



Ingeniería de Procesos de Fabricación (FAB)

ESPECIALIDAD: MECÁNICA

Profesores:

J. Antonio Travieso Rodríguez

Hernán González Rojas



2

Aspectos generales sobre fabricación



2. Aspectos generales sobre fabricación

Objetivos

- 1 Describir y explicar como evoluciona el mercado, la producción, la fabricación y la organización de la empresa
- 2 Conocer la definición de un proceso de fabricación y los factores involucrados.
- 3 Conocer y clasificar los diferentes materiales utilizados en fabricación.
- 4 Conocer la clasificación según norma DIN de los diferentes procesos de fabricación.



2. Aspectos generales sobre fabricación

Factores de evolución en la fabricación

Se produce a través del cambio en tres ejes:

1. Evolución del mercado
2. Evolución de la producción
3. Evolución de la tecnología



2. Aspectos generales sobre fabricación

Factores de evolución en la fabricación

1. Evolución del mercado

A través de mecanismos como la innovación, globalización, particularización o la disponibilidad.

Acortamiento de ciclo de vida.

<https://www.youtube.com/watch?v=uGAghAZRMyU> (min 8)

<http://www.centennialbulb.org/cam.htm>

Mundialización de la producción, la distribución, los mercados, la competencia y la innovación.

Diversificación de los usuarios y demanda de mayor variedad de líneas de productos, y calidad y fiabilidad

Menor fidelidad de los clientes. Clientes más sofisticados.



2. Aspectos generales sobre fabricación

Factores de evolución en la fabricación

2. Evolución de la producción

Fábrica Tradicional

Variedad limitada de productos
Diseños de larga vida para los productos
Grandes factorías
Plantas centralizadas
Los stocks para desacoplar
Proceso por lotes
Cadenas equilibradas
No dejar que se pare el trabajo
Inspección de calidad
Enriquecimiento del puesto de trabajo
Gestión con información por excepción

Fábrica Moderna

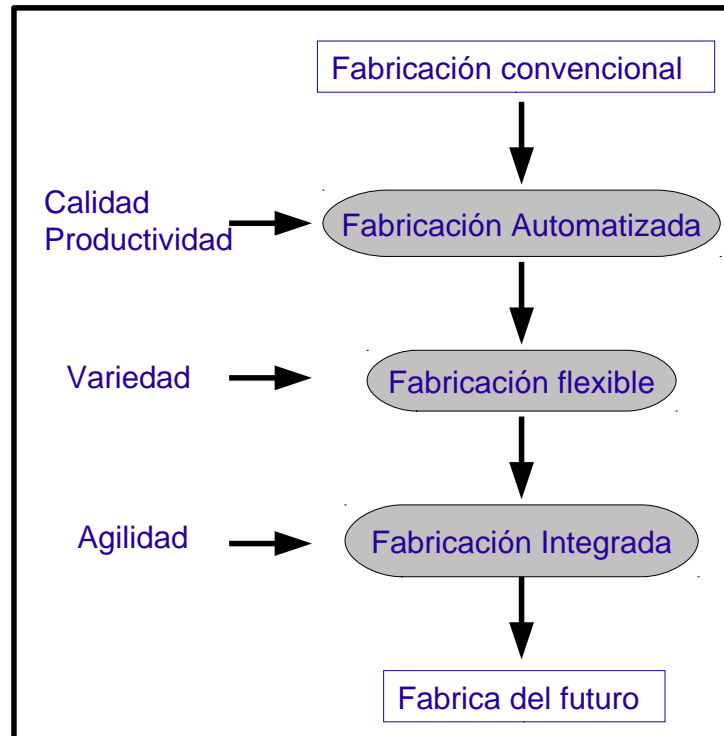
Gran variedad de línea de productos
Rápido cambio del diseño de los productos
Plantas menores
Plantas descentralizadas
Stock cero
Flujos continuos
Producción bajo demanda
Mantener los equipos
Hágalo bien la primera vez
Operaciones sin personal
Gestión información-intensiva



2. Aspectos generales sobre fabricación

Factores de evolución en la fabricación

3. Evolución de la producción

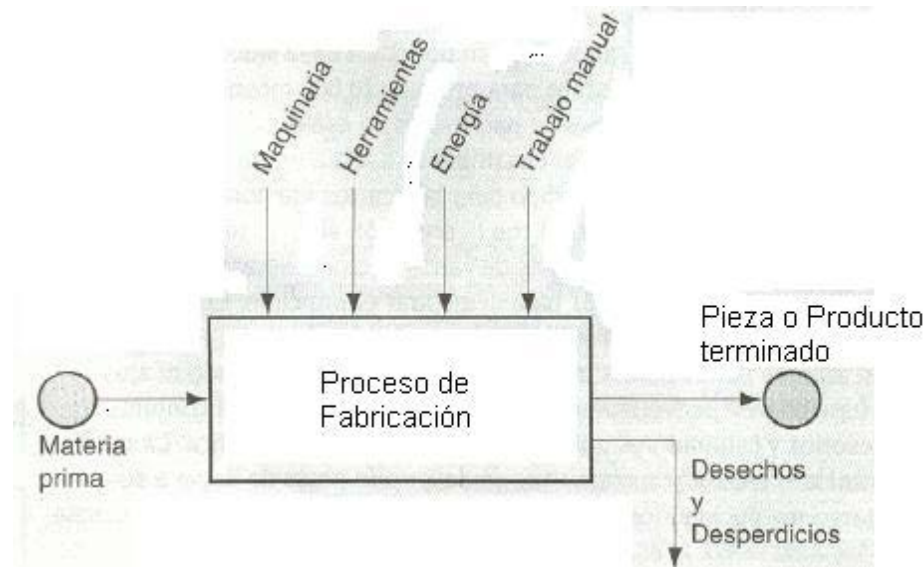




2. Aspectos generales sobre fabricación

Definición de proceso de fabricación

Conjunto de **procesos químicos y físicos** que alteran la geometría y las propiedades de un material para **elaborar piezas o productos** terminados. Incluye el ensamble de piezas para fabricar productos terminados (Groover, 1997)





2. Aspectos generales sobre fabricación

Factores involucrados en los procesos de fabricación

MATERIALES

Es necesario conocer las propiedades físicas relevantes, de los materiales que serán usados en y para la fabricación.

MÁQUINAS

Se operarán en función de una serie de parámetros de fabricación:

-ARRANQUE DE VIRUTA

parámetros de corte

-TREFILADO

deformación máxima admisible

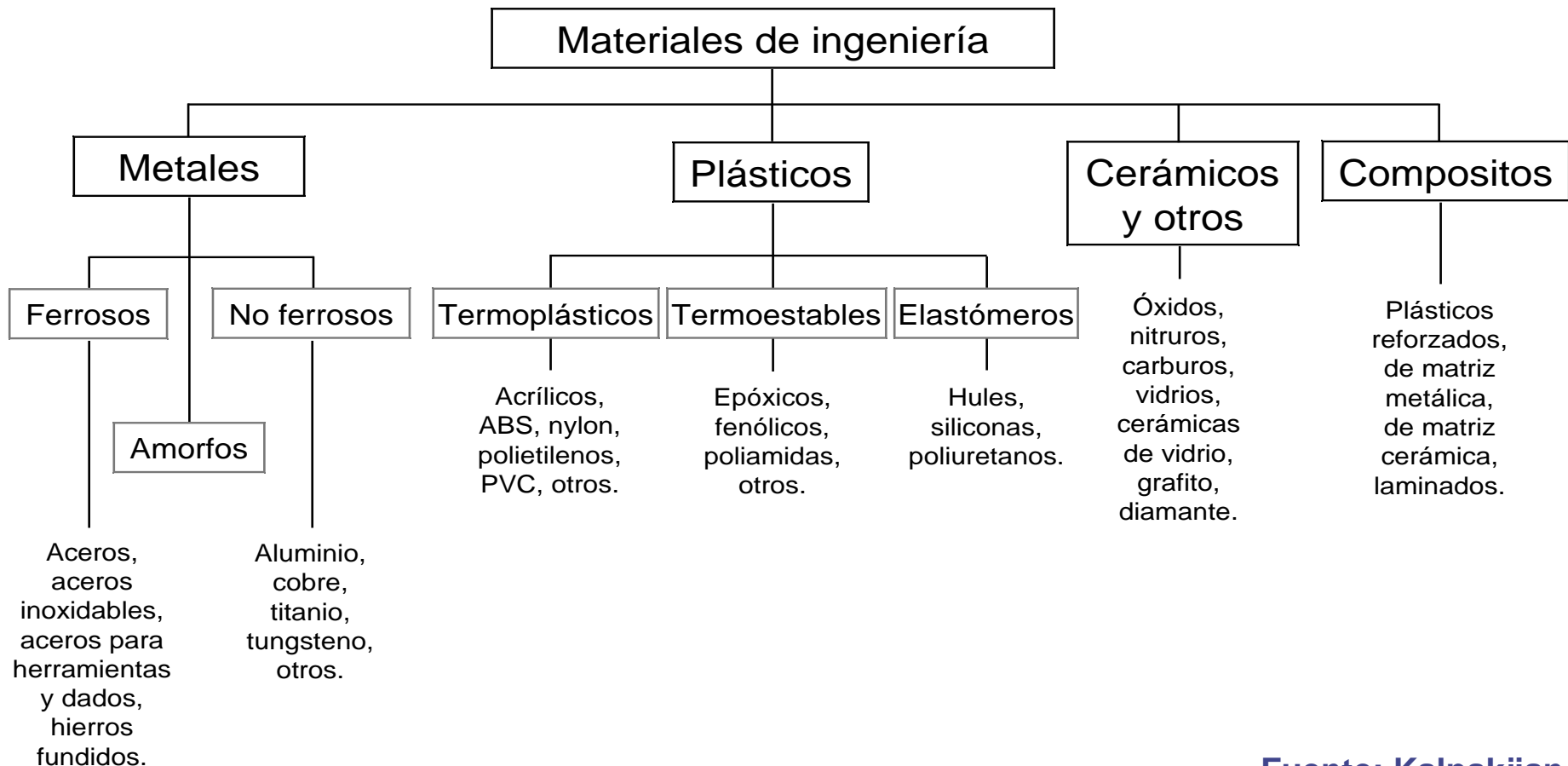
-INYECCIÓN

tiempo de enfriamiento



2. Aspectos generales sobre fabricación

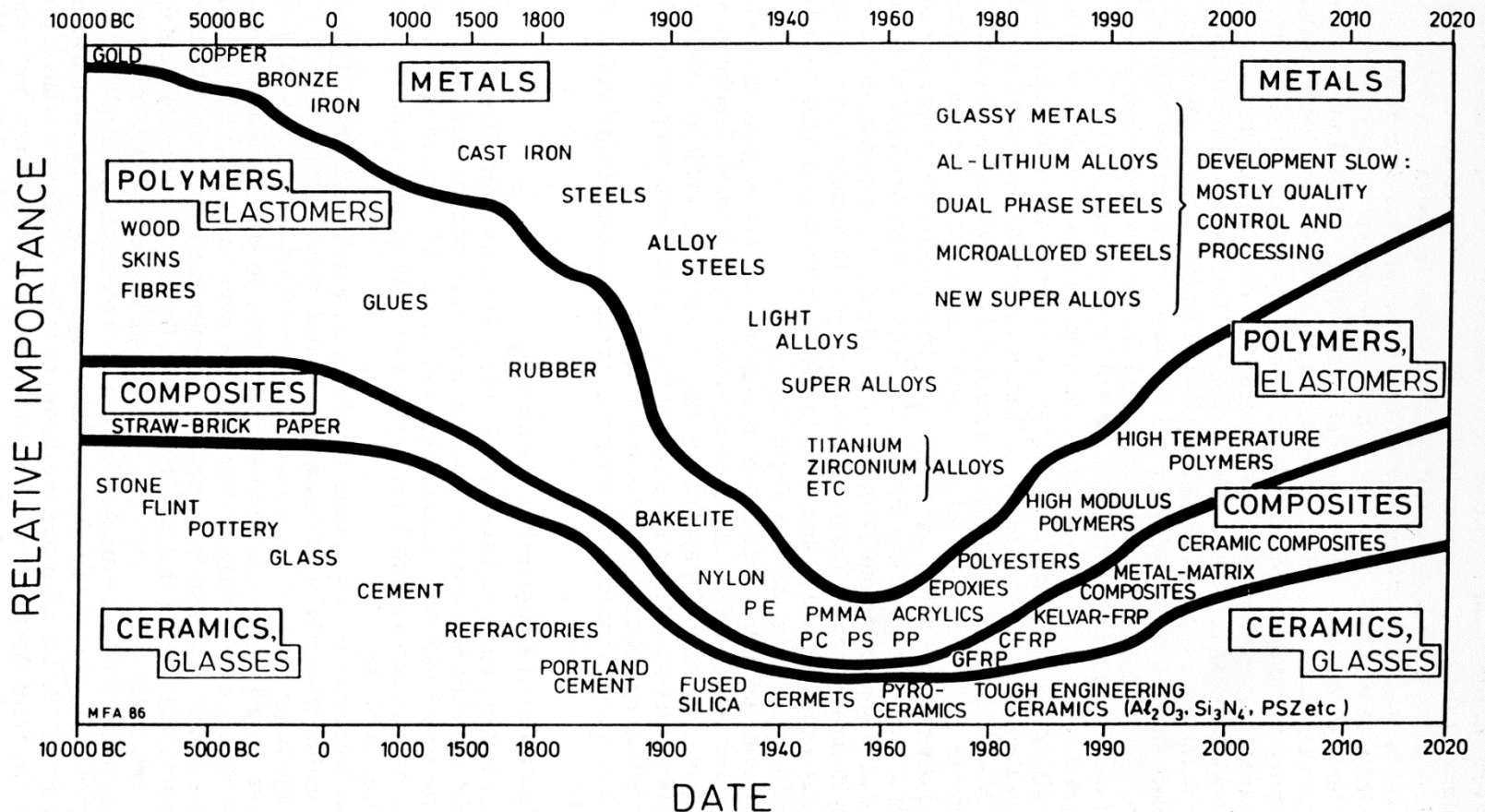
Factores involucrados en los procesos de fabricación: materiales





2. Aspectos generales sobre fabricación

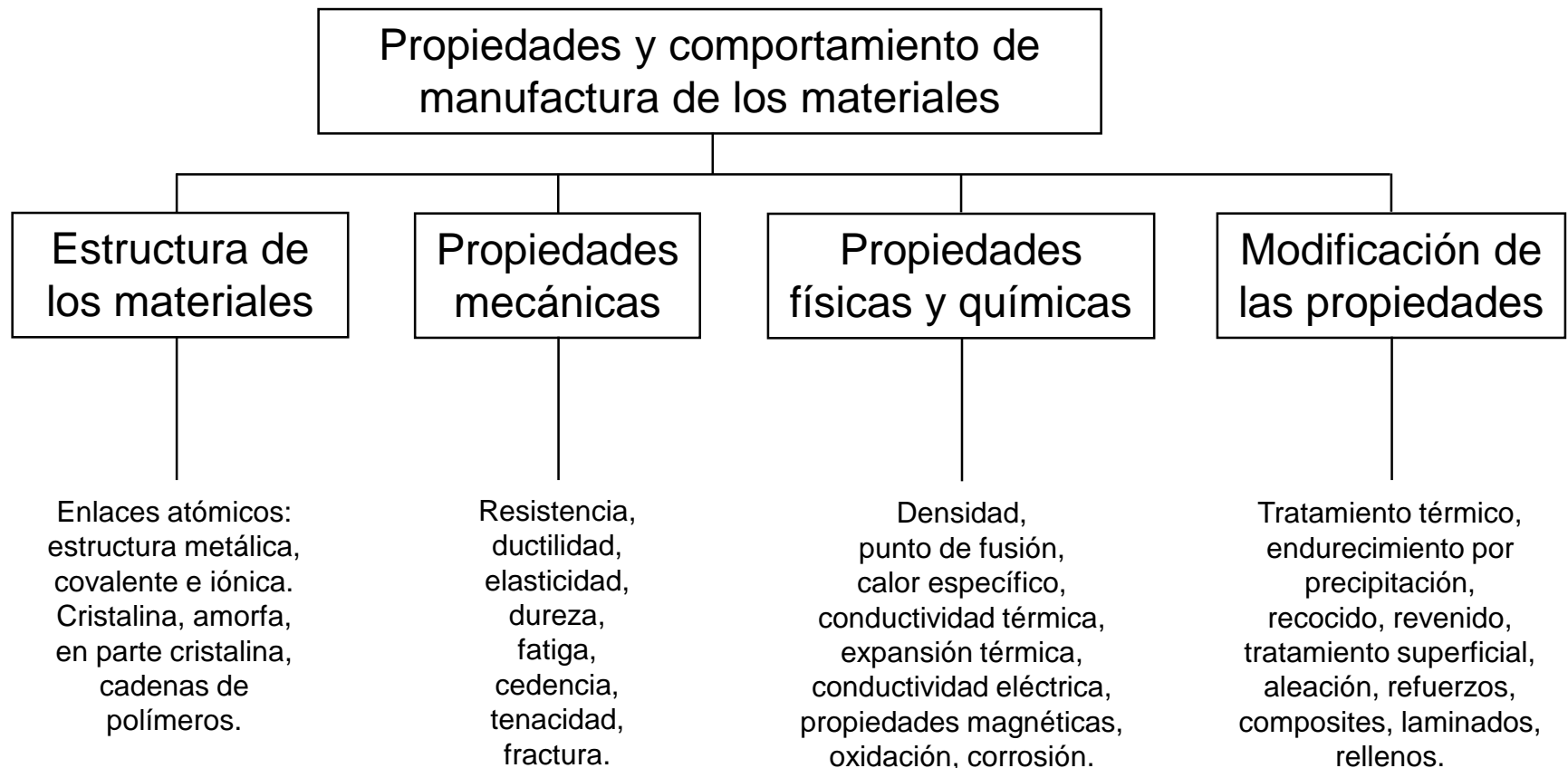
Factores involucrados en los procesos de fabricación: materiales





2. Aspectos generales sobre fabricación

Factores involucrados en los procesos de fabricación: materiales





2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

Unión de partes

Tratamientos superficiales

Tratamientos térmicos



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

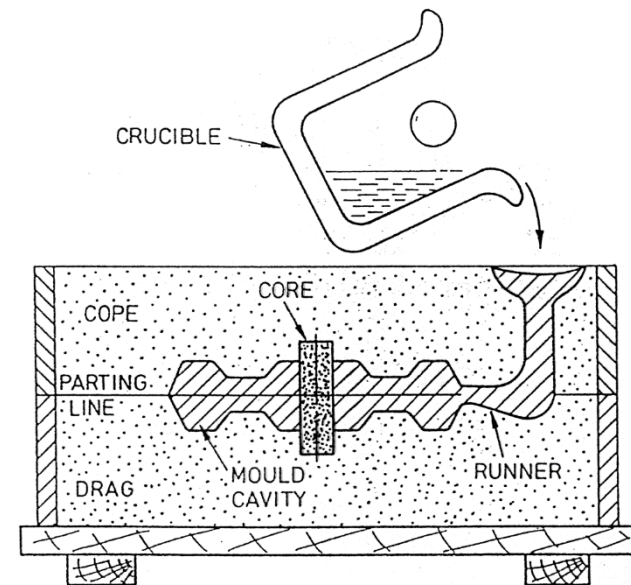
Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

Unión de partes

Tratamientos superficiales

Tratamientos térmicos



Colada. Fundición con molde de arena



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

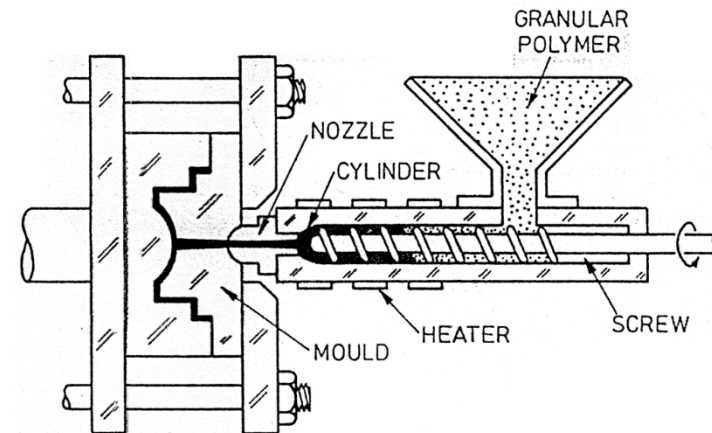
Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

Unión de partes

Tratamientos superficiales

Tratamientos térmicos



Inyección de plásticos



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

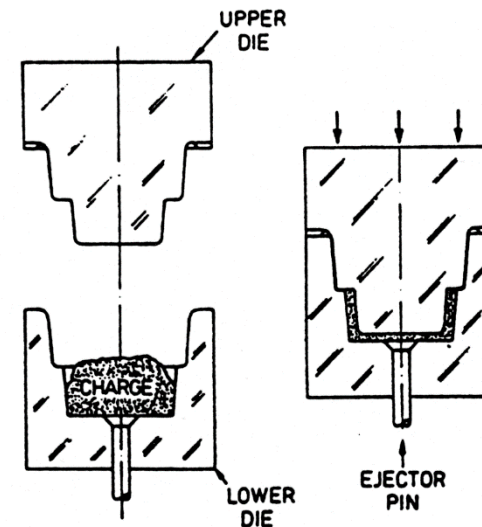
Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

Unión de partes

Tratamientos superficiales

Tratamientos térmicos



Moldeo de plásticos



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

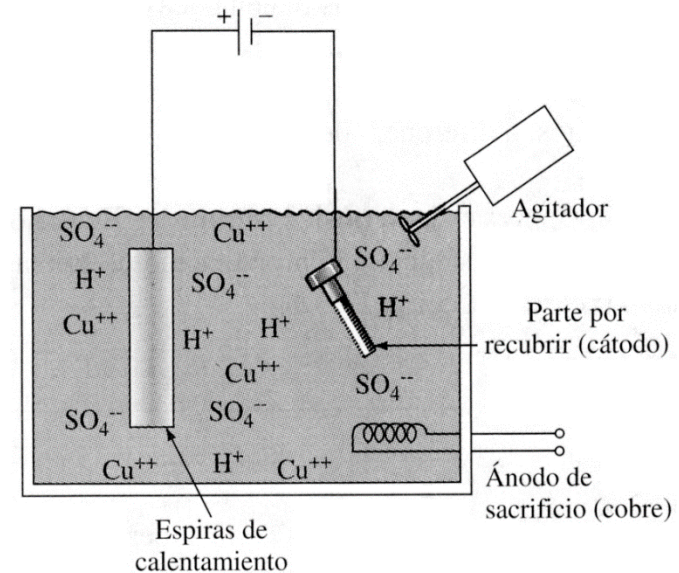
Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

Unión de partes

Tratamientos superficiales

Tratamientos térmicos



Deposición electrolítica



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

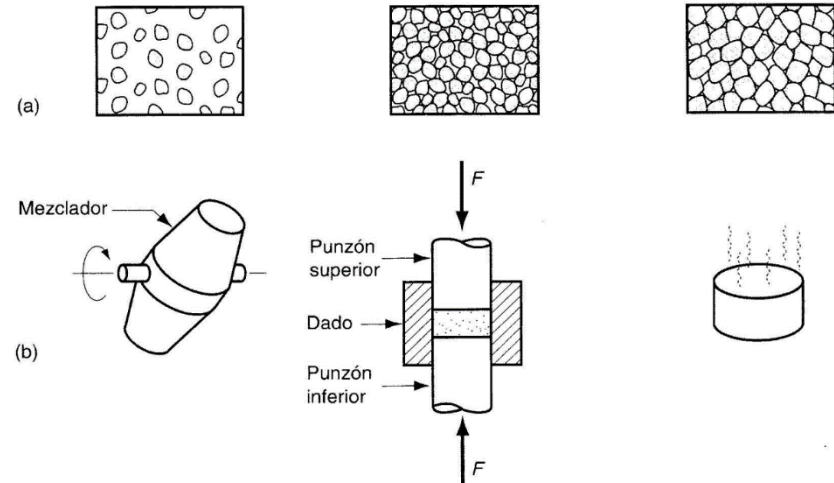
Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

Unión de partes

Tratamientos superficiales

Tratamientos térmicos



Sinterizado de polvos



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

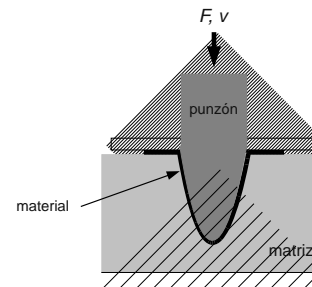
Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

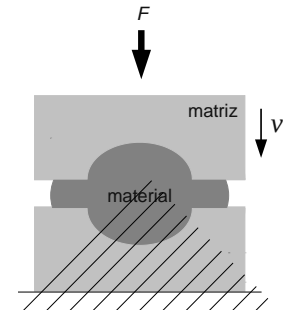
Unión de partes

Tratamientos superficiales

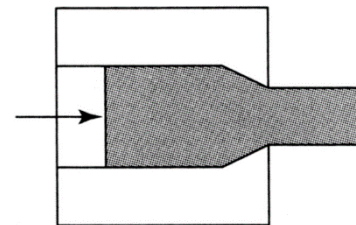
Tratamientos térmicos



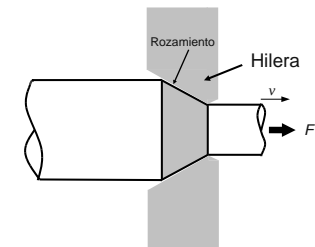
Embutición



Estampado



Extrusión



Trefilado



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

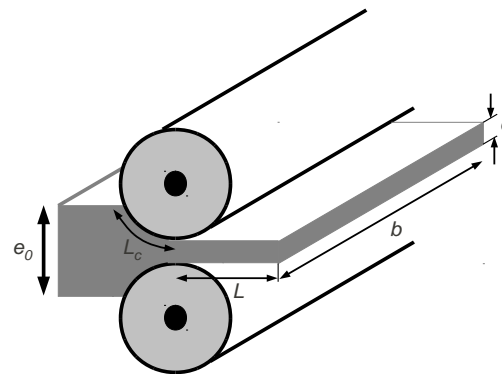
Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

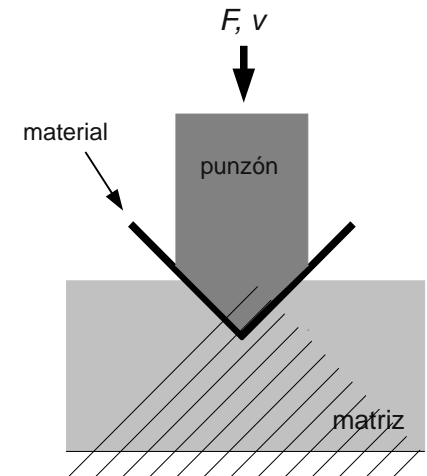
Unión de partes

Tratamientos superficiales

Tratamientos térmicos



Laminado



Doblado



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

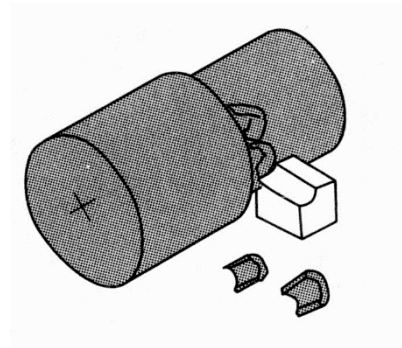
Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

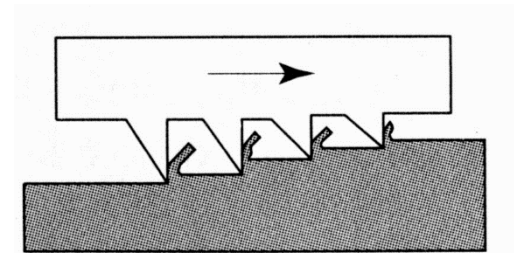
Unión de partes

Tratamientos superficiales

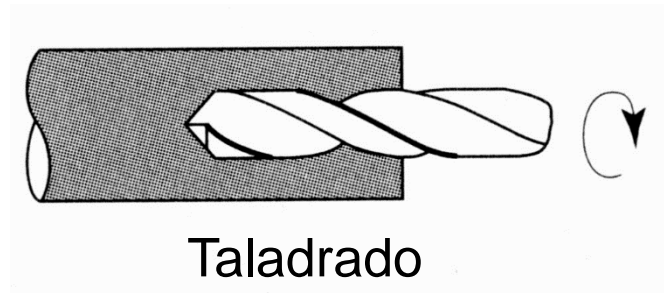
Tratamientos térmicos



Torneado



Cepillado



Taladrado



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

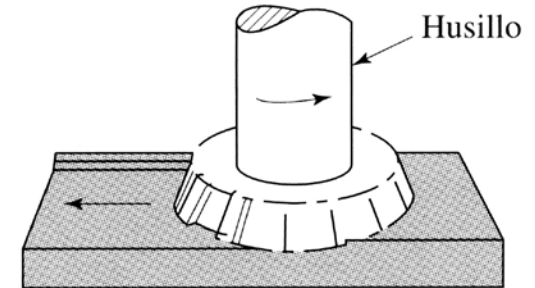
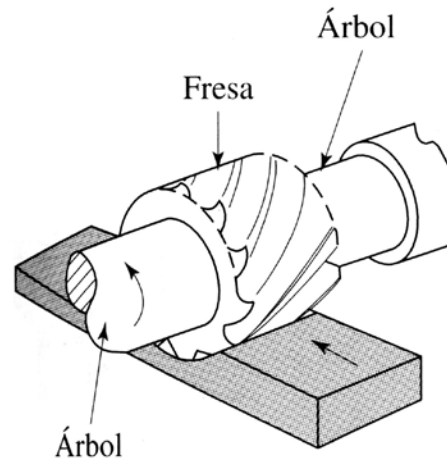
Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

Unión de partes

Tratamientos superficiales

Tratamientos térmicos



Fresado



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

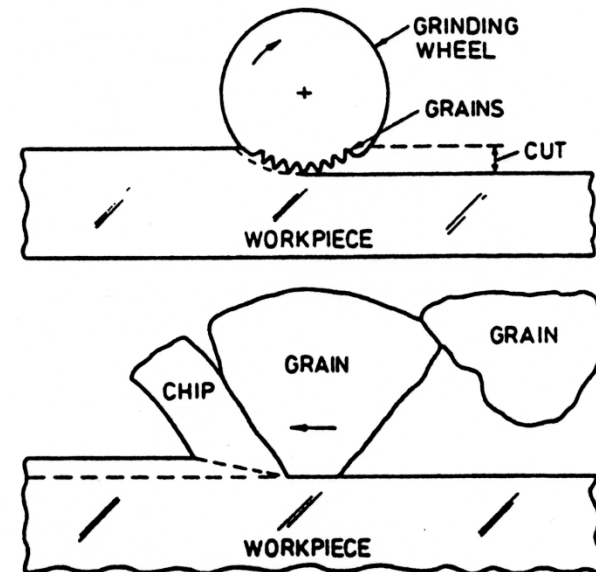
Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

Unión de partes

Tratamientos superficiales

Tratamientos térmicos



Rectificado



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

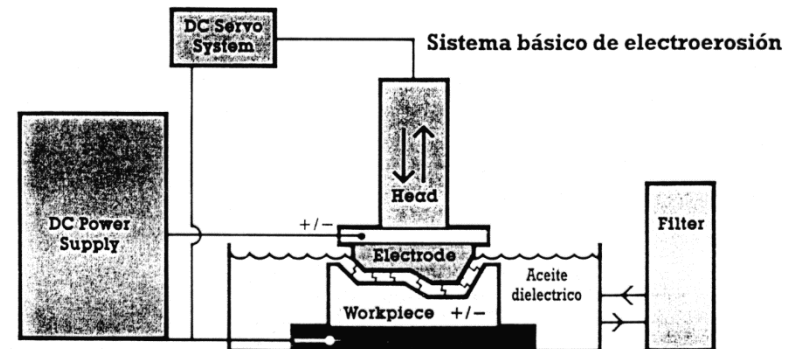
Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

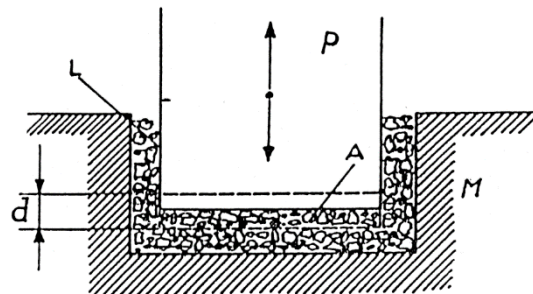
Unión de partes

Tratamientos superficiales

Tratamientos térmicos



Electroerosión



Ultrasonido



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

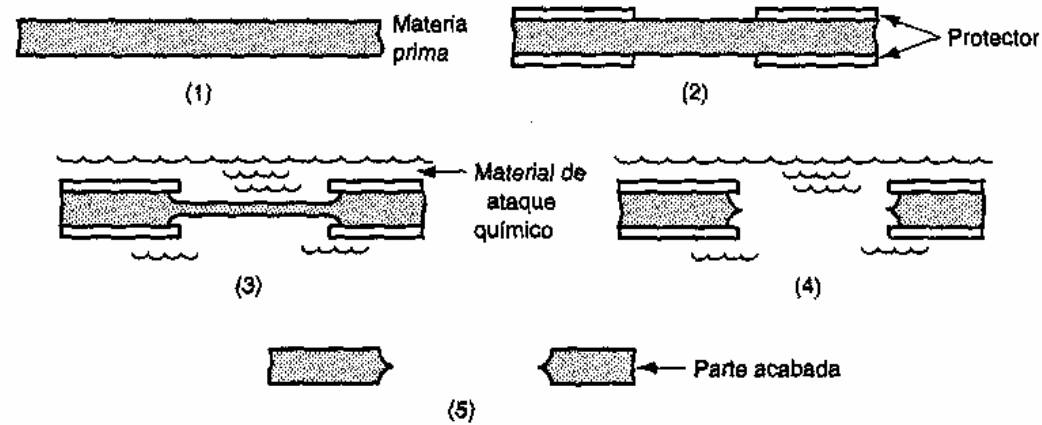
Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

Unión de partes

Tratamientos superficiales

Tratamientos térmicos



Acción química



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

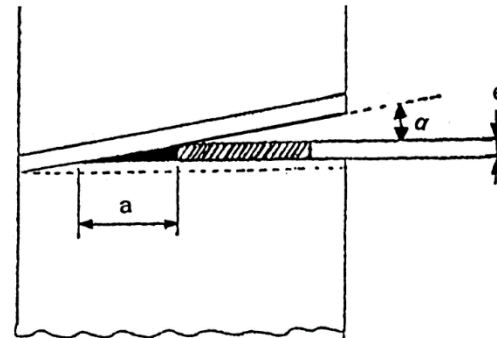
Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

Unión de partes

Tratamientos superficiales

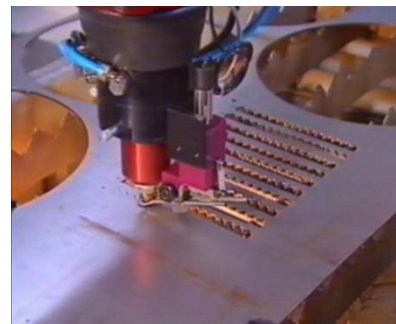
Tratamientos térmicos



Cizalla



Corte por chorro de agua



Corte por láser



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

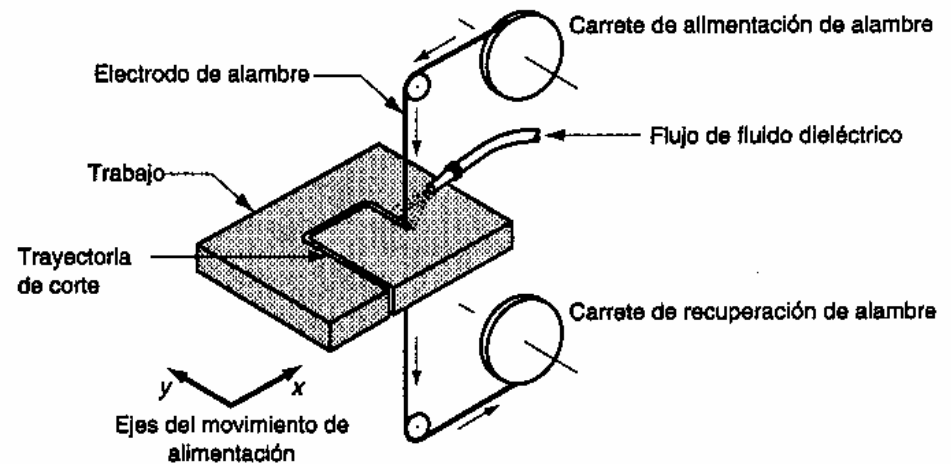
Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

Unión de partes

Tratamientos superficiales

Tratamientos térmicos



Electroerosión con hilo



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

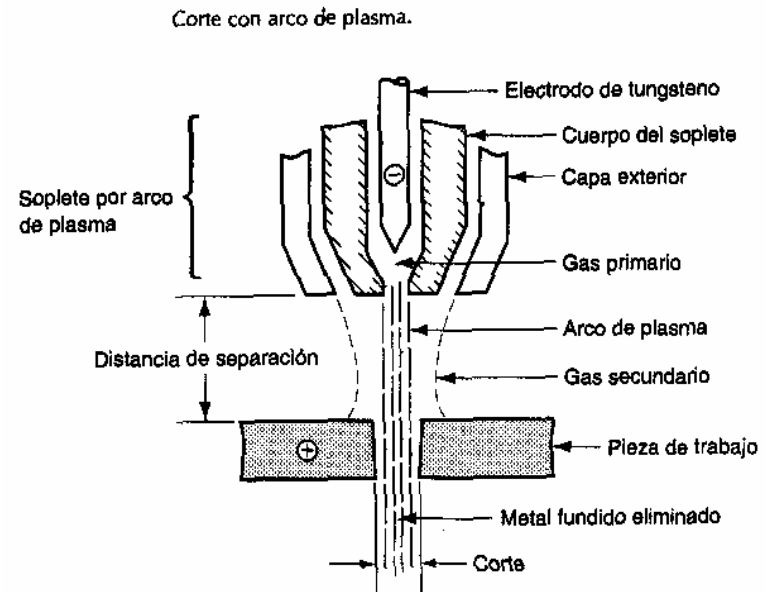
Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

Unión de partes

Tratamientos superficiales

Tratamientos térmicos



Corte con plasma



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

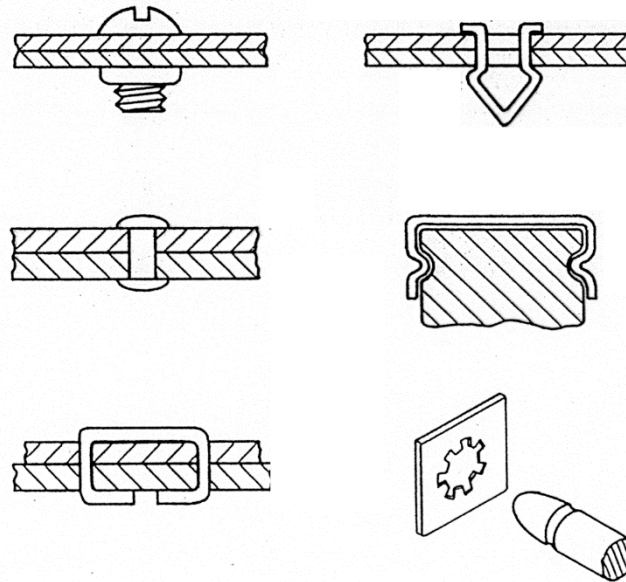
Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

Unión de partes

Tratamientos superficiales

Tratamientos térmicos



No permanentes



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

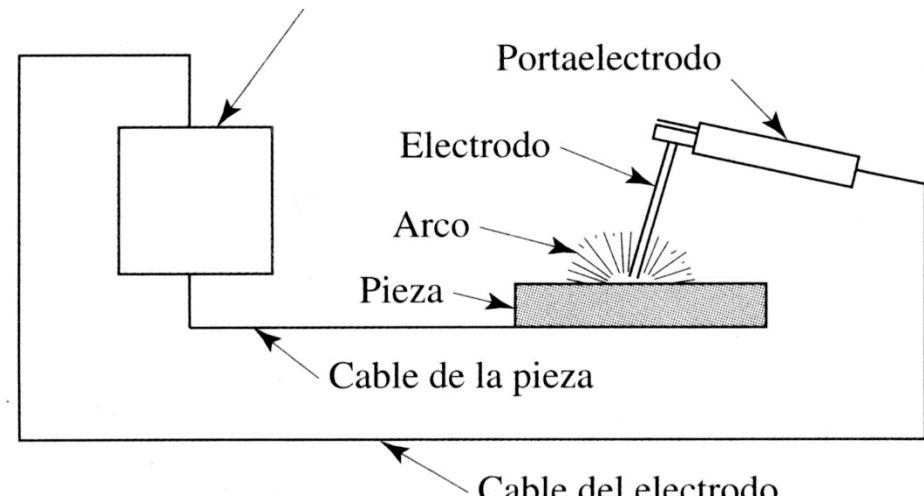
Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

Unión de partes

Tratamientos superficiales

Tratamientos térmicos



Permanentes



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

Unión de partes

Tratamientos superficiales

Tratamientos térmicos

Limpieza

mecánica o química

Pulido

Granallado, bruñido, láser...

Protección

Esmaltado, plastificados, anodizado,
deposición electroquímica...



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación

Criterios de clasificación

Aumento de la cohesión

Mantenimiento de la cohesión

Reducción de la cohesión

Unión de partes

Tratamientos superficiales

Tratamientos térmicos

Normalizado

Recocido

Temple

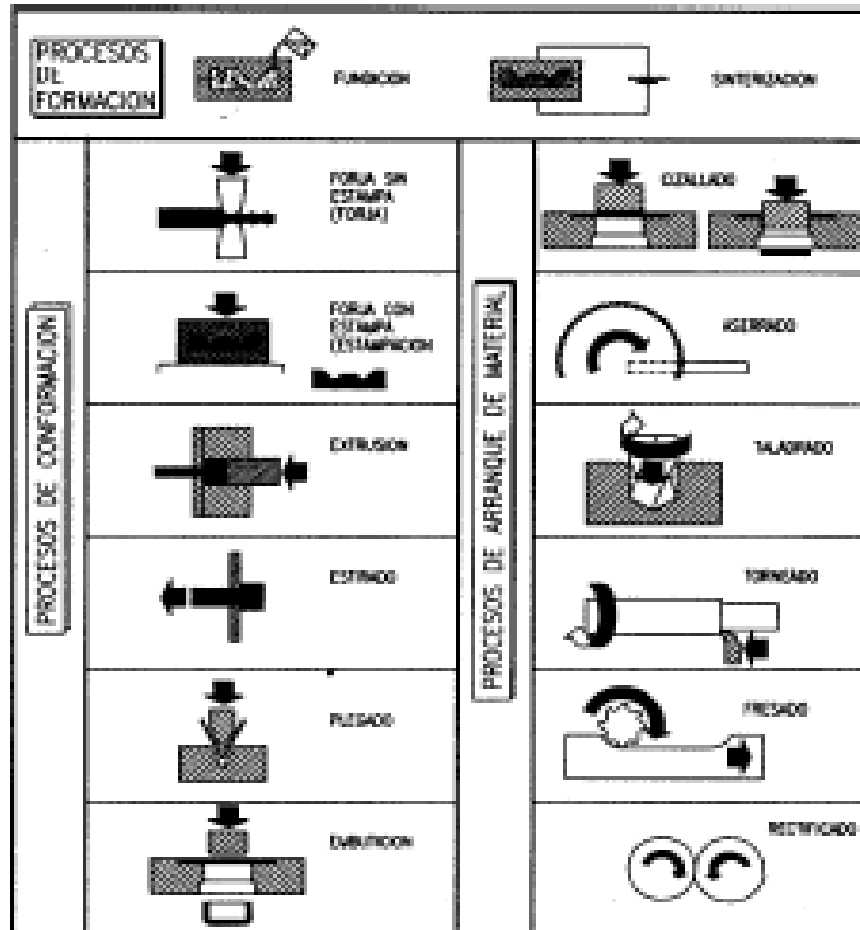
Revenido

Nitruración, carbonitruración, cementación...



2. Aspectos generales sobre fabricación

Clasificación DIN 8580 de los procesos de fabricación





Tema 2: Metrología y Calidad

1. Conceptos básicos
2. Características de la fabricación artesanal y en serie
3. Intercambiabilidad de un producto o artículo
4. Fabricación con Tolerancias
5. Propiedades mecánicas del material
6. Propiedades superficiales: Rugosidad Superficial





Objetivos específicos a lograr

- 1 Entender porqué se debe fabricar con tolerancias.
- 2 Conocer las magnitudes que definen una pieza desde el punto de vista de la fabricación.
- 3 Conocer y poder aplicar los dos tipos básicos de fabricación.
- 4 Definir tolerancias y ajustes en piezas a fabricar.
- 5 Evaluar la influencia de la temperatura en los ajustes.
- 6 Entender y realizar operaciones con cotas.



Características de la fabricación artesana

- Cada mecanismo o montaje se fabrica individualmente
- Las piezas se fabrican para una unidad específica de montaje
- No importa la repetitividad
- El conjunto se hace encajar y funcionar correctamente recortando o añadiendo las piezas necesarias
- No importa que las piezas resultantes no se ajusten a los planos



Características de la fabricación en serie

- Cada pieza de un conjunto se fabrica con independencia de las restantes
- Las piezas fabricadas independientemente entre ellas deben acoplar perfectamente, es decir deben ser precisas e intercambiables
- El conjunto debe poder ser montado con cualquier grupo de piezas de la serie
- También se beneficia el recambio de piezas gastadas



Características de la fabricación en serie

- Al principio se fabricaban las piezas y herramientas según series de números pares, múltiplos de 5, etc.

EJEMPLO: 5,10,15,20,25, ... 2000, 2005,2010,2015,2020,2025, ...

- En la actualidad se utilizan las SERIES DE RENARD: Series cuya razón es la raíz :5^a, 10^a, 20^a, 40^a y 80^a de 10 (1,58; 1,259; 1,12; 1,06 y 1,029)

EJEMPLO: Serie de Renard R5: 1; 1,6; 2,5; 4; 6,3; 10 ...1000; 1600;2500;4000 ...

- APLICACIONES: Rotores, cilindros, llantas, cadenas, engranajes, tuberías, llaves, válvulas, cambios de velocidades, tolerancias dimensionales, velocidades de rotación de un torno, capacidad de carga de un automóvil, tolerancias superficiales, etc.



Intercambiabilidad de un producto o artículo

Se define como la **propiedad** que poseen los artículos al ser **producidos aparte o independientemente unos de los otros**, que **posibilita el intercambio** de uno por otro, **sin necesidad de ajuste o elaboración posterior**, garantizándose el **correcto funcionamiento** de éstos según las exigencias técnicas establecidas.

Esto es posible mediante la interdependencia de las actividades de **normalización, metrología y control de la calidad**, que posibilitan la creación de las normas de especificaciones de calidad para un artículo cualquiera.



Fabricación con tolerancias

Fabricar una pieza de dimensiones exactas o verificar una pieza en forma exacta, es imposible.



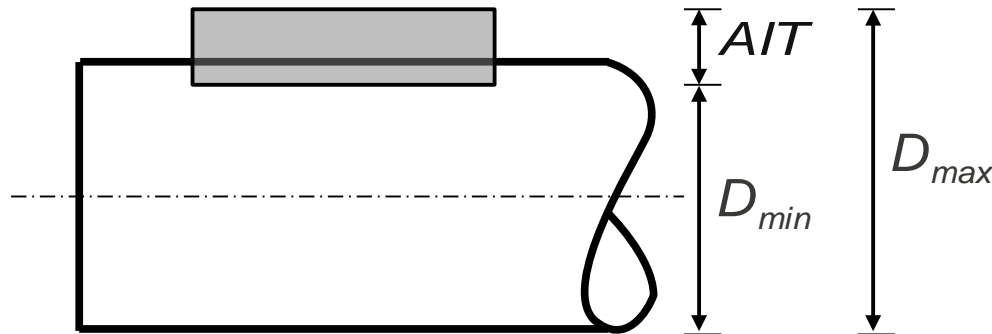
Por tanto:

- ✓ **Fabricar con un error controlado**
- ✓ **Fabricar con tolerancias**



Fabricación con tolerancias

Fabricar con tolerancias significa que el error máximo admisible no debe impedir el uso de las piezas. Las piezas deben estar dentro de un intervalo de tolerancias, el cual tiene una cierta amplitud.



D_{min} : Diámetro mínimo

D_{max} : Diámetro máximo

AIT : Amplitud del intervalo de tolerancia o Tolerancia

$$AIT = D_{max} - D_{min}$$



Fabricación con Tolerancias

En general no es suficiente con especificar las dimensiones de una pieza. Hay que **considerar también la forma o geometría de la pieza.**

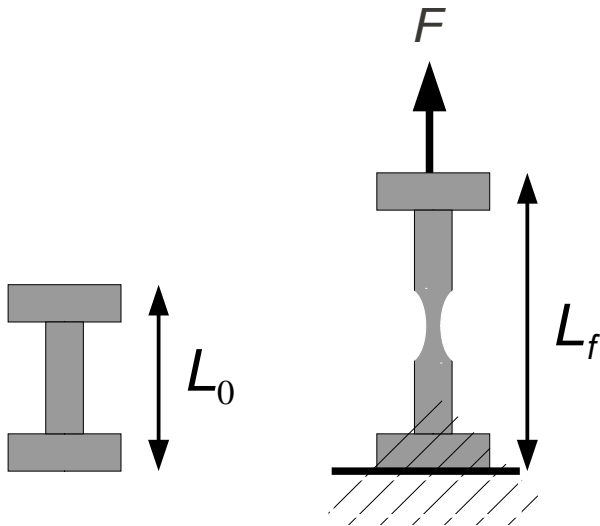
Una **pieza** queda **completamente definida**, desde el punto de vista de la **fabricación**, por tres tipos o familias de magnitudes:

1. **Propiedades del material de la pieza**
2. **Propiedades superficiales de la pieza**
3. **Propiedades geométricas de la pieza**



Propiedades mecánicas del material

Ejemplo: Prueba de tensión deformación hecha en una máquina de tracción universal.



L_0 : Longitud inicial

L_f : Longitud debida a la fuerza de tracción

δL : cambio en longitud debido a la fuerza F

$$\delta L = L_f - L_0$$

Deformación unitaria e

$$e = \frac{\delta L}{L_0}$$

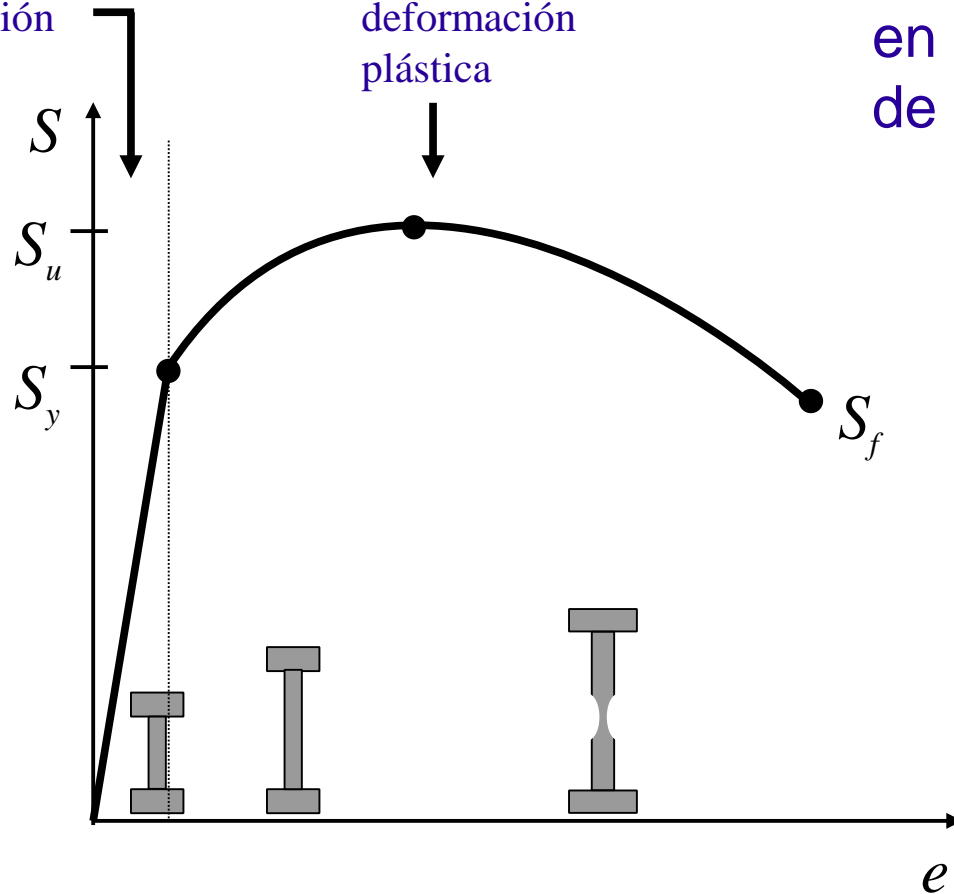
Deformación real ε

$$\varepsilon = \ln \left(\frac{L_f}{L_0} \right)$$



Propiedades mecánicas del material

Zona de deformación elástica



Zona de deformación plástica

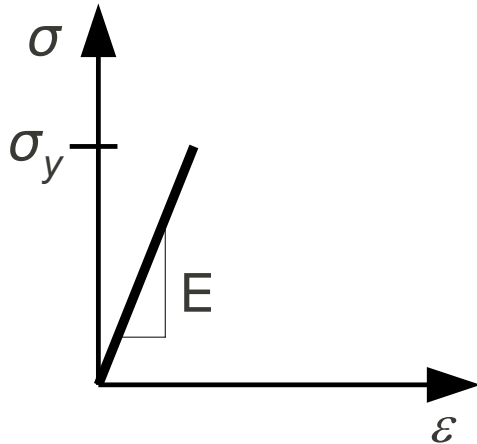
Curva tensión-deformación en un ensayo de tracción de una pieza de acero.

S_y : Tensión de fluencia
 S_u : Tensión máxima
 S_f : Tensión de fractura

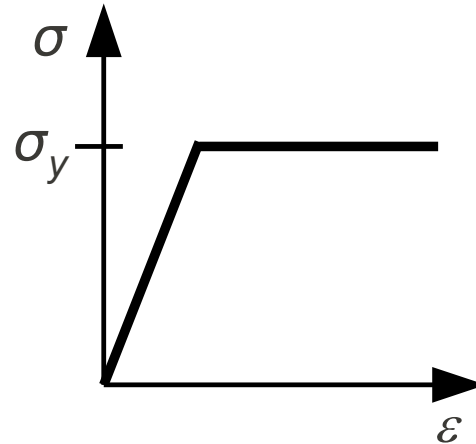


Propiedades mecánicas del material

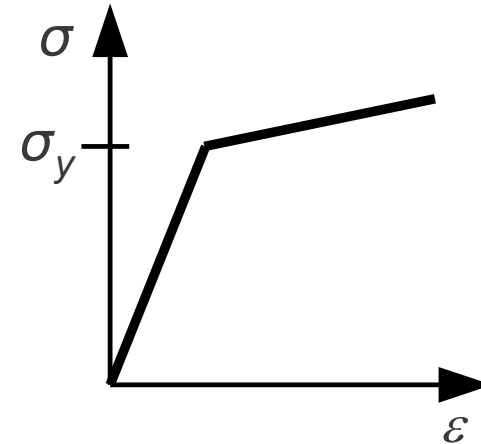
Tipos de gráficas de ensayos de tensión-deformación.



Material :
Elástico Perfecto,
 materiales frágiles:
 •Cerámicas
 •Aceros para moldes



Material :
Elástico y Plástico Perfecto, trabajo en caliente: metales a $T > 0,4 T_{\text{fusión}}$



Material :
Elástico y plástico, trabajo en frío, endurecimiento por deformación: metales a $T < 0,4 T_{\text{fusión}}$



Propiedades mecánicas del material

Ejemplo: La dureza

Se comprueba la dureza a través de una prueba que permite caracterizar el material.

Características de la prueba de dureza

- Es una medida fácil de hacer
- No es destructiva, se puede hacer sobre una pieza fabricada.

Definición de una prueba de dureza:

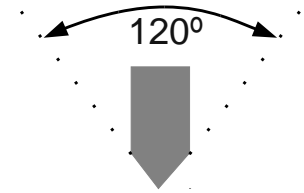
Es una medida de la resistencia de un material a una deformación plástica localizada. O lo que es lo mismo es cuanto resiste un material a ser rallado o penetrado por otro.



Propiedades mecánicas del material

Pruebas de dureza:

- **Brinell (HB):** se indenta la superficie de un material mediante una bola en condiciones controladas. Se controla la magnitud y la tasa de carga.
- **Rockwell:** se indenta la superficie mediante un cono o cono esferoidal.



Existen correlaciones entre dureza y tensión de fractura

Ejemplo: correlación entre dureza Brinell (HB) y la tensión de fractura para un acero 1030.

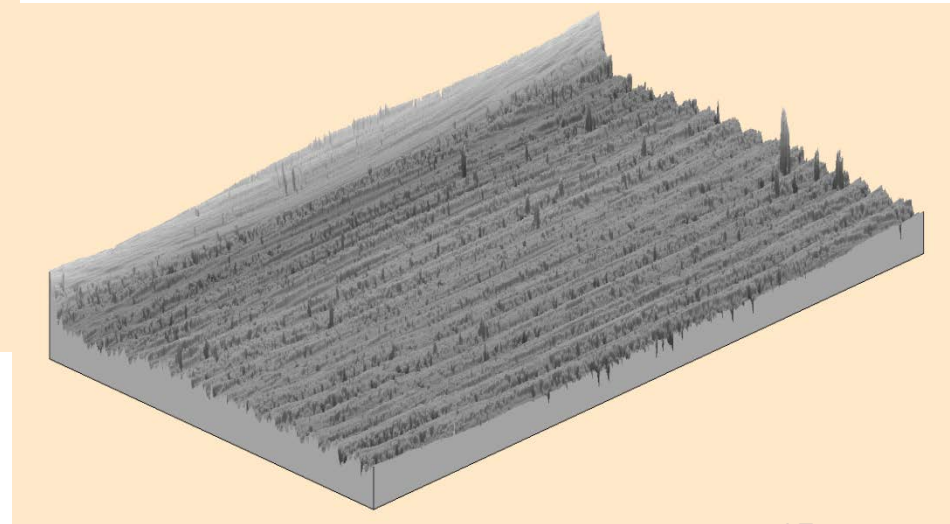
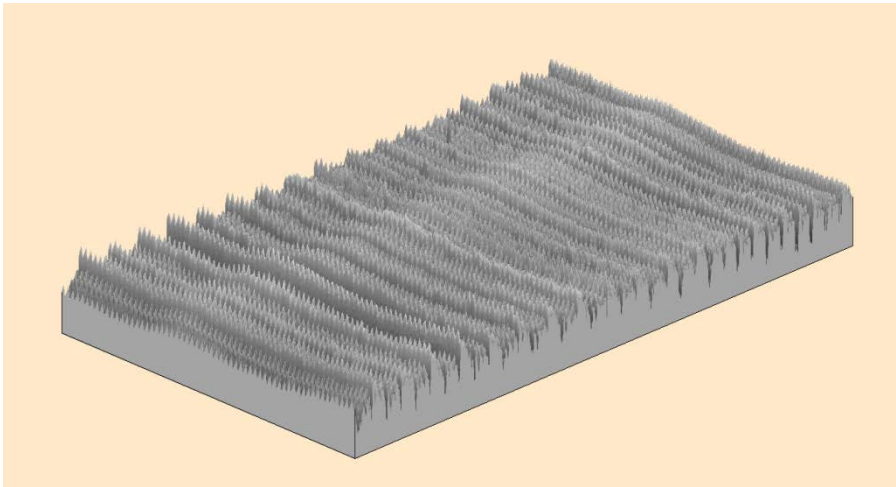
$$S_f = 3,45 \cdot HB \text{ (MPa)}$$



Propiedades superficiales

Ejemplo: La rugosidad superficial

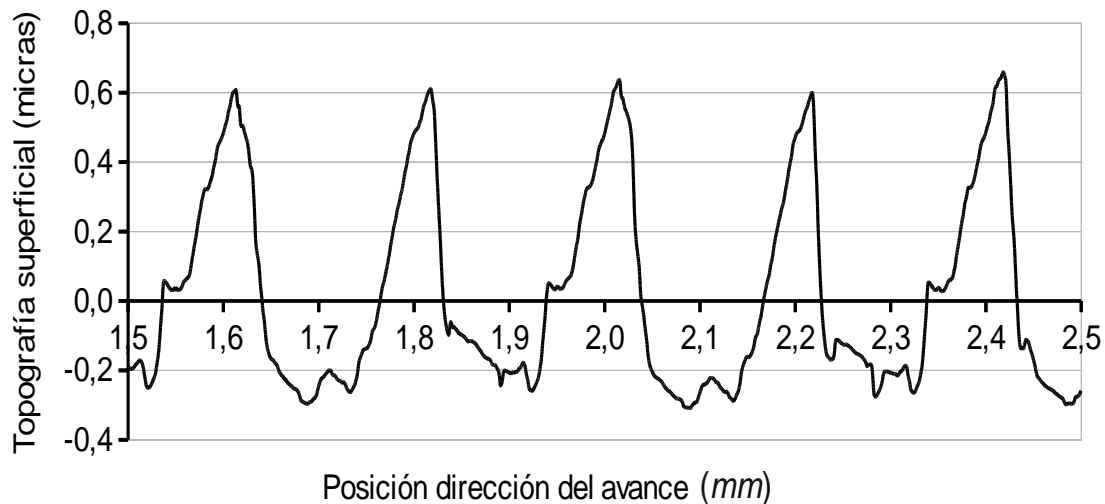
Se define la **rugosidad** de una pieza como las **irregularidades producidas** sobre la **superficie** de esta, por la **acción de haber sido transformada a través de cualquier proceso de fabricación**.



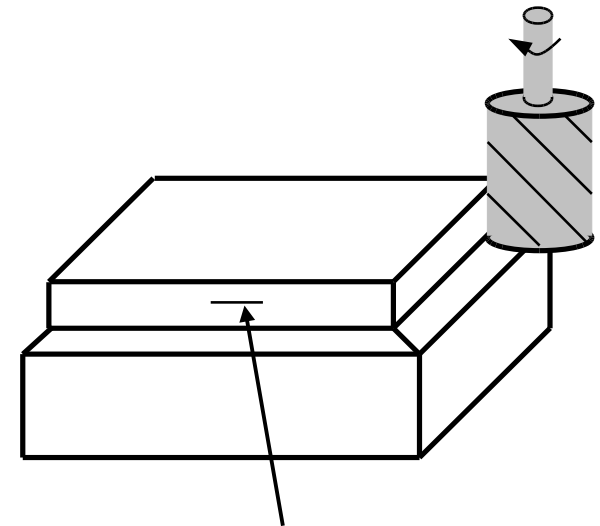


Propiedades superficiales

Topografía superficial de una pieza sobre la cual se ha realizado una operación de contorneado con una fresa cilíndrica.



Fuente: Gráfico obtenido con un equipo para medir rugosidad Taylor - Hobson



Longitud de medida de la rugosidad



Propiedades superficiales

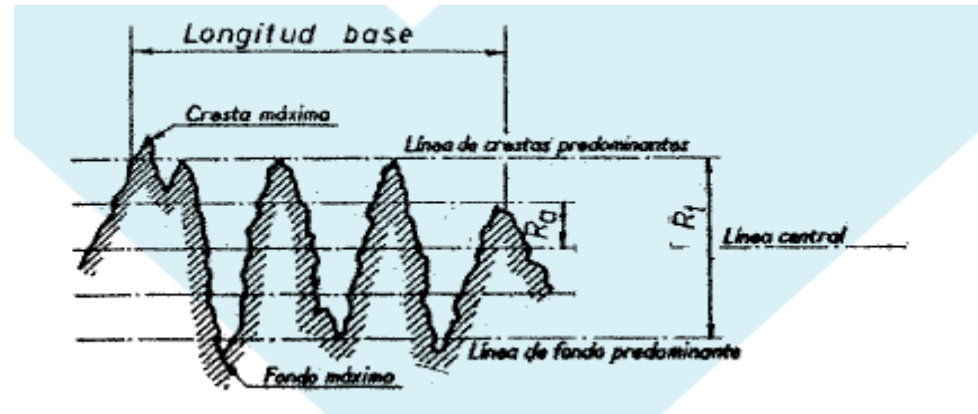
Para evaluar estas irregularidades se suele utilizar un **rugosímetro**, que es un equipo que realiza un seguimiento del perfil, en línea recta, mediante una fina punta denominada palpador y que traduce las variaciones de altura de la superficie en señales eléctricas que se registran y procesan en una unidad de control. A partir de dichas señales se calculan los diferentes parámetros de rugosidad.





Propiedades superficiales

Rugosidad Superficial



Longitud de muestreo equivalente "cut off" o longitud base: es la longitud necesaria a partir de la cual se integran las señales y se calculan los parámetros de rugosidad. Valores típicos: 0,08 – 0,25 – 0,8 y 2,5mm (Para Rugosidades \uparrow , *cut off* \uparrow)

El *cut off* en el acabado de torneado es de 0,8 si $0,1 \mu\text{m} < R_a < 2 \mu\text{m}$ y de 2,5 si $2 \mu\text{m} < R_a < 10 \mu\text{m}$. En caso de duda, se recomienda empezar por 0,8 y si $R_a > 2 \mu\text{m}$ se debe cambiar a 2,5 mm.

El palpador hace un muestreo de la **longitud de evaluación** que es la longitud de *cut off* por un número de veces que está **entre 1 y 5**.

En la pantalla se muestra como resultado el promedio de los resultados obtenidos en cada *cut off* o el máximo para toda la longitud de evaluación, en función de cada parámetro. Norma ISO 4288:1998



Propiedades superficiales

Rugosidad Superficial

Norma ISO 4287:1997: Define los parámetros para evaluar la calidad superficial. Tras la estimación de los parámetros en una longitud básica; se efectúa la media de estos parámetros en el conjunto de las longitudes básicas.

Se pueden calcular los parámetros en el **perfil bruto (P)** o, tras filtración, en el **perfil de rugosidad (R)** ó en el **perfil de ondulación (W)**. Para cada parámetro, se definen el tipo de filtro y el *cut off* a utilizar.

Los parámetros relacionados con la longitud básica utilizan (l_b) y los relacionados con la longitud de evaluación utilizan (l_e).

Parámetros más importantes que describen las irregularidades superficiales: R_a , R_q , R_t , R_z , R_c y R_{sm} .



Propiedades superficiales

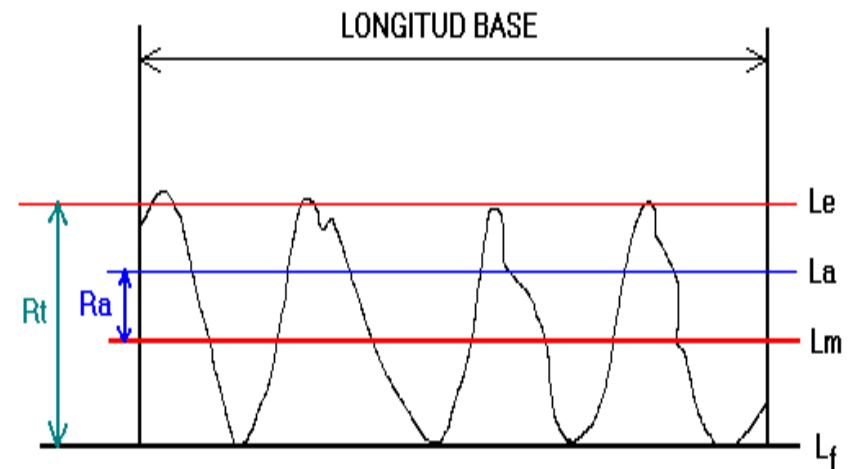
Rugosidad Superficial

Se define una **línea media** en el perfil de rugosidad como una línea de referencia paralela al perfil, que para una longitud de muestreo, divide su área de manera que la suma de las áreas superiores e inferiores que forman dicho perfil son iguales.

R_a : Rugosidad superficial media aritmética.

Se calcula como la suma de los valores absolutos de dichas áreas divididas por la longitud de muestreo.

$$R_a = \frac{1}{lb} \sum_0^{lb} |Z_{(x)}|$$



R_q : Desviación media cuadrática. Es la raíz cuadrada de la suma de las áreas al cuadrado dividida por la longitud de muestreo.

Ambos parámetros nos dan una idea global del valor medio de la rugosidad sin tener en cuenta las alturas de las irregularidades que existen en el perfil entre picos y valles. **En la práctica suele utilizarse el parámetro R_a** para valorar la calidad superficial de una pieza mecanizada.



Propiedades superficiales

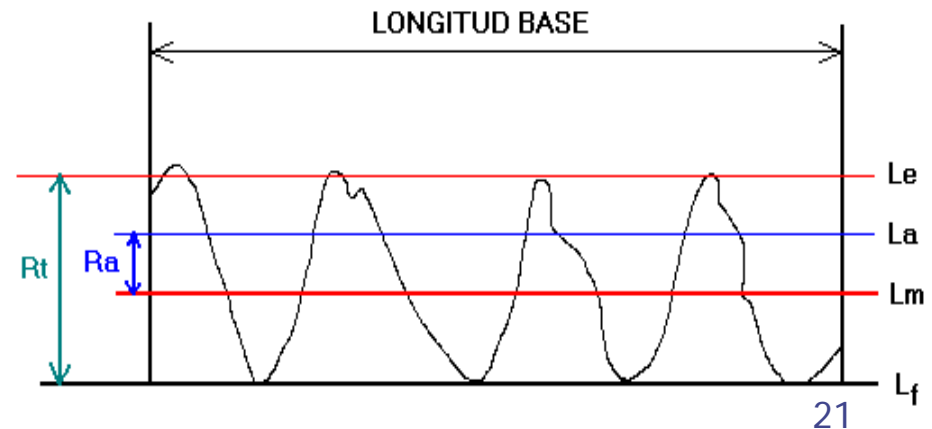
Rugosidad Superficial

R_z : Máxima altura del perfil en la **longitud base** que indica la altura entre el pico máximo y el valle mínimo.

R_t : Rugosidad total del perfil en la **longitud de evaluación**. Representa la altura entre el pico más alto y el valle más profundo, independientemente de las longitudes básicas, es decir en toda la longitud de evaluación. Por ello, será siempre mayor a R_z

El indicador R_t tiene como desventaja falsearse fácilmente a causa de puntos extremos aberrantes.

El resultado se indica en la unidad de longitud del eje Z (μm)





Propiedades superficiales

Rugosidad Superficial

Aunque el valor R_z es ampliamente utilizado debe vigilarse al ofrecer valores ya que antiguamente, según la ISO 4287-1 1984 (vigente hasta 1997) el cálculo de dicho parámetro era diferente al actual aunque conceptualmente similar y muchos rugosímetros anteriores a la nueva norma pueden dar resultados diferentes de R_z a los actuales.

R_c : Altura media del perfil. Es la suma de los valores medios de las alturas de los picos y profundidades de los valles.



Propiedades superficiales

Rugosidad Superficial

R_{sm} : Este parámetro es fundamental para verificar si la medición de rugosidad está bien realizada. Mide el espaciamiento medio entre picos de rugosidad λ_s en una longitud de muestreo.

En el torneado, este parámetro es próximo al avance (en μm) siempre que no exista una embutición de pico.

Un parámetro de R_{sm} muy superior al avance significa que no se está evaluando la superficie perpendicularmente a las marcas de rugosidad y por tanto el resultado es erróneo.



Propiedades superficiales

Rugosidad Superficial

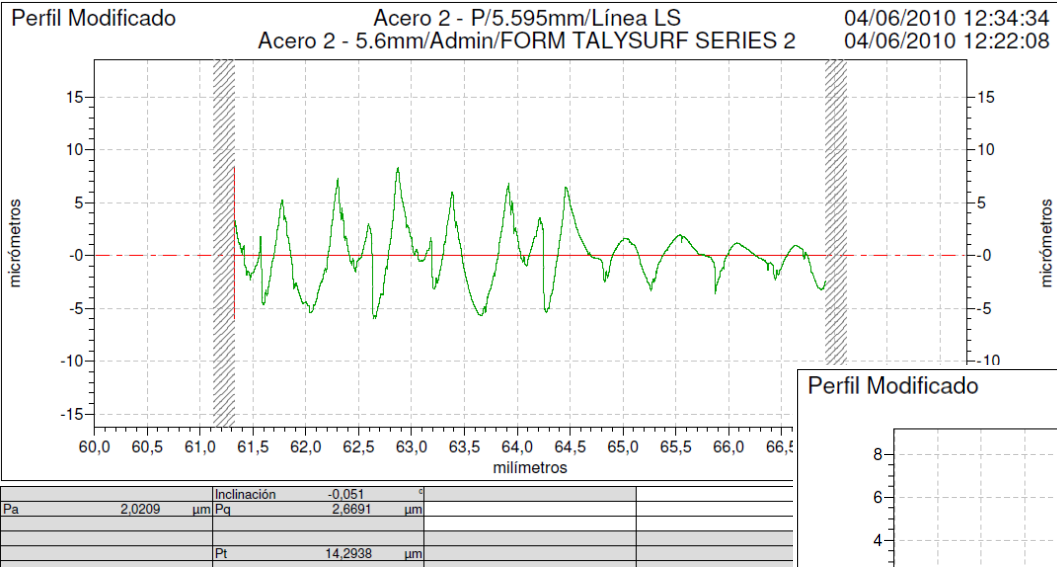


Gráfico del perfil bruto de la superficie de una pieza mecanizada

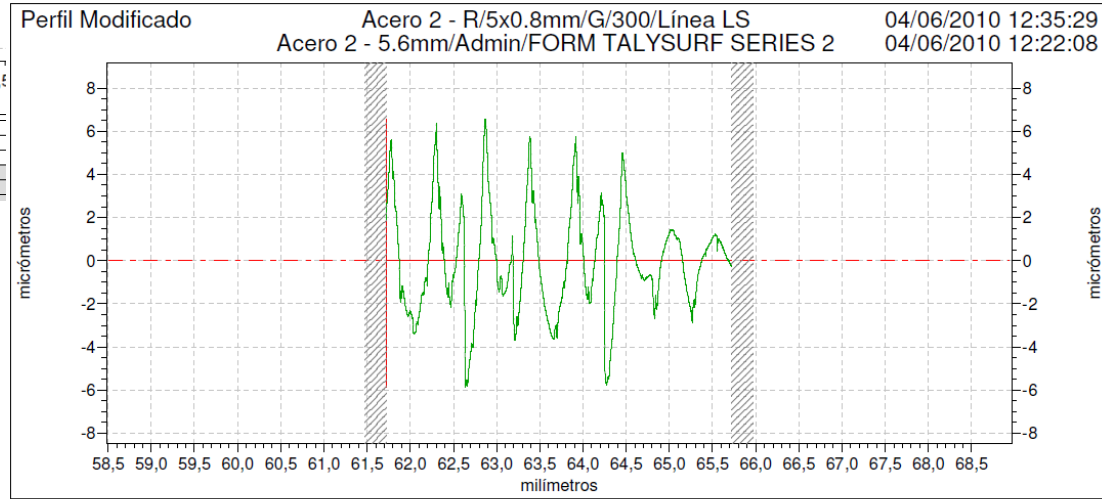


Gráfico del perfil de rugosidad de la superficie de una pieza mecanizada



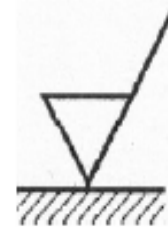
Propiedades superficiales

Rugosidad Superficial

SÍMBOLO BÁSICO.



SÍMBOLO DE MECANIZADO CON ARRANQUE DE VIRUTA

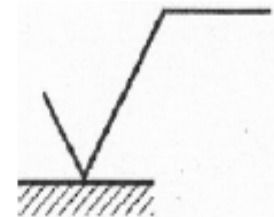


SÍMBOLO DE MECANIZADO SIN ARRANQUE DE VIRUTA.



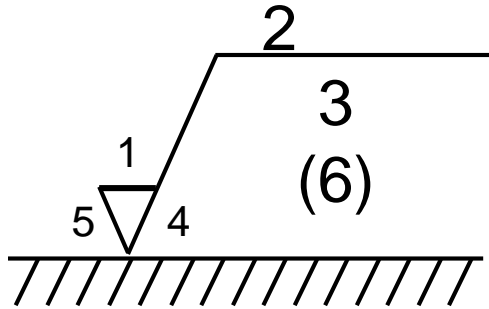
Este símbolo puede también utilizarse en los dibujos de fase de mecanizado, para indicar que la superficie debe quedar tal como ha sido obtenida, con o sin arranque de viruta, en la fase anterior de fabricación.

SÍMBOLO PARA INDICAR CARACTERÍSTICAS ESPECIALES





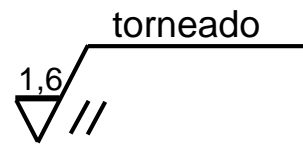
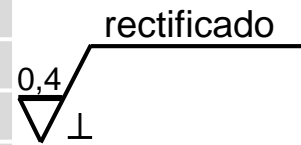
Propiedades superficiales



- 1: Valor de la rugosidad R_a en μm o número de la clase de rugosidad N1 a N12
- 2: Proceso de fabricación, tratamiento o recubrimiento
- 3: Longitud base
- 4: Dirección de las estrías de mecanizado
- 5: Sobremedidas para mecanizado
- 6: Otros valores de la rugosidad (entre paréntesis)

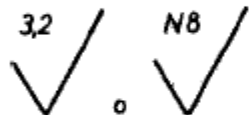
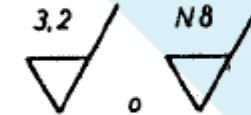
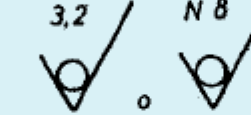
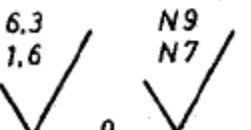
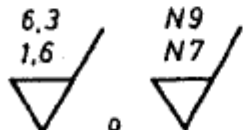
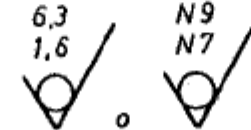
Valor de la rugosidad R_a (μm)	Clase de rugosidad	Símbolo Equivalente
50	N 12	▼
25	N 11	▼
12,5	N 10	▼
6,3	N 9	▼▼
3,2	N 8	▼▼
1,6	N 7	▼▼▼
0,8	N 6	▼▼▼
0,4	N 5	▼▼▼
0,2	N 4	▼▼▼
0,1	N 3	▼▼▼▼
0,05	N 2	▼▼▼▼
0,025	N 1	▼▼▼▼

- ▼ Operaciones de desbaste
- ▼▼ Operaciones de Acabado
- ▼▼▼ Superacabado o Rectificado
- ▼▼▼▼ Pulido




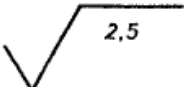


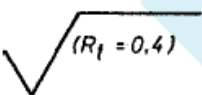


Propiedades superficiales

Símbolo			Significado
Con arranque de viruta			
Facultativo	Obligatorio	Prohibido	
			Superficie con rugosidad R_a de valor máximo de 3,2 μm .
			



Propiedades superficiaales

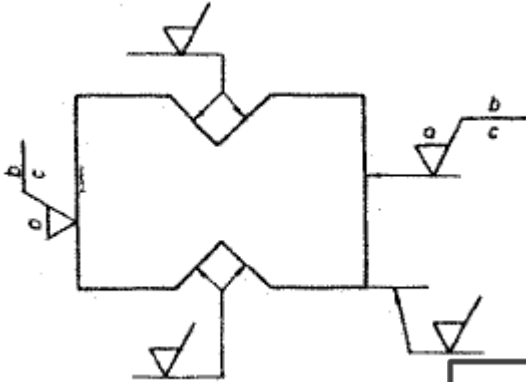
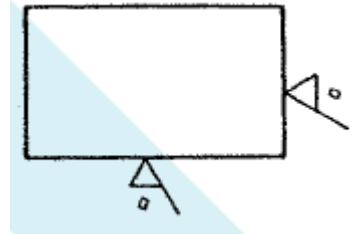
	Símbolo	Significado
A.3.1.		Proceso de fabricación: fresado.
A.3.2.		Longitud base: 2,5 mm.
A.3.3.		Dirección de las estrías: perpendiculares al plano de proyección de la vista.
A.3.4.		Sobremedida de mecanizado: 2 mm.
A.3.5.		Indicación (entre paréntesis) de un criterio de rugosidad diferente al que se usa para R_a ; por ejemplo, $R_t = 0,4 \mu\text{m}$.



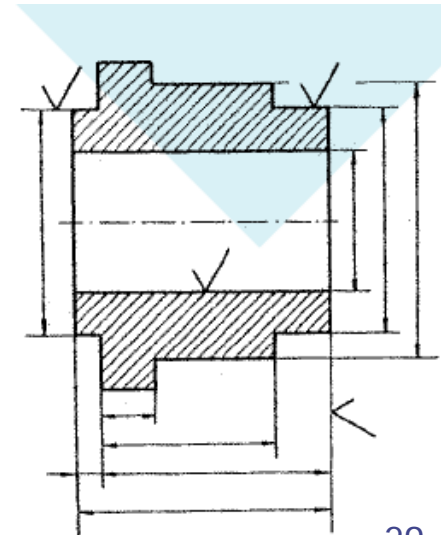
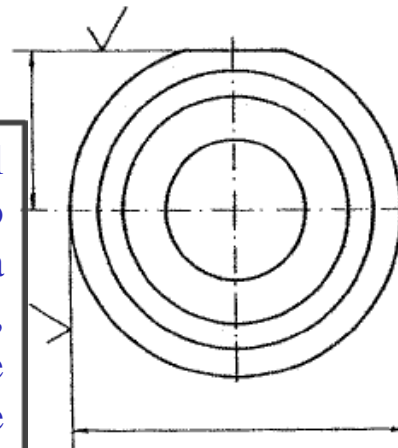
Propiedades superficiales

De acuerdo con la norma UNE 1039 tanto el símbolo como las inscripciones deben orientarse en forma tal que puedan ser leídas desde la base o desde la derecha del dibujo

Cuando sea difícil aplicar esta regla y el símbolo no lleve indicaciones de características especiales del estado de superficie o de sobremedidas de mecanizado puede dibujarse en cualquier orientación.



