, la viruta en el fresado tiene una forma de coma y los insertos están preparados para retirar un cierto espesor medio de viruta. Si por estar trabajando con poco ancho de corte, nuestra "coma" es más chica de lo que permitiría el inserto usando el 75 % del diámetro de la fresa, podemos aumentar el avance por diente para lograr el aprovechamiento de la resistencia del inserto. Es normal encontrar esta información en los propios catálogos de los fabricantes de las fresas. De esta manera, podremos optimizar el trabajo de la fresa acorde con sus características de diseño sin desperdiciar cualidades del producto.

### ***Fijación de pieza y herramienta***

Como en el torneado, el largo de las herramientas o la mala fijación de la pieza atentarán contra la vida de la herramienta y la productividad. Siempre que sea posible deberemos usar las fijaciones más cortas posibles y lo mismo para la pieza, intentando que las zonas a mecanizar estén bien apoyadas.

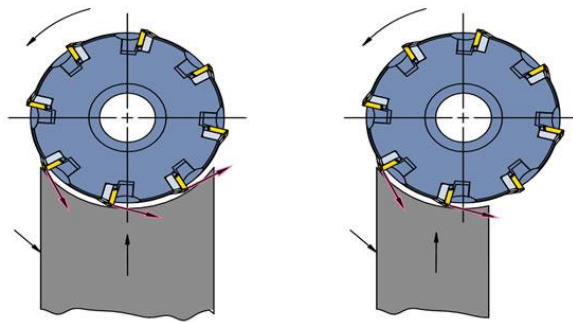
**Las siguientes figuras ilustran lo antedicho:**



Tengamos en cuenta también que en el fresado las fuerzas de corte son variables y cambiando la posición de la fresa respecto a la pieza, podemos cambiar las direcciones de las fuerzas de corte de modo que se dirijan a un punto más rígido, como se ejemplifica a continuación, en que al cambiar el ancho de corte hemos eliminado la fuerza hacia arriba que podría movernos la pieza.

Debemos pensar siempre cuando definimos los recorridos de la fresa, dónde están los apoyos fijos del dispositivo para asegurarnos de que las fuerzas se dirijan a ellos.





### **Para finalizar,**

diremos que, al igual que en el torneado, las variables son muchas, y por lo tanto los factores a tener en cuenta también son muchos, teniendo que hacer una evaluación detallada de las variables principales y en función de los conceptos aquí volcados comenzar a trabajar para solucionar problemas, mejorar rendimientos y reducir tiempos.

Esta tarea es laboriosa y se necesita experimentar con las distintas variables, entendiendo la sensibilidad de cada una y cómo afecta el resultado final.

No siempre lo logrado con un sistema máquina - dispositivo - pieza - herramienta se consigue al cambiar uno o más de los cuatro elementos, debiendo volver a empezar con la experimentación. Es un camino largo y complejo pero que nos va a ayudar a adquirir experiencia y conocimiento del proceso.