



FACULTAD DE INGENIERIA  
Universidad de Buenos Aires

Departamento de Ingeniería Mecánica



Tecnología Mecánica I  
67.15/TA202

Unidad 3A: Desgaste y rendimiento de herramientas de corte

1

---

---

---


---

---

---

---

---



TEMARIO

- Desgaste de la herramienta, criterios de dimensión del mismo.
- Optimización de condiciones de corte

2

---

---

---


---

---

---

---

---



DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE

En todo proceso de manufactura tiene que haber un **equilibrio** entre el volumen de producción y los costos de producción. Es por esto que un tema de mucha importancia es el **desgaste y duración** de la herramienta bajo las distintas condiciones de trabajo.

En el corte, la herramienta está sometida a grandes **tensiones mecánicas, altas temperaturas** y **efectos corrosivos del refrigerante**. Por lo tanto, la vida de la herramienta de corte puede terminar por varias causas, pero éstas pueden separarse en dos grupos principales de **tipos de desgaste**:

3

---

---

---

---

---

---

---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

1) El **desgaste progresivo** de la herramienta, que no puede ser evitado, pero sí controlado.

2) **Fallas mecánicas** que lleven a la herramienta a un **final prematuro**. Por ejemplo, deformación plástica del filo, fatiga y rotura frágil (tensiones y baja tenacidad).

Las fallas mecánicas se pueden producir en **cualquier momento**. Debe existir, por lo tanto, precaución ante el hecho de usar **inadecuadamente un avance demasiado grande**, pues al ocurrir una falla de este tipo, la herramienta será **inútil inmediatamente**, y su costo no es nada despreciable.

4

---

---

---

---

---

---

---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

El **desgaste progresivo** de la herramienta se puede producir de tres maneras distintas:

- **Desgaste por abrasión** ⇒ ocurre cuando materiales más duros que la herramienta toman contacto con ésta rayándola y desgastándola.
- **Desgaste por adhesión** ⇒ como en la zona de corte existe una alta temperatura, el material de corte y la herramienta se sueldan y, al separarse, parte de la herramienta se desprende.
- **Desgaste por difusión** ⇒ se produce a partir del aumento de temperatura de la herramienta, con lo que se produce una difusión entre las redes cristalinas de la pieza y la herramienta, debilitando la superficie de esta última.

5

---

---

---

---

---

---

---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

**Mecanismos de desgaste progresivo**

6

---

---

---

---

---

---

---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

El desgaste se puede observar en dos regiones de la herramienta: **la cara y el flanco**.

El desgaste en **la cara** se presenta como un **cráter**, lo que es un resultado del paso de **viruta caliente** al fluir a lo largo de la cara.

Por otro lado, el desgaste **del flanco** es plano y es causado por el **roce** entre la pieza y la herramienta; en este caso se pueden distinguir tres periodos de desgaste en la vida de una herramienta:

- **Fractura inicial** ⇒ el filo agudo se desportilla rápidamente.
- **Desgaste progresivo** uniforme.
- **Fractura rápida** ⇒ el desgaste progresa a tasa creciente.

7

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

Desgaste de una Herramienta

**Desgaste en cara y flanco de una herramienta de corte**

8

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

**Períodos de desgaste del flanco de una herramienta de corte**

Ancho de la zona de desgaste del flanco VB, mm.

Tiempo de corte, seg.

WCC/COBERTURA  
CERAMICA  
PCD/PCBN

9

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

*Observando lo que sucede aquí.*



10

---

---

---

---

---

---

---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

*Acciones sobre la herramienta de Corte:*

- ✦ Calor
- ✦ Presión
- ✦ Adhesión
- ✦ Abrasión
- ✦ Choque Térmico
- ✦ Choque Mecánico



11

---

---

---

---

---

---

---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

**Efectos en la Herramienta**

- ✦ Calor
  - ❑ Deformación
  - ❑ Desgaste de la Arista
- ✦ Presión
  - ❑ Deformación
  - ❑ Desgaste de la Arista
  - ❑ Rotura
- ✦ Abrasión
  - ❑ Desgaste de la Arista

12

---

---

---


---

---

---

---

---

 **DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

### Efectos en la Herramienta

- ✦ Choque Térmico
  - ▣ Fisuras
  - ▣ Descaramiento
  - ▣ Roturas
- ✦ Choque Mecánico
  - ▣ Fisuras
  - ▣ Descaramiento
  - ▣ Roturas

13

---

---

---


---

---

---

---

---

 **DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

**Conclusión**

- ✦ En el proceso de desgaste, no existe una sola causa, produciéndose todas las mencionadas, pudiéndose destacar una u otra según el caso

14

---

---

---


---

---

---

---

---

 **DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

### MECANISMOS DE FALLA

- ✦ Adhesión
  - ▣ Contacto entre dos superficies a alta presión y temperatura, produciéndose unión momentánea de ambas, y posterior arrastre del material de la herramienta
- ✦ Abrasión
  - ▣ Desgaste físico por fuerzas de abrasión, por partículas duras sobre otras
- ✦ Difusión
  - ▣ Intercambio atómico de un área de mayor concentración a uno de baja
- ✦ Termo mecánico
  - ▣ Contacto o colisión de una parte sobre otra, con variaciones de temperatura
- ✦ Químico
  - ▣ Reacciones químicas en un medio corrosivo con altas temperaturas y presión. Ej: reacción galvánica entre viruta, inserto y refrigerante

15

---

---

---


---

---

---

---

---

 **DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

**FORMAS DE DESGASTE**

- ✦ Desgaste en cráter
- ✦ Desgaste de flanco
- ✦ Deformación plástica
- ✦ Filo recrecido
- ✦ Fisuras térmicas
- ✦ Rotura de profundidad de corte
- ✦ Rotura

---

---

---

---

---

---

---

---

 **DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

**Desgaste de cráter**

Reacción química con la viruta  
Difusión  
Disolución  
Adhesión  
Abrasión



---

---

---

---

---

---

---

---

 **DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

**Desgaste de cráter**



- ✦ Observado en la cara de desprendimiento
- ✦ Típico en el mecanizado de acero a altas velocidades.
- ✦ Causado por el extremo calor y presión de la viruta.
- ✦ Implica también difusión y disolución del material de la herramienta en la viruta. 18

---

---

---

---

---

---

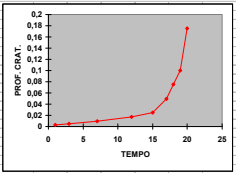
---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

### Desgaste de cráter - Rotura

- ✦ Es difícil de identificar pero aparece en la pieza cuando es tarde
- Craterización excesiva debilita la arista y termina llevando a la rotura de la punta



19

---

---

---

---

---

---

---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

### Desgaste de cráter

SOLUCIONES

- ✦ Disminuir la temperatura => Disminuir  $V_c$  y  $f$
- ✦ Disminuir la atracción química
- ✦ Aumentar la dureza

• Recubrimiento CVD  $Al_2O_3$

---

---

---

---

---

---

---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

### Desgaste de flanco o arista

Abrasión  
Carburos duros  $Fe_3C$   
y no metálicos



---

---

---

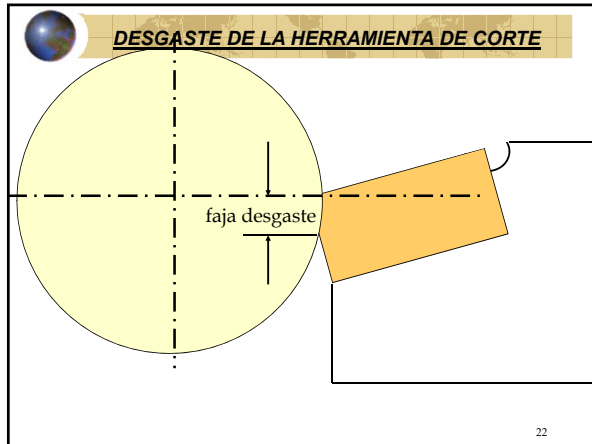
---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---



---

---

---

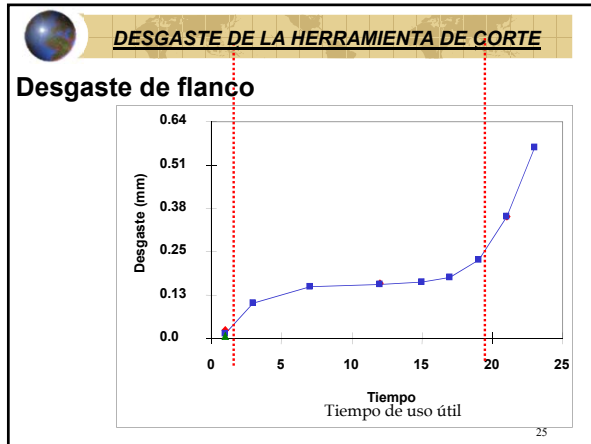
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

**Desgaste de flanco**

**SOLUCIONES**

- ✦ Disminuir la temperatura => Disminuir  $V_c$
- ✦ Aumentar avance
- ✦ Menor tamaño de grano
- ✦ Mayor dureza (resistencia al desgaste)
  - Recubrimiento CVD  $Al_2O_3$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

**Desgaste de flanco**

**Variación de la Medida**

- Causa fuerzas de corte mayores que terminan alterando la dimensión de la pieza

Tiempo (min)	WCC/COBERTURA	CERAMICA	PCD/PCBN
0	0.000	0.000	0.000
5	0.005	0.002	0.001
10	0.008	0.004	0.002
15	0.012	0.006	0.003
20	0.018	0.010	0.004
25	0.022	0.016	0.004

**El desgaste de flanco es el tipo de desgaste "deseable"**  
 Es predecible  
 Es consistente

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

### Deformación Plástica

- ✦ Causado por excesivo calor y presión en la arista de corte.
- ✦ Típico en aceros aleados con altas Vc



28

---

---

---

---

---

---

---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

### Deformación Plástica

#### SOLUCIONES

- ✦ Disminuir la temperatura => Disminuir Vc y f
- ✦ Mayor dureza
- ✦ Mayor aislación térmica del substrato

• Recubrimiento CVD Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

---

---

---

---

---

---

---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

### Filo recrecido o Arista Postiza

Adhesión  
Mala terminación superficial  
Arranque del filo



30

---

---

---

---

---

---

---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

### Filo recrecido o Arista Postiza



- ✦ Tipico de materiales pastosos

31

---

---

---

---

---

---

---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

### Filo recrecido o Arista Postiza

#### SOLUCIONES

- ✦ Aumentar la temperatura=> Aumentar  $V_c$  y  $f$
- ✦ Mejorar la refrigeración
- ✦ Geometrías positivas
- ✦ Superficie del inserto mas liso
- ✦ Puntas afiladas

•Recubrimiento PVD

---

---

---

---

---

---

---

---

**DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

### Fisuras Térmicas

Fisuras Transversales al filo de corte provocado por expansiones y contracciones por cambios de temperatura  
Típico en cortes interrumpidos y Fresado



---

---

---


---

---

---

---

---

 **DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

**Fisuras Térmicas**  
**SOLUCIONES**

- ✦ Aumentar la temperatura=> Aumentar Vc y f
- ✦ Mejorar el suministro del refrigerante
- ✦ Eliminar el refrigerante
- ✦ Substrato con elementos de aleación
- ✦ Recubrimientos PVD

---

---

---

---

---


---

---

---

 **DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

**Fisura en la profundidad de corte**



- ✦ Observado en la extremidad de la arista de corte, distante de la punta de la herramienta
- ✦ Común en aceros inoxidable y aleaciones resistentes a altas temperaturas (endurecen)
- ✦ Causado por desgaste químico y tensión en la arista de corte (presión de corte)
- ✦ Cascara endurecida aumenta el problema

35

---

---

---


---

---

---


---

---

 **DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

**Fisura en la profundidad de corte**  
**SOLUCIONES**

- ✦ Aumentar tenacidad
- ✦ Chanfle
- ✦ Angulo de posición
- ✦ DoC variable
- ✦ Recubrimientos CVD



---

---

---

---

---

---

---

---

 **DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

**Rotura**



?

