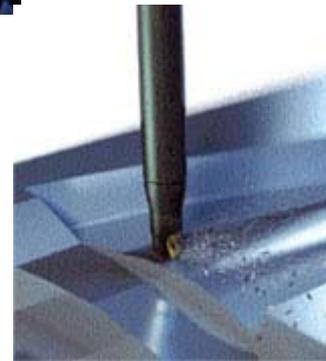


# Tema 4.- Procesos de Mecanizado



Ingeniería de  
Sistemas y  
Automática

**Fabricación Asistida por  
Computador**





# Procesos de Mecanizado

## Torneado (1)

- **Movimiento fundamental de corte:**

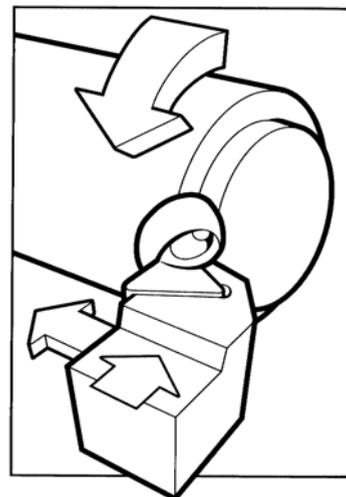
- rotativo

- pieza

- **Movimiento fundamental de avance:**

- rectilíneo (generalmente)

- herramienta



- **Cabezal:** proporciona el par necesario para

- hacer girar la pieza

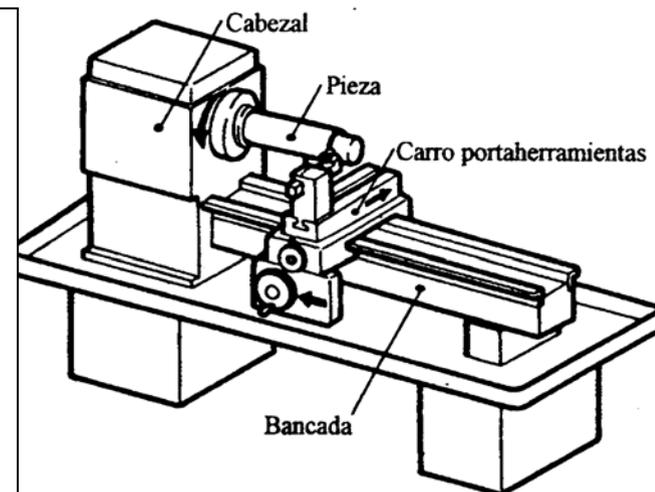
- producir el corte

- **Bancada:** posee guías paralelas al eje de giro de la pieza

- **Carros:**

- carro longitudinal: se desplaza sobre las guías de la bancada

- carro transversal: sobre el anterior, soporta la torreta portaherramientas



# Procesos de Mecanizado

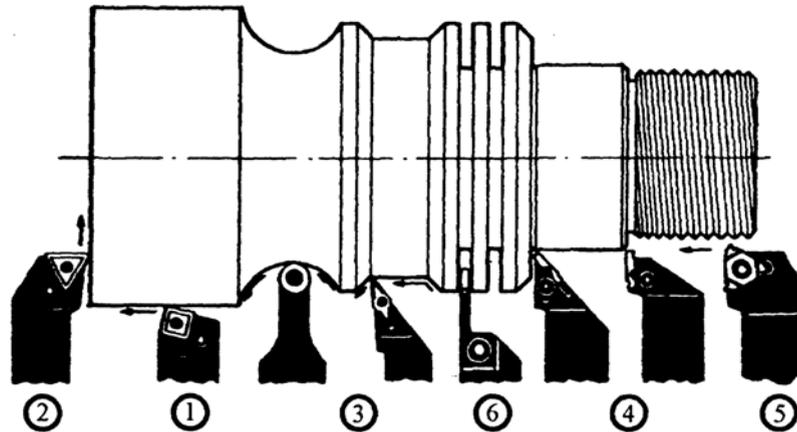
## Torneado (2)



Ingeniería de  
Sistemas y  
Automática

Fabricación Asistida por  
Computador

### Torneado exterior



.Cilindrado

.Refrentado

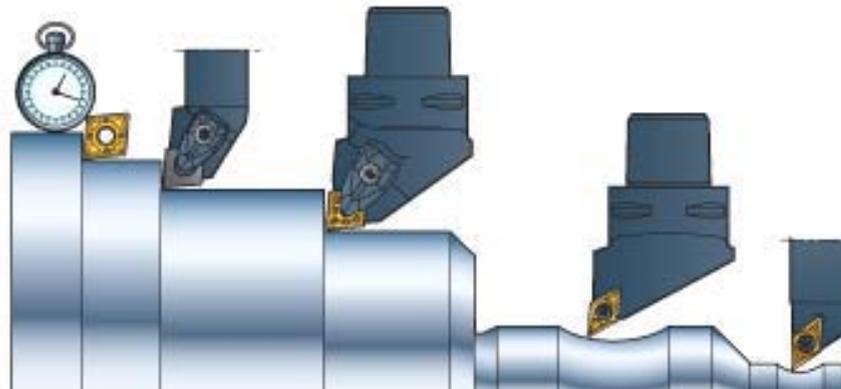
.Copiado

- Hacia fuera
- Hacia dentro

.Cortes perfilados

.Roscado

.Tronzado



# Procesos de Mecanizado

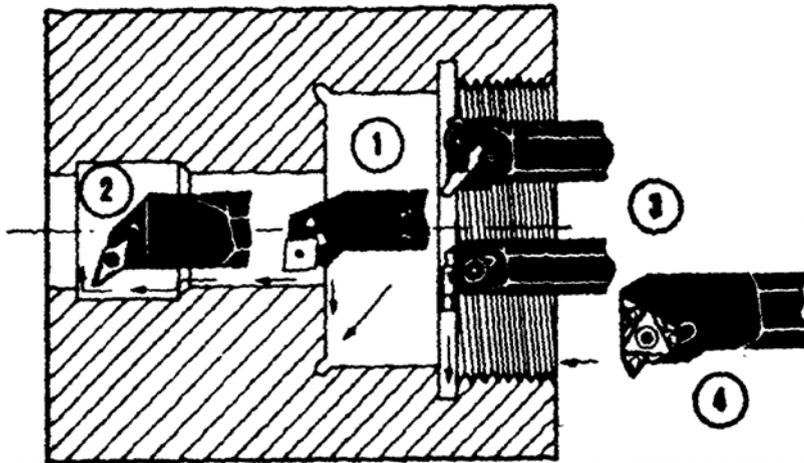
## Torneado (3)



Ingeniería de  
Sistemas y  
Automática

Fabricación Asistida por  
Computador

### Torneado interior (mandrinado)



.Cilindrado

.Refrentado / Copiado

.Perfilados

.Roscado

# Procesos de Mecanizado

## Torneado (4)



Ingeniería de  
Sistemas y  
Automática

Fabricación Asistida por  
Computador

### Parámetros que definen la operación de torneado

: velocidad del husillo

es la velocidad de giro de la pieza

se mide en r.p.m.

: velocidad de corte

es la velocidad tangencial en la parte exterior de corte

se mide en m/min

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} (m / \min)$$

donde D es el diámetro exterior de la pieza expresado en mm

: avance

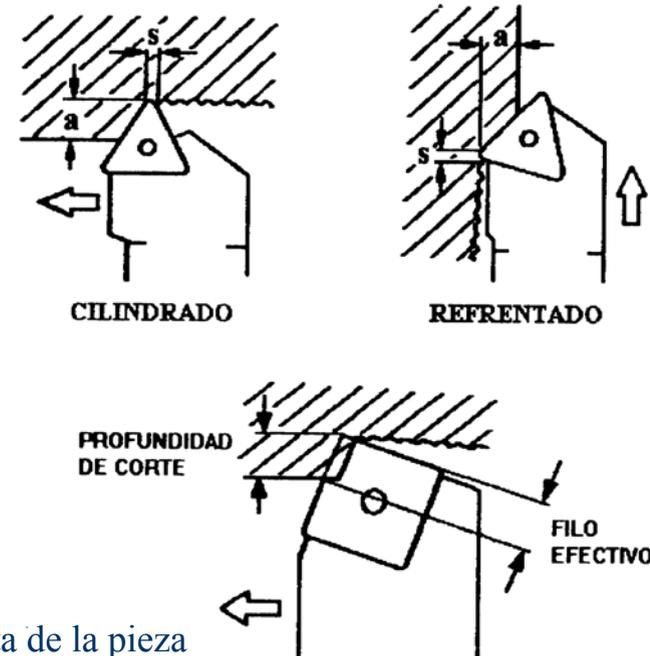
representa la distancia recorrida por la herramienta por cada vuelta de la pieza

se mide en mm/rev

: profundidad de pasada

distancia entre superficie sin cortar y cortada, medida perpendicularmente al movimiento de avance de la herramienta. Se mide en mm