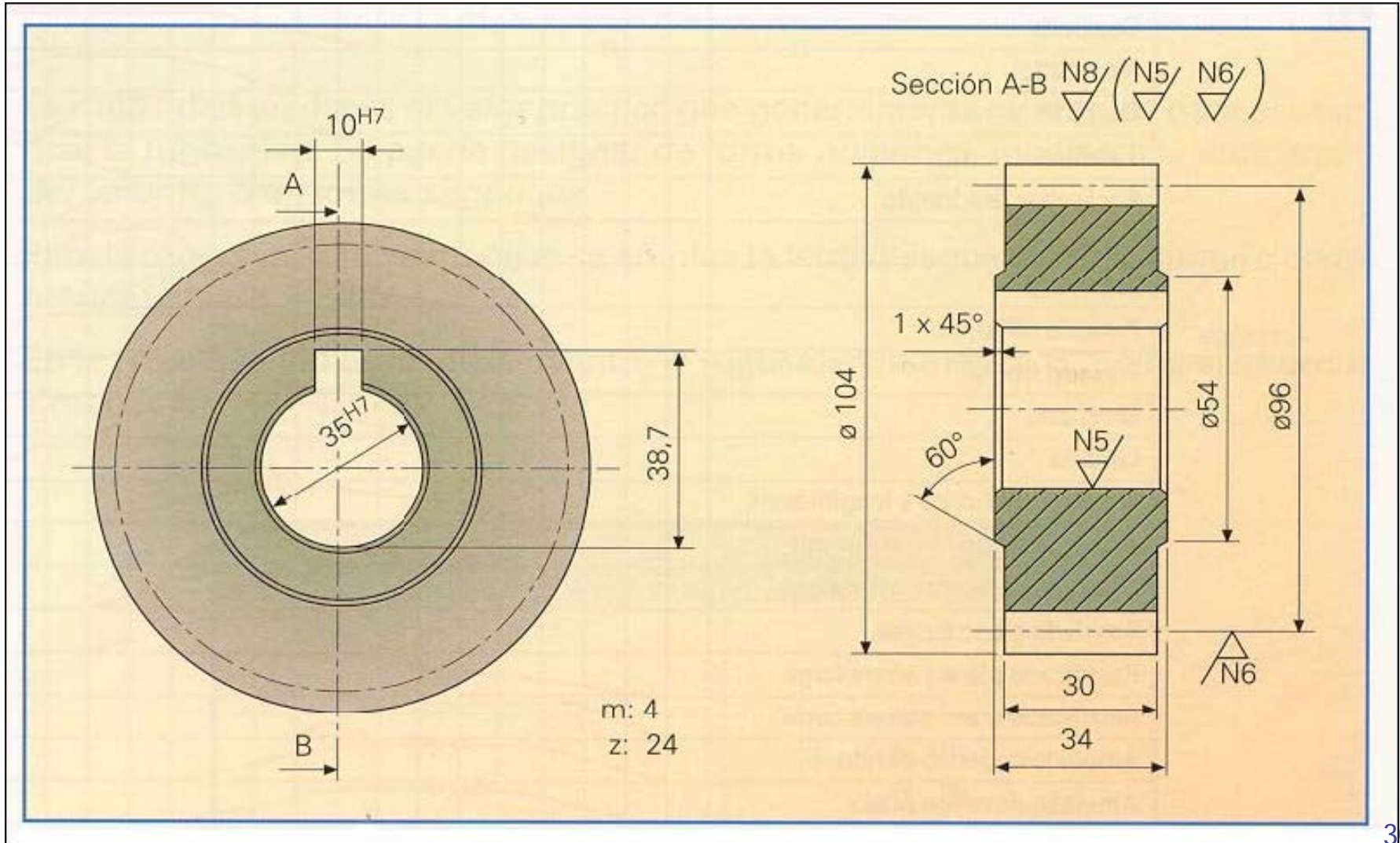
Siguiendo el principio general de acotación, el símbolo solamente deberá figurar una vez para una superficie dada y, si es posible, sobre la vista que lleve la dimensión que define el tamaño o posición de dicha superficie





Propiedades superficiaales

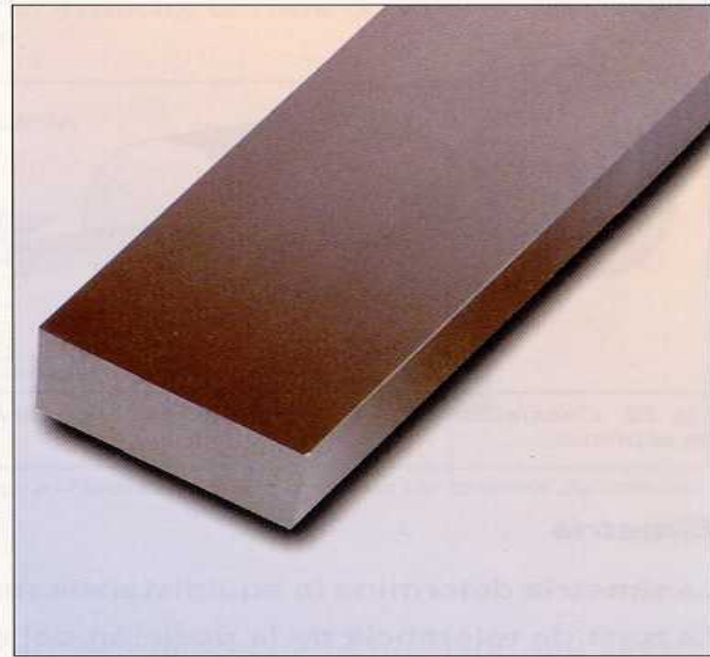
Ejemplo de representación en un plano





Propiedades superficiales

La **calidad superficial** de una pieza **depende del proceso de elaboración empleado**, por ejemplo una pieza fundida posee unas irregularidades en su superficie sensibles al tacto, mientras que las irregularidades de una pieza rectificada son casi imperceptibles, por lo que se verifican mediante medios de medición.



Rugosidad superficial en una pieza cortada con sierra mecánica y en una mecanizada con fresadora



Propiedades superficiales

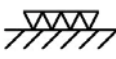
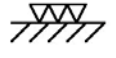

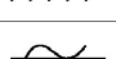

Relación entre Rugosidad y Proceso de Fabricación

PROCESO	ACABADO DE LA SUPERFICIE (μm)		
FUNDICIÓN EN ARENA	POBRE	12-25	N10-N12
LAMINADO EN FRIO	BUENO	1-3	N6-N8
EXTRUSIÓN EN FRIO	BUENO	1-4	N6-N9
TALADRADO	MEDIANO	1.5-6	N7-N9
FRESADO	BUENO	1-6	N7-N9
TORNEADO	BUENO	0.5-6	N6-N9
PULIDO	EXCELENTE	0.1-0.5	N3-N5



Propiedades superficiales

Relación entre Rugosidad y Operaciones de mecanizado

Grupos de valores		Tolerancia	Superficie	Posible ejecución																	
				Super-acabado		Lapeado		Rectificado		Brochado		Mandrinado		Taladrado		Fresado		Cepillado		Torneado	
R_a (μ)	Designación convencional			Fino	Fino	Común	Acabado	Desbaste	Fino	Común	Fino	Común	Medio	Basto	Acabado	Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado	Semiab.	Desbaste
0 – 0,04	0,04	Determinar según caso		■	■																
0,04 – 0,06	0,06																				
0,06 – 0,1	0,1																				
0,1 – 0,16	0,16																				
0,16 – 0,25	0,25	IT5			■	■													■		
0,25 – 0,4	0,4																				
0,4 – 0,6	0,6																				
0,6 – 1	1	IT7				■									■				■		
1 – 1,6	1,6																				
1,6 – 2,5	2,5	IT8					■														
2,5 – 4	4																				
4 – 6	6	IT9											■								
6 – 10	10																				
10 – 25	25	IT10											■								
25 – 63	63																				
> 63	-	-																			



Propiedades superficiales

Normas que hacen Referencia a la Rugosidad Superficial

ISO 3274:1997: Estados de superficie: método del perfil, características nominales de los aparatos de contacto.

ISO 4287:1999: Estados de superficie: método del perfil, términos, definiciones y parámetros de estados de superficie.

ISO 4288:1996: Estados de superficie: método del perfil, reglas y procedimientos para la evaluación del estado de superficie.

ISO 11562:1997: Caracterización metrológica de los filtros con fase correcta y bandas de transmisión a utilizar en los perfilómetros de contacto.

Tema 1: Metrología y Calidad

1. Propiedades geométricas:
 - Dimensiones
 - Formas
 - Movimientos





Propiedades geométricas

Estrategias de Fabricación

Cuando se diseña un mecanismo se determina la **forma** y sus **dimensiones**, entre otra variables.

Si el mecanismo se debe fabricar, adicionalmente se deben de determinar las **Tolerancias** para que el mecanismo cumpla sus funciones.

Estrategias de fabricación:

Fabricar con ajustes (Artesana)

- Ajustes
- Fabricación Individual
- No recambio
- Proceso lento

Fabricar con tolerancias (En serie)

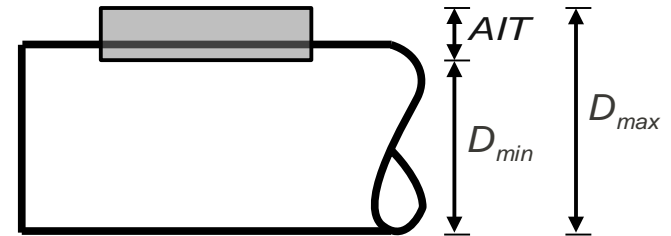
- Independencia del operador
- Restricciones en la fabricación
- Intercambiabilidad
- Mantenimiento

A nivel de gran producción se utiliza como estrategia de fabricación, la Fabricación en Serie.

Propiedades geométricas

Las características geométricas se dividen en:

- Dimensiones:

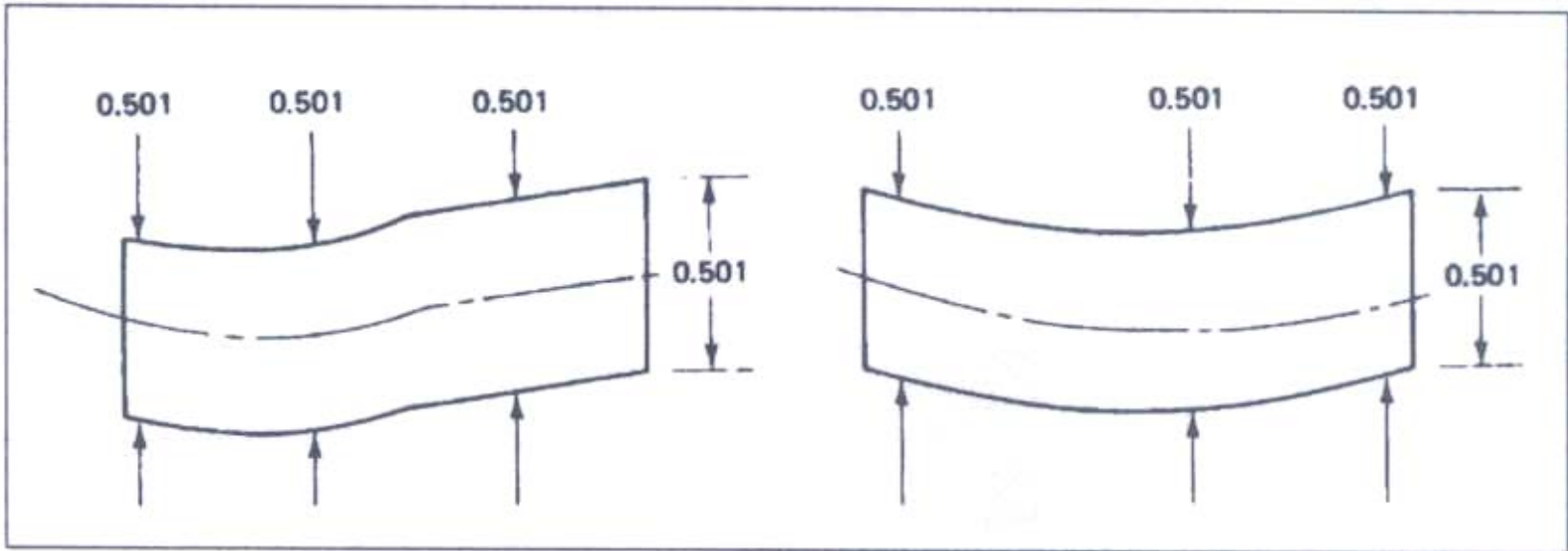


- Formas: Tolerancias geométricas o errores de forma y/o posición

- Movimientos: Ajustes

Propiedades Geométricas

Formas, ejemplo

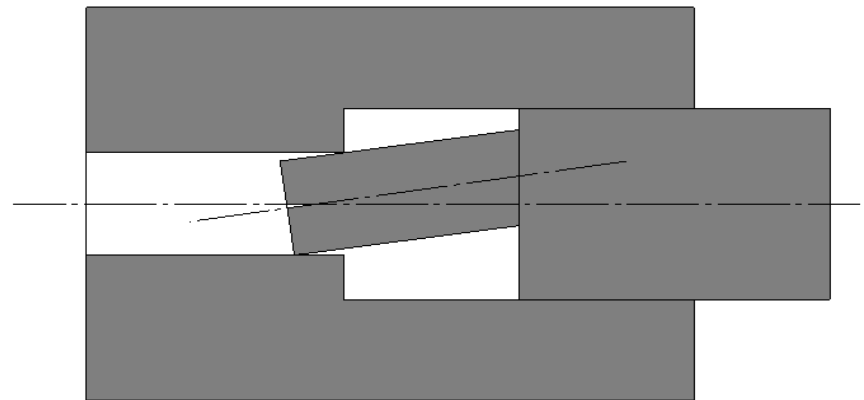
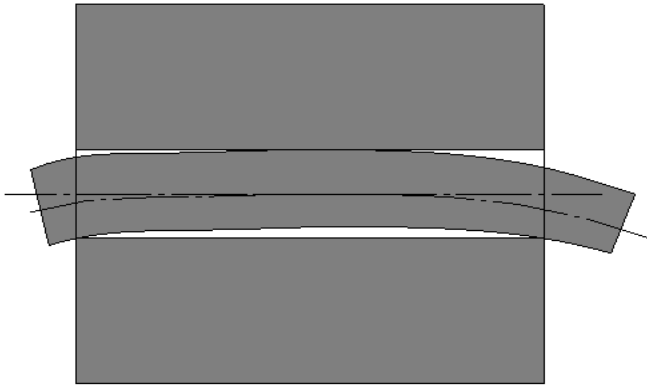


Ambas piezas tienen las mismas dimensiones, pero su forma o geometría es diferente y por lo tanto se debe especificar la forma en el momento de fabricar.

Propiedades Geométricas

Tolerancias geométricas o de forma y posición

- **Tolerancias geométricas:** Son los valores admisibles en los que puede variar una cota, que afectan directamente a su forma o a su posición relativa respecto a otra pieza o cara de la misma pieza.

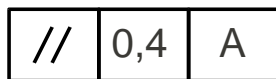


Propiedades Geométricas

Tolerancias geométricas o de forma y posición

En la siguiente tabla se resumen los símbolos utilizados para la indicación de las tolerancias geométricas según UNE 1121.













La indicación de las tolerancias geométricas en un dibujo se realiza por medio de un rectángulo dividido en dos o más rectángulos, ejemplo:



Característica a controlar

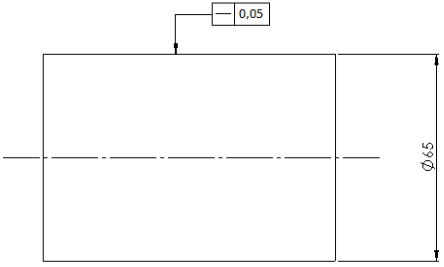
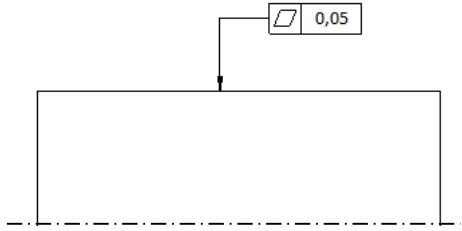
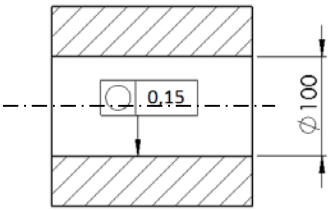
Letra identificativa del elemento

Valor de la tolerancia en las mismas unidades usadas en el acotado

TIPO DE TOLERANCIA	CARACTERISTICAS	SIMBOLO
Forma	Rectitud	—
	Planicidad	
	Redondez	
	Cilindricidad	
	Forma de una línea	
	Forma de una superficie	
Orientación	Paralelismo	//
	Perpendicularidad	
	Inclinación	
Situación	Posición	
	Concentricidad y Coaxialidad	
	Simetría	
Oscilación	Circular	
	Total	

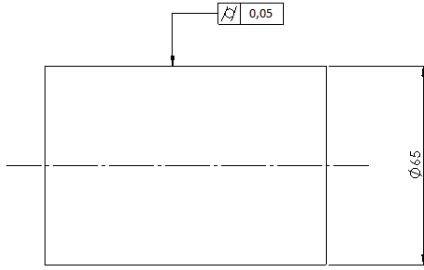
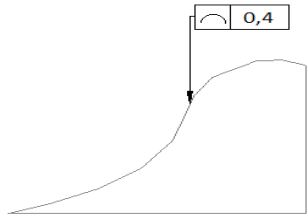
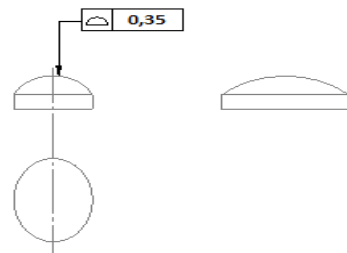
Propiedades Geométricas

Tolerancias geométricas o de forma y posición

<i>Forma</i>	<i>Representación en el dibujo</i>
<p>1. <i>Rectitud de una línea r</i></p> <p>La zona de tolerancia está limitada por dos rectas paralelas, distantes la tolerancia t. Su valor en este caso es 0,05.</p>	
<p>2. <i>Planitud de un plano δ</i></p> <p>La zona de tolerancia está limitada por dos planos α, β paralelos a una distancia igual a la tolerancia t. En este caso es 0,05.</p>	
<p>3. <i>Redondez de una línea r</i></p> <p>La zona de tolerancia está limitada por dos círculos J, H concéntricos; la anchura de la corona circular es igual a la tolerancia t. En este caso es 0,15.</p>	

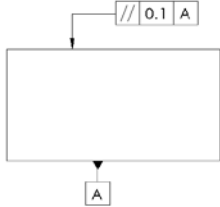
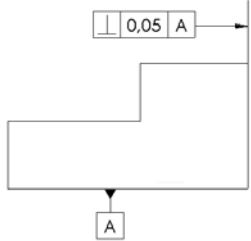
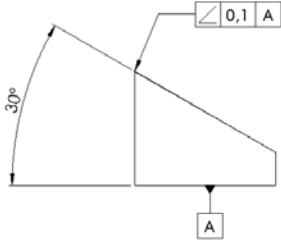
Propiedades Geométricas

Tolerancias geométricas o de forma y posición

Forma	Representación en el dibujo
<p>4. Cilindricidad de un cilindro cono La superficie del cilindro debe quedar comprendida entre dos cilindros J, H, cuyos radios difieren la tolerancia t. En este caso es 0,05.</p>	
<p>5. Línea cualquiera r La zona de tolerancia está limitada por un círculo, cuyo eje es la línea ideal. En este caso es 0,4.</p>	
<p>6. Superficie cualquiera δ La superficie considerada debe quedar comprendida entre dos superficies α y β envolventes de esferas de diámetro 0,35 mm cuyos centros están situados en una superficie teórica.</p>	

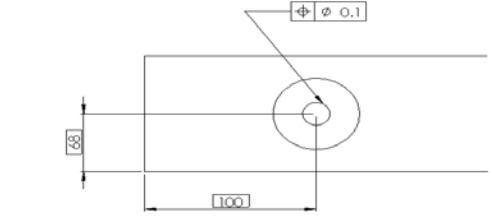
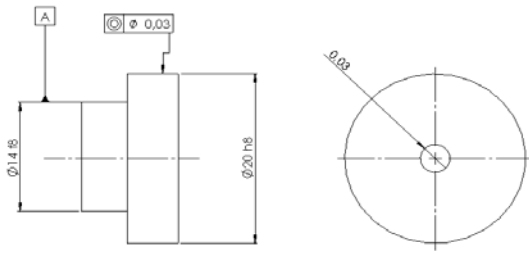
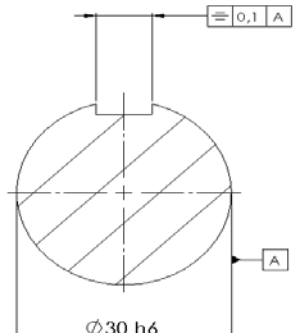
Propiedades Geométricas

Tolerancias geométricas o de forma y posición

<i>Posición</i>	<i>Representación en el dibujo</i>
<p>1. Paralelismo</p> <p>La zona de tolerancia está limitada por los planos α y β, paralelos al plano de referencia A.</p> <p>La tolerancia en este caso es 0,1.</p>	
<p>2. Perpendicularidad</p> <p>La zona tolerada queda limitada por los planos α y β, perpendiculares al plano de referencia A.</p> <p>La tolerancia es 0,05</p>	
<p>3. Inclinación</p> <p>La zona de tolerancia queda limitada por los planos α y β, inclinados respecto al plano de referencia A, 30°.</p> <p>La tolerancia es 0,1.</p>	

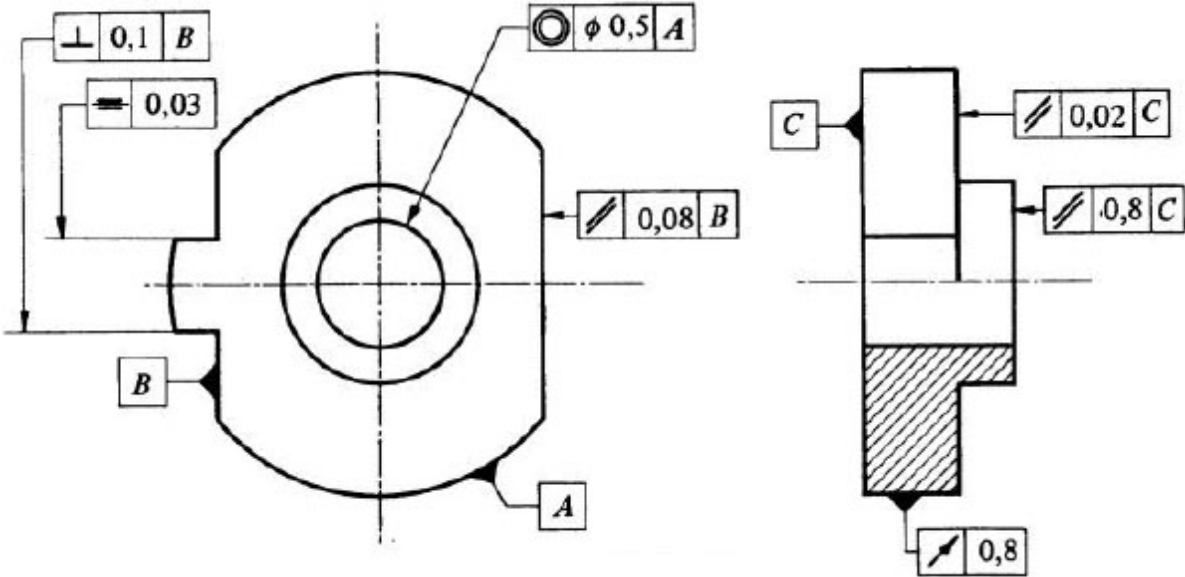
Propiedades Geométricas

Tolerancias geométricas o de forma y posición

<i>Posición</i>	<i>Representación en el dibujo</i>
<p>4. <i>Posición a los planos A y B</i> Planos de referencia A y B. La tolerancia es 0,1.</p>	
<p>5. <i>Concentricidad y axialidad</i> La zona tolerada queda limitada por el cilindro de $\varnothing 20$, de eje coincidente con el ideal. La tolerancia es 0,03.</p>	
<p>6. <i>Simetría</i> La zona de tolerancia se reparte simétricamente al eje del cilindro. El eje real de simetría debe quedar dentro de la zona de tolerancia. La tolerancia es 0,1. α y β limitan la zona de tolerancia.</p>	

Propiedades Geométricas

Ejemplo de tolerancias geométricas



Propiedades geométricas

Dimensiones: Representación de cotas normalizadas

Conceptos básicos

1. **Eje:** Será cualquier pieza que deba acoplarse dentro de otra
 2. **Agujero:** Es el alojamiento donde se introduce el eje
 3. **Medida o cota Nominal (C_N):** Es el valor numérico que define la medida de una dimensión (Ejemplos: $\phi 25$, 500, 25, $\phi 300$)
 4. **Medida o cota Práctica:** Es la medida que realmente tiene la pieza mecanizada
 5. **Línea de Referencia:** Es la línea que corresponde a la Medida Nominal
- Para que una pieza pueda considerarse bien fabricada, la cota práctica, debe estar comprendida dentro de dos dimensiones cercanas a la C_N . Éstas dos dimensiones, son la **Cota Máxima (C_M)**, y la **Cota Mínima (C_m)**.
 - La relación entre la C_M y la C_N se llama **Desviación Superior (D_S)**, y a la relación entre la C_m y la C_N , **Desviación Inferior (D_I)**.

$$D_S = C_M - C_N$$

$$D_I = C_m - C_N$$

Propiedades geométricas

Dimensiones: Representación de cotas normalizadas

$$\phi 60 E 8 \begin{pmatrix} +0,106 \\ +0,060 \end{pmatrix}$$

$C_N = 60 \text{ mm}$

E- Clase de Tolerancia

8- Calidad de la tolerancia

+0,106- D_s

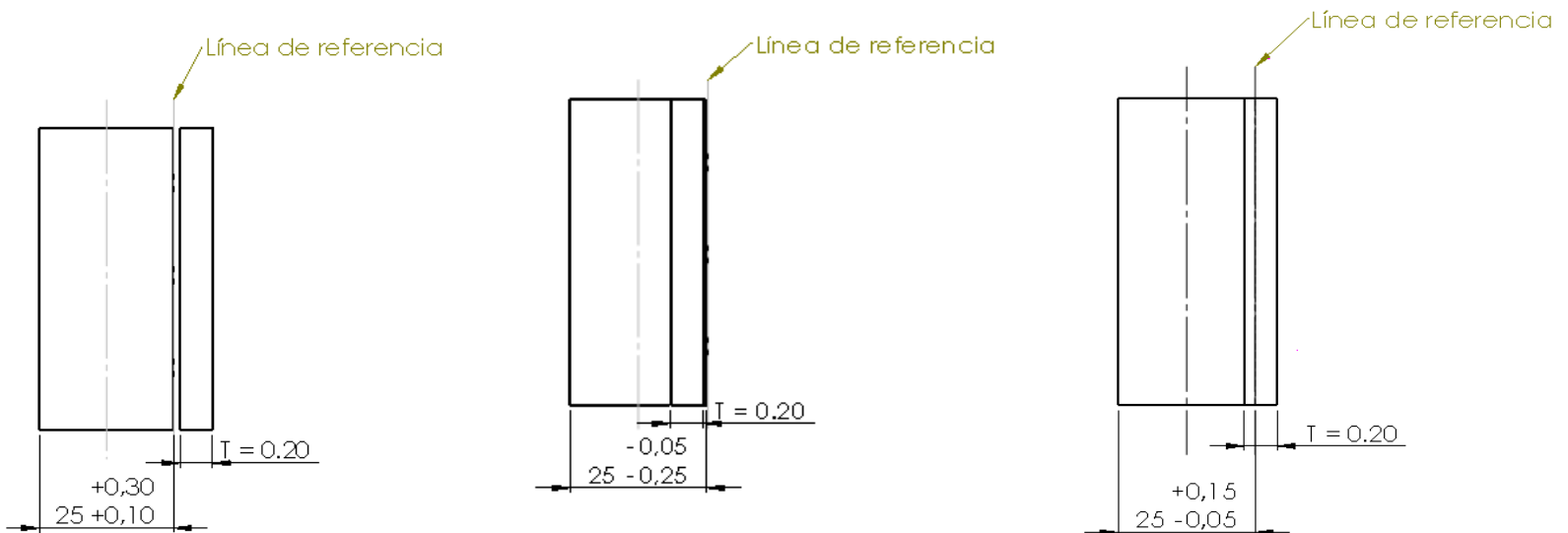
+0,060- D_i

$$\phi 60 E \begin{pmatrix} +0,106 \\ +0,060 \end{pmatrix}$$

Propiedades geométricas

Tolerancias dimensionales

- Es la magnitud que puede ser admisible en la variación de una cota.



- Se calcula como:

$$T = C_M - C_m$$

Sistema ISO de tolerancias

El sistema ISO de tolerancias se basa en 3 principios:

- Agrupación de dimensiones nominales
 - Calidad o intervalo de la tolerancia (IT)
 - Clase o posición del intervalo de la tolerancia
- La **Agrupación** de dimensiones se define por los grupos:

Grupos principales:

1 a 3mm
> 3 a 6mm
> 6 a 10mm
> 10 a 18mm
.
.
.
.
>400 a 500mm

Grupos intermedios:

10 a 14mm
> 14 a 18mm
> 18 a 24mm
.
.
.
.
>450 a 500mm

Propiedades geométricas

Tolerancias dimensionales

- La **calidad** de la tolerancia establece los valores máximos y mínimos de la cota nominal.

	Tolerancias pequeñas	Tolerancias medias	Tolerancias grandes
Calidades ISO	0 1 2 3 4	5 6 7 8 9 10 11	12 13 14 15 16 17 18
Campos de Aplicación	Calibre o Patrón	Piezas mecanizadas	Medidas Libres
	Calibre de trabajo	Construcción de máquinas	Piezas estiradas, laminadas, fundidas.

Propiedades geométricas

Tolerancias dimensionales

- La **clase** de la tolerancia permite establecer el tipo de ajuste entre dos piezas: con juego, intermedio o indeterminado, y con apriete, fijo o con interferencia

CLASES DE TOLERANCIAS			
Campo de Tolerancia para agujero H Agujero único	Campo de Tolerancia para ejes		
	a b c d e f g h	j k m n	p r s t u v x y z za zb zc
	Ajustes con juego	Ajustes indeterminados	Ajustes con apriete, fijo o con interferencia
Campo de Tolerancia para ejes h Eje único	Campo de Tolerancia para agujeros		
	A B C D E F G H	J K M N	P R S T U V X Y Z ZA ZB ZC
	Ajustes con juego	Ajustes indeterminados	Ajustes con apriete, fijo o con interferencia

El sistema ISO de Tolerancias

Unidad de tolerancia:

La unidad de tolerancia depende de la dimensión nominal y corresponde a los conceptos de igual funcionalidad e igual dificultad de fabricación.

La unidad internacional de Tolerancia i , para dimensiones entre 1 y 500mm es:

$$i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D \qquad D = \sqrt[2]{D_{max} \cdot D_{min}}$$

Donde

i : unidad de tolerancia, en micras.

D : media geométrica entre los valores extremos de un grupo, en milímetros

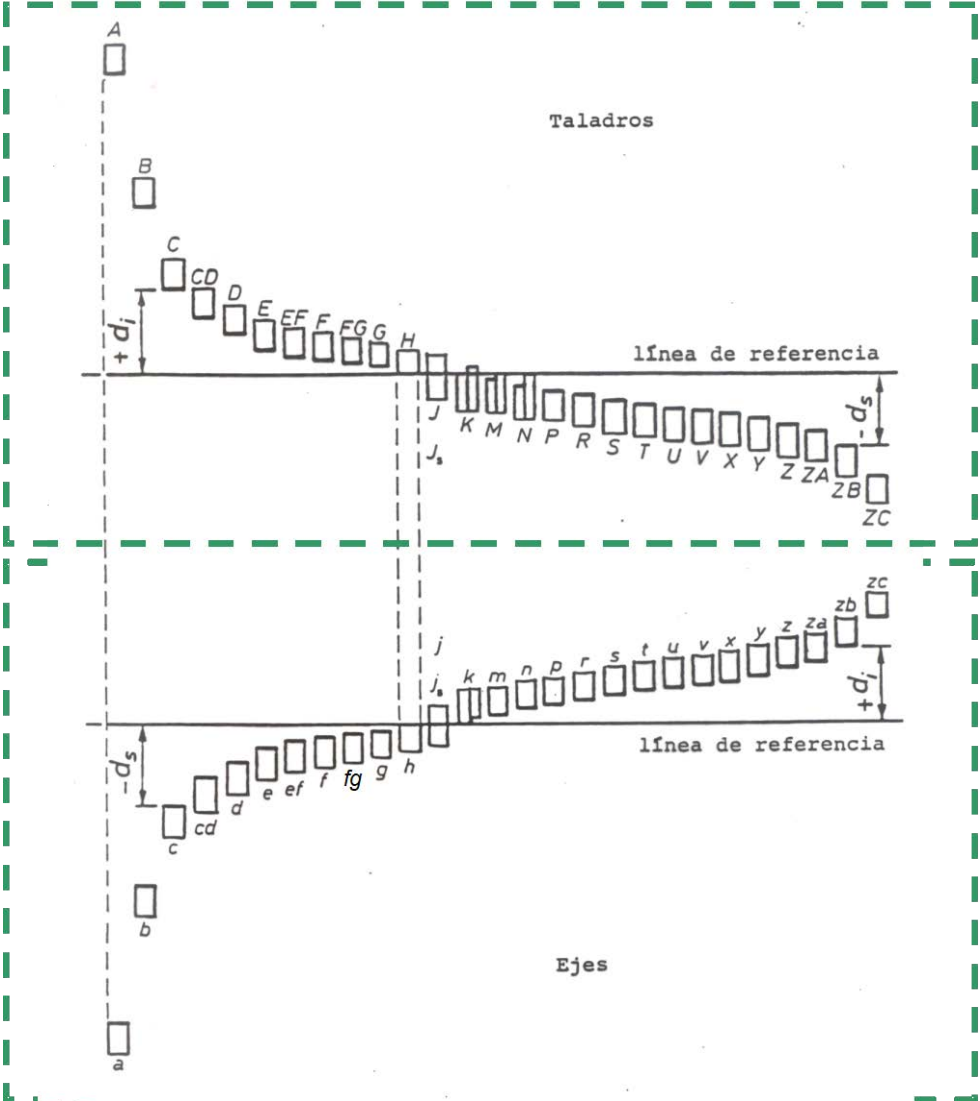
Fabricación con Tolerancias

Amplitud del intervalo de tolerancia AIT en micras, para dimensiones comprendidas entre 1 y 500mm.

Grupos dimensionales (mm)		Amplitud de tolerancia en μm para la calidad de elaboración																			
		01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
1	3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	-	
>	3	6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	-
>	6	10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
>	10	18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
>	18	30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
>	30	50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
>	50	80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
>	80	120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
>	120	180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
>	180	250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
>	250	315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
>	315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
>	400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300

Fabricación con Tolerancias

Clase o posición del intervalo de tolerancia PIT, para dimensiones comprendidas entre 1 y 500mm.



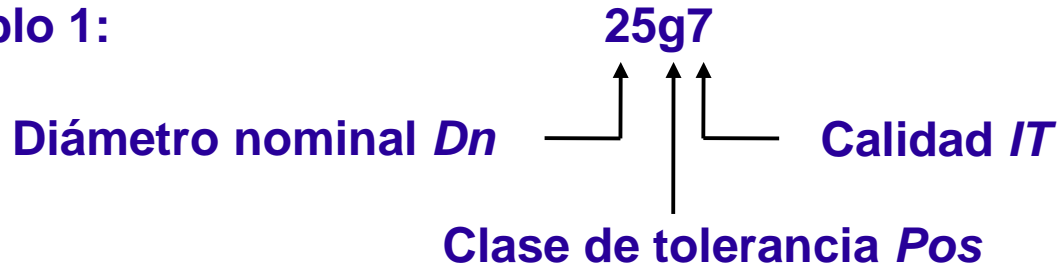
Fabricación con Tolerancias

Grupo dimensional (mm)	Desviaciones fundamentales en μm d_s negativo para ejes, d_i positivo para taladros											
	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	j_s
	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	J_s
1 - 3	270	140	60	34	20	14	10	6	4	2	0	
> 3 - 6	270	140	70	46	30	20	14	10	6	4	0	
> 6 - 10	280	150	80	56	40	25	18	13	8	5	0	
> 10 - 14	290	150	95	-	50	32	-	16	-	6	0	
> 14 - 18												
> 18 - 24	300	160	110	-	65	40	-	20	-	7	0	
> 24 - 30												
> 30 - 40	310	170	120	-	80	50	-	25	-	9	0	
> 40 - 50	320	180	130									
> 50 - 65	340	190	140	-	100	60	-	30	-	10	0	
> 65 - 80	360	200	150									
> 80 - 100	380	220	170	-	120	72	-	36	-	12	0	
> 100 - 120	410	240	180									
> 120 - 140	460	260	200	-	145	85	-	43	-	14	0	
> 140 - 160	520	280	210									
> 160 - 180	580	310	230									
> 180 - 200	660	340	240	-	170	100	-	50	-	15	0	
> 200 - 225	740	380	260									
> 225 - 250	820	420	280									
> 250 - 280	920	480	300	-	190	110	-	56	-	17	0	
> 280 - 315	1050	540	330									
> 315 - 355	1200	600	360	-	210	125	-	62	-	18	0	
> 355 - 400	1350	680	400									
> 400 - 450	1500	760	440									
> 450 - 500	1650	840	480	-	230	135	-	68	-	20	0	

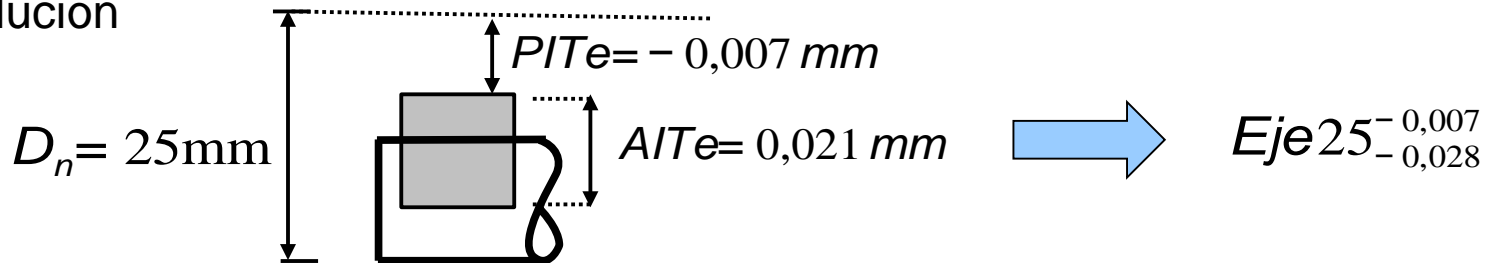
Clase o posición del intervalo de tolerancia PIT en micras, para dimensiones comprendidas entre A (a) y H(h).

Ejercicios de Tolerancia

Ejemplo 1:



Solución



Ejemplo 2: 35D5
25h6

Solución: $Agujero 35_{+0,08}^{+0,091}$
 $Eje 25_{-0,013}^0$

Ejemplo 3: Se tiene un eje definido por el intervalo $20_{-0,02}^{-0,007}$,
realizar la especificación en norma ISO.

Solución: 20g6



Tema 1: Metrología y Calidad

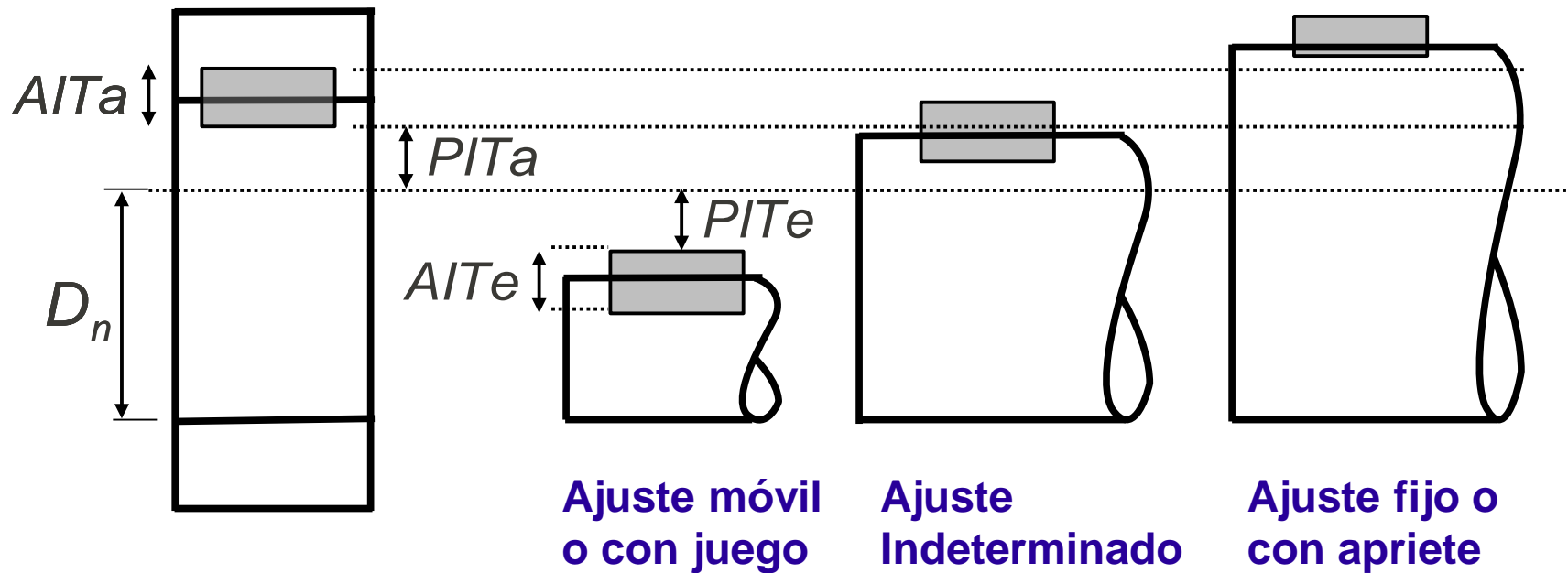
1. Ajustes. Definición y conceptos básicos
2. Tipos de Ajustes
3. Tolerancias de un Ajuste
4. Ajustes Normalizados
5. Fabricación por familias
6. Influencia de la temperatura en los ajustes
7. Operaciones con cotas





Fabricación con Ajustes

Ajuste: Es la relación que se establece entre dos piezas que interactúan entre si.



$AITa$: Amplitud del intervalo de tolerancia del agujero

$PITa$: Posición del intervalo de tolerancia del agujero

$AITe$: Amplitud del intervalo de tolerancia del eje

$PITe$: Posición del intervalo de tolerancia del eje



Tipos de Ajustes

Según las tolerancias que se asignen a un ajuste, se presentan tres tipos:

1. **Ajuste móvil:** Siempre existe juego entre el eje y el agujero, aún cuando el eje tenga la cota máxima y el agujero presente la mínima. Ejemplo: H7/g6
2. **Ajuste fijo, con interferencia o con apriete:** Cuando haya un apriete, aunque el eje tenga la cota mínima y el agujero tenga la máxima. Ejemplo: H7/p6
3. **Ajuste indeterminado:** Será el que resulte dependiendo de las dimensiones del eje y las del agujero, dentro de sus respectivas tolerancias, y que darán lugar a un ajuste o a un apriete. Ejemplo: H7/j6

Se definen dos sistemas de selección de ajustes:

1. De eje único (h6/...)
2. De agujero único (H7/...)

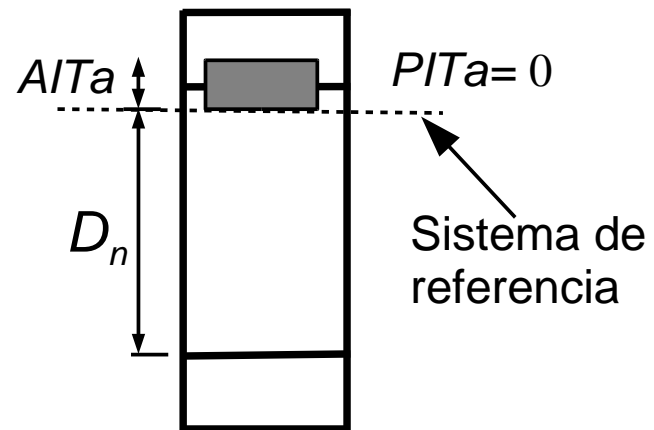


Fabricación con Ajustes

En un **ajuste** el **diámetro nominal** del **agujero** y el diámetro nominal del **eje**, es el **mismo** D_n .

En los ajustes lo importante es la interacción relativa entre las superficies del eje y del agujero, por lo tanto el sistema de referencia se puede colocar solidario al eje o al agujero. Si el sistema de referencia se fija al agujero, se le llama agujero único.

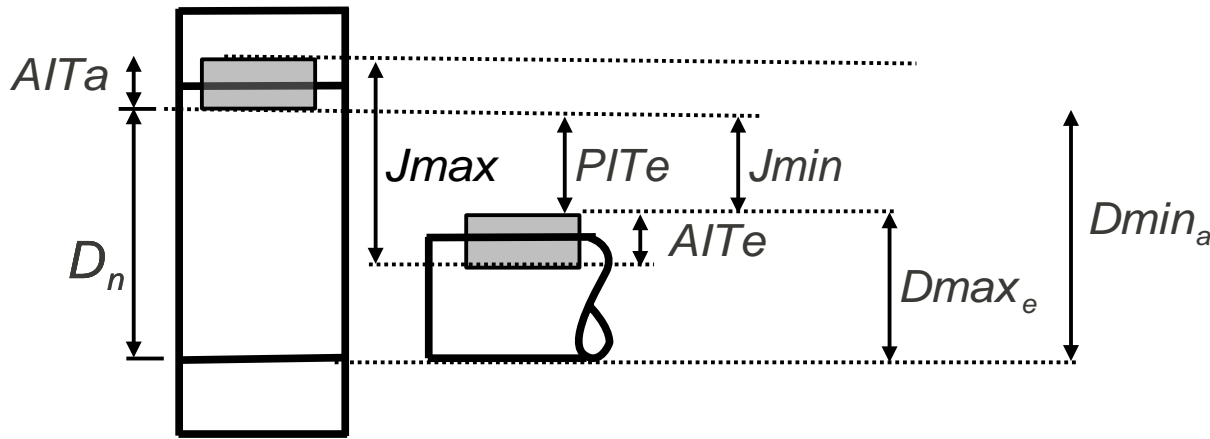
En general se utiliza agujero único, por un problema constructivo. Normalmente es fácil encontrar una broca del diámetro nominal.





Fabricación con Ajustes

Juego entre dos piezas



$$J_{max} = D_{max}_a - D_{min}_e$$

$$J_{min} = D_{min}_a - D_{max}_e$$

J_{min} : Juego mínimo entre dos piezas

J_{max} : Juego máximo entre dos piezas

D_{min}_a : Diámetro mínimo agujero

D_{max}_a : Diámetro máximo agujero

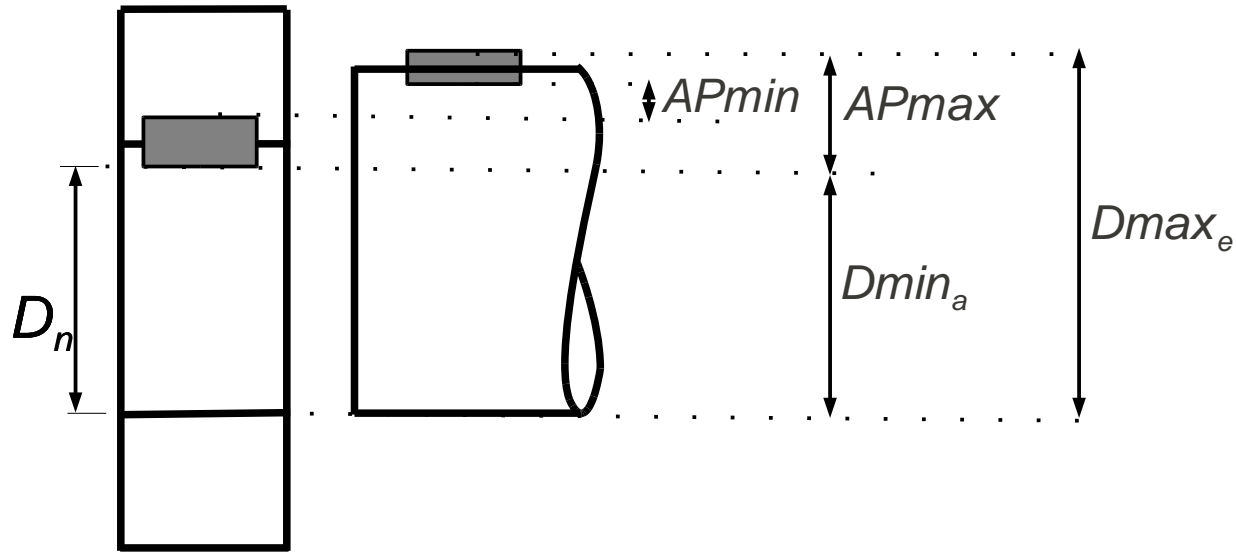
D_{min}_e : Diámetro mínimo eje

D_{max}_e : Diámetro máximo eje



Fabricación con Ajustes

Apriete entre dos piezas



$$AP_{max} = D_{max_e} - D_{min_a}$$

$$AP_{min} = D_{min_e} - D_{max_a}$$

AP_{min} : Apriete mínimo entre dos piezas

AP_{max} : Apriete máximo entre dos piezas

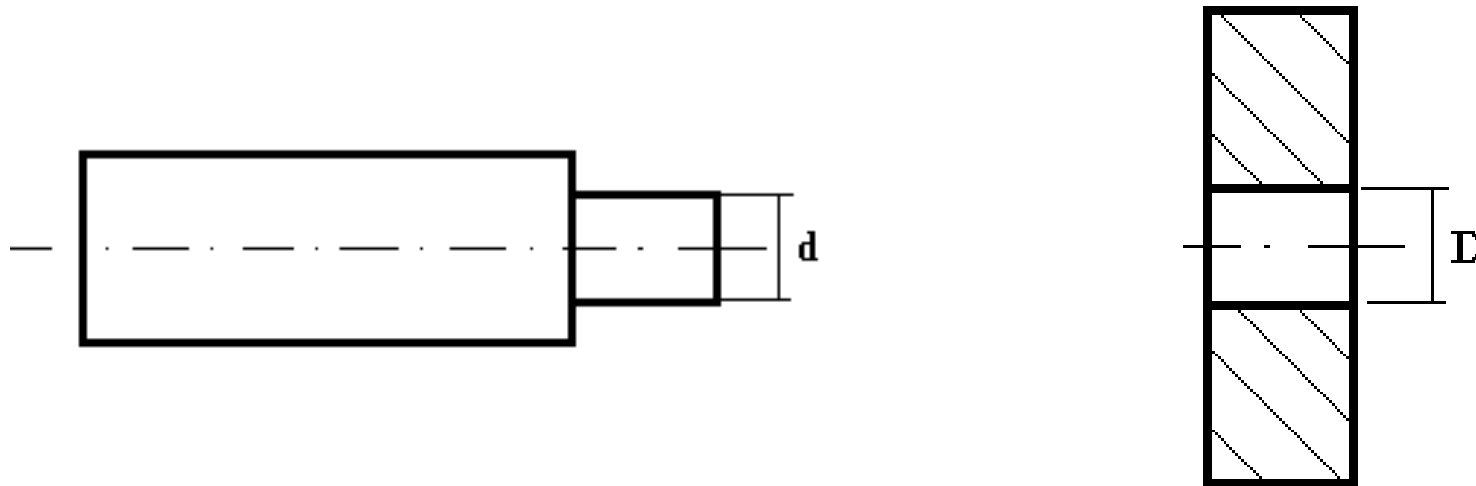
Observando esta diapositiva y la anterior se deducen las siguientes relaciones entre un apriete y un juego

$$AP_{max} = - J_{min} \quad AP_{min} = - J_{max}$$



Fabricación con Ajustes

Relación entre tipos de ajustes y valores de los juegos y aprietes



$D > d$ en todos los casos ----- JUEGO (+)

$D < d$ en todos los casos ----- APRIETE (-)

$D < d$ o $D > d$ en algunos los casos ----- INDETERMINADO



Fabricación con Ajustes

AJUSTES MÓVILES		Agujero base			Eje base			
		H7	H8	H11	h6	h7	h8	h11
a) Con gran juego (alineación defectuosa, longitudes muy grandes)			d8	a11 b11 c11 d11			D10	A11 B11 C11 D11
b) Casos normales de piezas que giran o deslizan		e7 f6	e8 f7			E8 F7	E9 F8	
c) Piezas que necesitan una guía precisa y giran despacio		g6			G7			
AJUSTES CON APRIETE								
a) Para no transmitir esfuerzo notable y que puedan montarse y desmontarse sin deterioro	1) Colocación a mano	h6 j6	h7	h11	H7 J7	H8	H8	H11
	2) Colocación con mazo	k6 m6 n6			K7 M7 N7			
b) Para transmitir esfuerzos; desmontaje con deterioro	1) Colocación con mazo	p6 r6			P7 R7			
	2) Montaje con prensa o dilatación	r6 s6 x7	u7		R7 S7 U7	U8 X7 Z7		



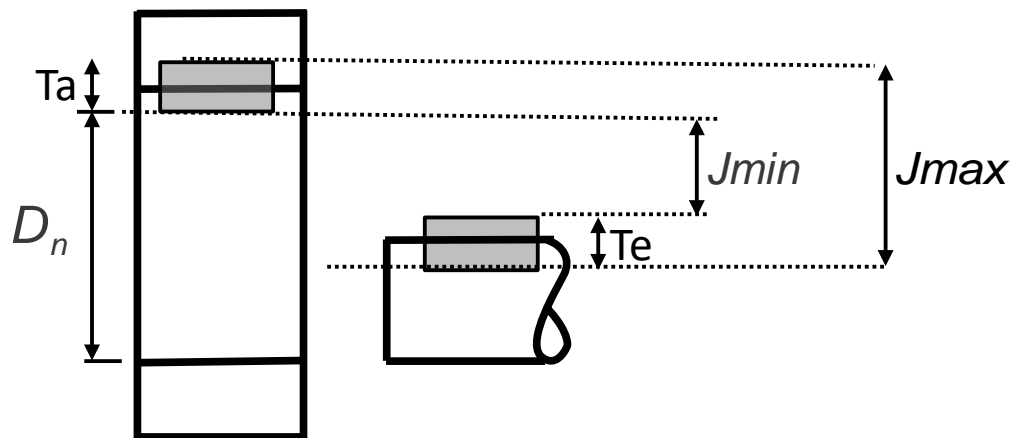
Ejercicios de fabricación con Ajuste

Ejemplo 1

El ajuste entre un émbolo y una camisa, en un motor a explosión responde a la especificación 50H7/d6. Determine los juegos máximo y mínimo.

Solución:

- Las posiciones H y d permiten definir la siguiente situación



$$J_{min} = 0,08\text{mm}$$

$$J_{max} = T_e + J_{min} + T_a = 0,016 + 0,08 + 0,025 = 0,121\text{mm}$$



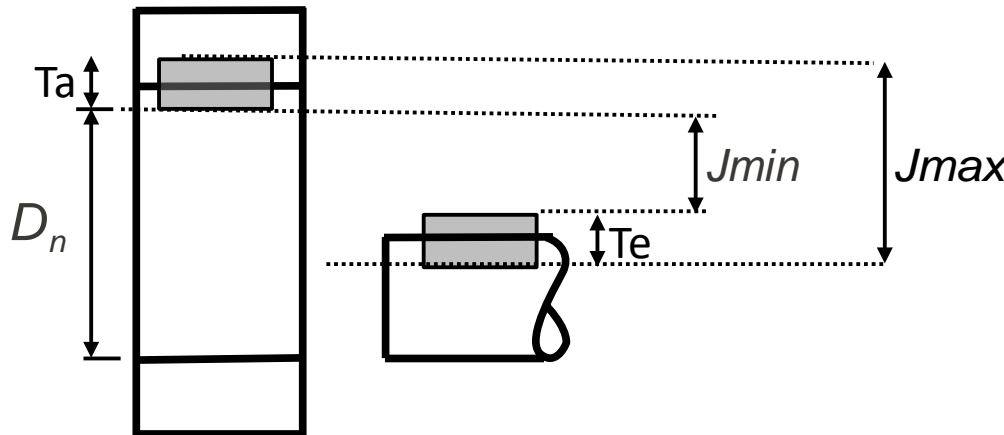
Ejercicios de fabricación con Ajuste

Ejemplo 2

Se debe fabricar un eje y un agujero, caracterizados por un juego máximo de $30\mu\text{m}$ y un juego mínimo de $8\mu\text{m}$. El diámetro nominal del sistema es de 22mm . ¿Cuál es la especificación en norma ISO para estas piezas? Asumir que se trabaja con un sistema de agujero único.

Solución:

- Realizar un esquema caracterizado por un ajuste con juego



$$J_{min} = 0,008 \text{ mm}$$

$$J_{max} = 0,030 \text{ mm}$$

$$D_n = 22 \text{ mm}$$

$$D_{ia} = 0, \text{ por lo tanto } IT_a = H$$

$$D_{se} = J_{min} = 0,008 \text{ mm}, \text{ por lo tanto } IT_e = g$$



Ejercicios de fabricación con Ajuste

- La amplitud de los intervalos de tolerancia:

$$J_{min} = D_{se}$$

$$J_{max} = T_a + J_{min} + T_e$$

} Se tienen 2 ecuaciones con 3 incógnitas

Para poder solucionar este problema es necesario reducir el número de incógnitas, para ello se asume que $T_a = T_e$.

$$J_{max} - J_{min} = T_a + T_e = 0,022mm \quad \longrightarrow \quad T_a = T_e = 0,011mm$$

Buscando en la tabla Tolerancias para las distintas calidades de elaboración, el IT asociado a una $T=0,011$, no existe.

$$IT5 < 0,011mm < IT6$$

Por lo tanto para el agujero se escoge la mayor T , que corresponde a la calidad $IT6$, debido a que es más fácil fabricar con precisión un eje que no un agujero.

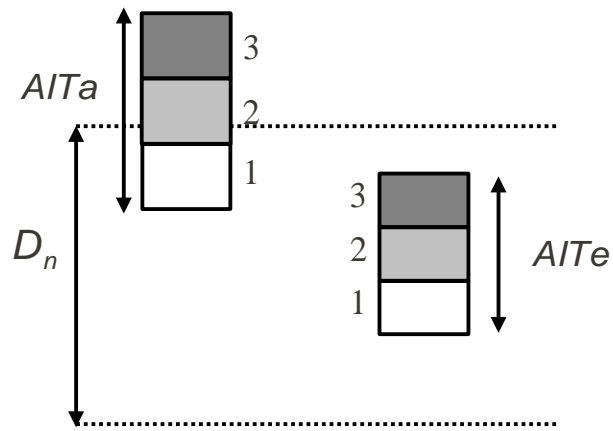
Luego: $T_e = J_{max} - T_a - J_{min} = 0,009mm \quad \longrightarrow \quad IT5$

Solución: 22H6/g5



Fabricación por familias

Si la desviación de fabricación es superior a la calidad requerida, una de las opciones posibles es fabricar por familias.



Una vez fabricadas las piezas se clasifican en familias 1, 2 y 3.

La familia 3 tiene el mismo juego que las familias 2 y 1. Por lo tanto, piezas de la misma familia tienen el mismo el ajuste.

Esto permite la fabricación de piezas con una tolerancia más estrecha de la que en principio permite el parque de máquinas disponible. Por otra parte, supone el control del 100% de las piezas fabricadas, clasificándolas en cada una de las familias. Esto puede generar problemas en el momento de realizar un recambio de piezas, siendo necesario identificar la familia a la cual pertenecen.



Influencia de la Temperatura

Influencia de la temperatura en los Ajustes

- Los cambios de temperatura afectan las medidas de las piezas normalizadas, sobre todo cuando tienen un alto coeficiente de dilatación térmica (α).

$$\phi_x^z(Y^{\circ}C) = \phi_x^z(20^{\circ}C) [1 + \alpha(Y^{\circ}C - 20^{\circ}C)]$$

- El ϕ de un eje/agujero del material z , siendo x máximo, mínimo o nominal, a $Y^{\circ}C$, se puede calcular según la expresión anterior.



Influencia de la Temperatura

Nota:

La temperatura a la cual se verifican las piezas, por norma es 20°C.

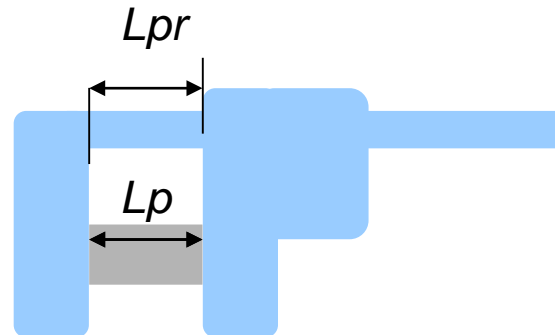
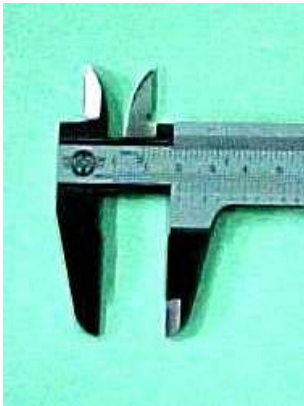
Las medidas especificadas en los planos de fabricación, por norma están especificadas a 20°C, por lo tanto los ajustes especificados en un plano, son ajustes a 20°C.



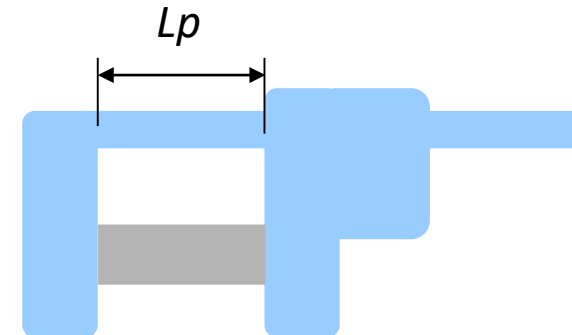
Efecto de la temperatura en la medición

Ejemplo 3

Se tiene una pieza medida con un pie de rey en dos situaciones diferentes: una a temperatura de 20°C y otra a 35°C.



$T=20^{\circ}\text{C}$



$T=35^{\circ}\text{C}$

Bajo qué condiciones ambas medidas estarían hechas correctamente? O lo que es lo mismo bajo qué condiciones se cumple:

$$L_{pr_{T=35^{\circ}\text{C}}} = L_{p_{T=35^{\circ}\text{C}}}$$

Donde: L_{pr} es la medida hecha por el pie de rey
 L_p es la medida de la pieza



Efecto de la temperatura en la medición

$$L_{pr}(T=20^{\circ}\text{C})[1 + \alpha_{pr}(T_{pr} - 20)] = L_p(T=20^{\circ}\text{C})[1 + \alpha_p(T_p - 20)]$$

Donde: α_p es el coeficiente de dilatación de la pieza

T_p es la temperatura de la pieza

α_{pr} es el coeficiente de dilatación del pie de rey

T_{pr} es la temperatura del pie de rey

a) si $\alpha_p = \alpha_{pr}$ y $T_p = T_{pr}$ entonces $L_{pr}(T=X^{\circ}\text{C}) = L_p(T=X^{\circ}\text{C})$

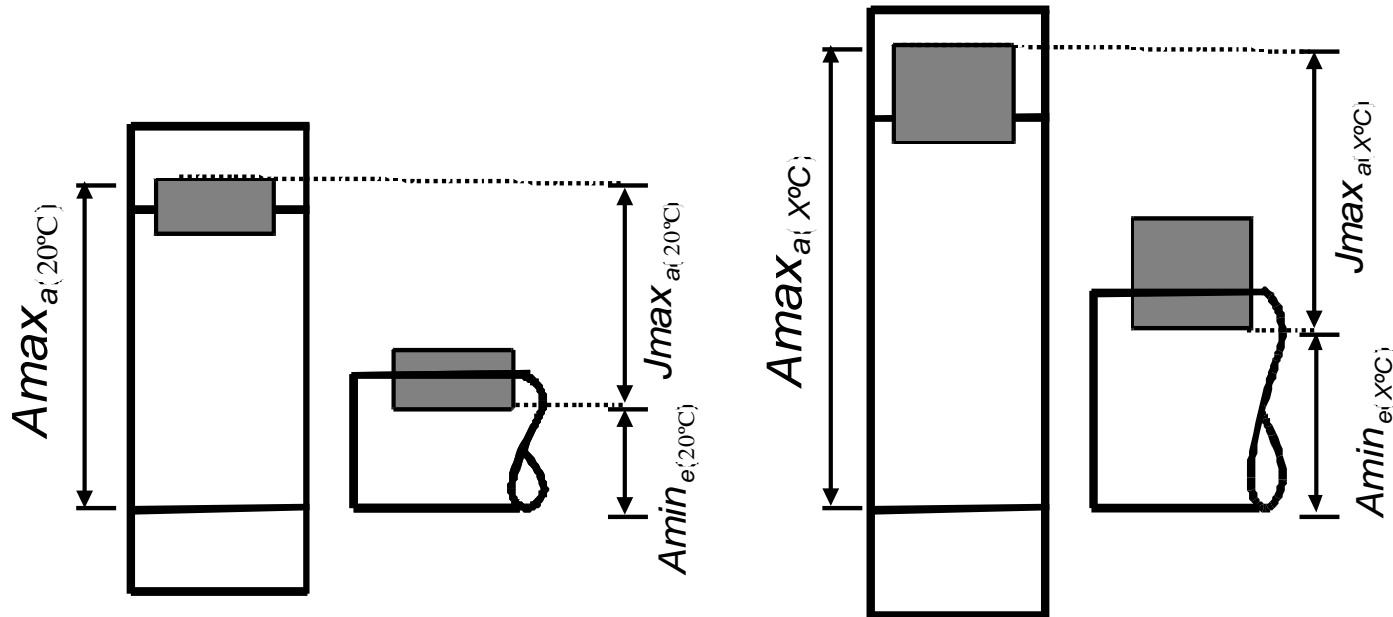
b) si $\alpha_p \neq \alpha_{pr}$ y $T_p = T_{pr} = 20^{\circ}\text{C}$ entonces $L_{pr} = L_p$

c) si $\alpha_p \neq \alpha_{pr}$ pero $T_{pr} \neq T_p$

la medida no es correcta y debe corregirse la medición del pie de rey según su coeficiente de dilatación y el de la pieza



Efecto de la temperatura en los juegos



$$J_{max_{(X^\circ C)}} = J_{max_{(20^\circ C)}} + D_{max_{a(20^\circ C)}} \alpha_a (T_a - 20) - D_{min_{e(20^\circ C)}} \alpha_e (T_e - 20)$$

Donde: T_a Temperatura de la pieza con un agujero

T_e Temperatura del eje

$D_{max_{a(20^\circ C)}}$ Amplitud máxima del agujero a 20°C

$D_{min_{e(20^\circ C)}}$ Amplitud mínima del eje a 20°C



Ejercicio de dilatación térmica

Ejemplo 1

Si el ajuste de un émbolo y la camisa de un motor de explosión responde a la especificación 50 H7/d6. La camisa es de fundición y el émbolo es de aluminio. En régimen estable de trabajo la camisa alcanza una temperatura un 20% menor que la del émbolo.

- ¿Cuáles son los valores de los juegos máximo y mínimo a 20°C?
- ¿Para qué temperatura de trabajo del émbolo, el juego puede llegar a ser nulo?

$$\alpha_{\text{aluminio}} = 24 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \quad \alpha_{\text{fundición}} = 11 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

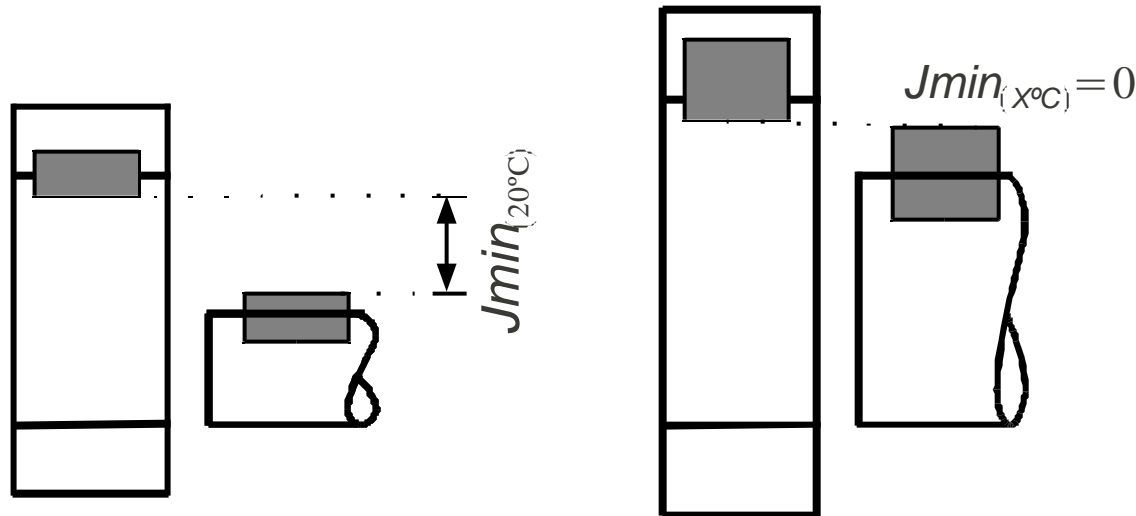
Solución:

• Por definición las especificaciones en norma ISO para un ajuste están realizadas a 20°C, por lo tanto el $J_{\text{max}} = 0,121 \text{ mm}$ y $J_{\text{min}} = 0,08 \text{ mm}$ (ver ejercicio diapositiva 9).



Ejercicio de dilatación térmica

En la imagen siguiente se pueden ver las dos situaciones, ajuste entre émbolo y camisa a 20°C y ajuste a una cierta temperatura $X^{\circ}\text{C}$, temperatura a la cual se han dilatado ambos materiales. El aluminio por tener un coeficiente de dilatación mayor que la fundición se deforma más, llegando a producirse un juego entre émbolo y camisa igual a cero.



Ecuaciones asociadas al problema

$$Dmin_{c(X^{\circ}\text{C})} = Dmin_{c(20^{\circ}\text{C})} [1 + \alpha_{fundición} (T_c - 20^{\circ}\text{C})] \quad (1)$$

$$Dmax_{e(X^{\circ}\text{C})} = Dmax_{e(20^{\circ}\text{C})} [1 + \alpha_{aluminio} (T_e - 20^{\circ}\text{C})] \quad (2)$$

$$T_c = 0,8 T_e \quad (3)$$



Ejercicio de dilatación térmica

Restando la ecuación (1) con (2) y reemplazando (3) se tienen

$$Jmin_{(X^{\circ}C)} = Jmin_{(20^{\circ}C)} + Dmin_{a(20^{\circ}C)} \alpha_{fundición} (0,8 T_e - 20^{\circ}C) - Dmax_{e(20^{\circ}C)} \alpha_{aluminio} (T_e - 20^{\circ}C) \quad (4)$$

Reemplazando en (4) la condición: juego entre émbolo y camisa igual a cero

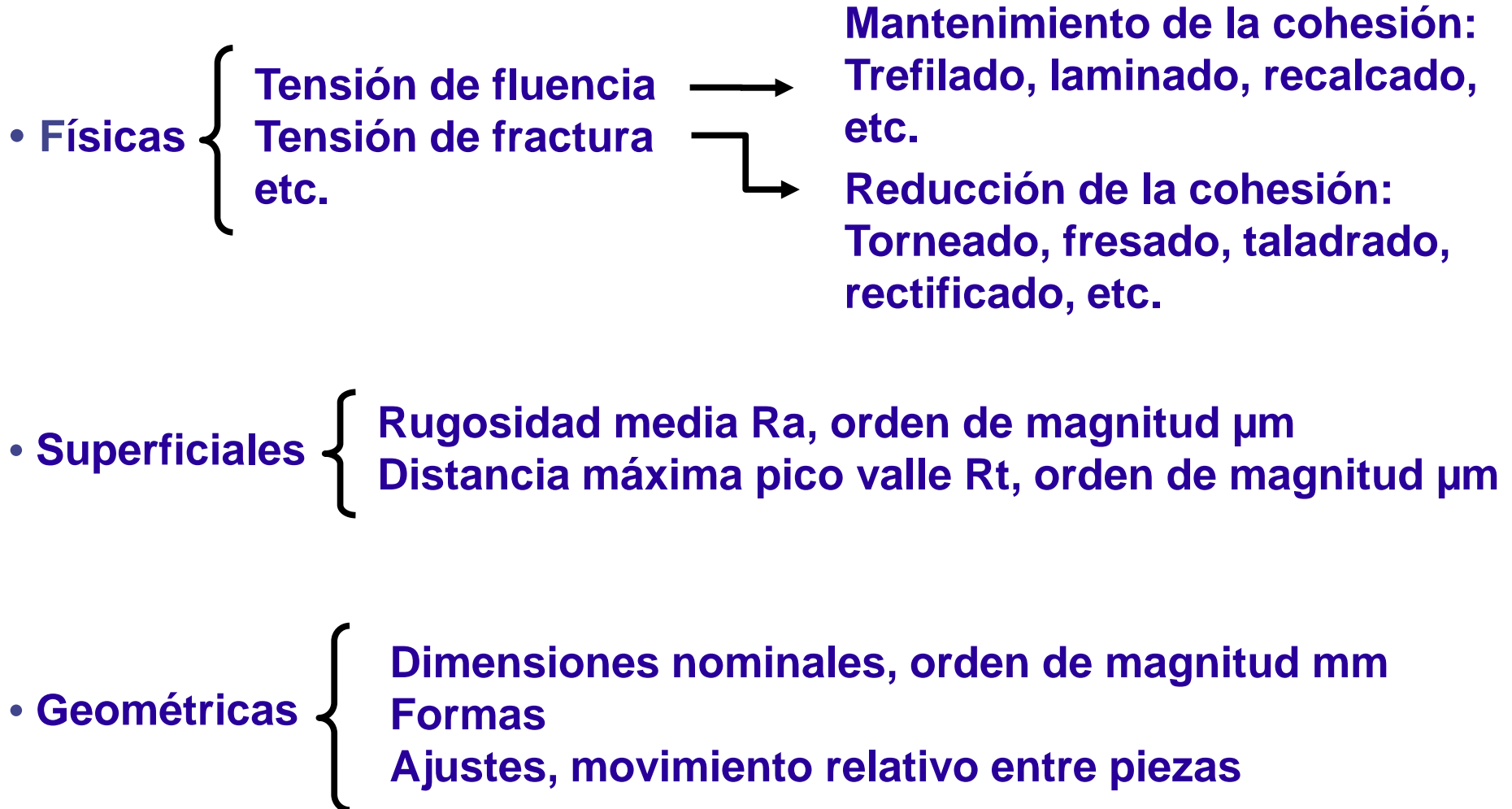
$$0 = Jmin_{(20^{\circ}C)} + Dmin_{a(20^{\circ}C)} \alpha_{fundición} (0,8 T_e - 20^{\circ}C) - Dmax_{e(20^{\circ}C)} \alpha_{aluminio} (T_e - 20^{\circ}C) \quad (5)$$

Despejando T_e de (5) se tiene: $T_e = 122,6^{\circ}C$



Resumen

Características de fabricación de una pieza:

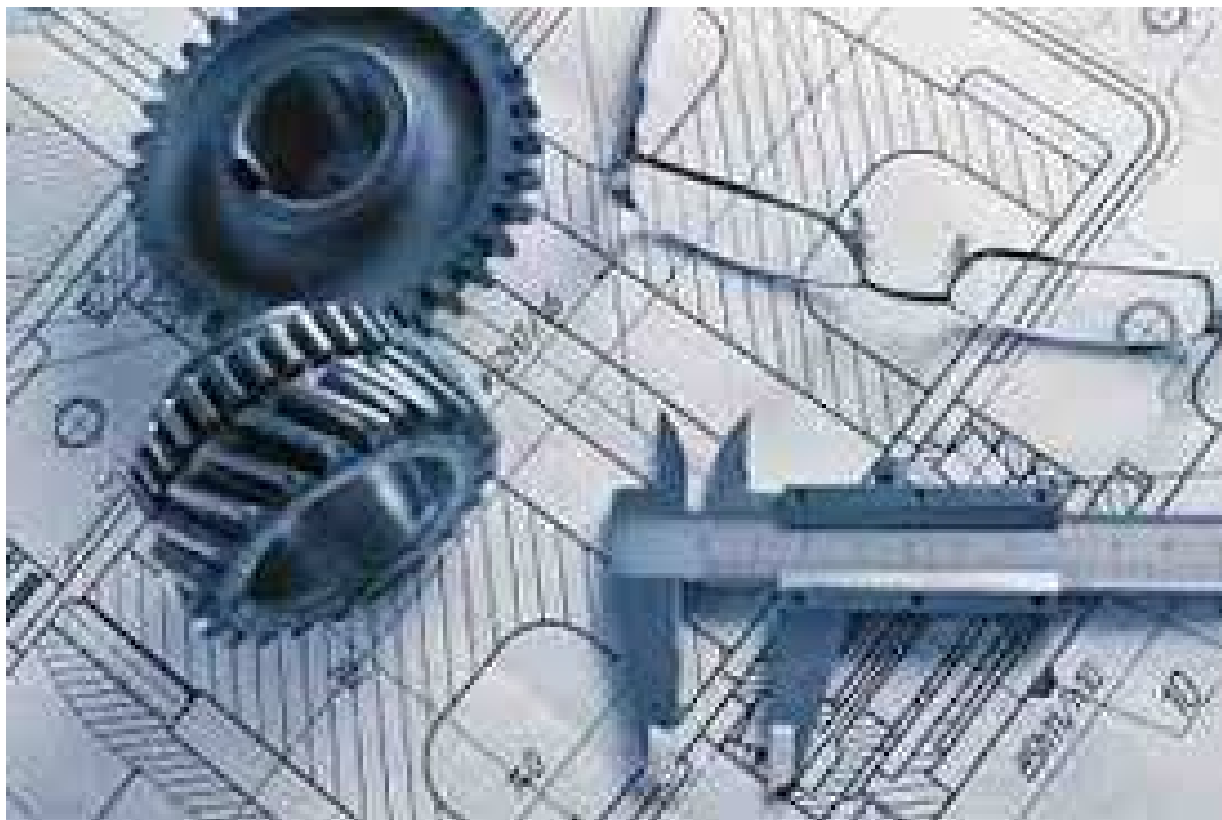




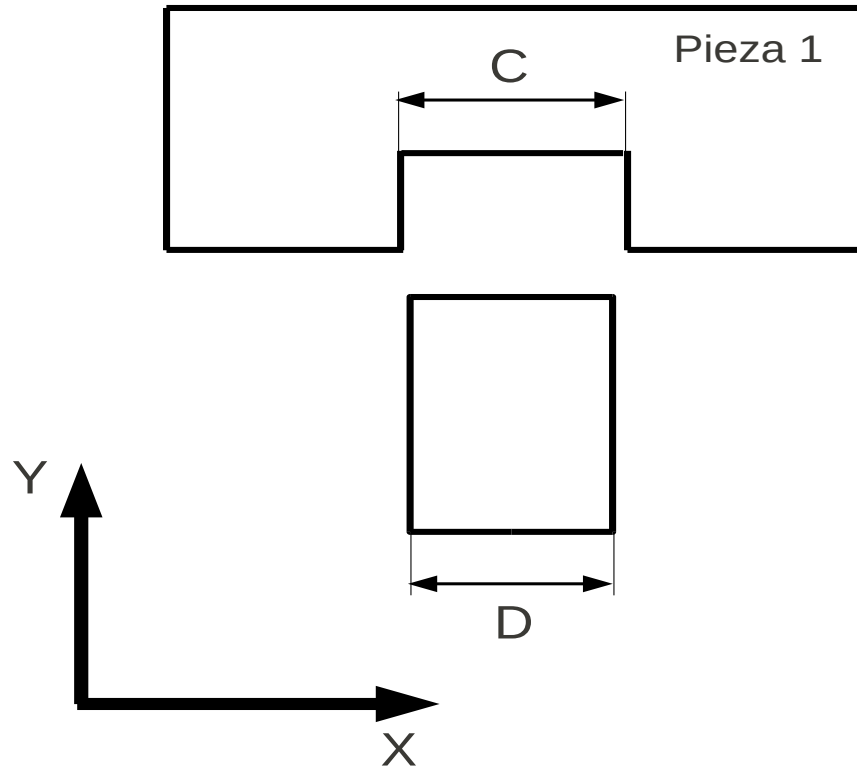
BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL:

- **S. Kalpakjian, S. Achmid, “Manufactura, ingeniería y tecnología” Pearson Educación, México 2002.**
- **Groover, M. “Fundamentos de manufactura moderna : materiales, procesos y sistemas ”. México. Ed. : Prentice Hall. 1997.**
- **A. Pardo, L.A. Sanz, “Metrología y Verificación, Primera parte” cpda-ETSEIB.**

Problema Metrología



Se desea hacer un montaje del tipo “casos normales de piezas que giran o deslizan” como el que se muestra en la figura siguiente

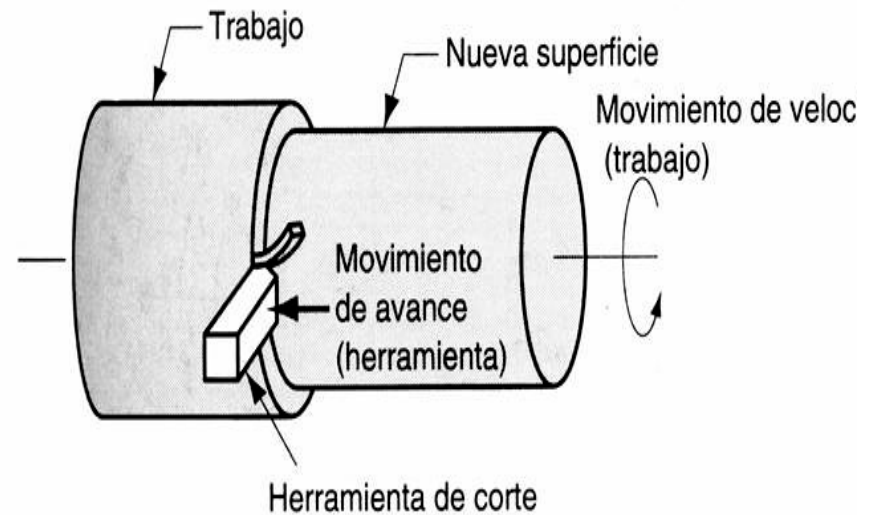


Donde: $D=50f7$

- Determinar el valor máximo y mínimo de la cota C para que se cumpla esta condición
- Una vez el montaje está en funcionamiento, la Pieza 1 (fabricada en acero con coeficiente de dilatación $\alpha_{\text{acero}}=11,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) está a 60°C , mientras que la temperatura del riel de aluminio con coeficiente de dilatación dos veces el del acero está a 90°C . ¿Seguirá funcionando el conjunto de la misma manera? Justifique su respuesta de manera numérica
- Si el montaje del conjunto se debe realizar mediante un sistema automático o un robot, realice una estimación de la precisión en la dirección X que debe tener el robot para que dicho montaje se pueda hacer correctamente. Tome como referencia en el eje x el centro de la pieza 1

Procesos de fabricación por arranque de virutas

- ✓ Definición
- ✓ Selección de semiproductos
- ✓ Maquinabilidad
- ✓ Elementos cortantes
- ✓ Movimientos fundamentales
- ✓ Tipos de operaciones
- ✓ Funciones que deben cumplir las herramientas de corte.
- ✓ Materiales utilizados en la fabricación de herramientas de corte.
- ✓ Geometría de la herramienta de corte.
- ✓ Desgaste en las herramientas.





Definición

Mecanizado por arranque de virutas: Proceso que consiste en **arrancar** en forma de **virutas** o **partículas** el **exceso de material** de un **semiproducto** previamente concebido, utilizando para ello las **máquinas** y las **herramientas cortantes** adecuadas para conseguir la geometría de la **pieza deseada** y las especificaciones planteadas.



Selección de Semiproductos

Piezas fabricadas por:

- Fundición
- Forja
- Laminación o
- Pulvimetalurgia
- En algunos casos, se les han efectuado operaciones previas de doblado, soldadura, etc.

En ocasiones, debido a que el proceso de mecanizado resulta excesivamente caro, la fabricación total de piezas por fundición, por deformación o por polvos metálicos se impone sobre éste. No obstante, hay que tener en cuenta que el método de arranque de virutas es el único que permite fabricar piezas con una exactitud del orden de las micras



Maquinabilidad

Se define como la **capacidad** que tienen los materiales de **dejarse arrancar una parte de ellos** con un útil de corte. También se podía decir que es la **habilidad que tienen los materiales de ser mecanizados**.



Maquinabilidad

La maquinabilidad se evalúa mediante la realización de una serie de ensayos en los que se determinan las siguientes características:

- La duración del afilado de la herramienta
- La velocidad de corte que se debe aplicar
- La fuerza de corte en la herramienta
- La potencia de la máquina herramienta a utilizar
- El trabajo producto del corte
- La temperatura en la zona de corte
- La producción de la viruta
- El acabado superficial que queda en la pieza elaborada



Maquinabilidad

La maquinabilidad de un material es afectada por diferentes factores:

- Composición química
- Tipo de microestructura
- Inclusiones o impurezas
- Dureza y Resistencia
- Ductilidad y Acritud
- Tamaño del grano
- Conductividad térmica
- Presencia de aditivos libres (Azufre, Plomo, Selenio, Manganeso, Fósforo, etc.)



