

## Capítulo 3

# Teoría: mecanizado y desgaste

En este capítulo se detallan algunos conceptos básicos sobre los procesos de mecanizado y el fenómeno del desgaste. Sobre estos conceptos fundamentales se construye el resto del Trabajo.

### 3.1. Mecanizado

Se procede a describir de forma somera el mecanizado, indicar algunos ejemplos y explicar el corte ortogonal.

#### 3.1.1. Introducción

Se puede describir el mecanizado como un proceso de elaboración mecánica en la que se elimina material. Lo amplio de esta definición hace vislumbrar también lo amplio de su aplicación, así como lo diverso de sus opciones. A la hora de clasificar los diferentes tipos de mecanizado, se distinguen dos grupos: procesos tradicionales y no tradicionales. Se afina más si se divide a su vez los procesos tradicionales en dos categorías diferentes: procesos de corte y procesos abrasivos.

Los procesos no tradicionales son más recientes pero están menos extendidos. Algunos mejoran los procesos tradicionales al aplicar ultrasonidos o electromagnetismo a procesos tradicionales, y otros son de naturaleza distinta, como el mecanizado hidrodinámico.

Los procesos tradicionales, esto es, de corte y abrasión, son los más utilizados. En los procesos de corte se hace uso de herramientas con filo o filos de corte, como el torneado, el fresado, el taladrado, el limado, el cepillado, etc. En los procesos abrasivos se utilizan partículas abrasivas, como el rectificado o el bruñido. Normalmente el mecanizado de una pieza suele incluir varias pasadas de un mismo proceso, con herramientas diferentes, o incluso procesos distintos en cada etapa. Se distingue entre “desbaste” y “acabado” como diferentes etapas, la primera tiene como objetivo eliminar mucho material de la pieza, mientras que en

la segunda se intenta conseguir una superficie de pieza de calidad. Las condiciones de corte pueden ser muy distintas.

En la mayoría de los diferentes procesos de mecanizado, se encuentran 4 componentes diferentes, a saber:

1. Pieza de trabajo: la pieza a la que se retirará parte de material superficial.
2. Herramienta de corte: elemento encargado directamente de eliminar el material.
3. Máquina-Herramienta: Máquina encargada de producir los movimientos necesarios para el mecanizado.
4. Utillaje auxiliar: Elementos para el agarre y posicionamiento de la pieza.

Una clasificación básica de las herramientas de corte puede ser la siguiente:

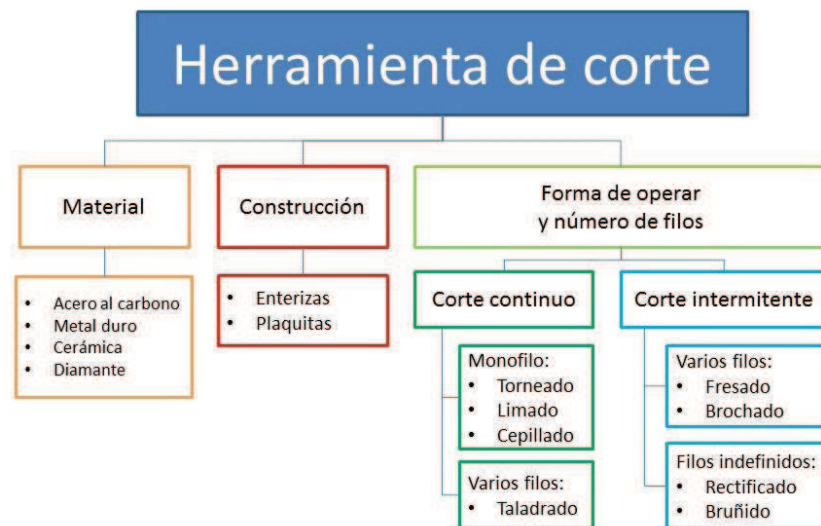


Figura 3.1: Clasificación de herramientas de corte.

Algunas Máquinas-Herramienta son:

- Cepilladora
- Fresadora
- Taladradora
- Limadora

- Torno
- Mandrinadora
- Brochadora

Cada una de ellas tiene una función específica, e incluso algunas pueden realizar varias funciones diferentes, según configuraciones.