Sólo coincide con la longitud de filo efectivo de la herramienta si su ángulo de posición es de  $90^\circ$



# Procesos de Mecanizado

## Torneado (5)



Ingeniería de  
Sistemas y  
Automática

Fabricación Asistida por  
Computador

Cálculo de potencias:

$F_t$ : fuerza principal de corte

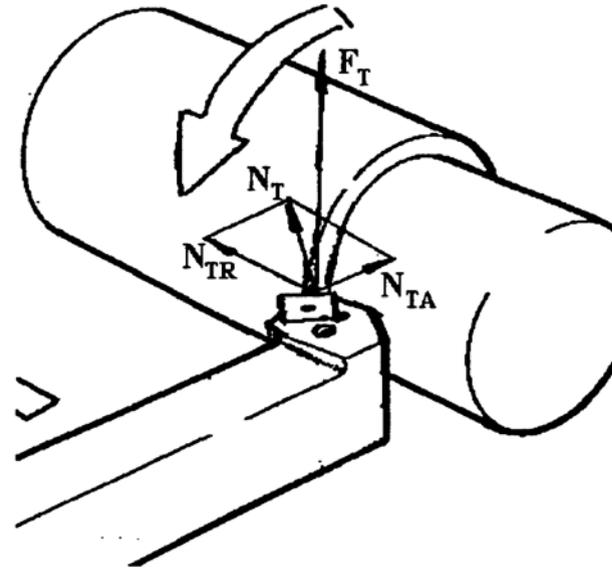
$$F_T = K_S \cdot A(N)$$

$K_S$  depende de:

- Material de la pieza
- Geometría de la pieza
- Angulo de posición
- Espesor de la viruta
- Velocidad de corte

$N_t$  componente normal o fuerza de empuje:

- Perpendicular al filo de corte y  $F_t$
- Se estima como el 60% de  $F_t$
- Componentes axial y normal



**Potencia de corte:**

en función de la fuerza de corte

$$P = \frac{v \cdot F_T}{60 \cdot 1000} (KW)$$

**Potencia consumida:**

en función del rendimiento de la transmisión

$$P_{MH} = \frac{P}{\eta} (KW)$$

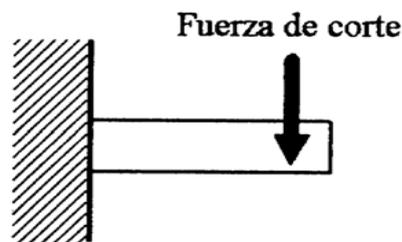
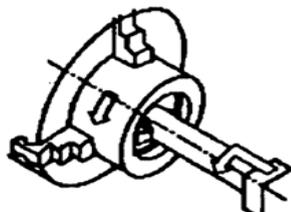


# Procesos de Mecanizado

## Torneado (6)

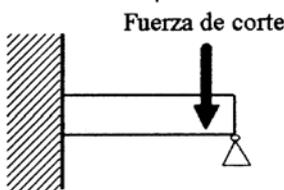
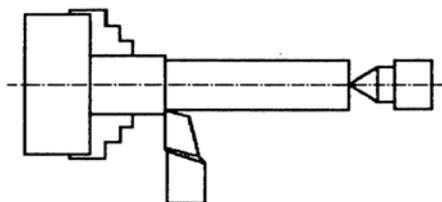
### Modos de sujeción de las piezas en el torneado

#### Modo 1: sujeción al aire



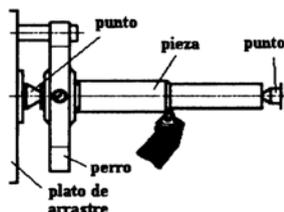
- La pieza se sujeta por uno de sus extremos
- El mismo plato que la sujeta le transmite el movimiento de giro
- Válido para piezas no esbeltas
- La pieza se representa como una viga simplemente empotrada

#### Modo 2: sujeción entre plato y punto



- La pieza se sujeta por uno de sus extremos y por el otro se encuentra apoyada en un punto
- El plato es quien transmite el movimiento de giro
- Válido para piezas semi-esbeltas
- La pieza se representa como una viga empotrada y apoyada

#### Modo 3: sujeción entre puntos



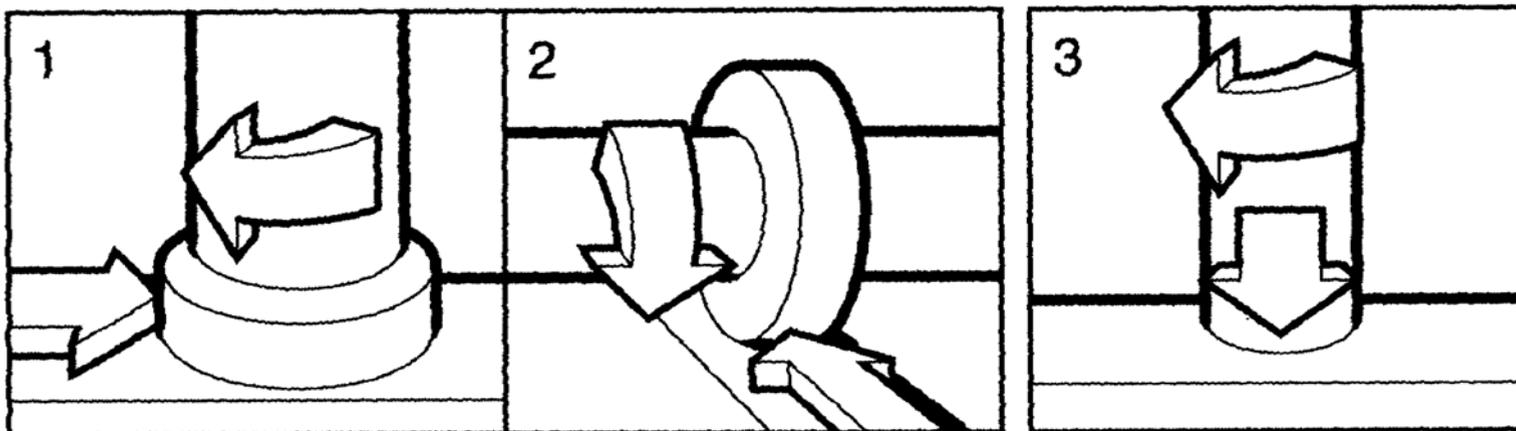
- La pieza se apoya en puntos de sus dos extremos
- El movimiento de arrastre se comunica por un punto intermedio (mordazas, uñas)
- Válido para piezas semi-esbeltas
- La pieza se representa como una viga doblemente apoyada



# Procesos de Mecanizado

## Fresado (1)

- Movimiento fundamental de avance:
  - rectilíneo
  - pieza o herramienta
- Movimiento fundamental de corte:
  - rotativo
  - herramienta



Fresado frontal

Fresado periférico

Avance axial



# Procesos de Mecanizado

## Fresado (2)

### FRESADO FRONTAL

- Avance perpendicular al eje de giro
- Profundidad de corte en dirección axial
- Corte producido por los filos periféricos
- Acabado superficial producido por los filos de la cara frontal

### FRESADO PERIFÉRICO

- Avance perpendicular al eje de giro
- Profundidad de corte en dirección radial
- Corte producido por los filos periféricos

### AVANCE AXIAL

- Avance y profundidad de corte en dirección axial
- Corte producido por los filos de la cara frontal
- Generalmente se taladra hasta una profundidad y luego se avanza radialmente