Elementos cortantes

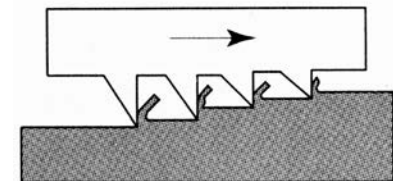
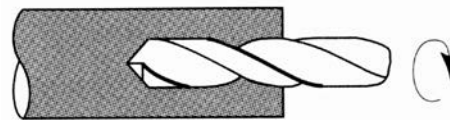
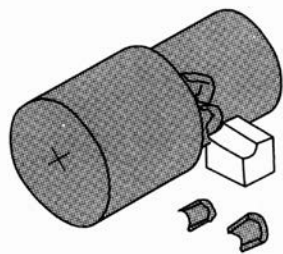
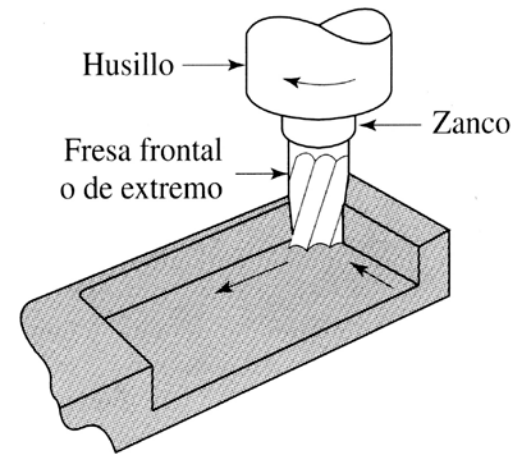
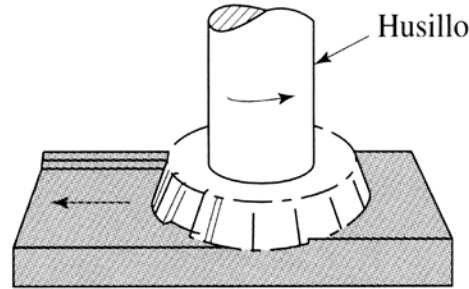
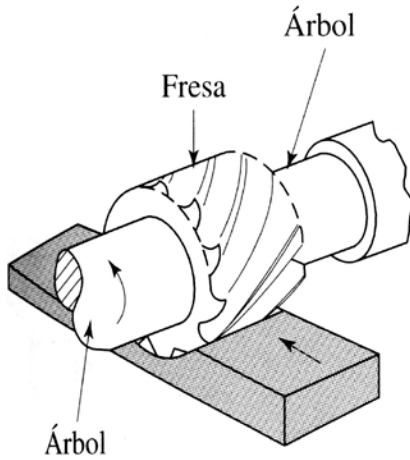
Las máquinas herramientas para efectuar el mecanizado utilizan los siguientes elementos:

- Cuchillas
- Materiales abrasivos
- Chispas eléctricas
- Ultrasonidos
- Chorro electrónico capaz de volatilizar el material
- Electrólisis dirigida



Elementos cortantes

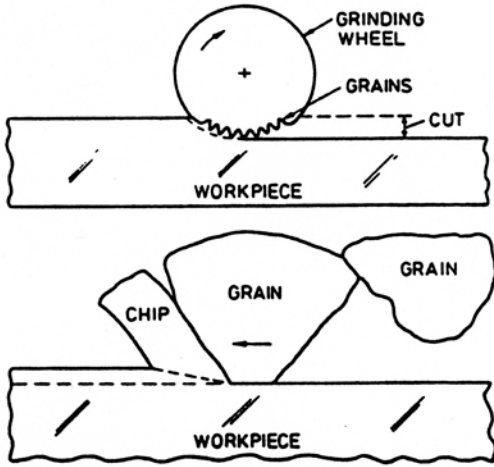
Cuchillas



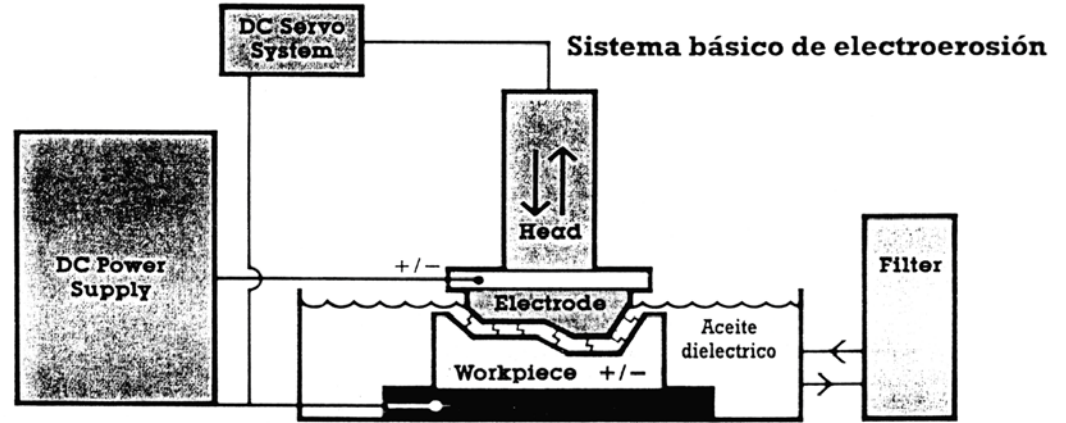


Elementos cortantes

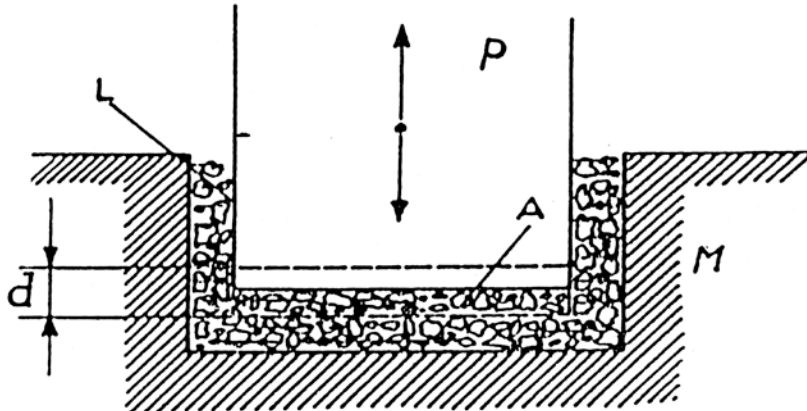
Materiales abrasivos



Rectificado



Electroerosión másica

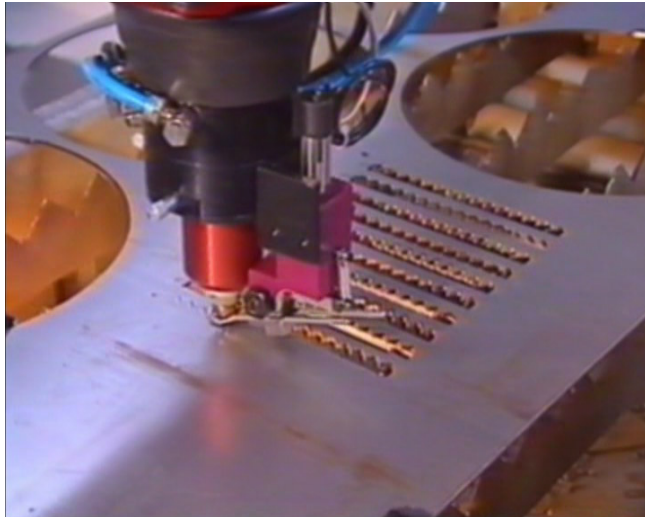
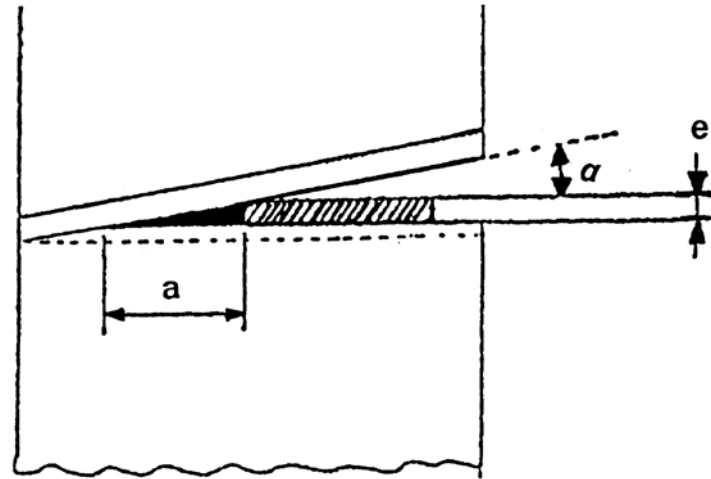


Ultrasonidos

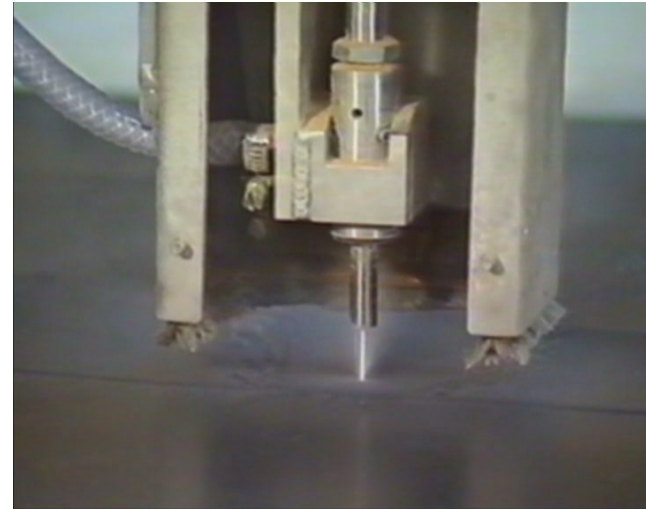


Elementos cortantes

Cizalla



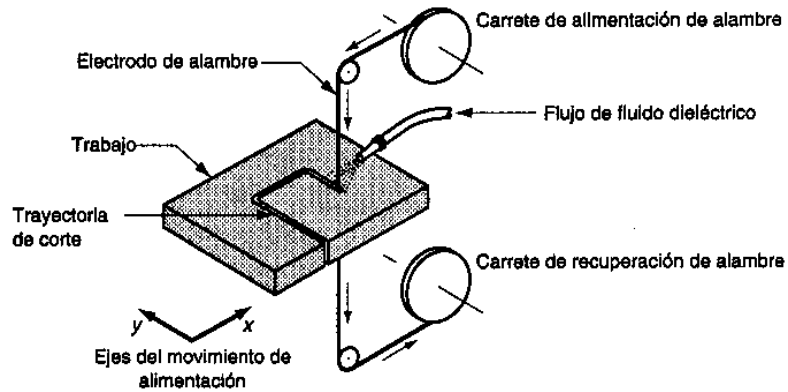
Soplete láser



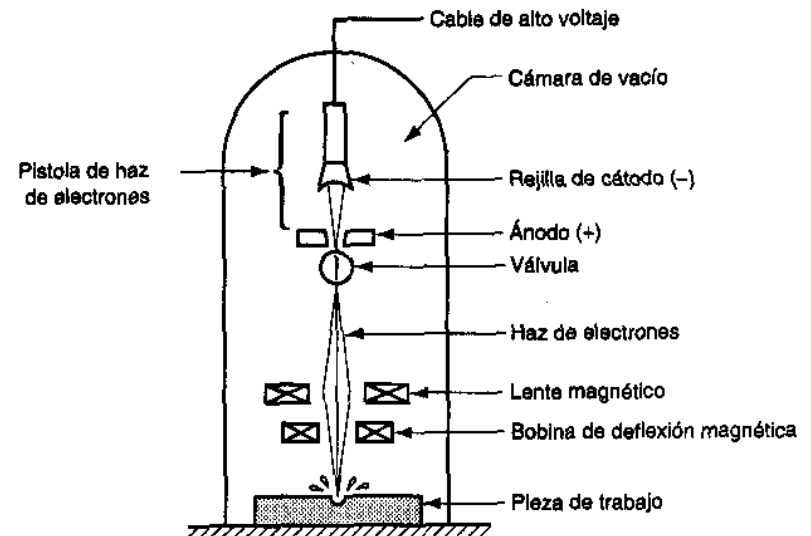
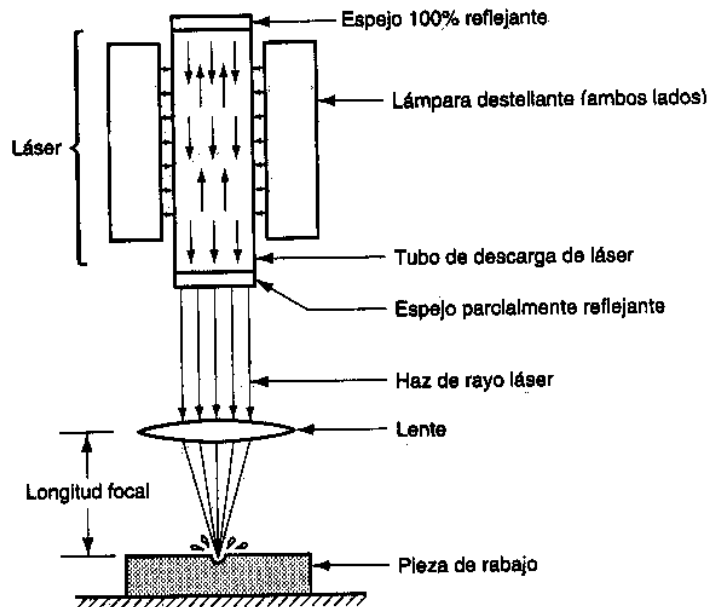
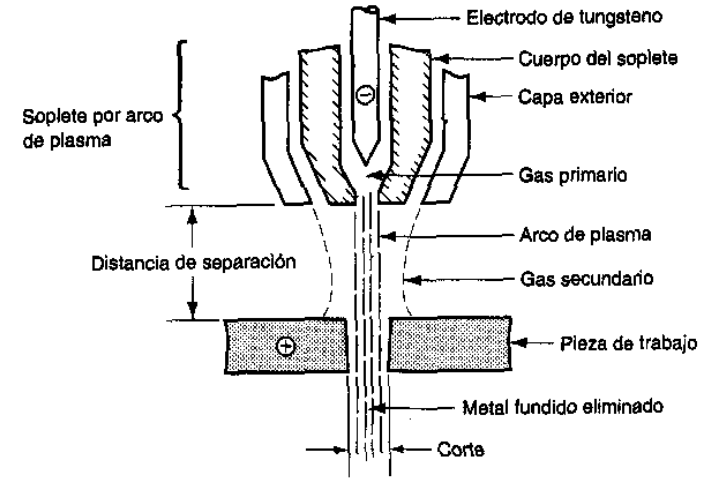
Chorro de agua



Elementos cortantes

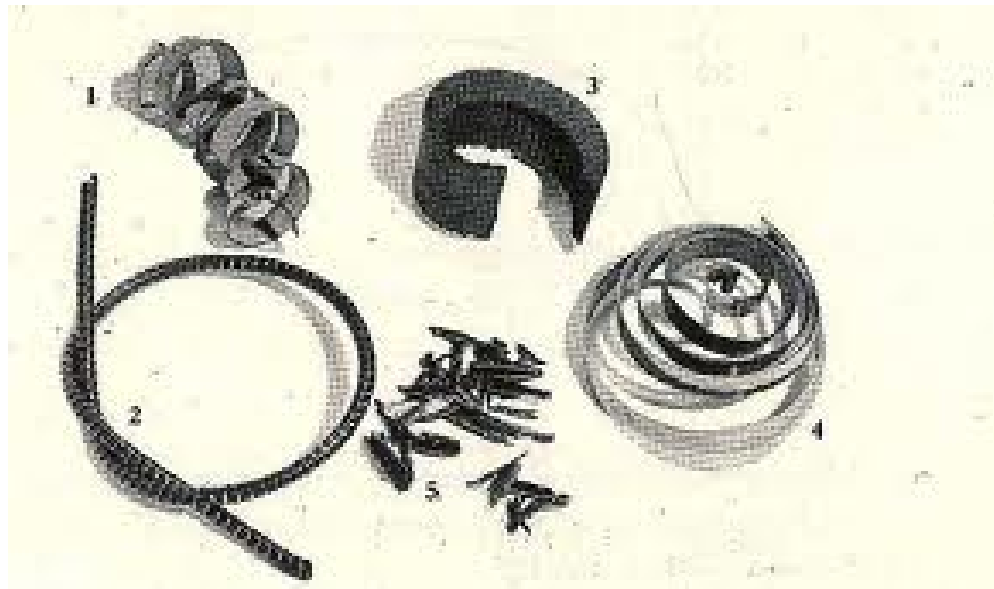


Corte con arco de plasma.





Exceptuando el corte mediante cuchillas, en el que el material arrancado aparece en forma de tiras fragmentadas (si es frágil) o continuas (si es dúctil), en el resto de los casos se desprenden partículas pequeñísimas.





Movimientos fundamentales

El arranque de viruta o partícula se realiza mediante la **penetración de una herramienta en la pieza de trabajo**, cuyo material es de **mayor dureza** que el de la pieza a cortar. Este enclavamiento ocurre mientras se efectúa el **movimiento relativo entre la pieza a trabajar y la herramienta de corte**

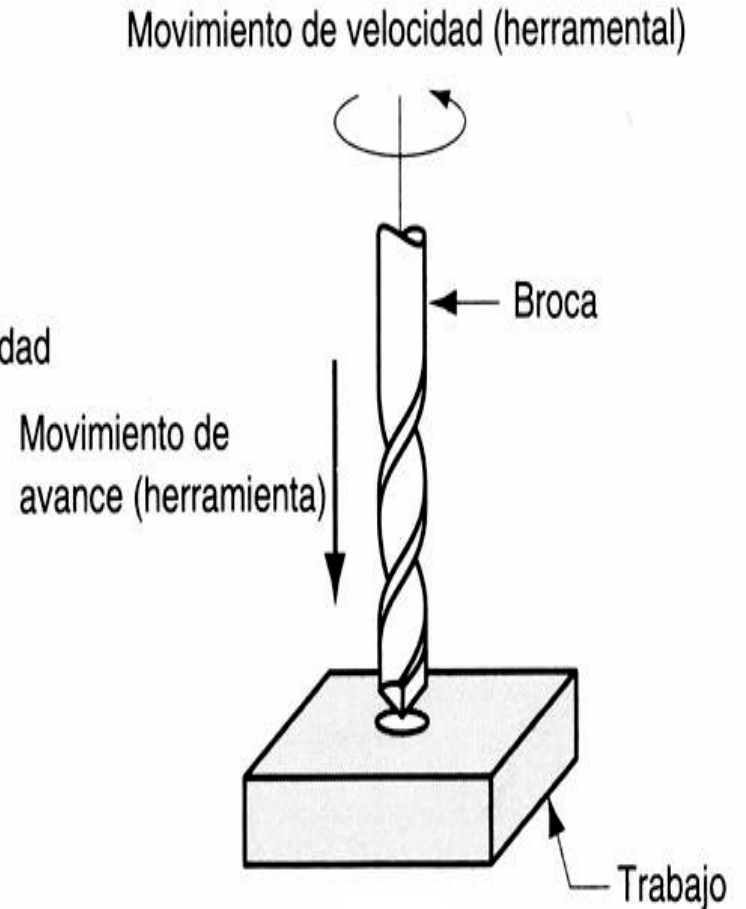
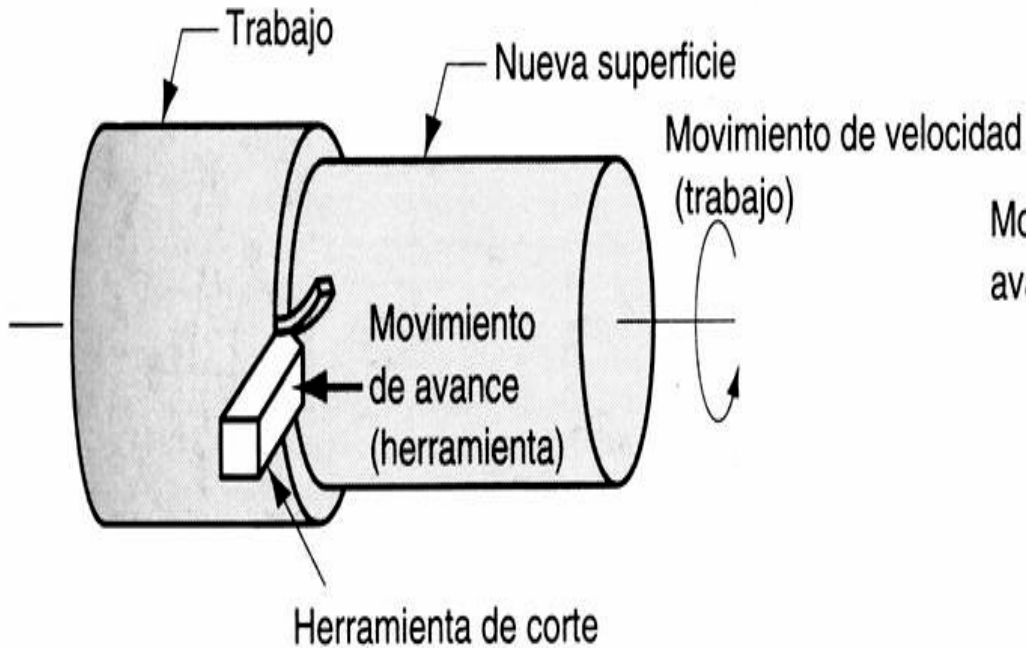


Movimientos fundamentales

- **Movimiento principal o de Corte:** Es que el permite que la herramienta penetre en el material, produciendo viruta, y se identifica a través del parámetro Velocidad de Corte (V_c).
- **Movimiento avance:** Es el desplazamiento del punto de aplicación del corte. Se identifica a través del parámetro Velocidad de Avance o Avance (a).
- **Movimiento de alimentación:** Es con el que se consigue cortar un determinado espesor de material. Se identifica con el parámetro Profundidad de corte o de pasada (t).



Movimientos fundamentales





Tipos de operaciones

Según el grado de acabado superficial que ha de quedar en la pieza de trabajo, se distinguen tres tipos de operaciones:

- **Desbaste:** El material eliminado es del orden de los milímetros o las décimas de milímetros y su finalidad es aproximar las dimensiones de la pieza a la medida final, en el menor tiempo posible desplazando para ello la cuchilla de corte con altas velocidades de avance y de corte.
- **Acabado:** El material eliminado es del orden de las centésimas de milímetros y su finalidad es la obtención de piezas con las medidas finales y con superficies poco rugosas. Para ello las velocidades de avance son bajas y las velocidades de corte son más altas que en el desbaste.
- **Súper-acabado o Rectificado:** Tiene como finalidad alcanzar medidas muy precisas y muy buenos acabados superficiales. El orden del material rebajado es de las milésimas de milímetros. Las velocidades de corte y de avance son muy altas, desprendiéndose partículas de material producto de la abrasión.



Proceso de arranque de material por medio de cuchillas



- De los elementos que se utilizan para arrancar material en los procesos de **mecanizado por arranque de viruta**, uno de lo más utilizados es la **cuchilla**. El **material desprendido** se presenta, en este caso, en forma de **viruta**.
- El **diseño** y las **formas** de las **cuchillas** utilizadas en estos procesos se basan en el **Buril**, que fue la primera herramienta utilizada para este fin. El buril no es más que una **barra rectangular** de acero afilada en su extremo como un diedro que actúa como cuña.

Proceso de arranque de material por medio de cuchillas



La herramienta se compone de:

- Parte activa : Aquella que realiza el arranque de material.
- Parte auxiliar : Destinada a soportar y fijar la parte activa.
- Las características fundamentales de la parte **activa** de la herramienta vienen dadas por el *material* de que está compuesta y su *geometría*.





Proceso de arranque de material por medio de cuchillas



Funciones que deben cumplir las herramientas de corte:

- Garantizar la obtención de medidas precisas y superficies bien acabadas
- Mecanizar cualquier tipo de material
- Ofrecer un máximo rendimiento con un mínimo desgaste
- Disponer de una larga duración del filo de corte, ya que se ahorran afilados
- Lograr que la viruta salga fácilmente
- Capacidad para absorber elevadas temperaturas. **Por qué???**
- Soportar grandes esfuerzos de corte sin deformarse
- Tener alta resistencia al desgaste



Proceso de arranque de material por medio de cuchillas



Para alcanzar estas prestaciones hay que hacer una selección adecuada del material y de la geometría de las herramientas, basándose en:

- Tipo de operación a realizar
- Material de la pieza de trabajo
- Máquina-herramienta a utilizar



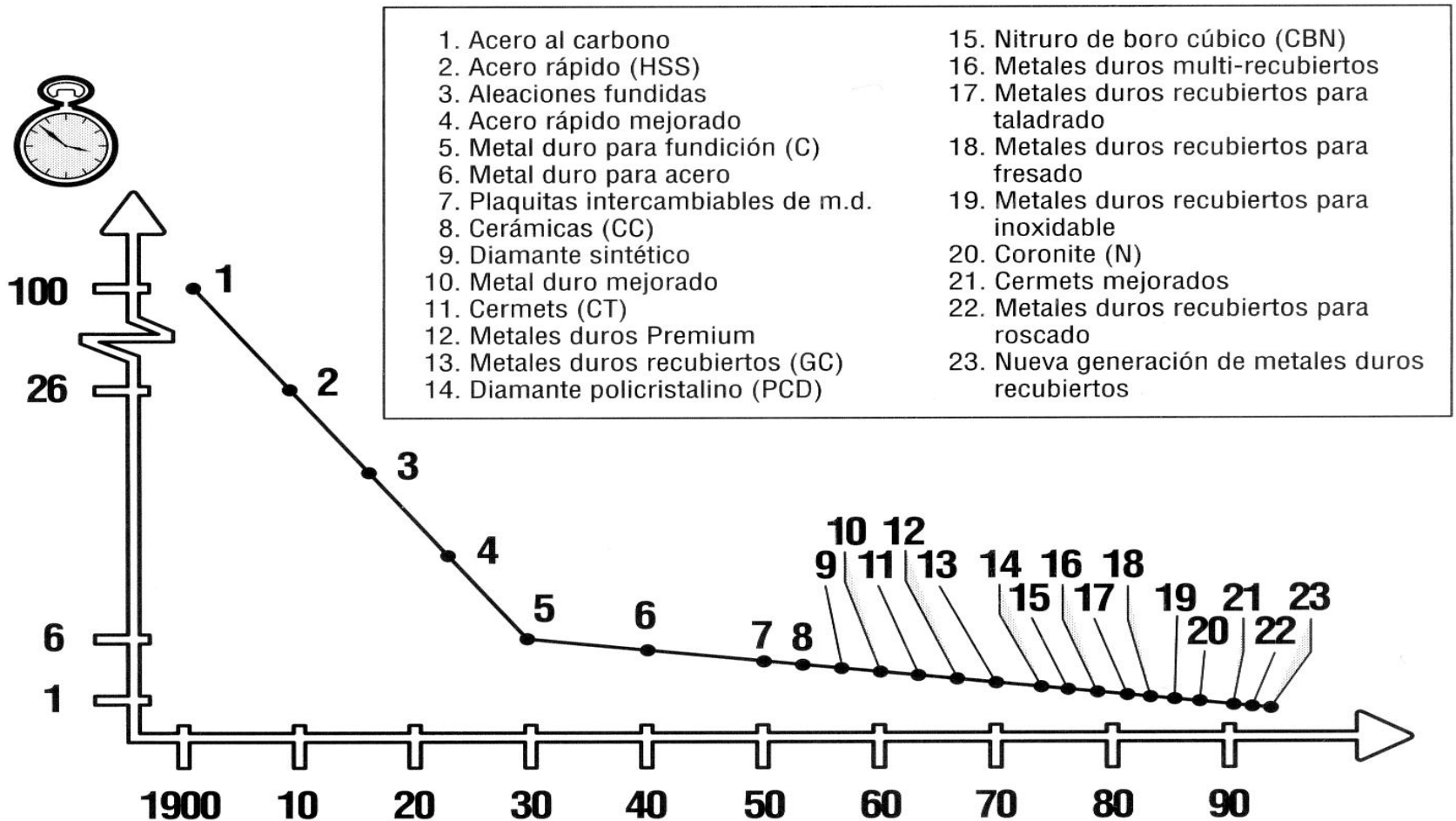
Materiales utilizados para fabricar herramientas de corte

Propiedades que deben tener:

- Dureza a alta temperatura
- Características térmicas
 - Conductividad alta
 - Coeficiente de dilatación bajo
 - Calor específico alto
- Coeficiente de rozamiento bajo
- Alta Tenacidad
- Resistencia al impacto
- Resistencia al desgaste
- Dureza en caliente
- Químicamente inerte respecto a la pieza de trabajo
- Químicamente estable frente a la oxidación y la disolución



Materiales utilizados para fabricar herramientas de corte



Materiales utilizados para fabricar herramientas de corte



Ejemplos de Materiales y Velocidades de corte con las que se pueden trabajar (para mecanizar piezas de acero)

Materiales	Velocidades de corte
Aceros al carbono	6 - 10 m/min
Aceros rápidos	25 - 30 m/min
Aceros extra rápidos	40 - 50 m/min
Aleaciones de metales fundidos (Estelitas)	50 - 60 m/min
Carburos metálicos o metal duro (Widia)	100 - 120 m/min (desbaste) 200 - 250 m/min (acabado)
Materiales cerámicos	500 m/min

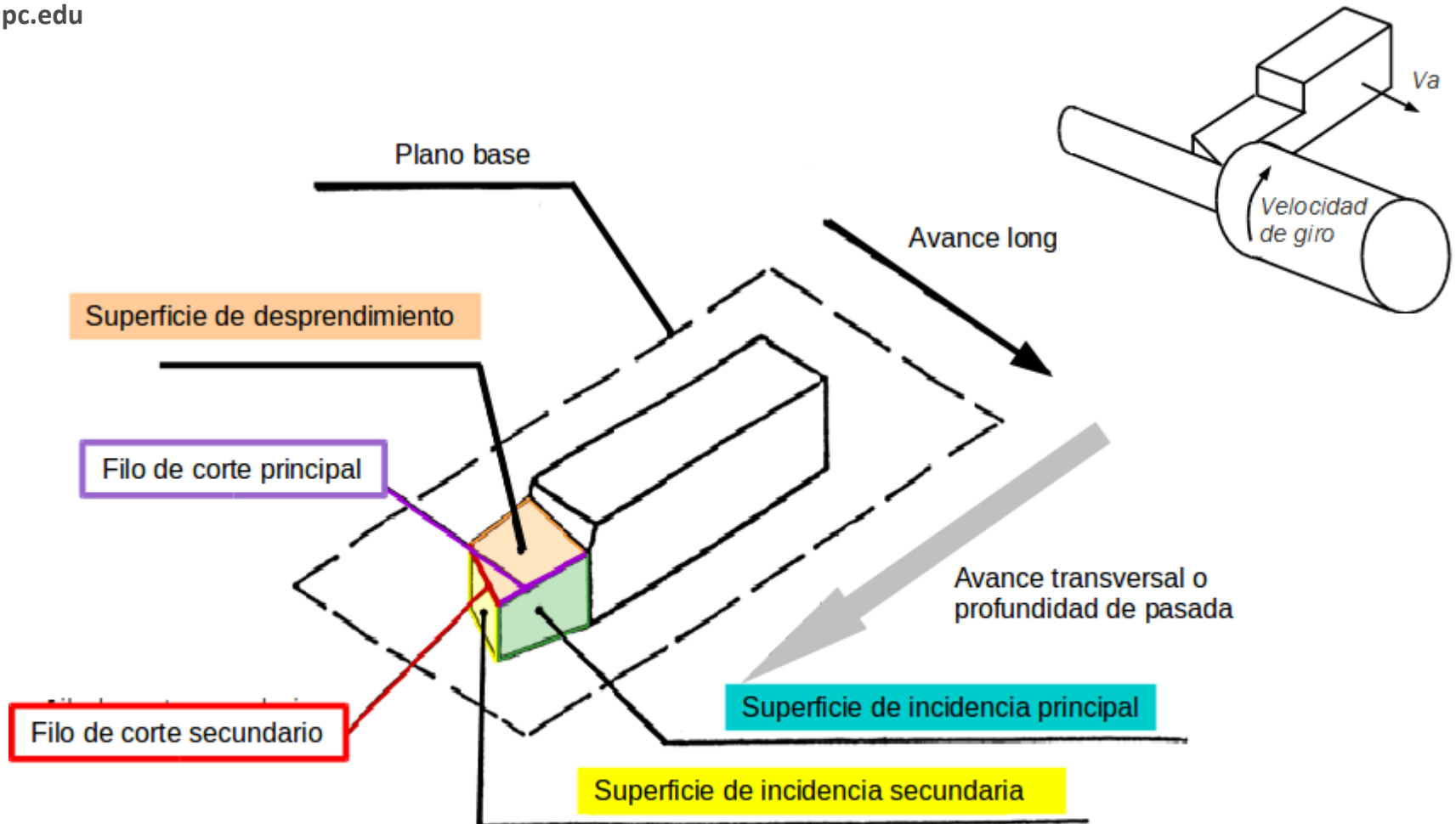
Materiales utilizados para fabricar herramientas de corte



Ejemplos de Materiales y Velocidades de corte con las que se pueden trabajar en operaciones de desbaste y acabado(para mecanizar piezas de acero)

Velocidades en m/min		Desbaste			Acabado		
		Acero al carbono	Acero rápido	Caburos metálicos	Acero al carbono	Acero rápido	Carburos metálicos
Acero	400 N/mm ²	12	25	200	20	30	300
	600 N/mm ²	10	20	150	15	25	180
	800 N/mm ²	8	15	100	12	20	130
Latón		20	30	300	32	40	400
Bronce		12	18	200	20	25	300
Metales ligeros		40	60-200	75-300	100	100-700	200-2000

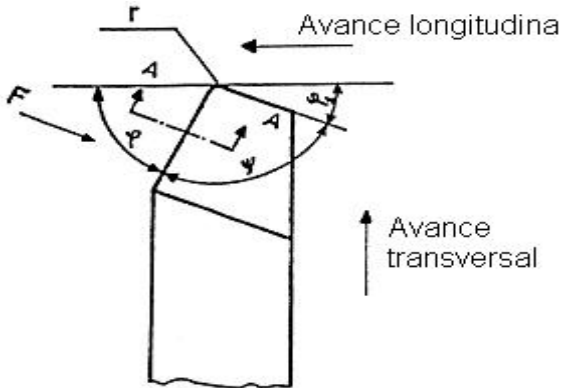
Geometría de la herramienta de corte



Geometría de la herramienta de corte

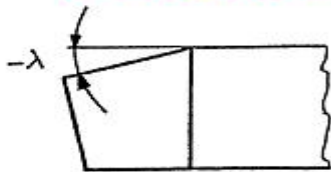


Ángulos que forman la geometría de la herramienta de corte

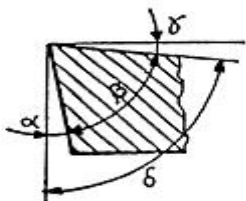


- α : Ángulo de incidencia
- β : Ángulo de filo (o arista)
- γ : Ángulo de desprendimiento
- δ : Ángulo de corte
- φ : Ángulo de posición principal
- φ_1 : Ángulo de posición secundario
- ψ : Ángulo de punta
- λ : Ángulo de caída

VISTA SEGUN F



SECCION A-A



Nota: Ángulo de caída, para reforzar la punta sobretodo en operaciones de desbaste.

Relaciones :

$$\begin{aligned} \varphi + \psi + \varphi_1 &= 180^\circ \\ \alpha + \beta + \gamma &= 90^\circ \end{aligned}$$



Geometría de la herramienta de corte

Influencia del ángulo de incidencia(α)

Resistencia al desgaste
(Herramienta de acero rápido)

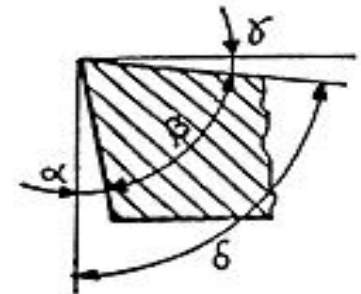
DESGASTE
POR ROZAMIENTO

DESGASTE
POR DEBILIDAD

2° 4° 6° 8° 10° 12° Ángulo de incidencia

- El ángulo de incidencia **depende**, principalmente de:
1. La resistencia del material de la herramienta.
 2. La resistencia y dureza del material de la pieza.

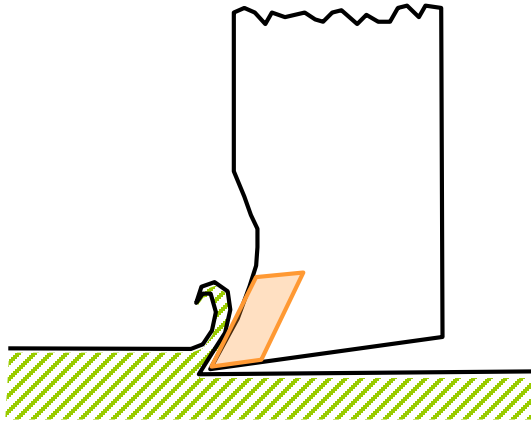
SECCION A-A





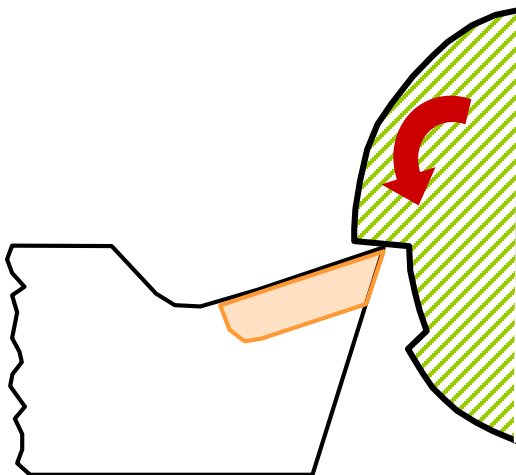
Geometría de la herramienta de corte

Ángulo de desprendimiento (γ)

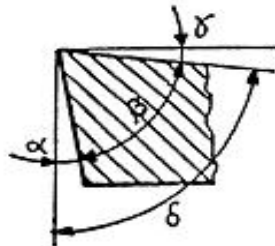


El ángulo de desprendimiento **se selecciona en función de:**

1. La resistencia del material de la herramienta.
2. La resistencia del material a mecanizar.
3. El calor desarrollado durante la mecanización.



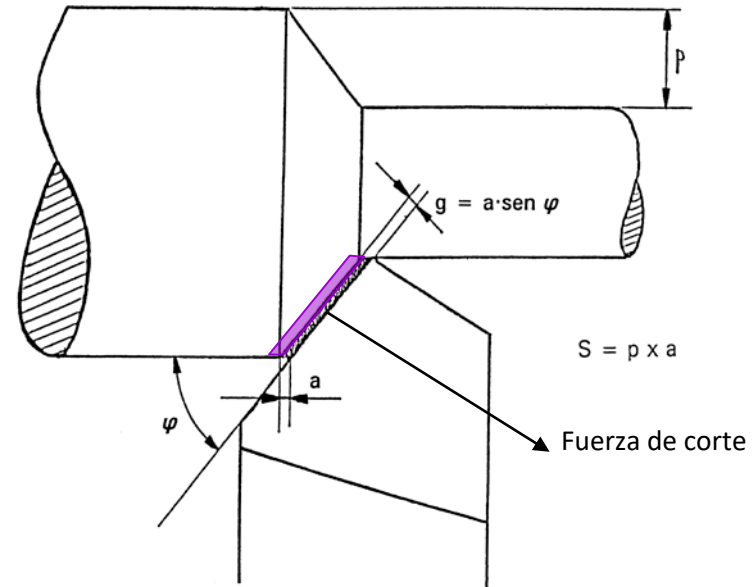
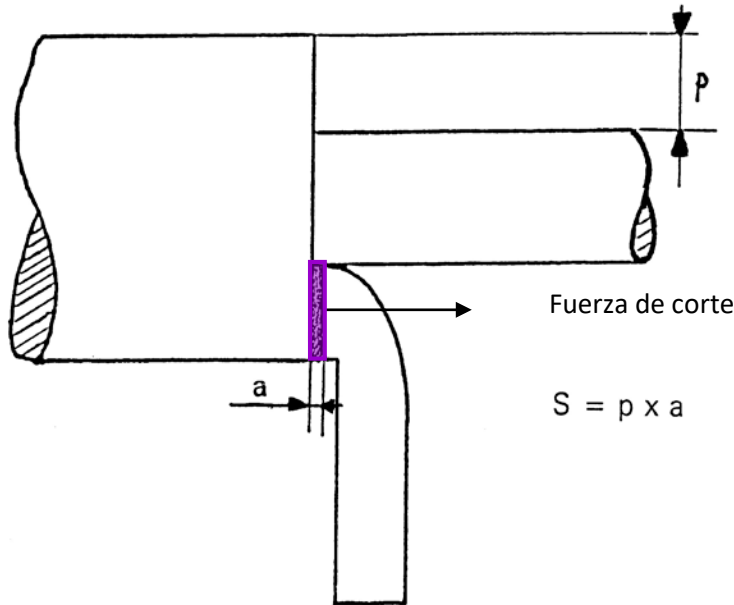
SECCION A-A



		Acero rápido		Metal duro	
		Incidencia	Desprendimiento	Incidencia	Desprendimiento
Acero	< 370 N/mm ²	9° - 11°	15° - 25°	6° - 8°	8° - 15°
	370-500 N/mm ²	8° - 10°	12° - 20°	6° - 8°	6° - 12°
	500-700 N/mm ²	7° - 9°	10° - 15°	5° - 7°	4° - 8°
	700-850 N/mm ²	7° - 9°	10° - 15°	5° - 7°	4° - 8°
	850-1000 N/mm ²	7° - 9°	8° - 14°	5° - 7°	3° - 7°
	1000-1200 N/mm ²	6° - 8°	5° - 10°	0° - 6°	0° - 4°
Aluminio fundido		12° - 14°	20° - 30°	8° - 10°	10° - 20°
Aluminio al bronce		10° - 12°	15° - 20°	7° - 9°	6° - 12°
Bronce fundido		5° - 8°	5° - 10°	4° - 6°	4° - 7°
Hierro fundido	Elando	8° - 10°	12° - 18°	6° - 8°	6° - 12°
	Semiduro	7° - 9°	10° - 15°	5° - 7°	4° - 9°
	Duro	5° - 7°	5° - 10°	3° - 5°	0° - 5°
	En coquilla	-	-	2° - 4°	-10° - 0°
Cobre		10° - 12°	20° - 30°	7° - 9°	10° - 20°
Fundición maleable		7° - 9°	10° - 15°	5° - 7°	5° - 10°
Plásticos		14° - 16°	20° - 35°	9° - 11°	10° - 25°



Ángulo de posición principal (ϕ)



Características:

- El ángulo de posición ϕ se mueve entre 0 y 90° . En la figura se muestra una herramienta con un ángulo de posición $\phi=90^\circ$ y otro menor.
- El ángulo de posición influye sobre: la longitud de contacto herramienta- pieza, el espesor de la viruta y la dirección de la fuerza de corte resultante.
- Permite un incremento progresivo de las fuerzas de corte al principio y al final de la pasada.
- Disminuye el espesor de la viruta y, por lo tanto, disminuye la presión sobre el filo.
- Refuerza la punta de la herramienta.
- Incrementa la longitud de contacto entre el filo de corte y la pieza, lo cual puede dar lugar a vibraciones.
- Si $\phi < 90^\circ$, aparece una componente de fuerza en sentido radial que puede provocar flexiones en la pieza si ésta es delgada.

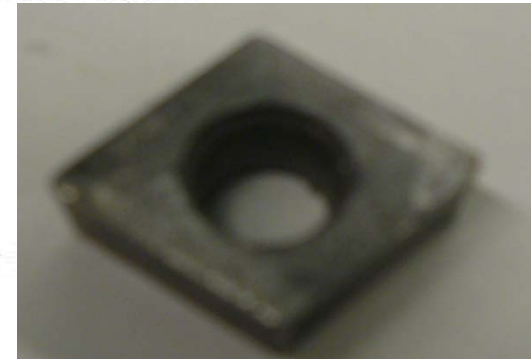
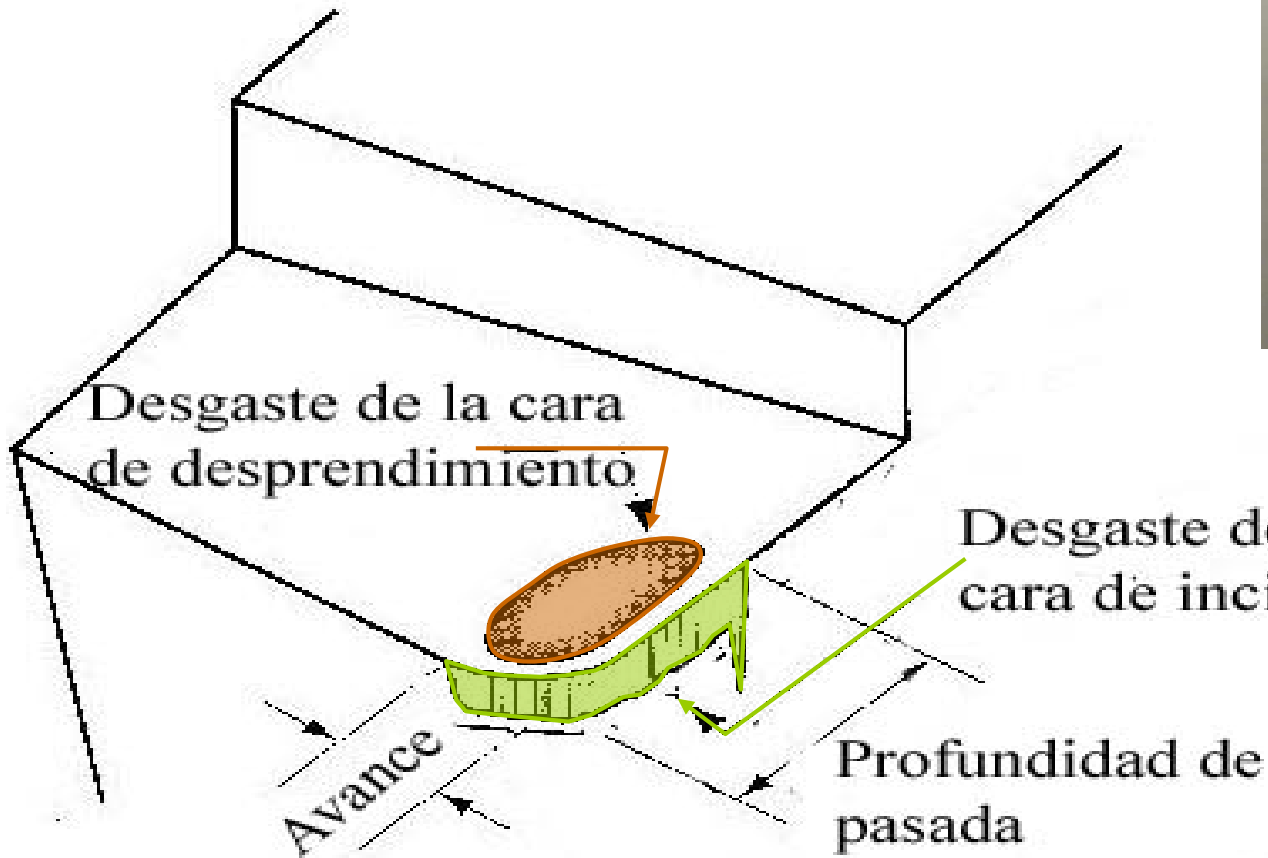


Influencia del radio de la punta de la herramienta y del avance en la rugosidad teórica obtenida





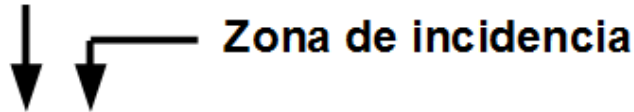
Desgaste de las herramientas de corte





Mecanismos fundamentales a través de los cuales ocurre el desgaste

Zona de desprendimiento

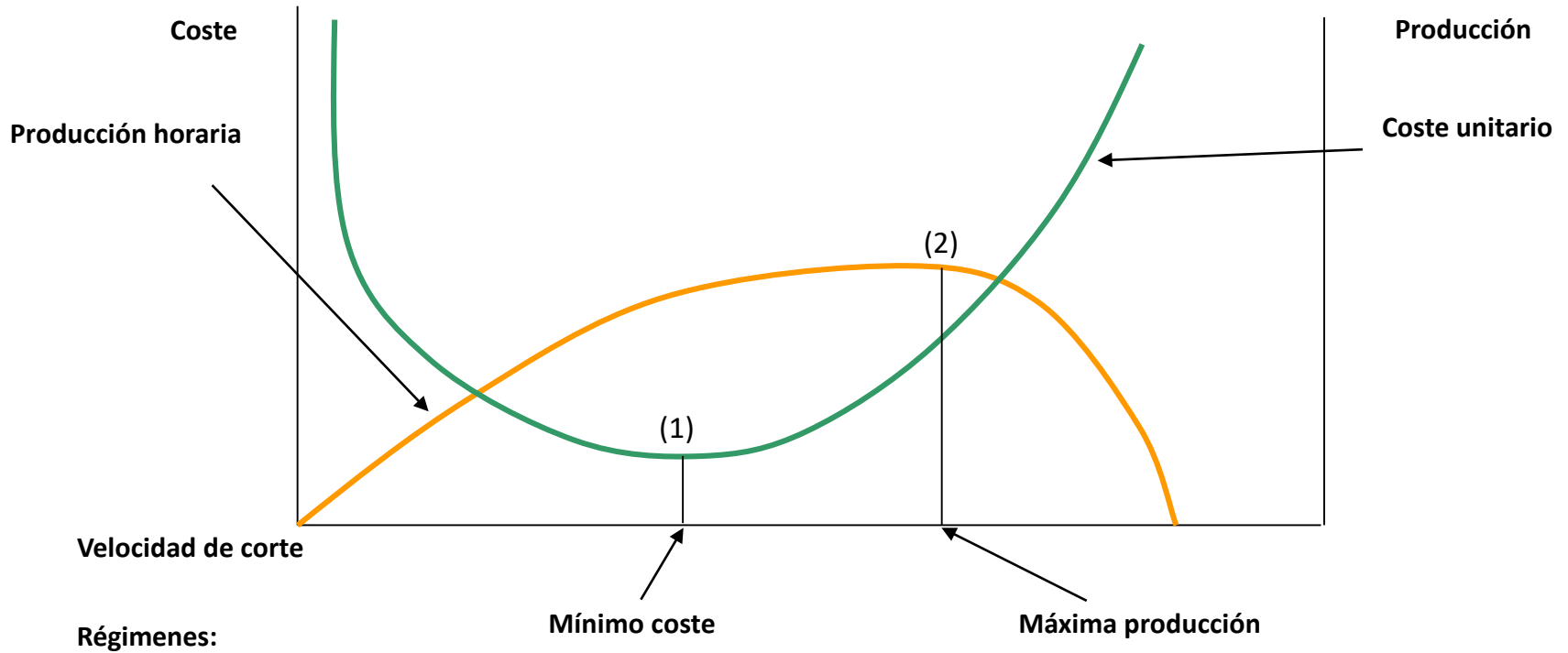


Mecanismo	D	I	
Adhesión	X		Mecanismo asociado a altas temperaturas, la temperatura de la herramienta y del material son tan altas que partículas de la herramienta y del material se adhieren
Abrasión	x	X	Mecanismo asociado a un problema de desgaste por interacción mecánica, problema de tensiones entre la herramienta y el material, asociadas a las fuerzas de rozamiento.
Difusión	X		Mecanismo asociado a altas temperaturas, problema de difusión de materia, asociada a grandes gradientes de concentración producto de la interacción de materiales diferentes, herramienta-pieza.
Deformación		X	Mecanismo asociado a un problema de interacción mecánica, problema de tensiones entre la herramienta y el material, asociadas a problemas de deformación plástica.
Químico electro- químico	x	x	Mecanismos asociados a enlaces químicos y electroquímicos.



Desgaste de las herramientas de corte

Régimen óptimo de trabajo



Cuando $V_c \uparrow \uparrow \Rightarrow$ producción $\uparrow \Rightarrow$ (tciclo \downarrow) \Rightarrow coste \downarrow

(1) desgaste $\uparrow \uparrow \Rightarrow$ coste herramienta $\uparrow \uparrow \Rightarrow$ coste unitario $\uparrow \uparrow$

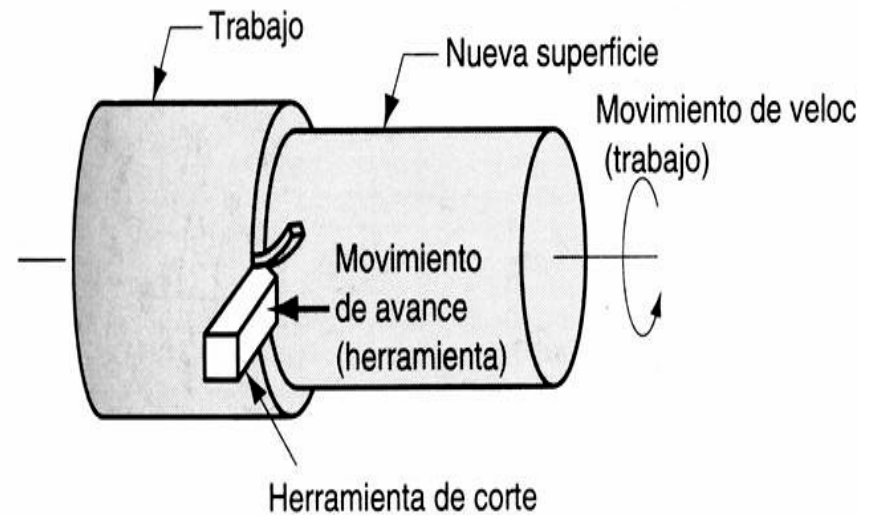
(2) tcambio herramienta $\uparrow \uparrow \Rightarrow$ tciclo $\uparrow \uparrow \Rightarrow$ producción \downarrow

Òptimo:

$V_c, \text{ min coste} \leq V_c \leq V_c, \text{ máx prod}$

Procesos de fabricación por arranque de virutas

- ✓ Proceso de formación de la viruta en el proceso de corte de metales.
- ✓ Parámetros que influyen sobre la formación de la viruta.
- ✓ Tipos de virutas.
- ✓ Fuerzas de corte en el mecanizado.
- ✓ Potencia y Energía de Corte.
- ✓ Rugosidad en el mecanizado.
- ✓ Temperaturas que se generan en el proceso de Corte.
- ✓ Utilización de los fluidos lubricantes y refrigerantes en el proceso de corte .
- ✓ Tiempo de vida útil de la herramienta





Formación de la viruta



El arranque de viruta ocurre cuando el filo de la herramienta de corte produce primeramente la **deformación elástica** de la parte del material que se convertirá en viruta, surgiendo grandes tensiones a medida que se acerca la herramienta. Cuando estas tensiones superan el **límite elástico** del material ocurre la separación de una capa del mismo en forma de viruta producto de la **deformación plástica** de éste.



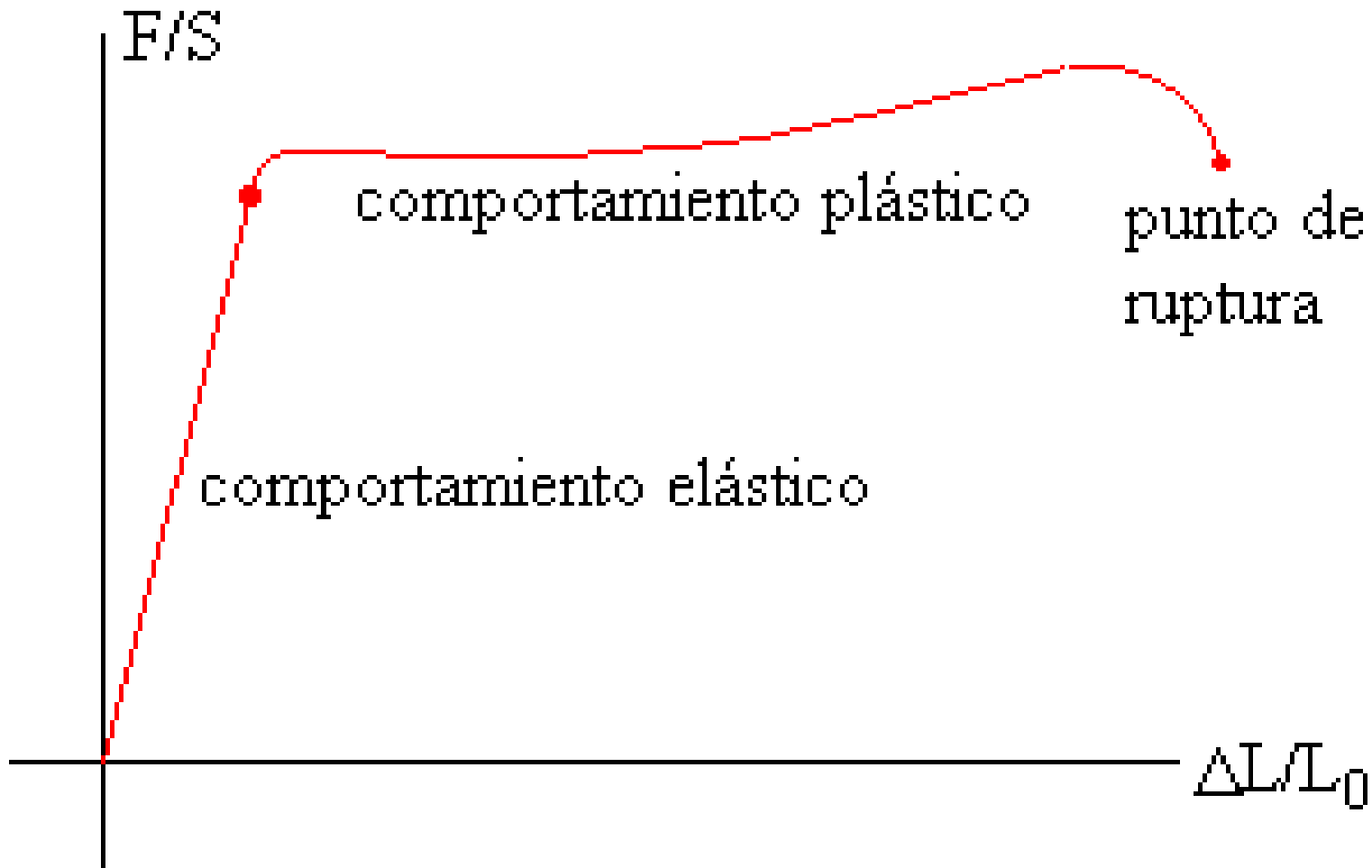
Formación de la viruta

Las **temperaturas** que se alcanzan en cada momento en la zona de corte **no** deben ser muy **altas**, ya que esto puede **influir negativamente** en la **estructura** del material de la pieza de trabajo y consecuentemente en sus **propiedades mecánicas**. Además altas temperaturas pueden traer consigo un **incremento en las fuerzas de corte**, lo cual puede hacer que la **potencia** de la máquina herramienta sea **insuficiente** por momentos para ejecutar depende que operaciones.



Formación de la viruta

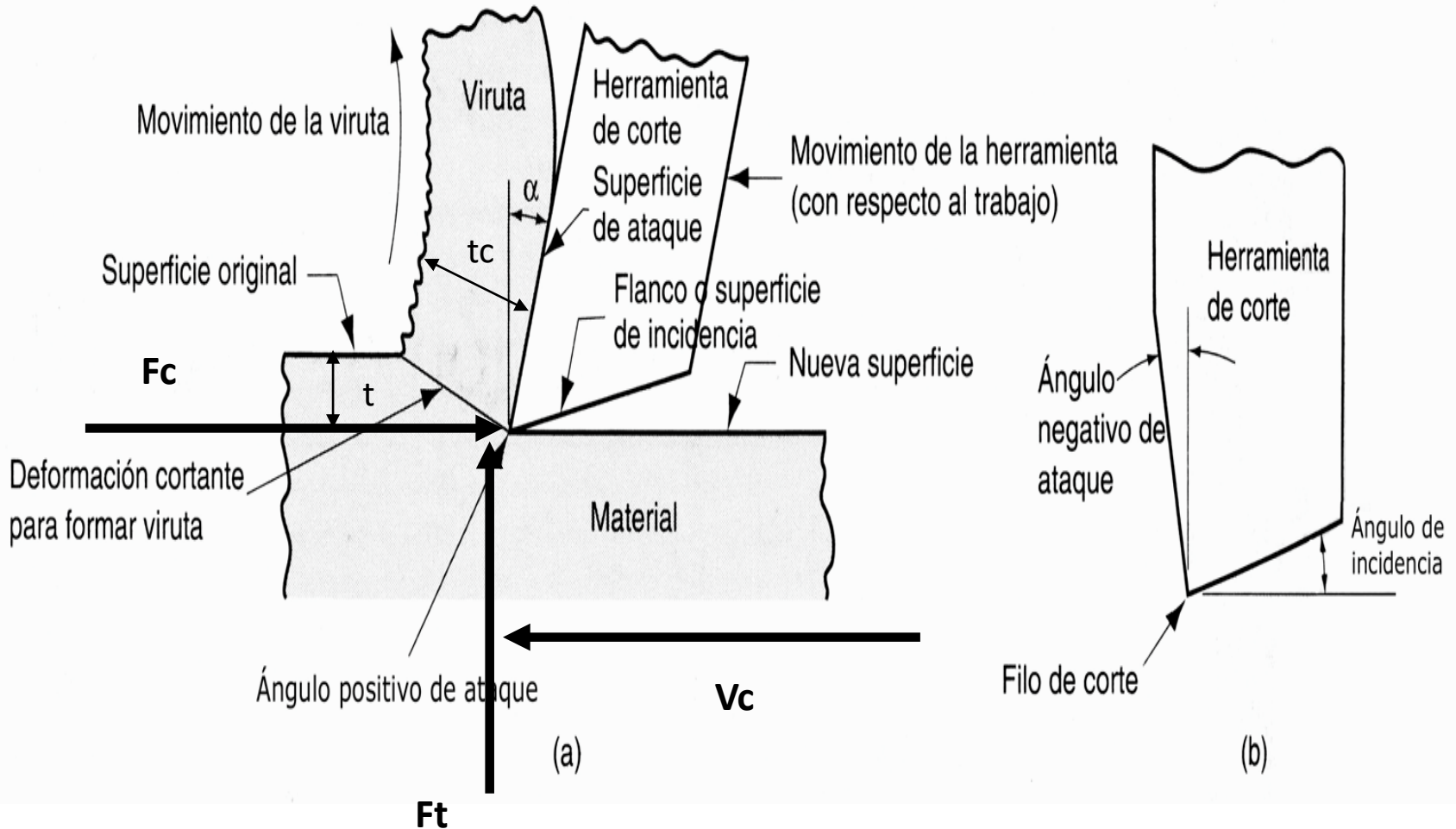
Curva (Esfuerzo- Deformación) del proceso de deformación de un material metálico





Formación de la viruta

Representación esquemática del proceso de formación de la viruta





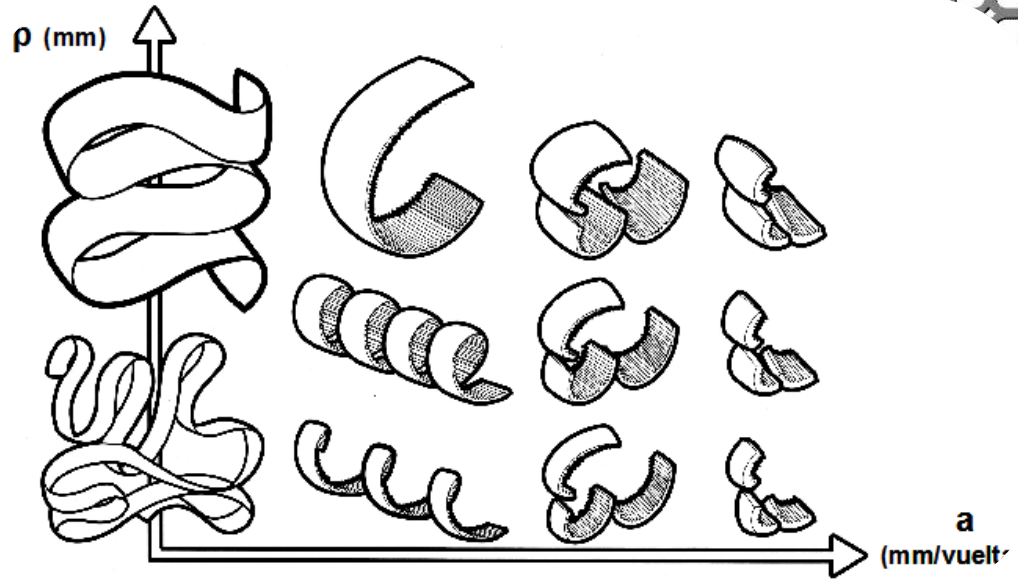
Formación de la viruta

Parámetros que influyen sobre la formación de la viruta:

- Material de la pieza y de la herramienta
- Diseño de la geometría de corte
- Refrigeración y lubricación en el proceso de corte
- Vida útil de la herramienta



Tipos de viruta



- **Viruta continua de bordes lisos:** Aparece en **materiales dúctiles**, aplicando **avances y profundidades de corte muy pequeñas y velocidades de corte elevadas**, superficies de ataque muy pulidas, bajo coeficiente de rozamiento, alta resistencia al desgaste y refrigeración considerable. Con este tipo de viruta se obtiene buen acabado.
- **Viruta continua de caras irregulares:** Aparece en **materiales dúctiles**, pero con **grandes avances y velocidades de corte pequeñas** y cuando la refrigeración es insuficiente o nula. El alto rozamiento entre viruta y herramienta desprende pequeñas partículas que se adhieren a la herramienta, originando un **recrecimiento del filo** que más tarde tiende a fracturarse en dos partes, una que se adhiere a la pieza y otra a la viruta, provocando que la superficie mecanizada quede rugosa.
- **Viruta discontinua:** Ocurre en **materiales frágiles**, con ángulos de afilados y **velocidades de corte pequeñas, con avances y profundidades de corte grandes** y elevada fricción entre herramienta y viruta.



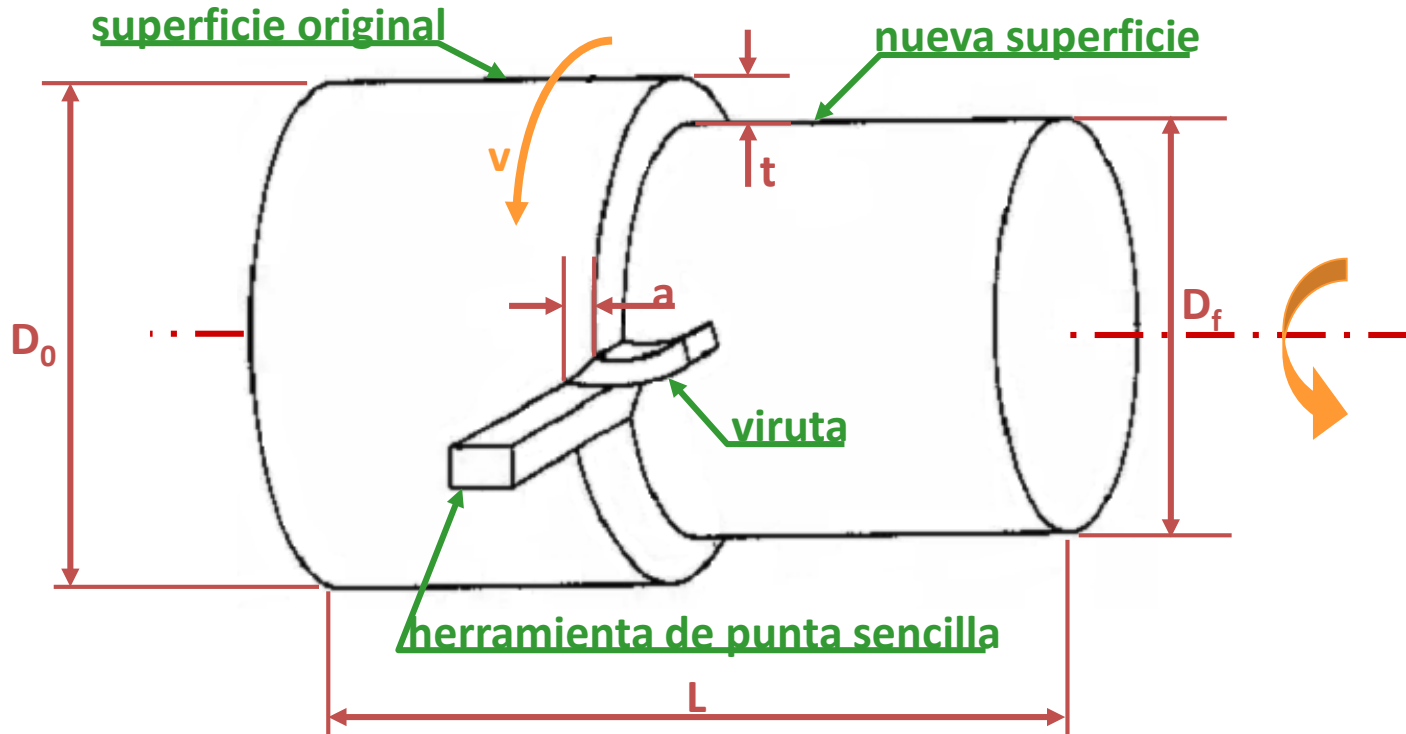
Condiciones de Corte

Las condiciones de corte quedan definidas por:

- La arista de corte y la geometría de la herramienta
- El portaherramientas
- La máquina herramienta
- La operación que se realice
- Los parámetros del Régimen de corte



Condiciones de corte



V_c :	velocidad de corte.	m/min	(ej: 120 m/min)
a :	avance.	mm/vuelta	(ej: 0.2 mm/vuelta)
V_a :	velocidad de avance	mm/min	(ej: 200 mm/min)
t :	profundidad de pasada.	mm	(ej: 2 mm)



Condiciones de corte

En la herramienta de corte es posible instrumentar un dinamómetro con el objetivo de medir las fuerzas que se generan en la misma durante el proceso.

En este caso se pueden verificar dos componentes de fuerza:

1. **Fuerza de corte (F_c):** Es la fuerza que va en la dirección del corte, o sea de la velocidad de corte.
2. **Fuerza de empuje (F_t):** Es la fuerza que va en la dirección de la profundidad de corte (t). Es perpendicular a la fuerza de corte.

Potencia, Energía de Corte y tasa de material removido en el mecanizado



Una operación de mecanizado requiere de una **máquina** que sea **capaz** de generar una potencia tal que supere las fuerzas que aparecen durante el corte (F_c). Esta **Potencia de corte** (N_c), se puede calcular como:

$$F_c = k A_c$$

Donde:

A_c - Área de corte; σ_r - Tensión de rotura por tracción del material

k - Coeficiente de fuerza específica de corte, referida a la unida de área de viruta cortada. Hay varias maneras de calcularlo, pero se aceptan como valores adecuados

$$N_c = F_c V_c$$

Donde:

V_c - Velocidad de corte

k	A_c
$3 \sigma_r$	De 10 mm ² en adelante
$4 \sigma_r$	Desde 1 a 10 mm ²
$5 \sigma_r$	Hasta 1 mm ²

La Potencia de corte se expresa en W. Conociendo su valor, se puede **seleccionar** la **Máquina Herramienta** adecuada para realizar un proceso en concreto.



La tasa de material removido Q_c , es el producto de la velocidad de corte V_c y el área de la sección de salida de la viruta arrancada A_c

$$Q_c = V_c A_c$$

Un parámetro que da una indicación de la eficiencia del proceso de corte, y que es independiente de la velocidad de corte V_c , es la energía consumida por unidad de volumen de material removido o energía específica de corte E_s

$$E_s = \frac{N_c}{Q_c} = \frac{F_c}{A_c}$$

Ejemplos de Potencia de corte para trabajar con diferentes materiales



Material	Dureza HB	Potencia de corte N_c (kW)
Acero al carbono	150-200	0,6
	201-250	0,8
	251-300	1,0
Aceros Aleados	200-250	0,8
	251-300	1,0
	301-350	1,3
	351-400	1,6
Aluminio	50-100	0,3
Latón	100-150	0,8



Energía Específica de corte para diferentes materiales



Energía específica	
Material	$W \cdot s/mm^3$
Aleaciones de aluminio	0,4-1,1
Hierros fundidos	1,6-5,5
Aleaciones de Cobre	1,4-3,3
Aleaciones de alta temperatura	3,3-8,5
Aleaciones de magnesio	0,4-0,6
Aleaciones de níquel	4,9-6,8
Aleaciones refractarias	3,8-9,6
Aceros Inoxidables	3,0-5,2
Aceros	2,7-9,3
Aleaciones de titanio	3,0-4,1

Valores orientativos de Energía específica de corte para diferentes materiales, cuando son mecanizados en una máquina herramienta con un $\eta \approx 70\div 90\%$

Referencia: Kalpakjian, S., Schmid, S. (2002). Manufactura, ingeniería y tecnología México; Ed. Pearson Educación. Pág 621



Condición energética para que ocurra el arranque de virutas



La condición para que exista arranque de virutas desde un punto de vista energético es que la potencia de la máquina Nm , debe ser mayor o igual que el producto de la energía específica de corte Es por la tasa de material removido Qc

$$Es \cdot Qc \leq Nm$$

Despejando la tasa de material removido para un caso en particular, TORNEADO:

$$Vc \cdot a \cdot p \leq \frac{Nm}{Es}$$

Vc : Velocidad de corte (m/min)

a : avance por vuelta (mm/vuelta)

p : profundidad de pasada (mm)

Nm : potencia de mecanizado (W)

Es : energía específica de corte ($W \cdot s / mm^3$)

En general:

$$\underbrace{Vc \cdot a \cdot p}_{\text{Condiciones de corte}} \leq \frac{Nm}{Es} \quad \leftarrow \text{Característica de la máquina}$$

↑
Característica del material



Profundidad de la pasada



La profundidad de pasada se determina de la condición energética de corte:

$$p \leq \frac{Nm}{Vc \cdot a \cdot Es}$$

Nm : potencia de mecanizado (W)

Vc : Velocidad de corte (m/min)

a : avance por vuelta (mm/vuelta)

Es : energía específica de corte ($W \cdot s/mm^3$)

p : profundidad de pasada (mm)

En general como valores de referencia en el torneado se tiene:

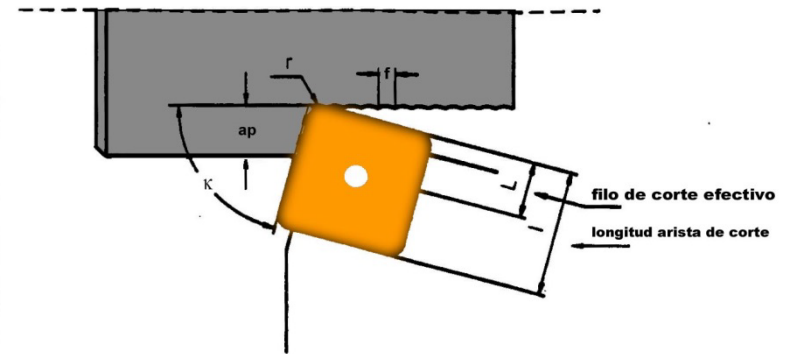
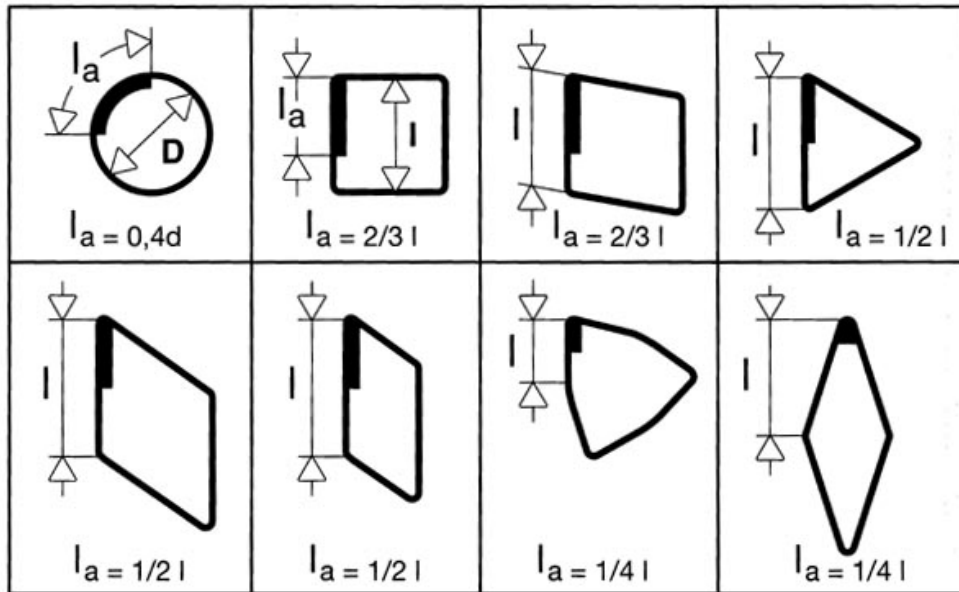
Para una operación de desbaste se intenta seleccionar la máxima profundidad de corte posible, pero esto depende de las características geométricas de la herramienta y de sus propiedades

Para un acabado $0,1 \leq p \leq 0,5 \text{ mm}$

$p \approx 0,2 \text{ mm}$



Longitud efectiva de corte, profundidad y avance



Ángulo de posición K	Profundidad de corte (a) mm										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
	Longitud del filo de corte efectivo requerido (L) mm										
90	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
75	1.5	2.1	3.1	4.1	5.2	6.2	7.3	8.3	9.3	11	16
60	1.2	2.3	3.5	4.7	5.8	7	8.2	9.3	11	12	18
45	1.4	2.9	4.3	5.7	7.1	8.5	10	12	13	15	22
30	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30
15	4	8	12	16	20	24	27	31	35	39	58

Radio de punta (mm)

0,4

0,8

1,2

1,6

2,4

avance máx. (mm/rev.)

0,25-0,35

0,40-0,70

0,50-1,00

0,70-1,30

1,00-1,80



Velocidad de corte, avance y tiempo de mecanizado

$$V_c = f(\text{Material de la herramienta, Material pieza, Tipo proceso})$$

V_c : velocidad de corte

$$R_a = f(a, CG)$$

CG : característica geométrica

Herramienta con radio en la punta

$$a = \sqrt{32 R_a r} \cdot 10^{-3}$$

a : avance por vuelta (mm/vuelta)

R_h : radio punta herramienta (mm)

R_a : rugosidad media (μm)

$$Q_c \leq \frac{Nm}{E_s}$$

Q_c : tasa de material removido (mm^3/s)

Nm : potencia de mecanizado (W)

E_s : energía específica de corte ($\text{W}\cdot\text{s}/\text{mm}^3$)

$$t_c = \frac{L}{n \cdot a} \quad t_c = \frac{L}{V_a}$$

L : longitud de mecanizado (mm)

a : avance por vuelta (mm/vuelta)

n : velocidad de rotación (vuelta/min)

V_a : Velocidad de avance en (mm/min)



Influencia de las condiciones de corte sobre las variables del proceso de mecanizado



Entre las variables a controlar en un proceso de fabricación se encuentran: la calidad de cota a obtener, la rugosidad superficial, el tipo de viruta generada y la temperatura en el corte.

- La calidad de cota a obtener depende del avance a y de la profundidad de corte p . La profundidad es la variable que define la dimensión de la pieza fabricada y por lo tanto, es la variable que más influye sobre las tolerancias dimensionales. En cambio, el avance es una variable que influye principalmente sobre la rugosidad superficial, por lo tanto, el avance influya mucho menos sobre las tolerancias dimensionales, que la profundidad de pasada.

- La rugosidad superficial depende del avance a y de una característica geométrica de la punta de la herramienta. En el caso de una herramienta con radio en la punta la rugosidad media es proporcional al cuadrado del avance e inversamente proporcional al radio de la punta. Por lo tanto si la herramienta tiene radio en la punta el avance es la variable más importante.



Influencia de las condiciones de corte sobre las variables del proceso de mecanizado



- El tipo de viruta generada depende del avance a , de la profundidad de pasada p y del tipo de geometría rompe viruta característica de la herramienta de corte. El avance influye sobre la segmentación de la viruta, a mayor avance mayor segmentación, en cambio la profundidad influye sobre el espesor de la viruta, a mayor profundidad se obtiene una viruta más gruesa. El rompe viruta es una característica geometría de la herramienta y esta especialmente diseñada para romper el viruta, por lo tanto si esta presente es el mecanismo mas importante al momento de segmentar la viruta.

- La temperatura generada en el proceso de corte influye en la vida de la herramienta y en las dilataciones experimentadas por la herramienta y el material. La temperatura es el resultado del calor generado durante el proceso, el que es proporcional a la potencia consumida. A su vez la potencia es función de la tasa de material removido, la que se define a partir de la velocidad de corte, el avance y la profundidad de corte. Por lo tanto, las condiciones de corte definen la temperatura a la que se llegara en el proceso de corte.



Datos adicionales: 2 tornos con 5kW de potencia Motor eléctrico un tercero con 2,5 kW y los tres con un rendimiento mecánico del 80%



Ejercicio de aplicación

www.upc.edu

3.5) ¿Cuál es la máxima producción posible? De una empresa que fabrica y comercializa la viruta metálica por Kilogramos, para fabricar Materiales compuestos. La viruta se obtiene a partir de cilindros de fundición de diámetro 250mm, los que son cilindrados dando pasadas sucesivas hasta dejar el material a 50mm de diámetro.

De la ecuación para le energía específica se tiene: $Q_C \leq \frac{Nm}{Es}$

Multiplicando la ecuación anterior por la densidad del material, se tiene una estimación de la masa por unidad de tiempo que se puede producir

$$\dot{m} \leq \frac{Nm \cdot \rho}{Es}$$

\dot{m} : masa por unidad de tiempo (Kg/s)

Nm : potencia de mecanizado (W)

Es : energía específica de corte ($W \cdot s/mm^3$)

ρ : densidad del material (Kg/mm^3)

Por lo tanto la producción depende de las propiedades del material a mecanizar (Es y ρ) y también de la potencia disponible Nm que está asociada a la potencia y al número de tornos de los que se dispone

Vida útil de la herramienta



- La vida de una herramienta T se define como un tiempo de mecanizado asociado al criterio de vida de la herramienta. Para determinar la vida útil se mide el desgaste gradual sufrido por la cara de la herramienta, el que está asociado a un tiempo o vida útil.
- El factor que más afecta la vida de la herramienta de corte, para una operación de mecanizado en particular, es la velocidad de corte V_c .
- El estudio de la optimización de un proceso de mecanizado, pasa por conocer la relación entre la vida útil T y la velocidad de corte V_c para las condiciones en estudio. El estudio de la relación T v/s V_c está asociada a los trabajos de Taylor [1], quien obtiene una ecuación empírica de la forma:

$$V_c T^n = c$$

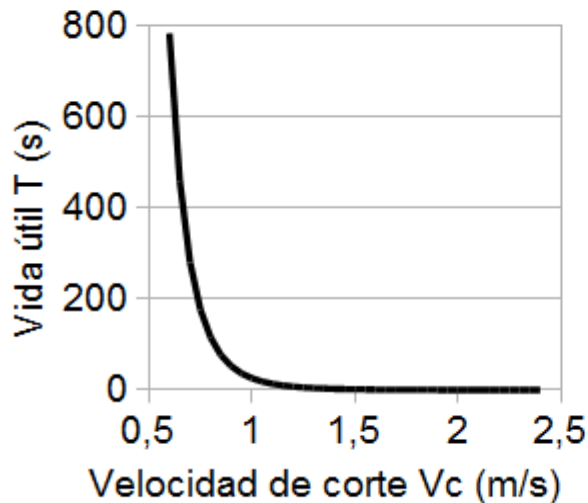
V_c : velocidad de corte (m/s)
 T : vida útil (s)
 c y n : constantes



Vida útil de la herramienta

Comportamiento de la ecuación de vida útil

La vida útil de una herramienta es una curva de carácter asintótica



como se muestra en la figura. Esto se puede ver reorganizando la ecuación de Taylor de la siguiente forma:

$$T = \left(\frac{C}{V_c} \right)^{\frac{1}{n}} \quad K = c^{1/n}$$

Luego si $V_c \approx \infty \rightarrow T \approx 0$

si $V_c \approx 0 \rightarrow T \approx \infty$

3.1) Para una herramienta y un material determinado, se tiene $n=0,15$ y $c=1,63$. Cuál es la vida útil de la herramienta si $V_c=0,75\text{m/s}$

$$T=177\text{s}$$



Vida útil de la herramienta



Constantes de la ecuación de vida útil

En general la constante ($1/n$) de la ecuación de Taylor, depende principalmente del material de la herramienta

- Herramienta de acero rápido $7 < 1/n$
- Herramienta de metal duro $5 < 1/n < 7$
- Herramienta de cerámica $1/n = 2$

En cambio la constante c depende de la velocidad de corte seleccionada, por lo tanto, depende de: la geometría de la herramienta, del tipo de mecanizado (desbaste o acabado), del material de la pieza y de una relación de forma.

$$\text{si } T=1 \longrightarrow Vc=c$$



Vida útil de la herramienta



Constantes de la ecuación de vida útil

En general $1/n$ depende del material de la herramienta de corte, por lo tanto varía muy poco para una determinada herramienta. En cambio c depende de muchas variables, esto significa que se debe determinar la constante c para el mecanizado específico que se está realizando, por lo tanto se deben realizar experimentos para determinar distintos valores de vida útil T_i en función de velocidades de corte de interés Vc_i .