- ✦ Fisuras o roturas
- ✦ Común en cortes interrumpidos y setups sin rigidez
- ✦ Muchas causas potenciales: buenas prácticas de aplicación son esenciales.



?

37

---

---

---


---

---

---

---

---

 **DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

**Rotura**  
**SOLUCIONES**

- ✦ Revisar fijación de pieza y herramienta
- ✦ Detectar el mecanismo de falla
- ✦ Mayor tenacidad

---

---

---


---

---

---

---

---

 **DESGASTE DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

**IMPORTANCIA DEL ANALISIS**

- ✦ Para tomar acciones correctivas, es necesario saber que le fue pasando al inserto

---

---

---

---

---

---

---

---



**CRITERIOS DE DURACION DE UNA HERRAMIENTA**

Como el desgaste no es uniforme en las zonas C, B y N, se considera un ancho promedio para la zona central, cuyo valor se estima igual al ancho que existe en la parte más uniforme del desgaste y se denomina VB.

43

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**CRITERIOS DE REEMPLAZO DE HERRAMIENTAS**

Los criterios recomendados por la ISO para definir la duración efectiva de una herramienta son:

Para herramientas de **acero rápido o cerámica** ⇒

- Por rotura
- Cuando VB promedio = 0,3 mm
- Cuando VBmáx = 0,6 mm

Para herramientas de **carburo cementado** ⇒

- Por rotura
- Cuando VB promedio = 0,3 mm
- Cuando VBmáx = 0,6 mm
- Cuando  $KT = 0,06 + 0,3 * f$ , donde f es el avance

44

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**DURACION DE LA HERRAMIENTA DE CORTE**

La duración de la herramienta se define como el tiempo de corte requerido para alcanzar un criterio de duración de la herramienta.

La velocidad de corte es el factor más significativo que afecta la duración de una herramienta. Ésta, junto con el material de trabajo, el material y la forma de la herramienta son claves en la estimación de la vida de esta última.

La relación entre el tiempo de vida y la velocidad de corte de una herramienta está dada por la siguiente ecuación, llamada, en honor a su creador, ecuación de Taylor:

$$V/Vr = (tr/t)^n$$

45

---

---

---

---

---

---

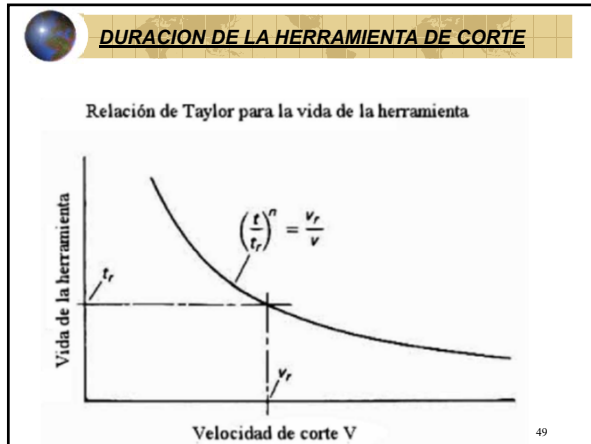
---

---

---

---






---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE**

**Desgaste**

La separación de la viruta en el mecanizado provoca un fuerte rozamiento de la herramienta contra la pieza, transformándose parte de la energía en calor.

Tanto el rozamiento como el calor son causas inmediatas del desgaste de las herramientas, actuando de la siguiente forma:

- 1) El rozamiento desafilado la herramienta porque el material de la pieza "erosiona" la cara de incidencia, la de ataque y el filo, disminuyendo su capacidad de corte. Al perder sus ángulos de afilado, el rozamiento es mayor y el desgaste aumenta, y así sucesivamente.

50

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE**

**Desgaste**

- 2) El calor a determinadas temperaturas, según el material de las herramientas, reblandece el filo, acelerando el desgaste por rozamiento. Pero, además, a mayor rozamiento mayor temperatura.

El desgaste de las herramientas en el transcurso del mecanizado obliga a detener el trabajo para **reafilarlas**, causando una disminución de la producción, por el tiempo invertido en desmontarlas, afilarlas, montar las de nuevo y regular su posición.

51

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---



**RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE**

Influencia del material de la herramienta y de la pieza

El desgaste de las herramientas es causado directamente por el rozamiento y por la elevación de la temperatura. De ello se deduce que la **duración del afilado** depende:

- De la dureza de la herramienta y de la temperatura hasta la que conserva dicha dureza.
- De la dureza, entre otros factores, del material que se trabaja. En general, cuanto más duro es un material mayor resistencia opone a ser cortado, y, por tanto, el rozamiento de la herramienta contra la pieza aumenta y, con él, la temperatura.

52

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---



**RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE**

Influencia de la velocidad de corte

Experiencias realizadas con una determinada herramienta, trabajando el mismo material y sin modificar el avance y la profundidad de pasada, han demostrado que:

- Para bajas velocidades de corte el rendimiento es pequeño
- Aumentando la velocidad, aumenta el rendimiento.
- A partir de una velocidad de corte más elevada, el rendimiento de la herramienta disminuye notablemente, por el aumento de temperatura, que reblandece el filo.

Por tanto, a la hora de elegir la velocidad de corte, conviene distinguir:

53

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---



**RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE**

Influencia de la velocidad de corte

- La velocidad de **menor desgaste** ( $V_0$ )  $\Rightarrow$  con ella, la herramienta brinda la máxima producción de viruta entre dos afilados, por lo que también se la llama velocidad óptima.
- La velocidad **económica** ( $V_e$ )  $\Rightarrow$  su relación con la velocidad de menor desgaste es:  $V_e = V_0 + 1/3 V_0 = 4/3 V_0$

Aumentando la velocidad de menor desgaste en  $1/3$ , la herramienta se desgasta más y, en consecuencia, requiere afilados más frecuentes; pero el tiempo empleado en ellos queda compensado con un considerable aumento de la producción.

54

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---

 **RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE**

Influencia de la velocidad de corte

La velocidad **límite o antieconómica** ( $V_l$ )  $\Rightarrow$  con ella, el desgaste de la herramienta es tan grande que exige afilarla con mucha frecuencia. Esto supone una pérdida de tiempo que da lugar a que la producción disminuya:

$V_l = V_o + 2/3 V_o = 5/3 V_o$

55

---

---

---


---

---

---

---

---

 **RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE**

Influencia del avance y de la profundidad de pasada

Cuando se aumenta la sección de la viruta, debe disminuirse la velocidad de corte, para que la duración del afilado de la herramienta sea la misma. Sin embargo, tal reducción no es proporcional ni con el avance, ni con la profundidad de pasada.

Así, por ejemplo, en las experiencias hechas por Taylor para la misma duración del afilado, aumentando el avance en el 50%, sólo es necesario reducir la velocidad de corte en un 20%, incluso con mayor producción de viruta. Otro tanto sucede si se aumenta la profundidad de pasada en un 50%, con una disminución del 10% de la velocidad de corte.

56

---

---

---


---

---

---

---

---

 **RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE**

Influencia del avance y de la profundidad de pasada

No obstante lo dicho, el avance viene determinado principalmente por:

- La fase del trabajo, desbaste o acabado, o el grado de acabado que se desee en una pieza o parte de ella
- La robustez de la máquina
- La robustez de la herramienta.

Asimismo, la profundidad de pasada depende, además, del grueso de material que debe eliminarse.

57

---

---

---


---

---

---

---

---

 **RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE**

Temperatura en operaciones de mecanizado

La temperatura alcanzada en las operaciones de mecanizado, tiene una **influencia crítica** en la **vida útil** de las herramientas de corte, en la **calidad** de las superficies mecanizadas, y en las **propiedades mecánicas** del material resultante.

Casi toda la **energía mecánica** consumida en los procesos de corte de metales, se convierte finalmente en **energía térmica**.

Han sido muchos los **métodos experimentales** desarrollados con el fin de medir la **distribución de temperaturas** que tiene lugar en el conjunto **herramienta - pieza - viruta**.

58

---

---

---


---

---

---

---

---

 **RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE**

Temperatura en operaciones de mecanizado

Por ejemplo, uso de **termopares empotrados**, técnicas de **radiación infrarroja**, medición de las **variaciones de microestructura** y **micro dureza**, uso de **pinturas termosensibles**, etc.

Además se han **contrastado con éxito** resultados experimentales con otros **teóricos** obtenidos mediante técnicas de **análisis por elementos finitos**.

59

---

---

---


---

---

---

---

---

 **RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE**

Fuentes de calor en operaciones de mecanizado

Casi todos los **modelos** han sido establecidos bajo la hipótesis de **corte ortogonal**, aunque en la **práctica** es bien sabido que **no todas las operaciones de mecanizado** satisfacen tal condición (**torneado oblicuo**, **barrenado**, **taladrado**, **fresado**, **rectificado**, etc.).

Las **principales fuentes de calor** caracterizadas por medio de estudios **teóricos** y **experimentales**, que son una medida de la **energía absorbida** en el proceso de mecanizado, son las siguientes:

60

---

---

---


---

---

---

---

---

 **RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE**

Fuentes de calor en operaciones de mecanizado

Trabajo de **deformación elástica**  $\Rightarrow$  se devuelve sin producir calor.

Trabajo de **deformación plástica**  $\Rightarrow$  no se devuelve (rompimiento de enlaces atómicos con desprendimiento de calor).

Trabajo de **fricción**  $\Rightarrow$  pérdidas por rozamiento.

Otras fuentes de calor que tienen que ver con los defectos del **afilado** de las herramientas (entre otras causas), suelen despreciarse.

En el corte ortogonal las fuentes de calor a considerar son las que aparecen en la siguiente figura:

61

---

---

---


---

---

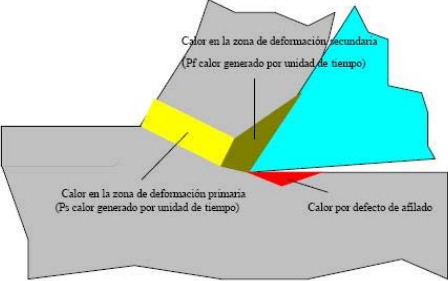
---

---

---

 **RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE**

Fuentes de calor en operaciones de mecanizado



62

---

---

---


---

---

---

---

---

 **RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE**

Calor generado en la zona de deformación primaria

La zona de **deformación primaria** es la presentada en la figura a lo largo del plano de cizalladura. El calor aquí generado, es principalmente debido a la **deformación plástica** que tiene lugar.

Calor generado en la zona de deformación secundaria

En esta zona, paralela a la cara de la herramienta, el calor que se produce debido a la **deformación plástica** es ignorado en la mayor parte de los análisis teóricos.

63

---

---

---


---

---

---

---

---

 **RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE**

La distribución de calor varía de forma lineal a lo largo de la cara de contacto herramienta - viruta, partiendo de un valor proporcional a la relación velocidad de la viruta para el máximo espesor de ésta.