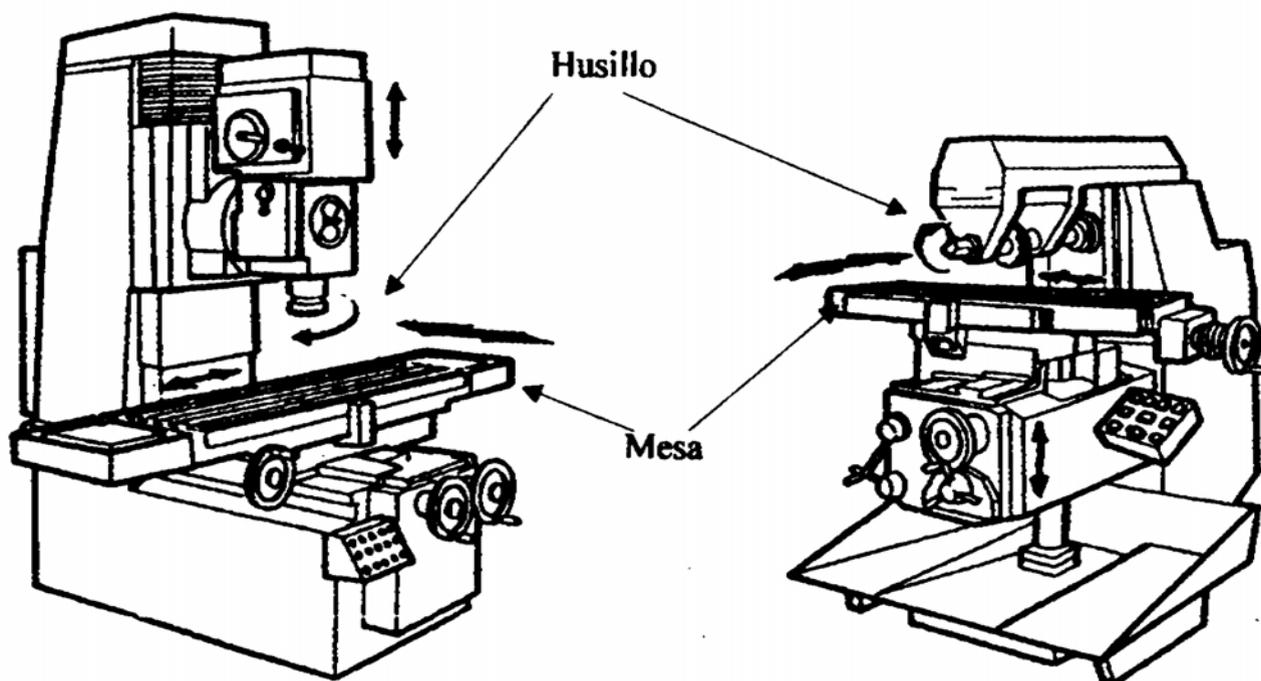


# Procesos de Mecanizado

## Fresado (3)

Ejemplos de  
fresadoras:

- **Husillo:** lugar de montaje de la herramienta
  - Debe producir el par necesario para producir el corte
- **Mesa:** lugar de montaje de la pieza
  - Entre mesa y husillo se posibilitan movimientos en los 3 ejes



# Procesos de Mecanizado

## Fresado (4)

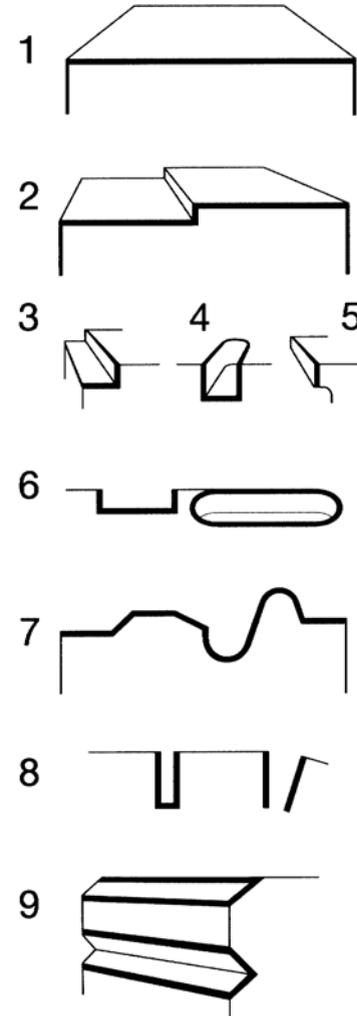


Ingeniería de  
Sistemas y  
Automática

Fabricación Asistida por  
Computador

Operaciones de  
fresado:

- .Planeado**
- .Planeado en escuadra**
- .Escuadrado**
- .Ranurado**
- .Canteado**
- .Alojamientos o vaciados**
- .Copiados**
- .Ranuras y cortes**
- .Chaflanes**





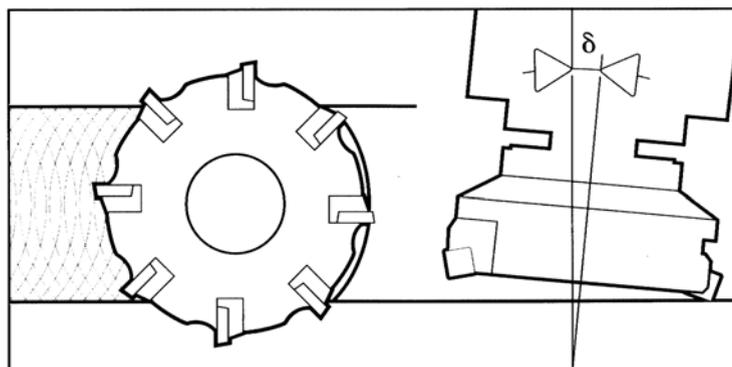
# Procesos de Mecanizado

## Fresado (5)

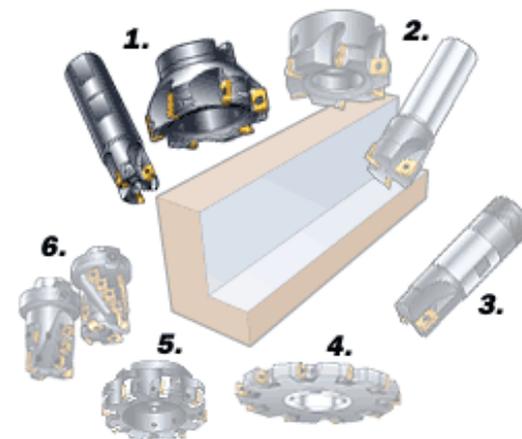
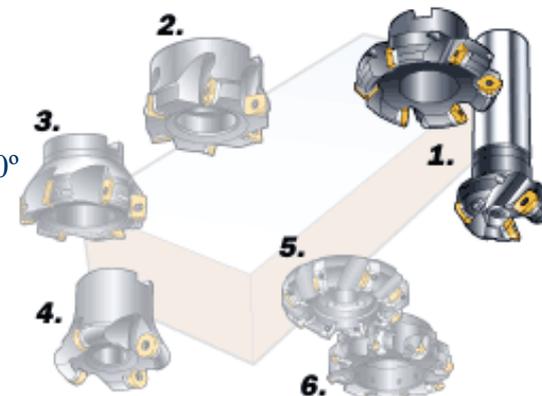
### Planeado y planeado en escuadra:

- Intención: generar superficies planas
- Planeado en escuadra: se utiliza una fresa para planear con ángulo de posición de  $90^\circ$
- Por lo general es más ventajoso utilizar un ángulo de posición menor

### Inclinación del husillo en el planeado:



Objetivo: evitar el *corte en retroceso*: estropea el acabado superficial



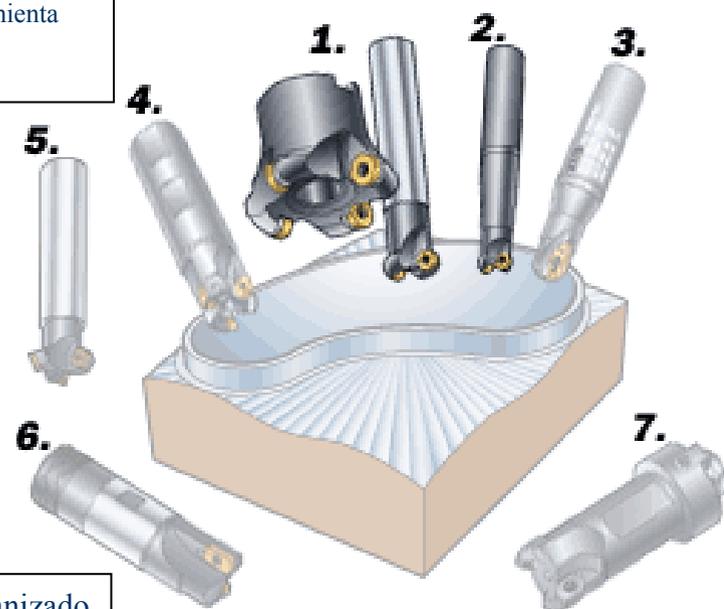


# Procesos de Mecanizado

## Fresado (6)

### Alojamientos o vaciados

- Taladrado hasta una determinada profundidad y fresado posterior
- O bien fresado en rampa en varios cortes
- Para taladrar es necesario que los filos de corte atraviesen el centro de la herramienta
- Fresas muy polivalentes: aplicables a taladrados y/o ranurados



### Copiados o contornos

- Fresas para ranurar con filo de corte redondo, necesario para mecanizado continuo de formas convexas y cóncavas:
- Fresas de punta esférica
- Fresas de plaquitas redondas (limitaciones)