Luego, realizando una regresión por mínimos cuadrados se obtiene una expresión que permite determinar la constante c para una determinada herramienta de corte:

$$c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Vc_i \cdot T_i^n$$

Donde: N es el número de experimentos



Vida útil de la herramienta



www.upc.edu

Ejercicio de aplicación de la ecuación de vida útil

3.2) Determinar la constante c de la ecuación de Taylor para un cilindrado. La herramienta es de metal duro con lo cual se asume una constante n igual a 0,15.

Solución:

Para evaluar c se realizan tres cilindrados a velocidades de corte cercanas a las de trabajo, velocidades de corte de interés, luego se mide el desgaste de la cara de la herramienta considerando como límite de vida útil un desgaste del flanco de la herramienta de 0,3mm. La tabla resumen de los experimentos es:

V_c (m/s)	T (s)
1,0	26
1,2	7
1,5	2

$$c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_{c_i} \cdot T_i^n = 1,63$$



Vida útil de la herramienta



Ejercicio de aplicación de la ecuación de vida útil

3.3) Determinar las constantes de la ecuación Taylor para un cilindrado.

Solución:

Este problema es más complejo que el anterior ya que se debe determinar tanto c como n . Nuevamente para evaluar c y n se realizan tres cilindrados a velocidades de corte cercanas a las de trabajo, velocidades de corte de interés, luego se mide el desgaste de la cara de la herramienta considerando como límite de vida útil un desgaste del flanco de la herramienta de 0,3mm. La tabla resumen de los experimentos es:

V_c (m/s)	T (s)
1,0	26
1,2	7
1,5	2

Para encontrar c y n se debe realizar una regresión por mínimos cuadrados de la ecuación de Taylor



Ejercicio de aplicación de la ecuación de vida útil

$$T = \frac{K}{Vc^{\frac{1}{n}}}$$

Aplicando logaritmo natural a la ecuación de Taylor

$$\ln(T) = \ln(K) - \frac{1}{n} \ln(Vc)$$

Remplazando en la ecuación anterior i experimentos, se tiene un sistema de ecuaciones formado por i ecuaciones, la solución de este sistema permite encontrar las constantes K y n .

$$\begin{bmatrix} 1 & \ln(Vc_1) \\ 1 & \ln(Vc_2) \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ 1 & \ln(Vc_i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ln(K) \\ -\frac{1}{n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ln(T_1) \\ \ln(T_2) \\ \cdot \\ \cdot \\ \ln(T_i) \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad [M][X] = [D]$$

Este es un sistema sobre determinado, hay más ecuaciones que incógnitas, por lo tanto se soluciona utilizando una técnica de mínimos cuadrados, con lo cual el sistema de i ecuaciones se reduce a un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas.

$$[M^T][M][X] = [M^T][D]$$



Ejercicio de aplicación de la ecuación de vida útil

$$\begin{bmatrix} N & \sum_{i=1}^N \ln(Vc_i) \\ \sum_{i=1}^N \ln(Vc_i) & \sum_{i=1}^N (\ln(Vc_i))^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ln(K) \\ -\frac{1}{n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N \ln(T_i) \\ \sum_{i=1}^N \ln(Vc_i) \cdot \ln(T_i) \end{bmatrix}$$

Vc (m/s)	T(s)	Ln(Vc)	(Ln(Vc)) ²	Ln(T)	Ln(Vc)·Ln(T)
1,0	26	0	0	3,26	0
1,2	7	0,182	0,03	1,95	0,35
1,5	2	0,405	0,164	0,69	0,28
	Σ	0,587	0,194	5,9	0,63

Remplazando los valores de la tabla en el sistema de ecuaciones de 2X2 se tiene:

$$\begin{bmatrix} 3 & 0,587 \\ 0,587 & 0,194 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ln(K) \\ -\frac{1}{n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5,9 \\ 0,63 \end{bmatrix}$$

Solucionando el sistema de ecuaciones de 2X2 se tiene:

$$n=0,15$$

$$K=26,133 \quad \rightarrow \quad c=1,63$$



Rugosidad de las superficies mecanizadas



Al igual que las tolerancias geométricas, las características superficiales también son importantes en el momento de fabricar una pieza.

Por lo tanto, es importante poder controlar adecuadamente las condiciones de corte de un torno o de una fresadora, con el propósito de obtener una topografía superficial o rugosidad superficial deseada.

Para ello se deben definir magnitudes que caractericen la topografía superficial de una pieza. Existen muchas magnitudes normalizadas para caracterizar una superficie, dos de las cuales son: la rugosidad media R_a y la distancia máxima pico valle R_t .

Para evaluar R_a y R_t en una situación específica, se asume que la huella que deja la herramienta sobre el material, es el resultado de una intersección geométrica herramienta-pieza.

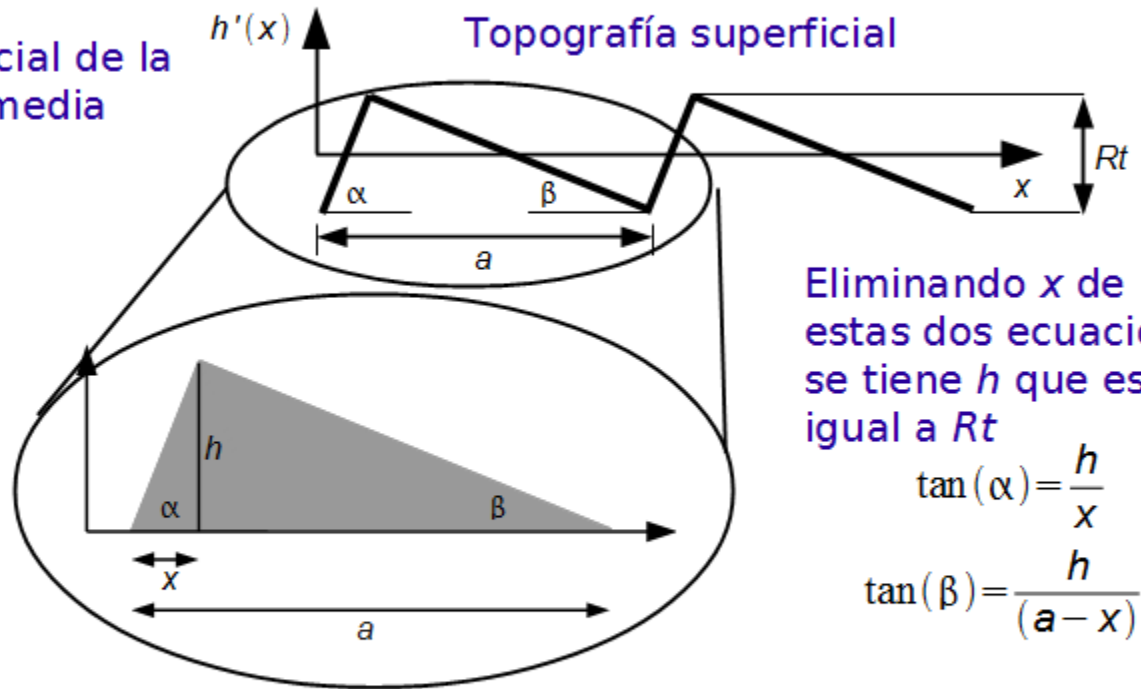
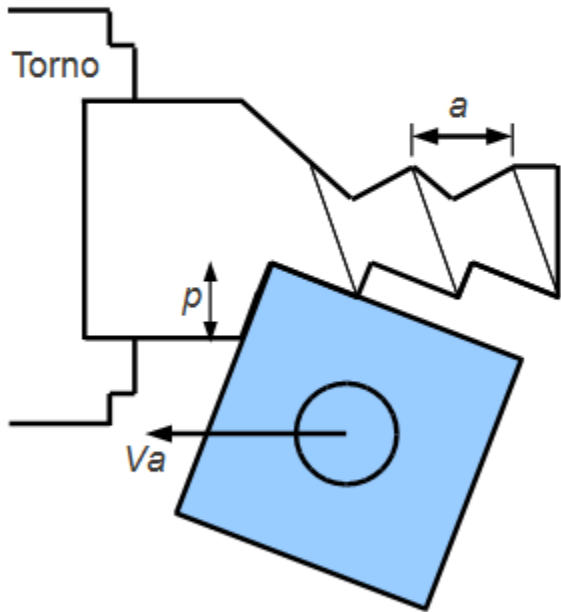
Por lo tanto, se asume la hipótesis: la topografía superficial es el resultado de una intersección geométrica, no considerando el problema de fuerzas de corte.

Determinación de la R_t en un cilindrado, con herramienta sin radio en la punta



La determinación de R_t se obtiene de la topografía superficial dejada por la intersección herramienta pieza. En general la altura R_t dependerá del avance a , ver figura.

$h'(x)$ es la topografía superficial de la pieza con referida a la línea media



Eliminando x de estas dos ecuaciones se tiene h que es igual a R_t

$$\tan(\alpha) = \frac{h}{x}$$

$$\tan(\beta) = \frac{h}{(a-x)}$$

$$R_t = a \frac{\tan(\alpha) \tan(\beta)}{\tan(\alpha) + \tan(\beta)}$$

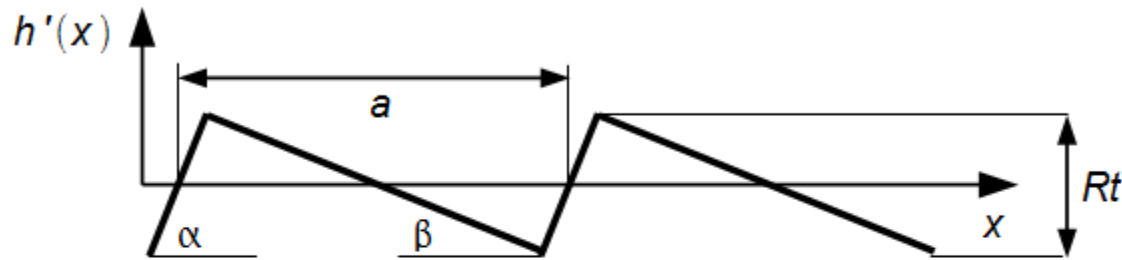
a : avance por vuelta

α, β : ángulos que definen la posición de los filos

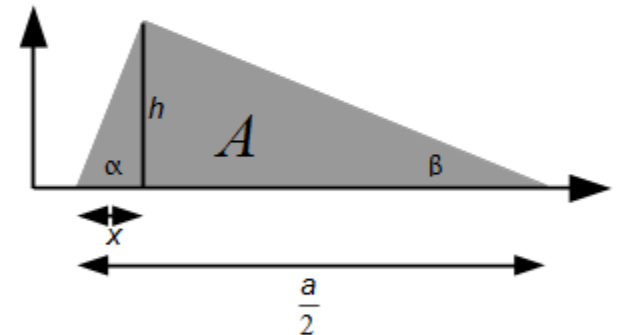
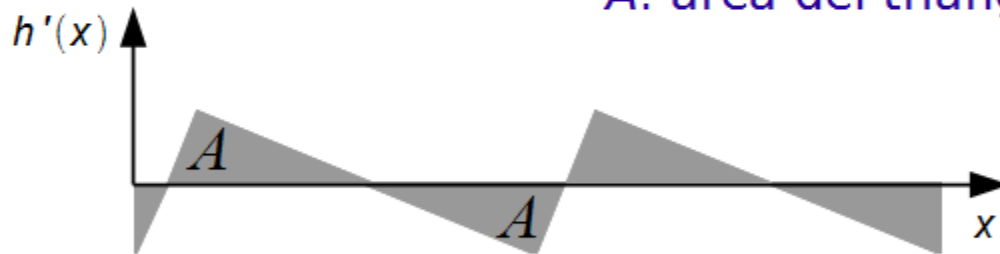
Determinación de la Ra en un cilindrado, con herramienta sin radio en la punta



La determinación de Ra se obtiene de la topográfica superficial dejada por la intersección herramienta-pieza. En general Ra estará definida por la suma de las áreas de color gris, las que a sus vez dependen del avance a .



A : área del triángulo



La rugosidad media Ra , para este caso, se define como la integral del valor absoluto de $h'(x)$ entre 0 y el avance a . A su vez esta integral es igual a dos veces el área del triángulo A , por lo tanto:

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |h(x) - m| dx = \frac{1}{a} \int_0^a |h'(x)| dx = \frac{1}{a} 2A$$



Determinación de la Ra en un cilindrado, con herramienta sin radio en la punta



Donde A se define como base por la altura del triángulo dividida por dos.

$$Ra = \frac{1}{a} 2A = \frac{1}{a} 2 \left(\frac{1}{2} h \frac{a}{2} \frac{1}{2} \right) = h/4$$

Del triángulo anterior se deduce la altura h , como: $h = a \left(\frac{\tan(\alpha) \tan(\beta)}{\tan(\alpha) + \tan(\beta)} \right)$

Reemplazando h en la ecuación anterior, se tiene que:

$$Ra = \frac{a}{4} \left(\frac{\tan(\alpha) \tan(\beta)}{\tan(\alpha) + \tan(\beta)} \right)$$

O lo que es lo mismo:

$$Ra = a \cdot 250 \frac{\tan(\alpha) \tan(\beta)}{\tan(\alpha) + \tan(\beta)}$$

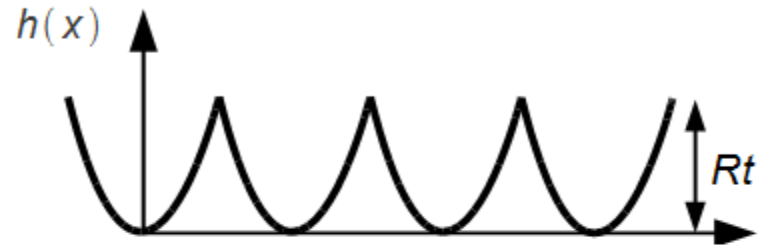
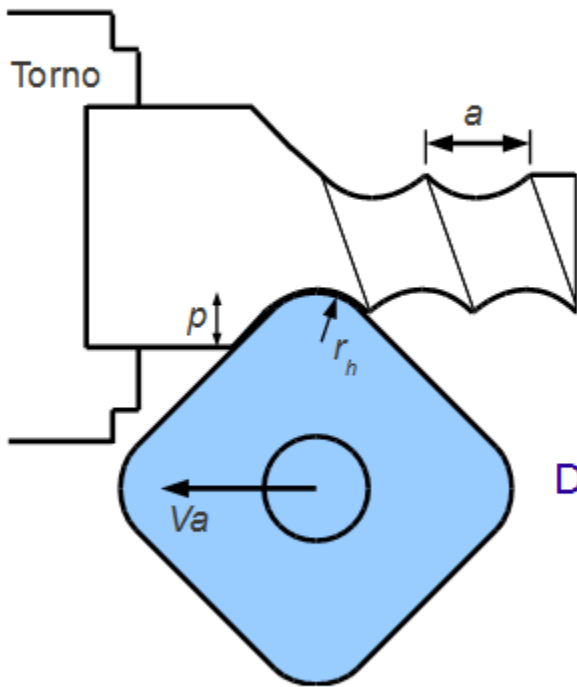
a : avance por vuelta (mm/vuelta)
 α, β : ángulos que definen la posición de los filos

Ra : rugosidad media (μm)

Determinación de la R_t en un cilindrado, con herramienta con radio en la punta



En este caso la topografía superficial dejada por la herramienta, corresponde a sucesivos arcos de circunferencia definidas por la punta de la herramienta. La altura máxima pico valle R_t , depende nuevamente del avance a , ver figura.



La ecuación que define la huella dejada por la herramienta es:

$$h(x) = r_h - \sqrt{r_h^2 - x^2} = r_h - r_h \sqrt{1 - \left(\frac{x}{r_h}\right)^2}$$

Desarrollando en serie de Taylor $h(x)$ para x/r_h pequeños

$$h(x) = \frac{x^2}{2r_h} \quad \Rightarrow \quad R_t = h\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{a^2}{8r_h}$$

$$R_t = 125 \frac{a^2}{r_h}$$

a : avance por vuelta (mm/vuelta)

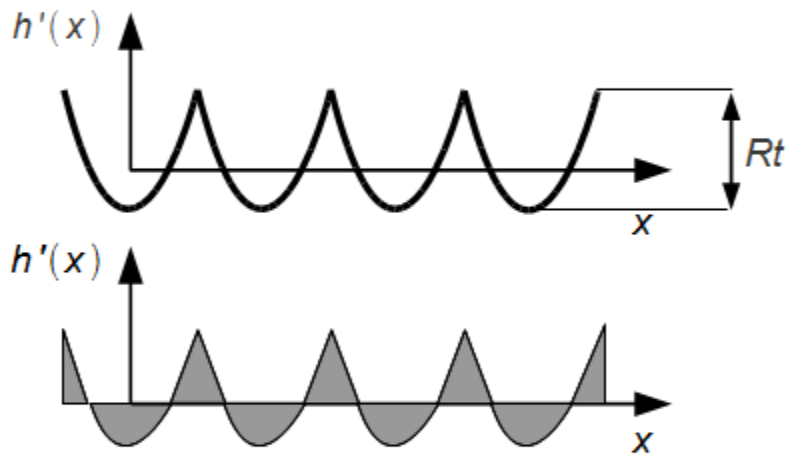
r_h : radio de la punta de la herramienta (mm)

R_t : Distancia máxima pico valle (μm)

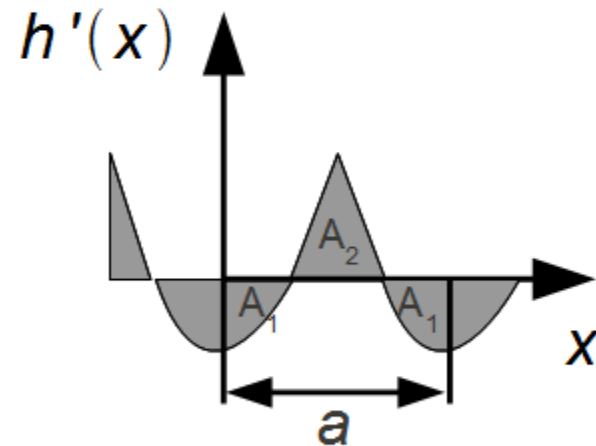
Determinación de la Ra en un cilindrado, con herramienta con radio en la punta



La determinación de Ra se obtiene a partir de la integral definida del valor absoluto de la función $h'(x)$, que corresponde a la suma de las áreas de color gris. Por simetría se considera la integral definida en un período que en este caso corresponde al avance por vuelta a .



$$Ra = \frac{1}{a} \int_0^a |h'(x)| dx = \frac{A_1 + A_2 + A_1}{a}$$



$$Ra = 32 \frac{a^2}{r_h}$$

a : avance por vuelta (mm/vuelta)

r_h : radio de la punta de la herramienta (mm)

Ra : Rugosidad media (μm)



Rugosidad superficial. Resumen



De los dos casos antes analizados se deduce que la rugosidad media Ra y la distancia máxima pico valle Rt es una función del avance por vuelta y de una variable geométrica, propia de la herramienta utilizada.

$$Ra = f(a, CG)$$

a : avance por vuelta

CG : característica geométrica, para una herramienta con radio en la punta esta característica es el radio de la punta r_h y para herramientas sin radio en la punta es la inclinación de las dos caras que definen el filo, α y β .



Ejercicio de aplicación



3.4) Determinar el avance a escoger para obtener un cilindro con una rugosidad media aritmética $R_a = 3,2 \mu\text{m}$. El mecanizado se realiza con una herramienta con radio de la punta de 0,6 mm

$$a = \sqrt{32R_a r} 10^{-3} = 0,2478 \text{ mm/rev}$$



Temperaturas que se generan en el proceso de Corte

Casi toda la **energía** que se **consume** en el mecanizado ($\approx 98\%$), es **convertida en calor**, el cual puede hacer que las **temperaturas** sean muy **altas** ($\approx 540^\circ$) en la interface herramienta-pieza.

Hay varios **métodos** analíticos y numéricos para **estimar** los valores de la **temperatura** en la zona de corte.



Temperaturas que se generan en el proceso de Corte

Método de Cook

$$T = 0,4 \frac{U}{\rho C} \left(\frac{Vc \cdot t}{K} \right)^{0,333}$$

T- Temperatura en la zona de corte (°C)

U- Energía específica de corte (Nm/mm³)

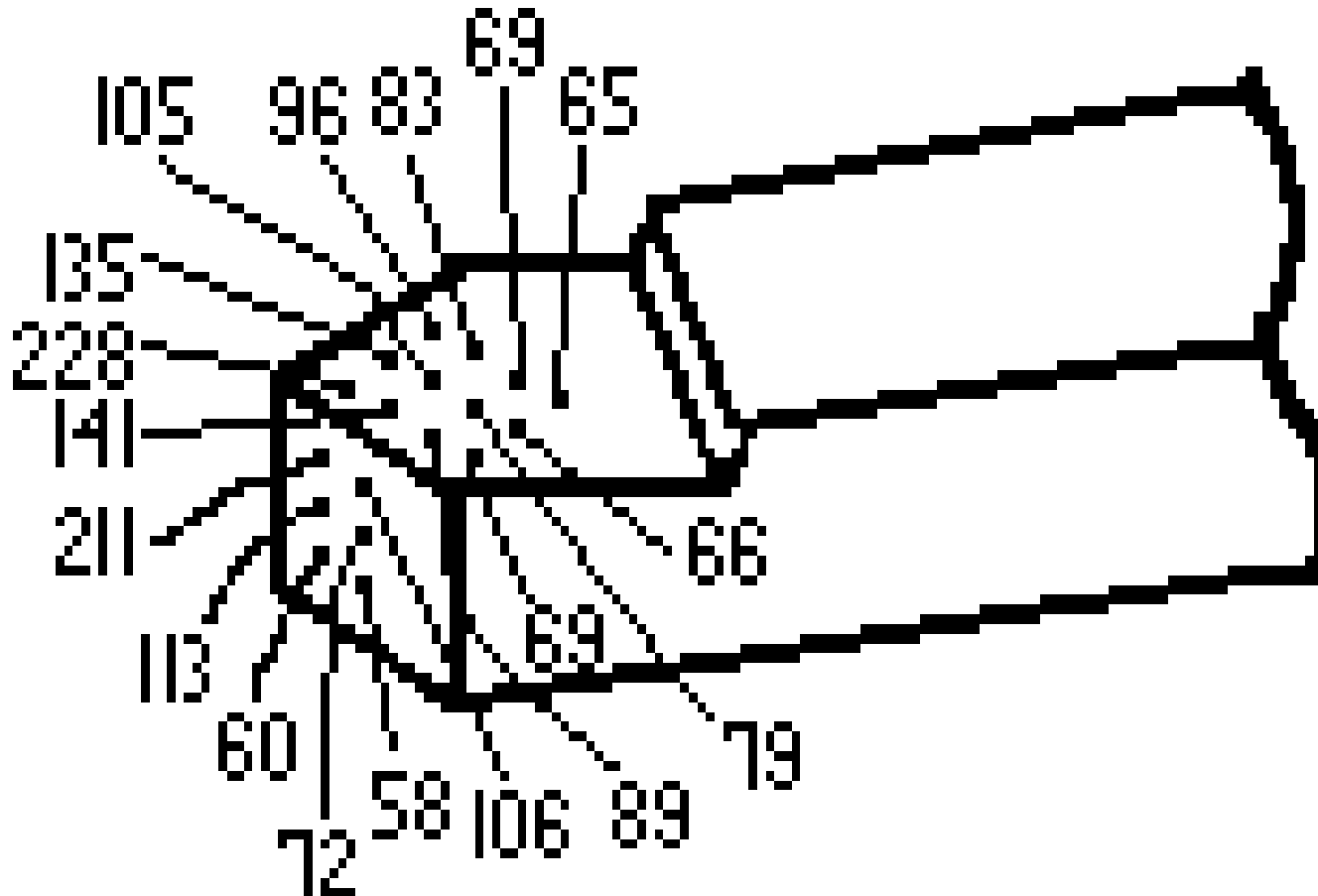
ρC - Calor específico volumétrico del material de la pieza de trabajo (J/mm³°C)

Vc- Velocidad de corte

t- profundidad de corte

K- Difusividad térmica del material de trabajo (m²/s)

Temperaturas que se generan en el proceso de Corte





Fenómeno de generación de calor

El calor producido en el proceso de corte no puede ser prevenido, pero si controlado o disipado. La mayoría del calor es generado justamente en la zona de corte. Hasta este punto el metal solo cambia la forma. Seguidamente este se desliza a lo largo de la herramienta generando siempre calor por fricción.

La cantidad de calor generado durante el corte plástico de metales se puede calcular a través de la siguiente expresión:

$$Q = \frac{F_c * V_c}{E} \text{ [kW]}, \text{ donde:}$$

Q - Calor generado en el corte

F_c - Fuerza de corte [N]

V_c - Velocidad de corte [m/min]

E - Equivalente mecánico del calor [4.1868 J]



Fenómeno de generación de calor

El balance de calor en el corte de metales puede expresarse a partir de la siguiente expresión:

$$Q = Q_v + Q_h + Q_p + Q_a$$

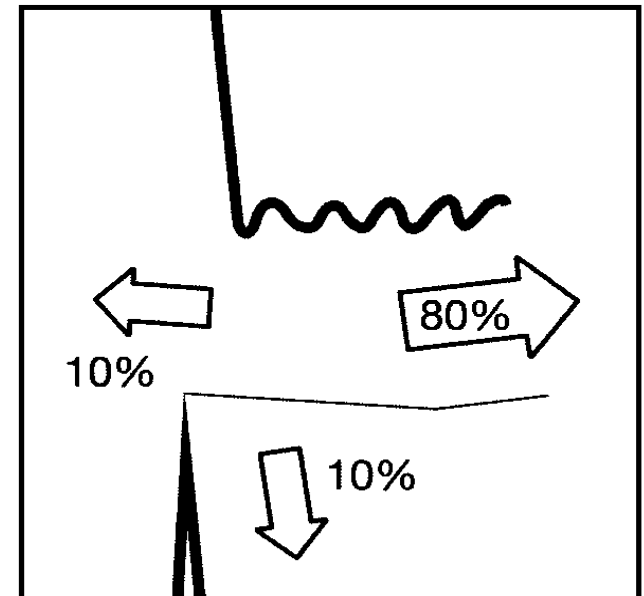
donde:

Q_v - Calor que se escapa hacia la viruta

Q_h - Calor que se disipa hacia la herramienta de corte

Q_p - Calor que se disipa hacia la pieza que se elabora

Q_a - Calor que escapa hacia el ambiente





Fenómeno de generación de calor

- Sobre la intensidad de los flujos caloríficos en la zona de corte influye significativamente el **enfriamiento y lubricación** de las superficies de contacto de la herramienta, que se realizan por medio del uso de sustancias refrigerantes y lubricantes especiales.
- El efecto de **enfriamiento** consiste en la **eliminación del calor** en los lugares más calientes y eliminación del mismo desde la zona de corte **por** el método de **convección**. Así se produce el enfriamiento de la herramienta cortante, de la zona de deformación y de la superficie elaborada de la pieza.
- El efecto de **lubricación** consiste en la **reducción del coeficiente de fricción en las áreas de contacto** de la herramienta, con la pieza lo que trae consigo la reducción del trabajo de las fuerzas de fricción, disminución de la generación de calor y disminución de las temperaturas, además de la disminución de la potencia necesaria para el maquinado.



Utilización de los fluidos de corte

Con el fin de eliminar o atenuar algunos de los problemas en el mecanizado, se han buscado diferentes soluciones como la utilización de fluidos de corte.

Objetivo del uso de fluidos de corte:

1. **Refrigeración:** el calor producido al cortar la viruta hace aumentar la temperatura del filo de la herramienta la cual no puede pasar de un valor admisible. Al utilizar refrigerante se alarga la permanencia del filo o se puede aumentar la velocidad de corte.
2. **Engrase** durante el mecanizado, si además de refrigerante es lubricante, reducirá el consumo de fuerza, se desgastará menos el filo y la herramienta trabajará sin vibraciones. Además se protegen así mismo la pieza y la máquina contra la oxidación.
3. **Expulsión de la viruta**, con el fin de que esta no arañe la superficie de trabajo.
4. **Refrigeración de la pieza**, ya que si la temperatura aumentara excesivamente por el trabajo, podrían presentarse tensiones que deformaran la pieza.
5. **Mejorar el acabado superficial.**



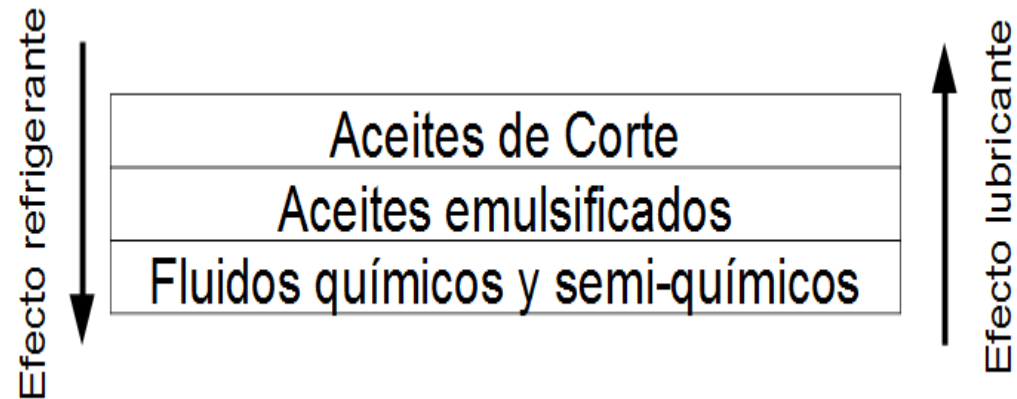
Fluidos de corte más utilizados

Refrigerantes:

- fluidos solubles en agua
- aceites solubles
- aceites semi - sintéticos
- fluidos sintéticos

Lubricantes:

- aceites puros
- aceites minerales
- mezclas
- compuestos (con aditivos)



Procesos de fabricación por arranque de virutas

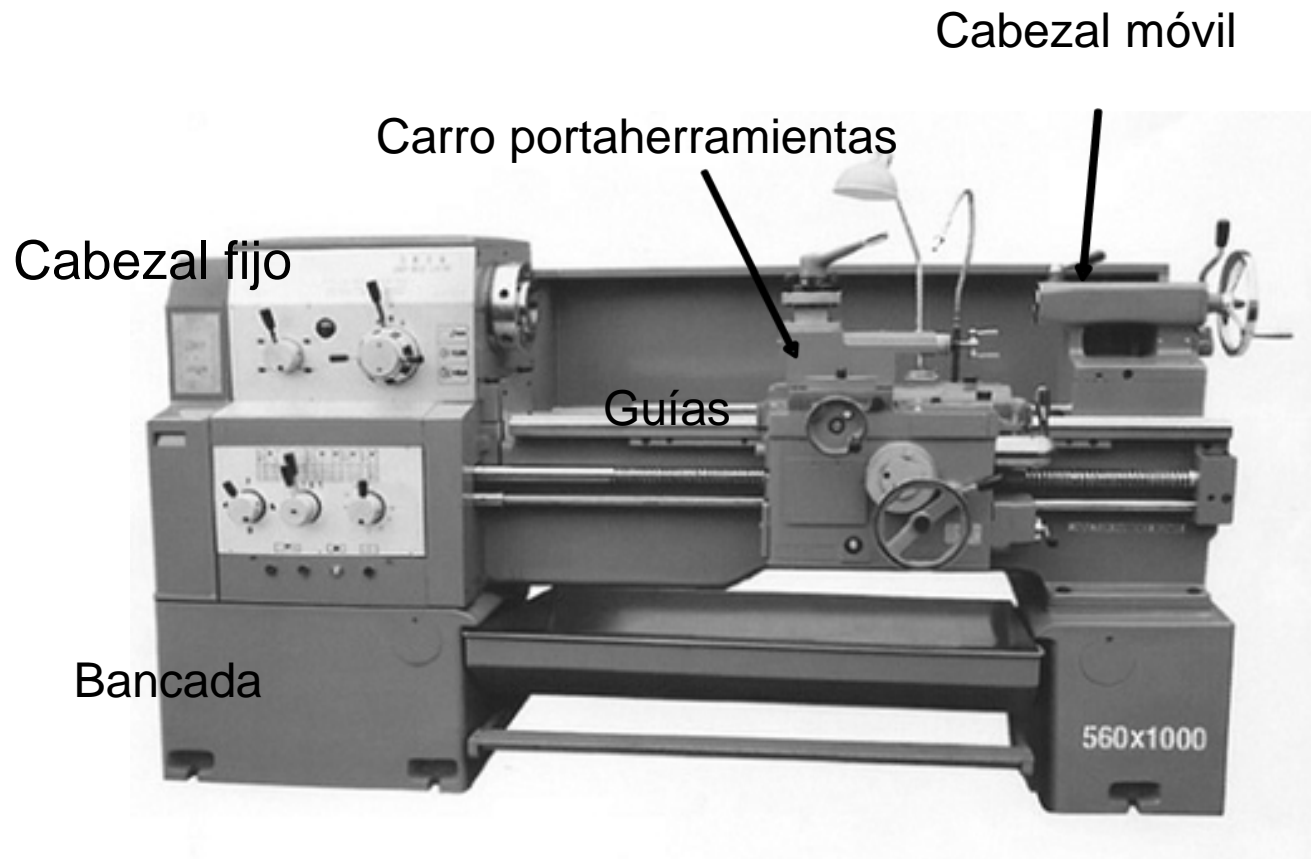
Proceso de Torneado

1. Descripción del torno
2. Operaciones de torneado
3. Diferentes tipos de Tornos
4. Fijación de la pieza al torno



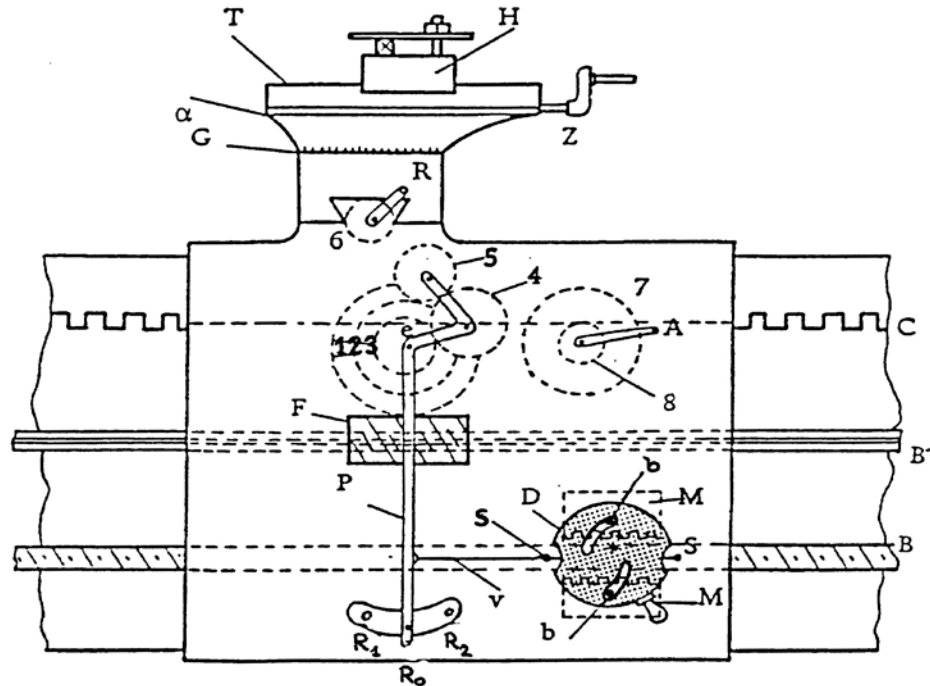
Descripción del torno

Partes de la máquina





Mecanismos



Mecanismo de cilindrar: Se utiliza para transmitir los avances longitudinales a la herramienta de corte y de esta manera poder ejecutar operaciones como el cilindrado de una pieza de trabajo.

Mecanismo de refrentar: Es el encargado de aportar los movimientos transversales de avance a la herramienta. Es útil en operaciones como el refrentado, el tronzado o el ranurado.

Mecanismo de roscar: Es el mecanismo que transmite a la cuchilla los movimientos de avances necesarios para elaborar las roscas en una pieza.



Operaciones de torneado

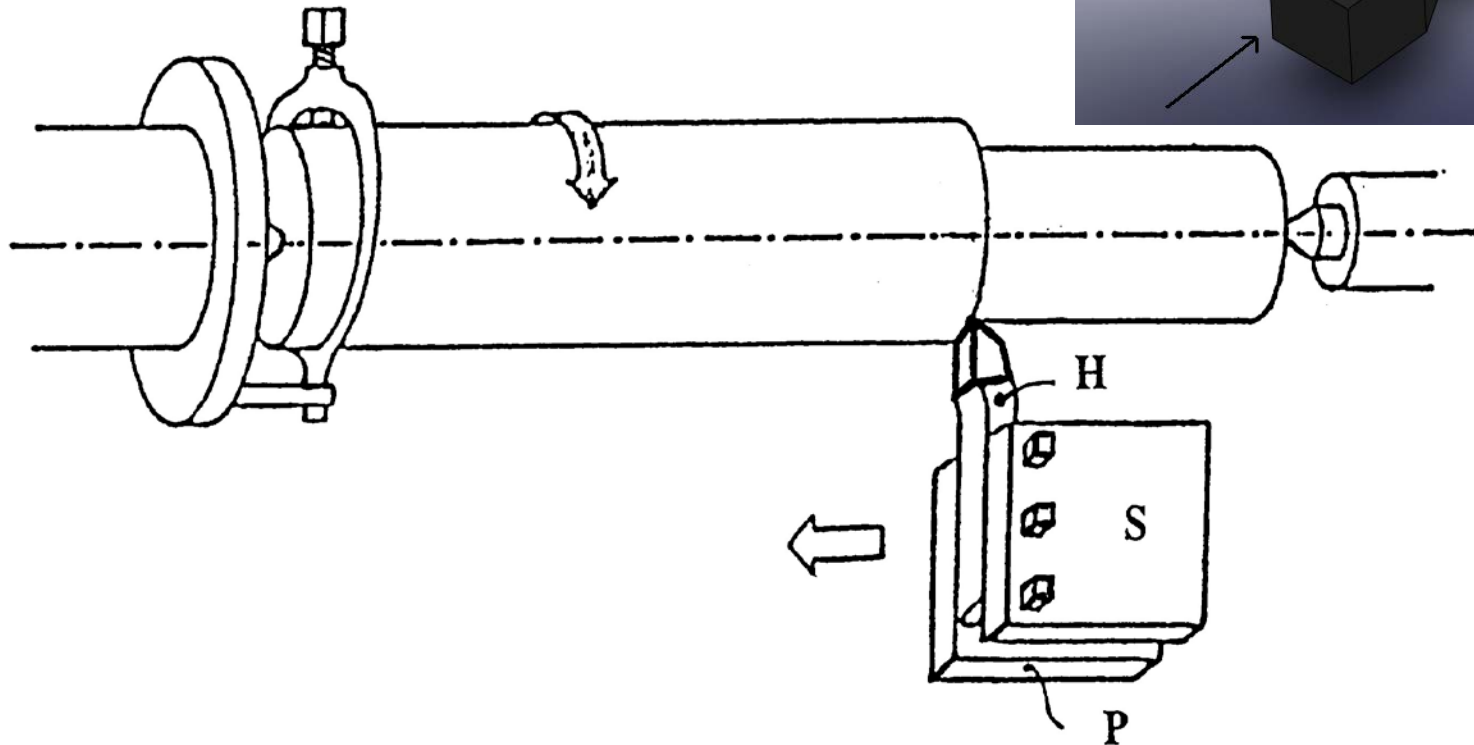
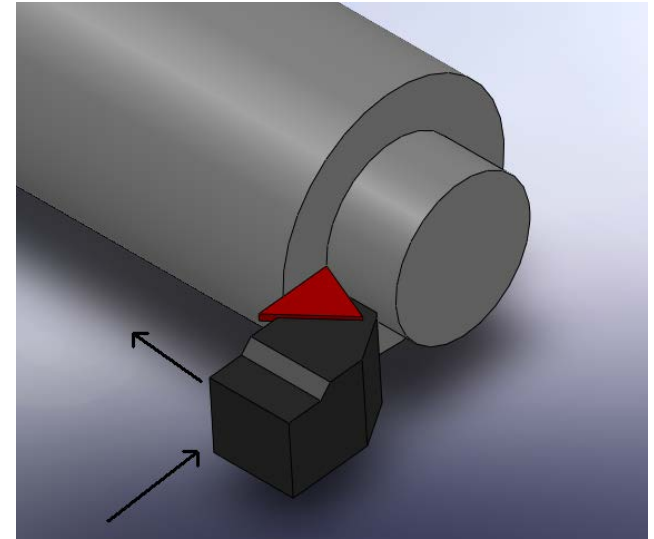


- Cilindrar
- Refrentar
- Conos
 - Cortos cualquier conicidad
 - Largos pequeña conicidad
 - Largos con gran conicidad
- Ranurar
- Tronzar
- Mandrinar
- Taladrar
- Grafilar
- Copiar
- Roscar



Operaciones de torneado

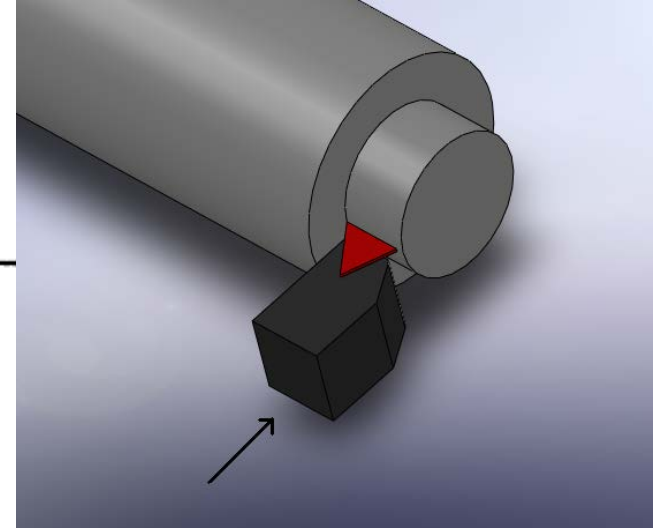
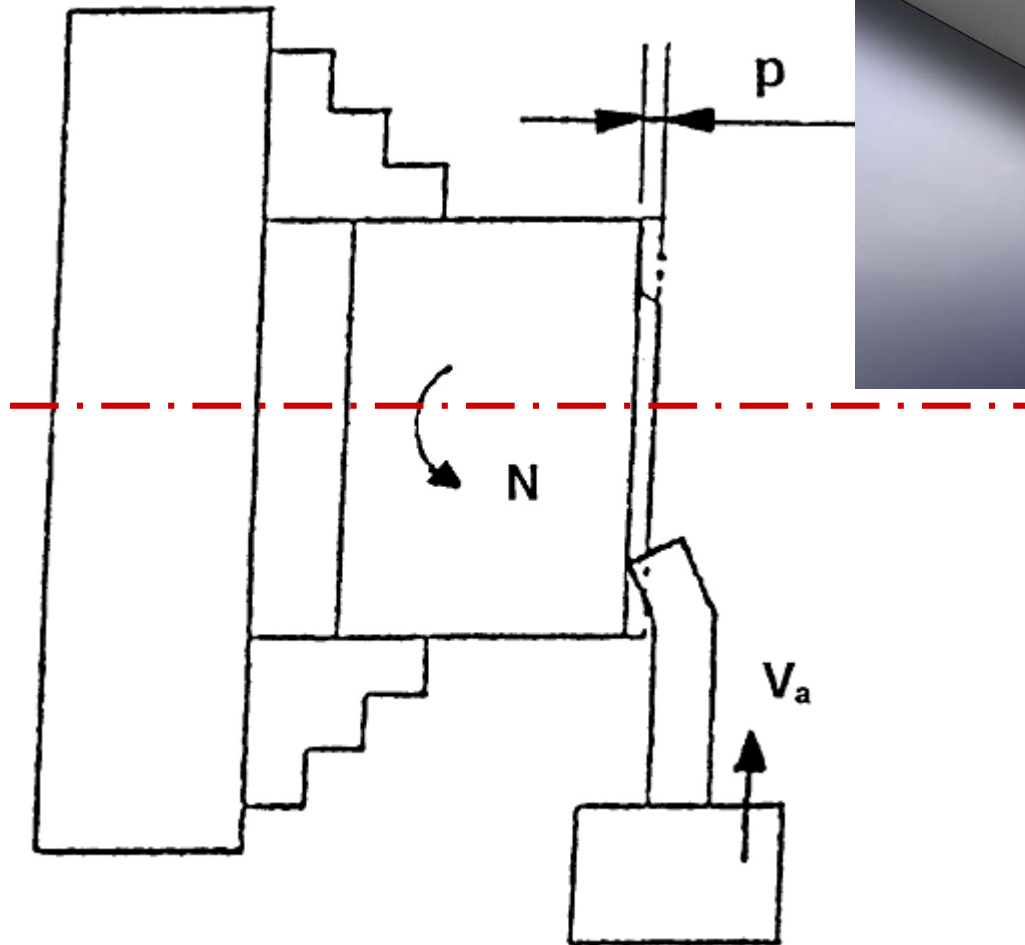
Cilindrado





Operaciones de torneado

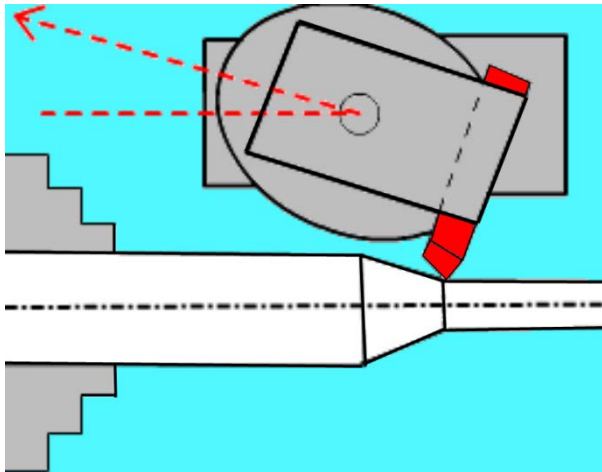
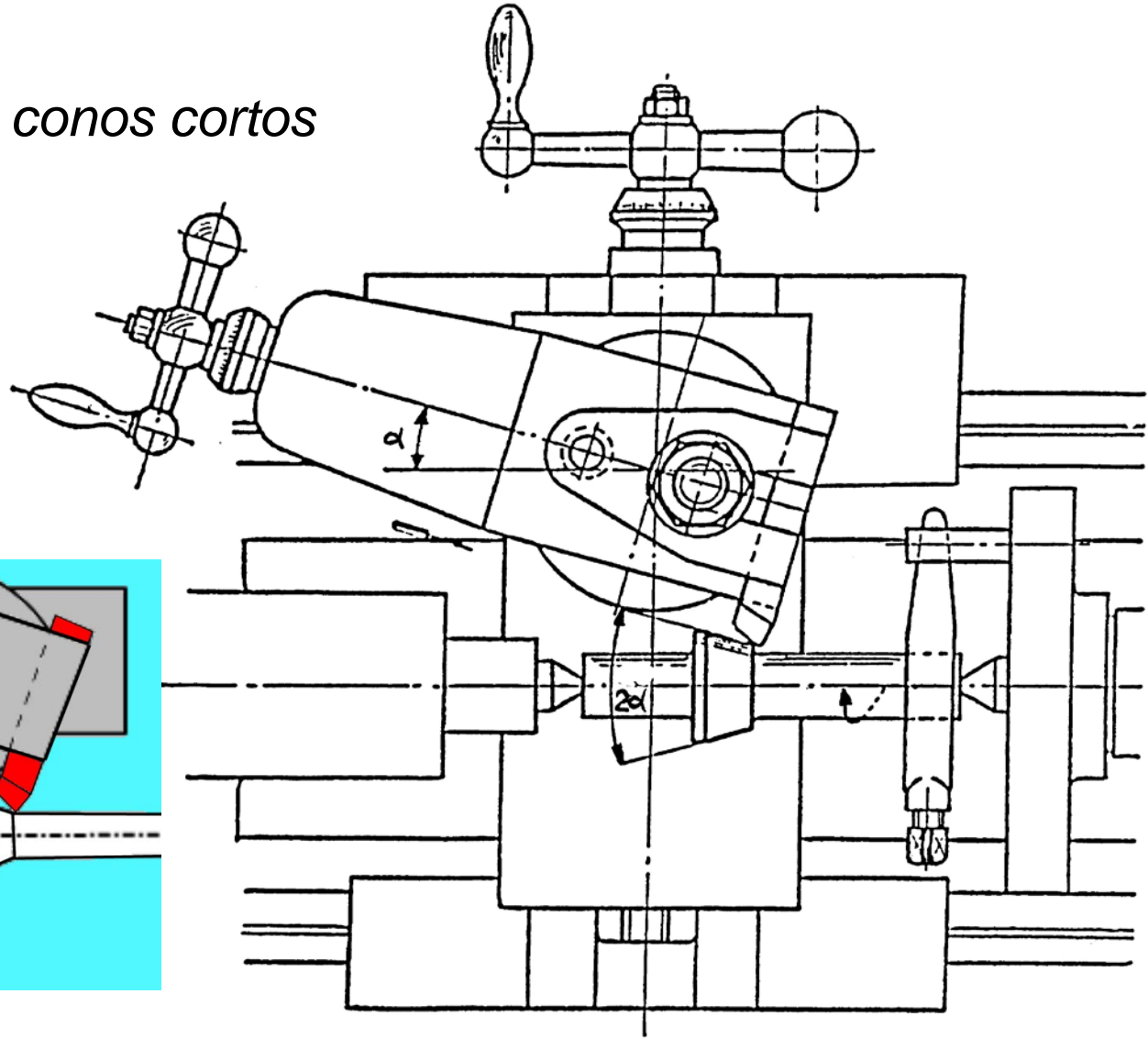
Refrentado





Operaciones de torneado

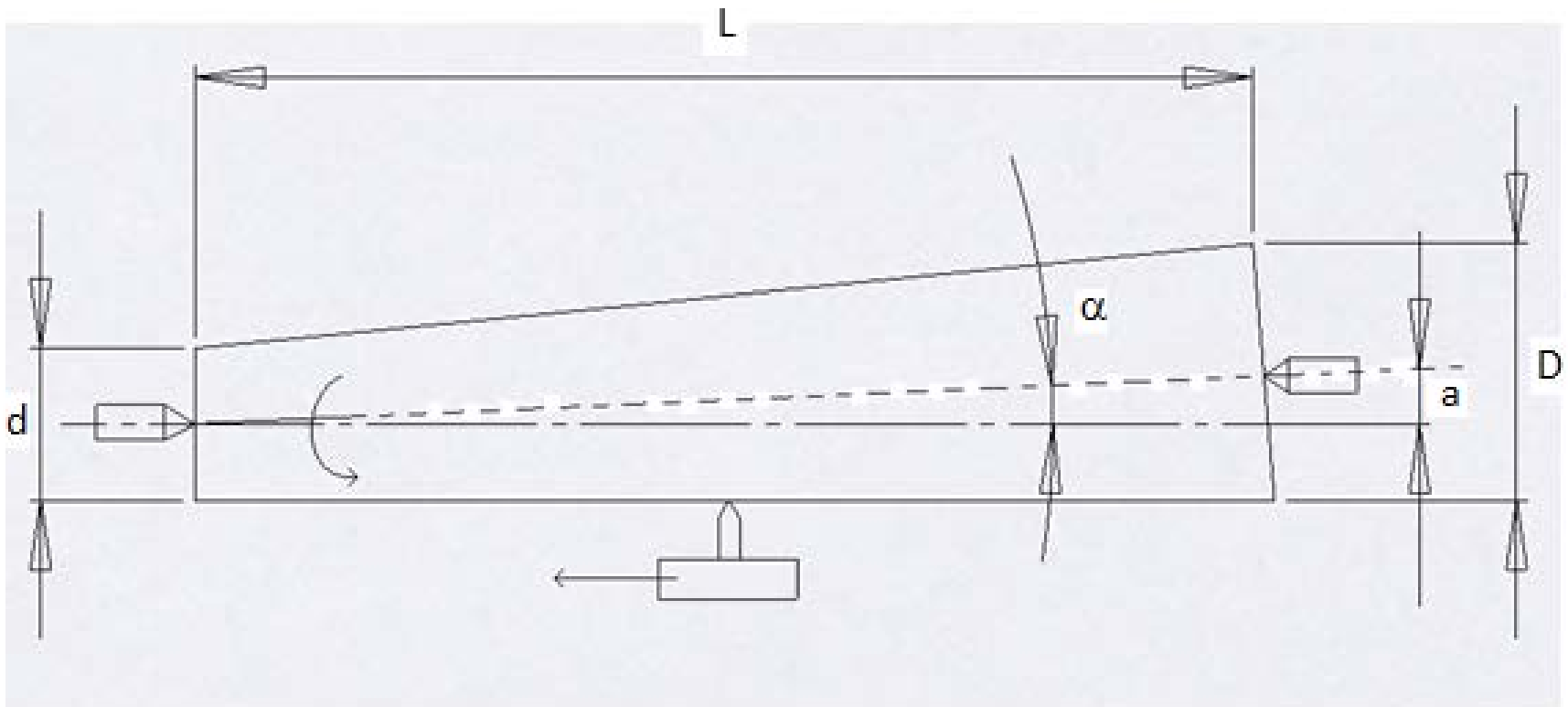
Mecanizado de conos cortos





Operaciones de torneado

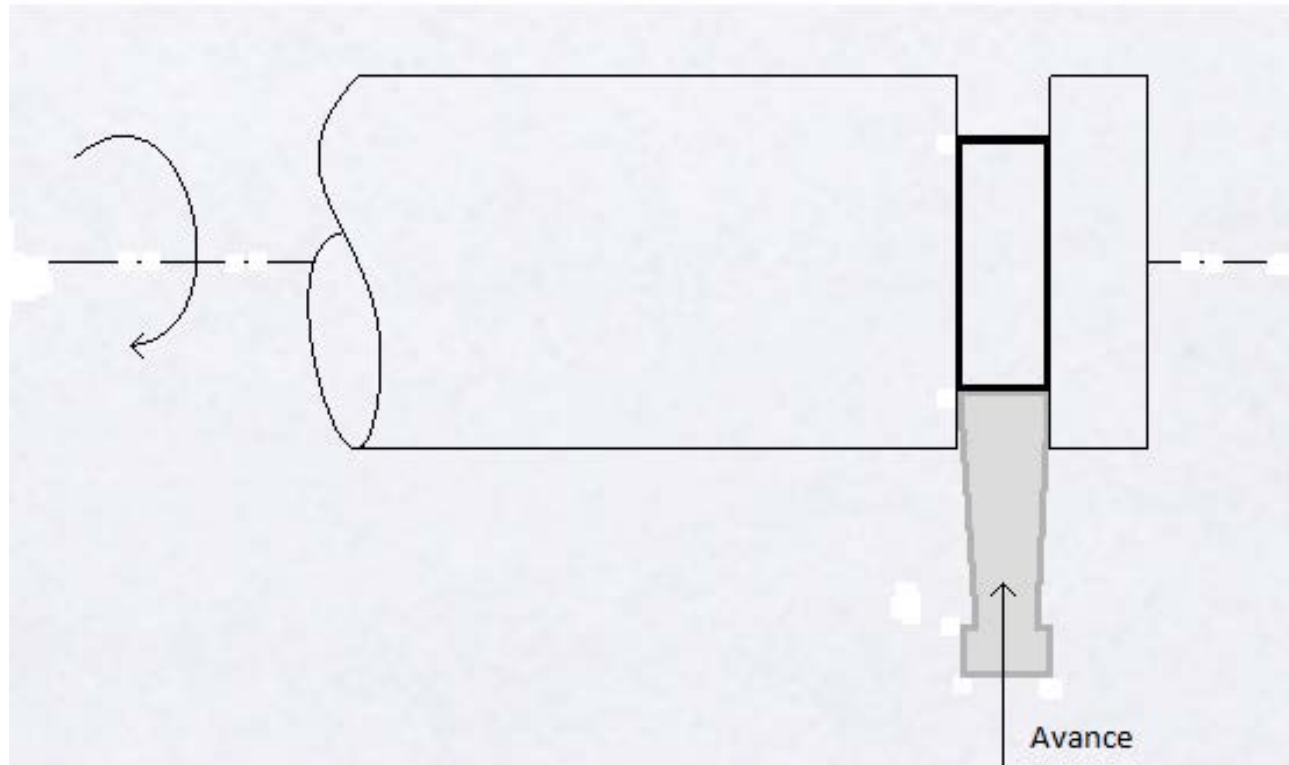
Mecanizado de conos largos





Operaciones de torneado

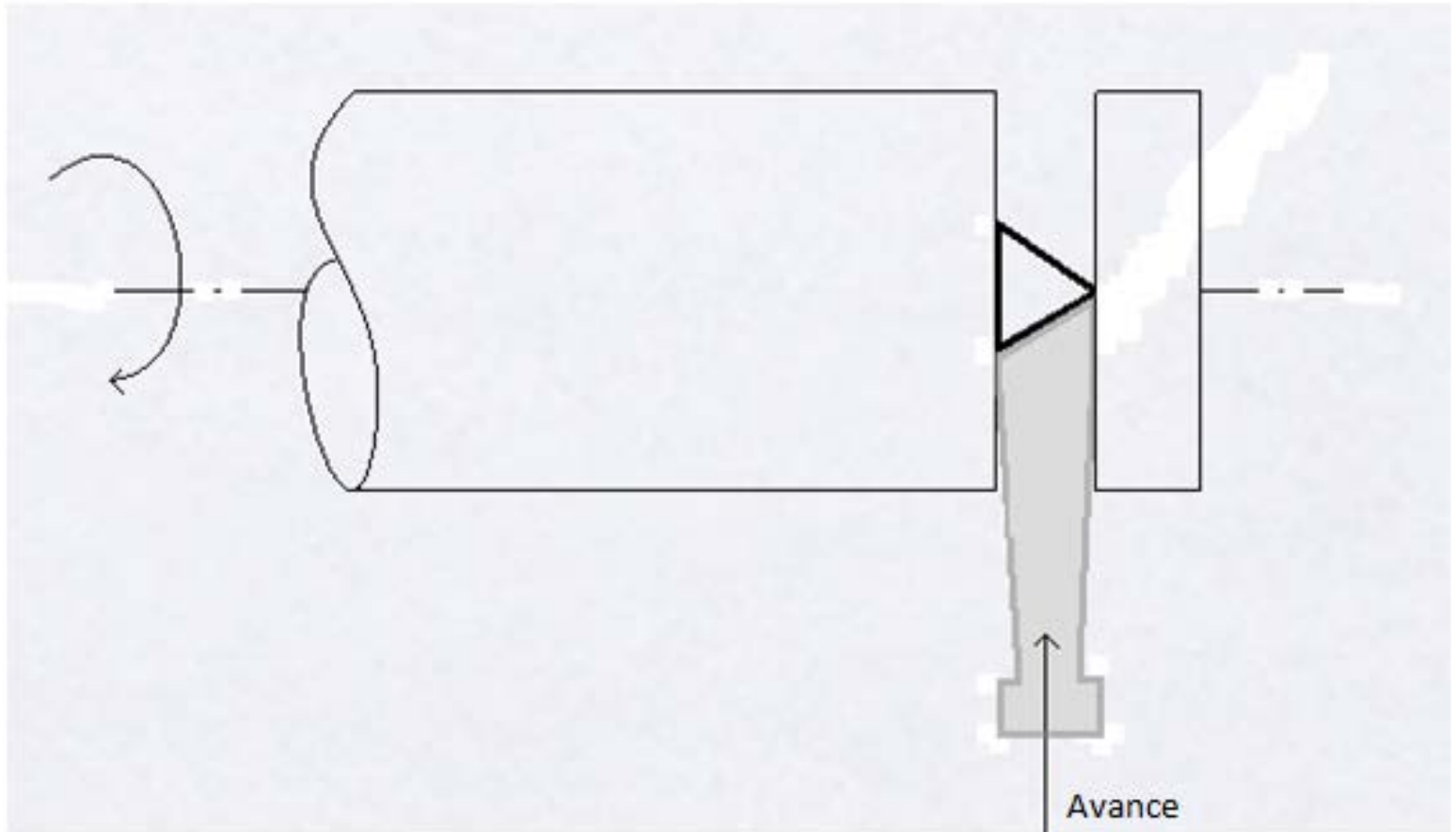
Ranurado





Operaciones de torneado

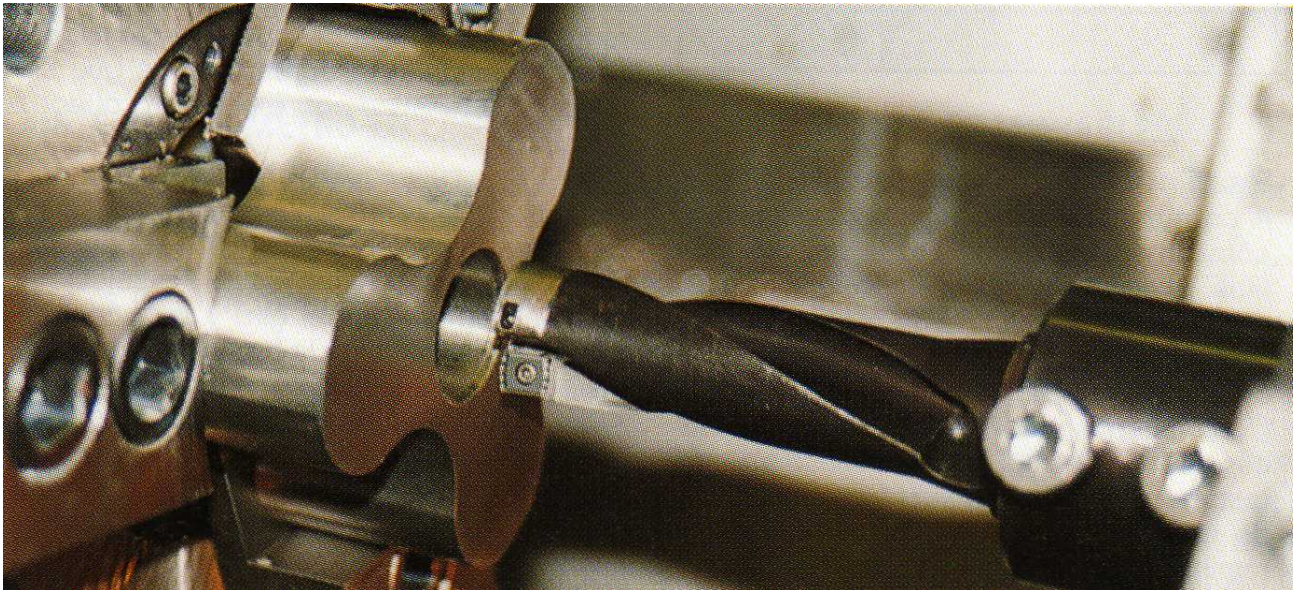
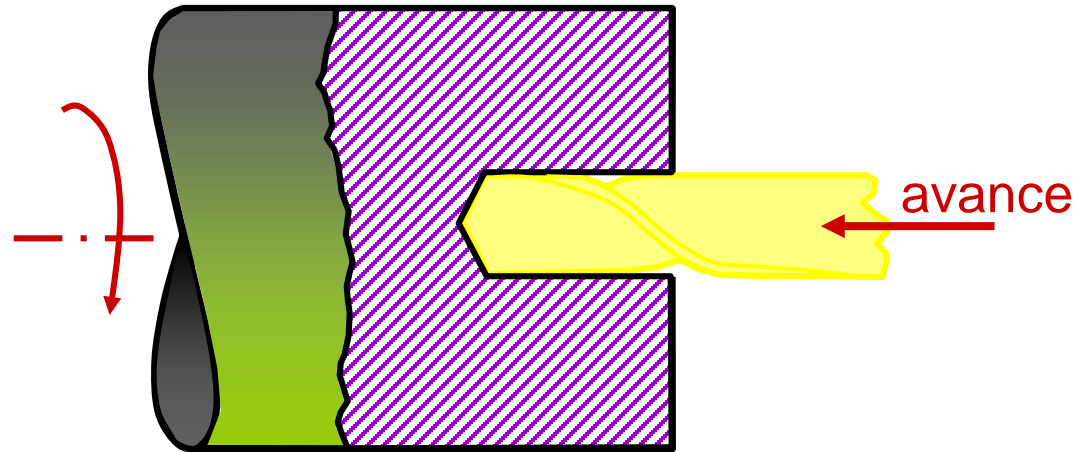
Tronzado





Operaciones de torneado

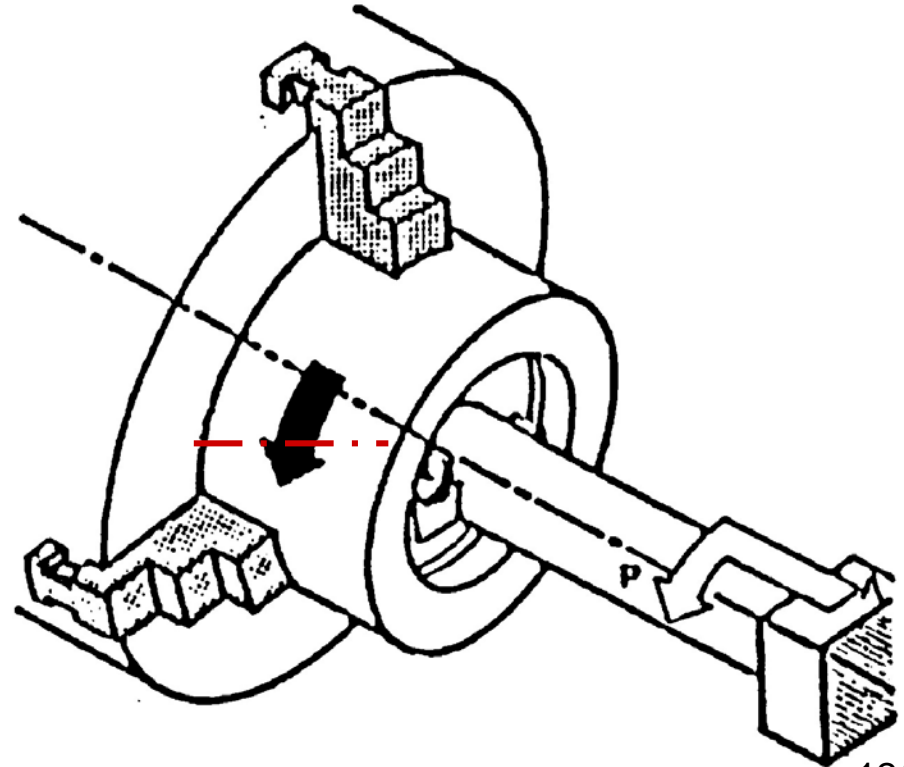
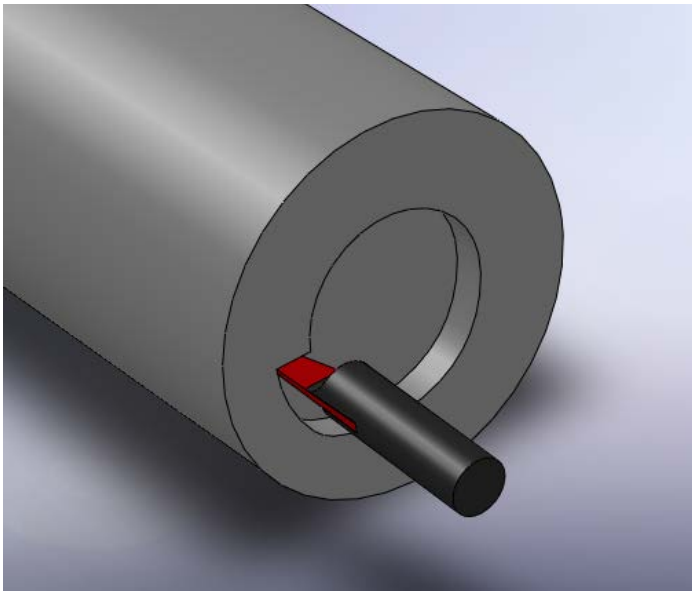
Taladrado





Operaciones de torneado

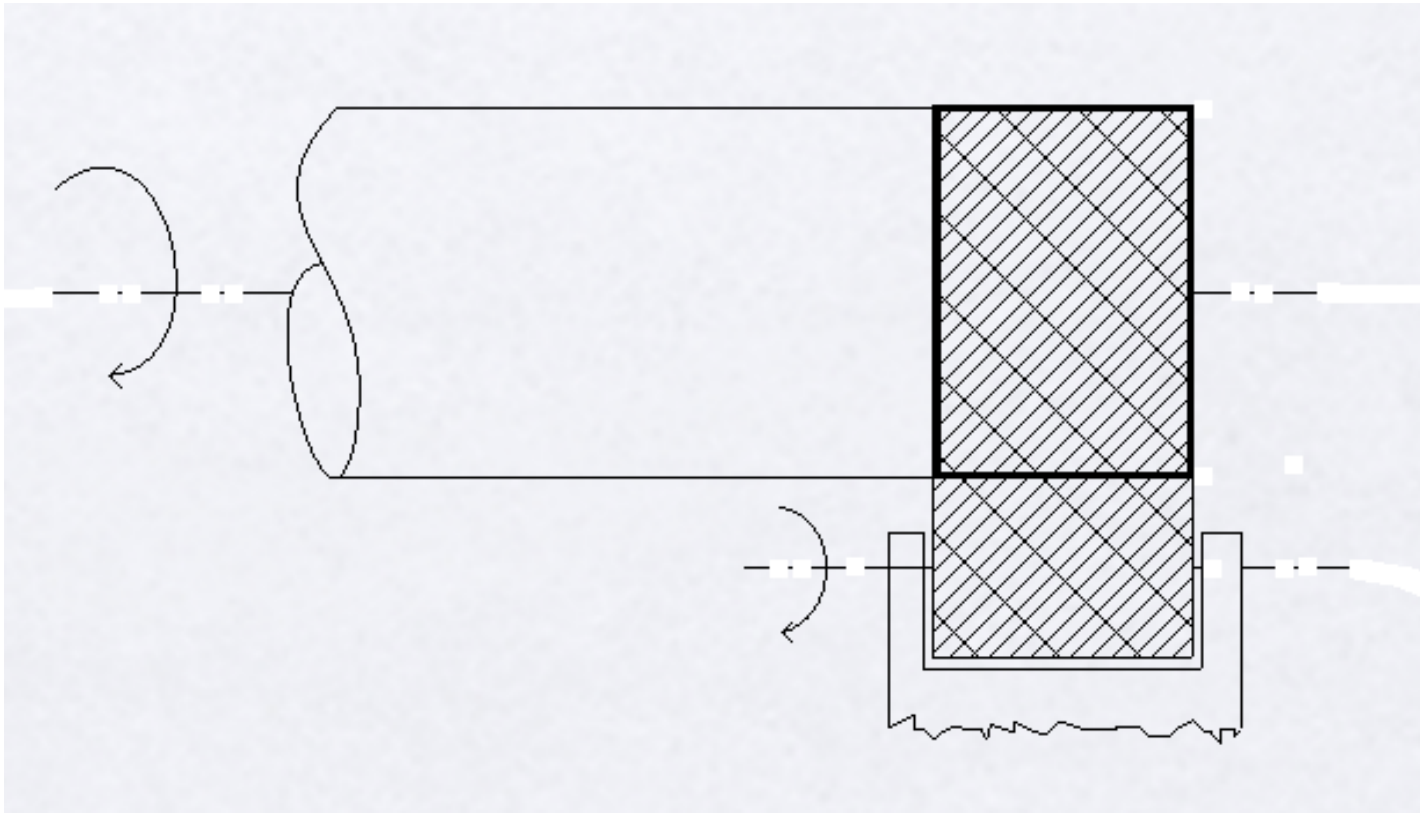
Mandrinado





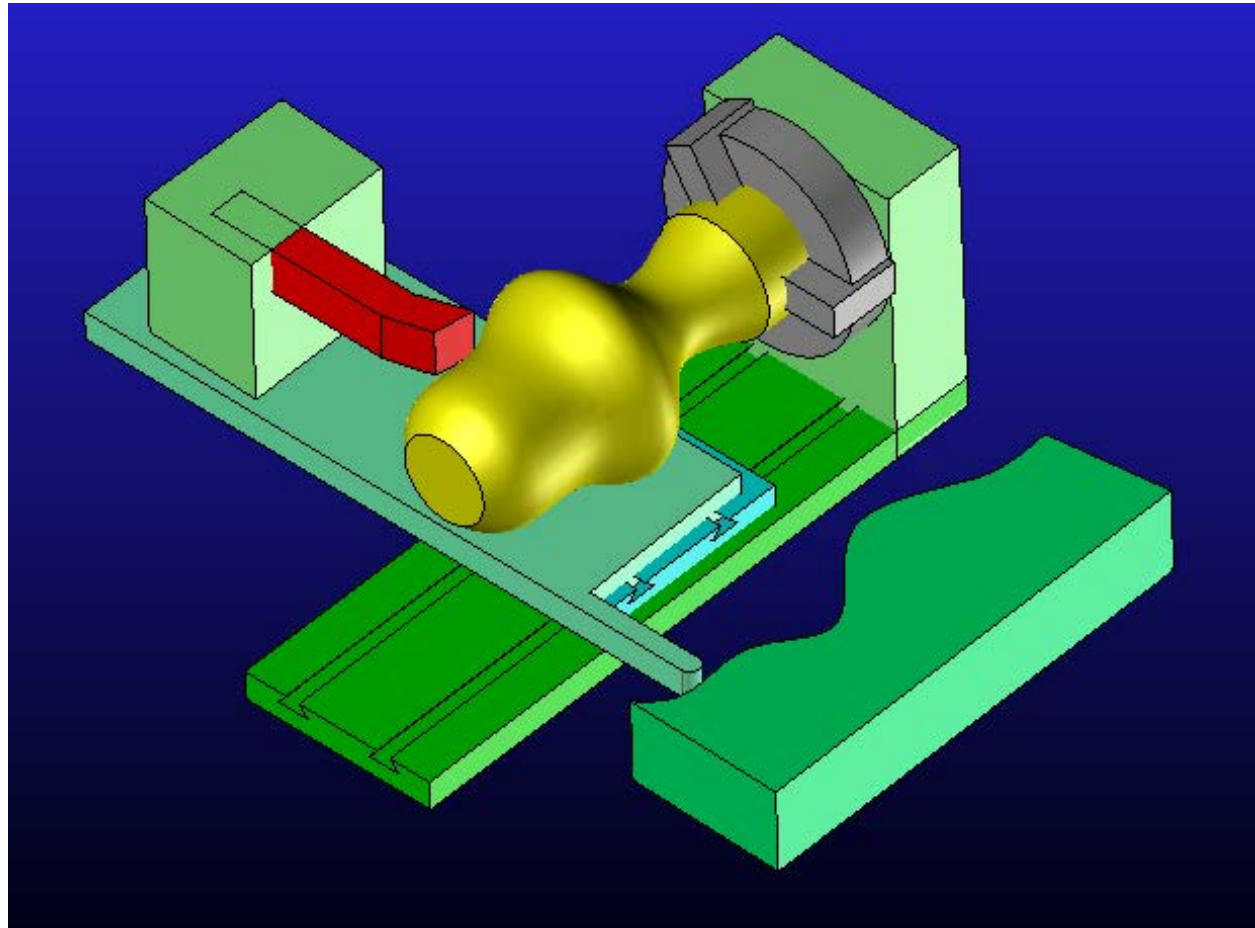
Operaciones de torneado

Grafilado o Moleteado



Operaciones de torneado

Copiado

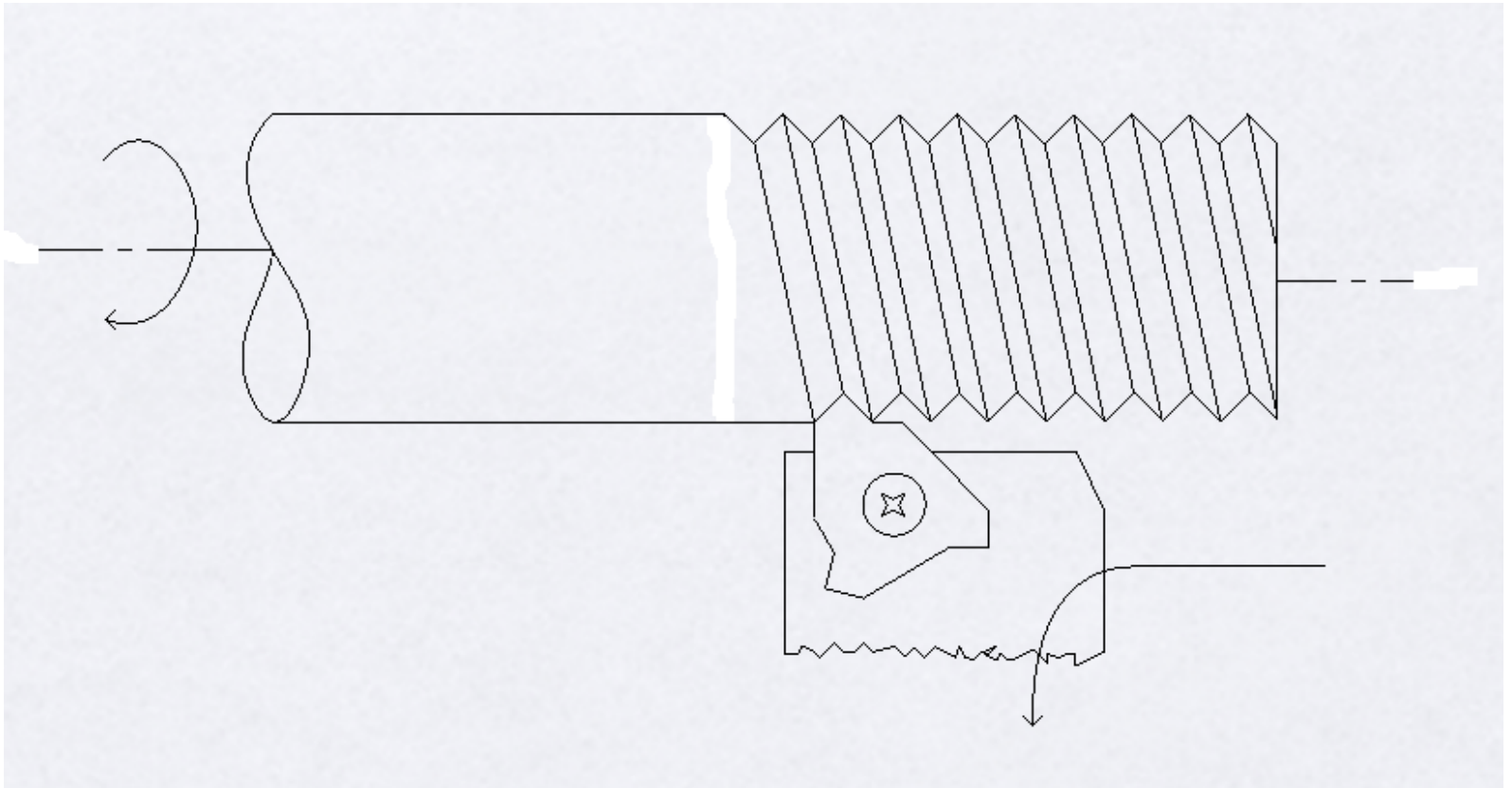


Para realizar conos largos con conicidad grande.



Operaciones de torneado

Roscado





Tipos de torno

- Universal, paralelo, entre puntos, cilíndrico u horizontal.
- Al aire o de plato.
- Vertical.
- Copiador. {
 - con sistema mecánico
 - con sistema hidráulico
- Con control numérico.
- Centro de torneado.
- Revólver.
- Automático. —————→ {
 - con un husillo con torreta revólver
 - con un husillo con herramientas radiales
 - con varios husillos
- Semiautomático.
- Herramientas radiales.
- Múltiples husillos.

→ Tornos para fabricar en serie.