### 3.1.2. Corte Ortogonal

La geometría del corte en los procesos de mecanizado puede ser muy compleja y difícil de describir por lo que, al igual que en otros muchos estudios recientes, en este Trabajo Fin de Máster se simplificará la problemática utilizando el corte ortogonal para estudiar el desgaste. En este caso la velocidad de corte es perpendicular al filo de corte, y se corresponde con el corte oblicuo para el ángulo de inclinación  $\lambda = 0^\circ$ , si se sigue el esquema de la figura:

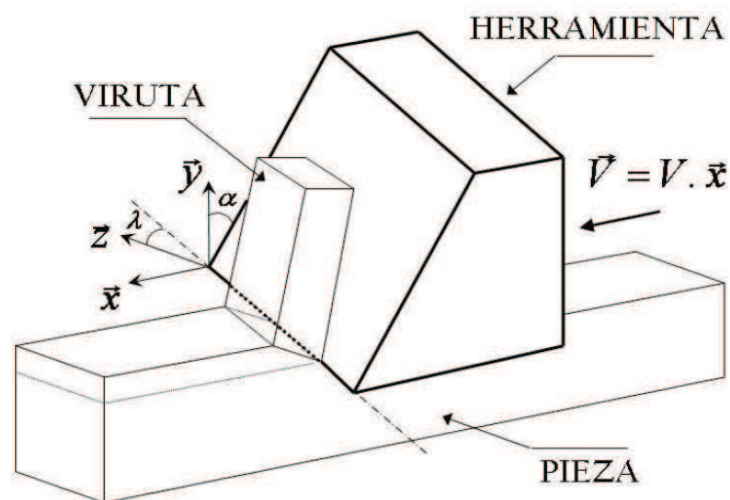


Figura 3.2: Esquema de corte oblicuo.

En la siguiente figura se observa el esquema del corte ortogonal con las características geométricas:

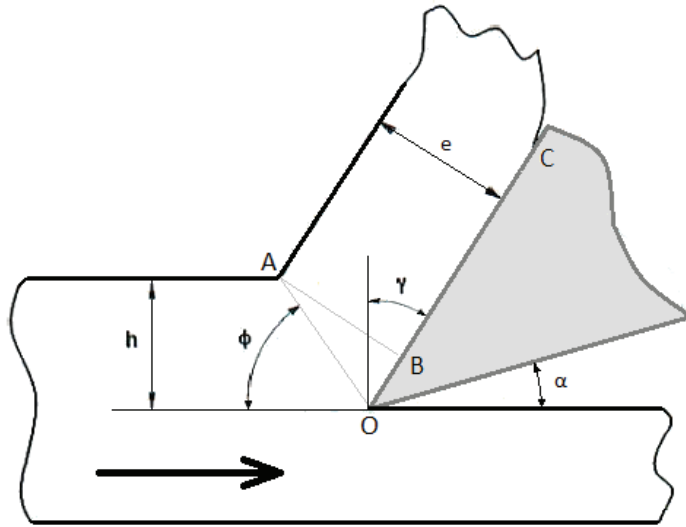


Figura 3.3: Corte ortogonal.

Siendo:

$h$ : espesor de viruta indeformada. Es el espesor de la viruta antes de ser cortada.

$e$ : espesor de viruta deformada. Como su nombre indica, es el espesor de la viruta una vez cortada.

$\gamma$ : ángulo de desprendimiento. Ángulo formado entre la cara de desprendimiento y la normal a la superficie de la pieza.

$\alpha$ : ángulo de incidencia. Ángulo formado entre la cara de incidencia y la superficie mecanizada.

$\overline{AO}$ : plano de deslizamiento. En este plano se da la zona de deformación plástica primaria y cizallamiento.

$\overline{AC}$ : zona de contacto entre viruta y herramienta. Es la zona secundaria de corte.

$\phi$ : ángulo de deslizamiento. Ángulo formado por la superficie de la pieza y el plano de deslizamiento.

La flecha en la figura 3.3 indica la velocidad relativa y el sentido de desplazamiento de la pieza con respecto de la herramienta.

## 3.2. Desgaste

El fenómeno del desgaste no es sencillo por varios motivos, entre ellos que es interdisciplinar y multifactorial, como se ha comentado antes. Se explica a continuación los principales mecanismos y tipos de desgaste, así como algunos de los modelos que se utilizan para explicar el desgaste.