# Procesos de Mecanizado

## Fresado (7)

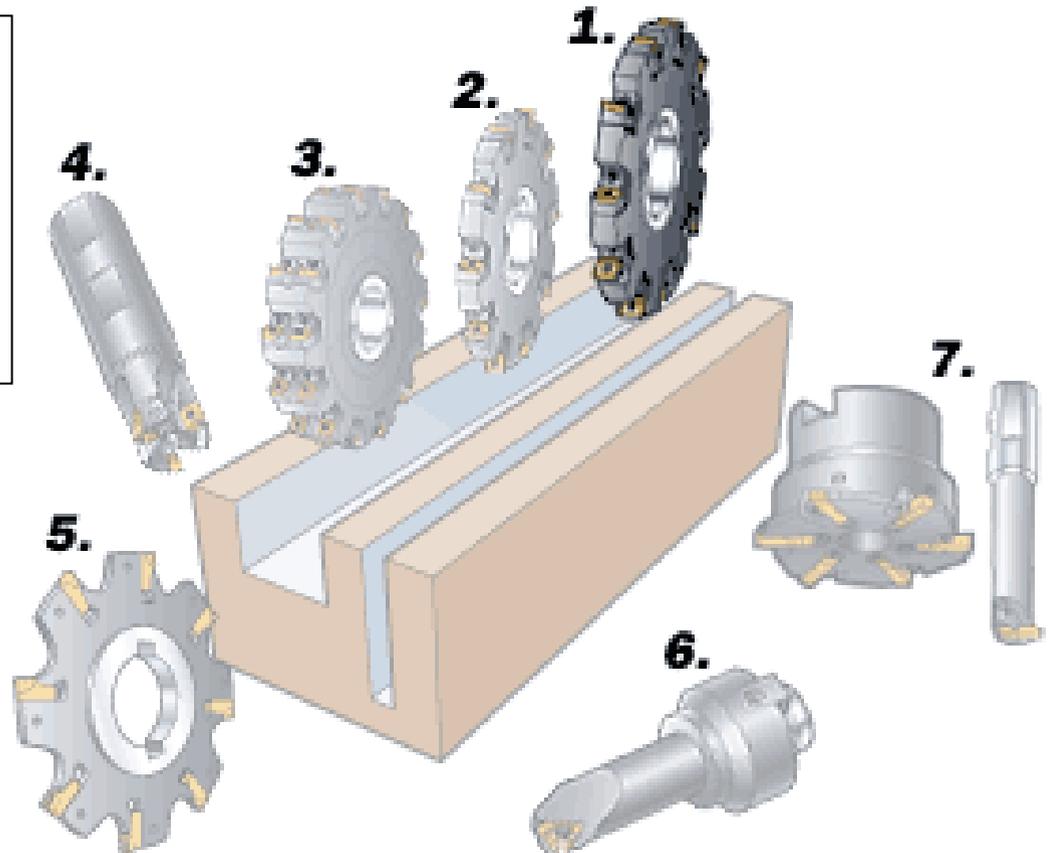


Ingeniería de  
Sistemas y  
Automática

Fabricación Asistida por  
Computador

### Ranuras y cortes

- Se utilizan fresas de disco en lugar de fresas de ranurar
- Diferencia: relación profundidad/longitud
- Esfuerzo de corte sólo en una pequeña parte de los dientes: vibraciones
- Solución: volantes de inercia



# Procesos de Mecanizado

## Fresado (8)

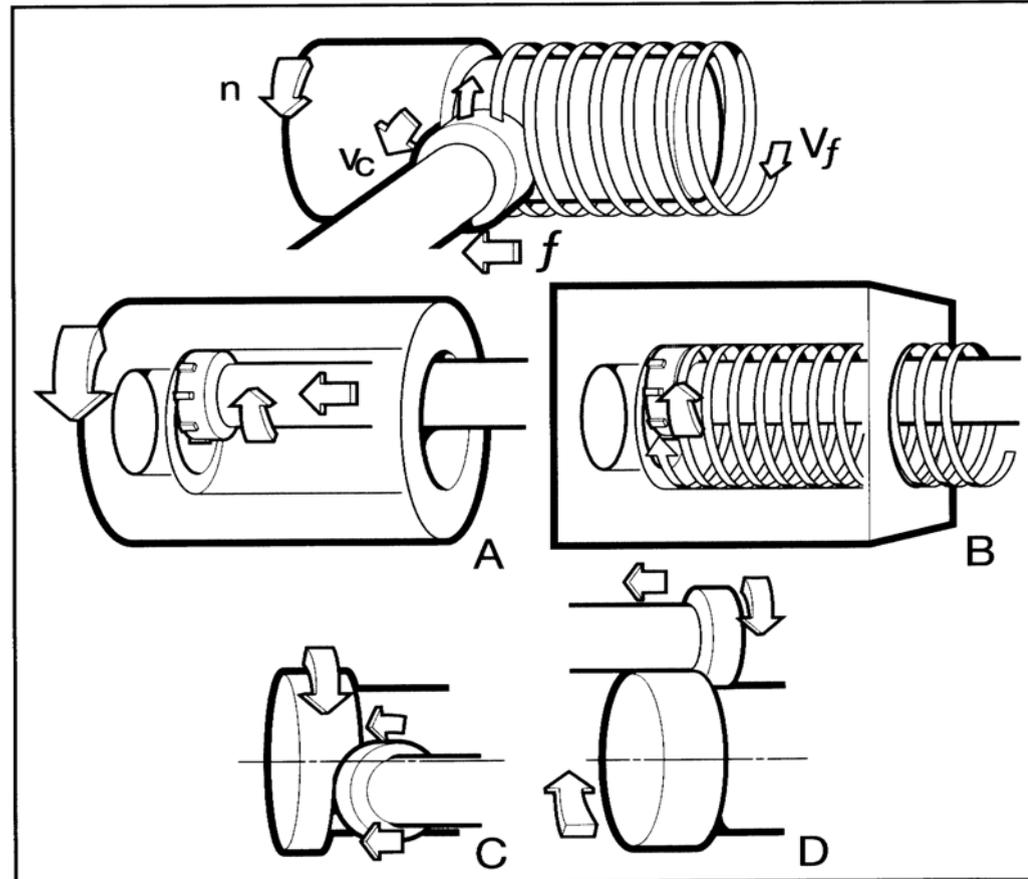


Ingeniería de  
Sistemas y  
Automática

Fabricación Asistida por  
Computador

### Torno-fresado

- Combinación de ambos procesos
- Una fresa rotativa mecaniza una pieza que gira
- Aplicaciones:
  - Formas excéntricas (cigüeñales, etc)
  - Piezas con elementos que sobresalen
  - Piezas que no pueden girar a gran velocidad





# Procesos de Mecanizado

## Fresado (9)

### Parámetros que definen la operación de fresado

Características de la herramienta:

**D:** diámetro de la fresa (mm)

**z:** número de dientes

**u:** paso de dientes (mm)

Se cumple:

$$u = \frac{\pi \cdot D}{z} (mm)$$

Condiciones de corte:

**n:** velocidad de giro de la herramienta (r.p.m)

**v:** velocidad de corte (m/min)

- es la velocidad periférica de la fresa

Se cumple:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} (m/min)$$

# Procesos de Mecanizado

## Fresado (10)



$s_Z$ : avance por diente (mm/diente)

- espacio recorrido por la pieza durante el tiempo que un diente está cortando en una vuelta de la herramienta

$s_N$ : avance por vuelta (mm/rev)

- espacio recorrido por la pieza durante un giro completo de la herramienta ( $s_N = z \cdot s_Z$ )

$s'$ : velocidad de avance (mm/min)

- velocidad lineal de avance de la pieza ( $s' = s_N \cdot n$ )

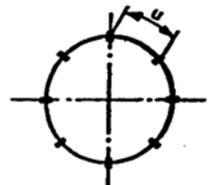
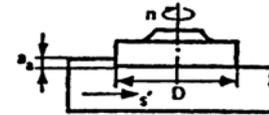
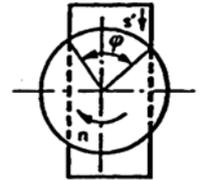
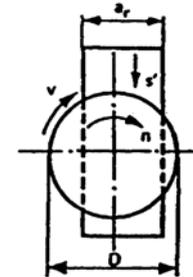
$a_A$ : profundidad de pasada axial (mm)

- material eliminado en dirección axial
- profundidad de corte en fresado frontal
- ancho de corte en fresado periférico

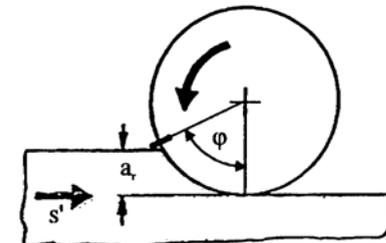
$a_R$ : profundidad de pasada radial (mm)

- material eliminado en dirección radial
- ancho de corte en fresado frontal

profundidad de corte en fresado periférico



Fresado frontal



Fresado periférico



# Procesos de Mecanizado

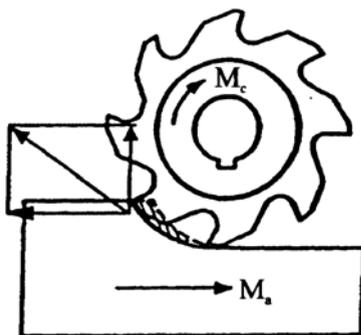
## Fresado (11)