La fuente de calor que sí es tomada en cuenta a lo largo de esta zona, es la propiciada por la fricción entre material y herramienta. El valor de la energía por unidad de tiempo (potencia) que se genera por este concepto (Pf) viene dado por el producto de la fuerza de fricción (Ff) y la velocidad de la viruta (V0). Esta última viene dada, en virtud de la ecuación de continuidad (conservación de caudal de material de pieza), por:

64

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---

 **RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE**

$V_0 = V \cdot ac$  (velocidad de corte) · ac (profundidad de corte)  
ao (espesor de viruta)

Cálculo del calor generado en la zona de deformación primaria (Ps)

$P_s = P_m - P_f$

Siendo Pm la energía de mecanizado por unidad de tiempo, que viene dada por:

$P_m = F_c \cdot V$

65

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---

 **RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE**

Temperatura en el corte

- La energía disipada se convierte en calor ⇒ incremento de temperatura en zona de corte.
- Las mayores temperaturas se alcanzan con: material de la pieza muy duro, alta velocidad de corte y profundidad de pasada.
- Si el material de la pieza tiene alto calor específico y conductividad térmica, la temperatura no es tan alta.

66

---

---

---

---

---

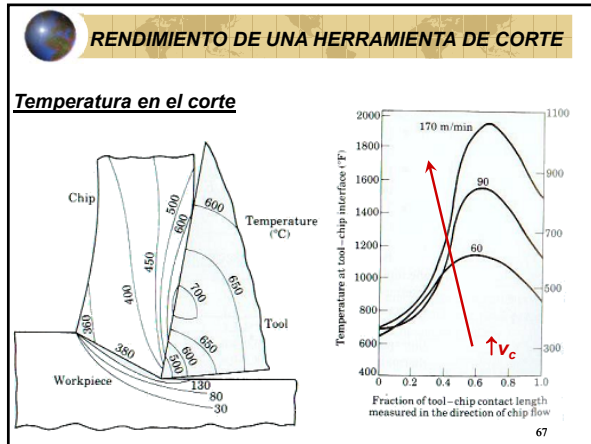
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

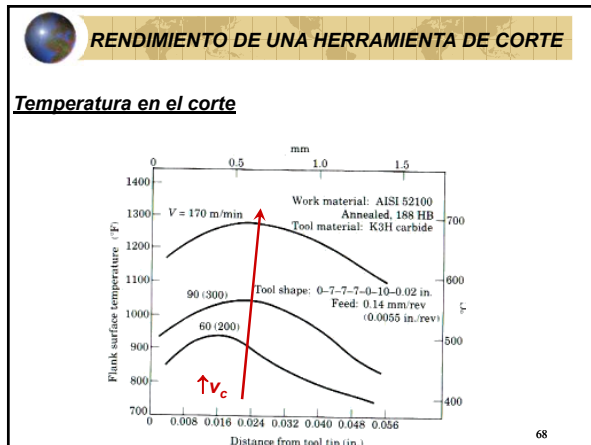
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

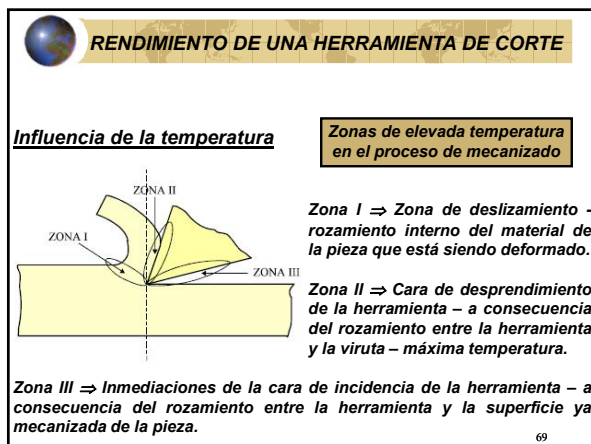
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



**RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE**

**Influencia de la temperatura**

Cuando se trabaja **en seco**, es decir, sin líquido refrigerante o lubricante, el operario puede observar perfectamente el trabajo, la máquina no se ensucia ni se moja y no se producen salpicaduras.

Pero, por el contrario, los inconvenientes son considerables, derivados principalmente del calor producido por el corte:

70

---

---

---

---

---

---

---

---



**RENDIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE**

**Influencia de la temperatura**

- La herramienta, si la temperatura es alta, **pierde dureza** y corta en malas condiciones, con mayor rozamiento y aumento consiguiente del calor.
- Al filo de la herramienta, por la cara de ataque, se le adhieren pequeñas partículas de metal caliente, dificultando el corte y dejando superficies defectuosas en las piezas.
- La pieza se dilata pudiendo originar falsas mediciones, y, por tanto, errores en las cotas.
- En el montaje de las piezas entre puntos, por ejemplo en el torneado, el calor puede producir un agarrotamiento y deterioro de la pieza y de la contrapunta.
- Las virutas muy calientes pueden ser peligrosas para el operario.

71

---

---

---

---

---

---

---

---



**Tasa de remoción de viruta  
(Cantidad de viruta por unidad de tiempo)**

Cuando la velocidad de corte, el avance o la profundidad cambian, cambia la tasa de remoción de viruta. Cambios en las variables mencionadas, producen cambios proporcionales en la tasa de remoción de viruta.

- Un 10% de cambio en la velocidad de corte, aumentará un 10% la tasa de remoción de viruta.
- Un 10% de cambio en el avance, aumentará un 10% la tasa de remoción de viruta.
- Un 10% de cambio en la profundidad de corte, aumentará un 10% la tasa de remoción de viruta.

**Limitada por la Potencia disponible**

72

---

---

---

---

---

---

---

---



### Tasa de remoción de viruta (Cantidad de viruta por unidad de tiempo)

Cuando la tasa de remoción de viruta se incrementa, el calor generado aumenta y esto causa una disminución de la vida de la herramienta.

Que conviene aumentar ??

73

---

---

---

---

---

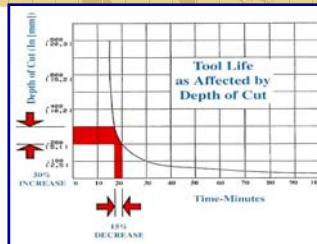
---

---

---



### Profundidad de corte



Una vez que la profundidad de corte alcanza 10 veces el avance, incrementos posteriores tienen muy poca influencia en la vida de la herramienta

1:0 Ratio

74

---

---

---

---

---

---

---

---



### Profundidad de corte

Limitado por:

- La pieza
- La fijación
- El tamaño del inserto

75

---

---

---

---

---

---

---

---

**Avance**

Un cambio en el avance, provoca un cambio igual en la vida de la herramienta

**1:1 Ratio**

76

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Avance**

✦ LIMITADO POR LA TERMINACION SUPERFICIAL REQUERIDA JUNTO AL RADIO DE LA HERRAMIENTA

77

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Velocidad de corte**

Un cambio en la velocidad de corte, provoca un cambio del doble en la vida de la herramienta

**1:2 Ratio**

78

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Velocidad de corte

- ✦ LIMITADO POR LA MAQUINA
- ✦ OPTIMIZAR SEGÚN COSTO MINIMO

79

---

---

---

---

---

---

---

---

### Composición de costos de mecanizados

Cf: Costo de mano de obra, amortizaciones, estructura  
Cv: Costo de herramientas

80

---

---

---

---

---

---

---

---

### Curvas de costos y productividad

81

---

---

---

---

---

---

---

---



**FACULTAD DE INGENIERIA**  
Universidad de Buenos Aires

Departamento de Ingeniería Mecánica

 **Tecnología Mecánica I**

67.15/TA202

**Unidad 3B: Formación de la viruta y Fuerzas de Corte**

1

---

---

---


---

---

---

---

---

 **TEMARIO**

- Modelo de Pijspanen.
- Teorías de Merchant.
- Modelo de presión de corte
- Viruta laminar, fragmentada, continua. Filo secundario.

2

---

---

---


---

---

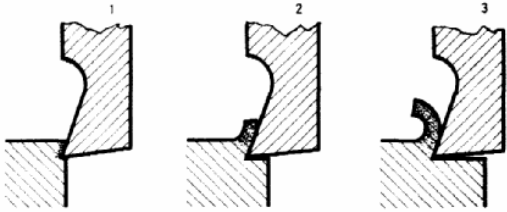
---

---

---

 **FORMACION DE LA VIRUTA**

La herramienta de corte, al penetrar con su **filo** en el material, provoca la **separación** de una capa del mismo, que constituye la **viruta**. Esto se realiza de la siguiente manera:



3

---

---

---


---

---

---

---

---



**FORMACION DE LA VIRUTA**

- El filo en forma de cuña abre el material.
- El material separado se recalca (aumenta su grueso) por efecto de la fuerza aplicada con la cara anterior de la herramienta.
- La partícula de metal se curva y se desvía de la superficie de trabajo.
- Cada partícula siguiente hace el mismo proceso, para continuar unida a la anterior, formando una viruta más o menos continua, o separarse y dar origen a una viruta fragmentada.

Dependiendo de la naturaleza del material y de la forma de la herramienta, la viruta será diferente; es decir, una misma herramienta produce virutas diferentes en distintos materiales.

Los materiales plásticos, como el cobre, el plomo, los aceros suaves, dan unas virutas largas más o menos rizadas; por el contrario, la fundición, el bronce, el latón con mucho cinc y, en general, los materiales quebradizos, originan virutas cortas.

4

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---



**FORMACION DE LA VIRUTA**

Básicamente, la viruta se forma en un proceso de **cizalladura** localizado que se desarrolla en zonas muy estrechas. Se trata de una **deformación plástica**, bajo condiciones de gran tensión y alta velocidad de deformación, que se genera a partir de una región de **compresión radial** que se propaga por delante de la herramienta cuando ésta se desplaza por encima de la pieza.

Esta región de **compresión radial** posee, al igual que toda deformación plástica, una zona de **compresión elástica** que pasa a serlo de **compresión plástica** al otro lado de la frontera entre ambas.

En los metales recocidos, la **compresión plástica** engendra densas marañas y redes de dislocaciones, y cuando este endurecimiento por **deformación plástica** llega a la saturación (**acritud** total), al material no le queda otro remedio que **cizallarse**.

5

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



**FUERZA DE CORTE**

La determinación de la **fuerza de corte** en el mecanizado permite conocer, no sólo las **solicitaciones dinámicas** a las que se ve sometidas la herramienta y la pieza, sino también el valor de la **potencia** requerida para poder efectuar el proceso.

La mayor parte de dicha potencia se consume en la **eliminación del material** de la pieza; de ahí que la componente de la fuerza que reviste una mayor importancia desde este punto de vista es aquella que tiene la misma dirección que la **velocidad de corte**.

A esta componente se la denomina **Fuerza de Corte (Fc)**.

6

---

---

---

---

---





---

---

---

---

---

Modelización para el calculo de fuerzas de corte		
MODELOS		FORMULACIÓN
Modelos basados en el plano de deslizamiento		$F_c = \frac{V_c \cdot b \cdot h}{\sin \varphi_n} \cos (\rho_n - \gamma_n)$
Modelos basados en la presión de corte		$F_c = k_c \cdot h \cdot a_p$
Modelos basados en líneas de deslizamiento		$F_c = \int p \sin \theta \, ds + \int k \cos \theta \, ds$
Modelos basados en métodos numéricos		$F_c = [B]^T [D] [B] [S]$

7

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Modelo de Pijspanen ó del Plano de Cizallamiento**

En este modelo, Pijspanen analiza el corte con pequeños elementos de espesor infinitesimal que resbalan unos por encima de otros según la dirección que determina el plano de cizallamiento.