### 3.2.1. Mecanismos de desgaste

En el corte ortogonal antes descrito se dan unos mecanismos de desgaste diferentes según materiales de herramienta y pieza y condiciones de corte. Se describen a continuación los principales mecanismos de desgaste en el corte ortogonal:

**Abrasivo:** el que se da donde hay contacto y desplazamiento relativo, depende de la velocidad y las durezas de los materiales en contacto.

**Adhesivo:** el que se da bajo altas temperatura y presión, produciéndose soldaduras, pudiendo generar rebaba o virutas en el acabado.

**Corrosivo:** puede darse por las altas temperaturas que alcanzan los materiales y la presencia de oxígeno ambiental.

**Difusivo:** el que se da bajo alta temperatura y velocidades relativas, al ocurrir el fenómeno de difusión entre los materiales en contacto, pudiendo afectar a la dureza de la herramienta, haciendo ésta más débil frente a otros mecanismos.

En la siguiente figura se puede observar los diferentes mecanismos y dónde se localizan principalmente:

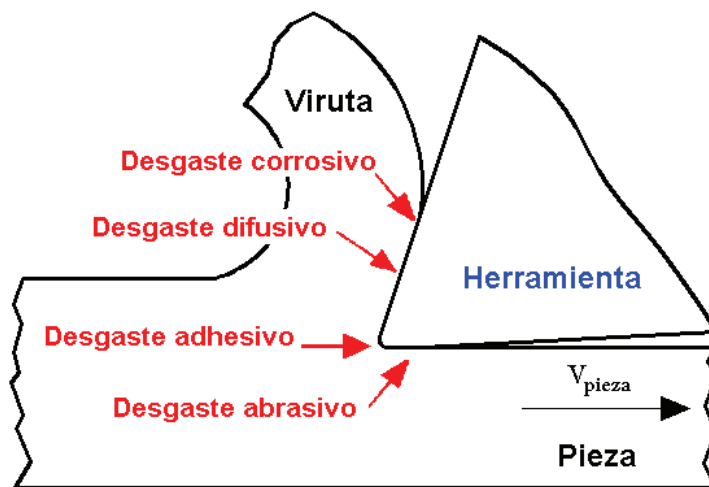


Figura 3.4: Distribución aproximada de mecanismos de desgaste.

### 3.2.2. Tipos de desgaste

En el proceso del corte ortogonal se dan a la vez varios mecanismos de desgaste, lo que a su vez origina varios tipos de desgaste. Según las condiciones de corte y los materiales que se usen, se darán en mayor o menor proporción. Se describen a continuación los más usuales:

**Desgaste de flanco:** se presenta en el flanco o superficie de incidencia de la herramienta, causado principalmente por los mecanismos abrasivo y adhesivo.

**Desgaste de cráter:** se presenta en la superficie de ataque, causado por mecanismos de desgaste difusivo, además de abrasivo y adhesivo.

**Desgaste de muesca:** se presenta en la zona de contacto de la herramienta con la superficie libre de la pieza.

**Escoriación (chipping):** pérdida de pequeñas astillas en el filo de corte. Se puede dar en procesos de corte intermitente.

**Fractura:** pérdida del filo de corte. Se da en herramientas muy gastadas o que han sufrido condiciones muy duras.

En este Trabajo se estudia el desgaste mediante un modelo bidimensional continuo, por lo que sólo de interés los desgastes de flanco y cráter. En la siguiente figura se muestran algunos tipos de desgaste más frecuentes:

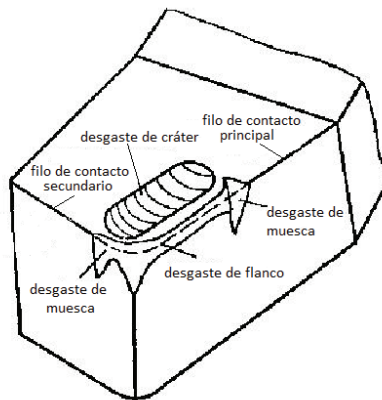


Figura 3.5: Tipos de desgaste más frecuentes.