### Cálculo de potencias requeridas para el fresado

Fuerzas en el fresado: variables en dirección y magnitud

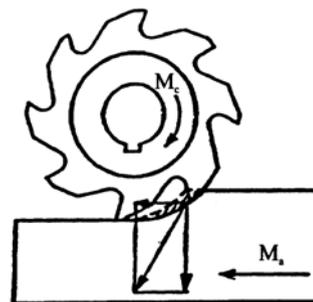
- vibraciones
- deformaciones en las piezas y las herramientas
- problemas para la sujeción de piezas y herramientas
- normalmente se trabaja con el valor medio

..para ello se supone que la viruta arrancada tiene espesor constante



#### **Fresado en oposición (o hacia arriba)**

- sentidos opuestos para el corte y el avance
- espesor de corte en aumento



#### **Fresado en concordancia (o hacia abajo o a favor)**

- sentidos iguales para el corte y el avance
- espesor de corte en disminución



# Procesos de Mecanizado

## Fresado (12)

Espesor medio de la viruta  $h_M$

$$h_M = \operatorname{sen}(\chi) \frac{360}{\pi} \frac{s_Z}{\phi D} a_R$$

$$h_M = s_Z \sqrt{\frac{a_R}{D}}$$

Sección media de viruta  $A_M$

$$A_M = h_M \frac{a_A}{\operatorname{sen}(\chi)}$$

Fuerza media para cada uno de los filos cortantes  $F_{TM}$

$$F_{TM} = K_{SM} \cdot A_M$$

Donde  $K_{SM}$  es el valor medio de la fuerza específica de corte

- Se consulta en tablas
- Se ajusta en función de la geometría de la herramienta
- Se ajusta en función del espesor de viruta

Tabla para valores $k_m$ según los tipos de material de la pieza a trabajar. (El espesor medio de la viruta es 0,2 mm o 0,008 pulgadas)				
Material		Dureza HB	$k_s$	
			Kp/mm <sup>2</sup>	lb/pulgada <sup>2</sup>
Acero al carbono no aleado normalizado	C 0,15%	125	245	348390
	C 0,35%	150	270	383940
	C 0,70%	250	295	419490
Acero poco aleado	Recocido	125-200	285	405270
	Endurecido	200-450	350	497700
Acero altamente aleado	Recocido	150-250	315	447930
	Endurecido	250-500	365	519030
Acero inoxidable	Ferr. Mart.	175-225	325	462150
	Aust.	150-200	350	497700
Acero fundido (inoxidable)	No aleado	225	230	327060
	Poco aleado	150-250	250	355500
	Altamente aleado	150-300	285	405270
Acero al manganeso		>50 HRC	600	853200
Fundición maleable	Viruta corta	110-145	195	277290
	Viruta larga	200-250	180	255960
Fundición gris	Poca resistencia a la tracción	150-225	125	177750
Fundición gris & fundición aleada	Alta resistencia a la tracción	200-300	160	227520
Fundición nodular, hierro SG	Ferrítica	125-200	135	191970
	Perlítica	200-300	200	284400
Fundición endurecida en coquilla		HRC 40-60	425	604350
Aluminio aleado		100	75	106650



# Procesos de Mecanizado

## Fresado (13)

### Par de corte M

$$M = F_{TM} \cdot z_{CORTE} \cdot \frac{D}{2}$$

Donde  $z_{CORTE}$  es el número de dientes cortando en un momento dado (valor medio)

$$z_{CORTE} = z \cdot \frac{\phi}{360}$$

Sustituyendo  $z_{CORTE}$  y  $F_{TM}$  se obtiene:

$$M = K_{SM} \cdot \frac{s_Z \cdot a_R \cdot a_A \cdot z}{2\pi} (N \cdot mm)$$

### Potencia de corte P

$$P = M \cdot \omega$$

$$P = K_{SM} \cdot \frac{s_Z \cdot a_R \cdot a_A \cdot z}{2\pi} \cdot \frac{2\pi \cdot n}{60} (N \cdot mm/s) = K_{SM} \cdot \frac{s' \cdot a_R \cdot a_A}{6 \cdot 10^7} (KW)$$

$$P_{MH} = \frac{P}{\eta} (KW)$$



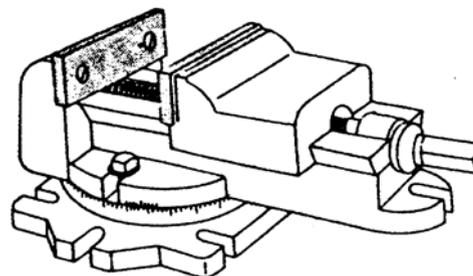
# Procesos de Mecanizado

## Fresado (14)

### Modos de sujeción de las piezas en el fresado

#### Modo 1: sujeción con mordazas o tornillos de máquina

- La pieza se sujeta por presión
- Accionamiento mecánico, neumático o hidráulico
- Tipología en función de los grados de libertad:
  - Mordaza **sencilla**
  - Mordaza **giratoria**
  - Mordaza **universal**

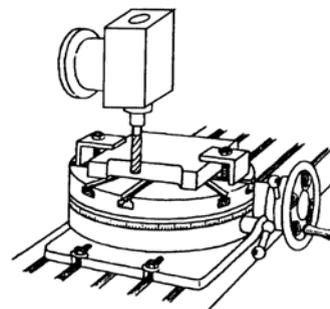


Objetivos:

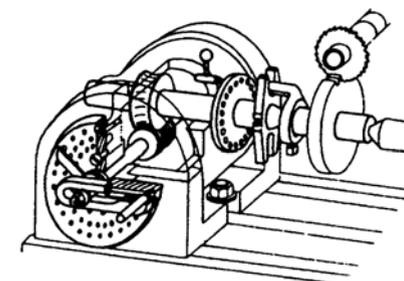
- Inmovilización correcta de la pieza
- Accesibilidad de las zonas a mecanizar
- Capacidad para absorber los esfuerzos del mecanizado
- Protección contra deformaciones para la pieza
- Tiempos de amarre y desamarre cortos

#### Modo 2: sujeción con platos divisores

- El plato permite sujetar la pieza y tiene posibilidad de giro
- Permite trabajar con distintas orientaciones
- Permite procesos de **torno-fresado**
- Sujeción de pieza similar a la del torneado:
  - Al aire
  - Entre plato y punto
  - Entre puntos



Plato vertical



Plato horizontal

# Procesos de Mecanizado

## Fresado (15)



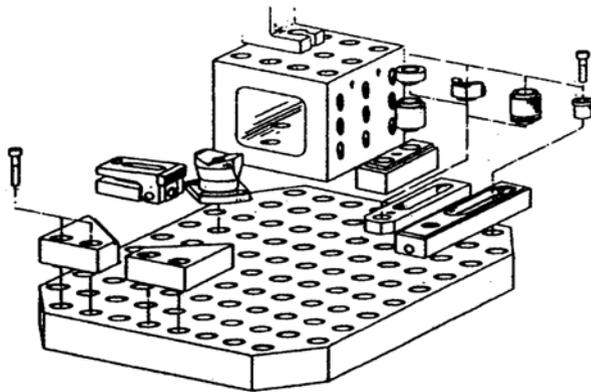
Ingeniería de  
Sistemas y  
Automática

Fabricación Asistida por  
Computador

### Modo 3: sujeción directa sobre la mesa

- Empleado para piezas grandes
- La pieza se fija mediante el uso de bridas, tornillos, calzos, cuñas, etc.
- Importante direccionar adecuadamente los esfuerzos

### Modo 4: sistemas de sujeción modulares



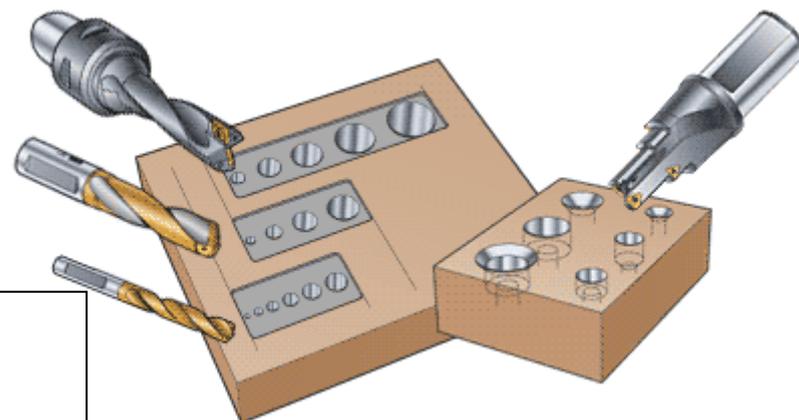
- Basados en una placa base con agujeros o ranuras
- Los elementos de sujeción (bridas, posicionadores, etc. están estandarizados)
- Sistema flexible, adaptable a multitud de piezas
- Debido a la estandarización, son configurables por CAD



# Procesos de Mecanizado

## Taladrado (1)

- Movimiento fundamental de avance:
  - rectilíneo
  - en general herramienta
- Movimiento fundamental de corte:
  - rotativo
  - en general herramienta