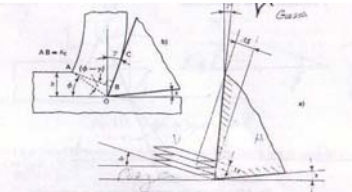


Fig. 2.11. Modelo de Pijspanen sobre la formación de la viruta.

8

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Modelo de Pijspanen ó del Plano de Cizallamiento**

**Mecánica de Formación de Viruta en Corte Ortogonal (cont)**

En este modelo, se postula la existencia de una llamada superficie ó plano de cizallamiento, cuya forma es la consecuencia de una particular distribución de tensiones a lo largo del área de contacto herramienta pieza. También puede ser debida a la geometría de la herramienta de corte.

El modelo supone que el material arrancado se encuentra dividido en infinitos pequeños elementos de espesor infinitesimal, que resbalan uno sobre el otro por la acción de la herramienta, según una dirección común determinada por el plano de cizallamiento inclinado un ángulo  $\Phi$  con respecto a la superficie plana de la pieza a mecanizar.

9

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Modelo de Pijspanen ó del Plano de Cizallamiento**

**Mecánica de Formación de Viruta en Corte Ortogonal.**

Se plantean las siguientes hipótesis simplificativas:

- 1) Modelo de **corte ortogonal**
- 2) Material de la pieza **plásticamente deformable**
- 3) Herramienta **rígida** - condiciones de régimen estacionario:

- Flujo continuo de viruta
- Viruta separada de la pieza en régimen estacionario

Como las condiciones reales de formación de la viruta no pueden ser siempre de este tipo, será necesario estudiar y corregir los resultados obtenidos con este modelo.

10

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**MODELO DE CORTE ORTOGONAL**      **MODELO DE CORTE OBLICUO**

$\lambda = 90^\circ$                        $\lambda \neq 90^\circ$

11

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Modelo de Pijspanen ó del Plano de Cizallamiento**

**Mecánica de Formación de Viruta en Corte Ortogonal. (Cont)**

12

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Modelo de Pijspanen ó del Plano de Cizallamiento**  
**Mecánica de Formación de Viruta en Corte Ortogonal (cont)**

La viruta se separa de la pieza por un mecanismo de **deformación plástica**, correspondiente al desplazamiento relativo  $\Delta S$  de los elementos de espesor  $\Delta X$ , y además como la viruta resbala sobre la cara de desprendimiento, se manifiesta también una acción de **rozamiento** entre la viruta y la herramienta.

13

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Modelo de Pijspanen ó del Plano de Cizallamiento**  
**Sección normal a la arista de corte: Parámetros Geométricos**  
*Ángulo de desprendimiento*

*Ángulo de filo*  
*Ángulo de incidencia*  
 $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$   
 Plano de cizallamiento  $\Rightarrow$  es un plano teórico en el cual se produce la deformación del material de la pieza.

14

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Modelo de Pijspanen ó del Plano de Cizallamiento**  
**Sección normal a la arista de corte: Parámetros Geométricos**

Mayor deformación plástica  $\Rightarrow$  menores ángulos de desprendimiento ( $\gamma$ ) y cizallamiento ( $\Phi$ ) (mayor  $\Delta S$ )

**Espesor de viruta indeformada ( $a_c$ )**  $\Rightarrow$  es el espesor de material que va a ser eliminado, antes de sufrir deformación plástica alguna.

**Espesor de viruta deformada ( $a_d$ )**  $\Rightarrow$  es el espesor de material eliminado, después de haber sufrido la deformación plástica.

**Factor de recalado ( $\zeta$ )**  $\Rightarrow$  es la relación entre los espesores de viruta sin deformar y la deformada. Es siempre menor o igual a la unidad:  
 $\zeta = a_c/a_d$  se puede medir

15

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Modelo de Pijspanen ó del Plano de Cizallamiento**

**Sección normal a la arista de corte: Parámetros Geométricos**

Si A es el punto que define el ángulo de cizallamiento:

$$ac = OA \operatorname{sen} \phi$$

$$ad = OA \operatorname{cos} (\phi - \gamma) \Rightarrow \zeta = ad/ac = \operatorname{sen} \phi / \operatorname{cos} (\phi - \gamma)$$

$$\Rightarrow \operatorname{tg} \phi = \operatorname{cos} \gamma / (\zeta - \operatorname{sen} \gamma)$$

**Factores influyentes:**

- ↑ tenacidad pieza ⇒ ↑ ζ
- ↑ γ ⇒ ↓ ζ
- ↓ φ ⇒ ↓ ζ
- ↓ ζ (↑ ad) ⇒ ↓ deformación
- ↓ ζ ⇒ ↓ veloc. salida viruta

16

---

---

---

---

---

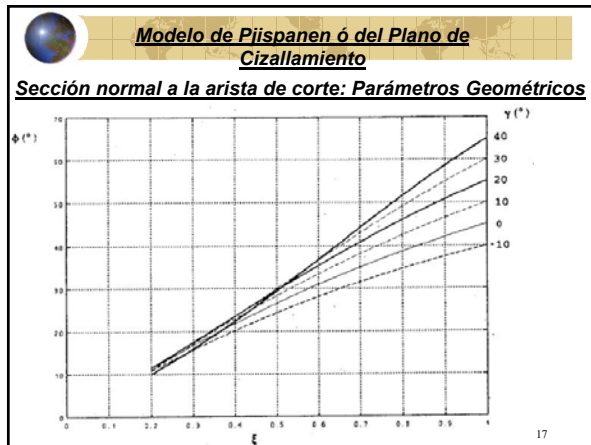
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

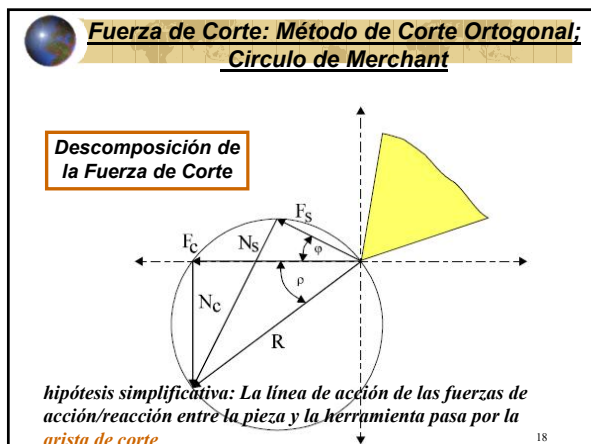
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Fuerza de Corte: Método de Corte Ortoqonal:  
Circulo de Merchant**

En la figura,  $R$  representa la **resultante** de las fuerzas que la herramienta ejerce sobre la pieza, la cual, al descomponerse según la dirección del **plano de cizallamiento** y su normal, aparecen las componentes  $F_s$  y  $N_s$  respectivamente.

Análogamente, si la descomposición empleada es según la dirección de la **velocidad de corte** y su normal, aparecen las componentes  $F_c$  y  $N_c$ .

Los ángulos que caracterizan cada una de estas dos descomposiciones son  $\varphi$  (ángulo de **cizallamiento**) y  $\rho$  (ángulo de **rozamiento**) respectivamente.

19

---

---

---

---

---

---

---

---

**Fuerza de Corte: Método de Corte Ortoqonal:  
Circulo de Merchant**

Se tienen, por lo tanto, las siguientes relaciones geométricas:

$$F_c = R \cos \rho \qquad F_s = R \cos(\varphi + \rho)$$

$$N_c = R \sin \rho \qquad N_s = R \sin(\varphi + \rho)$$

A partir de estas relaciones, puede determinarse que:

$$F_c = F_s \frac{\cos \rho}{\cos(\varphi + \rho)}$$

Por otro lado, y suponiendo una distribución de tensiones **uniforme** sobre el plano de cizallamiento de valor  $\tau_s$ , tal como se la representa en la siguiente figura, se tiene:

$$F_s = \tau_s A_s = \tau_s b \frac{a_c}{\sin \varphi} = \frac{\tau_s}{\sin \varphi} A_c$$

20

---

---

---

---

---

---

---

---

**Fuerza de Corte: Método de Corte Ortoqonal**

21

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Fuerza de Corte: Método de Corte Ortogonal**

Tensiones actuantes en el plano de cizallamiento ⇒

- **Tensión dinámica de cizallamiento:**

$$\tau_s = \frac{F_s}{A_s} = \frac{F}{A} \text{sen } \phi \cos(\phi + \tau - \gamma) \quad \leftarrow \quad A_s = \frac{A}{\text{sen } \phi}$$

$$F = A \tau_s \frac{1}{\text{sen } \phi \cdot \cos(\phi + \tau - \gamma)} \quad F_s = F \cos(\phi + \tau - \gamma)$$

$$F_t = F_c = A \tau_s \frac{\cos(\tau - \gamma)}{\text{sen } \phi \cdot \cos(\phi + \tau - \gamma)}$$

$$F_n = F_a = A \tau_s \frac{\text{sen}(\tau - \gamma)}{\text{sen } \phi \cdot \cos(\phi + \tau - \gamma)}$$

- **Tensión normal al plano de cizallamiento:**

$$\sigma_s = \frac{F_{sn}}{A_s} = \frac{F}{A} \text{sen } \phi \cdot \text{sen}(\phi + \tau - \gamma)$$

22

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Fuerza de Corte: Método de Corte Ortogonal**

$\tau_s$  recibe el nombre de **tensión dinámica de cizallamiento**, siendo una **constante propia** de cada material. Sustituyendo la expresión anterior en la que se relaciones  $F_c$  y  $F_s$  se tiene:

$$F_c = \frac{\tau_s}{\text{sen } \phi} \frac{\cos \rho}{\cos(\phi + \rho)} A_c$$

Esta expresión proporciona el valor de la fuerza de corte en función de la tensión dinámica de cizallamiento, de la sección de viruta indeformada, del ángulo de cizallamiento y del ángulo de rozamiento. De estas cuatro variables, tres de ellas ( $\tau_s$ ,  $\phi$  y  $A_c$ ) son conocidas, mientras que  $\rho$  es desconocido.

23

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Fuerza de Corte: Método de Corte Ortogonal**

Por lo tanto, se requiere una ecuación más que relacione el ángulo de rozamiento con las otras variables conocidas.

Esta ecuación se obtiene a partir de la llamada **"Hipótesis de Merchant"**, que establece lo siguiente:

"El plano de cizallamiento, en un proceso de corte ortogonal, se sitúa de forma tal que la potencia necesaria para la deformación es mínima".

$$Pot = \dot{W} = F_c v = \frac{\tau_s}{\text{sen } \phi} \frac{\cos \rho}{\cos(\phi + \rho)} A_c v$$

24

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Fuerza de Corte: Método de Corte Ortoqonal**

A partir de estas hipótesis, se tiene que la potencia será mínima cuando el denominador sea máximo. Es decir:

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} [\text{sen } \varphi \cos(\varphi + \rho)] = 0 \longrightarrow \varphi + \rho = \frac{\pi}{2} - \varphi$$

Sustituyendo en la expresión de la fuerza de corte:

$$F_c = 2\tau_s A_t \cotg \varphi$$

Comparando esta expresión con la propuesta por el método de la presión de corte (empírico), puede observarse como existe una **similitud** entre ambas en el sentido de establecer una **proporcionalidad** entre la fuerza de corte ( $F_c$ ) y la sección de viruta indeformada ( $A_c$ ).

25

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Modelos de Mecanizado en Corte Ortoqonal**

Merchant encontró que existía una buena correspondencia entre los resultados de su teoría y los experimentos de corte en plásticos sintéticos, pero que la correspondencia era muy pobre para otros materiales, como por ejemplo el acero.