Tipos de torno

Universal





Tipos de torno

Al aire





Tipos de torno

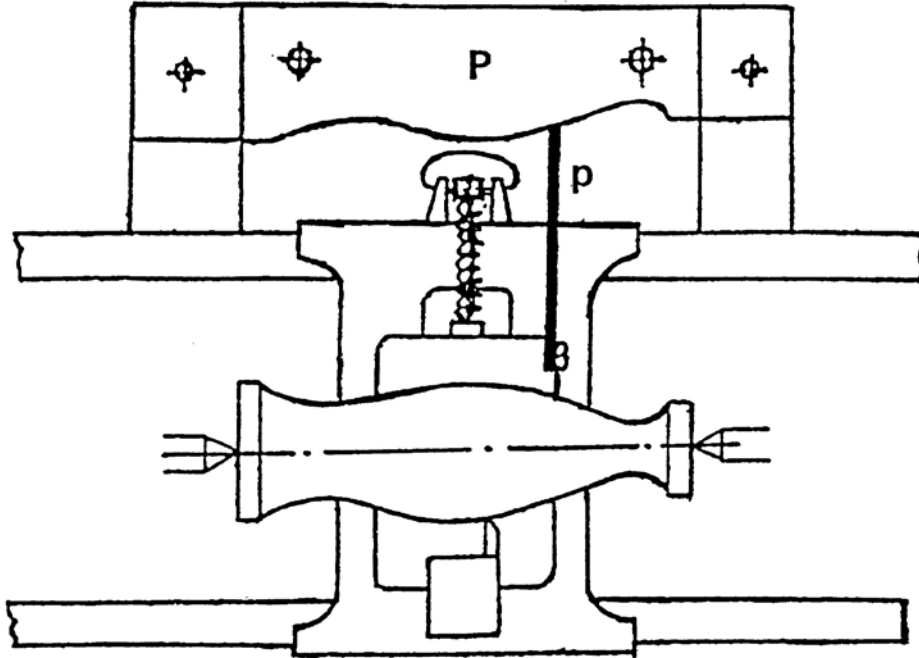
Vertical





Tipos de torno

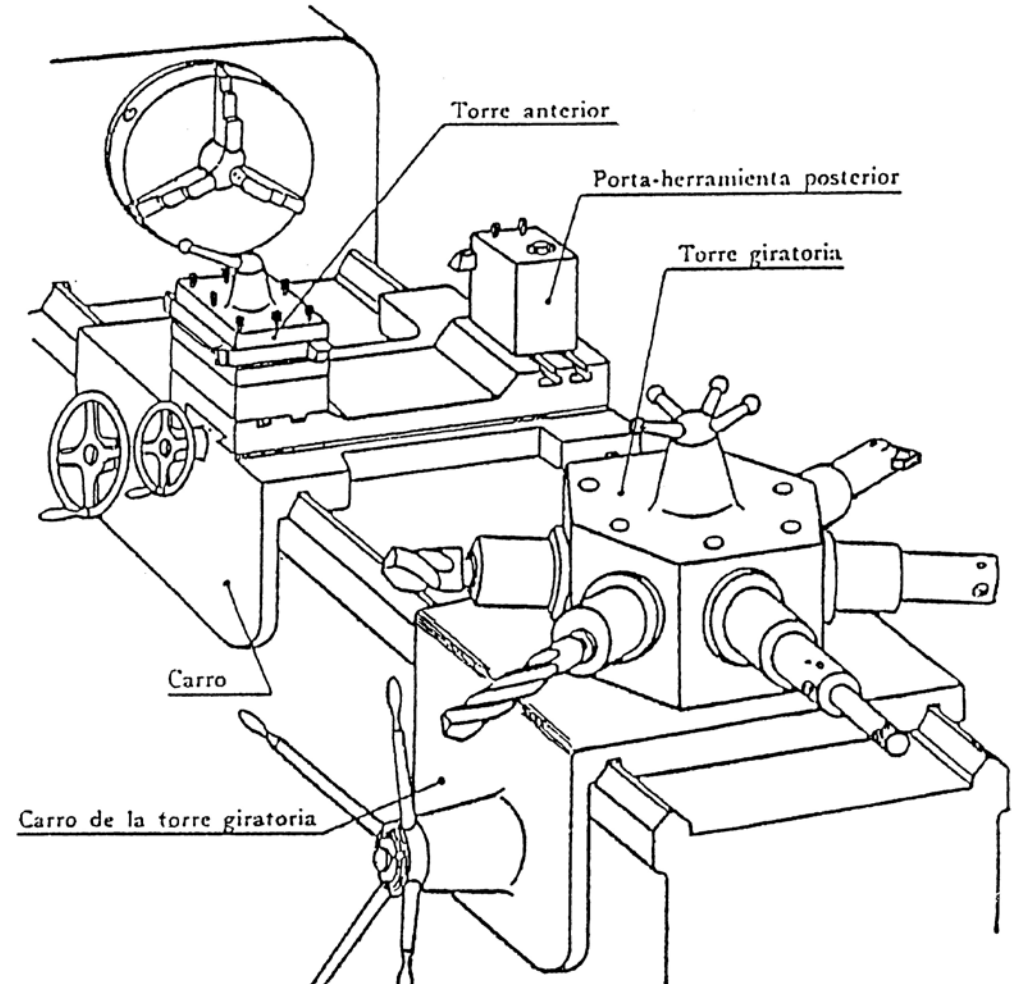
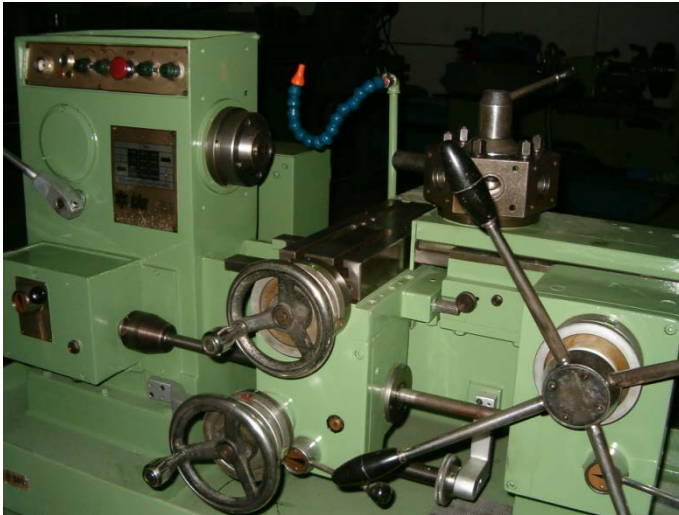
Copiador





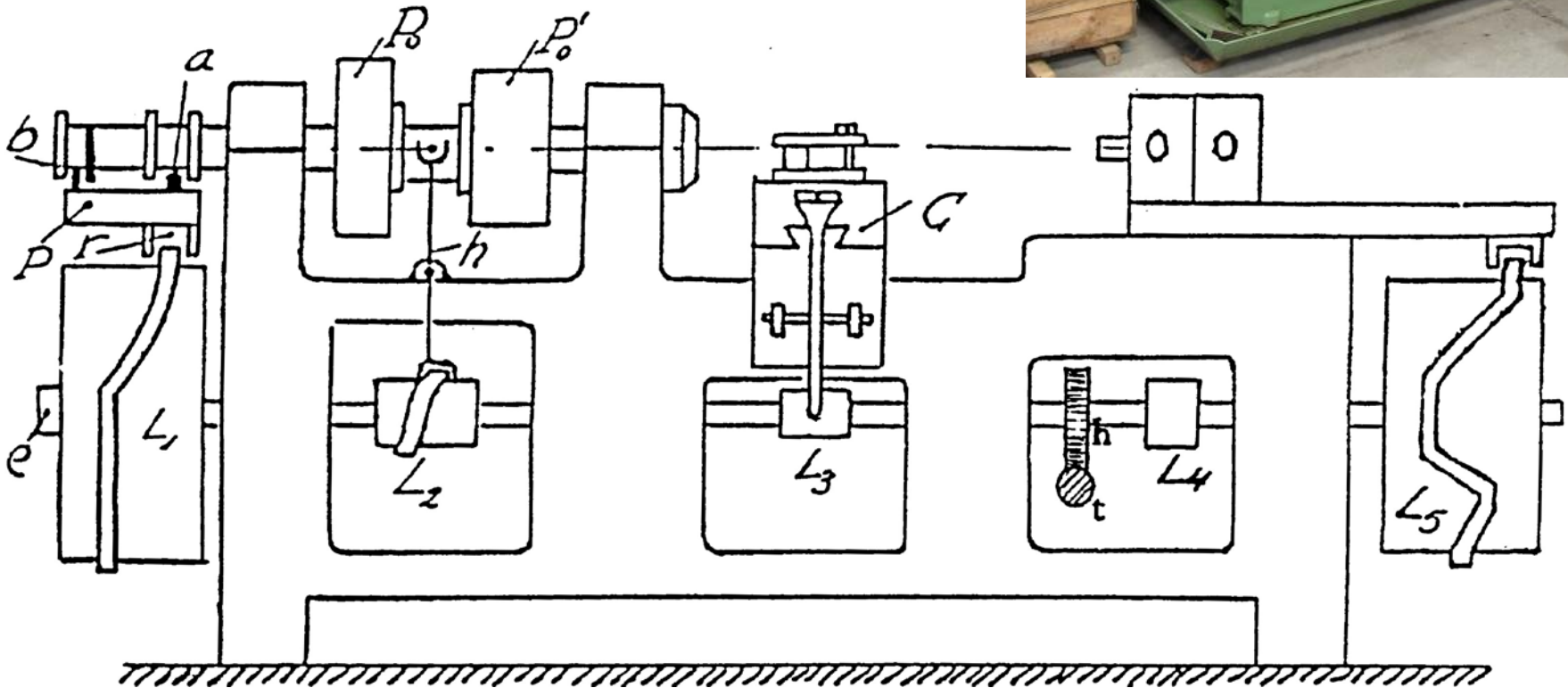
Tipos de torno

Revólver



Tipos de torno

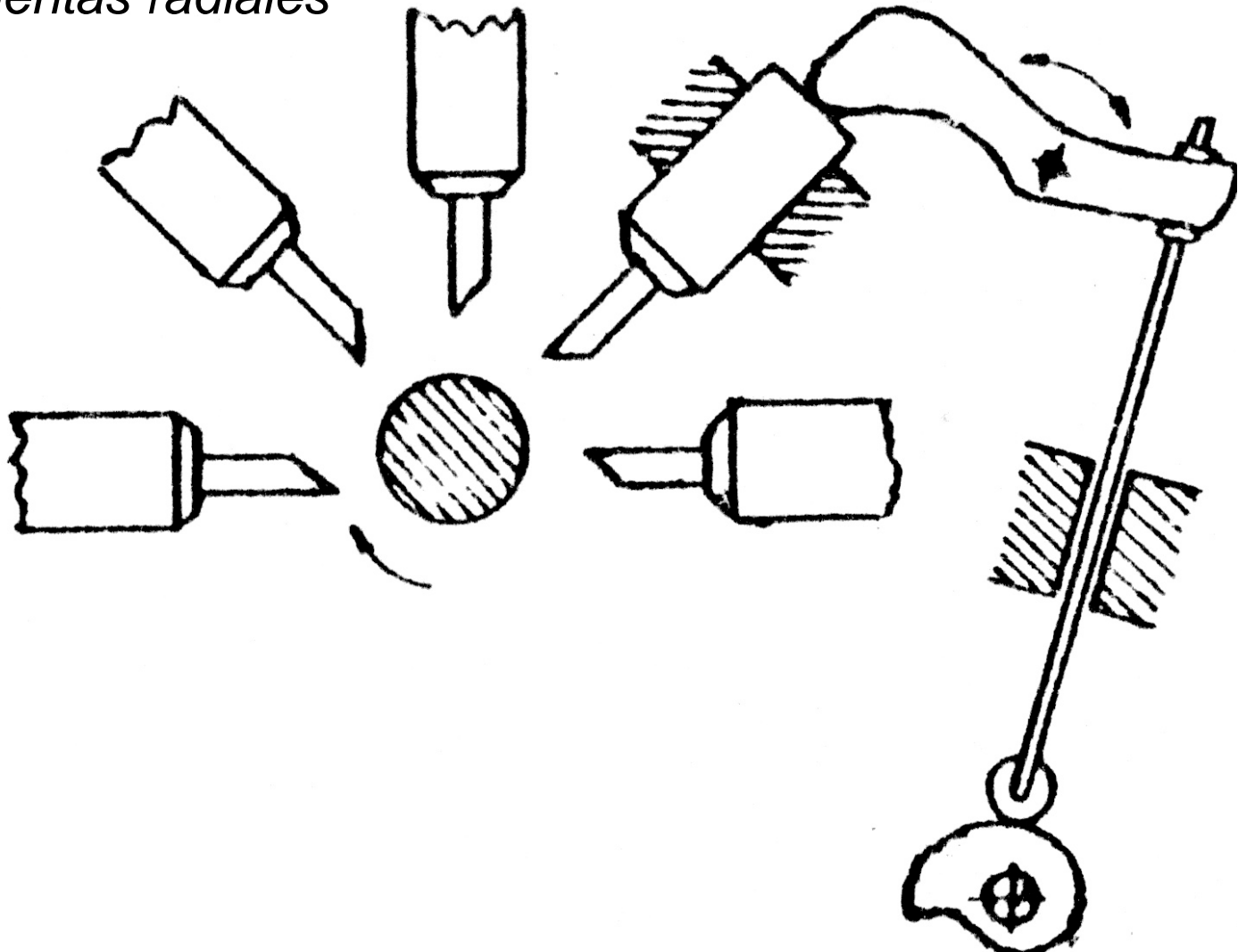
Automático





Tipos de torno

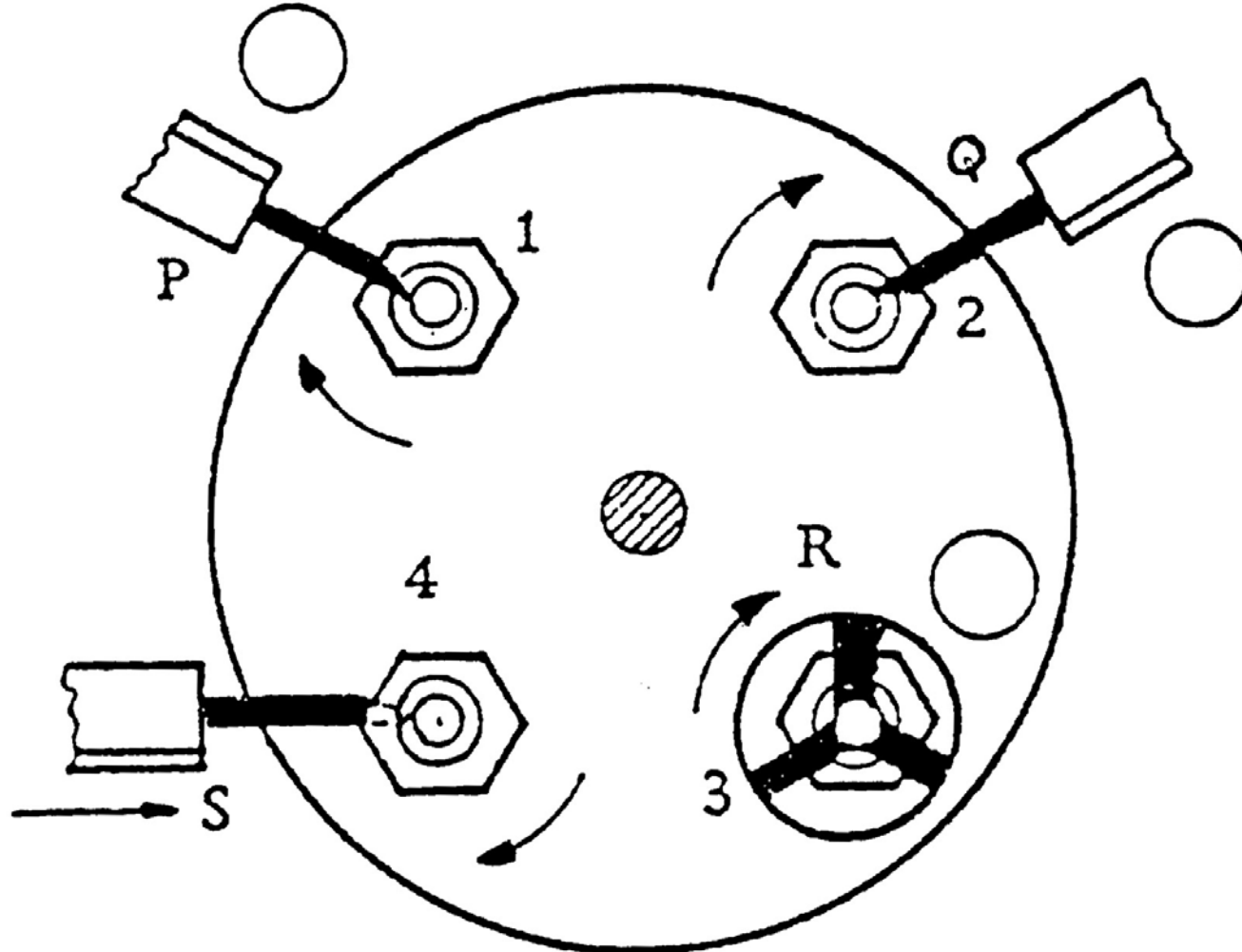
Herramientas radiales





Tipos de torno

Múltiples husillos





Tipos de torno



Con control numérico





Sujeción de las piezas

- **Entre puntos**
 - Brida de arrastre
 - Punto de arrastre
 - Mandril { fijo
extensible
- **Pinza**
- **Platos con garras**
 - Universales
 - Independientes
 - Combinadas

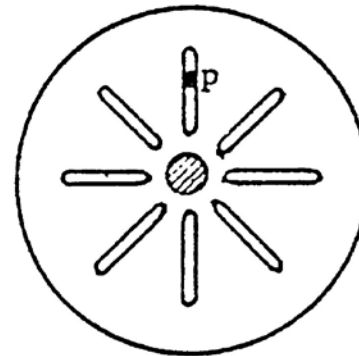
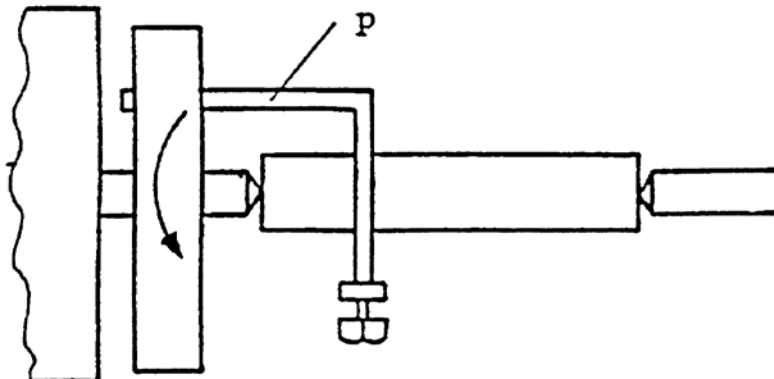
{ neumáticos
hidráulicos
eléctricos
- **Elementos auxiliares de sujeción**
 - Luneta fija.
 - Luneta móvil.

Sujeción de las piezas



Entre puntos

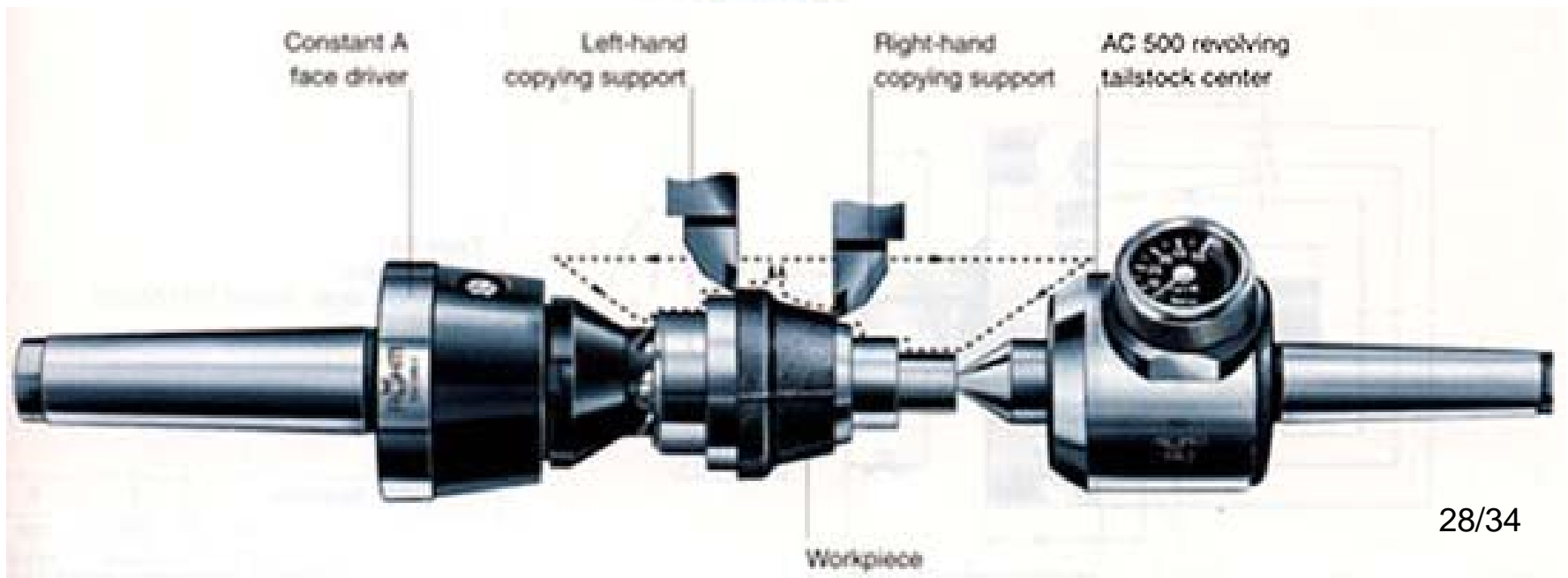
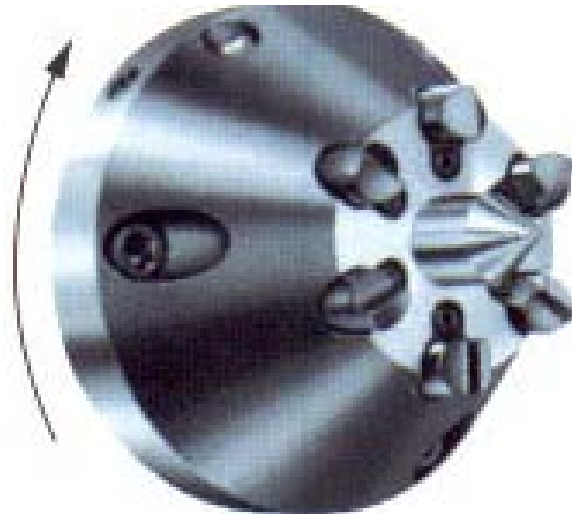
- *Con brida de arrastre*





Sujeción de las piezas

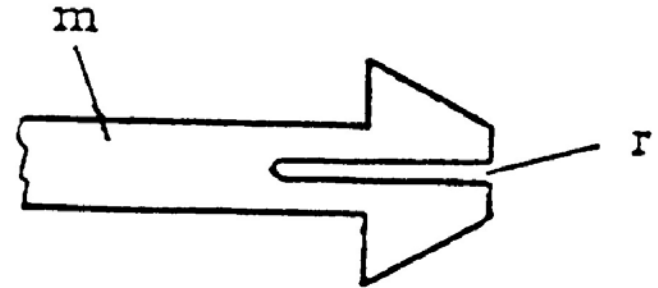
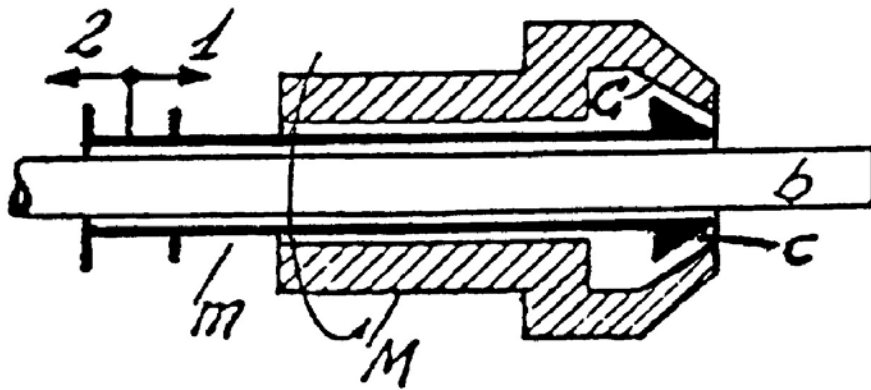
Con punto de arrastre





Sujeción de las piezas

Pinza

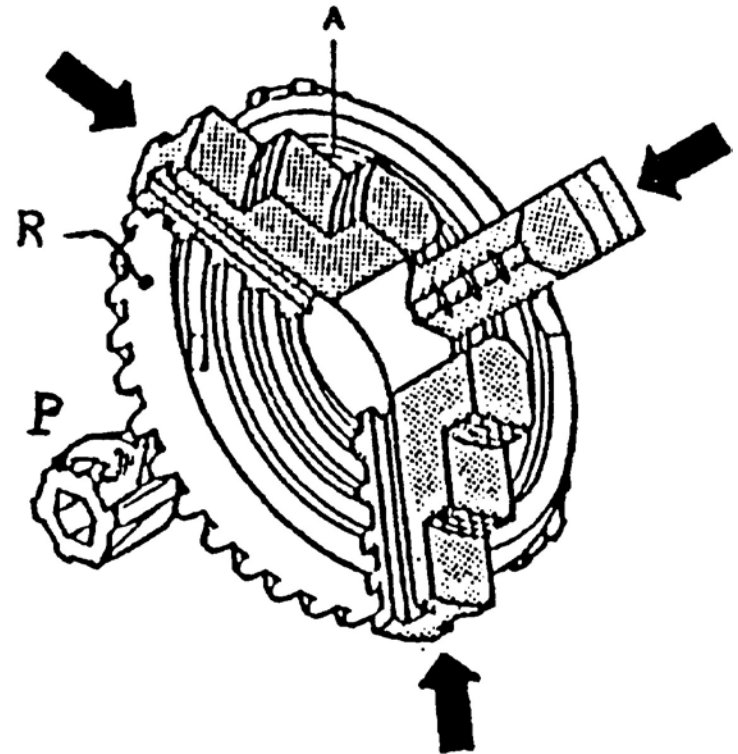
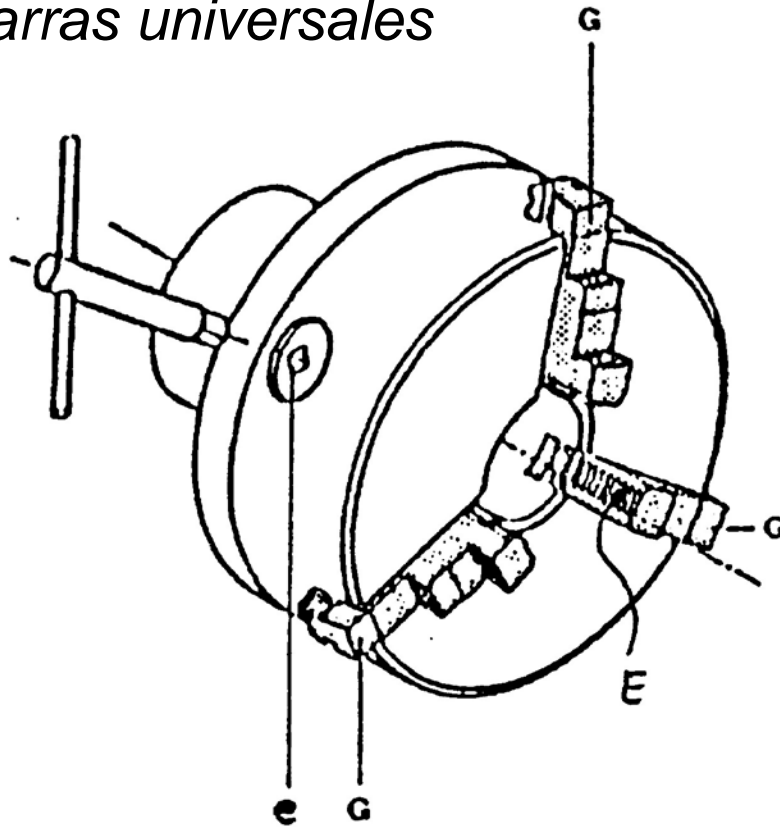




Sujeción de las piezas

Platos con garras

- *Garras universales*





Sujeción de las piezas

Platos con garras

- *Garras independientes*



Platos combinados :

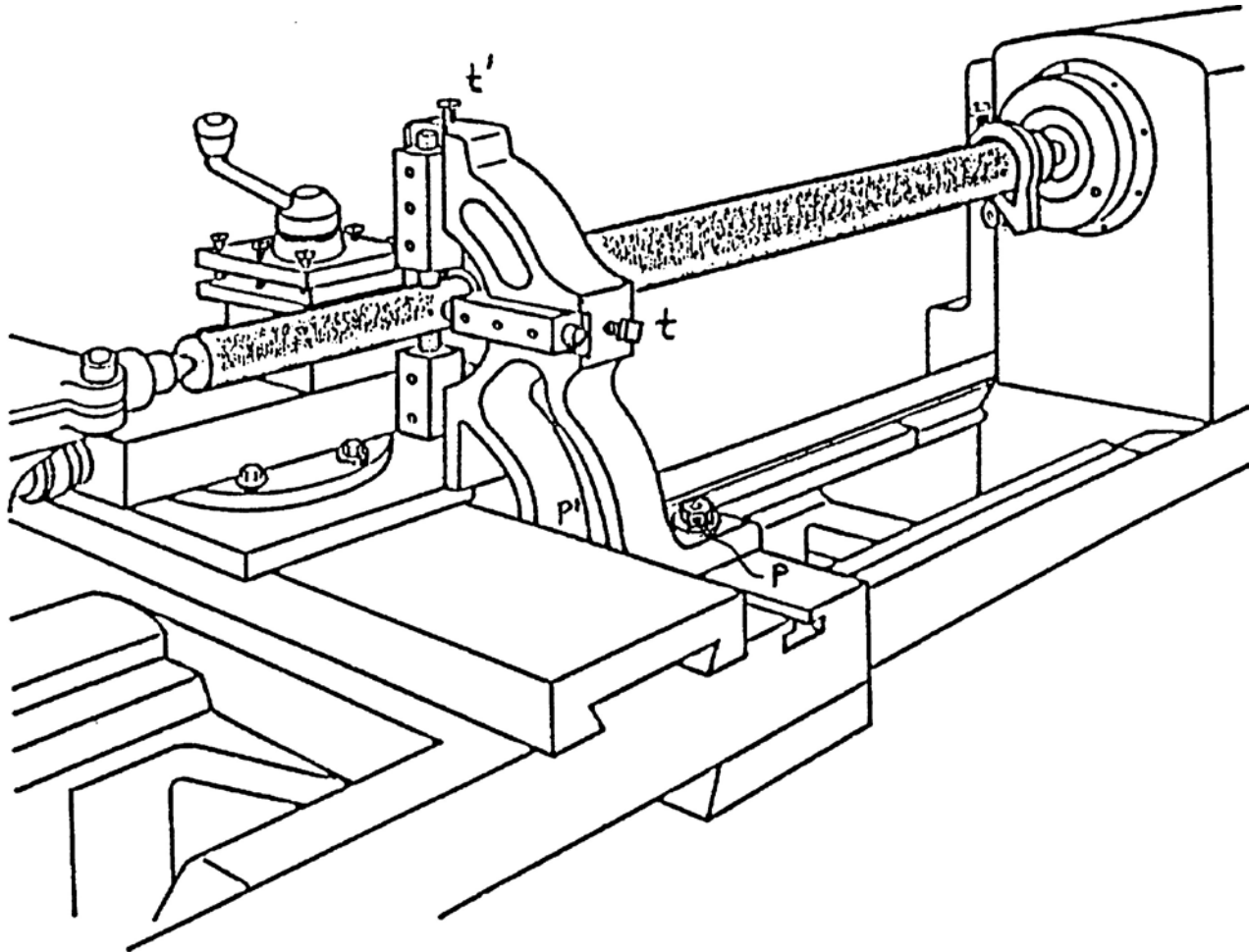
- { neumáticos
- { hidráulicos
- { eléctricos



Sujeción de las piezas

Elementos auxiliares de sujeción

- *Luneta móvil*

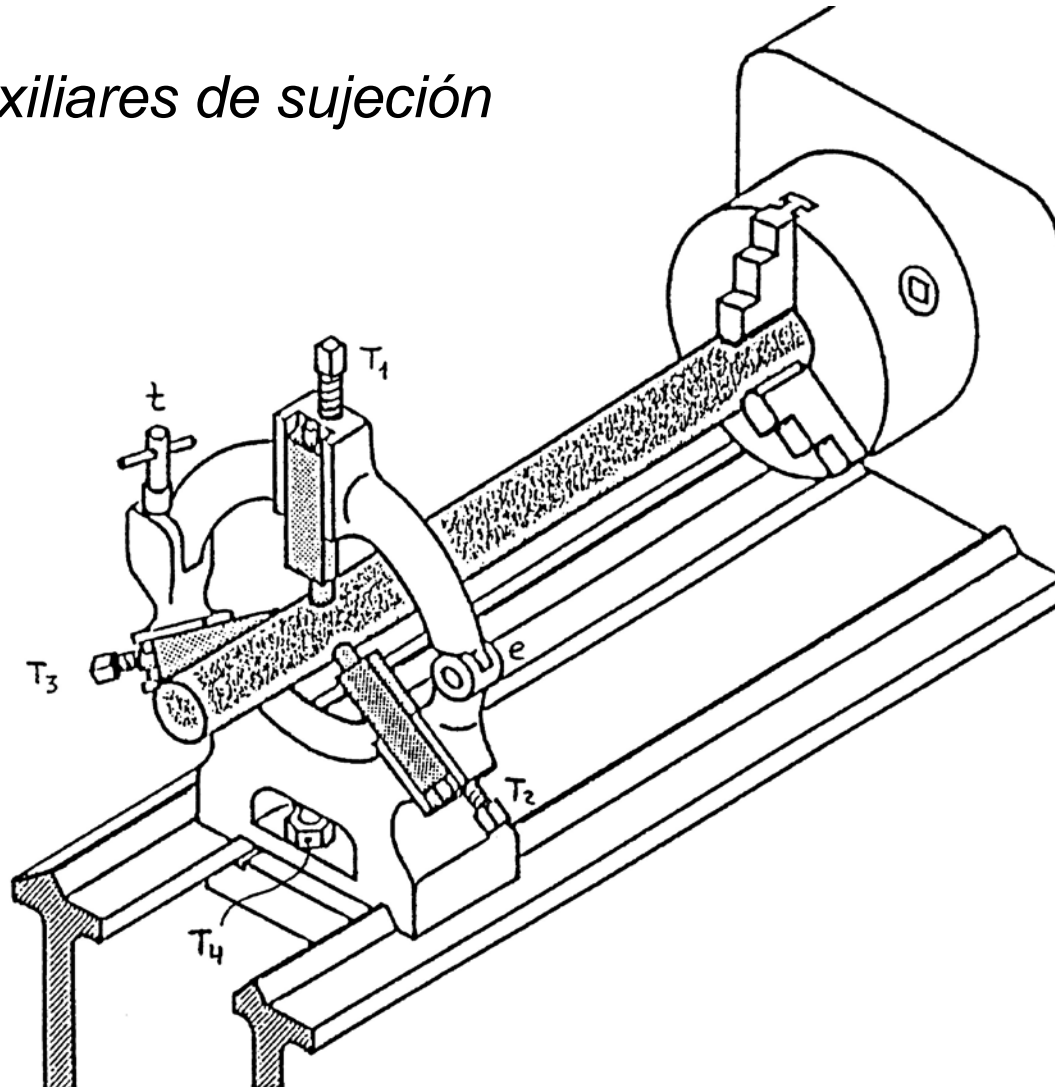




Sujeción de las piezas

Elementos auxiliares de sujeción

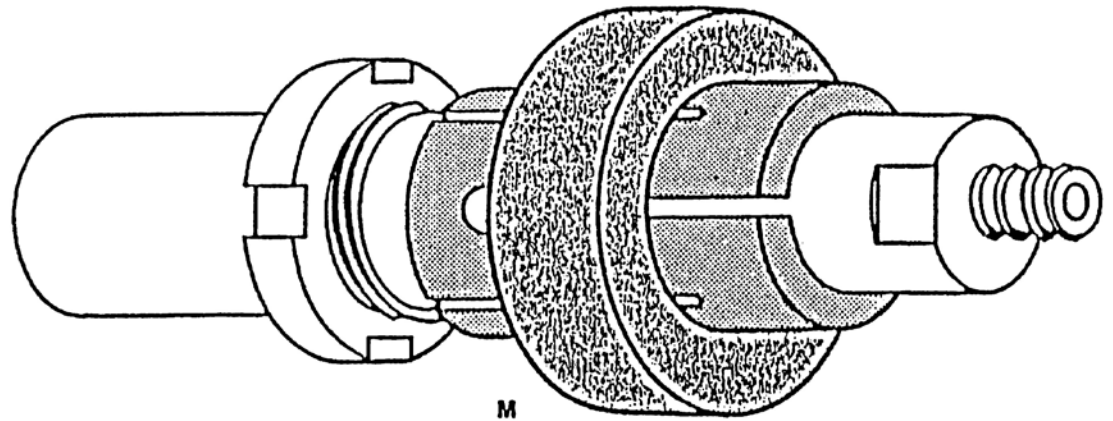
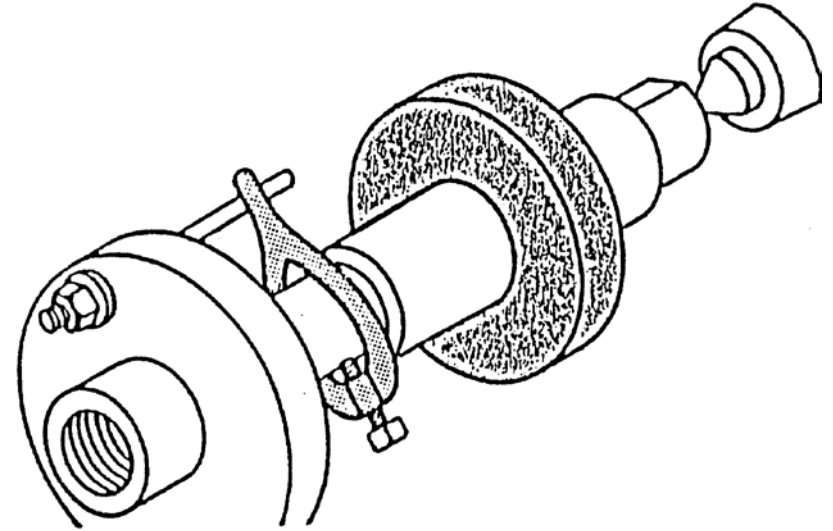
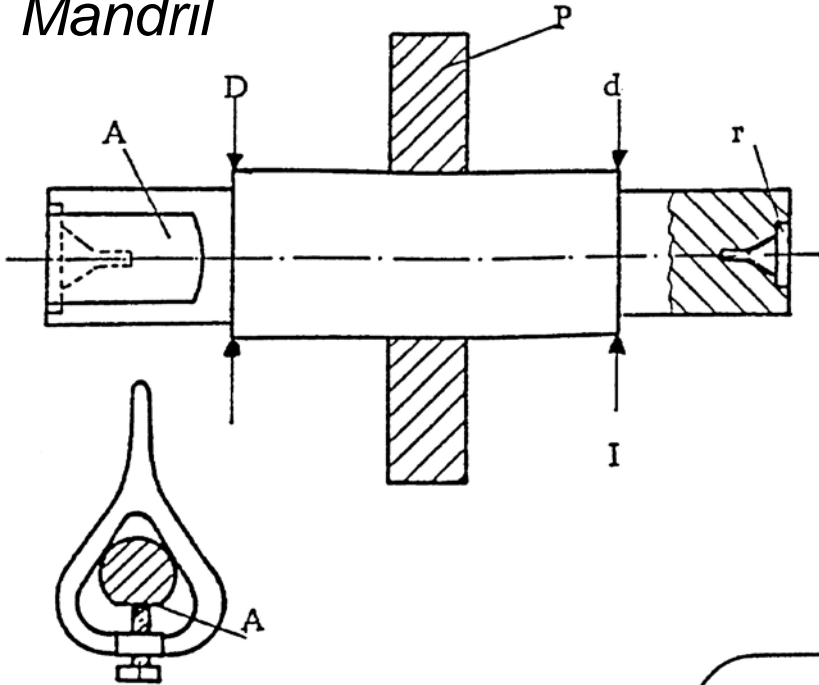
- *Luneta fija*



Sujeción de las piezas



Mandril

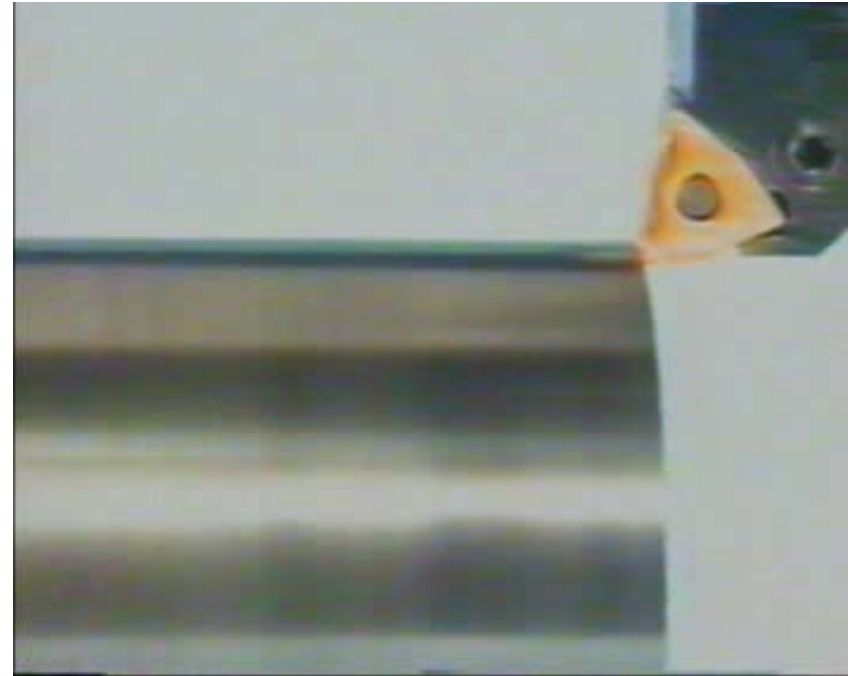


{ mandriles fijos
mandriles extensibles

Procesos de fabricación de piezas por arranque de virutas

Torneado

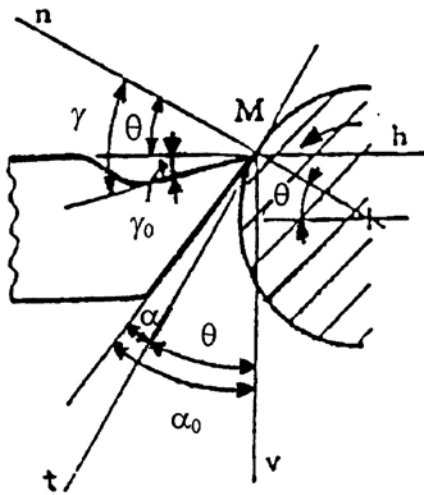
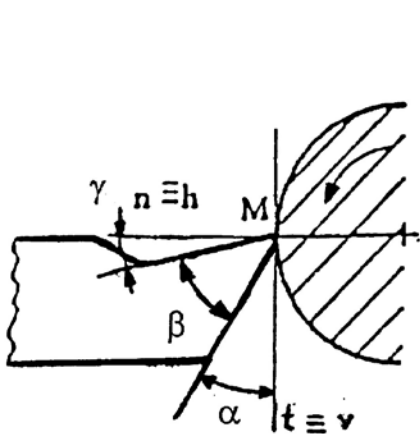
1. Fijación de la herramienta
2. Parámetros fundamentales que definen el régimen de corte en el proceso de torneado
3. Tiempos de mecanizado
4. Costes de mecanizado



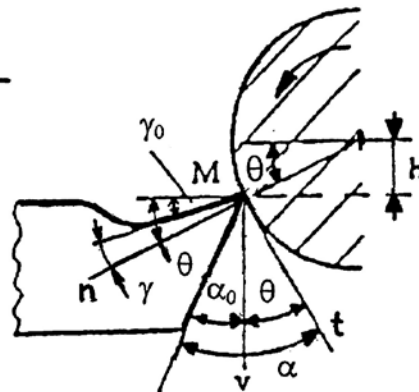
Fijación de la herramienta



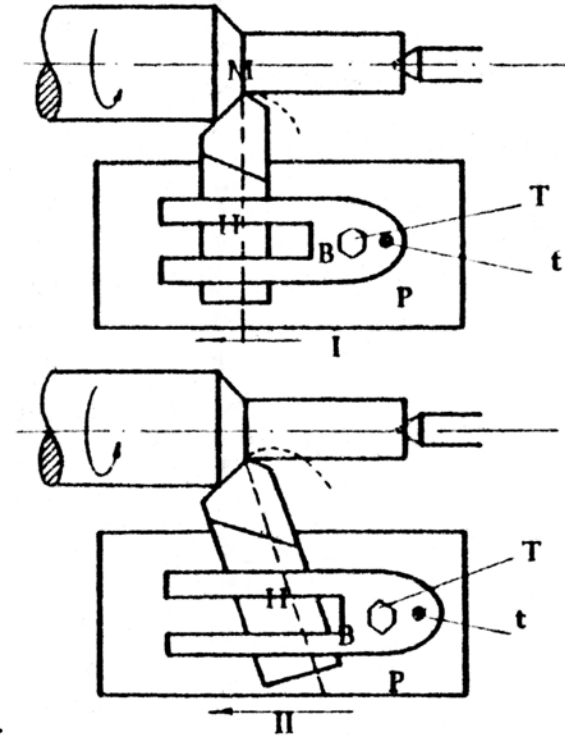
1. Perpendicularidad al eje de giro.
2. Mismo plano horizontal que el eje de giro.
3. Forma de sujeción.



$$\begin{aligned} \gamma &> \gamma_0 \\ \alpha &< \alpha_0 \end{aligned}$$



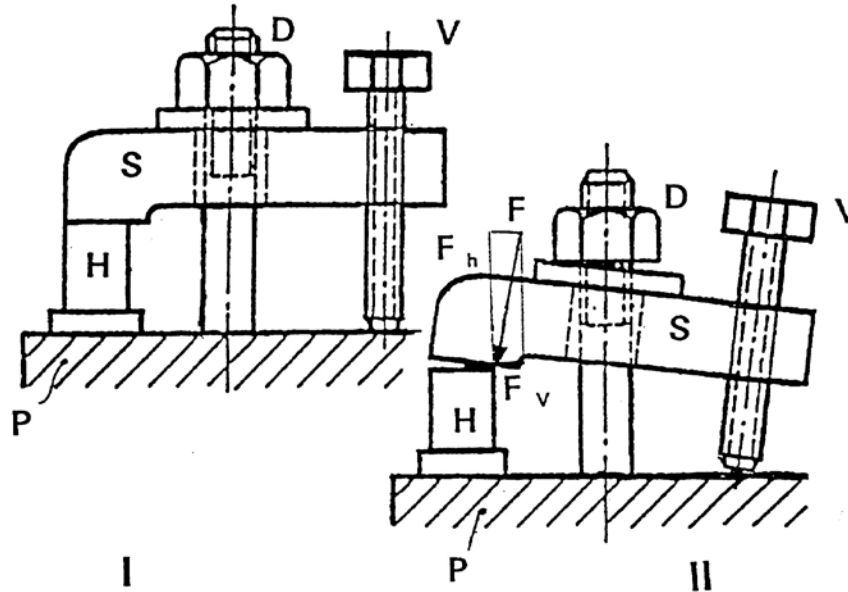
$$\begin{aligned} \gamma &< \gamma_0 \\ \alpha &> \alpha_0 \end{aligned}$$



Posición correcta. Aceptable para desbaste. Aceptable para acabado.

Fijación de la herramienta

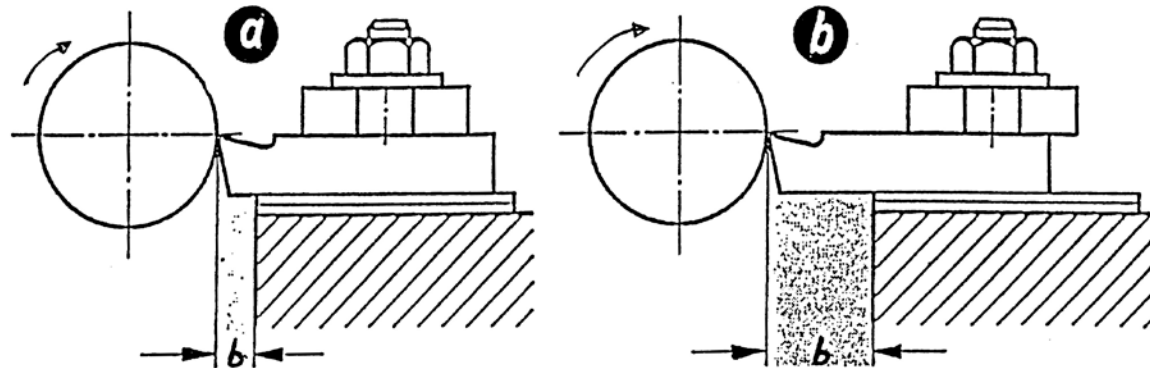
- Bridas paralelas a la base del carro:



- Voladizo:

CORRECTO

INCORRECTO





Cálculo de los parámetros fundamentales que caracterizan el proceso de corte



Parámetros fundamentales que definen un régimen de corte:

1. Velocidad de corte
2. Avance
3. Profundidad de corte

Para definir correctamente un régimen de corte se deben calcular o seleccionar adecuadamente los valores para estos tres parámetros, asociados a la selección adecuada de la herramienta de corte a utilizar

Ya se ha visto en clases anteriores como calcular los valores adecuados para éstos parámetros

Estos valores se pueden optimizar en función de criterios básicamente económicos

Cálculo del tiempo de mecanizado para diferentes operaciones: Cilindrado



El tiempo de corte, en una máquina donde el avance se pone en fase con el giro del husillo o herramienta, se define:

$$t_c = \frac{L}{n \cdot a}$$

L : longitud a mecanizar (mm)
 n : velocidad de rotación (vuelta/min)
 a : avance por vuelta (mm/vuelta)
 t_c : tiempo de corte (min)

Tiempo de corte en un cilindrado

En un cilindrado la velocidad de corte se define:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

D : diámetro cilindro (mm)
 n : velocidad de rotación (vuelta/min)
 V_c : velocidad de corte (m/min)

Despejando n de la ecuación de velocidad de corte y reemplazándola en la ecuación del tiempo de corte se tiene

$$t_c = \frac{L \cdot \pi \cdot D}{1000 V_c \cdot a} \quad \circ \quad t_c = \frac{S}{1000 V_c \cdot a}$$

donde S es el área del manto o recubrimiento, del trozo a cilindrar



Cálculo del tiempo de mecanizado para



diferentes operaciones: Refrentado a V_c var.



En un refrentado hay dos situaciones de interés, refrentado a velocidad de corte constante o variable

Refrontado a velocidad de corte variable, torno convencional, en este caso n es constante durante todo el proceso de corte. La expresión para el tiempo de corte en el caso que el refrentado llegue hasta el centro del cilindro es:

$$t_c = \frac{L}{n \cdot a} = \frac{D/2}{n \cdot a}$$

D : diámetro cilindro (mm)

n : velocidad de rotación (vuelta/min)

a : avance por vuelta (mm/vuelta)

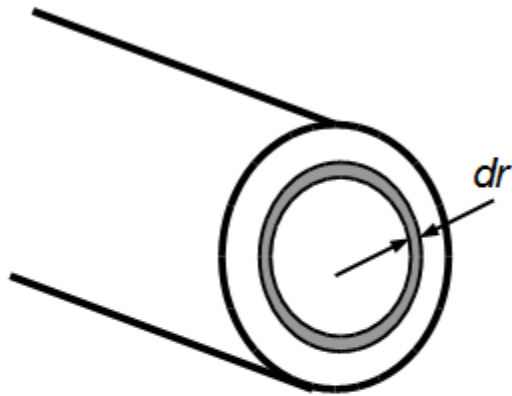
t_c : tiempo de corte (min)

Cálculo del tiempo de mecanizado para



diferentes operaciones: Refrentado a V_c cte.

Refrentado a velocidad de corte constante, torno de control numérico, en este caso n es variable y depende del radio r luego la expresión para el tiempo de corte se obtiene integrando el elemento diferencial de la figura



Para el elemento diferencial de área de la figura, el tiempo diferencial de corte es:

$$dtc = \frac{dr}{n \cdot a}$$

Reemplazando n en la ecuación diferencial y integrando

$$\int_0^{tc} dtc = \int_0^R \frac{2\pi}{1000 \cdot Vc \cdot a} r dr \quad \longrightarrow \quad tc = \frac{\pi \cdot R^2}{1000 \cdot Vc \cdot a}$$

$$tc = \frac{S}{1000 Vc \cdot a}$$

S : es el área de la sección del cilindro

Vc : velocidad de corte (m/mim)

a : avance por vuelta (mm/vuelta)

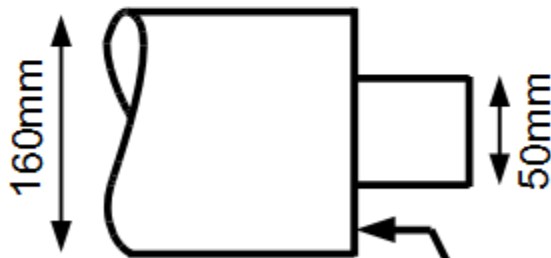
tc : tiempo de corte (min)

Cálculo del tiempo de mecanizado para diferentes operaciones: Refrentado o cilindrado de un tramo de la pieza



En el caso que el refrentado o cilindrado sea sólo de un tramo de la pieza, no se refrenta toda la cara del cilindro, o se cilindra solo un trozo del material. En estos casos se debe considerar la fracción de área o sección correspondiente al proceso de mecanizado, por ejemplo:

Refrentado entre dos radios cualesquiera a velocidad de corte constante. Para evaluar el tiempo de corte en este proceso es necesario determinar el área S en cuestión



$$S = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} - \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} = \frac{\pi}{4} (160^2 - 50^2) \text{ mm}^2$$

Área S correspondiente al refrentado entre dos diámetros



1) Si la velocidad de corte es constante, $V_c = \text{cte}$, el tiempo de corte se define por:

Donde S es la sección de corte:

$$t_c = \frac{S}{1000 V_c \cdot a}$$

Para un cilindrado $S = L \cdot \pi \cdot D$

Para un refrentado $S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$

Para un ranurado $S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot D_r^2}{4}$

Donde: D es el diámetro del cilindro, D_r es el diámetro de la ranura,
 L : longitud de corte, a : avance por vuelta (mm/vuelta),
 V_c : velocidad de corte (m/min) y t_c : tiempo de corte (min).

2) Si la velocidad de rotación es constante, $n = \text{cte}$, el tiempo de corte se define por:

$$t_c = \frac{L}{n \cdot a}$$

L : longitud de corte

n : velocidad de rotación (vuelta/min)

a : avance por vuelta (mm/vuelta)

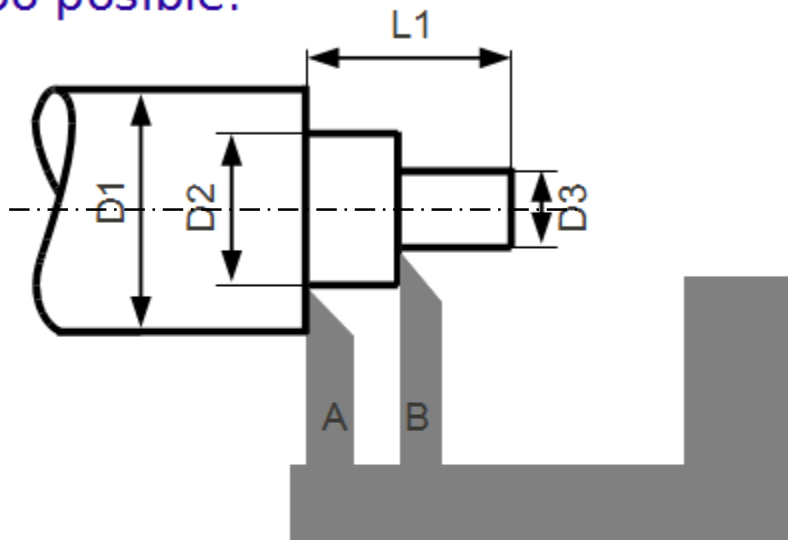
t_c : tiempo de corte (min).



Problema 1. Torneado

Potencia necesaria y Tiempos de corte

3.6) Calcular la potencia necesaria en el motor, y el tiempo de corte para efectuar el torneado múltiple de la figura, en el menor tiempo posible.



D1: 30mm
D2: 27mm
D3: 25mm
L1: 80mm

Gama de velocidades de corte (rpm): 2000 - 1500 - 1200 - 750 - 500 - 250 - 125 y 62

L : longitud a mecanizar (mm)

Se desea utilizar un avance $a=0,5$ (mm/vuelta)

Se desea utilizar herramientas de metal duro $V_c(\text{rec})=120\text{m/min}$

La pieza es de acero inoxidable

$\eta=0,9$



Problema 1. Torneado

Potencia necesaria y Tiempos de corte

Solución:

La potencia consumida por el proceso es la potencia consumida por el mecanizado realizado por la herramienta A más la potencia consumida por la herramienta B.

$$Nm = Nm_A + Nm_B \geq (Es \cdot Qc_A + Es \cdot Qc_B) \quad (1)$$

Donde $Qc_A = Vc_A \cdot a \cdot p_A$ $Qc_B = Vc_B \cdot a \cdot p_B$ (2a,b)

$$Vc_A = \frac{\pi D_A n}{1000} \quad Vc_B = \frac{\pi D_B n}{1000} \quad (3a,b)$$

Remplazando las ecuaciones (3a,b) en (2a,b) y a su vez (2a,b) en (1), se tiene:

$$Nm \geq Es (D_A \cdot p_A + D_B \cdot p_B) \frac{\pi \cdot a \cdot n}{60} \quad (4)$$

Datos: $D_A = 30\text{mm}$; $D_B = 27\text{mm}$; $p_A = 1,5\text{mm}$; $p_B = 1\text{mm}$; $a = 0,5\text{mm/vuelta}$



Potencia necesaria y Tiempos de corte

Para evaluar la potencia sólo falta definir la velocidad de giro n .

La velocidad de corte está acotada por el material de la herramienta de corte. Como la herramienta recomendada es de metal duro, una estimación de la velocidad de corte V_c es:

$$V_c \leq 120 \frac{m}{min}$$

Por lo tanto, la velocidad de giro n debe cumplir la siguiente condición:

$$n \leq \begin{cases} \frac{1000 \cdot 120}{\pi \cdot D_A} = 1273 \frac{Vueltas}{min} \\ \frac{1000 \cdot 120}{\pi \cdot D_B} = 1415 \frac{Vueltas}{min} \end{cases}$$

Sea $n=1200$



$$N_m = 9048W \quad N_{me} = N_m / \eta = 10053W$$

El tiempo de corte se define:

$$t_c = \frac{L}{n \cdot a}$$

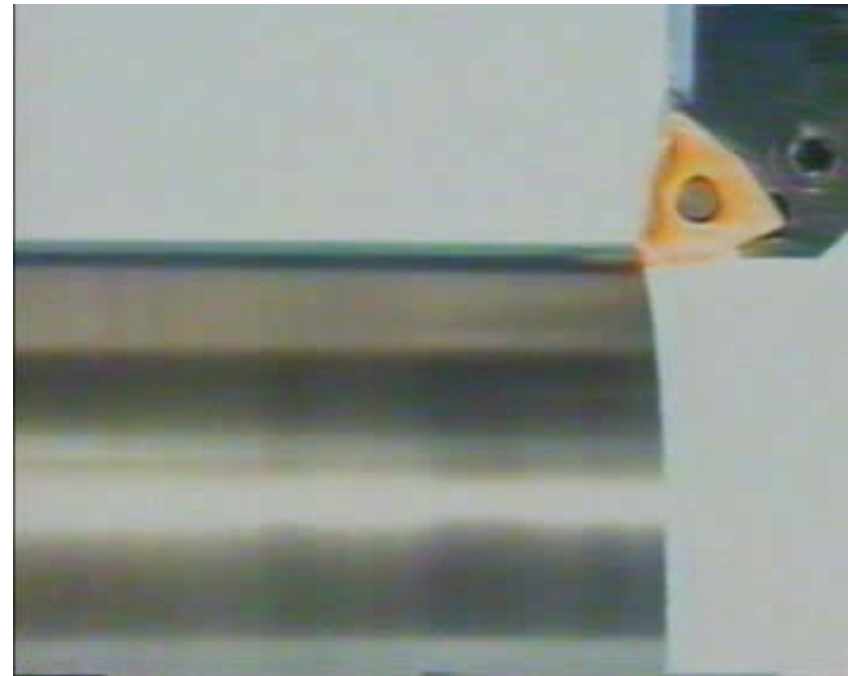
Donde $L = 80mm$



$$t_c = 8s$$

Procesos de fabricación de piezas por arranque de virutas Torneado

1. Parámetros fundamentales que definen el régimen de corte en el proceso de torneado
2. Tiempos de mecanizado
3. Costes de mecanizado



Problema 2. Torneado

Tiempos de corte



3.7) Partiendo de una barra de acero inoxidable de longitud 75mm y Diámetro 50mm, se desea refrentar en acabado hasta dejarla a 70mm de longitud. Se dispone de un torno de 5kW y las siguientes Marchas 2500, 1250, 600, 300, 150 vueltas/min. Se utiliza una herramienta de metal duro. Determinar el tiempo de corte mínimo.
 Herramienta de corte con plaquita triangular, $r=0,6$ mm, $L=11$ mm y $\varphi=75^\circ$

Solución: $\eta=0,8$ $E_s=4\text{Ws/mm}^3$; $V_{c(\text{rec})}=120\text{m/min}$

Por el tipo de marchas discretas, el refrentado se esta realizando con un torno convencional.



La velocidad de giro n es constante

El tiempo de corte se define:

$$t_c = \frac{L}{n \cdot a} = \frac{D/2}{n \cdot a} \quad (1)$$

Para determinar los valores que toma la velocidad de giro n y el avance por vuelta a , se analizan dos posibles escenarios:

- 1) Utilizar toda la potencia del torno en el mecanizar
- 2) La velocidad de giro esta acotada por la velocidad de corte máxima admisible por la herramienta

Problema 2. Torneado

Tiempos de corte



Utilizar toda la potencia disponible para mecanizar, ésta será siempre la cota inferior para el tiempo de corte.

La potencia de mecanizado y la velocidad de corte se relacionan:

$$\left. \begin{aligned} Nm \geq Es \cdot Qc = Es \cdot Vc \cdot 5 \cdot a \\ Vc = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \end{aligned} \right\} n \cdot a \leq \frac{60 \cdot Nm}{Es \cdot \pi \cdot D \cdot 5} \quad (2)$$

Remplazando (2) en (1) se tiene:

$$tc \geq \frac{Es \cdot D^2 \cdot \pi \cdot 5}{120 \cdot Nm} = 0,26 \text{ min}$$

Por lo tanto la cota inferior para el tiempo de corte no depende de la velocidad de giro n ni del avance por vuelta a , si la hipótesis es: utilizar toda la potencia del torno para mecanizar.

Determinación de la velocidad de giro y avance para el corte. La velocidad de corte está acotada por el material de la herramienta de corte.

$$\left. \begin{aligned} Vc \leq 120 \text{ m/min} \\ Vc = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \end{aligned} \right\} n \leq 764 \text{ vueltas/min}$$

Sea $n = 600$ la posible velocidad de giro inmediatamente menor, con lo cual la velocidad de corte es:

$$Vc = 94 \text{ m/min}$$

Problema 2. Torneado

Tiempos de corte



Considerando la velocidad de corte anterior y asumiendo que la energía que entrega el torno se consume toda, se puede estimar el avance por vuelta a .

$$\left. \begin{array}{l} Nm \geq Es \cdot Qc = Es \cdot Vc \cdot 5 \cdot a \\ Vc = 94 \text{ m/min} \end{array} \right\} a \leq 0,16 \text{ mm/vuelta} \quad (3)$$

El avance resultante es de un acabado ya que es menor que 0,2mm/vuelta, por lo tanto se puede emplear toda la energía disponible para mecanizar con lo cual se obtiene el mismo resultado anterior para el tiempo de corte.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Comprobación} \quad tc = \frac{D/2}{n \cdot a} \\ a \leq 0,16 \text{ mm/vuelta} \\ n = 600 \text{ vueltas/min} \end{array} \right\} tc \geq 0,26 \text{ min}$$

Si se asume una velocidad de giro n y el avance resulta ser para un desbaste, no para un acabado, en ese caso se debe utilizar un avance por vuelta menor con lo cual la cota para el tiempo mínimo de corte subirá.



Tiempo total del proceso de mecanizado



En un proceso de mecanizado con arranque de viruta, el tiempo total de mecanizado se puede dividir en cuatro tiempos, dos de los cuales se consideran constantes y dos dependientes de los parámetros de corte.

$$tm = tp + ti + tc + tch \cdot Nh$$

tm : tiempo total de un mecanizado por pieza (min/pieza)

tp : tiempo de preparación de la máquina por pieza (min/pieza)

ti : tiempo improductivo por pieza (min/pieza)

tc : tiempo de corte por pieza (min/pieza)

tch : tiempo de cambio de herramienta (min/filo)

Nh : número de herramientas utilizadas por pieza (filo/pieza)

En general

tp y ti : dependen de la pieza que se va a mecanizar, son constantes para esa pieza

tc : es una función de la velocidad de corte Vc y del avance por vuelta a .

tch : depende de la máquina y del operario, se asume constante.

Nh : es función de la velocidad de corte Vc , del avance por vuelta a y de la profundidad de corte p .



El número de herramientas utilizadas Nh se puede definir por el cociente entre tiempo de corte t_c y la vida útil T de la herramienta.

$$Nh = \frac{t_c}{T}$$

Luego, si $Nh = 1$ (filo/pieza) significa que el tiempo ocupado en cortar una pieza será lo que nos dure la herramienta de corte.

Reemplazando el t_c para un cilindrado en Nh , para luego remplazarlas en la ecuación de tiempo de mecanizado, se tiene:

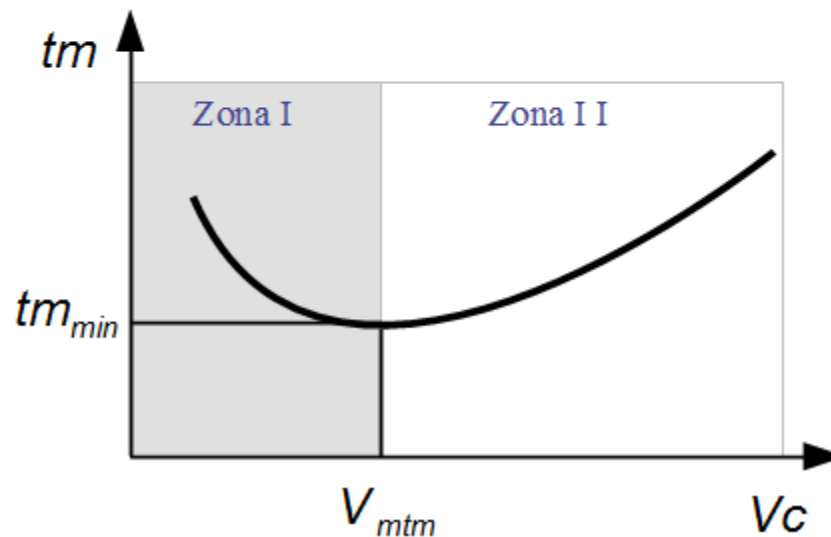
$$tm = tp + ti + \frac{S}{1000 \cdot Vc \cdot a} + tch \cdot \frac{S}{1000 \cdot a Vc^{(1-\frac{1}{n})} K}$$

Si se asume que el avance por vuelta a es constante, entonces

$$tm = f(Vc)$$



La curva tiempo total de mecanizado t_m v/s V_c tiene un comportamiento como el que se muestra en la figura siguiente, en ella existe un mínimo global, asociada a una cierta velocidad de corte. En esta gráfica existen dos zonas asociadas a comportamientos diferentes, la zona asociada a la velocidad de corte V_c que está a la izquierda de la velocidad de mínimo tiempo de mecanizado V_{mtm} (Zona I) y a la derecha de esta velocidad (Zona II).





El marcado comportamiento no lineal que tiene el tiempo de mecanizado t_m se debe principalmente a la contribución no lineal que realiza la ecuación de vida útil, ecuación de Taylor:

$$T = \frac{K}{Vc^n}$$

En la Zona I, aumentar la velocidad de corte es sinónimo de disminuir el tiempo de mecanizado, se producen más piezas por unidad de tiempo y como la velocidad de corte es “pequeña” existe poco desgaste de la herramienta y ésta dura mucho. Esta situación cambia en la Zona II debido a que la vida de la herramienta disminuye mucho a medida que la velocidad de corte aumenta, esto hace que aumente el número de herramientas por pieza Nh con lo cual el tiempo de mecanizado aumenta, debido al tiempo de cambio de las diferentes herramientas utilizadas.



En un proceso de mecanizado con arranque de viruta, el coste total de mecanizado se puede dividir en cuatro costes, dos de los cuales se consideran constantes y dos dependientes de los parámetros de corte, análogo a lo que sucede con el tiempo de corte.

$$C_m = C_p + C_i + C_c + C_h$$

C_m : coste total de un mecanizado por pieza (Euros/pieza)

C_p : coste de preparación de la máquina por pieza

C_i : coste improductivo por pieza

C_c : coste de corte por pieza

C_h : coste herramienta utilizada por pieza

$$C_p = P_o \cdot t_p$$

P_o : coste operario más amortización máquina más gastos generales (Euros/min)

$$C_i = P_o \cdot t_i$$

$$C_c = P_o \cdot t_c$$

$$C_h = (P_o \cdot t_{ch} + C_a) N_h$$

C_a : coste de afilado y/o de herramienta, por filo (euros/filo)



Reemplazando cada término en la ecuación para el Coste de mecanizado se tiene:

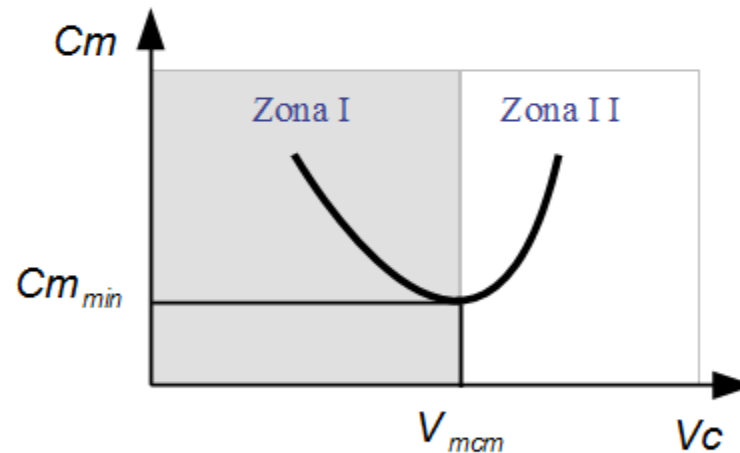
$$C_m = P_o \left[t_p + t_i + \frac{S}{1000 \cdot V_c \cdot a} + \left(t_{ch} + \frac{C_a}{P_o} \right) \frac{S}{1000 \cdot a V_c^{(1-\frac{1}{n})} K} \right]$$

Si se asume que el avance por vuelta a es constante, entonces

$$C_m = f(V_c)$$



La curva Coste total de mecanizado C_m v/s V_c tiene un comportamiento como el que se muestra en la figura siguiente, en ella existe un mínimo global, asociada a una cierta velocidad de corte. En esta gráfica existen dos zonas asociadas a comportamientos diferentes, la zona asociada a la velocidad de corte V_c que está a la izquierda de la velocidad de mínimo coste de mecanizado V_{mcm} (Zona I) y a la derecha de esta velocidad (Zona II).



El comportamiento del coste de fabricación en ambas zonas es similar al comportamiento expuesto por la curva de tiempo total de mecanizado, debido a que el coste se define como una constante P_o por el tiempo.



Beneficios a obtener en el proceso

En un proceso de mecanizado con arranque de viruta, el beneficio total B es una función de los ingresos totales generados por el componente I y el coste total de mecanizado C_m .

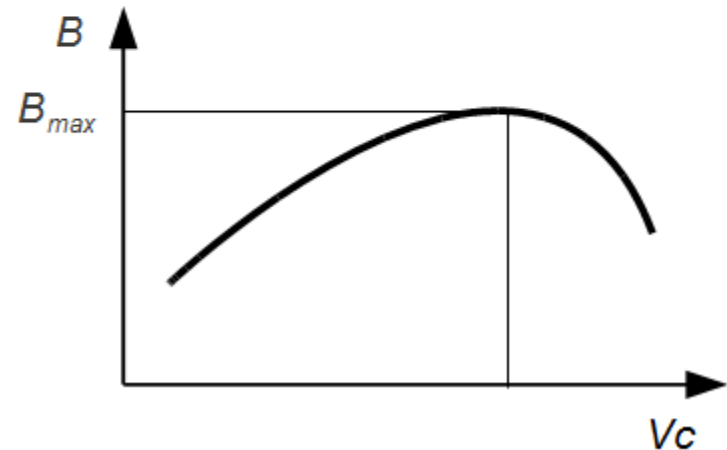
$$B = I - C_m$$

B : Beneficios (euros/pieza)

I : Ingresos totales generados por un componente (euros/pieza)

C_m : costes totales (euros/pieza)

La curva de beneficio B v/s V_c tiene un comportamiento como el que se muestra en la figura. En ella existe un máximo global, asociada a una cierta velocidad de corte.





Beneficios a obtener en el proceso

En un proceso de mecanizado con arranque de viruta, la tasa de beneficio total P es una función de los ingresos totales generados por el componente I , el tiempo total de mecanizado tm y el coste total de mecanizado Cm .

$$P = \frac{I - Cm}{tm}$$

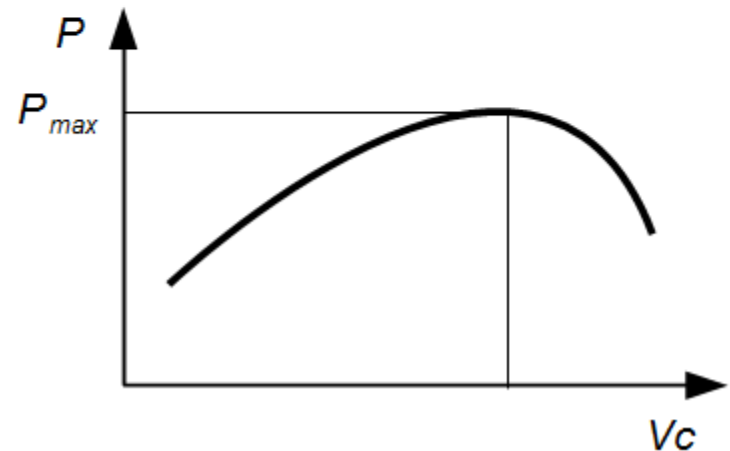
P : tasa de beneficios (euros/min)

I : Ingresos totales generados por un componente (euros/pieza)

Cm : costes totales (euros/pieza)

tm : tiempo total de mecanizado (min/pieza)

La curva de tasa de beneficio P v/s Vc tiene un comportamiento como el que se muestra en la figura. En ella existe un máximo global, asociada a una cierta velocidad de corte.





Escenarios económicos

Desde un punto de vista económico, existen tres escenarios de interés.

- Régimen de máxima producción
- Régimen de mínimo coste
- Régimen de máxima tasa de beneficio

Régimen de máxima producción

La máxima producción se obtiene para el mínimo tiempo de mecanizado, por lo tanto, si la curva de tiempo total de mecanizado tiene un mínimo global, la condición para la máxima producción se define por la V_c que satisface la ecuación:

$$\frac{d}{dV_c} tm = 0$$

Derivando tm con respecto a V_c e igualando a cero se tiene:

$$T_{mp} = \left(\frac{1}{n} - 1\right) tch$$

T_{mp} : vida útil para máxima producción

tch : tiempo de cambio de herramienta

n : constante de la ecuación de vida útil



Escenarios económicos

Régimen de mínimo coste

El mínimo coste se obtiene de la condición que determina el mínimo global de la ecuación de Coste:

$$\frac{d}{dVc} Cm = 0$$

Derivando Cm con respecto a Vc e igualando a cero se tiene:

$$T_{mc} = \left(\frac{1}{n} - 1 \right) \left(tch + \frac{Ca}{Po} \right)$$

T_{mc} : vida útil de la herramienta para mínimo coste

tch : tiempo de cambio de herramienta

n : constante de la ecuación de vida útil

Ca : coste de afilado y/o de herramienta

Po : coste operativo más amortización máquina más gastos generales



Escenarios económicos

Régimen de máxima tasa de beneficio

La máxima tasa de beneficio se obtiene de la condición que determina el máximo global de la ecuación de tasa de beneficio:

$$\frac{d}{dVc} P = 0$$

El problema de encontrar un óptimo se puede tratar de forma analítica o numérica utilizando por ejemplo, una planilla electrónica. Para el caso de un tratamiento numérico se discretiza el dominio de la siguiente forma: Sea $0 = Vc_0 < Vc_1 < \dots < Vc_n < \dots < Vc_{fin}$ una partición del intervalo en estudio, donde P_n corresponde al valor de P evaluado en la velocidad de corte Vc_n , el tamaño del paso se define por $dVc = Vc_{n+1} - Vc_{n-1}$. Con lo cual un esquema de aproximación de segundo orden para la derivada del beneficio es:

$$\left\{ \frac{d}{dVc} \right\}_n = \frac{P_{n+1} - P_{n-1}}{2 \delta Vc} + O(\delta Vc^2)$$



Problema 3. Torneado.

Costes de un proceso de mecanizado

3.8) En un refrentado realizado en un torno convencional, se requiere determinar la velocidad de corte que minimiza el coste del mecanizado $V_{C_{mc}}$. Para ello se utilizan plaquitas romboidales de cuatro filos que valen 10 euros cada plaquita. El coste operativo torno convencional más gastos generales es de 18 euros/hora, el tiempo de cambio de herramienta 2min/filo. Asuma que las constantes de la ecuación de Taylor, se obtiene realizando una regresión por mínimos cuadrados, como se muestra en el ejercicio 3.3.

Solución:

La ecuación de coste de mecanizado es: $C_m = P_o [tp + ti + tc + (tch + \frac{Ca}{P_o}) \frac{tc}{T}]$

$$\frac{d}{dV_c} C_m = 0 \quad \longrightarrow \quad T_{mc} = \left(\frac{1}{n} - 1\right) \left(tch + \frac{Ca}{P_o}\right)$$

T_{mc} : Vida útil de la herramienta asociada a la velocidad de mínimo coste.

$$T_{mc} = \left(\frac{1}{n} - 1\right) \left(tch + \frac{Ca}{P_o}\right) = \left(\frac{1}{0,15} - 1\right) \left(120 + \frac{2,5}{0,005}\right) = 3513,3 \text{ s/filo}$$

De la ecuación de la vida útil se tiene: $V_{C_{mc}} = \frac{c}{(T_{mc})^n} = \frac{1,63}{(3515,3)^{0,15}} = 0,48 \text{ m/s} = 29 \text{ m/min}$

Procesos de fabricación por arranque de virutas.

Procesos de Fresado y Taladrado

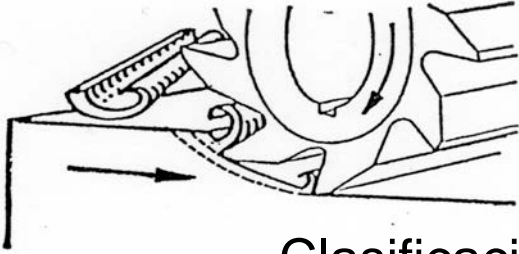
1. Introducción.
2. Tipos de herramientas.
3. Movimientos fundamentales.
4. Fijación de piezas y herramientas.
5. Parámetros del régimen de corte.
6. Operaciones básicas.
7. Tipos de máquinas.



Herramientas para el Fresado



Tipo de Herramienta: Multifilos



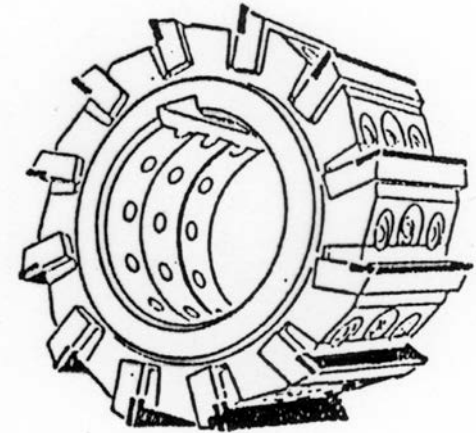
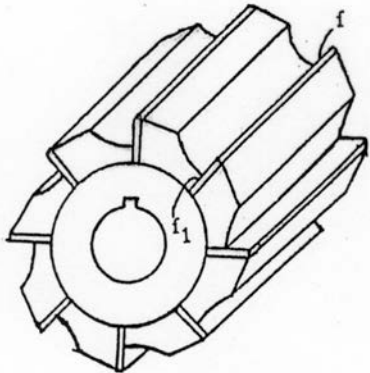
Clasificación:

En función del paso:

- Paso grande
- Paso normal
- Paso reducido

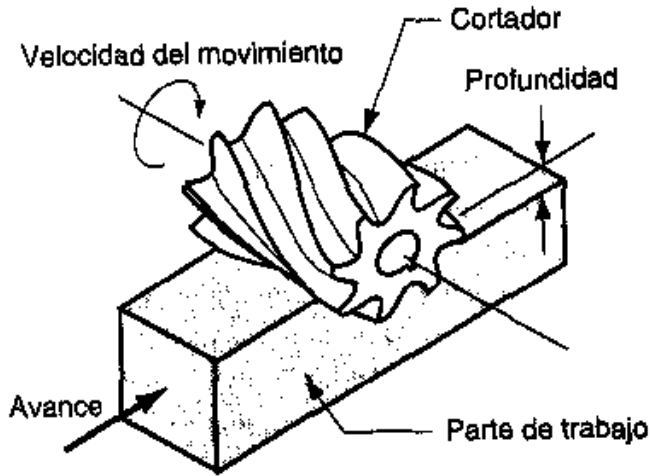
En función de la forma constructiva

- Enterizas
- De plaquitas





Tipos de fresas

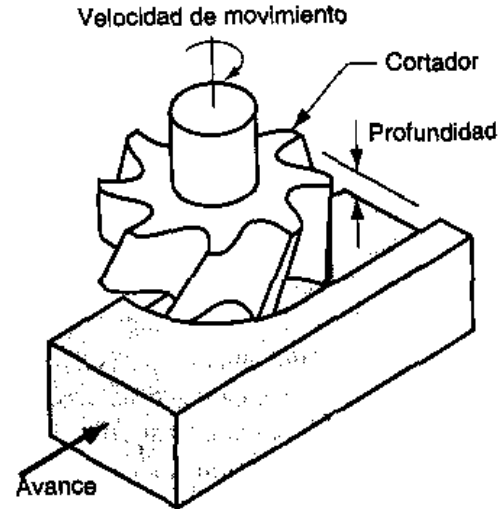


Cilíndricas

Un corte:

Periférico

Con dientes rectos o helicoidales



Frontales

Dos cortes:

Periférico
Frontal

Disco

Tres cortes:

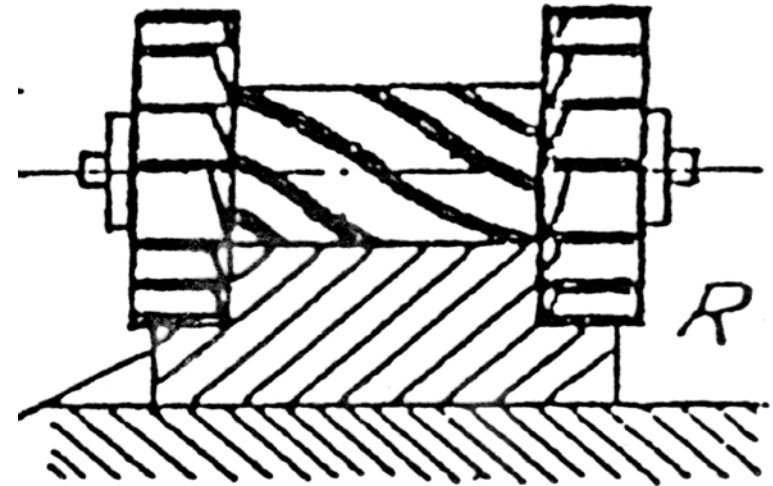
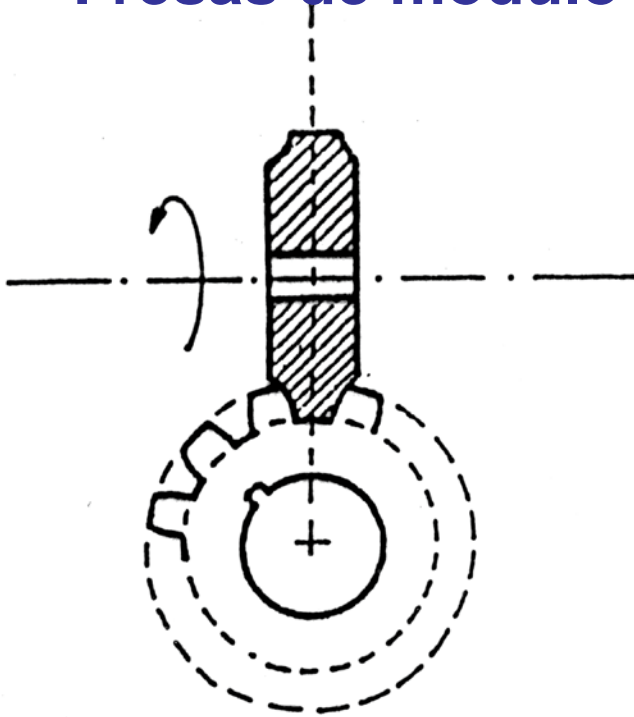
Periférico
Dos frontales

Tipos de fresas

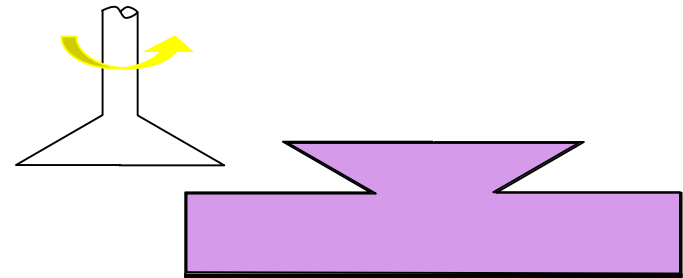


Trenes de fresas

Fresas de módulo



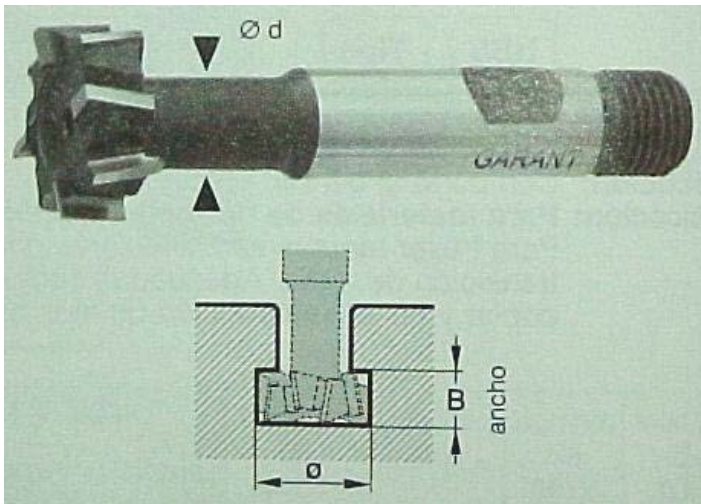
Fresas de ala de mosca (cola de milano)





Fresas de ranurar - taladrar

Fresas para ranurar en Y.