### • Ventajas:

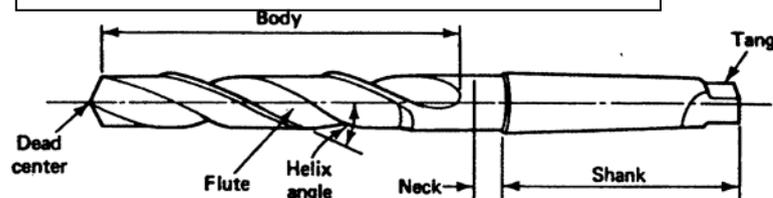
- Corte continuo: estabilidad. Favorable para las herramientas

### • Problemática fundamental:

- Extracción de la viruta del agujero (el material se arranca en el fondo)

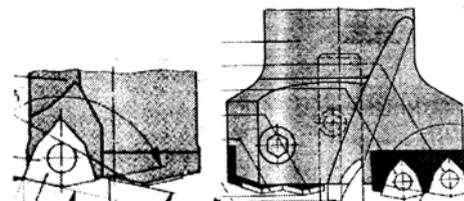
### Broca helicoidal

- Por lo general herramienta enteriza
- Ranuras helicoidales: permiten que deslice por ellas la viruta generada en el fondo
- Filos de corte: en el extremo de la herramienta



### Broca no helicoidal

- Por lo general herramienta de plaquitas soldadas o intercambiables
- Varias plaquitas producen viruta de menor anchura, lo que facilita su extracción



# Procesos de Mecanizado

## Taladrado (2)

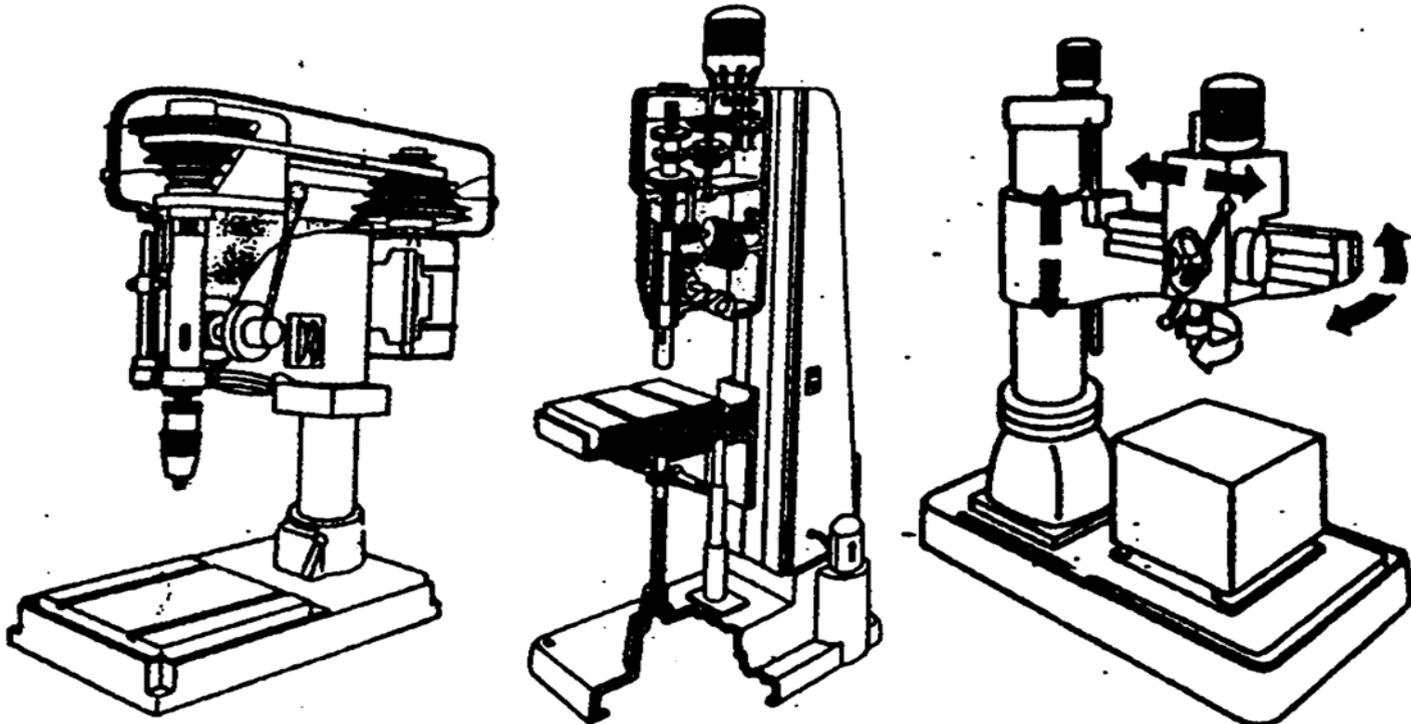


Ingeniería de  
Sistemas y  
Automática

Fabricación Asistida por  
Computador

### Taladradoras:

- Taladradoras: disponen de un mayor o menor número de grados de libertad en función de la versatilidad buscada
- También pueden realizarse operaciones de taladrado en tornos o fresadoras



# Procesos de Mecanizado

## Taladrado (4)

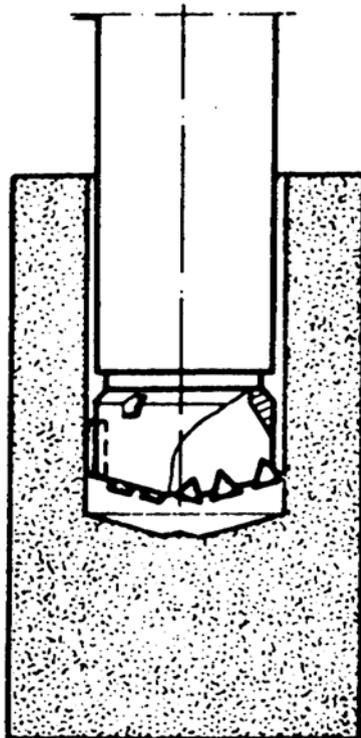


Ingeniería de  
Sistemas y  
Automática

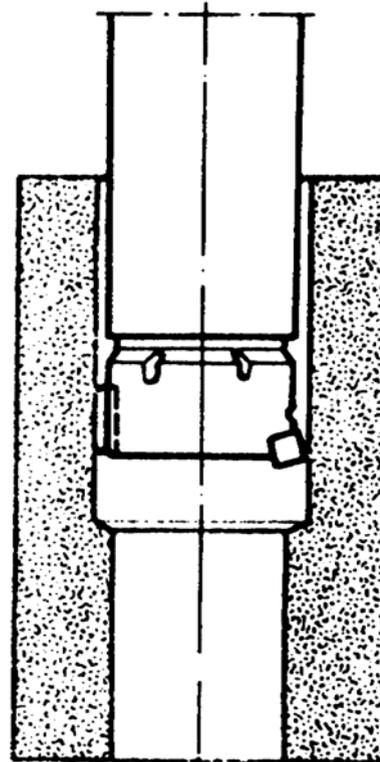
Fabricación Asistida por  
Computador

Operaciones:

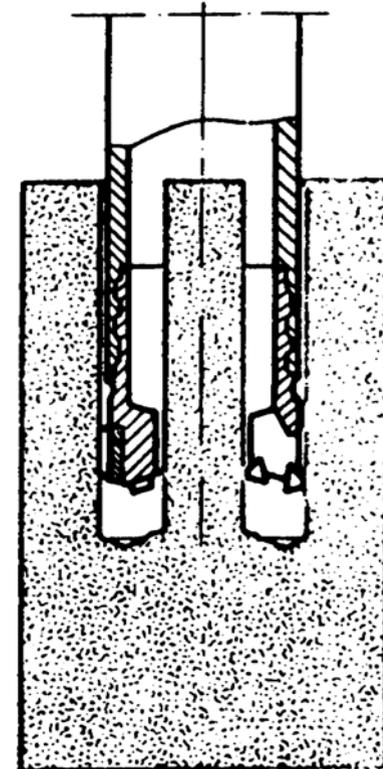
**Taladrado en macizo**



**Retaladrado**



**Trepanado**





# Procesos de Mecanizado

## Taladrado (5)

**D:** diámetro (mm)

**n:** velocidad de giro (r.p.m)

**v:** velocidad de corte (m/min)

es la velocidad periférica del taladro

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} (m/min)$$

**z:** número de dientes

**u:** paso de dientes (mm)

$$u = \frac{\pi \cdot D}{z} (mm)$$

**s<sub>Z</sub>:** avance por diente (mm/diente)

- espesor de material arrancado por un diente durante una vuelta (**s<sub>Z</sub>=s<sub>N</sub>/z**)

**s<sub>N</sub>:** avance por vuelta (mm/rev)

- espesor de material arrancado por la broca durante una vuelta (**s<sub>N</sub>=z·s<sub>Z</sub>**)

**s':** velocidad de avance (mm/min)

- velocidad lineal de avance de la broca (**s'=s<sub>N</sub>·n**)