Esto se debía a que se había considerado los materiales como **isótropos**; es decir, que su resistencia al corte era **constante** en todo el plano de cizalladura y no se veía afectada por la temperatura, velocidad de deformación, etc.

26

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Modelos de Mecanizado en Corte Ortoqonal**

Consiguió demostrar que la relación entre los ángulos de cizalladura, rozamiento y desprendimiento es:  $2\varphi + \rho - \gamma = C$

$C =$  la constante de mecanizado tabulada para cada material.

✓  $\phi, \gamma, \tau$  no se pueden relacionar geoméricamente, pero sí con teorías de plasticidad y consideraciones energéticas  $\Rightarrow$  modelos de mecanizado.

27

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---





**Fuerza de Corte: Método de la Presión de Corte**

d) **Velocidad de corte** ⇒ aunque de modo muy ligero, se observa una disminución de  $k_s$  cuando aumenta la velocidad de corte.

34

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Fuerza de Corte: Método de la Presión de Corte**

e) **Lubricación** ⇒ al modificarse las condiciones de rozamiento pieza/herramienta, un incremento de la lubricación supone un descenso del valor de  $k_s$  al reducirse la fuerza de rozamiento.

f) **Desgaste de la herramienta** ⇒ modifica la geometría y por lo tanto el valor de  $k_s$  aumenta.

35

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Fuerza de Corte: Método de la Presión de Corte**

Al ser tan numerosos y en algunos casos difícilmente cuantificables los factores que influyen en el valor de  $k_s$ , el único método fiable para su determinación es la **medición directa** sobre el proceso de mecanizado concreto en las condiciones específicas en que éste se realiza.

En la práctica, dado que este proceder es poco viable, se recurre a la utilización de **tablas** que recogen las **variaciones** de  $k_s$  en función de una serie de variables dependientes de los factores anteriormente mencionados.

36

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### Fuerza de Corte: Método de la Presión de Corte

Un primer método empírico para la determinación de la presión de corte establece que  $k_s$  se puede obtener a partir de la siguiente expresión:

$$k_s = \frac{C_{ks}}{E_{ks} \sqrt{A_c}}$$

Donde  $C_{ks}$  y  $E_{ks}$  son constantes que dependen de los materiales de la pieza y de la herramienta, y que pueden encontrarse en tablas. Este método, aunque sencillo en su aplicación, no suele proporcionar valores fiables, por lo que su aplicación queda reducida para obtener una **primera aproximación** del valor de  $k_s$ .

37

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### Fuerza de Corte: Método de la Presión de Corte

Un segundo método también sencillo aunque algo más complejo, se basa en correlacionar el valor de  $k_s$  con el espesor de viruta indeformada  $a_c$ . Para ello, se parte de la **presión específica de corte  $k_{s0}$** , que se corresponde con el valor de  $k_s$  cuando la sección de viruta  $A_c = 1 \text{ mm}^2$ .

Experimentalmente, el valor de la fuerza de corte  $F_c$  a partir de  $k_{s0}$  puede establecerse mediante una relación de la siguiente forma:

$$F_c = k_{s0} b^y a_c^x$$

38

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### Fuerza de Corte: Método de la Presión de Corte

Donde:  $b \Rightarrow$  ancho de corte  
 $a_c \Rightarrow$  espesor de viruta indeformada  
 $x, y \Rightarrow$  exponentes menores que la unidad dependientes del material de la pieza

Relacionando esta expresión con la ya citada  $F_c = k_s \cdot A_c \Rightarrow$

$$k_s = k_{s0} b^{y-1} a_c^{x-1}$$

Valores experimentales obtenidos en distintos ensayos sobre diversos materiales demuestran que en la práctica puede aproximarse el valor del exponente  $y$  a la unidad, por lo que llamando  $z = 1 - x$ , se tiene:

$$k_s = k_{s0} a_c^{-z}$$

39

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Fuerza de Corte: Método de la Presión de Corte**

Teniendo en cuenta que:  $ac = f \cdot \text{sen } kr$ , la expresión final de la fuerza de corte queda como sigue:

$$F_c = k_s \cdot A_c = k_{s0} \cdot a_c^{1-z} \cdot b = k_{s0} \cdot f^{1-z} (\text{sen } k_r)^{-z} \cdot a_p$$

Teniendo en cuenta todo lo dicho, este procedimiento de cálculo se debe considerar solamente **estimativo**. Pese a ello, los valores obtenidos sirven como una primera aproximación que permite establecer el **orden de magnitud** de las condiciones de corte.

En las tablas siguientes se ilustran los valores de  $k_{s0}$  y de  $z$  para materiales de uso más frecuente.

40

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Fuerza de Corte: Método de la Presión de Corte**

MATERIAL	AMERICANA A.A.	UNE	$k_{s0}$ daN/mm <sup>2</sup>	$z$
Aleaciones de Aluminio	1100	L-3002	23	0.3
	2011	L-3192	34	0.3
	2014	L-3130	87	0.3
	2017	L-3120	80	0.3
	2024	L-3140	76	0.3
	4032	L-3541	76	0.3
	6061	L-3420	59	0.3
	7075	L-3710	100	0.3

41

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Fuerza de Corte: Método de la Presión de Corte**

MATERIAL	Resistencia a tracción Dureza HB	$k_{s0}$ daN/mm <sup>2</sup>	$z$
Acero al carbono	<50 daN/mm <sup>2</sup>	155	0.2
Acero al carbono	50/70 daN/mm <sup>2</sup>	171	0.2
Acero al carbono	70/100 daN/mm <sup>2</sup>	186	0.2
Acero colado	<50 daN/mm <sup>2</sup>	136	0.2
Acero colado	50/65 daN/mm <sup>2</sup>	148	0.2
Acero colado	>65 daN/mm <sup>2</sup>	163	0.2
Acero aleado	70/85 daN/mm <sup>2</sup>	171	0.2
Acero aleado	85/100 daN/mm <sup>2</sup>	186	0.2
Acero aleado	100/140 daN/mm <sup>2</sup>	202	0.2
Acero aleado	140/180 daN/mm <sup>2</sup>	225	0.2
Acero inoxidable austenítico		179	0.2
Acero inoxidable ferrítico-martensítico		155	0.2
Fundición	<200 HB	97	0.2
Fundición	>200 HB	136	0.2
Fundición	<500 HB	210	0.2
Fundición blanca	>500 HB	233	0.2

42

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Fuerza de Corte: Método de la Presión de Corte**

MATERIAL	$k_{s0}$ daN/mm <sup>2</sup>	z
Cobre	78	0.3
Bronce	124	0.3
Latón	54	0.3
Plásticos	19	0.3

43

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Fuerza de Corte: Método de la Presión de Corte**

N	Material	$\sigma_c$ o HB o HR <sub>15</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ]	z	$k_{s0}$	$k_c$ [daN/mm <sup>2</sup> ] para $h$ [mm]									
					0,06	0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1	1,6	2,5	
1	St 50.11	52	0,253	199	420	361	319	283	250	224	199	178	158	
2	St 60.11	62	0,155	211	331	308	283	262	244	227	211	196	182	
3	St 70.11	72	0,300	226	512	450	392	341	299	260	226	198	174	
4	Ck 45 (C 45)	67	0,140	220	324	304	284	266	250	234	220	209	196	
5	Ck 60 (C 60)	77	0,173	213	343	315	292	270	249	230	213	196	181	
6	MnCr5	77	0,267	210	435	383	340	302	266	236	210	188	167	
7	18 CrNi6	63	0,300	226	514	451	392	341	300	259	226	198	175	
8	42 CrMo4	73	0,267	250	500	450	400	355	315	280	250	224	200	
9	34 CrMo4	69	0,215	224	400	361	329	300	275	246	224	205	187	
10	50 CrV4	60	0,264	221	462	410	361	319	282	250	221	199	178	
11	55 NiCrMoV6 rec.	94	0,240	174	347	307	272	239	217	193	174	154	135	
12	55 NiCrMoV6 bas.	HB = 352	0,240	192	367	331	295	266	238	210	192	172	153	
13	15 CrMe5	59	0,170	229	365	339	313	290	268	247	229	202	198	
14	Mechante	36	0,265	127	258	230	205	184	164	144	127	113	101	
15	Fundición dura	HR <sub>15</sub> = 46	0,195	206	350	319	294	268	245	224	206	190	174	
16	GG 26	HB = 200	0,264	116	236	211	187	166	147	130	116	103	93	

44

---

---

---

---

---

---

---

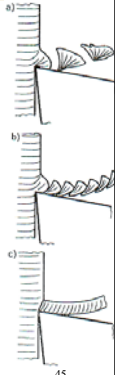
---

---

---

**TIPOS DE VIRUTA**

- Totalmente discontinua:**
  - ✓ Materiales frágiles (no soportan tensión de cizallamiento).
  - ✓ Materiales dúctiles ( $\downarrow \downarrow v_c$ ,  $\uparrow$ avance), no metálicos.
  - ✓ Superficie de contacto muy reducida.
  - ✓  $\gamma$  bajo o negativo ( $\downarrow \downarrow \gamma$ ); mecanizado en seco;  $\downarrow$  rigidez máquina.
- Parcialmente segmentada:**
  - ✓ Compuesta de elementos parcialmente unidos y ligados entre sí. Si la rigidez no es adecuada, como  $F_c$  varía continuamente, aparecen vibraciones  $\rightarrow$  calidad superficial y precisión dimensional.
- Continua:**
  - ✓ Materiales tenaces y dúctiles ( $\uparrow v_c$ ,  $\downarrow a$ ).
  - ✓  $\gamma$  grandes ( $\uparrow \uparrow \gamma$ ).



45

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**TIPOS DE VIRUTA**

**□ Ondulada:**

- ✓ Existencia de vibraciones.

**□ Continua con filo de aportación (recrecido):**

- ✓ Se forman capas de viruta debido al rozamiento en la superficie de contacto viruta-herramienta, y se quedan adheridas a herramienta.
- ✓ Filo aportado crece hasta que rompe bruscamente.
- ✓ Consecuencias: ↓ acabado superficial y ↓ vida de la herramienta.



46

---

---

---

---

---

---

---

---

**TIPOS DE VIRUTAS**

El tipo de viruta está determinado primordialmente por:

- a) Propiedades del material a trabajar
- b) Geometría de la herramienta de corte
- c) Condiciones del maquinado (profundidad de corte, velocidad de avance y velocidad de corte).

En general, es posible diferenciar inicialmente tres tipos de viruta:

47

---

---

---

---

---

---

---

---

**TIPOS DE VIRUTAS**



protuberancias

48

---

---

---

---

---

---

---

---

**FACULTAD DE INGENIERIA**  
Universidad de Buenos Aires

Departamento de Ingeniería Mecánica

**Tecnología Mecánica I**

67.15/TA202

**Unidad 3C: Fuerzas de corte y Potencia**

1

---

---

---

---

---

---

---

---

**TEMARIO**

- Cálculo de potencia de mecanizado en distintas máquinas.
- Cálculo de tiempo de mecanizado en distintas máquinas.