Fresas frontales de dos labios.



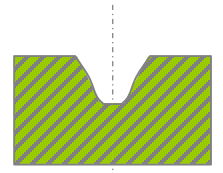
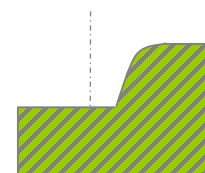
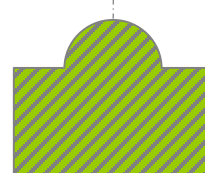
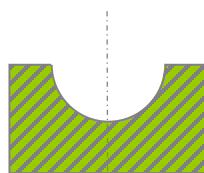
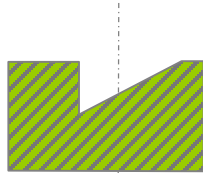
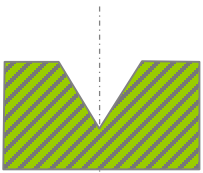
Fresas esféricas.



Tipos de fresas



Fresas de forma

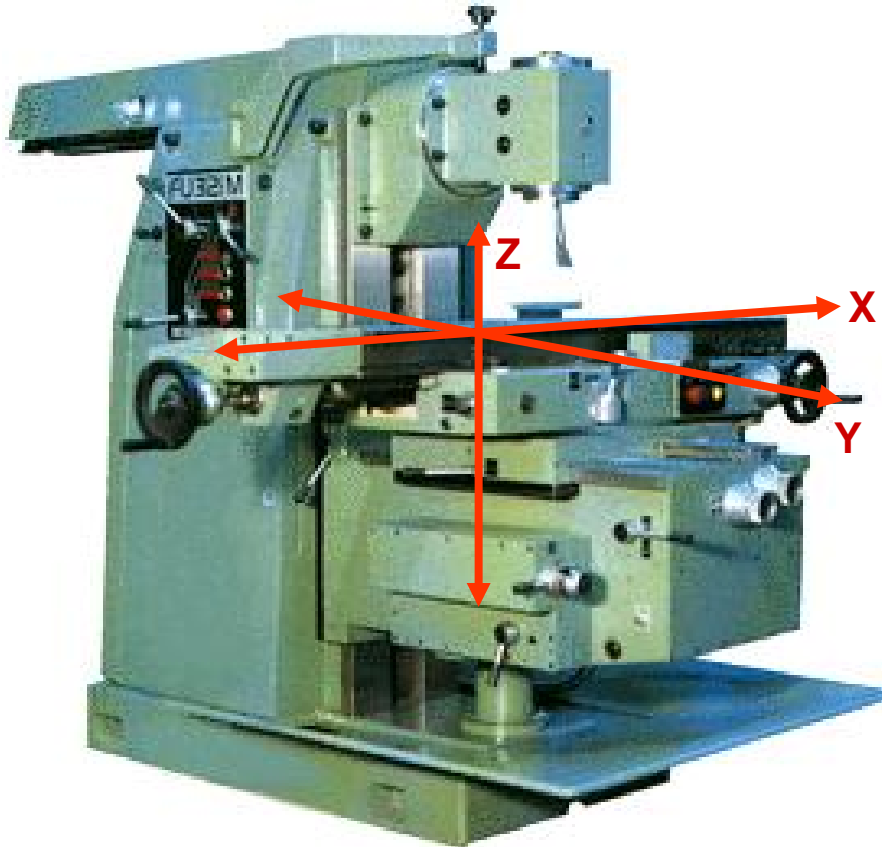


Fresas
bicónicas



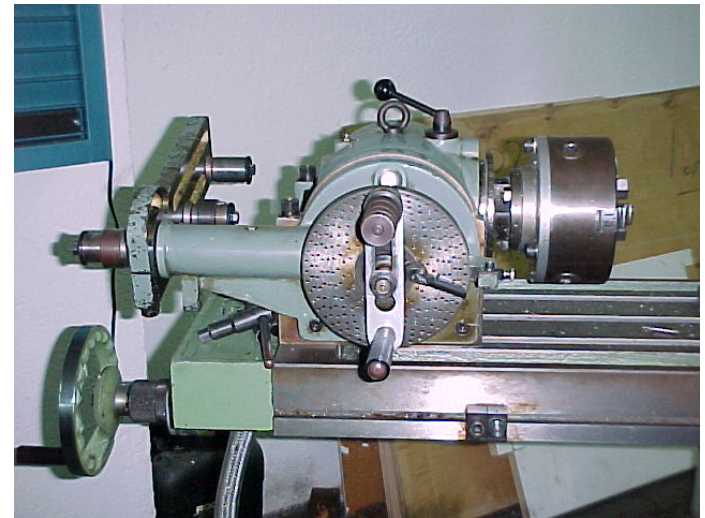
Movimientos fundamentales

Máquinas convencionales: Pieza fijada en la mesa



Mesa: Movimiento en tres ejes X,Y,Z.
En todos el avance puede ser automático o manual

Con Accesorios: Plato divisor
Permite rotar la pieza en eje X



Estructura máquina:

bancada, cabezal, mesa, motor, transmisiones, caja de cambios.

Fijación de la pieza a la Máquina



Sistemas flexibles



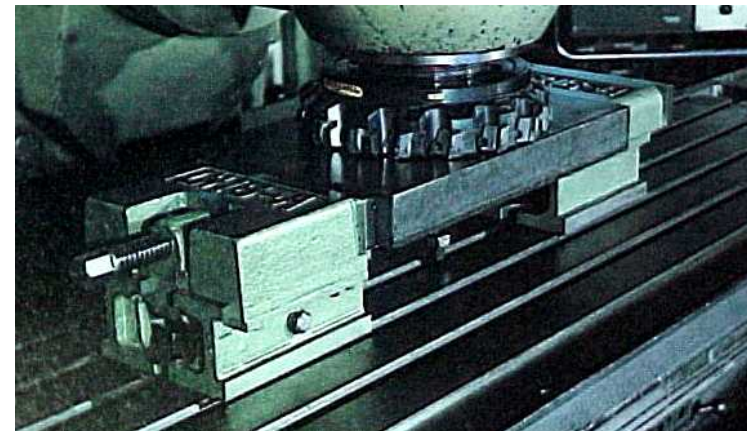
Cabezal divisor



Mordazas



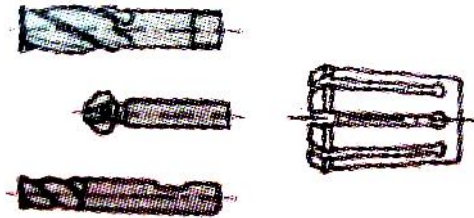
Con bridas, directamente a la mesa



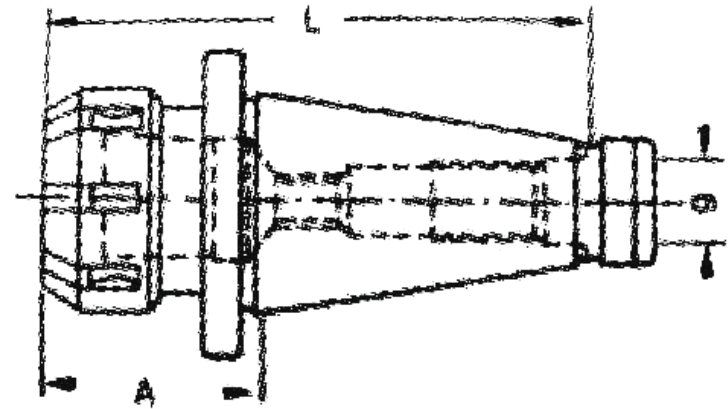


Fijación de las herramientas

Herramientas y pinza



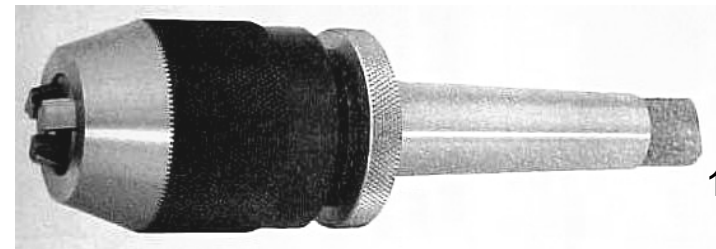
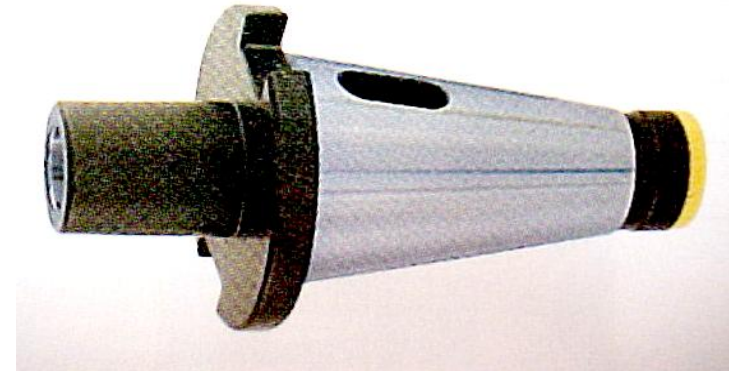
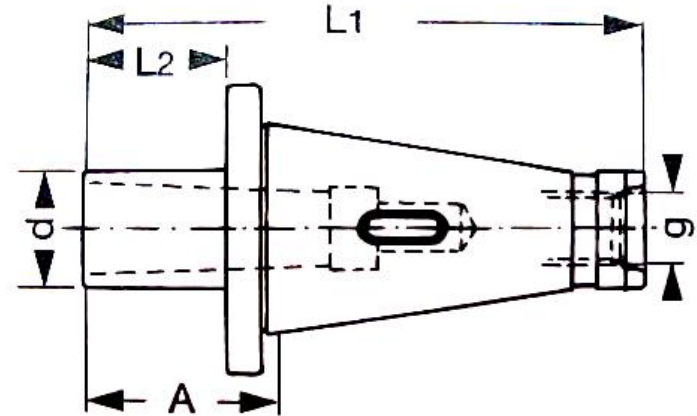
Portapinzas





Fijación de las herramientas

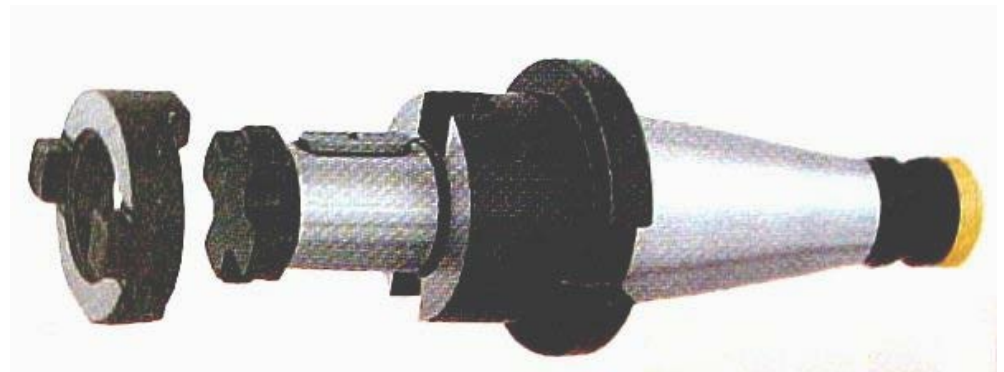
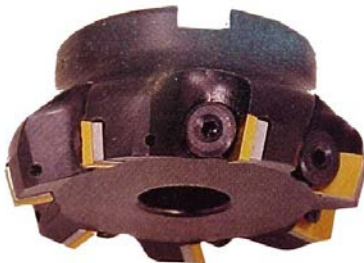
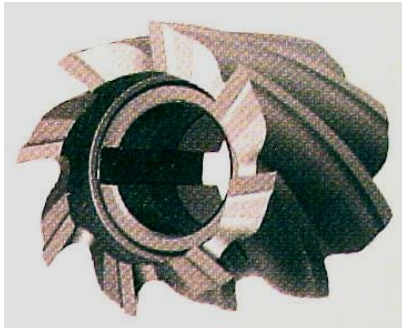
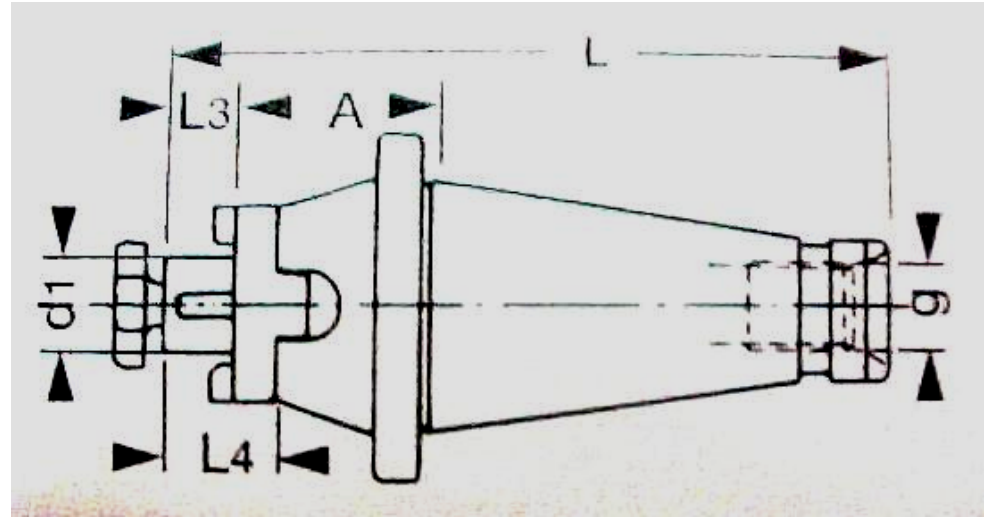
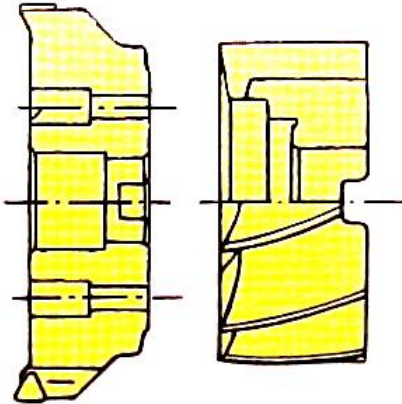
Portabrocas





Fijación de las herramientas

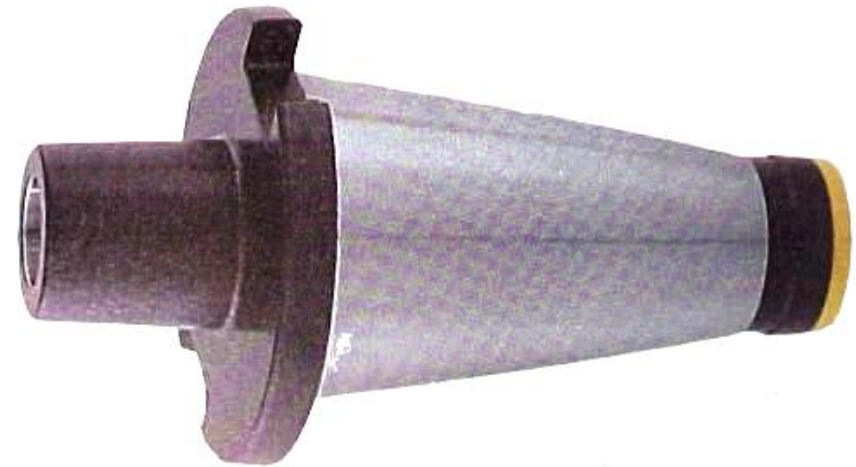
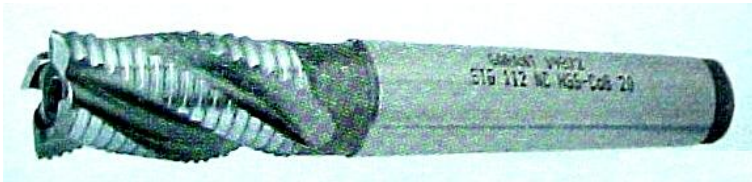
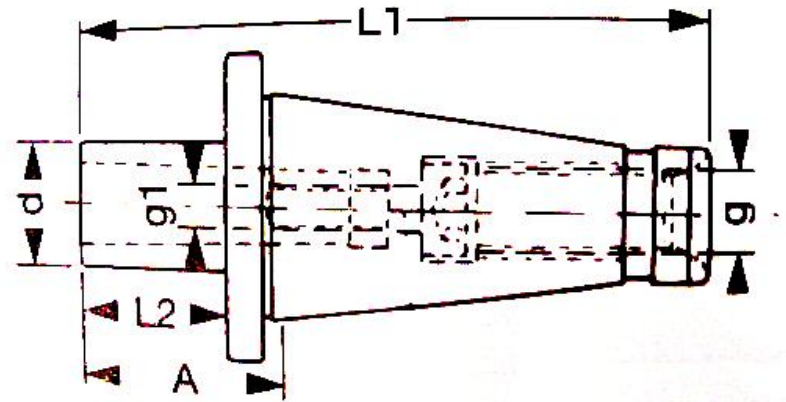
Portafresas





Fijación de las herramientas

Portafresas sujetas con tirante





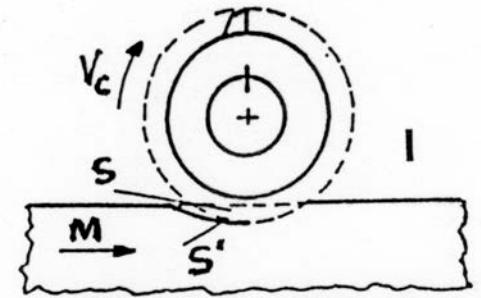
Condiciones de corte

Velocidad de corte

Avance por diente o por vuelta

Profundidad de pasada y ancho de corte

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$



V_c : Velocidad periférica fresa (m/min)

n : Giro de la herramienta (min^{-1})

D : Diámetro fresa (mm)

Las condiciones de corte dependen del material de la herramienta, de la geometría del diente y del material de la pieza.

- *Relación de condiciones de corte según el tipo de operación:*

Desbaste: V_c pequeña, avance mayor

Acabado: V_c grande, avance menor



Avances

- **Avance por diente:** Espesor de viruta arrancada por un diente en la dirección del avance.

a_z en mm por diente y vuelta de la fresa

- **Avance por vuelta:** Desplazamiento pieza-fresa en una vuelta de la fresa.

a_v en mm por vuelta de la fresa

$$a_v = a_z \cdot z$$

- **Velocidad de avance máquina:** Velocidad relativa pieza-herramienta

V_{a_m} en mm por minuto (mm/min)

$$V_{a_m} = a_v \cdot n = a_z \cdot z \cdot n$$

z número de dientes de la fresa

n vueltas por minuto de la fresa (min^{-1})

- **Tiempo de corte:** Tiempo requerido para efectuar el mecanizado.

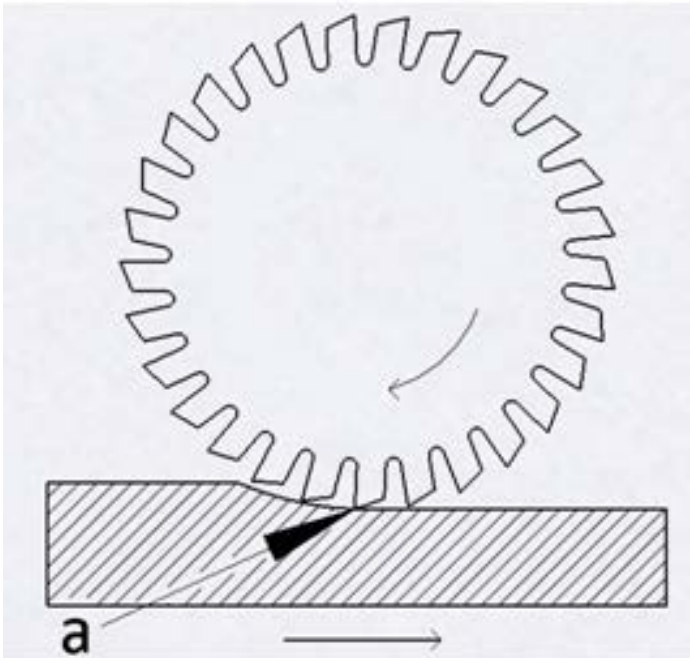
t_c en minuto (min)

$$t_c = \frac{L}{V_{a_m}}$$

Si $a_z \downarrow$, $n \uparrow$, $z \uparrow \Rightarrow$ disminuye la rugosidad

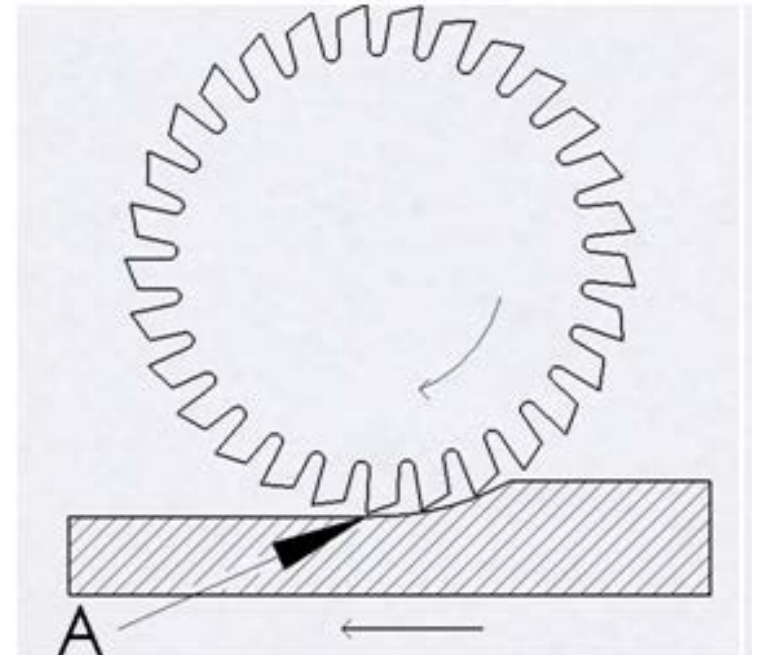


Sentido del avance máquina



Contrario a la velocidad de corte

Entrada más suave del diente
Tendencia a levantar la pieza



Igual a la velocidad de corte

Mejor acabado

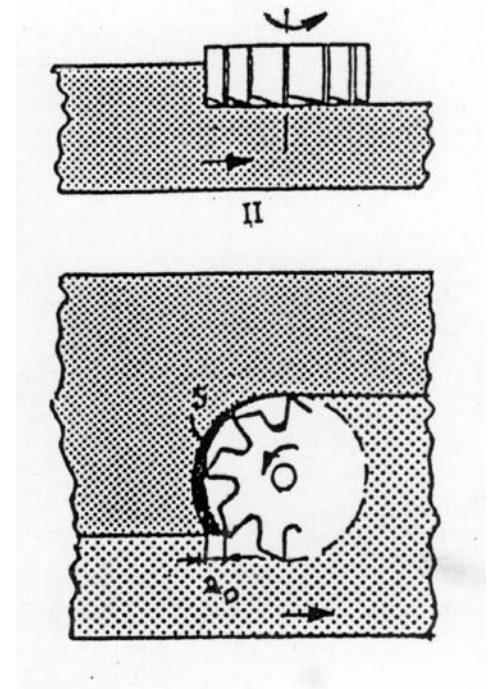
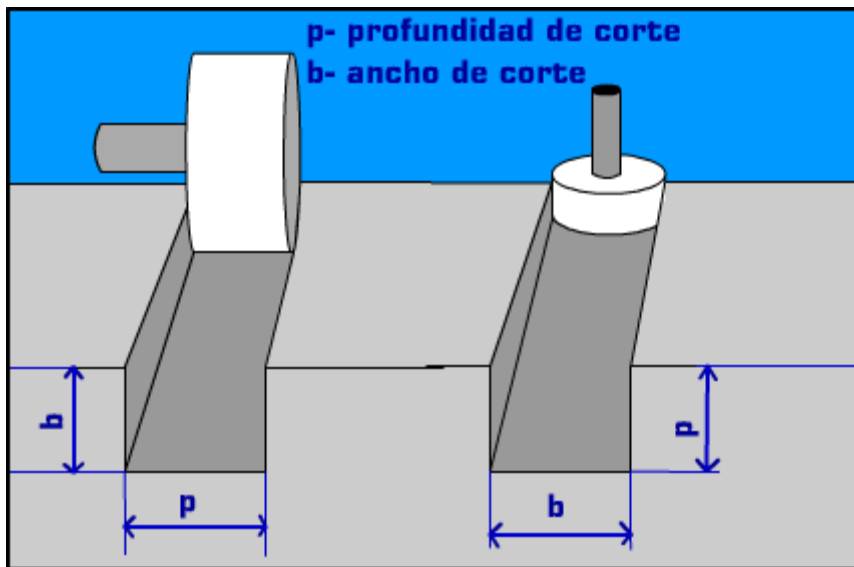


Pasada y ancho de corte

- *Pasada*: Profundidad con que la fresa entra en la pieza
- *Ancho de corte*: Anchura de fresa o pieza que se está mecanizando.

En fresado periférico la pasada es en dirección radial

En fresado frontal es en dirección axial





Operaciones básicas en el proceso de Fresado



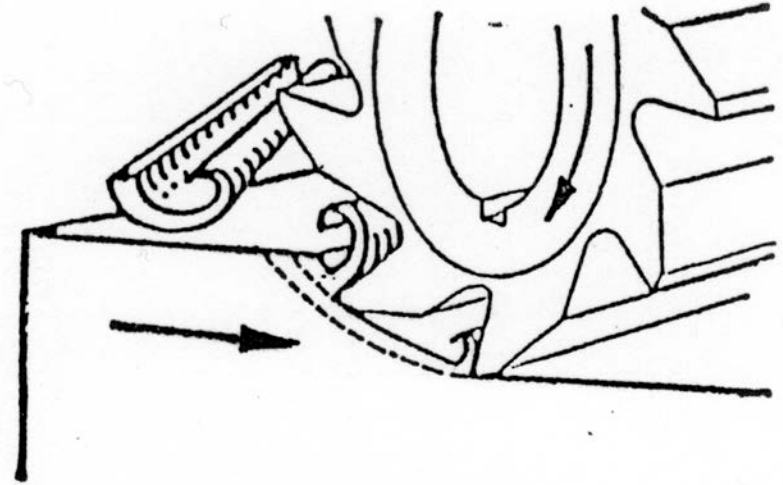
- Elaboración de Superficies planas (planeado)
- Escuadras
- Chaflanes
- Ranuras
- Taladros
- Vaciados (cajeras)
- Contorneados
- Elaboración de Superficies Helicoides
- Elaboración de Superficies alabeadas



Superficies planas: Planeado



Con fresa frontal



Con fresa cilíndrica

Ventajas e inconvenientes

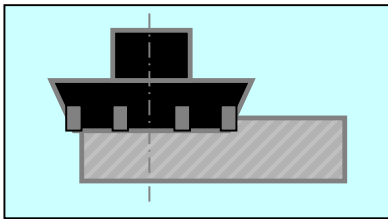
Acabado superficial

Parámetros de selección de fresas

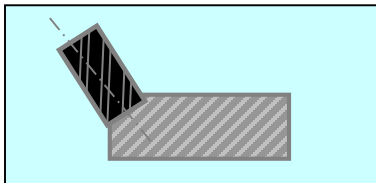


Escuadras y chaflanes

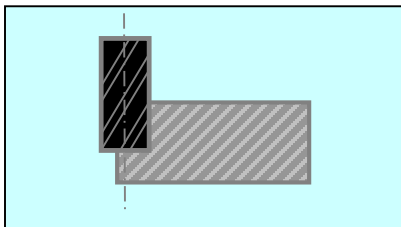
Escuadrado



Achaflanado



Escuadrado



Otras opciones:

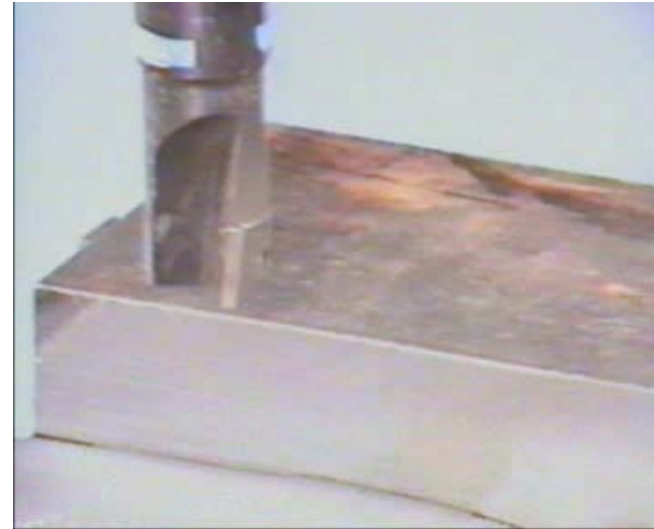
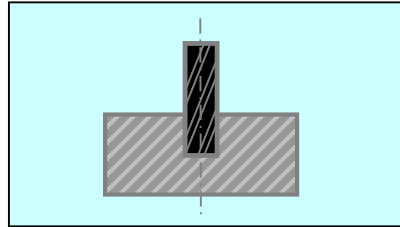
Fresas cónicas

Fresas de forma

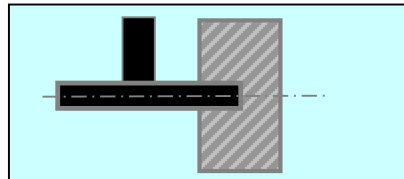


Ranuras

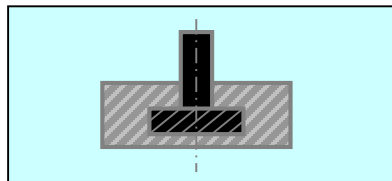
Ranura



Ranura con fresa de disco



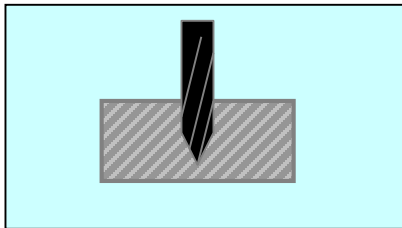
Ranura en "T"



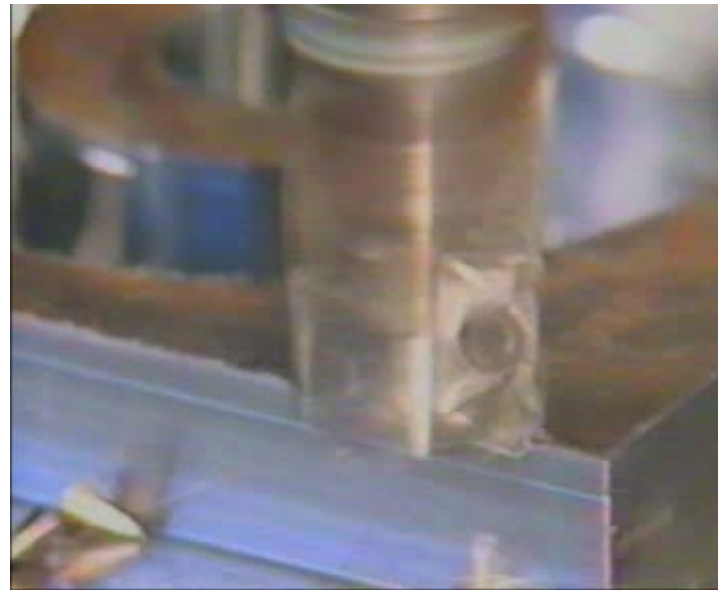
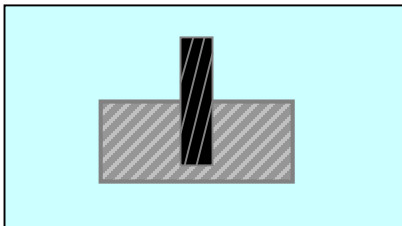


Taladros

Taladrado

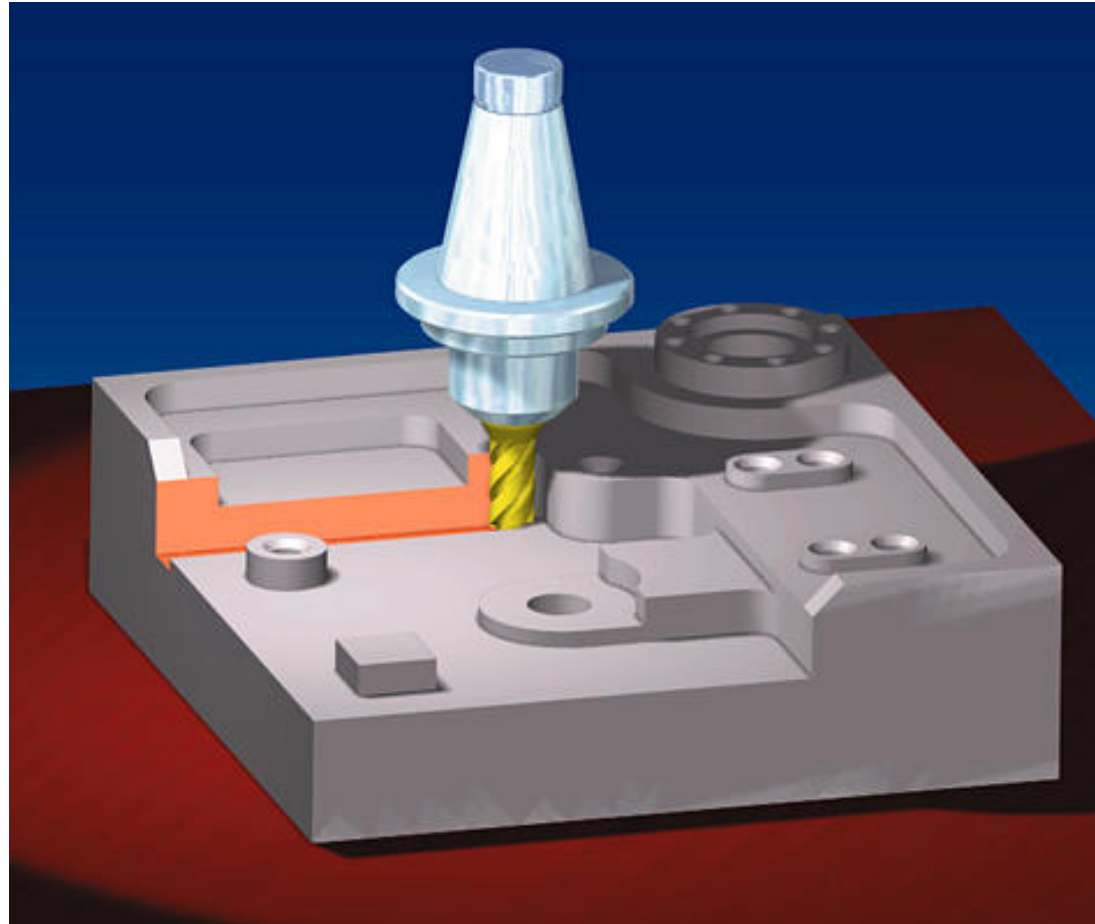


Taladrado plano



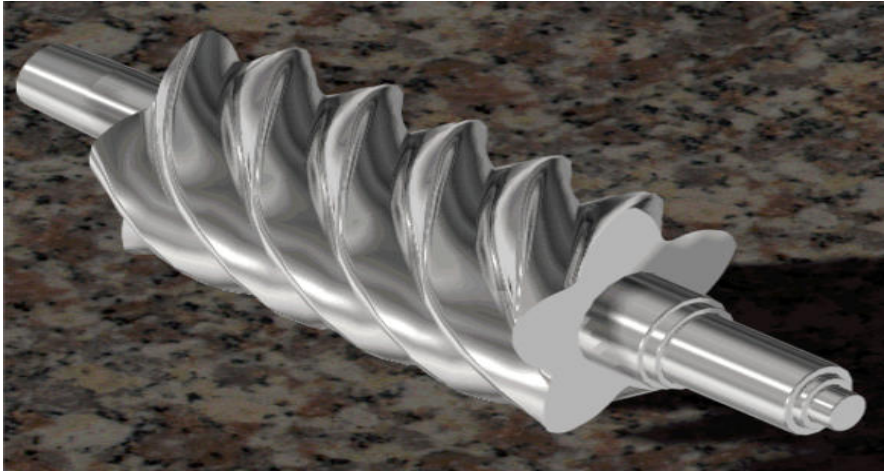


Vaciados – cajas y contorneados



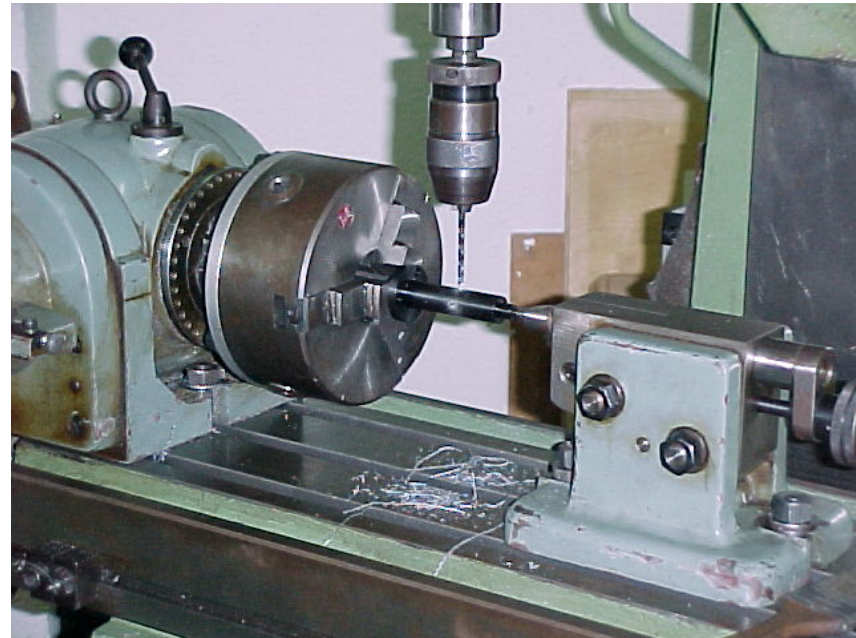


Operaciones básicas en el proceso de Fresado



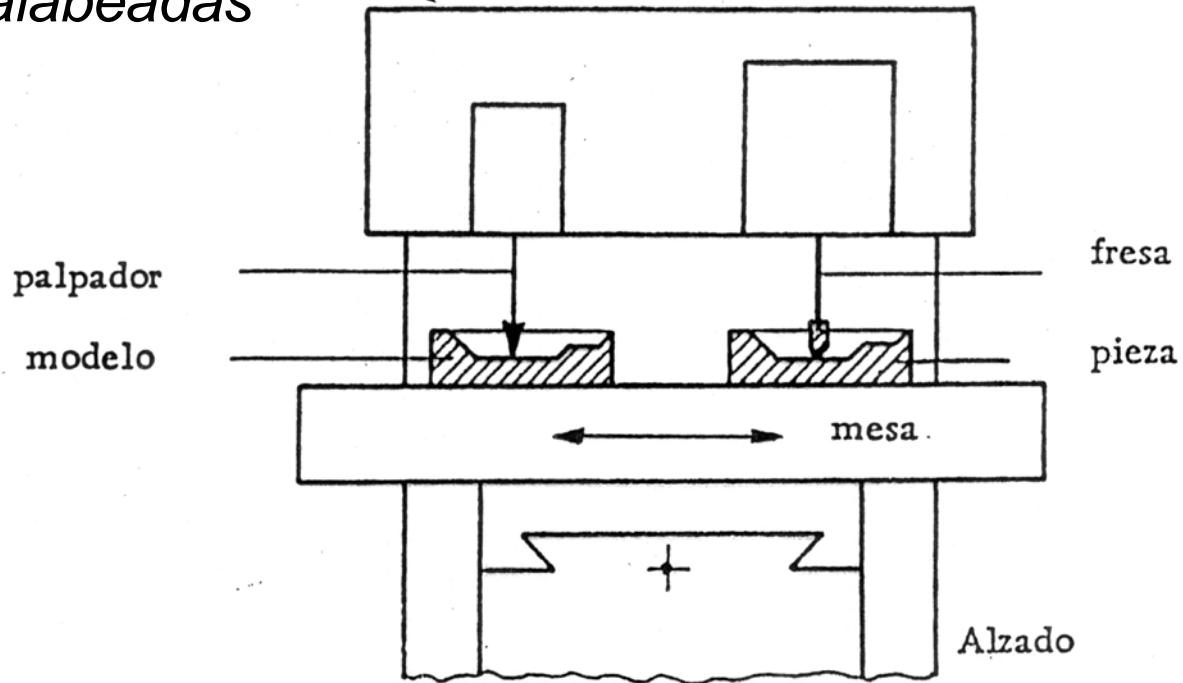
Fresado helicoidal

Con plato divisor





Superficies alabeadas



Con fresadoras con copiador

Hoy en día con fresadoras de control numérico.

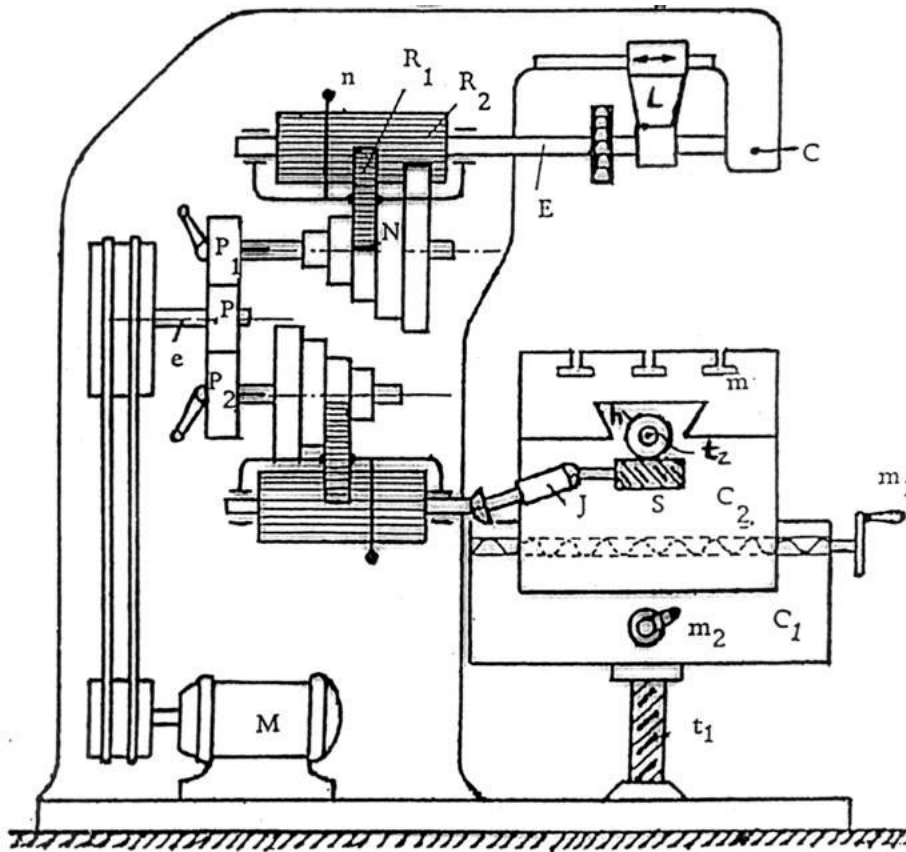


Tipos de máquinas

- Horizontales
- Verticales
- Universales
- Copiadoras
- Especiales
- Control numérico
- Centros de mecanizado

Tipos de máquinas

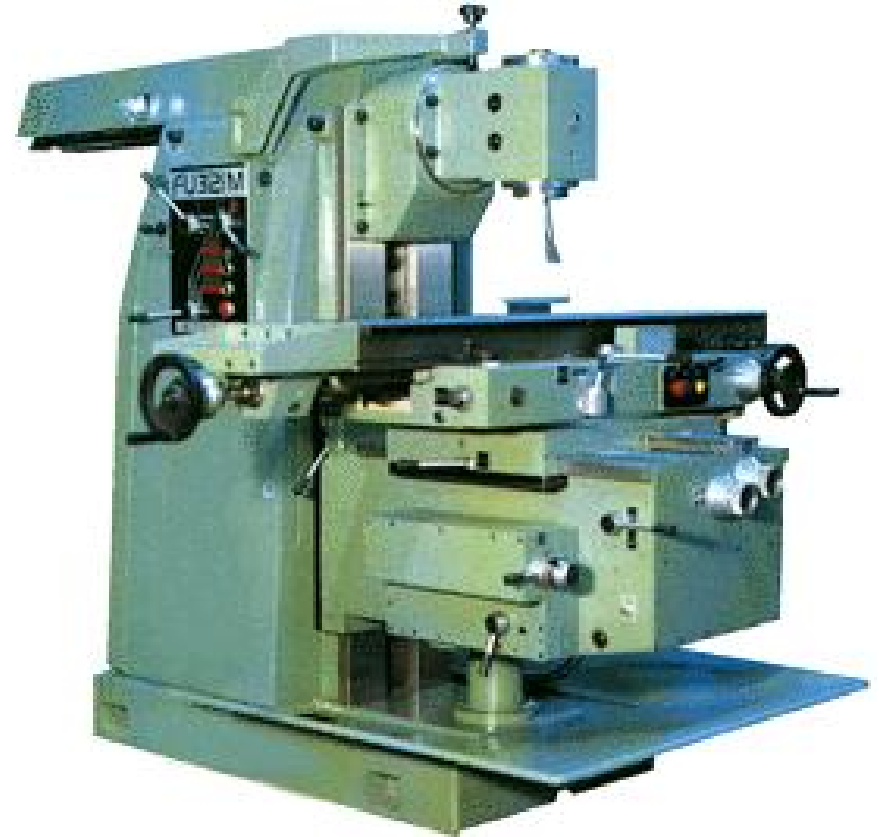
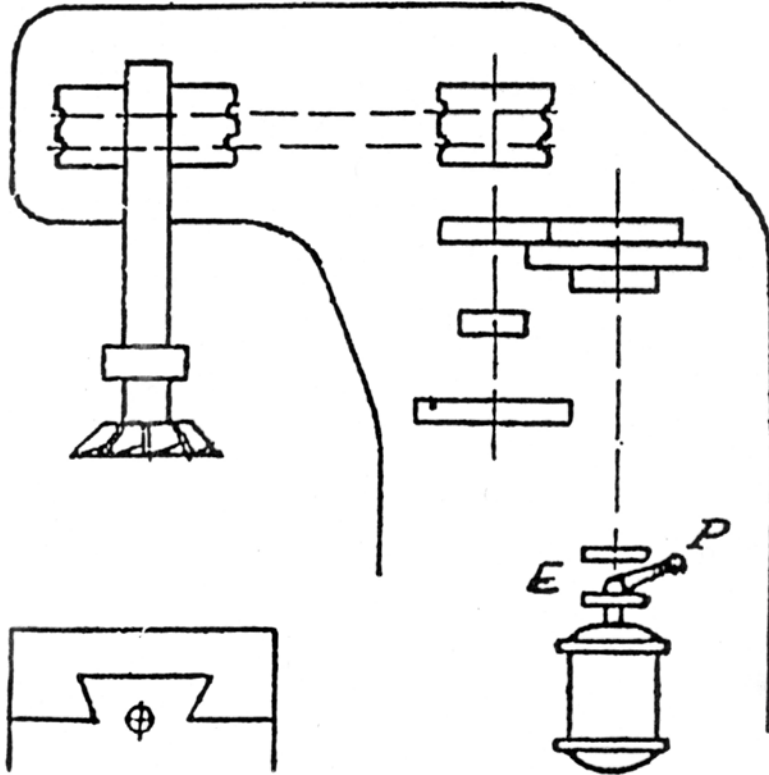
Fresadora horizontal





Tipos de máquinas

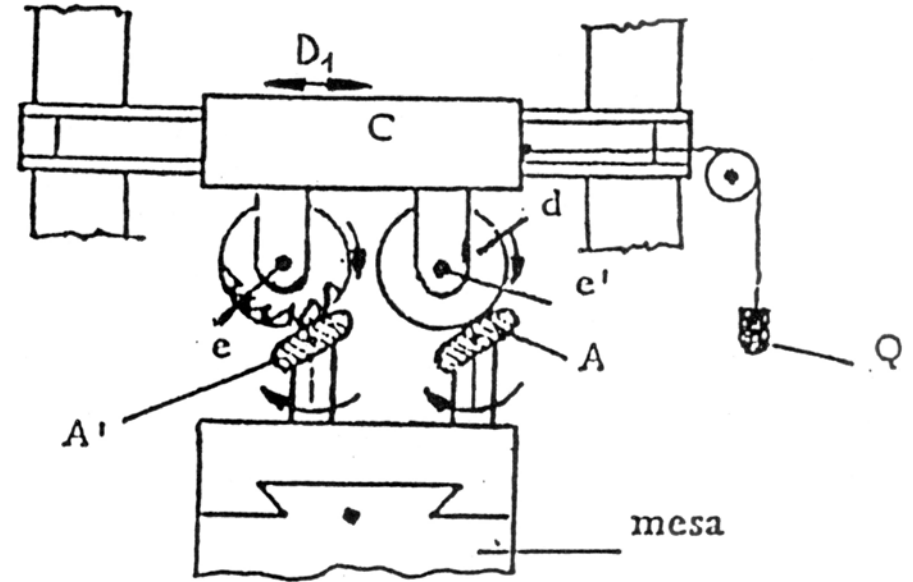
Fresadora vertical





Tipos de máquinas

Fresadora copiadora





Tipos de máquinas

Fresadoras de control numérico



Horizontal



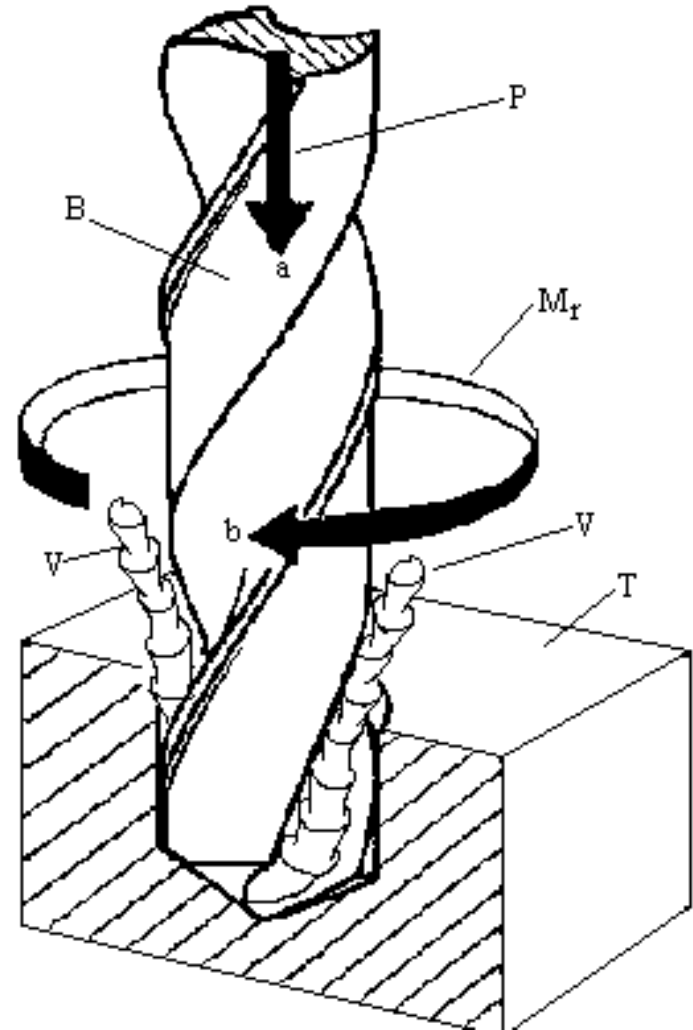
Vertical





Proceso de Taladrado

El taladrado consiste en la ejecución de un agujero o cavidad cilíndrica en el material a trabajar. La operación la realiza una máquina herramienta denominada **Taladradora** o **Agujereadora**, la cual emplea una herramienta llamada *broca* o *mecha*.





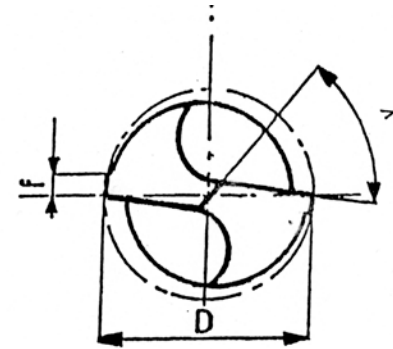
Tipos de herramientas

Broca

- Dos filos de corte en la punta
- Ranura helicoidal para evacuación de viruta
- Guías laterales f –no de corte
- Herramienta poco rígida
- Poca precisión IT 9-10
- Geometría: depende del material de la pieza, especialmente del ángulo de la punta y del ángulo de hélice

Materiales de las brocas:

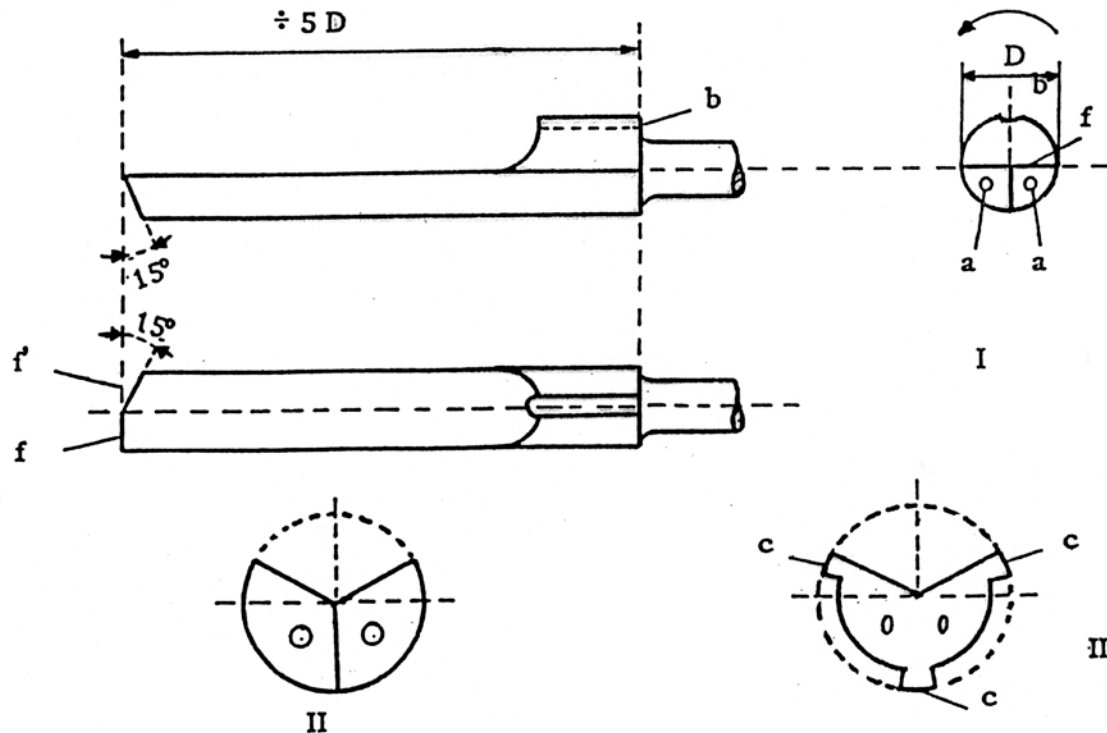
Aceros rápidos, especiales.
Con plaquitas de metal duro.
Enterizas de metal duro.



Tipos de herramientas

Para taladro profundo

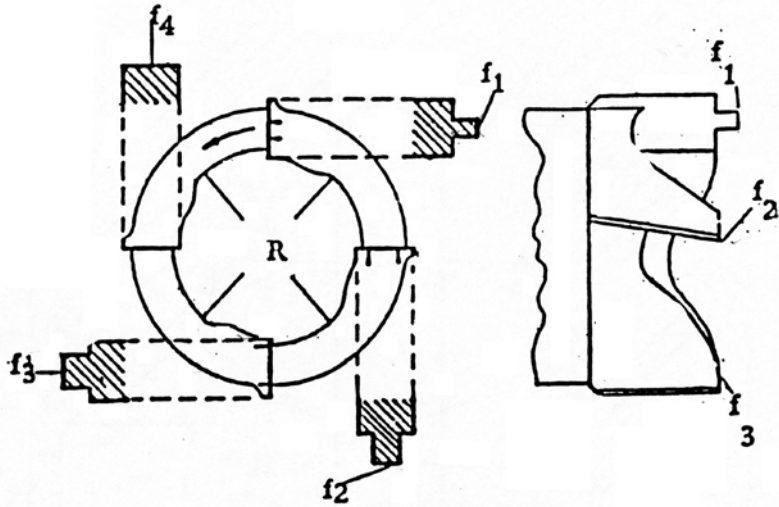
- Facilitar evacuación viruta
- Mayor rigidez
- Incorporar lubricación





Tipos de herramientas

Brocas anulares



Two types of annular drill bits are shown: 11 8400 and 11 8500.

Technical drawing of the 11 8400 bit showing a tolerance of Tol. $+0,10$ / $-0,05$ and a cutting width of 2 mm in all sizes.

Technical drawing of the 11 8500 bit showing a cutting width of 2 mm in all sizes.

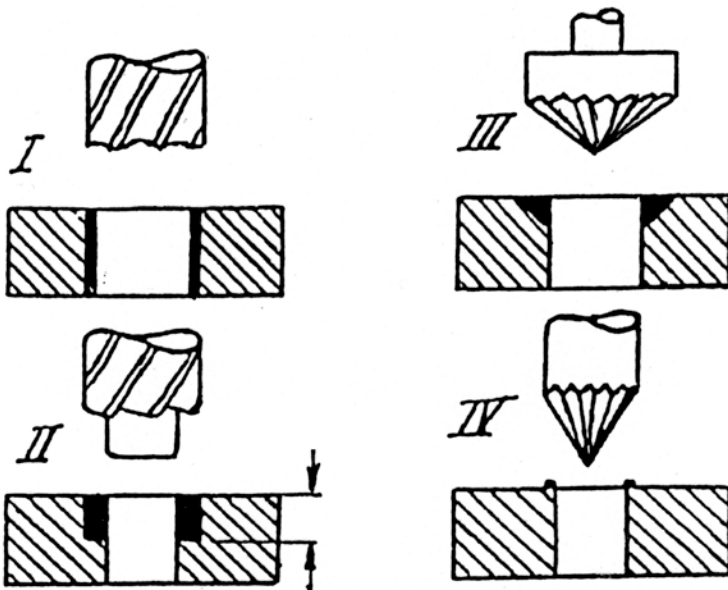
Technical drawing showing the bit's application: Para tubos y material plano. Profundidad de taladrado (Drilling depth), Grosor de la pared máx. 4 mm. (Maximum wall thickness 4 mm).

Diagram showing the bit's use on a flat surface: Máx. 4 mm (Maximum 4 mm), Marcar (Mark), Guía por medio de la broca de centrar (Guide by means of the center drill bit), No volcar la broca (Do not tilt the drill bit), Tan pronto las puntas de las cuchillas toquen el material, ejercer una presión reducida y regular (As soon as the tips of the blades touch the material, exert a reduced and regular pressure).

Tipos de herramientas

Brocas de forma

- Para avellanar
- Para achaflanar
- De dos diámetros



I. Agujereado a fondo. Ensanchar agujero con broca mandril.

II. Avellanador cilíndrico. Para hacer rebaje para cabeza cilíndrica de tornillo.

III. Avellanador cónico. Para hacer rebaje para alojar cabeza tornillo troncocónico.

IV. Avellanador cónico. Eliminación de rebabas.



Tipos de herramientas

Broca mandril

- Herramienta para ensanchar y repasar agujeros
- Precisa de agujero previo
- Saca menos material que la broca
- Incrementa el diámetro del agujero en 3 o 4 milímetros
- Sección recta más rígida
- Tiene tres, cuatro o más filos en la punta
- Mejora el centrado del agujero, su medida, su forma y su acabado
- Se obtienen calidades IT 8-9



Tipos de herramientas

Escariador

- Para obtener agujeros de calidad IT 6-7
- Precisa de agujero previo
- Elimina décimas de material
- Incrementa el diámetro del agujero en 3 o 4 décimas de milímetro
- Sección recta muy rígida
- 4 ó más filos en la punta
- Mínimo de 4 filos para diámetros de hasta 12 mm y un máximo de 20 filos para 100 mm de diámetro.
- Número de filos casi siempre par, pero en ocasiones es impar para conseguir mejor autocentrado.





Pieza fija

Herramienta con avance lineal

a_v Avance por vuelta de la broca, en mm por vuelta de la broca

- **Velocidad de corte:**

$$V_c = \frac{\pi \cdot n \cdot D}{1000}$$

Por giro de la herramienta

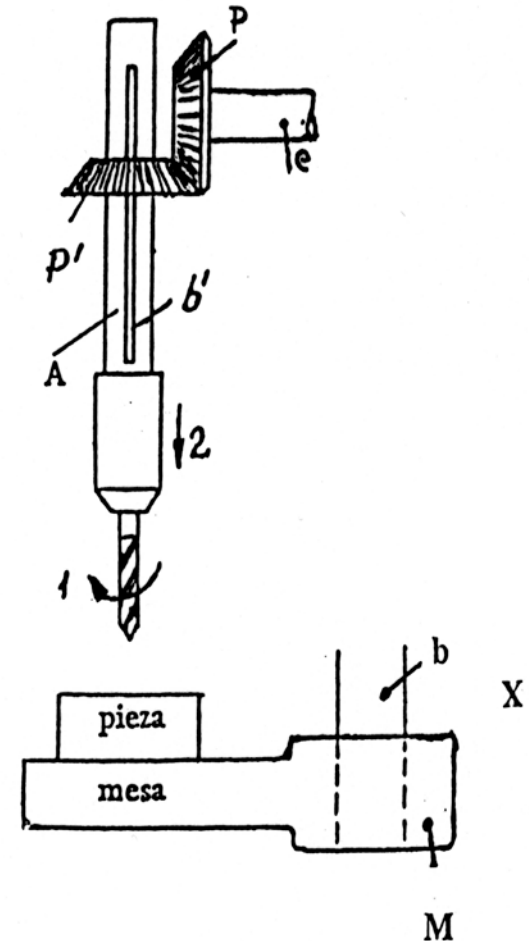
V_c Velocidad de corte en la periferia de la broca, en m/min.

n Vueltas por minuto de la broca, en min^{-1} .

D Diámetro de la broca, en mm.

- **Resultado:**

Agujero en pieza



Régimen de Corte



Velocidad tangencial de corte

Varía desde cero en el centro o punta de la herramienta, hasta un máximo en la periferia del filo. Esta velocidad depende del tipo de material de la broca y del material a trabajar, estando tabulada para distintos casos según valores obtenidos de la experiencia, en tablas como la que se da como ejemplo a continuación:

Valores medios de la velocidad de corte para brocas de acero rápido

Material trabajado	K_z kg/mm ²	v m/min	a mm/vuelta
Fundición.....	12 a 22	35 a 25	$d/50$
Fundición de cilindros.....	22 a 28	22 a 15	$15d/1000$
Acero dulce.....	35 a 65	38 a 25	$d/100$
Acero duro.....	65 a 90	25 a 14	$d/100$
Acero muy duro.....	90 a 120	18 a 14	$d/100$
Bronce, latón y cobre.....	23 a 50	60 a 25	$d/100$
Aluminio, electrón, duraluminio....	14 a 26	250 a 80	$15d/1000$

Operaciones básicas



Taladrado – Broca

Obtención de agujeros de calidad IT 9-10

Errores en la posición y la geometría del agujero provocados básicamente por la flexión de la broca

- Posición del agujero en punto distinto
- Dirección eje agujero desviada
- Diámetro agujero más grande
- Perfil agujero no circular

Para garantizar posición:

- Punteado previo
- Utillajes guía

Para garantizar geometría:

- Dejar excedente de material
- Repaso posterior



Operaciones básicas



▫ *Condiciones de corte:*

Velocidad de corte = 80% de la utilizada en torneado

Avance, a_v = Proporcional al diámetro broca en mm, en mm por vuelta (min^{-1}).

▫ *Potencia consumida:*

Fuerza sobre la broca:

$$F_c = 2 \cdot k \cdot \sigma_t \cdot \frac{a_v}{2} \cdot \frac{D}{2}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_c \quad (\text{N}) \\ \sigma_t \quad (\text{N/mm}^2) \\ a_v \quad (\text{mm}) \\ D \quad (\text{mm}) \end{array} \right.$$

k Factor que relaciona la R a la rotura a la tracción con la fuerza específica de corte adimensional. k entre 3 y 5

Potencia de corte:

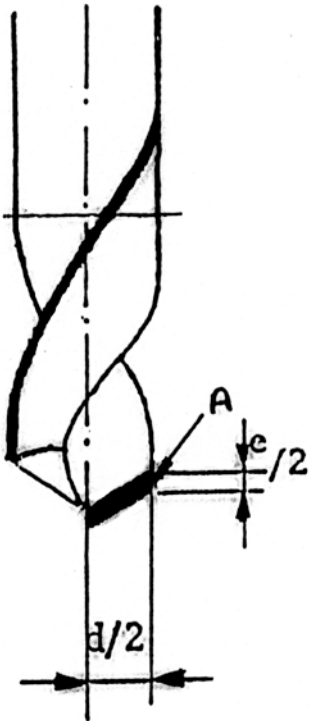
$$N_c = \frac{1}{2} \cdot F_c \cdot V_c \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{1}{1000}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} N_c \quad (\text{kW}) \\ F_c \quad (\text{N}) \\ V_c \quad (\text{m/min}) \end{array} \right.$$

Potencia máquina:

$$N_m = \frac{N_c}{\eta}$$

$\eta_{\text{taladrado}} = 0,7 - 0,8$





Operaciones básicas

Mandrinado – Broca mandril

Repaso agujeros para mejorar geometría y calidad.
Elimina unos mm de material.

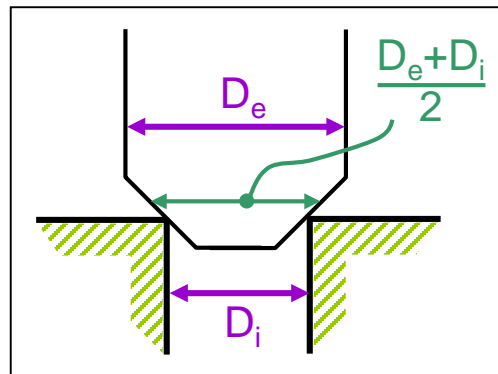
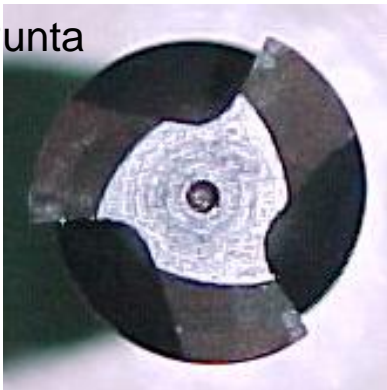
▫ *Condiciones de corte:*

Velocidad de corte y avance los mismos valores que en taladrado

▫ *Potencia de corte:*

$$N_c = z \cdot k \cdot \sigma_t \cdot \frac{a}{z} \cdot \frac{(D_e - D_i)}{2} \cdot \underbrace{\frac{V_c}{D_e} \cdot \frac{(D_e + D_i)}{2}}_{\approx V_c}$$

Punta



z: número de filos de corte

D_e : diámetro exterior de corte de la broca mandril

D_i : diámetro interior de corte de la broca mandril



Escariado – Escariador

Repasar agujeros para conseguir precisión

Elimina unas décimas de material

- *Condiciones de corte:*

Velocidad de corte:

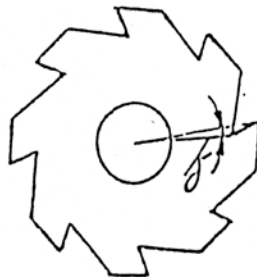
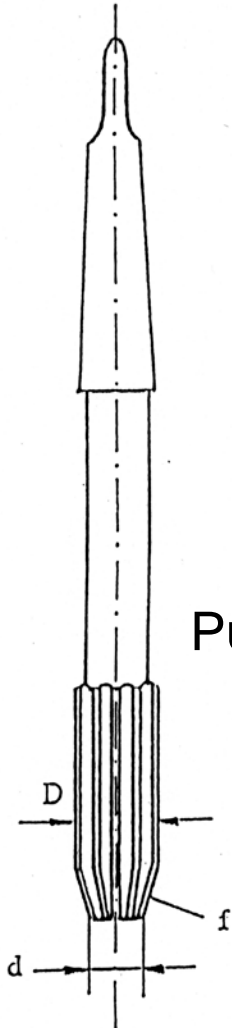
la mitad que la máxima admisible en taladrado

Avance:

Tres o cuatro veces más rápido que en el taladrado

- *Potencias:*

Expresión idéntica a la del mandril



Punta



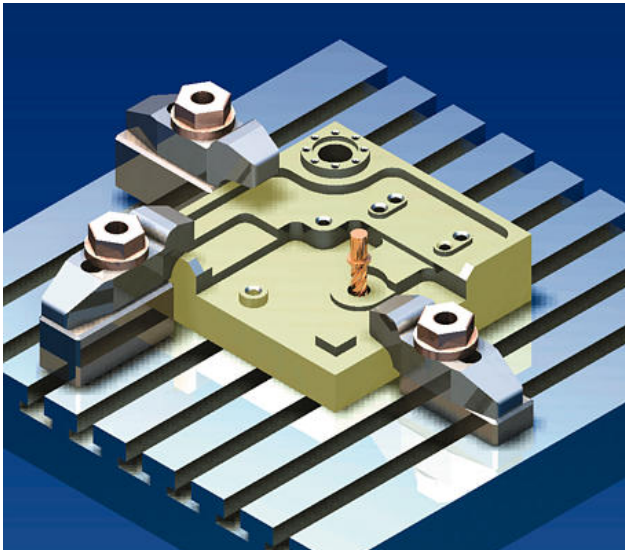
Fijación de piezas

Fijaciones de las piezas

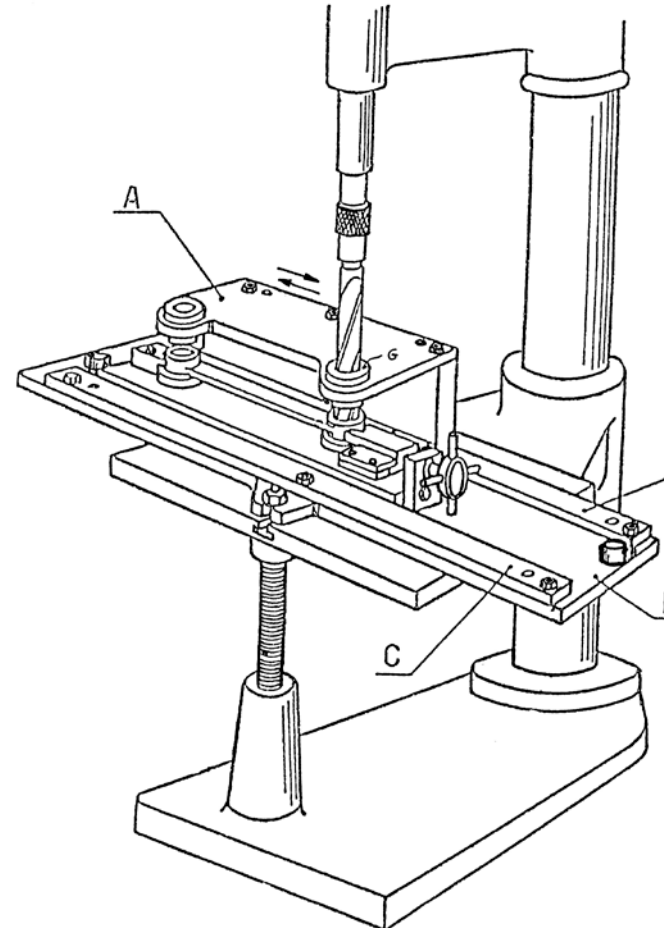
Con mordazas



Con elementos flexibles



Con utillajes de centraje

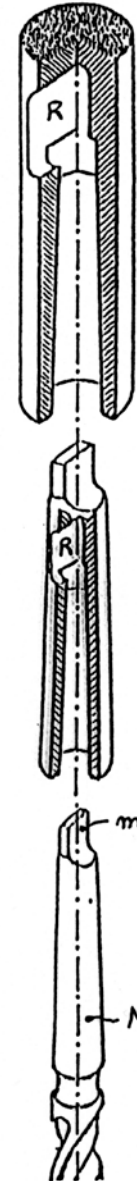


Fijación de las herramientas



Cono

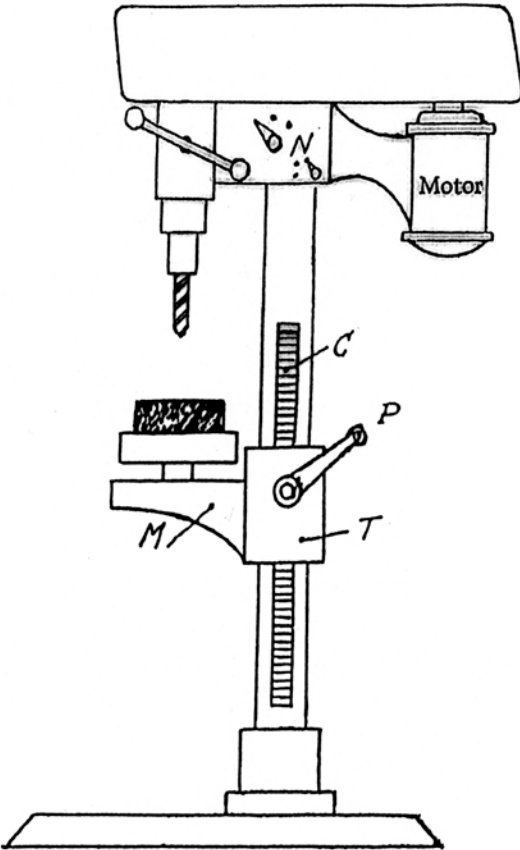
Portabrocas



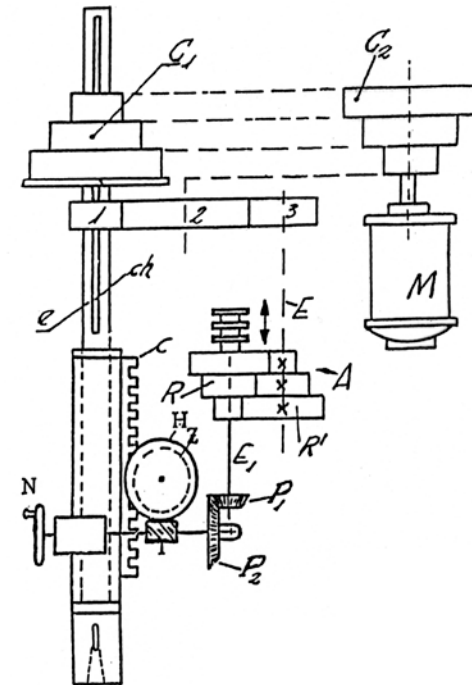
Tipos de máquinas



Taladradora de columna



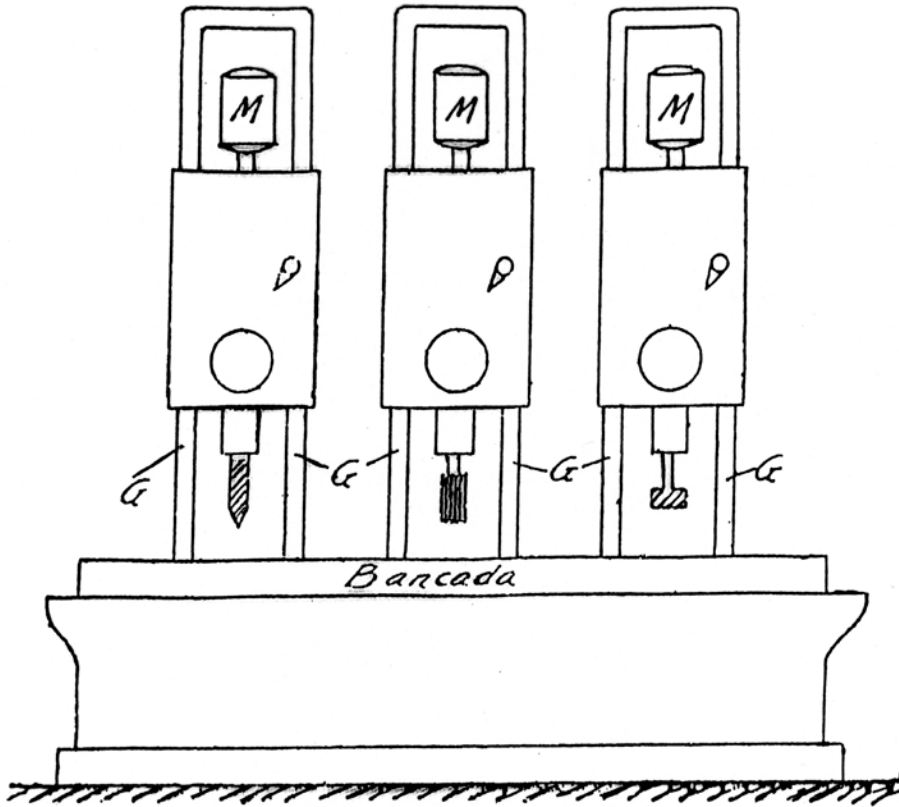
Avance manual



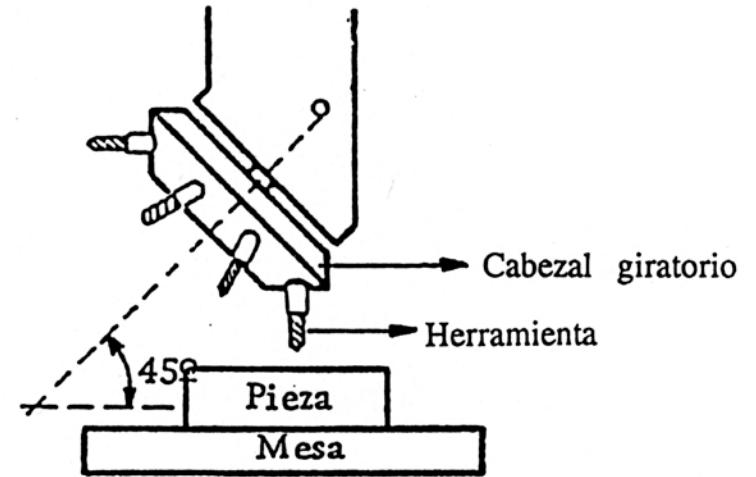
Esquema de avance automático



Tipos de máquinas



Varias columnas

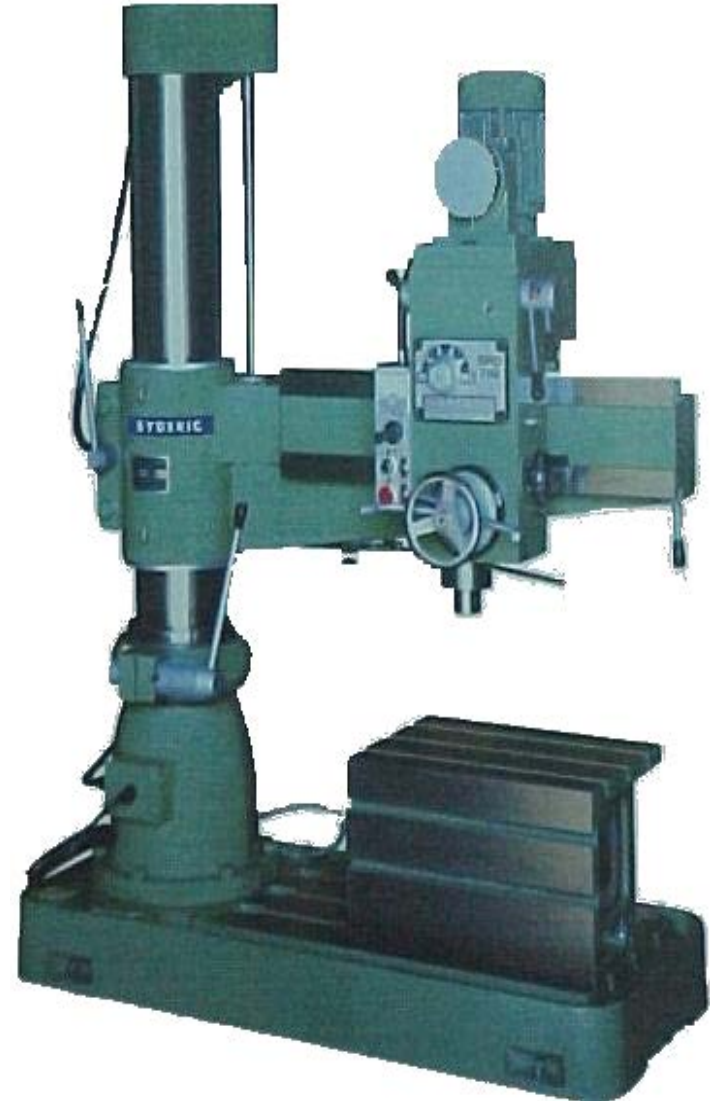
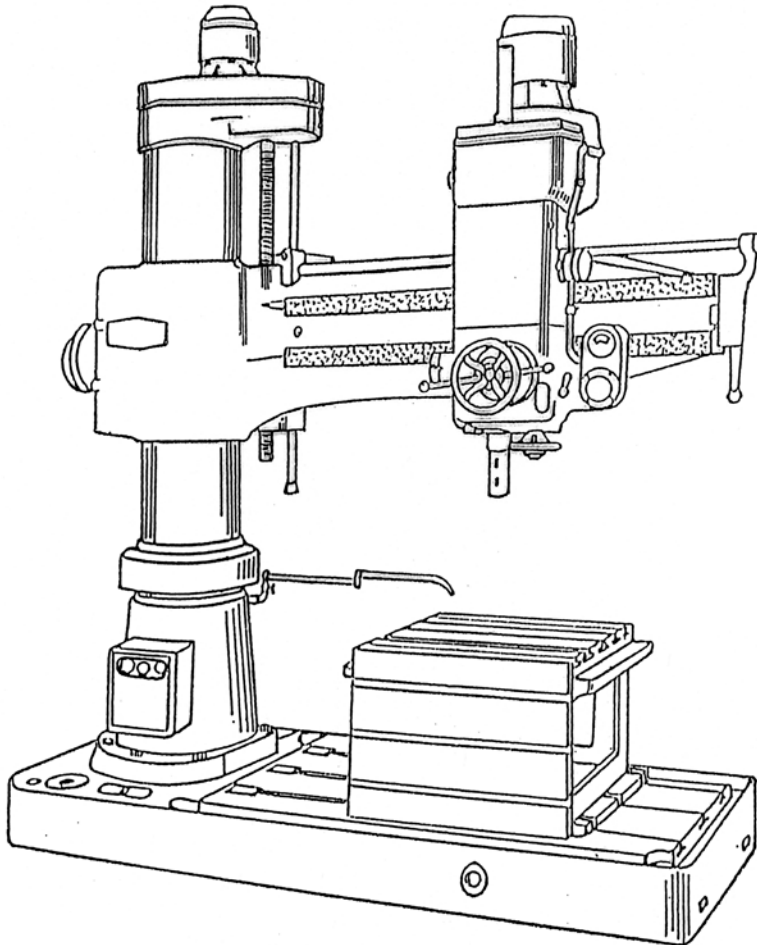