**a:** profundidad de pasada (mm)

- ancho de la viruta (radio del agujero)

# Procesos de Mecanizado

## Taladrado (6)



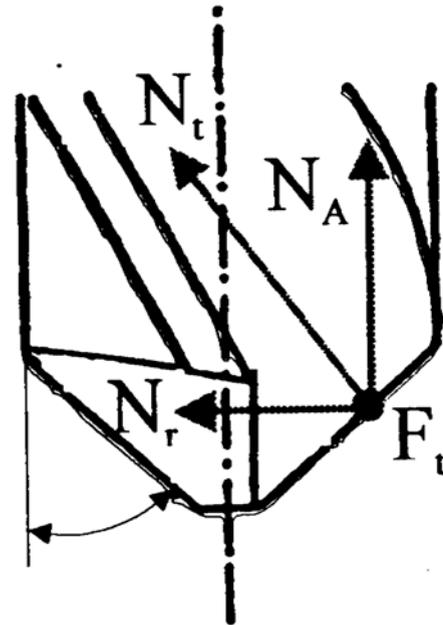
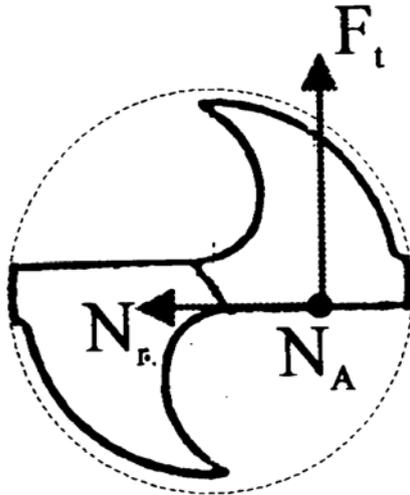
Ingeniería de  
Sistemas y  
Automática

Fabricación Asistida por  
Computador

### Cálculo de potencias:

#### Fuerzas intervinientes:

- $F_T$  o fuerza en la dirección del movimiento de corte
- $N_T$  o fuerza perpendicular a  $F_T$  y al filo de corte. 2 componentes:
  - ✓  $N_A$  en sentido axial
  - ✓  $N_R$  en sentido radial



# Procesos de Mecanizado

## Taladrado (7)

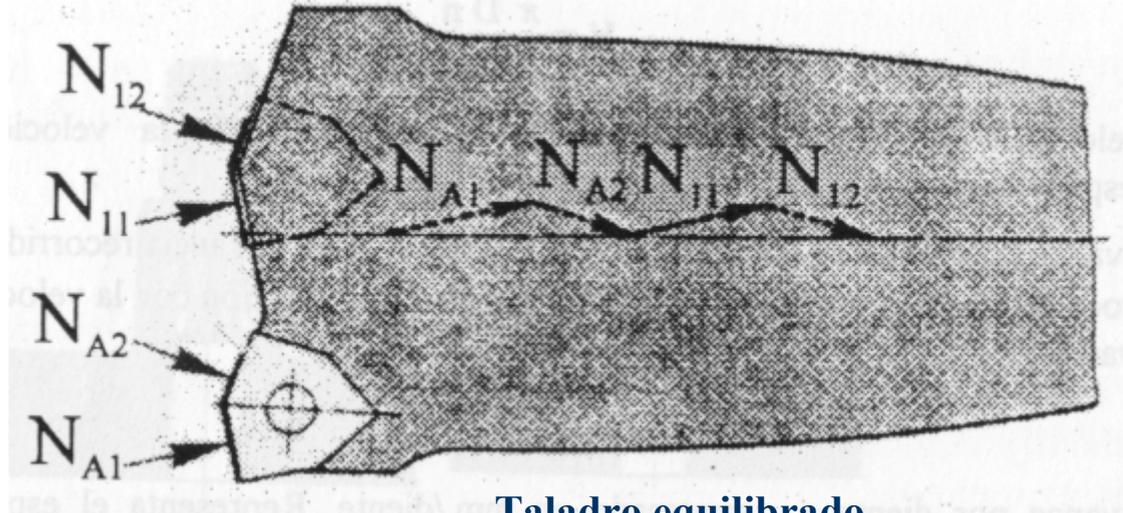


Ingeniería de  
Sistemas y  
Automática

Fabricación Asistida por  
Computador

### Taladros equilibrados y desequilibrados:

- **Taladro equilibrado:** las componentes radiales  $N_R$  se anulan
- **Taladro desequilibrado:** existe una componente  $N_R$  neta
- ✓ Los taladros desequilibrados sufren un esfuerzo de flexión
- ✓ Para evitar la flexión se utilizan apoyos guía, o superficies en contacto con el agujero que absorben las fuerzas radiales



**Taladro equilibrado**



# Procesos de Mecanizado

## Taladrado (8)

Cálculo de la fuerza de corte: a través de la presión específica de corte  $K_S$ :

- $K_S$  se consulta en tablas en función del material a cortar
- La fuerza se calcula como la presión específica por el área cortada

Para un diente: 
$$F_T = K_S \cdot a \cdot s_Z = K_S \cdot \frac{D}{2} \cdot s_Z$$

Para la broca: 
$$F_T = K_S \cdot a \cdot s_N = K_S \cdot \frac{D}{2} \cdot s_N$$

A partir de la fuerza se obtiene el par:  $\longrightarrow$

$$\left\{ \begin{array}{l} M_T = K_S * s_N * a * \frac{(D-a)}{2} \quad \text{equilibrados} \\ M_T = K_S * s_N * a * \frac{D}{2} (1.17 - \frac{a}{d}) \quad \text{No eq.} \end{array} \right.$$

Y a partir del par se obtiene la potencia de corte:

(para taladros desequilibrados se introduce un factor corrector)

$$P = \frac{a * s_N * K_S * V}{6120} \left(1 - \frac{a}{D}\right)$$

equilibrados

$$P = \frac{a * s_N * K_S * V}{6120} \left(1.17 - \frac{a}{D}\right)$$

No eq.

Para obtener la potencia consumida habrá que considerar las pérdidas (rendimiento de transmisión)

$$P_{MH} = \frac{P}{\eta} (KW)$$



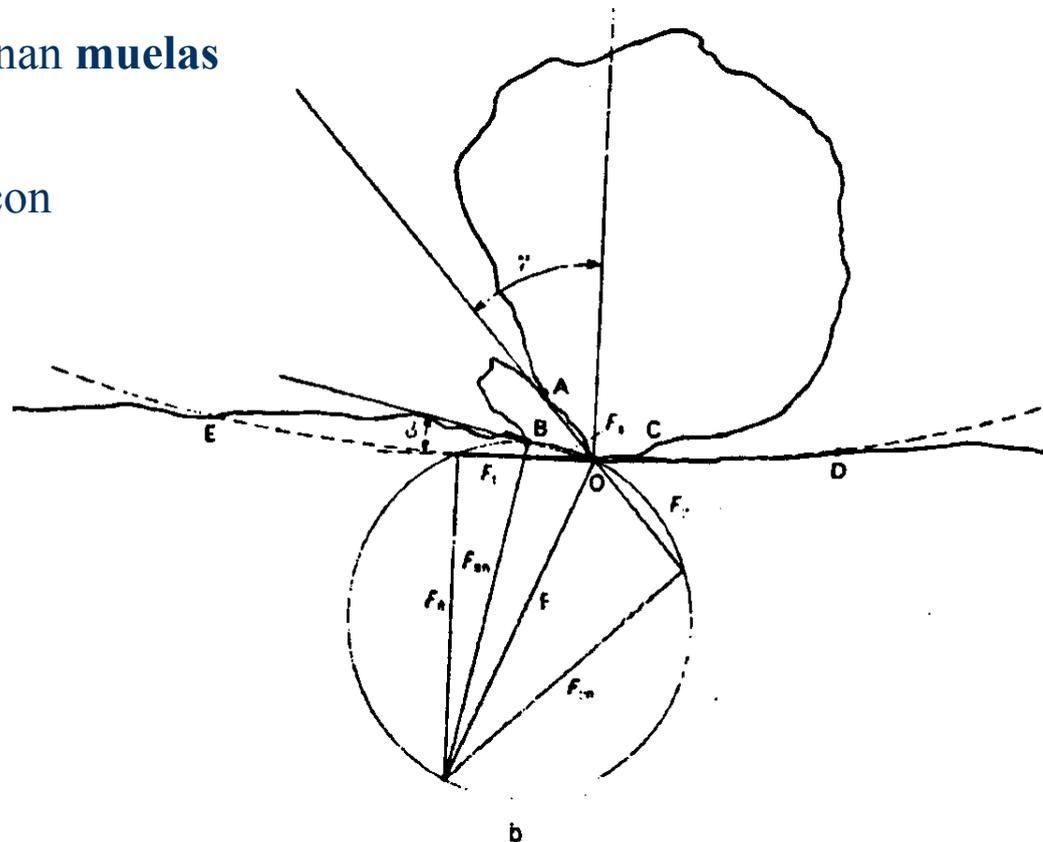
# Procesos de Mecanizado por abrasivos (1)

El esmerilado es un proceso de conformado por arranque de viruta por abrasión de las superficies a obtener.