2

---

---

---

---

---

---

---

---

**TORNEADO**

$n$  (RPM)

$f_n =$  mm/rev

$V_c =$  m/min

$A_p =$  mm

---

---

---

---

---

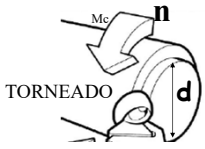
---

---

---

**Velocidad de corte: Movimiento giratorio**

$V_c$  = Velocidad de corte (m/min.)  
 $d$  = Diámetro de la pieza o herramienta (mm)  
 $n$  = velocidad del giro (rpm)



$$V_c = \frac{\pi * d * n}{1000}$$

$$n = \frac{V_c * 1000}{d * \pi}$$


---

---

---

---

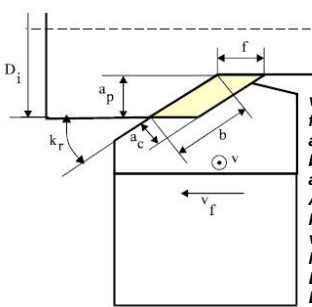
---

---

---

---

**Sección de viruta - Torneado**



$v$  ⇒ velocidad de corte  
 $fn$  ⇒ avance por vuelta (mm/rev)  
 $ap$  ⇒ profundidad de pasada  
 $b$  ⇒ ancho de corte  
 $ac$  ⇒ espesor de viruta indeformada  
 $Ac$  ⇒ sección de viruta indeformada  
 $kr$  ⇒ ángulo de posición  
 $vf$  ⇒ velocidad de avance (mm/min)  
 $N$  ⇒ velocidad de rotación  
 $Di$  ⇒ diámetro inicial  
 $Df$  ⇒ diámetro final

**Sección de viruta** ⇒  $q = ac = Ac = b * ac = fn * ap$  (mm<sup>2</sup>)

---

---

---

---

---

---

---

---

**Fuerza de corte**

$$F_c = K_s * q$$

$$F_c = K_s * fn * ap$$

$F_c$ : Fuerza de Corte (N)

$K_s$ : Tensión específica de corte (N/mm<sup>2</sup>)

---

---

---

---

---

---

---

---

**Fuerza de corte**

$$N = \frac{F_c \cdot V_c}{\eta}$$

$$N \text{ (KW)} = \frac{K_s \cdot f_n \cdot a_p \cdot V_c}{\eta \cdot 60000}$$

N : Potencia Absorbida en Kw  
 Q : sección de viruta en mm<sup>2</sup>  
 Ks : Tensión Especifica de corte en N/mm<sup>2</sup>  
 Vc : velocidad de Corte en m/min  
 η : Rendimiento mecánico (0,95 a 0,80)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Tensión específica de corte**

$$K_s = K_c \cdot (0,4/h_m)^{0,29}$$

Ks: Tensión específica de corte (N/mm<sup>2</sup>)  
 Kc: Tensión específica de corte (espesor medio de viruta 0,4 mm)  
 hm: Espesor medio de viruta (mm):  $h_m = f_n \cdot \sin k_r$   
 Cuando  $a_p > r$   
 $h_m = f_n \times (a_p / (2 \cdot r))^{1/2}$   
 Cuando  $a_p < r$

kr : ángulo de posición    r : radio de la herramienta

**Kc: Tensión específica de corte (espesor medio de viruta 0,4 mm) lo encontramos en tablas**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Velocidades de giro de husillo**

Mientras que las máquinas de control numérico tienen velocidades de rotación del husillo variable en forma continua, las máquinas convencionales tienen cambios de engranajes y escalones de velocidades distribuidos, normalmente en una progresión forma geométrica.

En los catálogos de las máquinas convencionales vamos a encontrar como dato la velocidad mínima, la máxima y el número de velocidades

$n_1 = n_{\min}$   
 $n_2 = n_{\min} \cdot r$   
 .....  
 $n_7 = n_6 \cdot r$   
 $n_z = n_{z-1} \cdot r = n_{\max}$

r : razón geométrica o módulo del escalonamiento  
 $r = \sqrt[z]{(n_{\max} / n_{\min})}$   
 Usualmente, r está entre 1,25 y 1,6  
 z = Número de velocidades

---

---

---

---

---

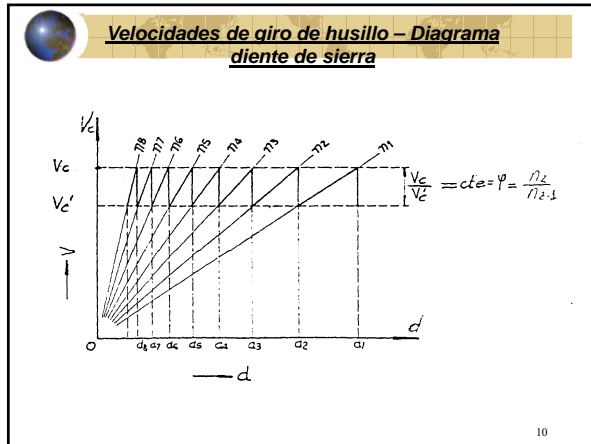
---

---

---

---

---




---

---

---

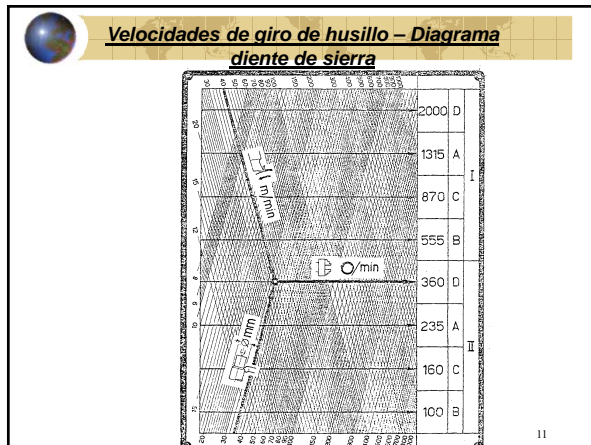
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

**Determinación de las velocidades teóricas y reales - calcular potencia**

Obtener con los datos de la  $V_c$  de catálogo y el diámetro final de la pasada la velocidad teórica del husillo en esa pasada

$$n_{teorico} = \frac{V_c * 1000}{d * \Pi}$$

Elegir la velocidad de giro de la máquina más cercana a la teórica, con criterio técnico.

Calcular la velocidad de corte real

$$V_{c_{real}} = \frac{\Pi * d * n_{real}}{1000}$$

Calcular la potencia

12

---

---

---

---

---

---

---

---

### Tiempo de mecanizado

$$t = \frac{C}{f_n * n}$$

t : tiempo de mecanizado de una pasada (min.)  
 C : Carrera o longitud recorrida por la herramienta (mm)  
 debe incluir distancia de aproximación y salida de la herramienta  
 f<sub>n</sub>: Avance (mm/rev.)  
 n : velocidad del husillo (RPM)

13

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### K<sub>c0,4</sub>

TORNEADO GENERAL Datos de corte

Recomendaciones de velocidad de corte, valores métricos  
 Las recomendaciones son válidas si se utiliza refrigerante.

ISO P	N° CMC	Acero	Fuerza de corte específica k <sub>c</sub> 0,4 N/mm <sup>2</sup>	Dureza Brinell HB	RESISTENCIA AL DESGASTE	
					GC15	GC30
Núm. MC		Material	N/mm <sup>2</sup>	HB	Velocidad de corte (V <sub>c</sub> ) m/min	
		Acero no aleado			0,1-0,3-0,5 0,15-0,25-0,4	
P1.1.Z.AN	01.1	C = 0,1-0,25%	1500	125	300-250-215	305-280-215
P1.2.Z.AN	01.2	C = 0,25-0,55%	1800	150	275-225-195	275-225-195
P1.3.Z.AN	01.3	C = 0,55-0,80%	1700	170	260-215-185	260-220-185
		Acero de baja aleación				
		aleamientos de aleación <5%				
P2.1.Z.AN	02.1	No templado	1700	180	220-175-150	215-180-150
P2.1.Z.AN	02.12	Acero para rodamientos de bola	1800	210	190-155-135	190-160-130
P2.5.Z.HT	02.2	Endurecido y templado	1850	275	140-115-100	135-115-95
P2.5.Z.HT	02.2	Endurecido y templado	2050	350	110-95-80	110-95-80
		Acero de alta aleación				
		aleamientos de aleación >5%				
P3.0.Z.AN	03.11	Racocido	1950	200	-	-
P3.0.Z.HT	03.21	Acero de harram. templado	3000	325	-	-
		Acero fundido				
P1.5.C.UT	06.1	No aleado	1550	180	-	-
P2.8.C.UT	06.2	De baja aleación (aleamientos de aleación <5%)	1650	200	-	-
P3.0.C.UT	06.3	Alta aleación (aleamientos de aleación >5%)	2050	295	-	-

14

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Ejemplo

MATERIAL ACERO SAE 1045

$a_p = 3 \text{ mm}$   
 $f_n = 0,3 \text{ mm/rev}$   
 $V_c = 250 \text{ m/min}$

$K_r = 45^\circ$        $K_r = 95^\circ$

$h_m = f_n * \text{sen } k_r = 0,21$        $h_m = f_n * \text{sen } k_r = 0,30$

De tablas, para acero 1045  $K_{c0,4} = 1600 \text{ N/mm}^2$

$K_s = K_c * (0,4/h_m)^{0,29} = 1936$        $K_s = K_c * (0,4/h_m)^{0,29} = 1744$

$N \text{ (KW)} = \frac{K_s * f_n * a_p * V_c}{\eta * 60000}$        $\eta = 0,95$

$N = 7,64 \text{ kw}$        $N = 6,88 \text{ kw}$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGUJEREADO**



16

---

---

---

---

---

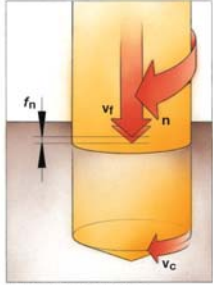
---

---

---

**AGUJEREADO**

$f_n$  (mm/rev)  
 $n$  (RPM)  
 $V_c$  (m/min)  
 $V_f$  (mm/min) =  $f_n * n$   
 $f_z$  (mm/rev/z) = avance por vuelta y por filo  
 $f_n = f_z * z$   
 $z$  = Número de filos



17

---

---

---

---

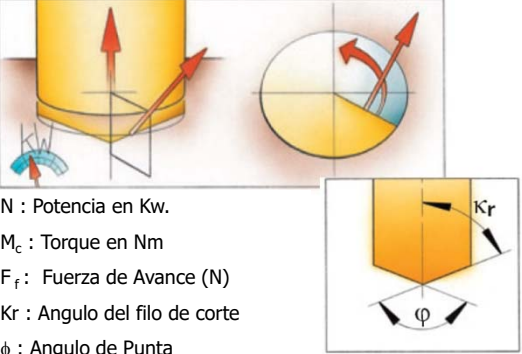
---

---

---

---

**AGUJEREADO**



$N$  : Potencia en Kw.  
 $M_c$  : Torque en Nm  
 $F_f$  : Fuerza de Avance (N)  
 $K_r$  : Angulo del filo de corte  
 $\phi$  : Angulo de Punta

---

---

---

---

---

---

---

---



**AGUJEREO**

**Tiempo de mecanizado**

$$t = \frac{C}{f_n * n}$$

t : tiempo de mecanizado de una pasada (min.)  
 C : Carrera o longitud recorrida por la herramienta (mm)  
 debe incluir distancia de aproximación y salida de la herramienta  
 f<sub>n</sub>: Avance (mm/rev.)  
 n : velocidad del husillo (RPM)

22

---

---

---

---

---

---

---

---

**FRESADO**

23

---

---

---

---

---

---

---

---

**FRESADO**

24

---

---

---

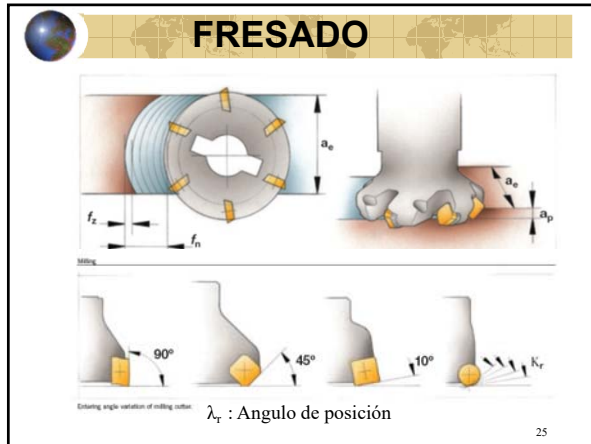
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