### 3.2.3. Modelos de desgaste

La modelización de un fenómeno tiene por fin último la descripción de sus características en función de una serie de variables. En lo referente al desgaste, se pretende entender y desarrollar cómo evolucionan los diferentes tipos de desgaste, y cómo afectan las variables geométricas y de corte en la distribución e intensidad del desgaste en la herramienta. En el capítulo de Estado del Arte se han indicado varios modelos de desgaste, que se proceden a describir someramente.

**Ecuación de Archard**

Archard propone una ecuación cuya aplicación actual tiene esta forma:

$$\frac{dW}{dt} = K \frac{p^a \cdot v^b}{H^c}$$

Siendo:

- $\frac{dW}{dt}$ : el volumen de material retirado por unidad de tiempo.
- $p$ : la presión en la zona de contacto.
- $v$ : la velocidad de deslizamiento.
- $H$ : la dureza de la herramienta.
- $K, a, b, c$ : coeficientes calibrados experimentalmente.

Esta ecuación modela de forma correcta procesos discretos como la forja, en los que el desgaste dominante es el abrasivo. Para procesos continuos hay modelos más adecuados, pero en algunos casos se sigue utilizando.

**Modelo de Takeyama y Morata**

El modelo que proponen Takeyama y Morata es el siguiente:

$$\frac{dW}{dt} = G(v, f) + D \cdot \exp\left(\frac{-E}{R \cdot T}\right)$$

Siendo:

- $\frac{dW}{dt}$ : el volumen de material retirado por unidad de tiempo.
- $v$ : la velocidad de corte.
- $f$ : el avance por vuelta (del inglés *feed*).
- $G$ : función de la velocidad y el avance., depende del material.
- $D$ : constante experimental.
- $E$ : Energía de activación del proceso.
- $R$ : constante universal de los gases.
- $T$ : Temperatura.

En este modelo se tienen en cuenta el desaste abrasivo, como en la ecuación de Archard, y el difusivo.

### Modelo de Usui

El modelo de Usui es el siguiente:

$$\frac{dW}{dt} = A \cdot \sigma_n \cdot V_s \exp\left(\frac{-B}{T}\right)$$

Siendo:

- $\frac{dW}{dt}$ : el volumen de material retirado por unidad de tiempo.
- $\sigma_n$ : tensión normal.
- $V_s$ : la velocidad de deslizamiento.
- $T$ : la temperatura en la interfase.
- $A, B$ : coeficientes calibrados experimentalmente.

Este modelo es adecuado para procesos continuos, como el torneado, en los que el desgaste adhesivo es dominante. Será el utilizado para las simulaciones en el presente Trabajo.

### Modelo de Huang

El modelo de Huang incluye el efecto de 3 mecanismos de desgaste: abrasivo, adhesivo y difusivo. Para ello utiliza varios coeficientes. Si se ajusta para obtener el desgaste de flanco, se obtiene lo siguiente[6]:

$$\begin{aligned} \frac{dW}{dt} = & \left[ K_{abrasivo} \cdot K \cdot \left( \frac{P_a^{n-1}}{P_t^n} \right) \cdot VB + K_{adhesivo} \cdot \exp(a \cdot T) \right] \cdot V_c \cdot \sigma_n \cdot w + \dots \\ & \dots + \left[ K_{difusivo} \cdot \sqrt{V_c \cdot VB} \cdot \exp\left(-\frac{K_Q}{T}\right) \right] \cdot w \end{aligned}$$

Siendo:

- $\frac{dW}{dt}$ : el volumen de material retirado por unidad de tiempo.
- $K_{abrasivo}, K_{adhesivo}, K_{difusivo}, K_Q, a$ : coeficientes desconocidos que dependen de cada combinación de materiales de pieza y herramienta.
- $P_a$ : dureza de las partículas abrasivas.
- $P_t$ : dureza de la herramienta.
- $K, n$ : coeficientes que dependen de la relación  $\frac{P_t}{P_a}$ .
- $V_c$ : velocidad de corte.
- $VB$ : longitud de desgaste de flanco.
- $P_a$ : dureza de las partículas abrasivas.



- $\sigma_n$ : tensión normal en la zona de desgaste de flanco.
- $T$ : la temperatura en la interfase.
- $w$ : ancho de corte.

El hecho de que aúne 3 mecanismos de desgaste no implica, en este caso, mejor ajuste. Hay que considerar que este modelo necesita un gran feedback de la experimentación, pues son muchos los coeficientes que hay que ajustar.