Las herramientas se denominan **muelas**

Las principales diferencias con otros mecanizados:

- número indefinido de filos cortantes
- Puntos de corte situados aleatoriamente
- Tamaño de la viruta muy pequeño
- Altas velocidades de corte





# Procesos de Mecanizado por abrasivos (2)

## Identificación de las muelas:

Prefijo	Tipo de abrasivo	Tamaño de grano	Grado	Estructura	Tipo de aglutinante	Registro del fabricante
30	A	46	H	6	V	XX

### CLAVE:

Prefijo = Símbolo del fabricante para el abrasivo (opcional)

Tipo de abrasivo: A = Óxido de aluminio  
C = Carburo de silicio  
etc.

Tamaño del grano: Burdo = tamaños de grano 8, 10, 12, 14, 16, 20, 24  
Mediano = tamaños de grano 30, 36, 46, 54, 60  
Fino = tamaños de grano 70, 80, ..., 180  
Muy fino = tamaños de grano 220, 240, ..., 600

Grado: La escala va de la A a la Z: A = suave, M = mediano, Z = duro.

Estructura: Escala numérica: 1 = estructura muy densa, 15 = estructura muy abierta.

Tipo de aglutinante: B = resinoso  
E = laca  
R = hule  
S = silicato  
V = vitrificado

Registro del fabricante: Marca privada de identificación de la rueda (opcional)

# Procesos de Mecanizado por abrasivos (3)



Ingeniería de  
Sistemas y  
Automática

Fabricación Asistida por  
Computador

Identificación  
de las muelas  
de diamante y  
nitruro de boro  
cúbico:

Prefijo	Tipo de abrasivo	Tamaño de grano	Grado	Concentración	Tipo de aglutinante	Modificación del aglutinante	Profundidad del abrasivo
XX	D	150	P	YY	M	ZZ	1/8

## CLAVE

Prefijo = Símbolo del fabricante para el abrasivo (opcional)

Tipo de abrasivo: D = Diamante  
B = Nitruro de boro cúbico

Tamaño de grano: Burdo = tamaños de grano 8, 10, 12, 14, 16, 20, 24  
Mediano = tamaños de grano 30, 36, 46, 54, 60  
Fino = tamaños de grano 70, 80, ..., 180  
Muy fino = tamaños de grano 220, 240, ..., 600

Grado: La escala va de la A a la Z = suave, M = mediano, Z = duro.

Concentración: Designación del fabricante, puede ser un número o símbolo.

Tipo de aglutinante: B = Resina  
M = Metal  
V = Vitrificado

Modificación del aglutinante = Nota del fabricante sobre la modificación o tipo de aglutinante especial

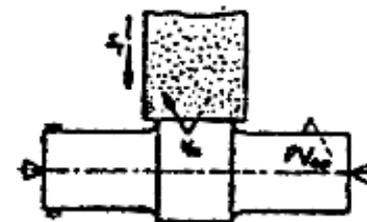
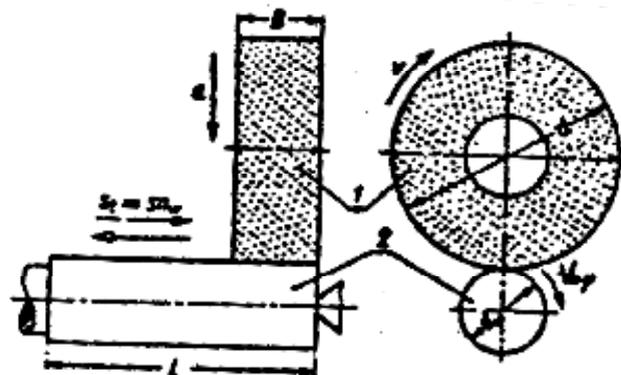
Profundidad del abrasivo = Profundidad de trabajo de la sección abrasiva en pulg o mm.



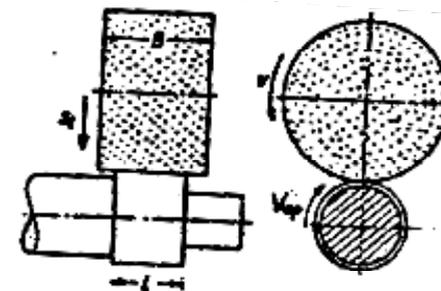
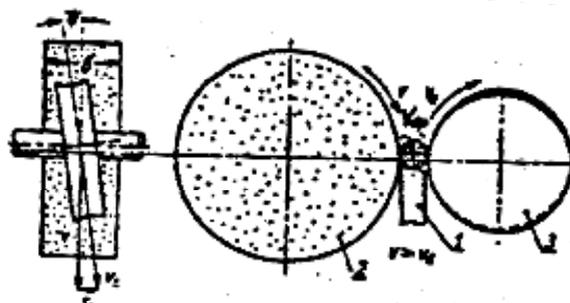
# Procesos de Mecanizado por abrasivos (4)

Tipos de rectificado  
de superficies de  
revolución:

Exterior con centros



Exterior sin centros



# Procesos de Mecanizado por abrasivos (5)

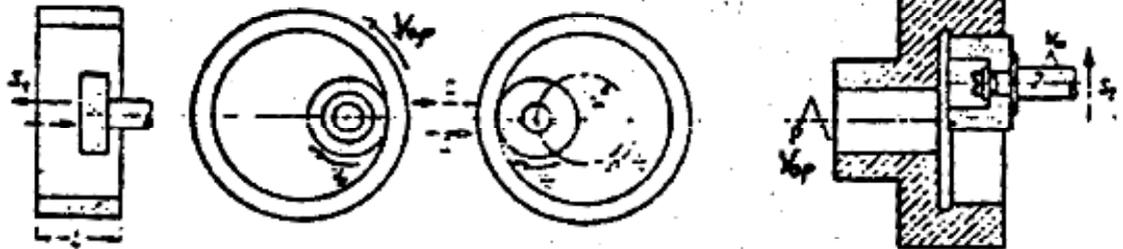


Ingeniería de  
Sistemas y  
Automática

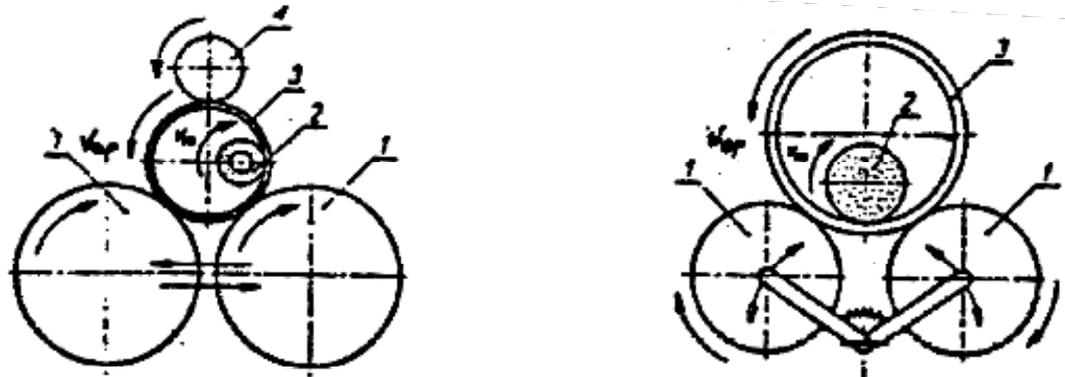
Fabricación Asistida por  
Computador

Tipos de rectificado de superficies de revolución:

Interior



Interior sin centros

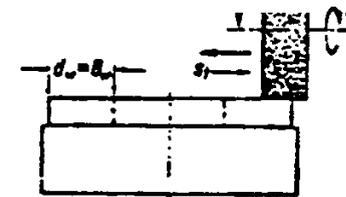
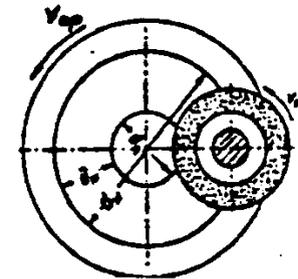
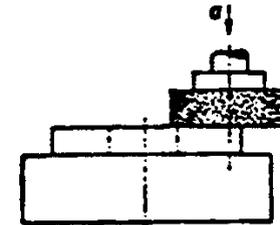
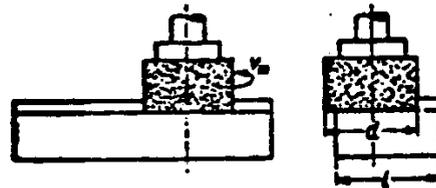


# Procesos de Mecanizado por abrasivos (6)



Tipos de rectificado  
de superficies  
planas:

frontal



tangencial