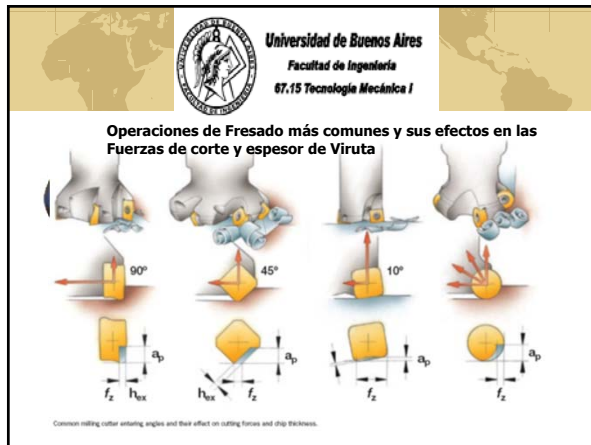
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

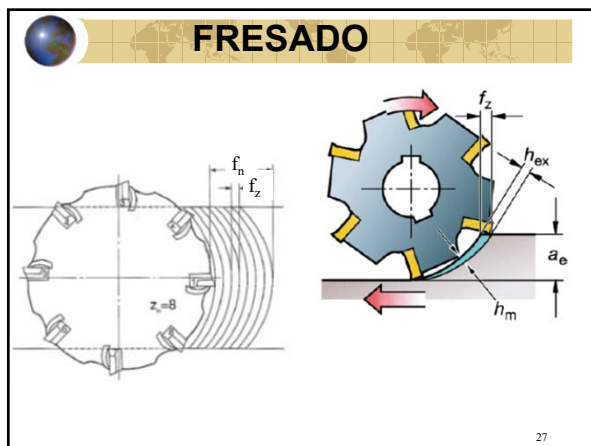
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**FRESADO**

$D_{cap}$  : Diámetro a profundidad de corte real  
 $V_f$  :  $f_n * n = f_z * z * n$  (mm/min) Avance lineal  
 $f_z$  : avance por filo por vuelta (mm x rev)  
 $n$  : (RPM)  
 $z$  : número de filos  
 $\gamma$  : Angulo de desprendimiento en grados  
 $\lambda_r$  : Angulo de posición en grados  
 $h_{ex}$  : Espesor máximo de viruta. (mm)  
 $h_m$  : espesor medio de viruta.  
 $ae$  : Ancho del fresado (mm)  
 $ap$  : Profundidad de pasada (mm)

28

---

---

---

---

---

---

---

---

**FRESADO**

$$N \text{ (KW)} = \frac{ap * ae * Vf * Kc}{60.000.000 * \eta}$$

Espeor medio de la viruta ( $h_m$ ). Para filo recto.  
 Fresado lateral (mm)

$$h_m = \frac{360 * \sin \kappa_r * a_e * f_z}{\pi * D_{cap} * \arccos \left( 1 - \frac{2 * a_e}{D_{cap}} \right)}$$

$$k_c = k_{c1} * h_m^{-m_c} * \left( 1 - \frac{\gamma_0}{100} \right)$$

Planeado  
 Si la pieza está centrada respecto a la fresa. (mm)

$$h_m = \frac{180 * \sin \kappa_r * a_e * f_z}{\pi * D_{cap} * \arcsin \left( \frac{a_e}{D_{cap}} \right)}$$

Nota: arc cos y arc sen en grados

---

---

---

---

---

---

---

---

**FRESADO**

**Tiempo de mecanizado**

$$t = \frac{C}{fn * n}$$

$t$  : tiempo de mecanizado de una pasada (min.)  
 $C$  : Carrera o longitud recorrida por la herramienta (mm)  
 debe incluir distancia de aproximación y salida de la herramienta  
 $fn$ : Avance (mm/rev.)  
 $n$  : velocidad del husillo (RPM)

30

---

---

---

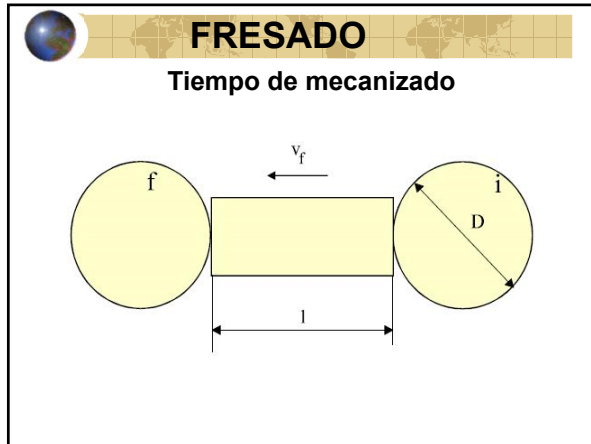
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## FRESADO Valores de $K_{c1}$ y $m_c$

Código MC	Grupo de materiales	Subgrupo de materiales	Proceso de fabricación	Tratamiento térmico	nom	Fuerza de corte específica, $K_{c1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$m_c$	
P1.1.Z.AN	No aleado Mn<1.65	1	Z	AN	recocido	125 HB	1500	0.25
P1.1.Z.HT		1	Z	HT	endurecido+revenido	190 HB	1770	0.25
P1.2.Z.AN		2	Z	AN	recocido	190 HB	1700	0.25
P1.2.Z.HT		2	Z	HT	endurecido+revenido	210 HB	1820	0.25
P1.3.Z.AN		3	Z	AN	recocido	190 HB	1750	0.25
P1.3.Z.HT		3	Z	HT	endurecido+revenido	300 HB	2000	0.25
P1.4.Z.AN		4	Z	AN	recocido	220 HB	1180	0.21
P1.5.C.HT		5	C	UT	sin tratar	150 HB	1400	0.25
P1.5.C.AN		5	C	HT	endurecido+revenido	300 HB	2880	0.25

32

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## FRESADO Valores de $K_{c1}$ y $m_c$

Código MC	Grupo de materiales	Subgrupo de materiales	Proceso de fabricación	Tratamiento térmico	nom	Fuerza de corte específica, $K_{c1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$m_c$		
P2.1.Z.AN	baja aleación (elementos de aleación <5%)	1	Z	AN		175 HB	1700	0.25	
P2.2.Z.AN		2	Z	AN	recocido	240 HB	1950	0.25	
P2.3.Z.AN		3	Z	AN		260 HB	2020	0.25	
P2.4.Z.AN		4	Z	AN		225 HB			
P2.5.Z.HT		5	Z	HT	endurecido+revenido	330 HB	2000	0.25	
P2.6.C.UT		6	C	UT	sin tratar	200 HB	1600	0.25	
P2.6.C.HT		6	C	HT	endurecido+revenido	380 HB	3200	0.25	
P3.0.Z.AN		alta aleación (elementos de aleación >5%)	0	Z	AN	recocido	200 HB	1950	0.25
P3.0.Z.HT			0	Z	HT	endurecido+revenido	380 HB	3100	0.25
P3.0.C.UT			0	C	UT	sin tratar	200 HB	1950	0.25
P3.0.C.HT	0		C	HT	endurecido+revenido	340 HB	3040	0.25	
P3.1.Z.AN	1		Z	AN	recocido	250 HB	2300	0.25	
P3.2.C.AQ	2		C	AQ	recocido+templado con agua+recocido	300 HB	3000	0.25	
P4.0.5.NQ	aceros sin aleación		0	S	sin especificar	150 HB			
			0	S	sin especificar				

33

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---







FACULTAD DE INGENIERIA  
Universidad de Buenos Aires

Departamento de Ingeniería Mecánica



**Tecnología Mecánica I**

67.15/TA202

**Unidad 3D: Líquidos refrigerantes y Lubricantes**

1

---

---

---


---

---

---

---

---



Fluidos de corte

Los **fluidos de corte** son fluidos líquidos ó gaseosos que se utilizan durante el mecanizado, aplicándose en la zona de formación de viruta, para mejorar las condiciones de corte en comparación con las de un corte en seco.

Estas mejoras van en pos de enfriar la herramienta, la pieza y la viruta, lubricar y reducir la fricción, minimizar la posibilidad de crear cantos indeseables en la herramienta, arrasar con la viruta y proteger la pieza de la corrosión.

La efectividad de todos los lubricantes para corte disminuye a medida que aumenta la velocidad de corte.

2

---

---

---


---

---

---

---

---



Fluidos de corte: Funciones

- Refrigeración (conducir bien el calor y enfriar eficazmente la herramienta) ⇒ baja viscosidad, capacidad de mojar bien la pieza y la herramienta (contacto), alto calor específico y alta conductividad térmica.
- Lubricación (reduciendo la fricción y minimizando la erosión de la herramienta)
- Prevención de la formación del **filo recrecido**
- Protección de la herramienta contra corrosión y oxidación
- Lubricación de la Máquina Herramienta
- Evacuación de virutas y limpieza de rebabas

3

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Ventajas de los líquidos enfriadores**

- 1. Aumentan la vida de la herramienta bajando la temperatura en la región del filo principal**
- 2. Facilitan el manejo de la pieza terminada**
- 3. Disminuyen la distorsión térmica causada por los gradientes de temperatura producidos durante el mecanizado**
- 4. Realizan una labor de limpieza por arrastre, al ayudar a remover las virutas de la región de corte**

4

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Ventajas de los líquidos lubricantes**

- 1. Disminuyen la resistencia friccional al movimiento, aminorando el consumo de potencia, alargando la vida de la herramienta y mejorando la calidad superficial del acabado**
- 2. Tienen un ingrediente reactivo que forma un compuesto de baja resistencia al corte, el cual actúa como un lubricante en los bordes**
- 3. Son suficientemente estables como para mantener sus propiedades bajo las condiciones de temperatura y presión existentes en la interfase viruta-herramienta**

5

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Fluidos de Corte: Tipos básicos**

**Aceites de corte ⇒ Aceites minerales puros  
Aceites minerales compuestos (aditivos)**

**Fluidos miscibles en agua ⇒ Aceites solubles emulsionables  
Fluidos químicos (sintéticos)  
Fluidos semiquímicos**

**Gases**

**Lubricantes sólidos y pastosos**

6

---

---

---


---

---

---

---

---



### Mecanizado en seco

*El empleo correcto de los fluidos de corte permite un gran rendimiento de la herramienta, aumenta su vida y fiabilidad, mejora el acabado superficial, incrementa el volumen de viruta arrancado y evita la corrosión.*

**Pero a pesar de estas grandes ventajas, los fluidos de corte generan una serie de problemas económicos, ecológicos y en la salud que podrían resumirse de la siguiente manera:-**

- Alto costo de su mantenimiento, manipulación, evacuación y posterior tratamiento o reciclaje. Se requiere la utilización de técnicas de mantenimiento continuo e inspección para controlar la polución, microorganismos y cambios en la concentración de cara a mantener el fluido de corte bajo control y aumentar su vida de servicio.
- Alto impacto ambiental, ya que los residuos son realmente peligrosos para el medio ambiente.
- Enfermedades laborales, problemas respiratorios por inhalación, aumento del costo industrial por ausencia laboral, alergias, irritaciones por contacto con la piel, etc.