Cabezal giratorio



Tipos de máquinas

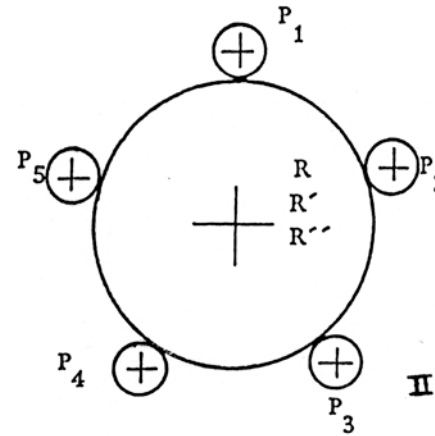
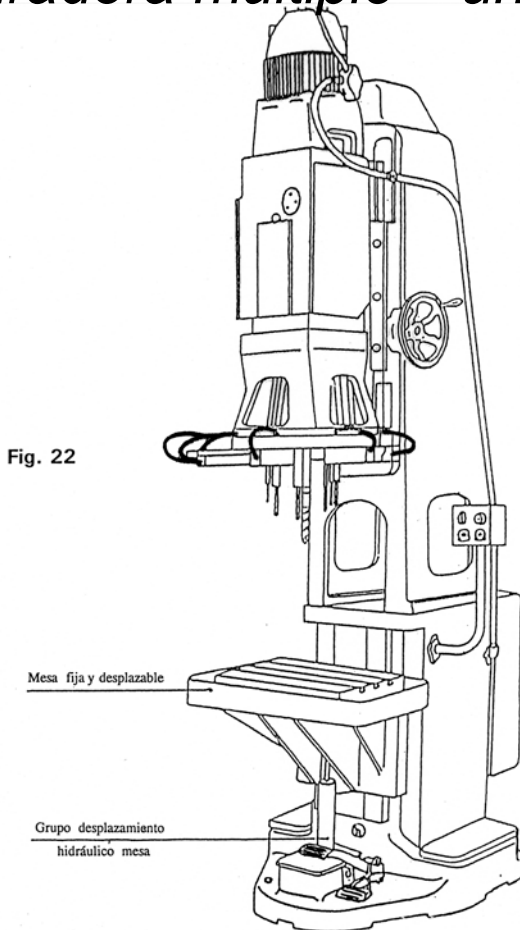
Taladradora radial





Tipos de máquinas

Taladradora múltiple – un cabezal



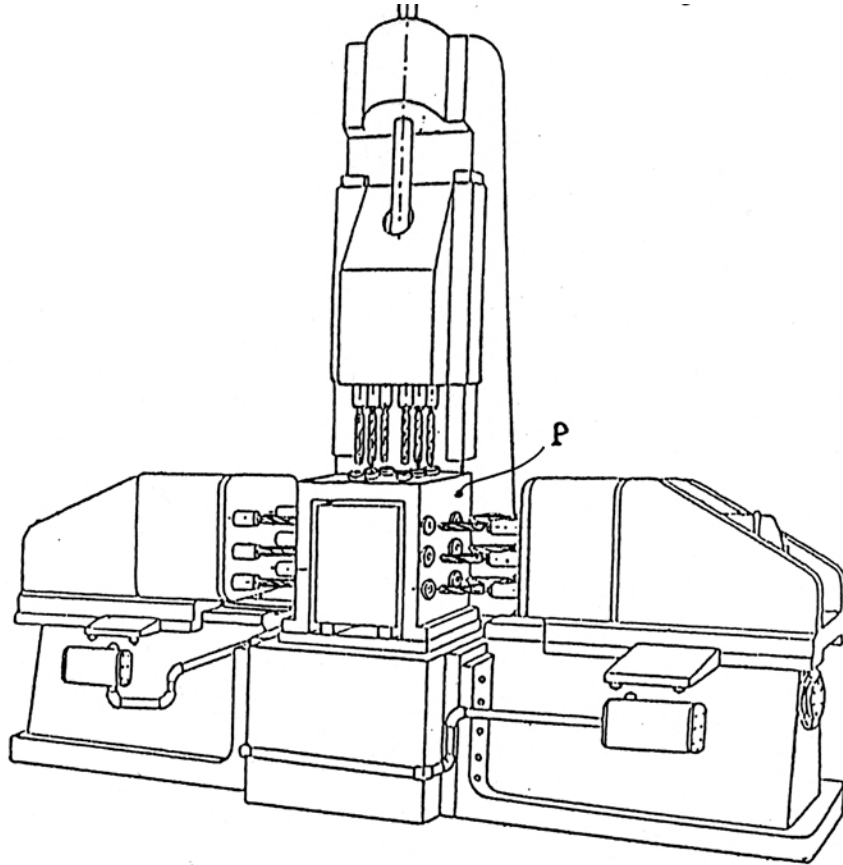
Varios husillos

Esquema accionamiento^{49/53}

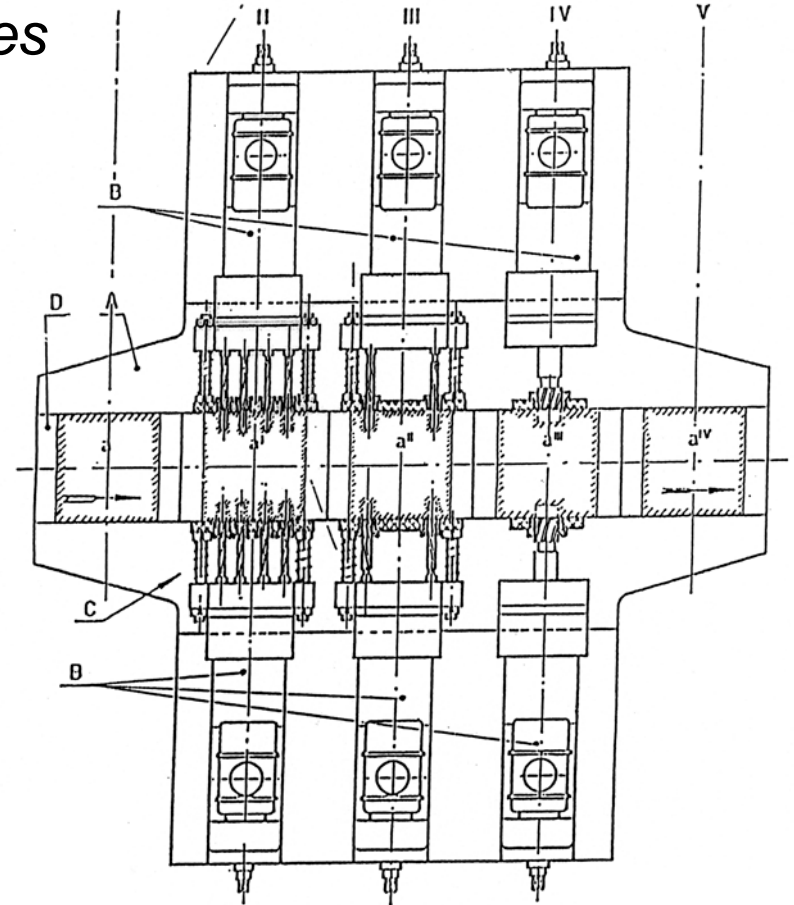


Tipos de máquinas

Taladradora múltiple – varios cabezales



Mesa fija

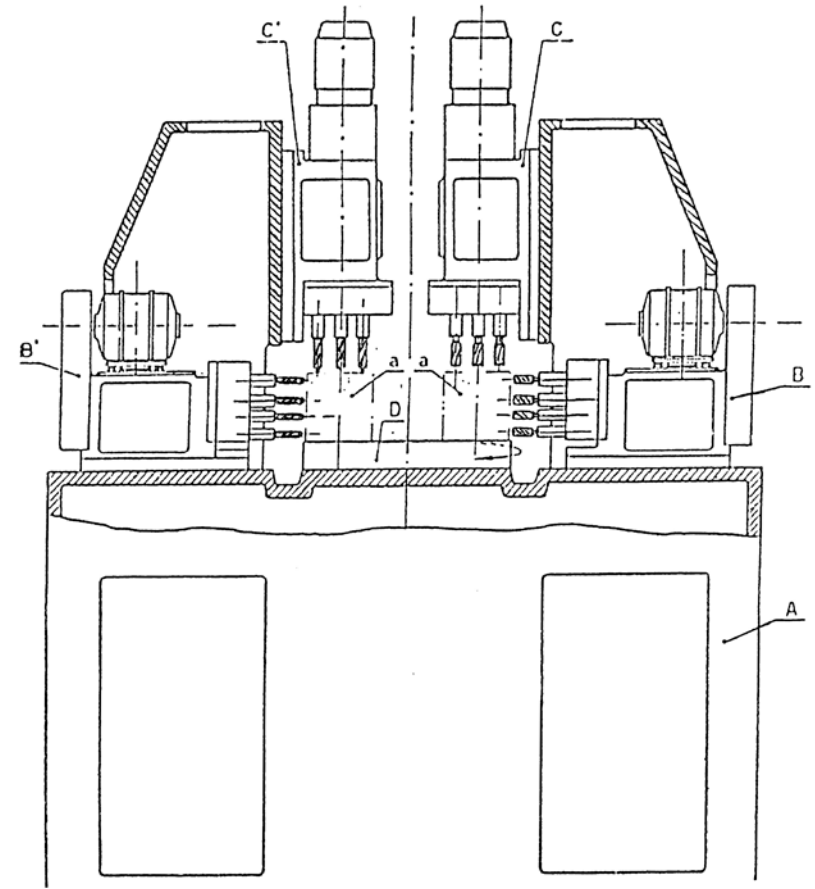
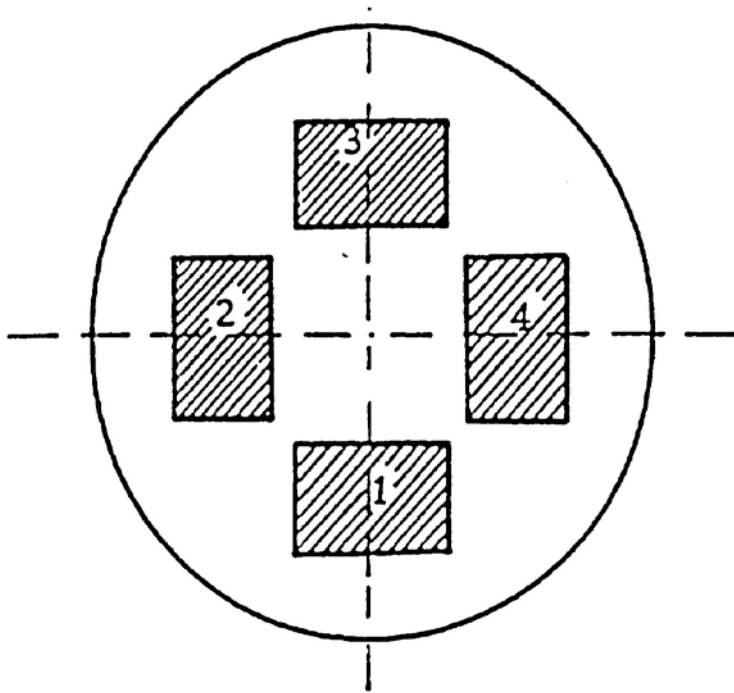


**Carro portapiezas móvil
(Máquina transfer)**



Tipos de máquinas

Taladradora múltiple – varios cabezales



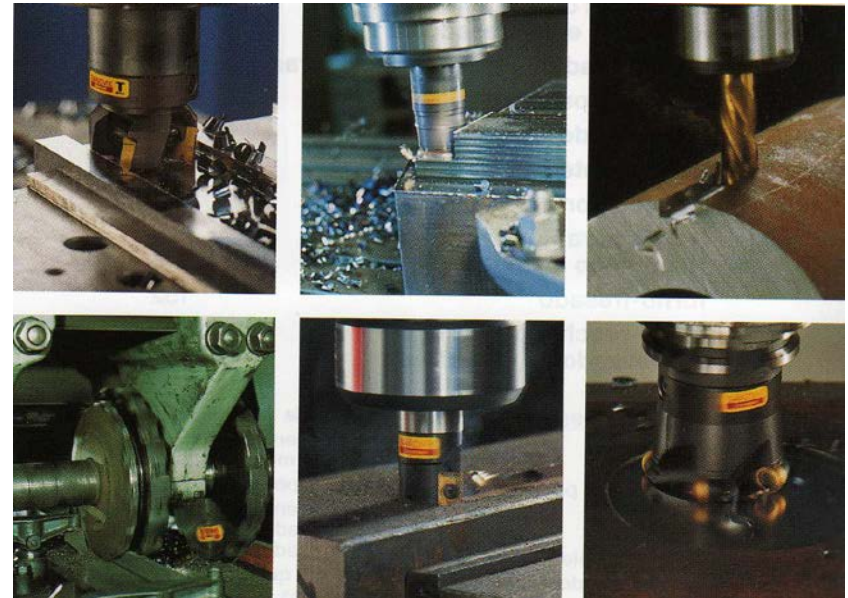
Con plataforma giratoria de varias posiciones

Procesos de fabricación de piezas por arranque de virutas

Fresado - Taladrado

Problemas de cálculo de Regímenes de corte

1. Ejemplo de Fresado
2. Ejemplo de Taladrado





Problema de Fresado



Se dispone de un bloque de acero de $E_s=3 \text{ Ws/mm}^3$, $\sigma_r=750 \text{ N/mm}^2$ y dureza 250 HB de 250x120x50 mm, $k=4$. Se desea rebajar la altura de 50 a 45 mm obteniendo un acabado superficial con una rugosidad $R_a=1,6 \mu\text{m}$. Se dispone de una fresa frontal de la casa Toshiba- Tungaloy TAD12100RI-E de $D=150 \text{ mm}$ con 10 cuchillas de metal duro cuadradas AH120, con ángulo de incidencia principal de 45° y $r=0,8 \text{ mm}$, montada en una fresadora vertical Turret XO6226, con un rendimiento mecánico del 0,75 y un motor de 4,5 kW. La $V_{c_{rec}}=120 \text{ m/min}$ (acabado), 80 m/min (desbaste)

Los valores de n que puede dar la máquina son:
35 60 105 155 190 265 365 475 650 820 1600
y los valores de velocidades de avances:
24 40 65 100 185 285 470 720

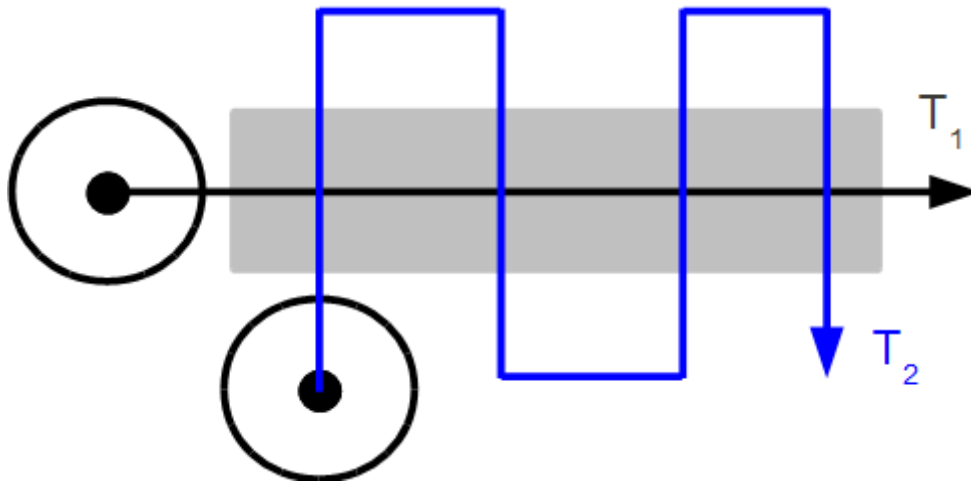
$$E_s = k \sigma_r / 1000$$

Se ha determinado que se debe trabajar a régimen de mínimo desgaste de herramientas.

Determinar:

1. La secuencia de operaciones a realizar.
2. Para cada una de éstas:
 - a) Las condiciones de corte
 - b) Los tiempos de corte

Para definir la estrategia de corte se pueden analizar dos posibles estrategias, la definida por la trayectoria T_1 y la definida por la trayectoria T_2 .



En general se tiende a seleccionar la trayectoria más corta y con menos cambios de dirección. Por lo tanto, se selecciona la trayectoria T_1 .

El tiempo de mecanizado:

$$tc = \frac{L + \delta L}{Va}$$



Problema de taladrado



Se dispone de una taladradora con un motor de 2kW de potencia. Se ha de efectuar un agujero 35H7 en una pieza de acero de energía específica 4W·s/mm³ y espesor 30mm.

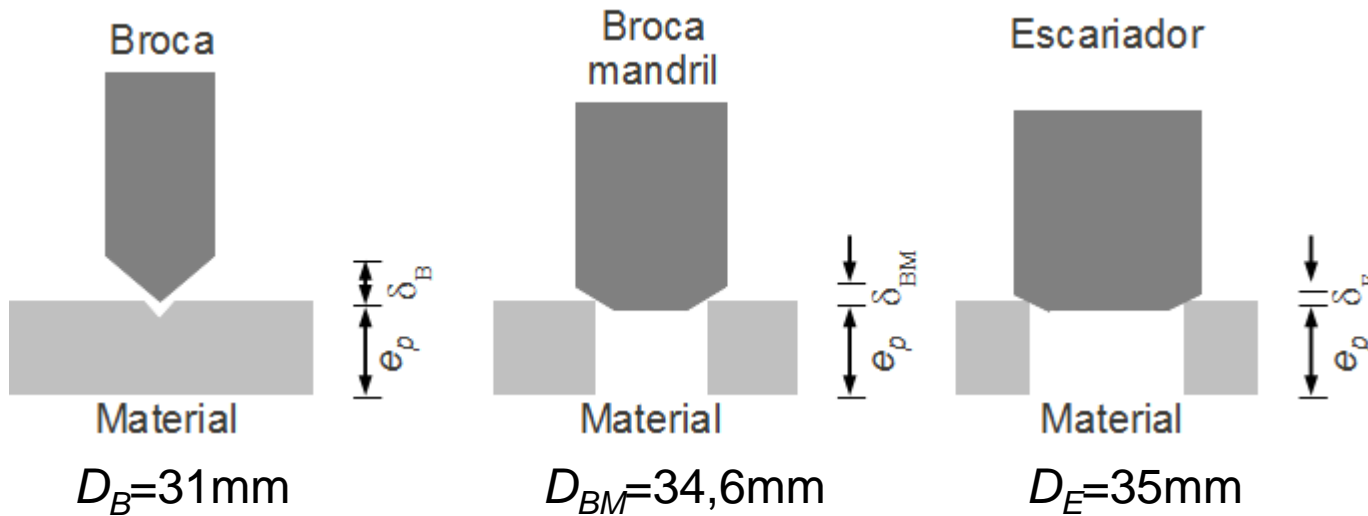
- 1) Definir el proceso que deberá seguirse para realizar la operación.**
- 2) Las herramientas a utilizar.**
- 3) Las condiciones de corte.**
- 4) El tiempo de corte.**

Solución:

La calidad del agujero es IT7, por lo tanto se debe usar un escariador para obtener esa calidad. El proceso consiste:

- a) Marcar con una broca de puntear
- b) Hacer un agujero con una broca helicoidal
- c) Aumentar el diámetro del agujero con una broca mandril
- d) Aumentar el diámetro del agujero con un escariador

2) Las herramientas a utilizar son:
Broca de puntear de acero rápido



3) Las condiciones de corte:

Primero se debe estimar la velocidad de corte V_{C_B} , en el caso en que se utilice toda la energía disponible de la taladradora para hacer el agujero. Si la velocidad de corte obtenida es superior a la que soporta la broca, se debe utilizar como velocidad la máxima que soporta la broca.



De las ecuaciones: potencia de mecanizado y avance por vuelta, se tiene:

$$\left. \begin{aligned} V_{c_B} \cdot a_B &\leq \frac{60 \cdot 4 \text{ Nm} \cdot 1000}{1000 \cdot E_S \cdot D_B} = 3,87 \\ a_B &= D \frac{[\text{mm}]}{100} = 0,3 \text{ mm/vuelta} \end{aligned} \right\} V_{c_B} \leq 13 \text{ m/min}$$

Por otra parte, la velocidad de corte no debe exceder un limite definido por:

$$V_{c_B} \leq 0,8 \cdot f(\text{mat. herram, material pieza, tipo de operación o proceso})$$



$$V_{c_B} \leq 24$$

Broca

$$V_{c_B} = 13 \text{ m/min}$$

$$a_B = 0,3 \text{ mm/vuelta}$$

Broca Mandril

$$V_{c_{BM}} = 13 \text{ m/min}$$

$$a_{BM} = 0,35 \text{ mm/vuelta}$$

Escareador

$$V_{c_E} = 12 \text{ m/min}$$

$$a_E = 1,1 \text{ mm/vuelta}$$

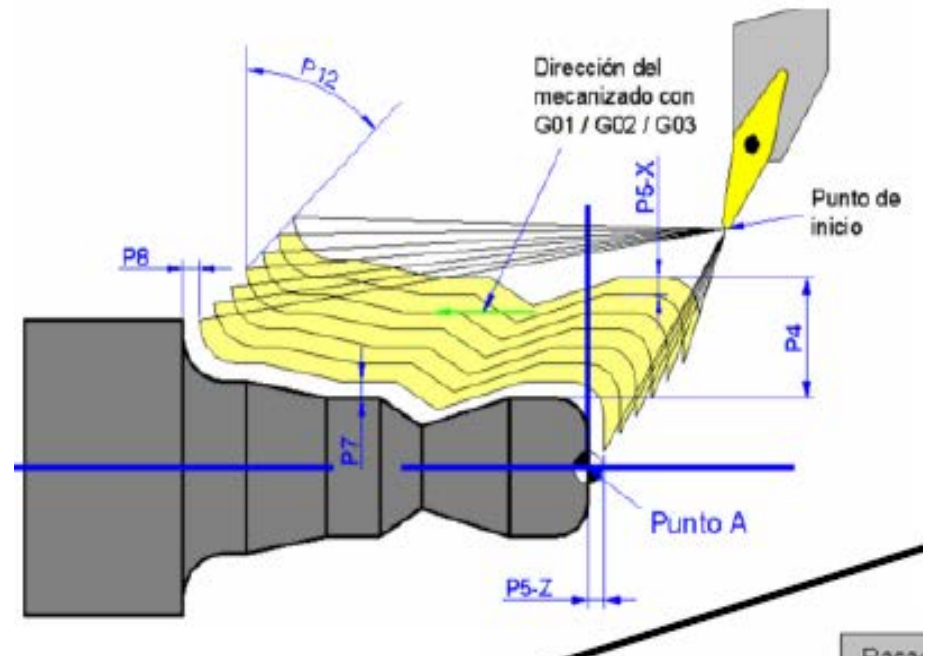


4) El tiempo de corte es la suma de los tiempos de corte de cada una de las operaciones que hay que hacer con el taladro, por lo tanto, una estimación del tiempo mínimo de corte es:

$$t_C \geq t_{C_B} + t_{C_{BM}} + t_{C_E}$$

CONTROL NUMÉRICO (NC) y FABRICACIÓN ASISTIDA POR ORDENADOR

1. Introducción
2. Comparación máquina convencional – Máquina CNC
3. Elementos de la MH con CN
4. Ventajas e Inconvenientes que aporta el CN
5. Referencias históricas. Evolución de los CN
6. Criterios de clasificación de los Controles Numéricos
7. Dónde encontrar un CN. Campo de Aplicación
8. Programación ISO
9. Programación de ciclos fijos



Introducción

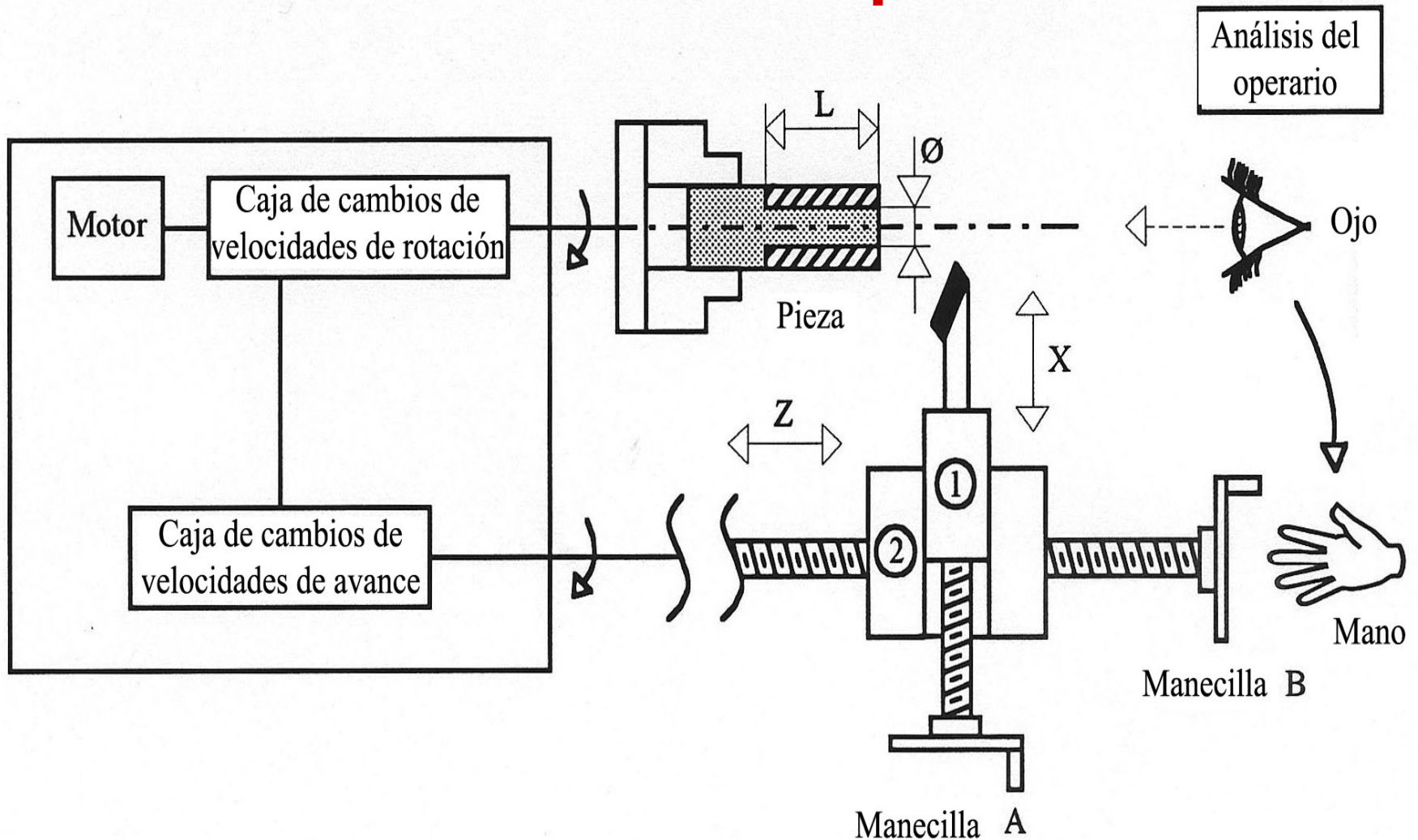
Según la Norma ISO 2382/1 1974

Control Numérico CN (NC - Numerical Control) es el control automático de un proceso, ejecutado por un dispositivo que utiliza datos numéricos introducidos mientras la operación se está realizando.

Elementos básicos

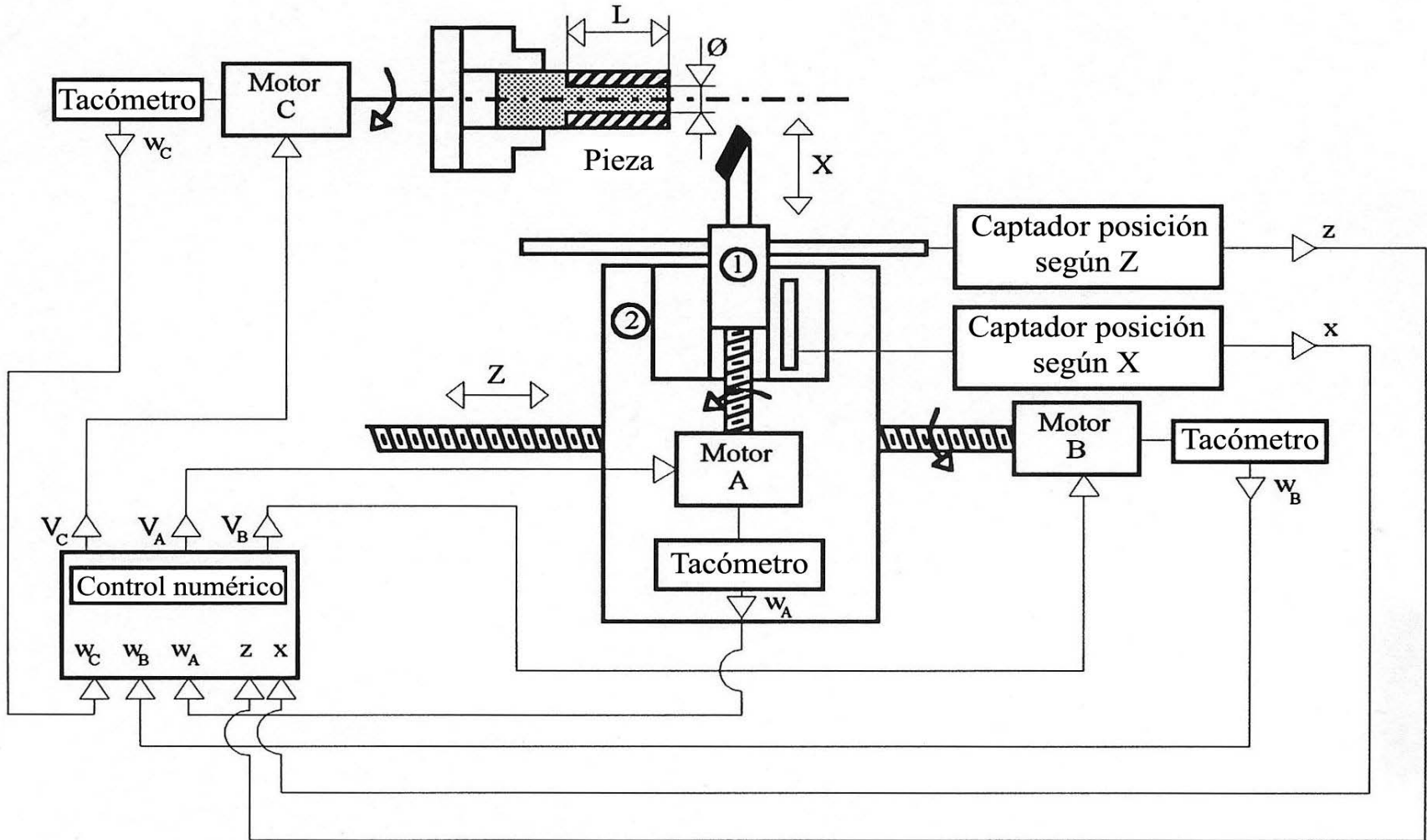
1. El programa de Control Numérico
2. El CN. Interpreta programa + realiza cálculos + capta e interpreta señales de los captadores + envía señales a los motores
3. La máquina

Comparación máquina convencional – Máquina CNC



Esquema de funcionamiento de un torno convencional

Comparación máquina convencional – Máquina CNC



Esquema de funcionamiento de un torno con control numérico

Elementos de las máquinas con control numérico

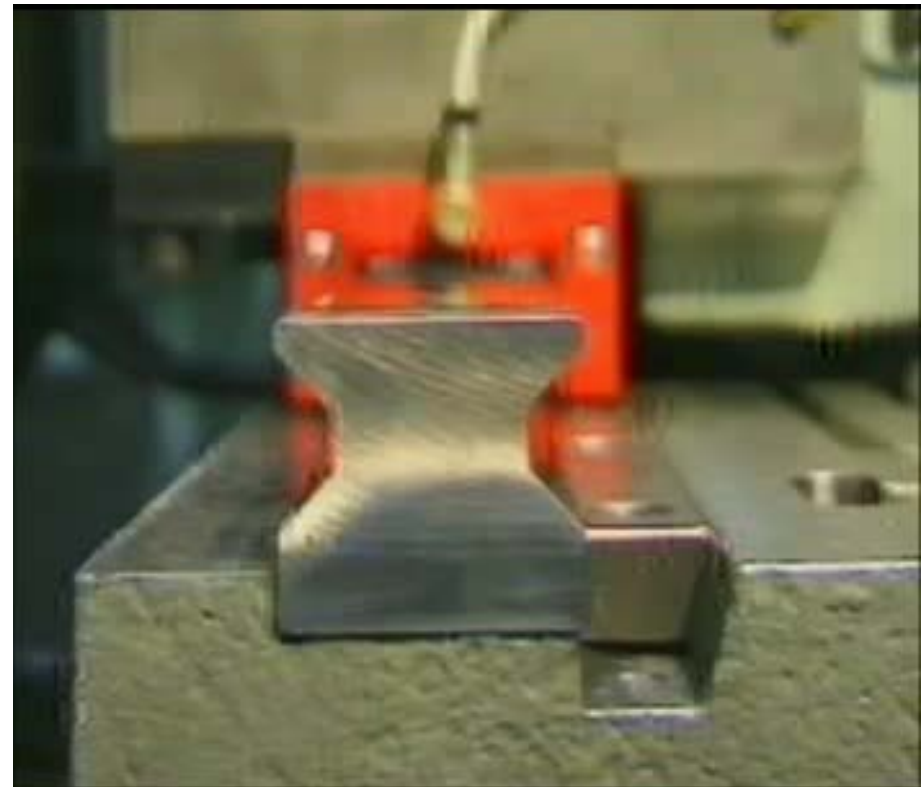
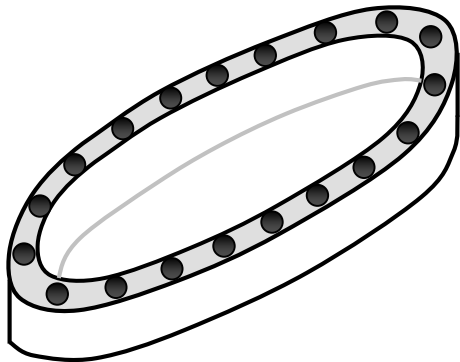
- Tipos de motores
- Tipos de guías
- Husillos de bolas
- Captadores de posición
- Captadores de velocidad

- Tipos de motores:

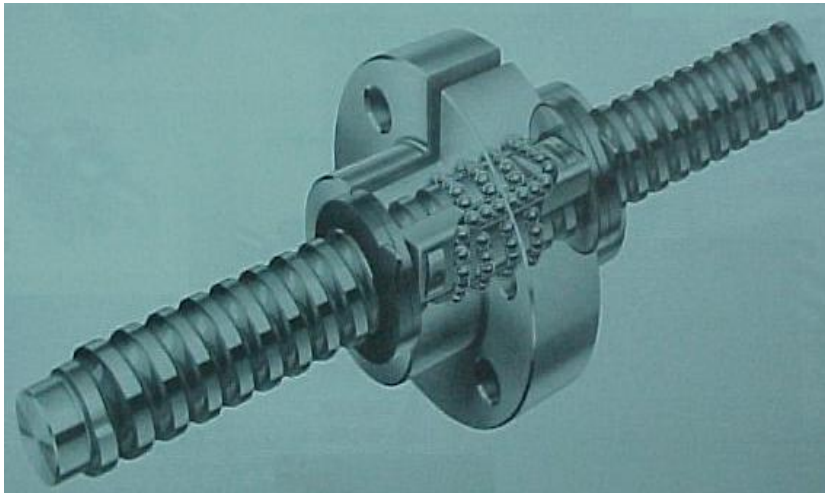
- Motores hidráulicos
- Motores eléctricos
 - Paso a paso
 - De corriente continua
 - De corriente alterna asíncronos (inductivos)
 - De corriente alterna síncronos (brushless)
 - Integrados o electrohusillos
 - De alta velocidad
 - Lineales
- Motores neumáticos

- Tipos de guías:

- Convencionales
- Con rodamiento, sobre patines de agujas o rodillos o sobre caminos de bolas.
- Hidrostáticas



- Husillos de bolas:



- Tipos de captadores:

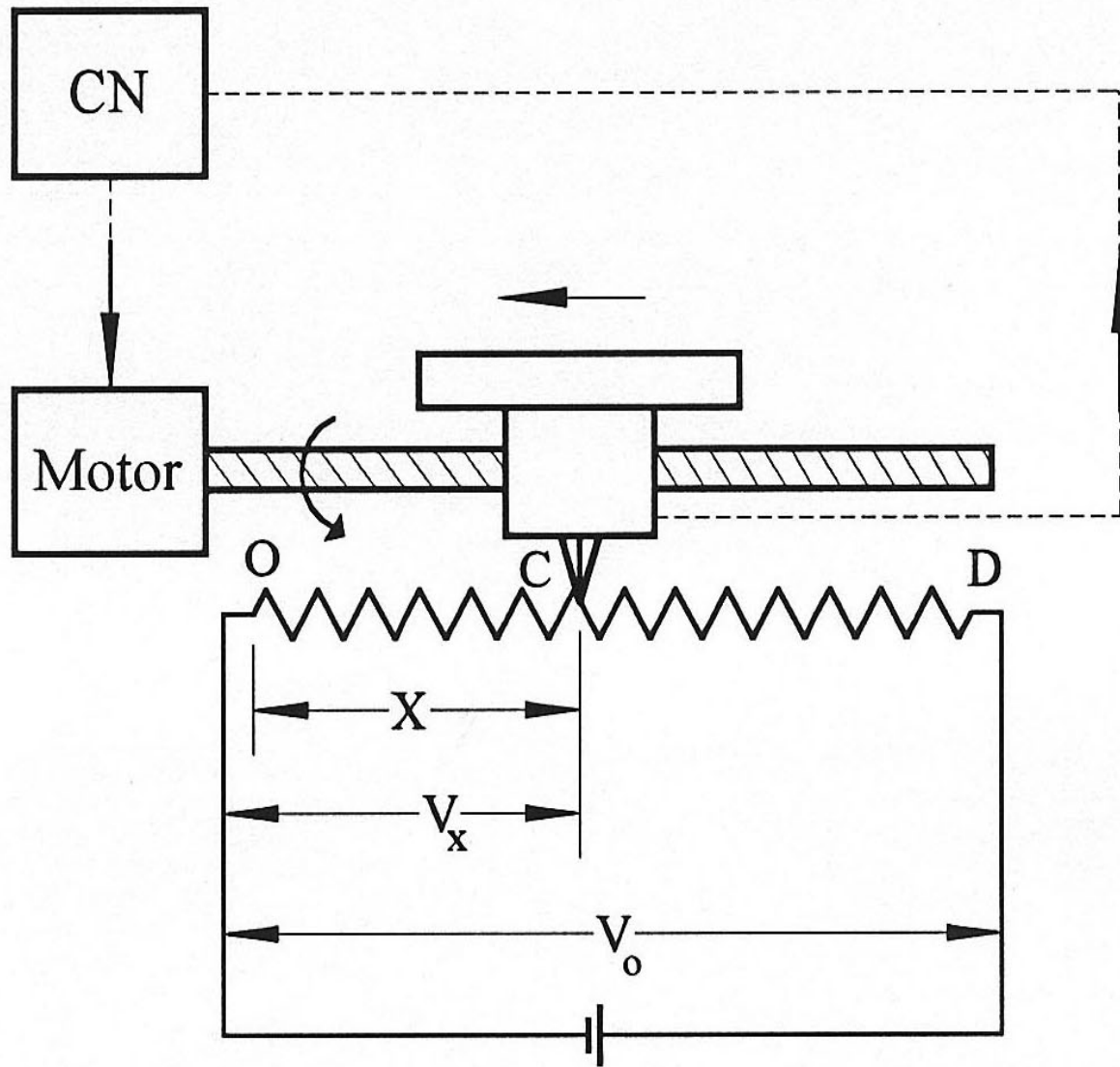
▪ *Captadores de posición:*

- Analógicos → Absolutos

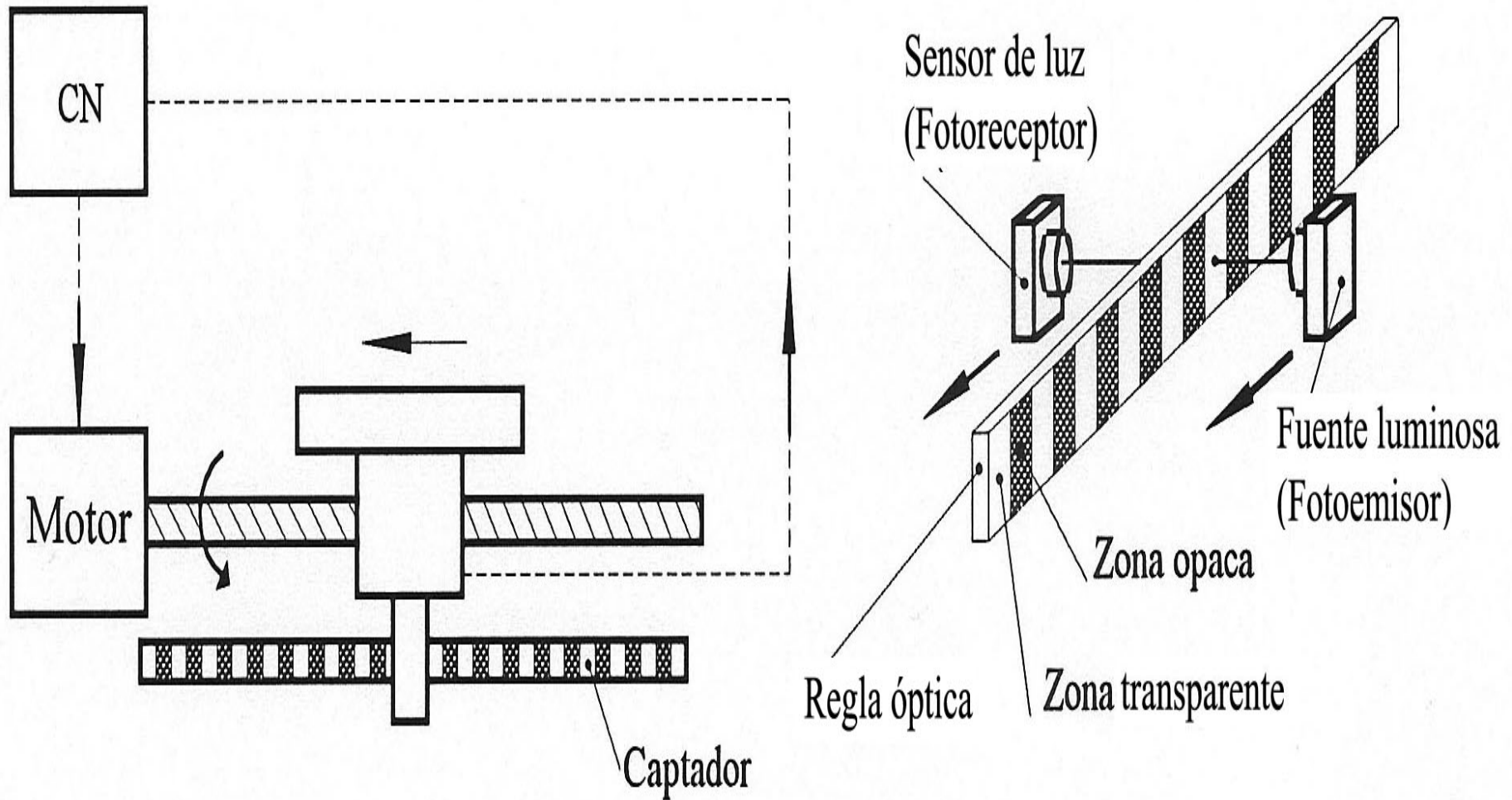
}	Directos	{	Lineales
			Rotativos
	Indirectos →		Rotativos

- Digitales

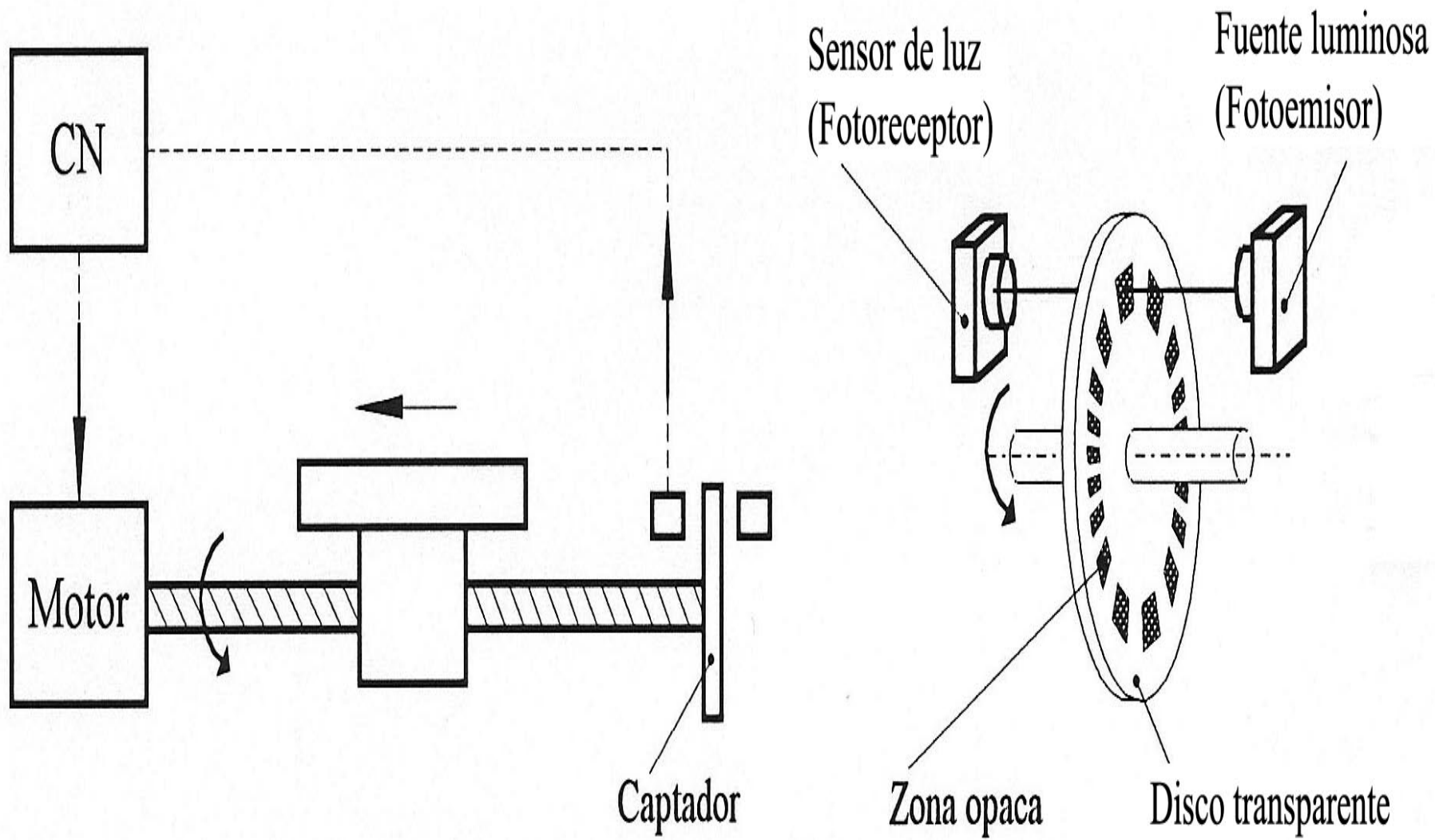
}	Incrementales	}	Directos	{	Lineales
					Rotativos
			Indirectos →		Rotativos
}	Absolutos	}	Directos	{	Lineales
					Rotativos
			Indirectos →		Rotativos



Captador de desplazamiento lineal analógico resistivo. Captador absoluto.

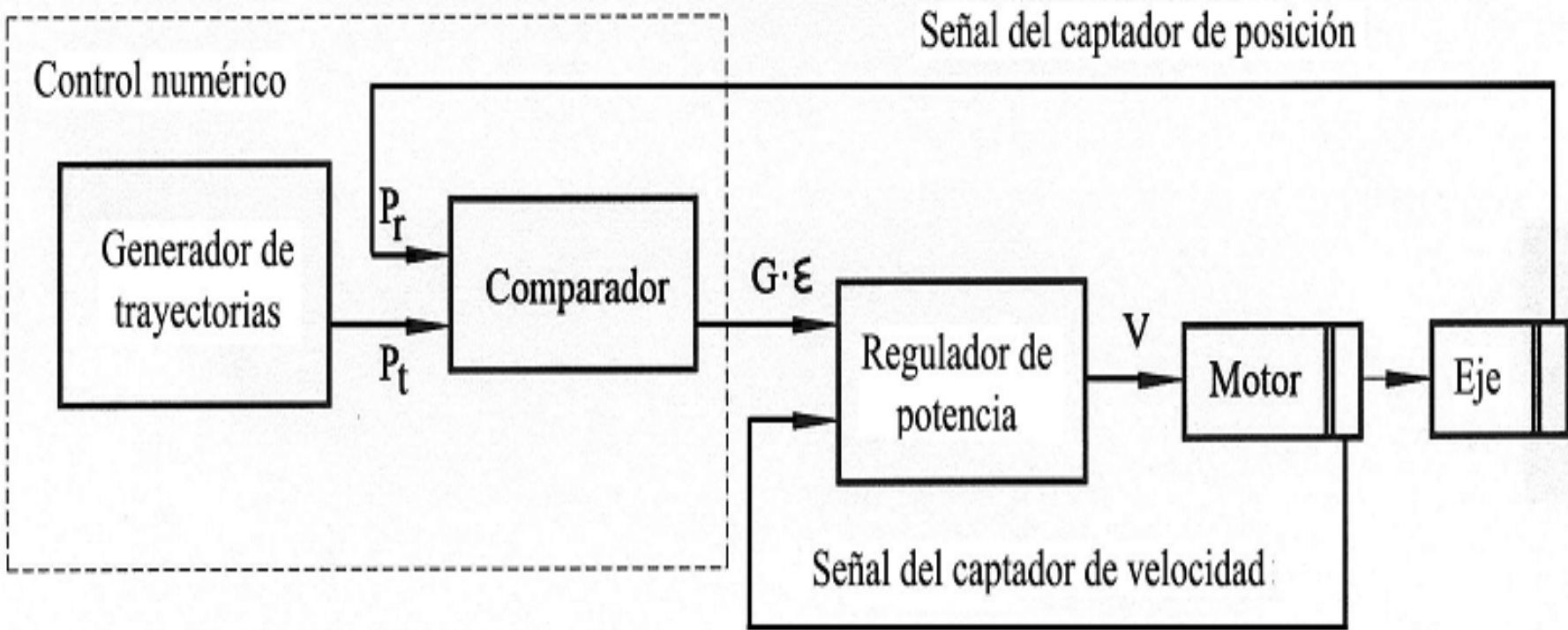


Captador de desplazamiento lineal digital óptico. Regla óptica incremental.



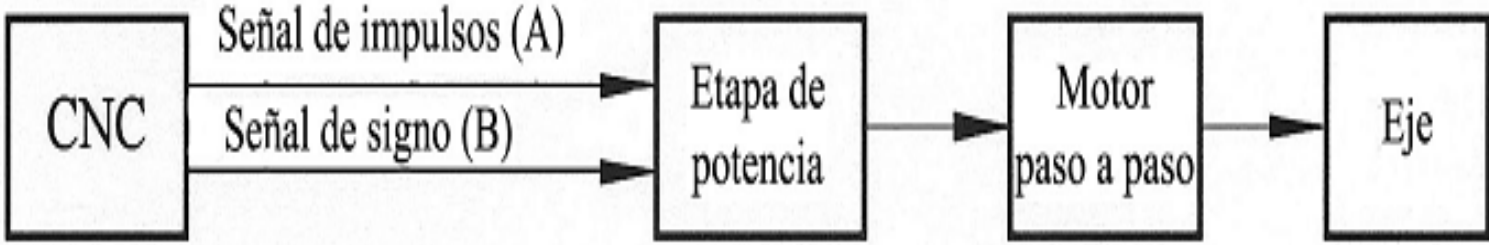
Captador de desplazamiento angular digital óptico. Encoder incremental.

▪ *Captadores de Velocidad. Control de los ejes con lazo cerrado:*

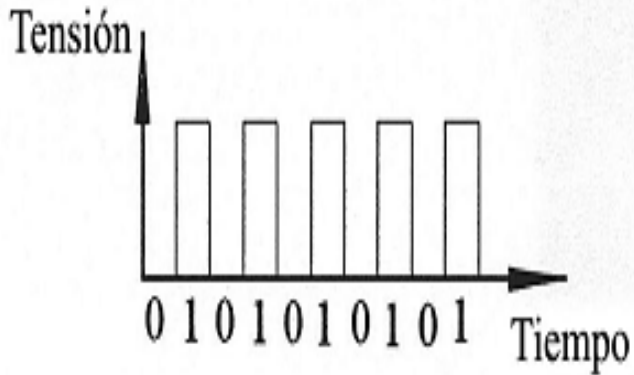


Sistema de control de un eje con lazo cerrado.

▪ *Captadores de Velocidad. Control de los ejes con lazo abierto:*



- A
- Número de impulsos → Desplazamiento del eje
 - Frecuencia de los impulsos → Velocidad del eje
- B
- 1 Sentido de movimiento positivo →
 - 0 Sentido de movimiento negativo ←



Señal de impulsos (A)

Sistema de control de un eje con lazo abierto, con motor paso a paso

Ventajas e inconvenientes que aporta el CN

- Ventajas:

- Mayor productividad y rendimiento
- Mayor precisión, repetibilidad, uniformidad y acabado
- Reglajes más cortos
- Eliminación de tiempos muertos
- Disminución de piezas defectuosas
- Reducción de tiempos de inspección y control
- Reducción de tiempos de cambio de piezas y de herramientas si son automáticos

-Ventajas (Cont...):

- Ahorro de herramientas y menor desgaste
- Ahorro de utillajes y útiles caros
- Posibilidad de mecanizar automáticamente formas complicadas
- Mayor flexibilidad
- Menor espacio necesario en el taller
- Menor número de operarios
- Mayor seguridad

- Inconvenientes:

- Mayor inversión
- Conviene adquirir un banco de pre-reglaje de herramientas
- Es necesaria una preparación del trabajo más detallada
- Es necesario hacer el programa. Sistemas CAD-CAM
- El mantenimiento requiere técnicos más cualificados
- Mayor responsabilidad de los operarios

Quando conviene aplicar el CN

- En piezas de cierta complejidad
- En series cortas o medianas
- Cuando la relación reglaje/tiempo de mecanizado sea elevada
- Cuando para realizar diversas operaciones son necesarias distintas máquinas
- Cuando el coste de piezas malas es elevado y la fatiga del operario es importante
- Cuando el coste de utillajes es muy elevado

Referencias históricas. Evolución de los CN

- 1942 Bendix Corporation
- 1947 John Parsons: Sistema Digiton
- 1949 US Air Force + John Parsons +
Massachusetts Institute of Technology (MIT)
- 1952 Fresadora Cincinnati Hydrotel con el nuevo
control
- 1953 El MIT utiliza por primera vez la denominación
Numerical Control (NC)

- 1955 Muestra de Máquinas Herramienta de Chicago
- 1960 Exposición de Chicago. MIT primeras demostraciones del Control Numérico Adaptativo (**CNA**)
- 1965 Feria de Bruselas
- 1968 **DNC** (Direct Numerical Control)
- Años 70 **CNC** (Computer Numerical Control)
- DNC** (Distributed Numerical Control)

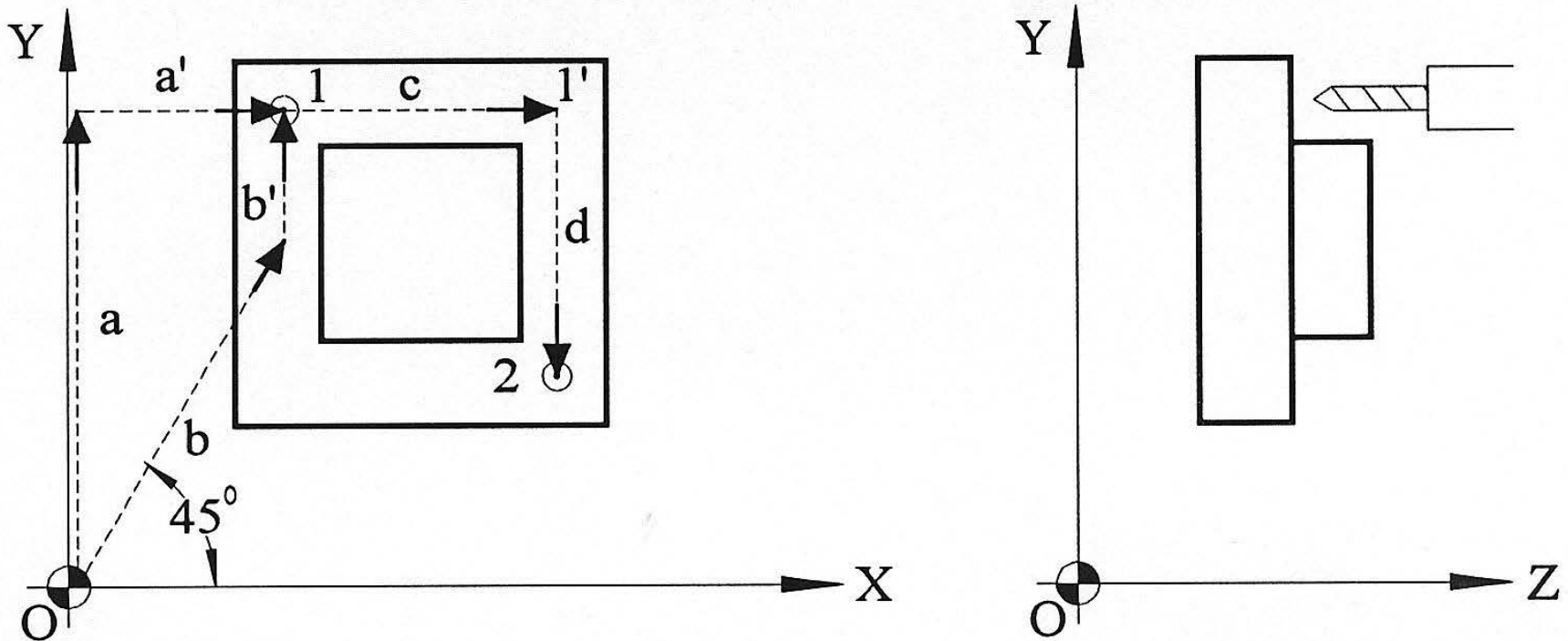
- Evolución interna del CN:

- Utilización de válvulas
- Utilización de semiconductores: transistores, diodos y thyristores
- Utilización de circuitos integrados
- Utilización de microprocesadores

Criterios de Clasificación de los CN

1. Según los desplazamientos seguidos por el elemento móvil o la manera de controlar su trayectoria:

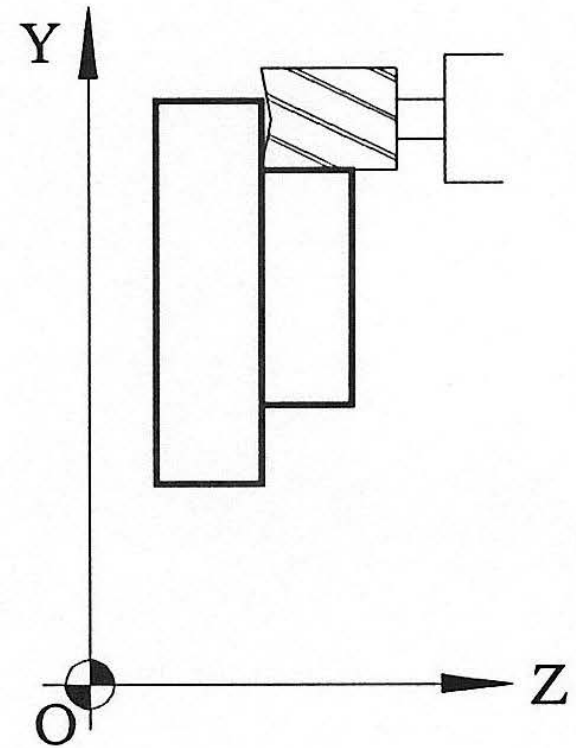
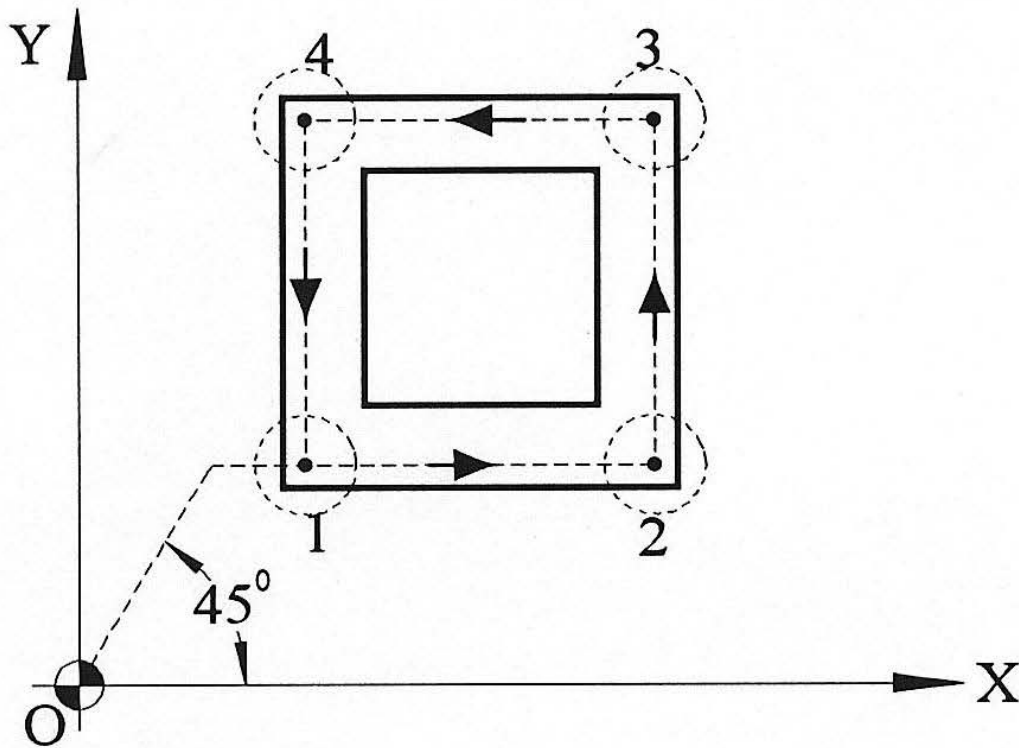
- Control numérico punto a punto
- Control numérico paraxial
- Control numérico continuo o de contorneado



Control numérico punto a punto

Es aquel que permite controlar la posición final de la herramienta pero no la trayectoria seguida. Las herramientas no realizan trabajo en los desplazamientos entre puntos, sino solamente en los puntos programados.

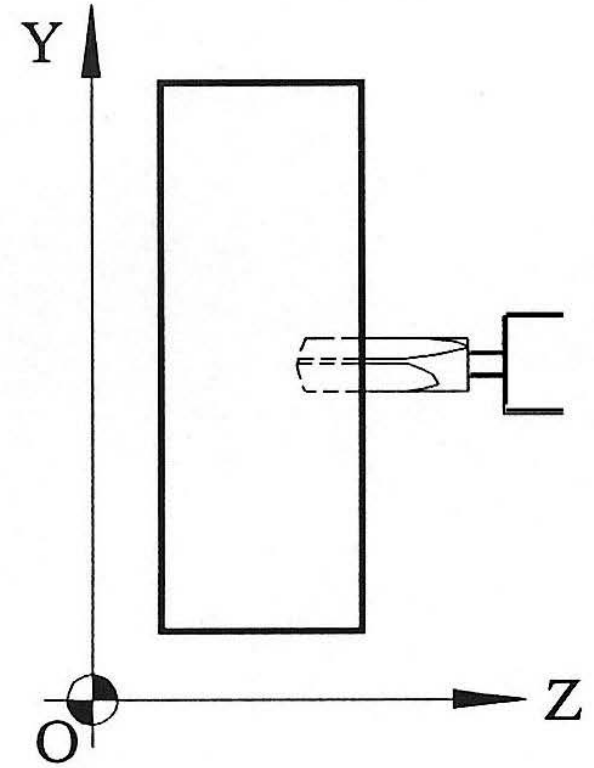
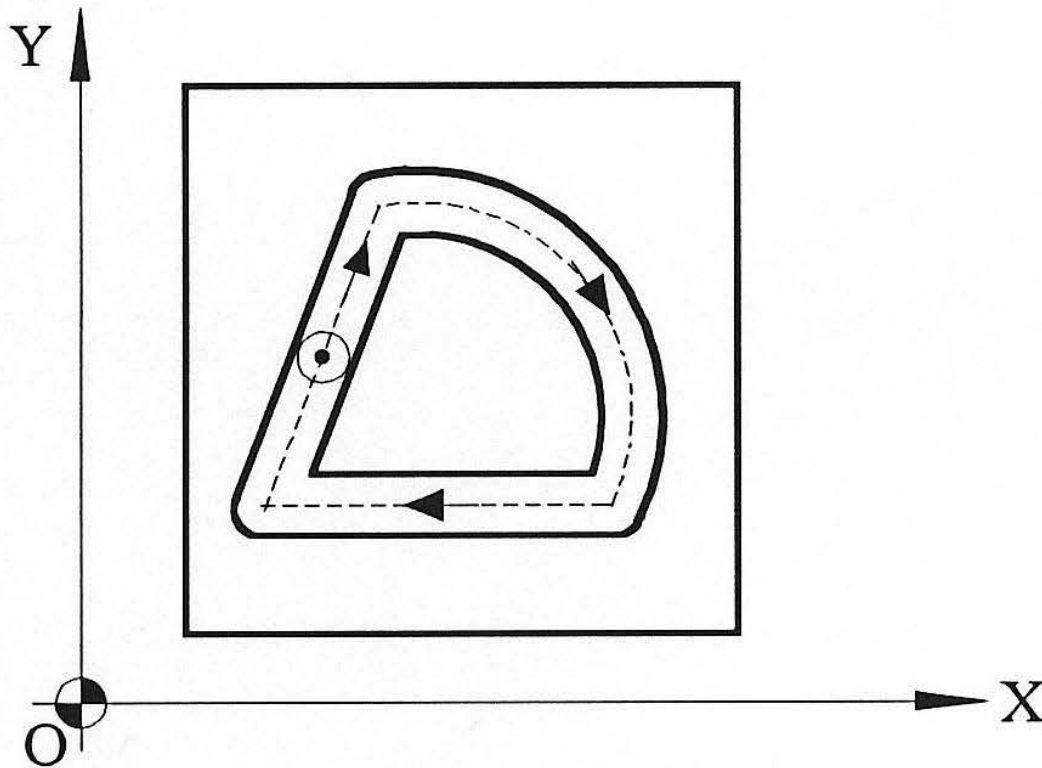
Se utiliza en máquinas agujereadoras, punzonadoras, mandrinadoras, máquinas de soldar por puntos, en las cuales la herramienta solamente trabaja en los puntos de posición programados.



Control numérico paraxial

Permite efectuar movimientos de posición rápida de un punto a otro, como si fuera un CN punto a punto, pero además permite realizar operaciones de mecanizado en direcciones paralelas a los ejes, controlando la velocidad de desplazamiento.

Se utiliza en mandrinadoras, agujereadoras, fresadoras y tornos.



Control numérico continuo o de contorneado

En este caso los desplazamientos del elemento móvil son controlados continuamente de manera que se siga la trayectoria deseada, con la velocidad de avance programada según cualquier dirección interpolable a partir de los ejes.

Se utiliza en fresadoras, tornos, centros de mecanizado, etc.

2. Según el sistema de control de los desplazamientos:

- Sistema de control con lazo cerrado
- Sistema de control con lazo abierto

3. Según la capacidad de resolución:

Se entiende como resolución la capacidad de resolver, calcular o controlar el mayor número de operaciones, simultáneamente o no y de mayor o menor complejidad.

- Control Numérico (NC)
- Control Numérico Computarizado (CNC)
- Control Numérico Distribuido (DNC)
- Control Numérico Adaptativo

Dónde encontrar un CN?

- Máquina convencional
- Máquina con CNC
- Máquina con CNC con almacén de herramientas y cambio automático de las mismas
- Centro de Torneado
- Centro de Mecanizado
- Célula Flexible
- Línea Flexible
- Fábrica Flexible

- Centro de torneado:



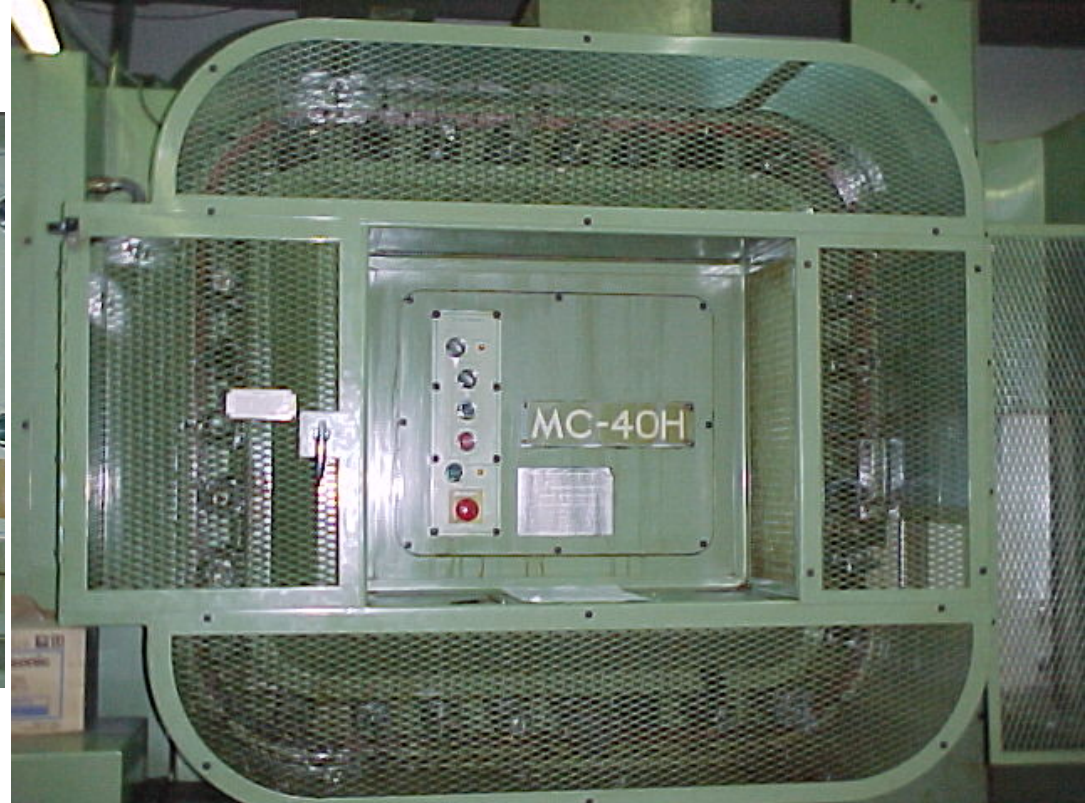
□ **Torretas con herramientas:**



- Centro de mecanizado:



□ Almacén y cambio de herramienta:



▣ **Cambio automático de herramienta:**



Campo de aplicación del CN

Siempre que sea necesario controlar con precisión la posición variable de un eje:

Tornos, fresadoras, centros de torneado, centros de mecanizado, rectificadoras, electroerosión de penetración, electroerosión de hilo, corte con láser, corte con chorro de agua, corte con oxicorte, corte con plasma, máquinas para doblar chapa, máquinas curvadoras de tubo, punzonadoras, robots, máquinas de medir por coordenadas, etc.

CONTROL NUMÉRICO (NC) y FABRICACIÓN ASISTIDA POR ORDENADOR

Ideas básicas de programación

Conceptos previos:

- Puntos de referencia: Origen máquina, Origen Pieza, Punto de referencia de la herramienta
- Compensación del radio de la herramienta
- Correctores de herramienta
- Decalajes de origen

Programación ISO

Funciones básicas de un programa de CNC

- *Puntos de referencia:*

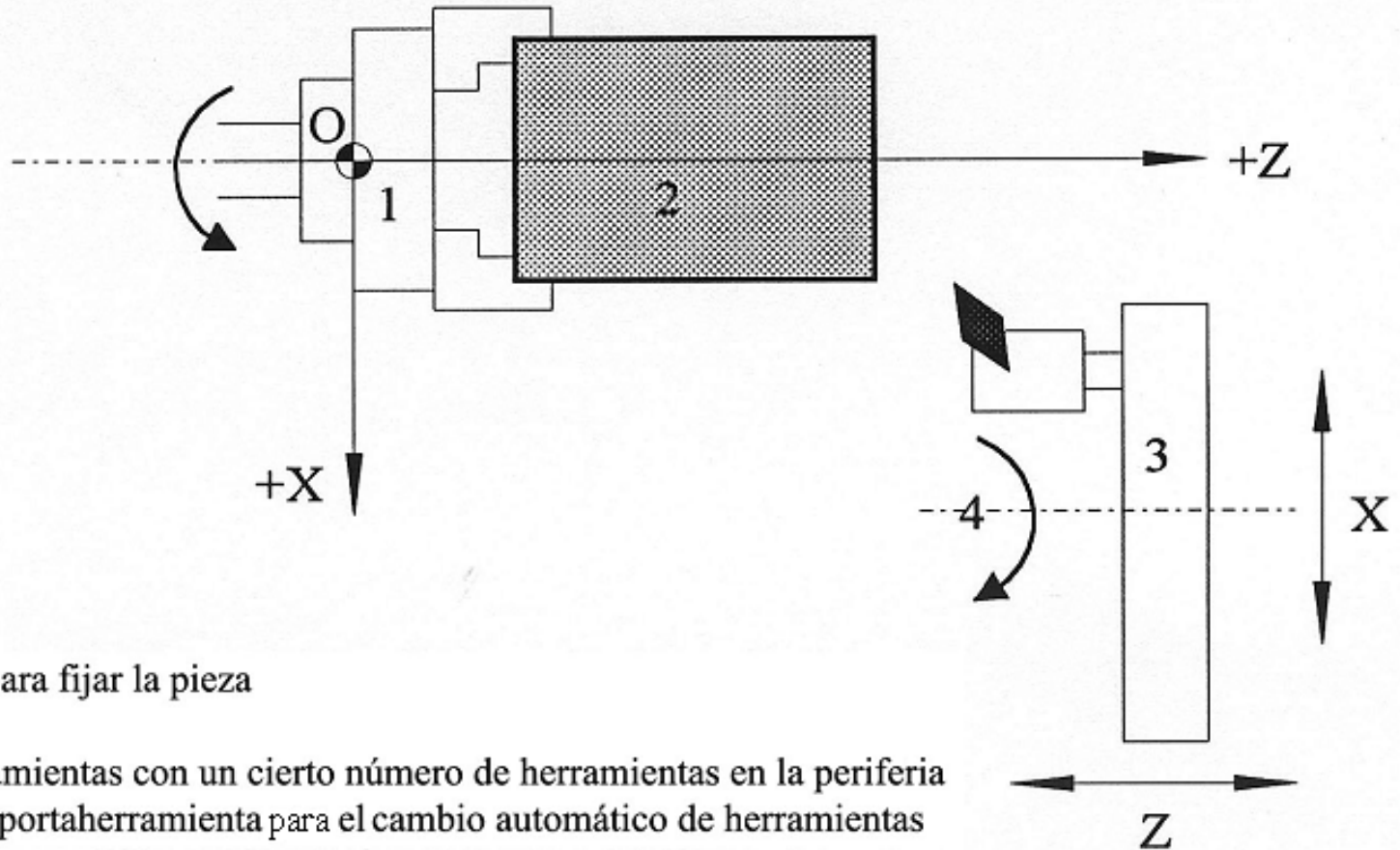
Origen Máquina o Punto Cero de la máquina (M)

Con el fin de poder posicionar los elementos móviles que se deben controlar, es necesario adoptar un sistema de referencia en la máquina. Dicho origen, definido por el fabricante, se denomina “Origen Máquina”

A partir de él se fija el origen absoluto de la medición

Puede ser un punto accesible en la máquina o no

Origen Máquina o Punto Cero de la máquina (M)



1 Plato con garras para fijar la pieza

2 Pieza

3 Torreta portaherramientas con un cierto número de herramientas en la periferia

4 Giro de la torreta portaherramienta para el cambio automático de herramientas

Punto origen máquina O en un torno

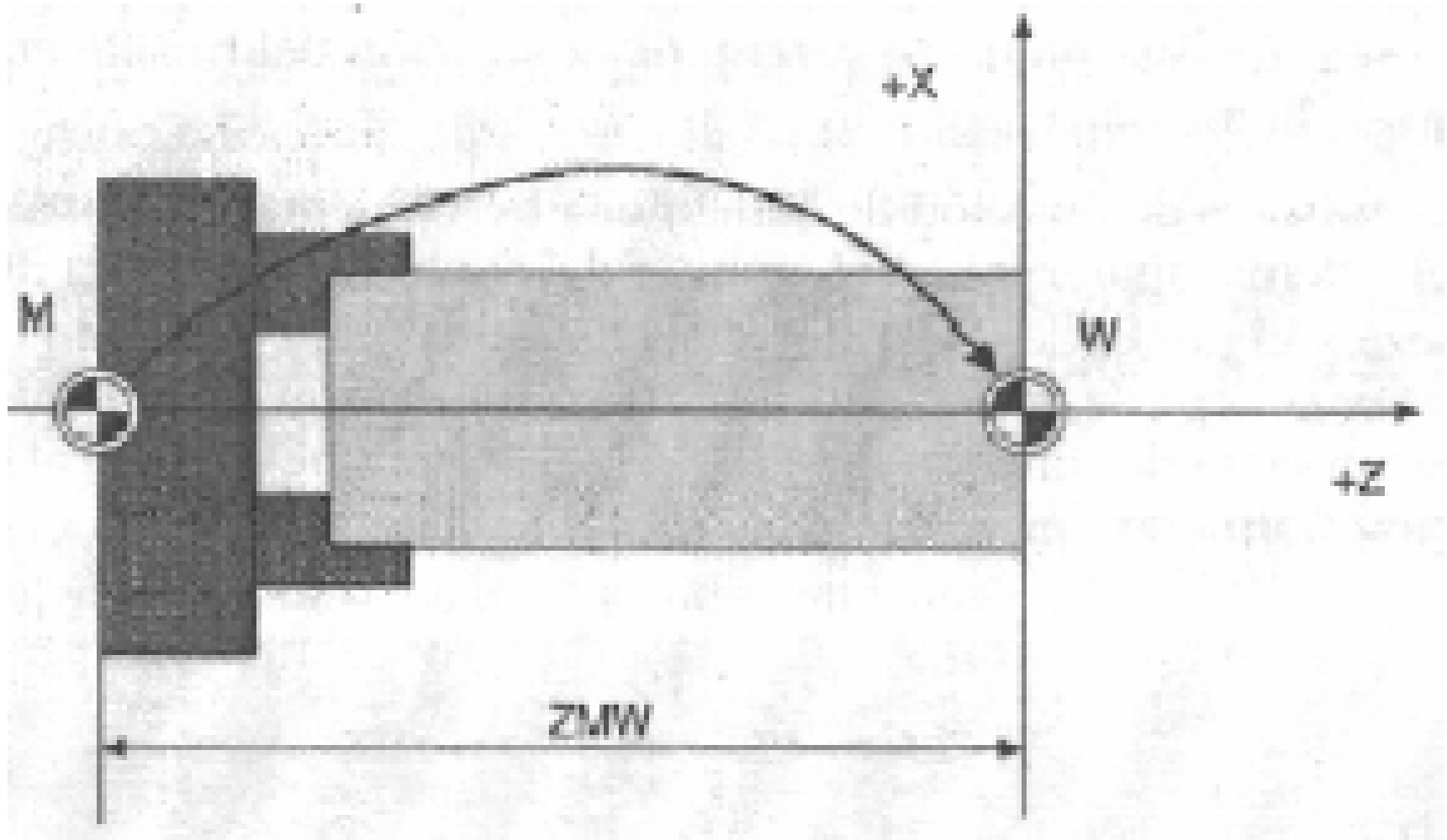
- *Puntos de referencia:*

Origen Pieza o Punto Cero de la pieza (W)

Punto al cual se referencia las cotas de la pieza. Existen funciones que desplazan el origen activo a dicho punto (decalajes de origen ZMW)

El CN permite definir el origen pieza donde interese, dando la posición respecto a M. De esta forma, durante el programa referimos las cotas a W, no siendo necesario calcular las cotas respecto al origen máquina

Origen Pieza o Punto Cero de la pieza (W)



Punto de referencia de la herramienta (N).

Punto a partir del cual se describen las longitudes de las herramientas. Cuando se alcanza el punto de referencia R, el control numérico conocerá la posición de N respecto M, y a partir de este valor conocerá la nueva posición del carro de forma incremental según este se vaya moviendo

M: Origen máquina.

P: Punto extremo de la herramienta.

N: Punto de referencia de la torreta portaherramientas.

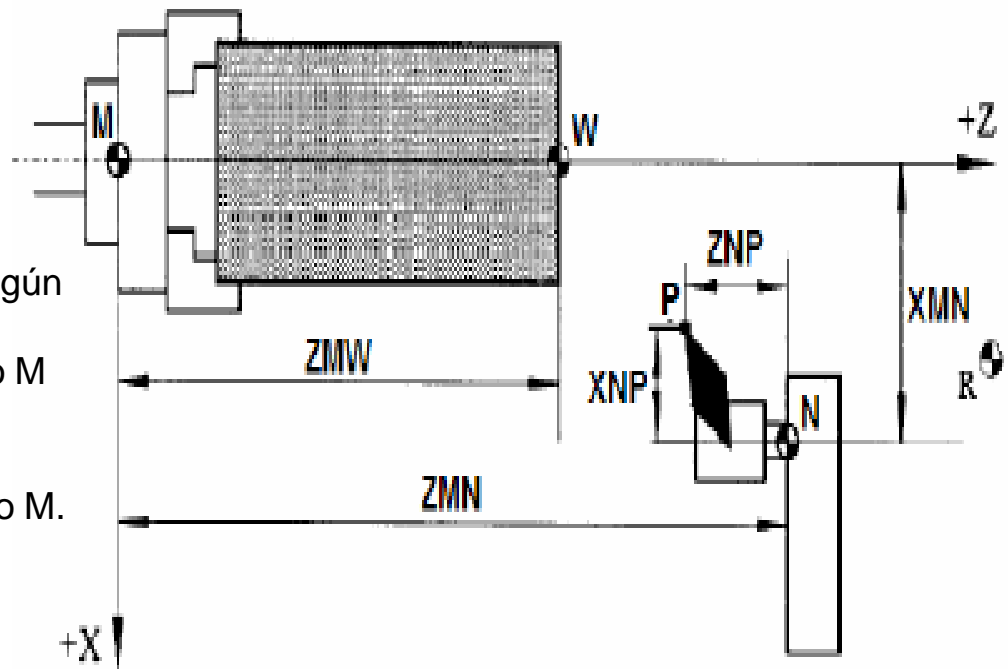
W: Origen pieza.

R: Punto de referencia de la máquina según cada eje.

ZMN, XMN: Coordenadas de N respecto M

ZNP, XNP: Correctores de longitud de la herramienta.

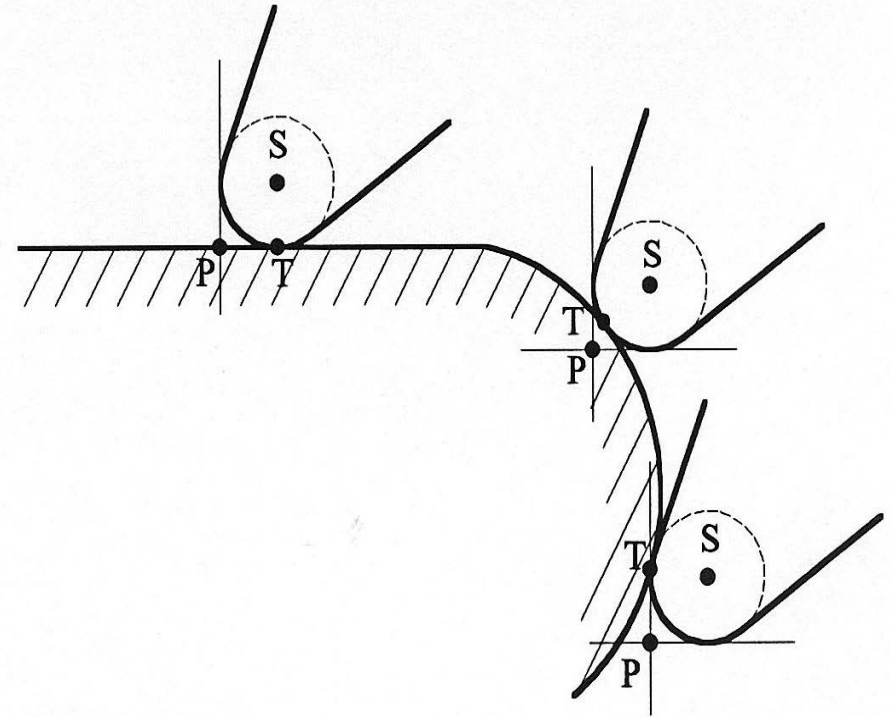
ZMW: Decalaje del origen pieza respecto M.