---

---

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---



### Mecanizado en seco

*Ante la necesidad de crear estrategias de mecanizado que conlleven la reducción del fluido de corte, se ha intensificado el desarrollo de nuevas calidades de material y geometrías de corte capaces de trabajar **en seco** (eliminación total del fluido de corte) o con lubricación mínima, consiguiendo superar los problemas de corte que aparecen ante la ausencia de refrigerante - lubricante.*

*Esta claro que la utilización de esta estrategia de mecanizado obliga a tener un **mayor control** sobre los parámetros de corte (avance, velocidad y profundidad de corte), que permitan un rendimiento adecuado.*

---

---

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---



### Aceites de Corte

*Poseen una base de **aceite mineral** y pueden ser usados en estado puro ó compuestos (mezclados con aditivos químicos activos ó inactivos).*

*Tienen excelentes propiedades de lubricación, control de oxidación y larga vida, pero no enfrían tan bien como los fluidos miscibles en agua.*

*Los aceites minerales compuestos pueden ser clasificados como inactivos ó activos.*

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### **Aceites minerales puros**

Se obtienen de la destilación del **petróleo crudo**, a partir de varios y complejos procesos de refinación.

No tienen buenas propiedades de lubricación, pero tienen un bajo costo. Son usados generalmente en operaciones de baja exigencia, en metales blandos (aluminio, magnesio, latón, aceros sin azufre ni plomo), donde la lubricación y los requerimientos de enfriamiento no son tan exigentes.

No son corrosivos y son estables, y si se mantienen limpios, se pueden usar indefinidamente. Lubrican todas las partes móviles expuestas.

10

---

---

---

---

---

---

---

---



### **Aditivos de presión extrema (EP)**

Son adicionados a los fluidos en operaciones donde las fuerzas de corte son particularmente altas, ó para aquellas en donde la alimentación del material sea demasiada. Proveen una forma de lubricación más fuerte y estable en la interfase rebaba/herramienta, y crean una película de protección que minimiza el desgaste de la herramienta.

Incluyen mezclas de azufre, cloro ó fósforo, las cuales reaccionan a grandes temperaturas en las zonas de corte para formar sulfuros, cloruros y fosfatos metálicos.

11

---

---

---

---

---

---

---

---



### **Aceites minerales compuestos**

Se encuentran mezclados con aditivos químicamente activos ó inactivos, formando aceites minerales sulfatados ó fosfatados, aceites minerales sulfoclorados y aceites minerales grasos sulfoclorados.

Tienen buenas propiedades de lubricación a presiones extremas, lo cual permite a las herramientas un tiempo de vida largo a pesar de las altas presiones y temperaturas.

Sin embargo, los activos causan **decoloración** ó manchado de ciertos metales, mientras que los inactivos tienen propiedades antimanchas que permiten prevenir la decoloración de materiales químicos sensibles.

12

---

---

---

---

---

---

---

---



### **Aceites minerales compuestos**

Cuando el cloro y el azufre son adicionados a los aceites de corte, las características antisoldadura y EP son efectivas en amplios rangos de temperatura.

Los aceites que contienen azufre forman películas de **sulfuros metálicos**, las cuales actúan como lubricantes sólidos a temperaturas mayores a 700 °C.

Los aceites clorados forman una película de metal clorado cuando reaccionan con materiales de piezas ferrosas ó con herramientas de acero que trabajan a altas velocidades, que provee baja fricción hasta los 400 °C.

13

---

---

---

---

---

---

---

---



### **Aceites minerales compuestos**

Cuando el fósforo es agregado a un aceite de corte, se desempeña como un lubricante EP suave ó como un aditivo antifricción y antidesgaste. La capa ó película de fosfato se rompe a temperatura inferior que las de sulfatos ó cloratos.

Las aplicaciones de los aceites de corte compuestos se limitan a operaciones de difícil tratamiento de los metales, pues el alto costo, el posible peligro de fuego y humo, y los problemas de salud del operador restringen el uso de estos aceites.

14

---

---

---

---

---

---

---

---



### **Fluidos solubles en agua**

Se utilizan para operaciones a altas velocidades, ya que tienen mejores características de enfriamiento, y están mezclados con agua a diferentes proporciones dependiendo de la operación a realizar (de 1:20 a 1:50).

Debido a que el agua tiene alto calor específico, alta conductividad térmica y alto calor de **vaporización**, es uno de los más efectivos métodos de enfriamiento conocidos.

Mezclados con agua, los fluidos proveen la lubricación y enfriamiento requeridos por la mayoría de las operaciones de mecanizado a altas velocidades.

15

---

---

---


---

---

---

---

---



### Aceites emulsionables

Llamados también **aceites solubles**, forman con el agua una emulsión, que es una suspensión de aceite en agua, hecha por medio de la mezcla de aceite con agentes emulsificantes como el **jabón** y otros materiales adherentes.

El jabón rompe el aceite en pequeñas partículas y las mantiene dispersas en el agua por largos períodos de tiempo.

Ciertos bactericidas, normalmente compuestos orgánicos no fenólicos, son agregados para controlar el crecimiento de microorganismos como bacterias, algas y hongos.

16

---

---

---


---

---

---

---

---



### Aceites emulsionables

Las sustancia jabonosas utilizadas como emulsificantes reducen la tensión superficial en forma significativa, lo cual genera una gran tendencia a formar espuma cuando el aceite es sometido a agitación ó turbulencia.

Las ventajas sobre los **aceites puros** y compuestos incluye una gran reducción del calor, ambientes de trabajo más limpios, costos más reducidos gracias a su dilución en agua, y mejores condiciones en lo referente a seguridad y salud.

Se comportan mejor en operaciones de corte de exigencia baja a moderada, y en materiales de fácil maquinado.

17

---

---

---


---

---

---

---

---



### Aceites emulsionables

CLASE	TIPO	CARACTERÍSTICAS GENERALES
Aceites emulsificables	(1) Aceites solubles de propósito general.	Usados en diluciones 1:10 y 1:40 para hacer una emulsión lechosa. Usados para tareas de propósito general.
	(2) Aceites solubles limpios	Usados en diluciones 1:50 y 1:100. Su gran contenido de emulsificantes resulta en emulsiones que varían de translúcidos a limpios. Se usan para moliación o para operaciones de baja exigencia.
	(3) Aceites solubles grasos	Usados en concentraciones similares a (1) y de apariencia similar. Su contenido de grasa los hace buenos para operaciones de maquinado de metales no ferrosos.
	(4) Aceites solubles EP	Generalmente contienen aditivos EP sulfatados o clorados. Se usan en diluciones entre 1:5 y 1:20 donde se requiere un desempeño mejor que el de (1), (2) y (3).

18

---

---

---

---

---


---

---

---





 **Fluidos semiquímicos**

Son una combinación de un **fluido químico** y una pequeña cantidad de **aceite emulsionable (5 – 30%)** en agua, formando una **emulsión estable y traslúcida de pequeñas gotas**.

Usualmente se agregan **aditivos EP**, permitiendo su uso en **operaciones de moderada y alta exigencia**, y también en **operaciones de rectificado**.

Poseen mejores **propiedades de lubricación** que los químicos, que van de la mano de una **mayor limpieza**.

25

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Gases**

En ocasiones puede utilizarse **aire comprimido**, mediante una corriente dirigida directamente a la zona de corte para **remover el calor a base de una convección forzada**. También puede usarse para **eliminar rebabas**, pero con **precaución**.

Ciertos gases como **argón, helio, freón, N2 ó CO2**, se utilizan **ocasionalmente para prevenir la oxidación de herramientas y la generación de rebabas**, pero sus **elevados costos generan operaciones muy caras para aplicaciones de producción**.

Las **ventajas de los gases inertes** incluyen **buena capacidad de enfriamiento, mayor tiempo de vida de las herramientas y eliminación de la neblina en la aplicación**.

26

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Lubricantes sólidos y de consistencia pastosa**

Se aplican **manualmente mediante brochas ó con latas de aceite en spray** a la herramienta y también a partes de la máquina en **operaciones de taladrado, estriado y rectificado**.

Generalmente se usan para **lubricación, para la mejora del acabado y del tiempo de vida de la herramienta, y para evitar la fusión de las herramientas ó de las piezas**.

Los más utilizados son **las ceras sólidas, grafito, disulfuro de molibdeno, y ciertas pastas y jabones de alto punto de fusión**.

27

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Selección de un fluido de corte**

Debe basarse en los siguientes factores:

- Tipo de operación de maquinado
- Compatibilidad con el material de la pieza
- Compatibilidad con el material de la herramienta
- Condiciones de maquinado (velocidad de corte, avance, profundidad de pasada)

28

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Selección de un fluido de corte**

Aceites de corte  $\Rightarrow$  velocidad de corte  $< 30$  metros/minuto

Fluidos químicos  $\Rightarrow$  velocidad de corte  $< 60$  metros/minuto

Aceites de corte EP  $\Rightarrow$  velocidad de corte  $> 60$  metros/minuto

Dependiendo de la combinación de los 4 factores anteriores, puede decirse de manera muy general lo siguiente:

29

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Selección de un fluido de corte**

Fluido de corte – mejor característica: **lubricación**  $\Rightarrow$

- Bajas velocidades de corte
- Materiales difíciles de mecanizar (baja maquinabilidad)
- Operaciones de mucha dificultad
- Exigente acabado de la superficie

30

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Selección de un fluido de corte**

Fluido de corte – mejor característica: **refrigeración** ⇒

- **Altas velocidades de corte**
- **Materiales fáciles de mecanizar (alta maquinabilidad)**
- **Operaciones de baja dificultad**
- **Operaciones donde el aumento de calor es un problema**

31

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Compatibilidad con el material de la pieza**

El fluido de corte seleccionado debe ser compatible con el material a maquinar. Debe prevenir la corrosión durante y después del mecanizado, pero no debe manchar la pieza, por lo cual hay que tener cuidado en la selección del fluido, sobre todo con materiales no ferrosos.

Como en el caso de las condiciones de corte, postular reglas generales demasiado amplias para la selección del fluido de corte más adecuado es difícil, pues siempre la mejor solución la tiene el fabricante del fluido, elegido éste para una condición de maquinado específica. No obstante, se puede decir que:

32

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Selección de un fluido de corte**

**Compatibilidad con el material de la pieza**

Maquinado de Cu y aleaciones de Cu ⇒ no utilizar fluidos de corte que contengan S (manchas)

Maquinado de Al, Mg, Zn y aleaciones ⇒ no utilizar fluidos de corte que contengan aditivos alcalinos (manchas / corrosión)

Maquinado de metales ferrosos ⇒ no utilizar fluidos de corte que contengan aditivos ácidos (corrosión)

33

---

---

---

---

---

---

---

---



### Aplicación de fluidos de corte

La **forma** en que se aplique un fluido de corte tiene una influencia considerable en la vida de la herramienta, así como en la operación de mecanizado en general.

A pesar de que existen equipos muy complejos y efectivos para dosificar los fluidos en la zona del corte, estos no son necesarios para lograr buenos resultados.

Incluso el mejor fluido de corte puede no cumplir su función con éxito si no es distribuido correctamente en la zona del corte. La idea es que el fluido forme una **película** sobre las superficies en roce (pieza y herramienta).

34

---

---

---

---

---

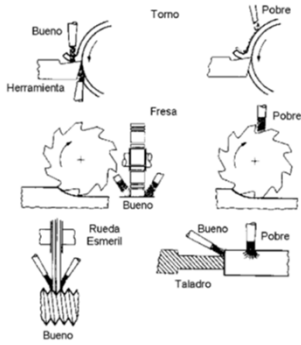
---

---

---



### Aplicación de fluidos de corte



35

---

---

---

---

---

---

---

---