▫ *Compensación del radio de la herramienta:*

El mecanizado del contorno de la pieza se consigue mediante movimientos. En el caso del torno, si la herramienta tuviera radio de punta nulo, el punto programado sería directamente la intersección de las aristas de corte. Sin embargo, dado que las herramientas tienen cierto radio de punta, el punto programado tendrá un decalaje respecto al perfil a mecanizar.

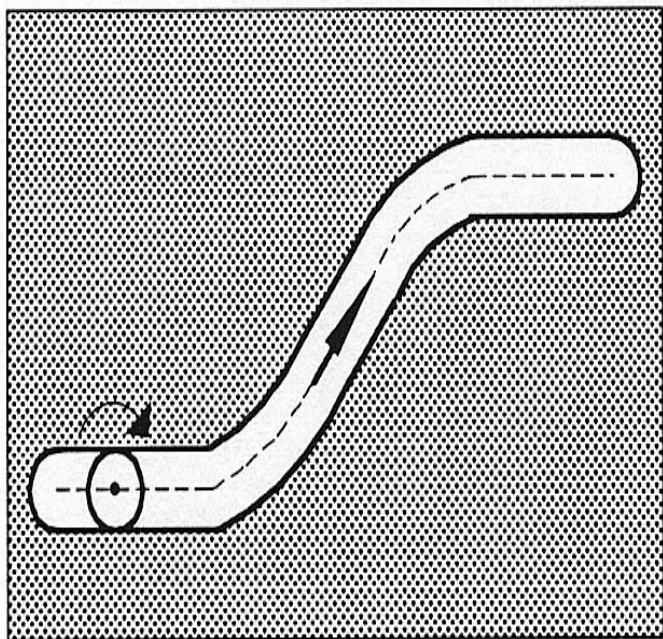
En el caso del torno, el punto que se programa puede ser el centro del radio de la punta (S) o el punto de intersección de dos rectas paralelas a los ejes y tangentes a las aristas de corte de la herramienta (P)



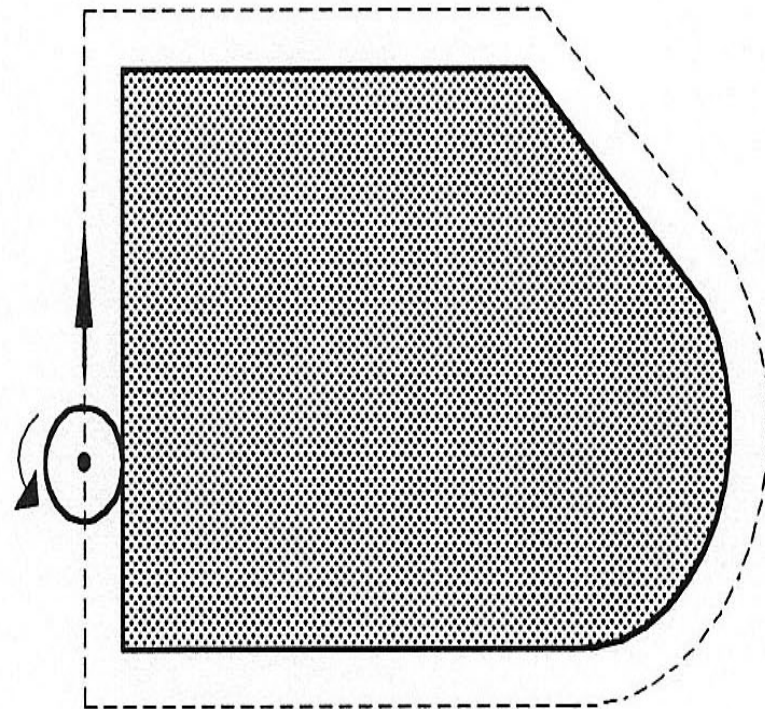
Decalajes variables de la herramienta en el torno

Los CNC actuales disponen de funciones para compensación del radio de la herramienta, de modo que se programa el contorno de la pieza deseado y el CNC calcula la trayectoria que debe seguir el punto programado, conociendo la herramienta utilizada.

Ejemplos de *Compensación del radio de la herramienta*:



Ranura hecha con fresolín



Contorneado hecho con fresa

Decalajes de la herramienta en una fresadora

▫ *Correctores de herramienta:*

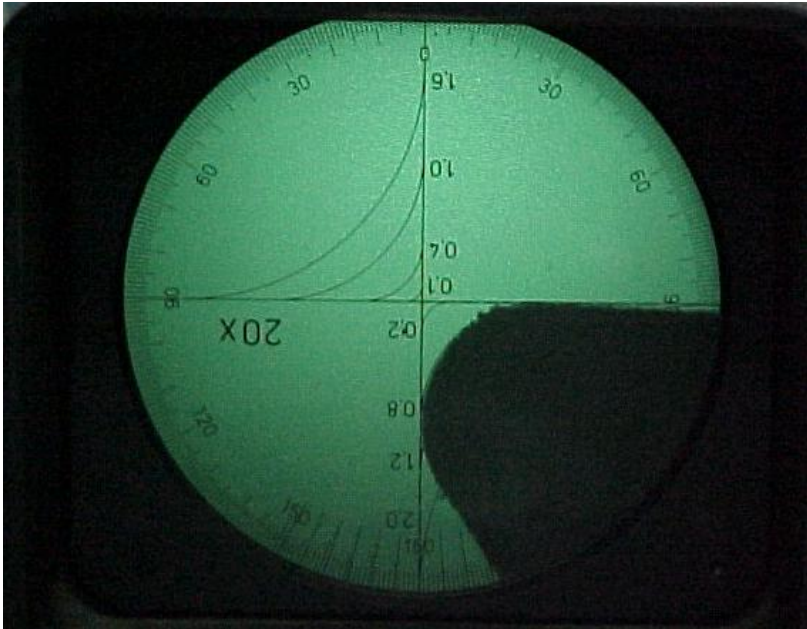
En las máquinas de CNC se pueden utilizar distintas herramientas y es necesario que el control tenga todos los datos geométricos de las mismas para conocer donde está situado el extremo de las mismas, de forma que este siga las trayectorias deseadas para mecanizar correctamente la pieza

Ejemplo de línea de programa **N30 T7 D5**

Toda esta información geométrica se encontrará en los **CORRECTORES DE HERRAMIENTA**. Se debe realizar una operación de **PRERREGLAJE** para conocer las dimensiones precisas de la herramienta.

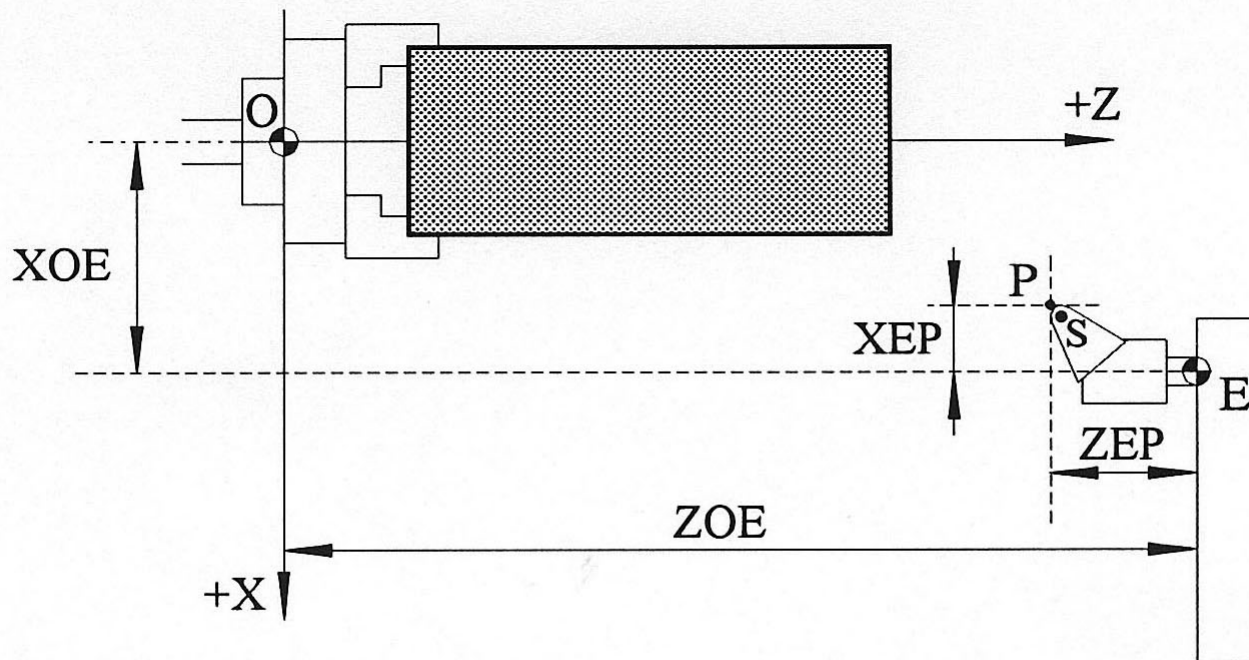
- Pre-reglaje en la propia máquina (Mediante un palpador de pre-reglaje)
- Pre-reglaje en una máquina específica
- Pre-reglaje mediante herramienta patrón

▫ *Prerreglaje de las herramientas:*



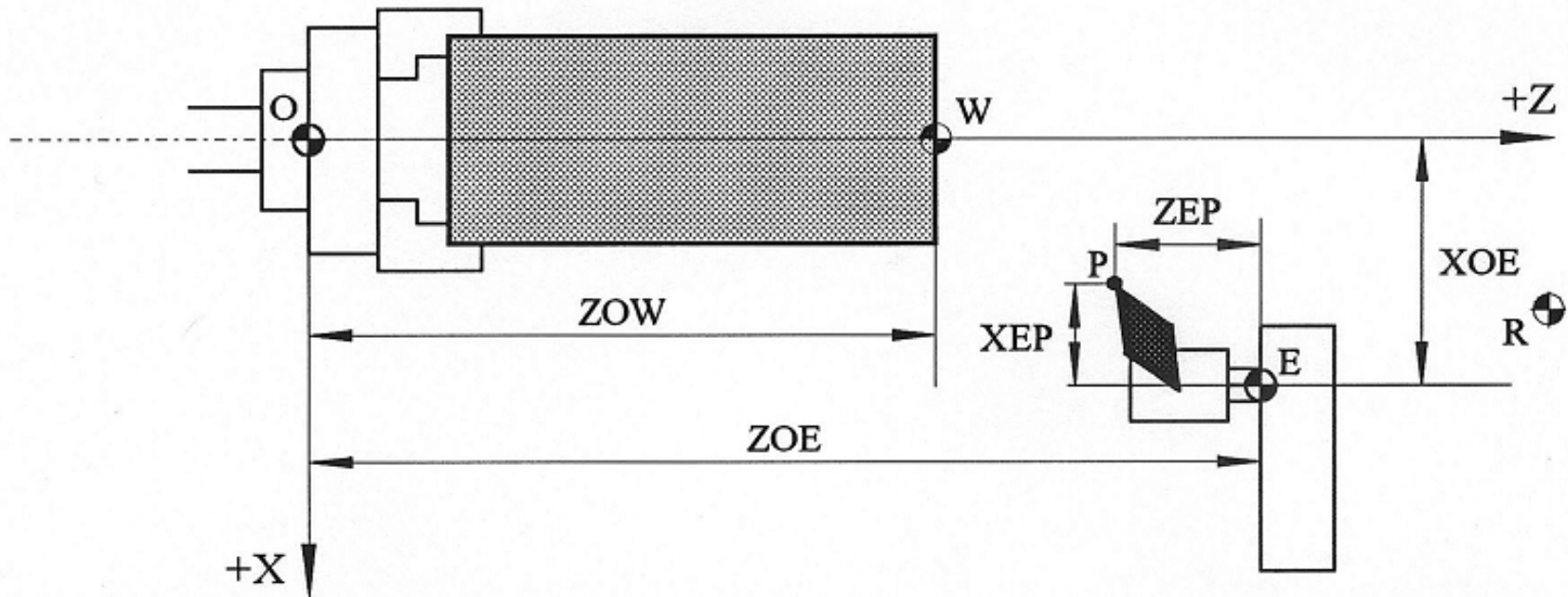
A modo de conclusión

- *Correctores de herramienta:*



Determinación de la posición del extremo P de la herramienta respecto de la máquina en un torno. Correctores de longitud de herramienta XEP y ZEP .

▫ *Decalajes de origen:*



O: Punto origen de la máquina.

P: Punto del extremo de la herramienta.

E: Punto de referencia de la torreta portaherramientas.

W: Punto origen de la pieza.

R: Punto de referencia de la máquina según cada eje.

XOE, ZOE: Coordenadas del punto de referencia E.

XEP, ZEP: Correctores L1 y L2 de longitud de herramienta.

ZOW: Decalaje del origen W según el eje Z.

Puntos de referencia en un torno

▫ Programación ISO

Estructura de un programa Pieza:

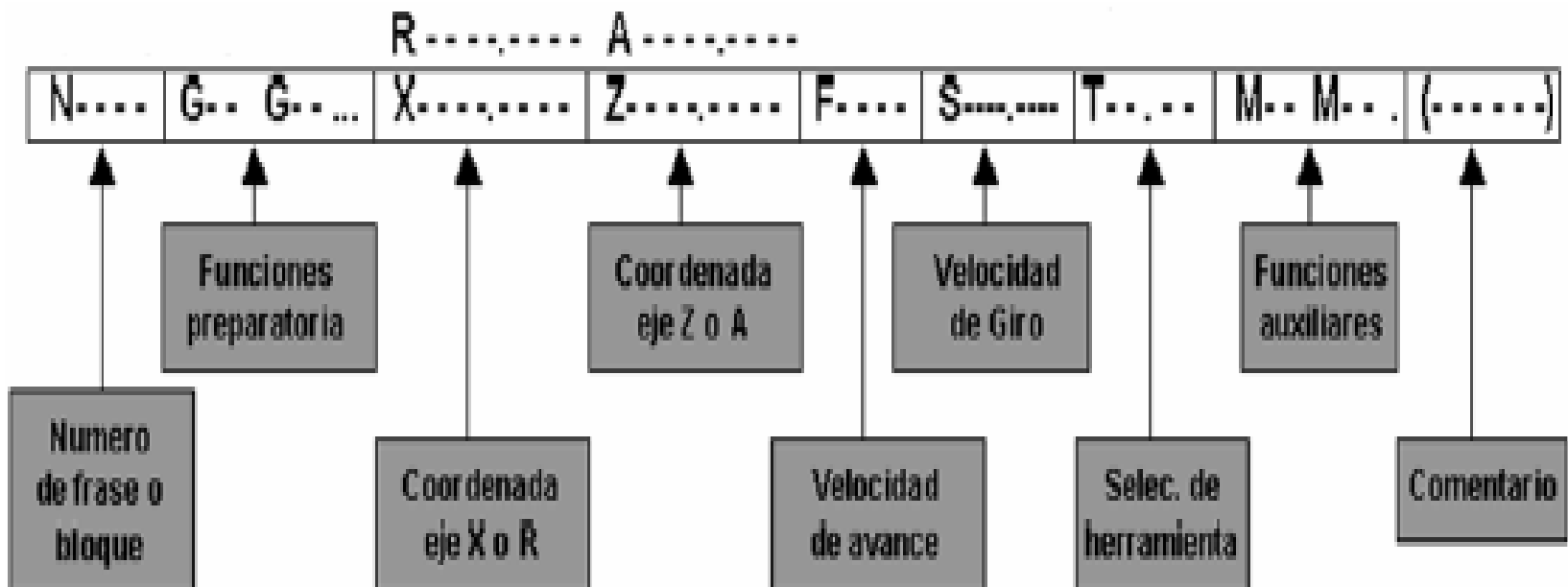
Compuesto por bloques que contienen una serie de funciones en un determinado código que permite controlar el desplazamiento de la punta de la herramienta

CÓDIGO ISO. Se compone de:

- FUNCIONES PREPARATORIAS DE MOVIMIENTOS (G). Determinan geometría y condiciones de trabajo.
- FUNCIONES DE CONTROL DE AVANCES DE LOS EJES Y DE VELOCIDAD DEL CABEZAL (F, S).
- FUNCIONES DE CONTROL DE HERRAMIENTAS (T).
- FUNCIONES AUXILIARES (M). Indicaciones tecnológicas (activación de refrigerante, sentido giro husillo...).

Estructura de programación:

- N. Número de bloque
- G. Funciones preparatorias
- X, Y, Z. Cotas de ejes
- F. Velocidad de avance
- S. Velocidad de giro del cabezal
- T. Número de herramienta
- M. Funciones auxiliares
- I, J, K. Cotas auxiliares
- A, B, C. Coordenadas angulares alrededor de X, Y, Z.



- Lenguaje de programación ISO de CN:

▫ *Funciones S, F y T:*

S	Vel. Cabezal	S2000
---	--------------	-------

F	Vel. Avance	F250
---	-------------	------

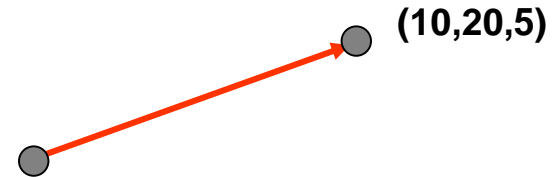
T	Herramienta	T18
---	-------------	-----

▫ *G (Funciones preparatorias):*

G00

Mov. rápido

G00 X10Y20Z5

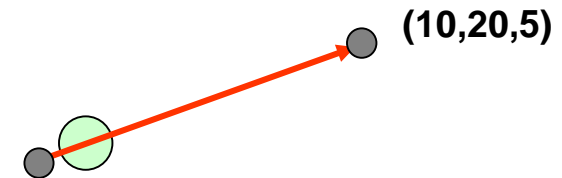


G01

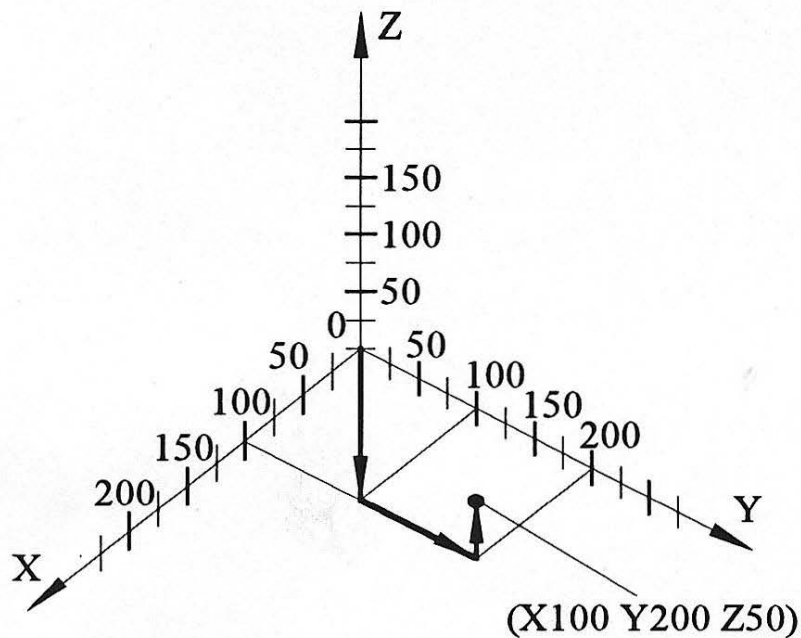
Int. lineal

S2000 F250

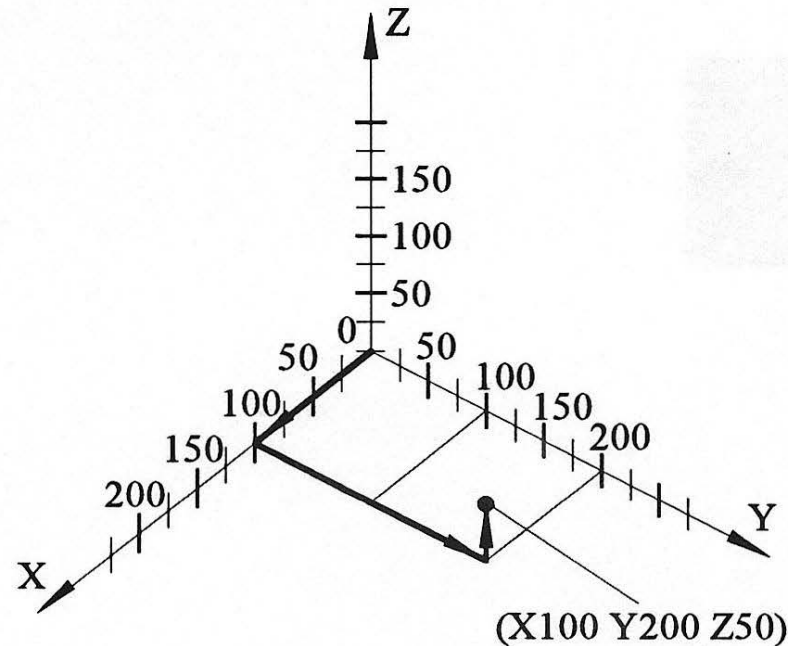
G01 X10Y20Z5



G00 Función preparatoria



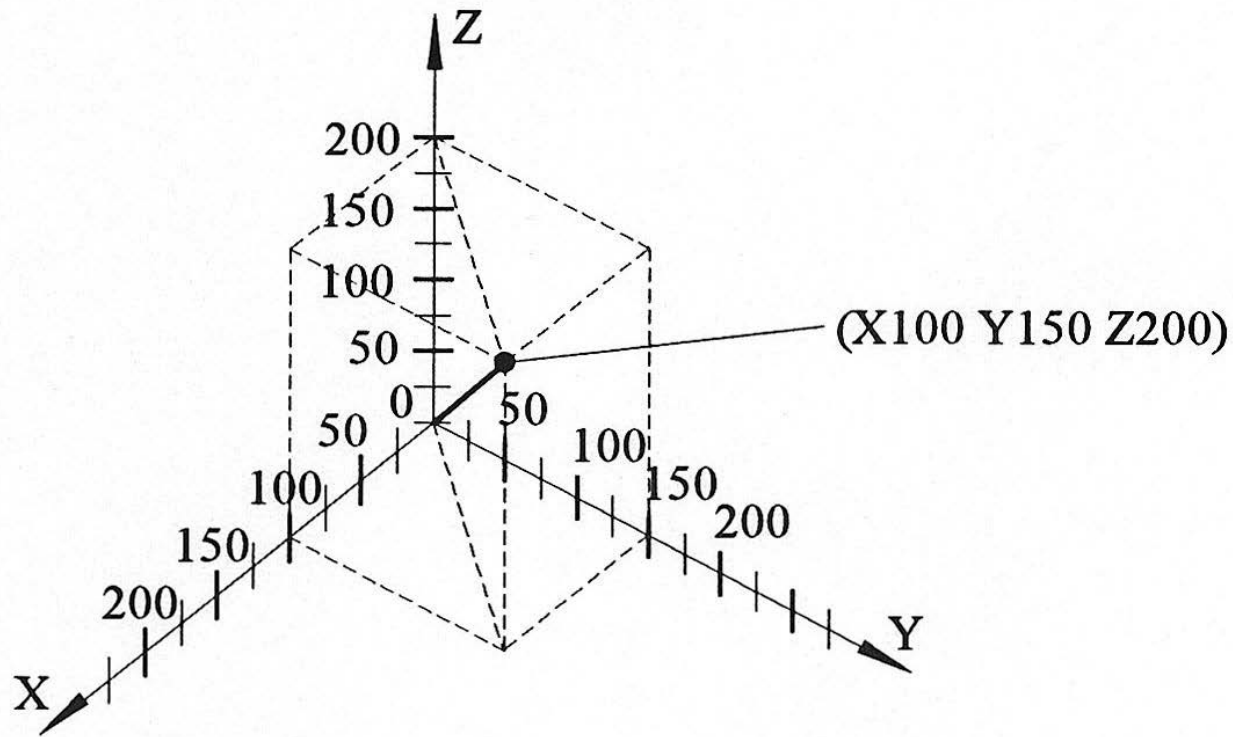
```
N120 G00 X100 Y100  
N130          Y200  
N140          Z50
```



```
N120 G00 X100  
N130          Y200  
N140          Z50
```

Posibles trayectorias con posicionamiento punto a punto en rápido G00, partiendo del punto X0 Y0 Z0.

G01 Función preparatoria



N70 G01 X100 Y150 Z200

Interpolación lineal G01, partiendo del punto X0 Y0 Z0.

G02 Interpolación circular sentido horario

S2000 F250

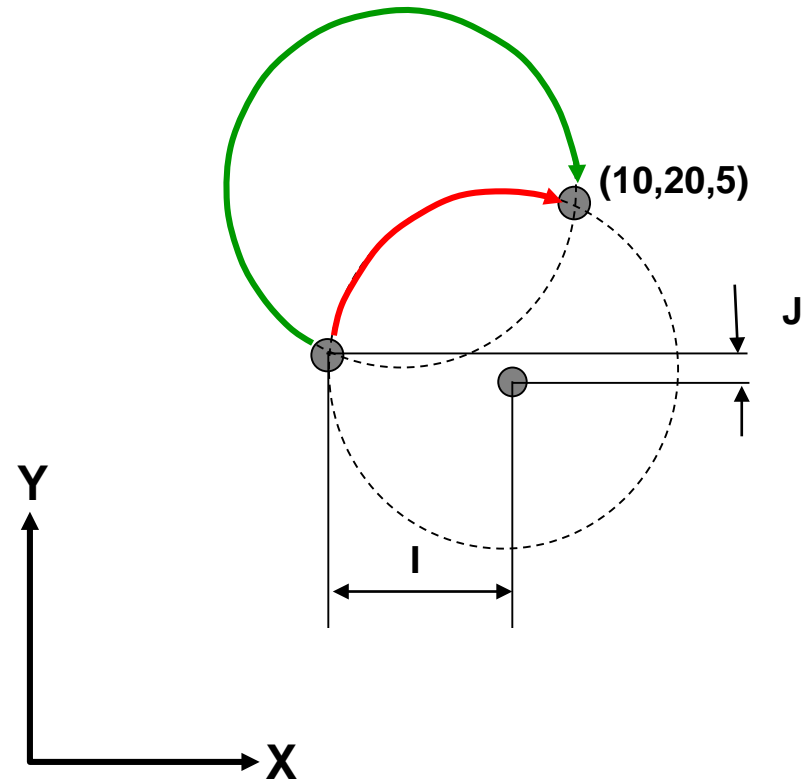
G02 X10 Y20 Z5 R20

S2000 F250

G02 X10 Y20 Z5 R-20

S2000 F250

G02 X10 Y20 Z5 I5 J-1



G03 Interpolación circular sentido antihorario

S2000 F250

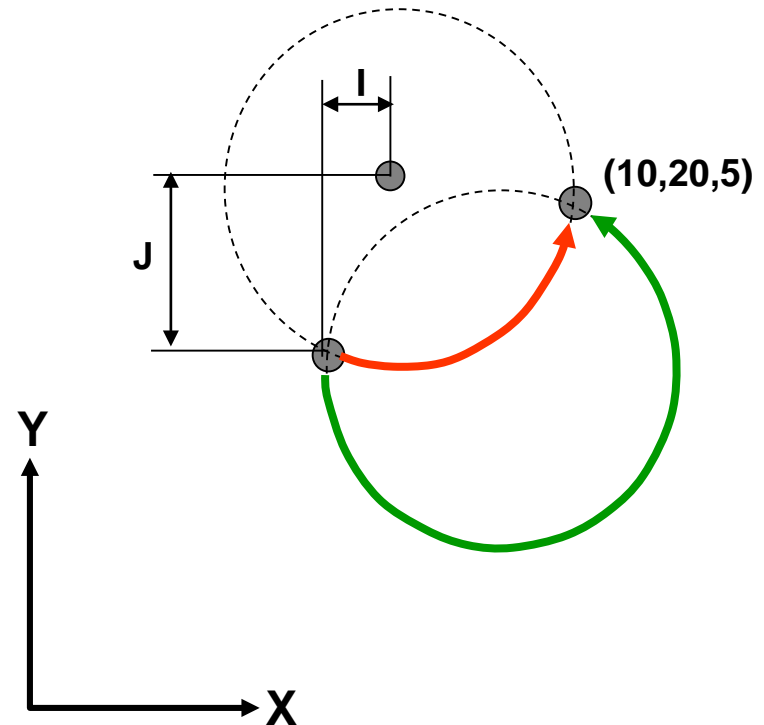
G03 X10 Y20 Z5 R20

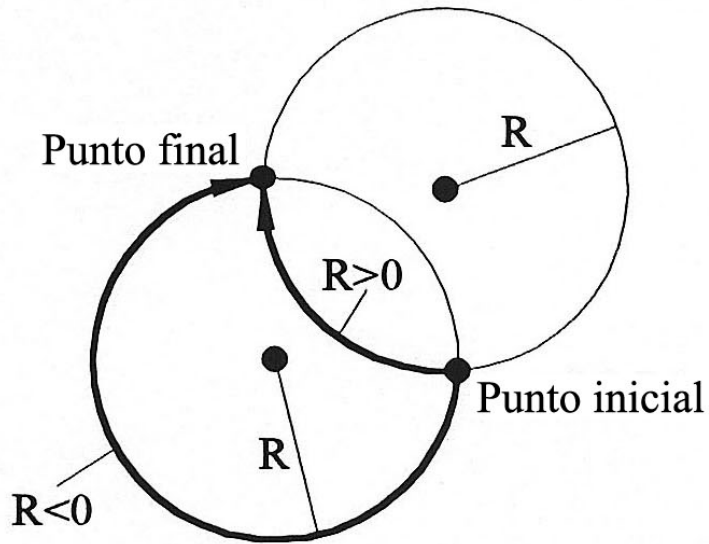
S2000 F250

G03 X10 Y20 Z5 R-20

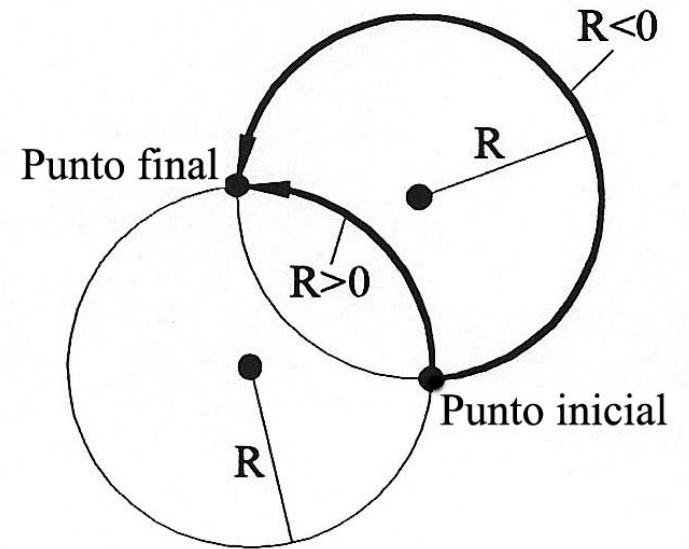
S2000 F250

G03 X10 Y20 Z5 I2 J6





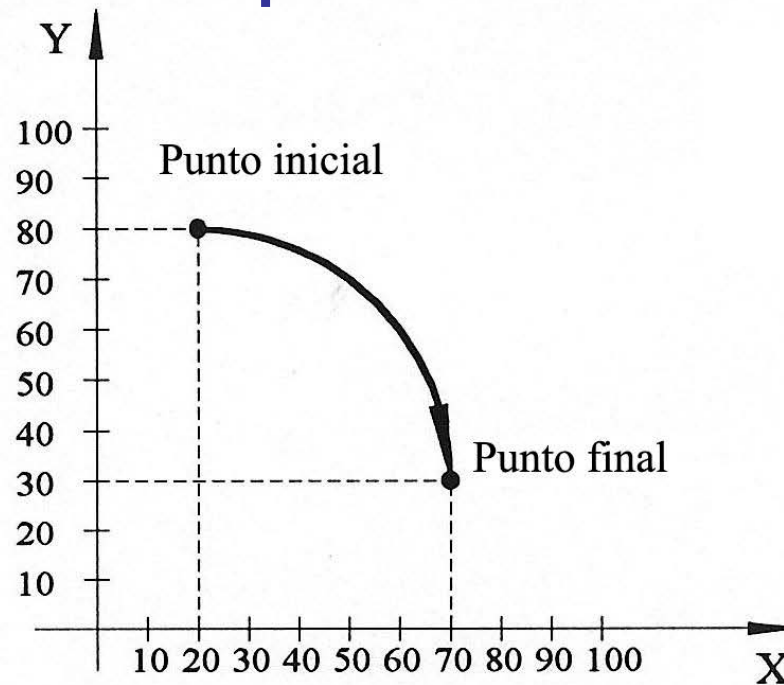
G02



G03

Signo del radio R en las interpolaciones circulares G02 y G03

G90 y G91 en las interpolaciones circulares



Coordenadas absolutas

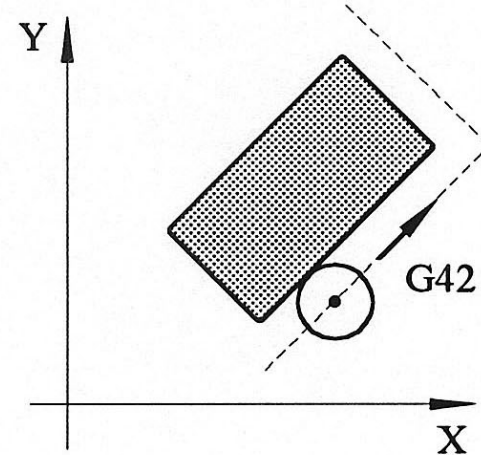
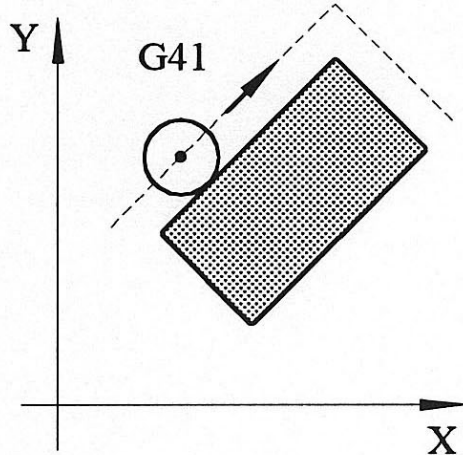
- a) G90 G02 X70 Y30 I0 J-50
- b) G90 G02 X70 Y30 R50

Coordenadas relativas

- a) G91 G02 X50 Y-50 I0 J-50
- b) G91 G02 X50 Y-50 R50

Diferentes formas de programar una misma interpolación circular entre dos puntos

G41/G42 Compensación de radio de herramienta



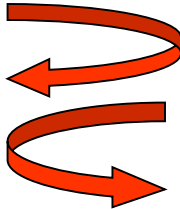

Funciones preparatorias G41 y G42 de compensación o corrección del radio de herramienta

CÓDIGOS DE LAS FUNCIONES PREPARATORIAS G

Extracto de la Norma DIN 66025, página 2, Febrero 1972

Código	Función	Código	Función
G00	a Posicionamiento punto a punto	G40	c Anulación de corrección de la herramienta
G01	a Interpolación lineal recta	G41	a c Correcciones de la herramienta
G02	a Interpolación circular en el sentido de las agujas del reloj	G52	
G03	a Interpolación circular en el sentido contrario de las agujas del reloj	G53	d Anulación de compensación en los desplazamientos
G04	Parada temporizada	G54	a d Compensaciones en los desplazamientos
G05	Parada suspensiva	G59	
G06	a Interpolación parabólica	G60	e Parada con precisión 1 (fina)
G07	(Libre provisionalmente)	G61	e Parada con precisión 2 (media)
G08	Aceleración de la velocidad de avance	G62	e Parada rápida (basta)
G09	Desaceleración de la velocidad de avance	G63	Ciclo preparatorio para taladrar
G10		G64	
a	(Libres provisionalmente)	a	(Libres provisionalmente)
G16		G79	
G17	b Selección del plano XY	G80	f Anulación del ciclo fijo de trabajo
G18	b Selección del plano ZX	G81	a f Ciclos fijos de trabajo
G19	b Selección del plano YZ	G89	
G20		G90	h Programación con medidas absolutas
a	(Libres provisionalmente)	G91	h Programación con medidas incrementales o relativas
G24		G92	Desplazamiento programado del punto de referencia
G25		G93	j Codificación del avance en tiempo recíproco
a	(Libres)	G94	j Valoración del avance en mm/min
G29		G95	j Valoración del avance en mm/rev
G30		G96	k Velocidad de corte en m/min
a	(Libres provisionalmente)	G97	k Anulación de G96
G32			
G33	a Roscado de paso constante		
G34	a Roscado de paso creciente		
G35	a Roscado de paso decreciente		
G36			
a	(Libres provisionalmente)		
G39			

▫ *M (Funciones auxiliares):*

Giro Cabezal	$\left\{ \begin{array}{l} M03 \\ M04 \end{array} \right\}$		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #e0e0e0;">S2000 M03</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #e0e0e0;">S2000 M04</div>
Paro Cabezal	M05		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; background-color: #e0e0e0;">M05</div>
Refrigerante	M08	Conexión refrigerante	
	M09	Desconexión refrigerante	
Final de programa	M30		

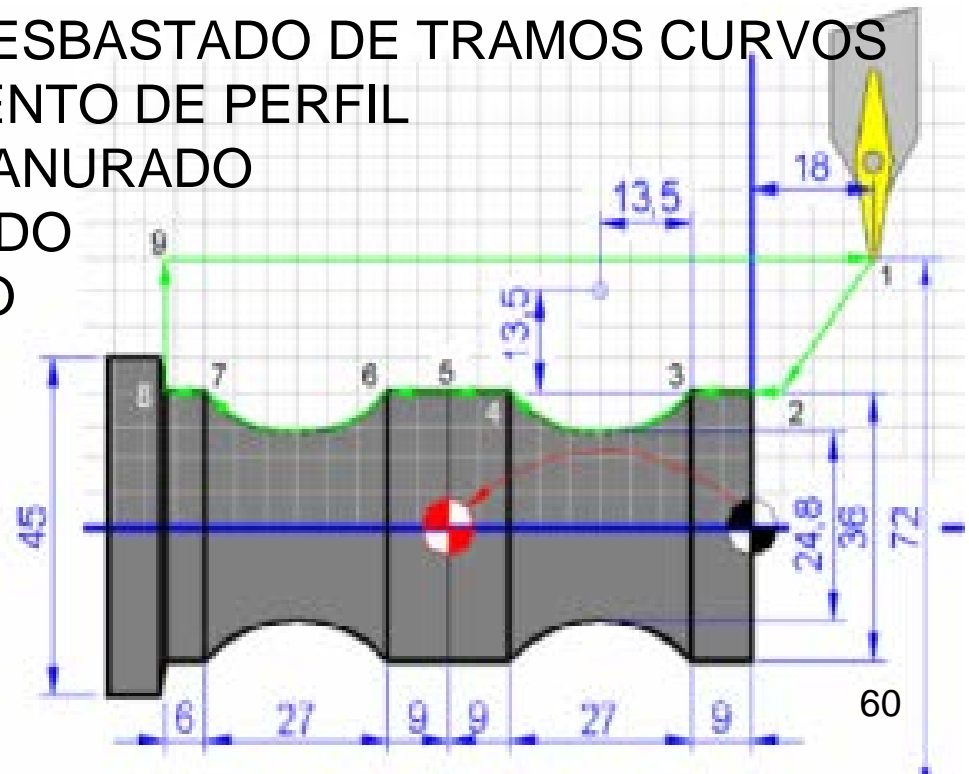
CÓDIGOS DE LAS FUNCIONES AUXILIARES M

Extracto de la Norma DIN 66025, página 2, febrero de 1972

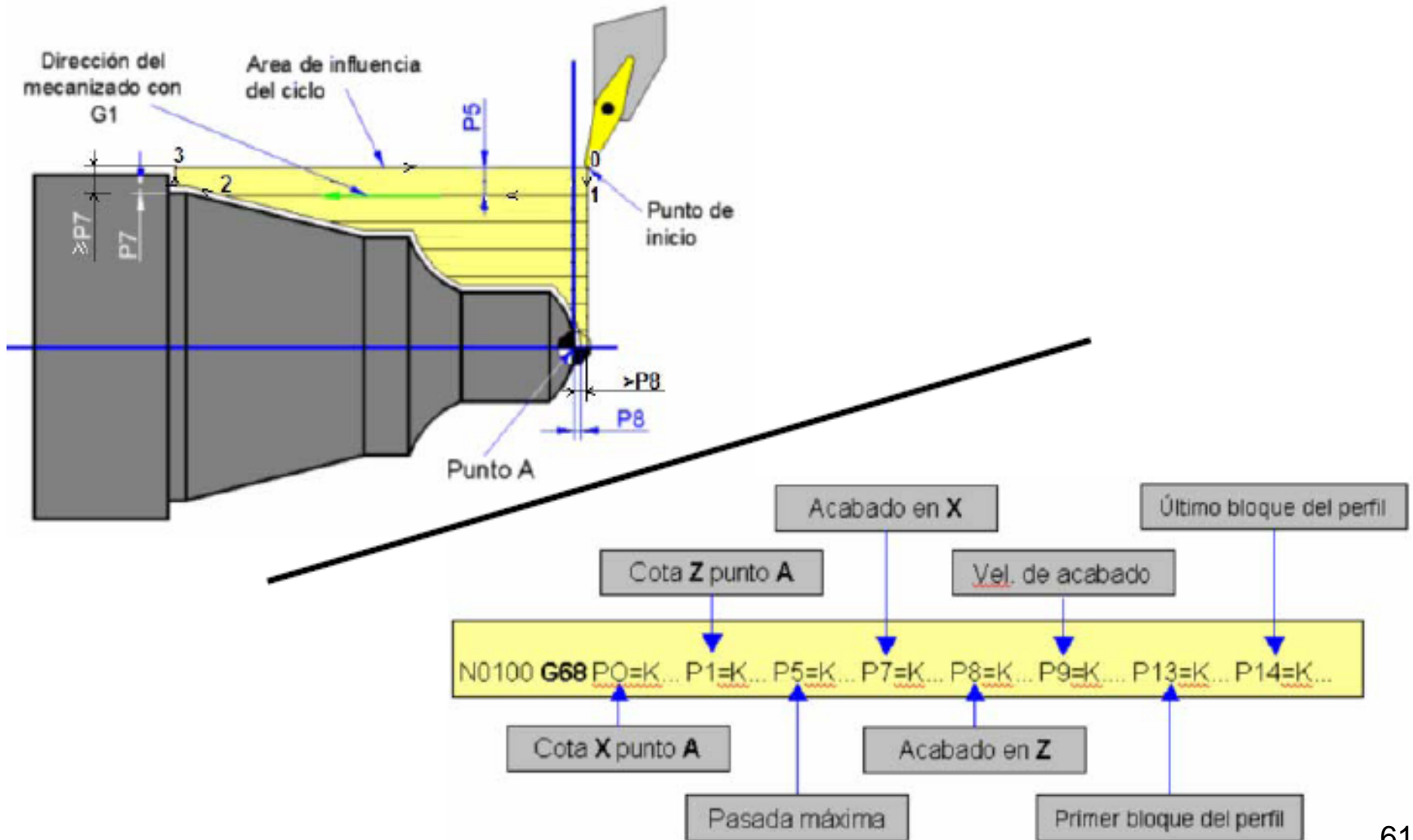
Cód.	Función	Cód.	Función
M00	Parada programada	M36	Gamas de avance 1
M01	Parada opcional	M37	Gamas de avance 2
M02	Fin de programa	M38	Gamas de revoluciones del cabezal 1
M03	Rotación del cabezal en el sentido de las agujas del reloj	M39	Gamas de revoluciones del cabezal 2
M04	Rotación del cabezal en el sentido contrario al de las agujas del reloj	M40	Cambio de engranajes o libras provisionalmente
M05	Parada de la rotación del cabezal	a	
M06	Cambio de herramienta	M45	
M07	Conexión del refrigerante 1	M46	(Libras provisionalmente)
M08	Conexión del refrigerante 2	a	
M09	Desconexión del refrigerante	M49	
M10	Fijar	M50	Conexión del refrigerante 3
M11	Dejar ir	M51	Conexión del refrigerante 4
M12	(Libre provisionalmente)	M52	
M13	Rotación del cabezal en el sentido de las agujas al del reloj y conexión del refrigerante	a	(Libras provisionalmente)
M14	Rotación del cabezal en el sentido contrario de las agujas del reloj y conexión del refrigerante	M54	
M15	Movimiento en dirección positiva	M55	Desplazamiento de la herr. a la posición 1
M16	Movimiento en dirección negativa	M56	Desplazamiento de la herr. a la posición 2
M17		M57	
i	(Libras provisionalmente)	a	(Libras provisionalmente)
M18		M59	
M19	Parada del cabezal en posición final definida	M60	Cambio de pieza
M20		M61	Desplazamiento de la pieza a la posición 1
a	(Libras)	M62	Desplazamiento de la pieza a la posición 2
M29		M63	
M30	Fin de la cinta perforada	a	(Libras provisionalmente)
M31	Anulación de bloqueo	M70	
M32		M71	Desplazamiento giratorio de la pieza a la posición 1
a	(Libras provisionalmente)	M72	Desplazamiento giratorio de la pieza a la posición 2
M35		M73	
		a	(Libras provisionalmente)
		M89	
		M90	
		a	Libras para funciones especiales del usuario
		M99	

PROGRAMACIÓN BÁSICA DE TORNOS DE CNC. CICLOS FIJOS EN TORNO

1. G68, G69. CICLOS FIJOS DE DESBASTADO
2. G81, G82. CICLOS FIJOS DE DESBASTADO DE TRAMOS RECTOS
3. G84, G85. CICLOS FIJOS DE DESBASTADO DE TRAMOS CURVOS
4. G66. CICLO FIJO DE SEGUIMIENTO DE PERFIL
5. G88, G89. CICLOS FIJOS DE RANURADO
6. G83. CICLO FIJO DE TALADRADO
7. G86. CICLO FIJO DE ROSCADO



Ciclo fijo de desbaste en X



Ciclo fijo de desbaste en X

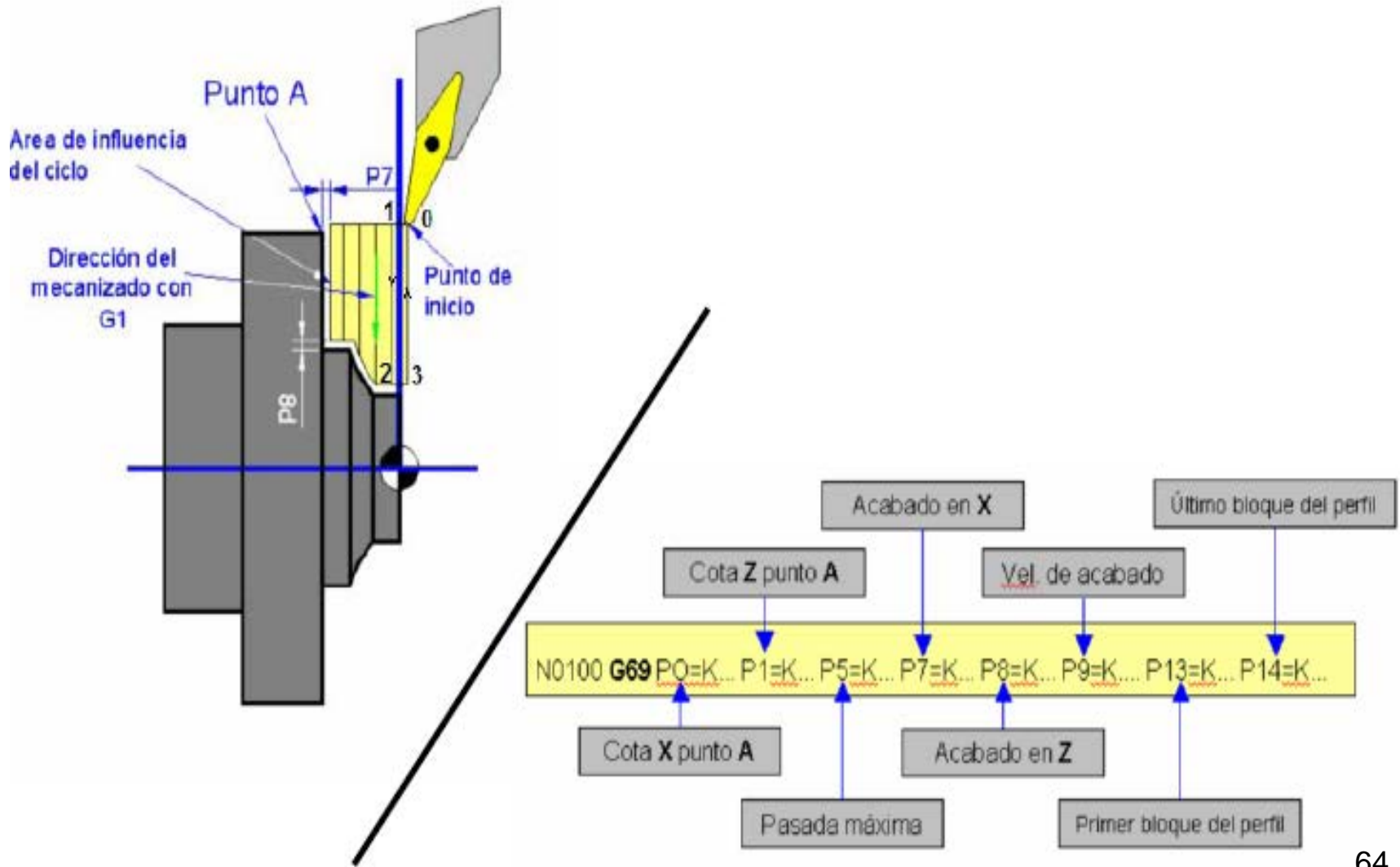
SIGNIFICADO DE LOS PARÁMETROS.

- P0 es la coordenada X de A (punto inicial del perfil).
- P1 es la coordenada Z de A.
- P5 es el espesor máximo de material eliminado entre pasadas. El espesor real será la cantidad total de material dividido entre el número de pasadas.
- P7. Sobreespesor para el acabado en el eje X.
- P8. Sobreespesor para el acabado en el eje Z.
- P9. Velocidad de avance de la pasada de acabado.
 - Si se indica valor 0, no se realizará pasada de acabado, pero se realizará una pasada final de desbaste dejando tras el ciclo los sobreespesores P7 y P8.
 - Si se indica un valor negativo, no se realiza la pasada de acabado ni la final de desbaste.
- P13 es el número del primer bloque de definición del perfil.
- P14 es el número del último bloque de definición del perfil.

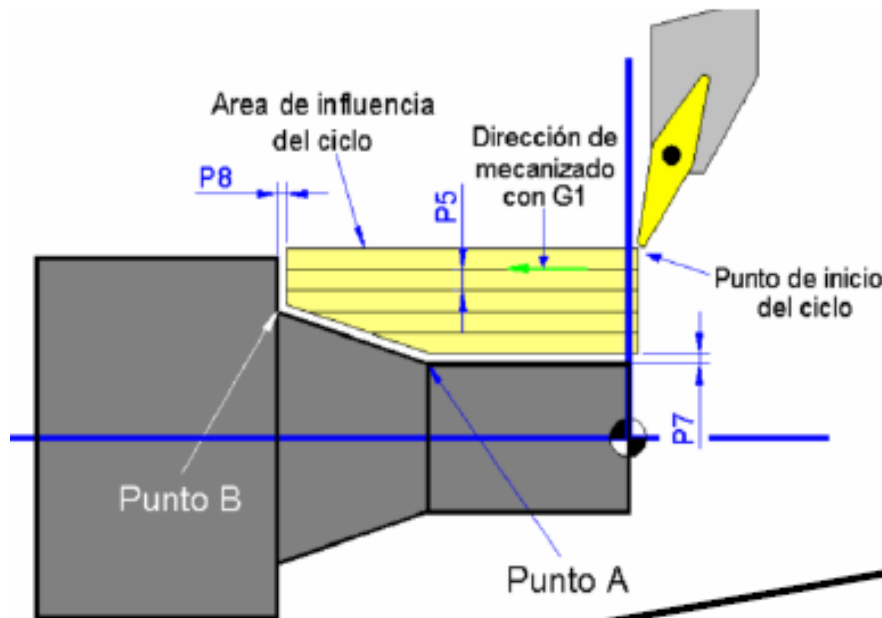
Ciclo fijo de desbaste en X

- Al llamar al ciclo, la herramienta tiene que estar posicionada en el punto inicial (punto 0).
- En la definición del perfil no hay que programar el punto inicial A, puesto que ya está definido por los parámetros P0 y P1.
- Las condiciones de mecanizado (F, S...) deben programarse antes de la llamada al ciclo o en el mismo bloque. Las condiciones de salida son G00 y G90.
- El perfil puede estar formado por tramos rectos y curvos. Todos los bloques de definición del perfil se programarán en cartesianas, indicando siempre las coordenadas de los 2 ejes en forma absoluta.
- Si el perfil dispone de tramos curvos, estos deben programarse con las coordenadas I, K del centro, con respecto al punto inicial de arco.
- Si en la definición del perfil se programan funciones F, S, T ó M, serán ignoradas salvo en la pasada de acabado.
- El ciclo finaliza en el punto en que se encontraba inicialmente la herramienta (punto 0).
- Se puede trabajar con compensación de radio de herramienta (G41 o G42) siempre que el último movimiento antes de la llamada del ciclo fijo haya sido en G00.
- Los desplazamientos de punto 1 al 2 y del 2 al 3 se efectúan a la velocidad de avance programada, mientras que del 0 al 1 y del 3 al 0 se efectúan en rápido.

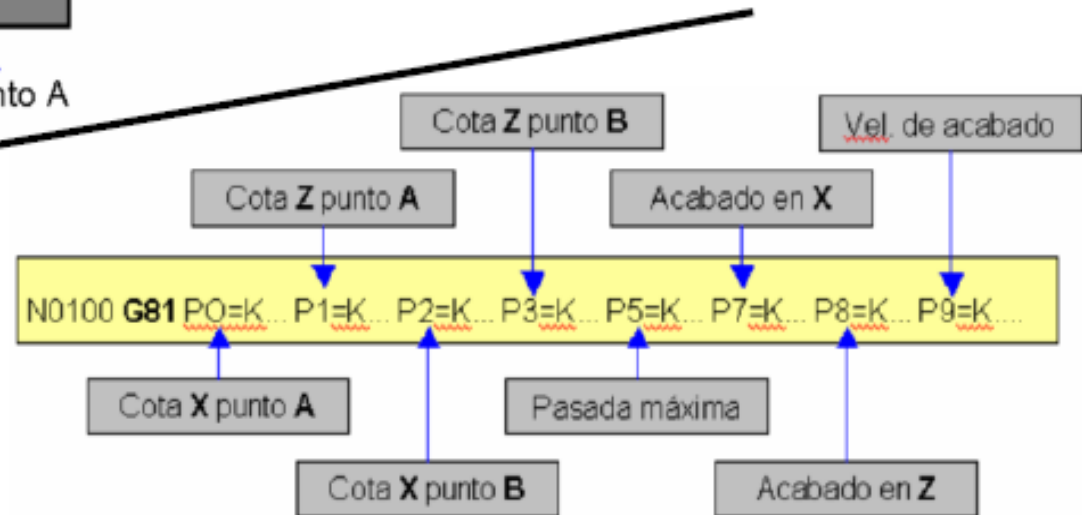
Ciclo fijo de desbaste en Z



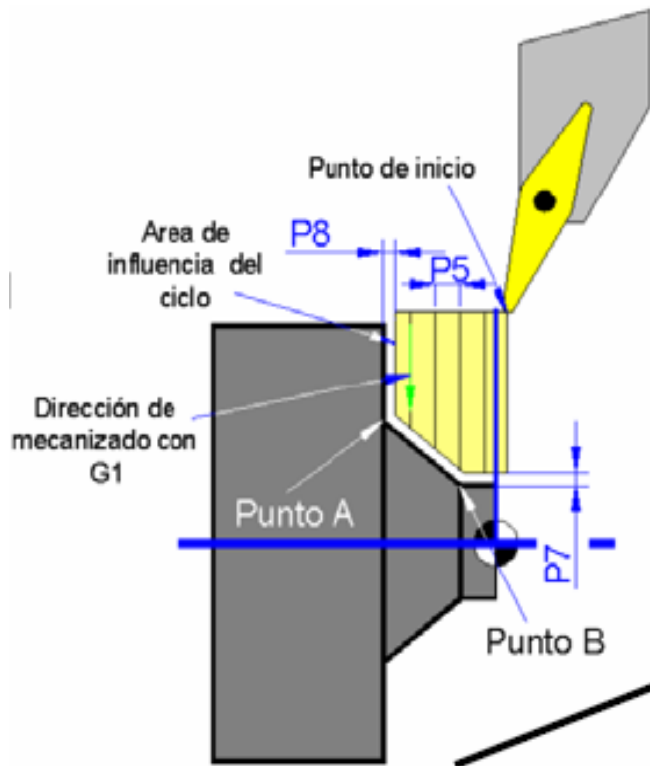
Ciclo fijo de torneado en tramo recto



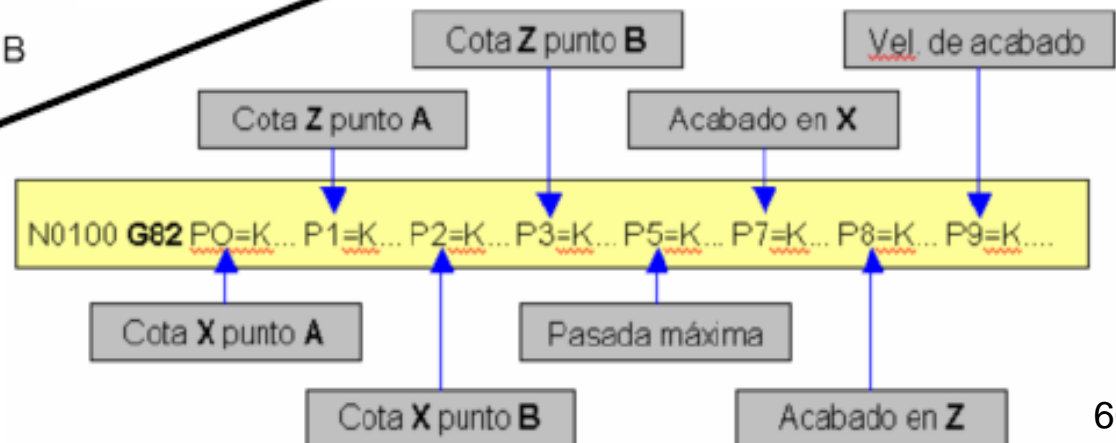
- El ciclo comienza a partir de la posición inicial de la herramienta.
- Si se indica pasada de acabado, el ciclo finaliza en el punto de inicio. En caso contrario, finaliza en el punto inicial de la última pasada.



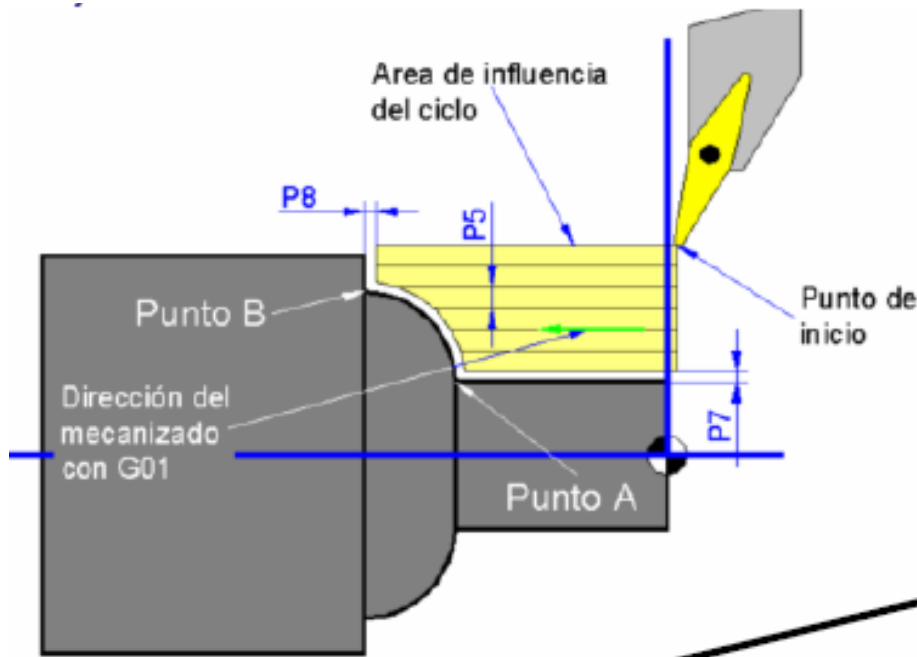
Ciclo fijo de refrentado en tramo recto



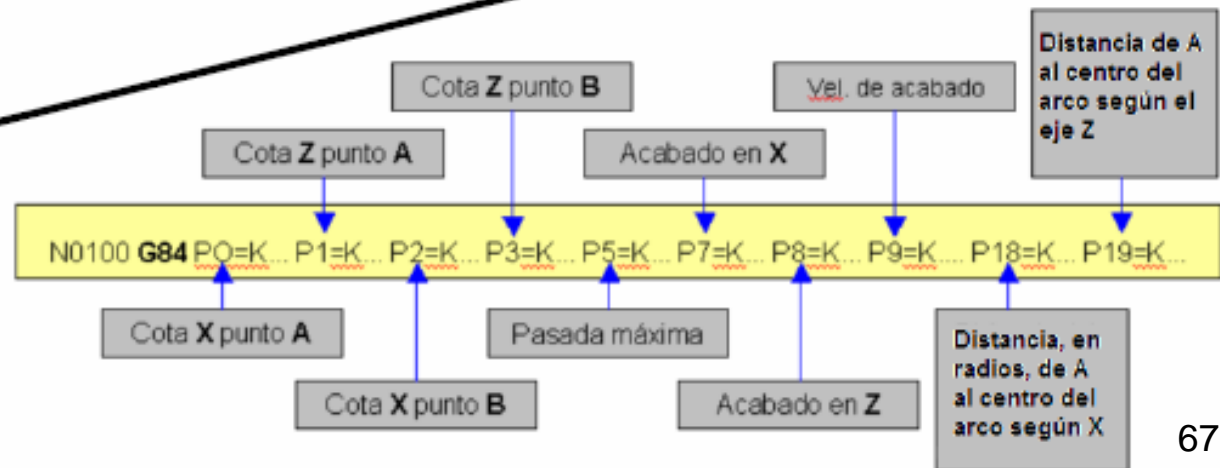
- El ciclo comienza a partir de la posición inicial de la herramienta.
- Si se indica pasada de acabado, el ciclo finaliza en el punto de inicio. En caso contrario, finaliza en el punto inicial de la última pasada.



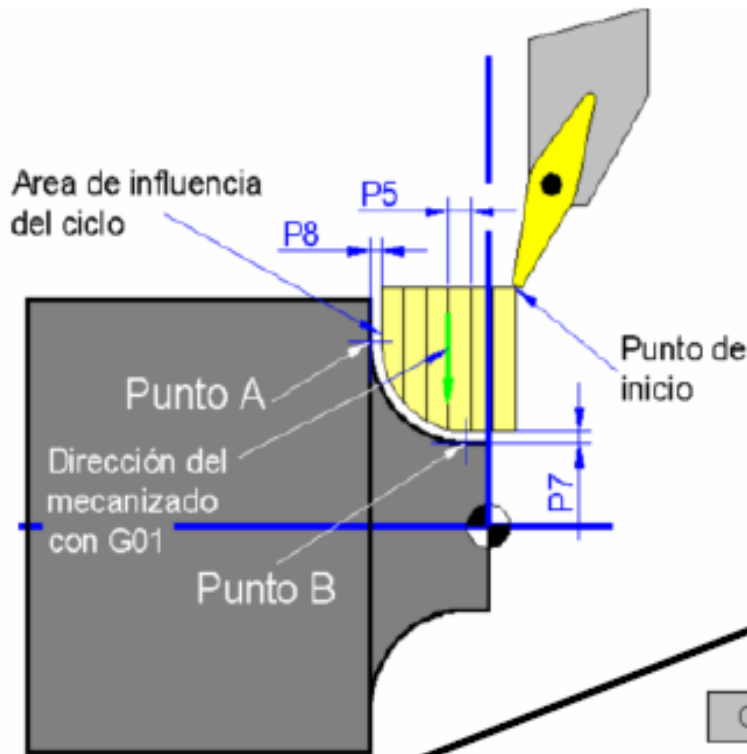
Ciclo fijo de torneado en tramo curvo



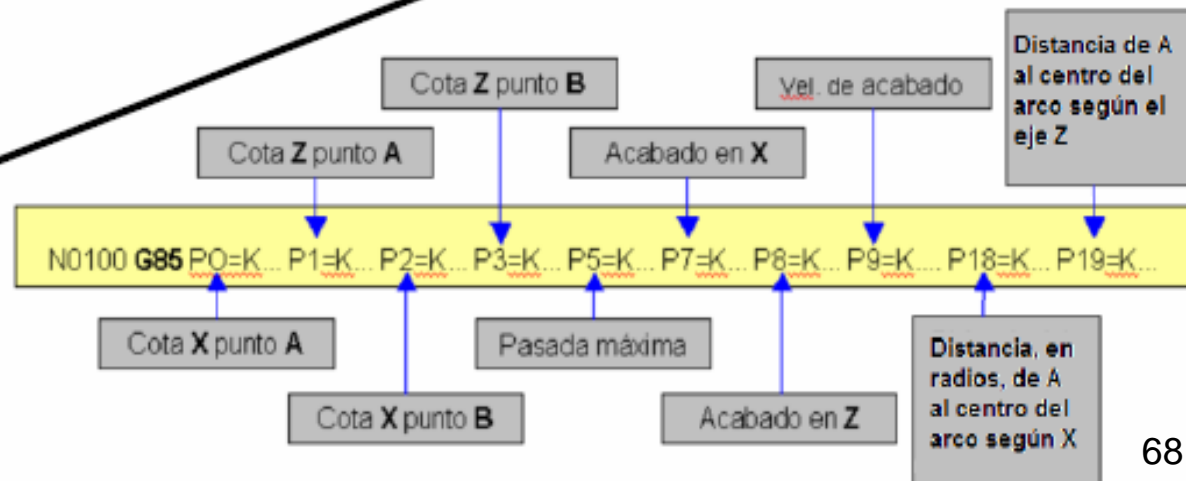
- El ciclo comienza a partir de la posición inicial de la herramienta.
- Si se indica pasada de acabado, el ciclo finaliza en el punto de inicio. En caso contrario, finaliza en el punto inicial de la última pasada.



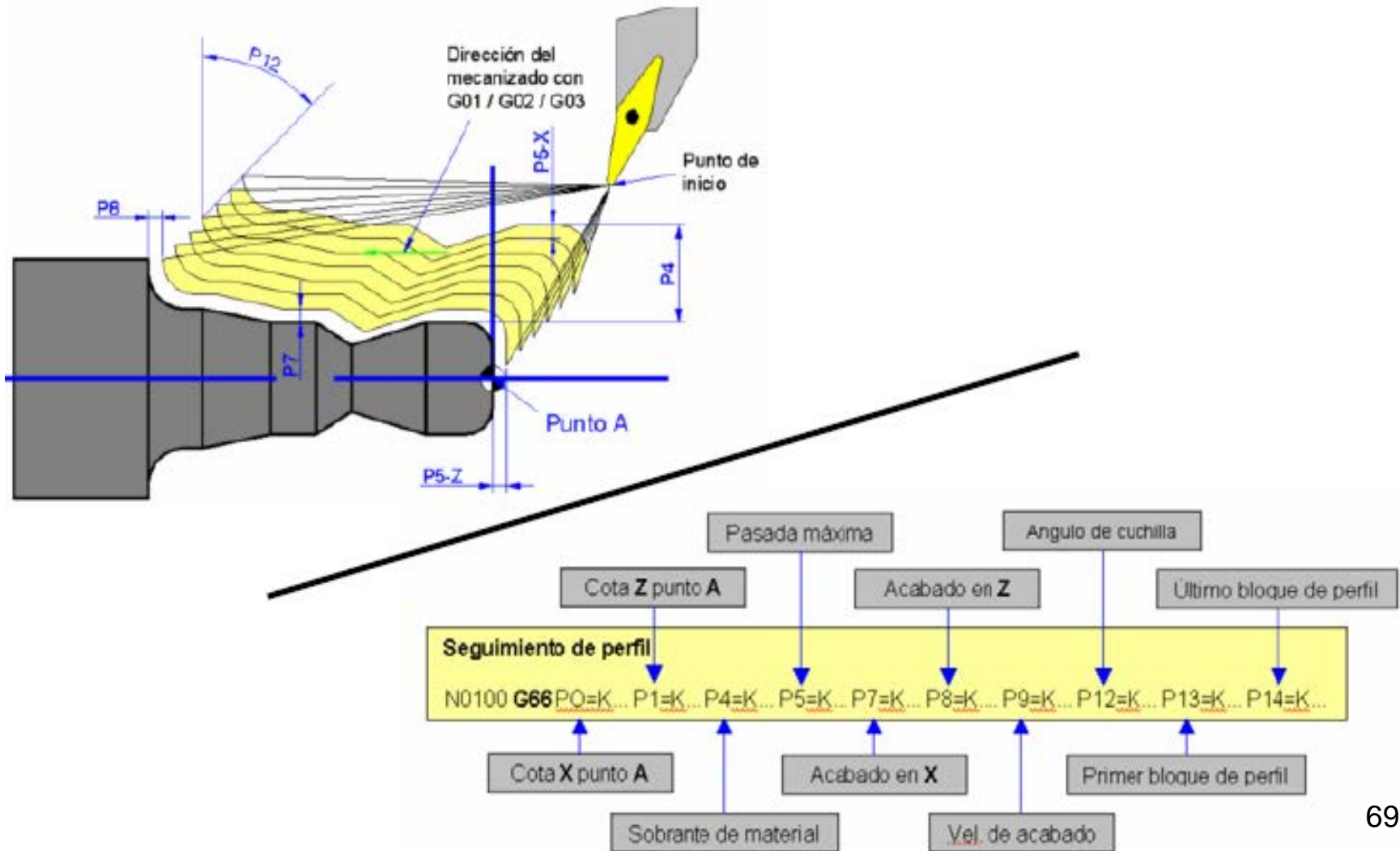
Ciclo fijo de refrentado en tramo curvo



- El ciclo comienza a partir de la posición inicial de la herramienta.
- Si se indica pasada de acabado, el ciclo finaliza en el punto de inicio. En caso contrario, finaliza en el punto inicial de la última pasada.



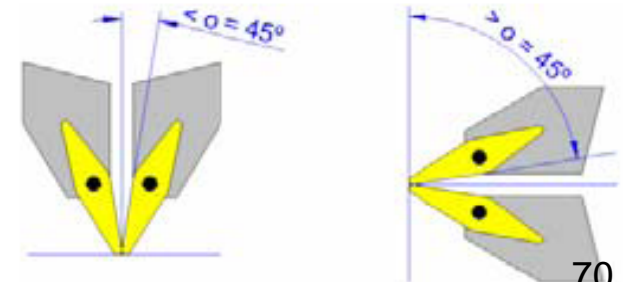
Ciclo fijo de seguimiento de perfil



Ciclo fijo de seguimiento de perfil

SIGNIFICADO DE LOS PARÁMETROS.

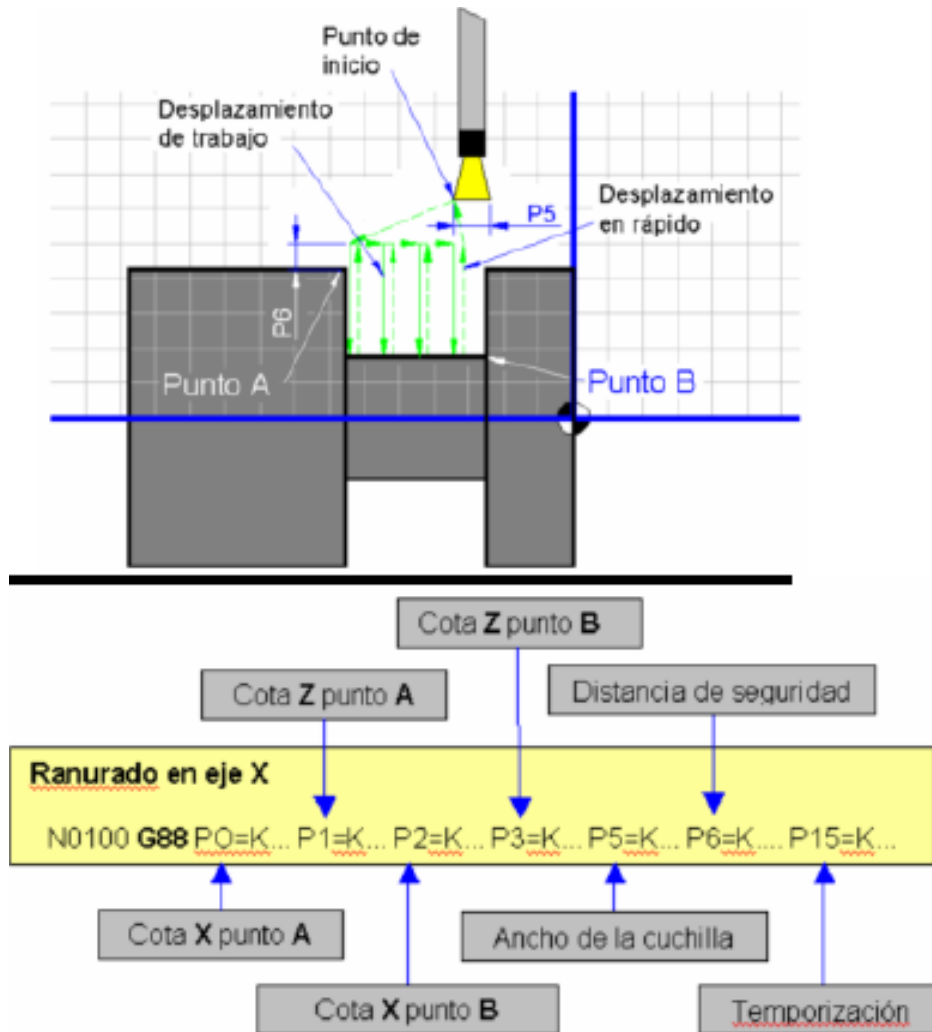
- P0 es la coordenada X de A (punto inicial del perfil).
- P1 es la coordenada Z de A.
- P4 es el sobrante total de material a eliminar de la pieza.
 - Si la pieza a mecanizar es de fundición, será la parte en exceso de la pieza. Si se parte de un bruto cilíndrico, será la diferencia entre el diámetro del bruto y el diámetro menor del perfil.
 - Debe ser mayor o igual que el sobreespesor para el acabado.
 - Se interpretará como sobrante en X o en Z dependiendo del valor de P12.
- P5. Pasada máxima. Será en X o Z dependiendo del valor de P12.
- P7. Sobreespesor para el acabado en el eje X.
- P8. Sobreespesor para el acabado en el eje Z.
- P9. Velocidad de avance de la pasada de acabado. Si se indica valor 0, no se realizará pasada de acabado.
- P12. Es el ángulo de corte de la herramienta.
Si es menor o igual a 45° se interpretará como sobrante de material en X, y si es mayor a 45° , como sobrante en Z.
- P13 es el número del primer bloque de definición del perfil.
- P14 es el número del último bloque de definición del perfil.



Ciclo fijo de seguimiento de perfil

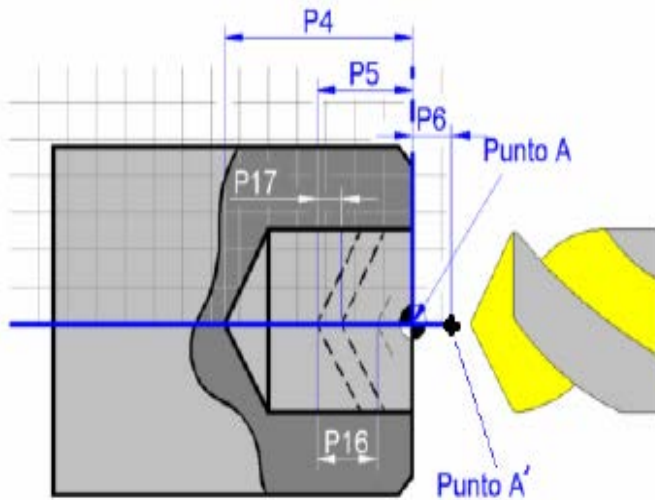
- Al llamar al ciclo, la herramienta tiene que estar posicionada en el punto de inicio, cuyas coordenadas X y Z deben ser diferentes de las del punto A.
- En la definición del perfil no hay que programar el punto inicial A, puesto que ya está definido por los parámetros P0 y P1.
- Las condiciones de mecanizado (F, S...) deben programarse antes de la llamada al ciclo o en el mismo bloque. Las condiciones de salida son G00 y G90.
- El perfil puede estar formado por rectas, arcos, redondeos, entradas tangenciales, salidas tangenciales y chaflanes, en programación absoluta o en incremental.
- Dentro de la definición del perfil no puede ir ninguna función T.
- Los movimientos de aproximación y alejamiento se hacen en rápido y los demás a la velocidad programada.
- El ciclo finaliza en el punto en que la herramienta estaba posicionada inicialmente.
- Se puede trabajar con compensación de radio de herramienta (G41 o G42).

Ciclo fijo de ranurado en X



- Las condiciones de mecanizado (F, S...) deben programarse antes de la llamada al ciclo.
- Las condiciones de salida son G00, G40 y G90.
- El desplazamiento desde la distancia de seguridad hasta el fondo de la ranura se efectúa a la velocidad programada. Los demás movimientos en rápido.
- El paso real calculado por el control será menor o igual que la anchura de la cuchilla.
- El ciclo finaliza en el punto en que estaba situada la herramienta inicialmente.

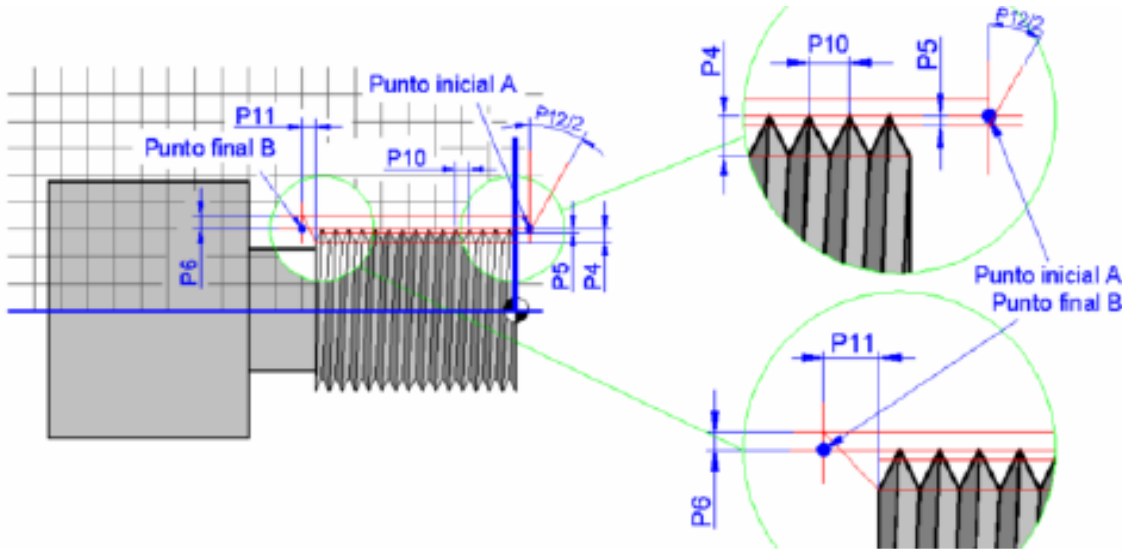
Ciclo fijo de taladrado



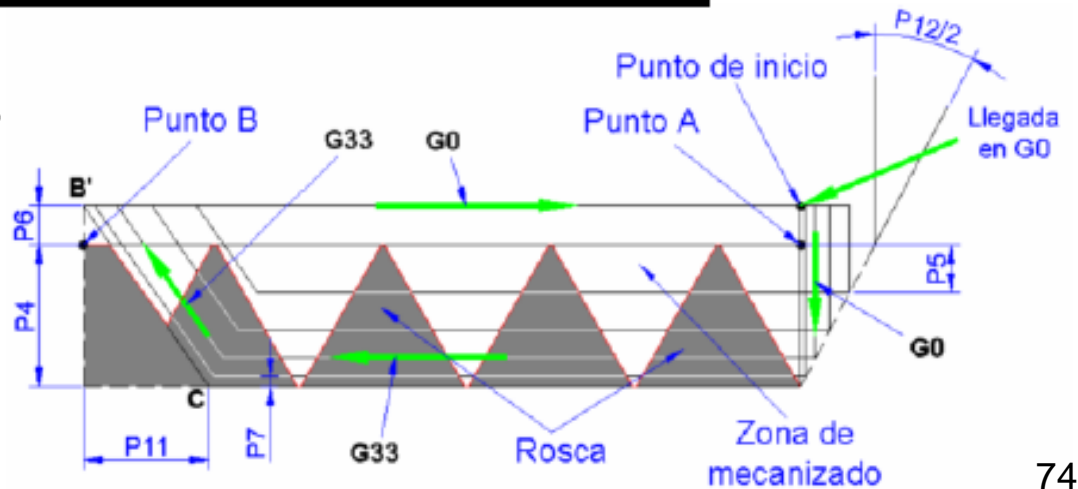
- P5 es la pasada máxima, la profundidad que realizará la broca antes de volver atrás para descargar material y refrigerarse.
- P6. Es la distancia de seguridad a la que se posiciona la herramienta en el movimiento de acercamiento.
- P15. Valor en segundos que la broca estará en el fondo para poder eliminar todo el material.
- P16. Valor incremental del desplazamiento en rápido que tiene lugar tras cada pasada. Si es 0, vuelve a la distancia de seguridad.
- P17. Indica hasta que distancia de la profundidad alcanzada en la pasada anterior debe efectuarse acercamiento en rápido.
- Las condiciones de salida son G00, G07, G40 y G90.
- El ciclo comienza con un acercamiento en rápido al punto A' y finaliza en el mismo punto.



Ciclo fijo de roscado

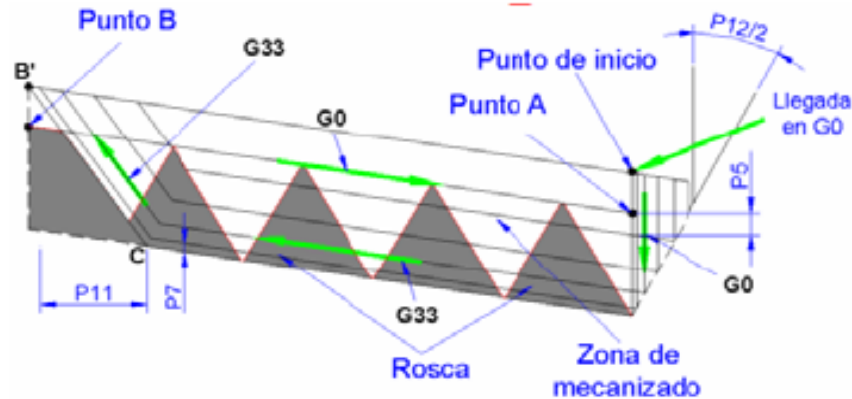


ROSCADO CILÍNDRICO:



Ciclo fijo de roscado

ROSCADO CÓNICO:



FORMATO G86:



- Las condiciones de mecanizado deben programarse antes de la llamada al ciclo.
- Las condiciones de salida son G00, G07, G40, G90.
- El ciclo comienza con un acercamiento en rápido al punto de inicio y finaliza también en dicho punto.

Ciclo fijo de roscado

SIGNIFICADO DE LOS PARÁMETROS.

- P0 = XA (Punto inicial de la rosca).
- P1 = ZA.
- P2 = XB (Punto final de la rosca).
- P3 = ZB.
- P4 = Profundidad de la rosca (en radios).
En las roscas exteriores es positivo y en interiores negativo.

Plaquita de perfil parcial



Plaquitas de perfil completo



- Plaquetas perfil completo: $P4 = h = 0.6134 \cdot p$.
- Plaquetas perfil parcial: $P4 = h + A_f = 0.6134 \cdot p + 0.1443 \cdot (p - p_{\min})$
- P5 = Profundidad de la primera pasada de roscado. Las sucesivas pasadas dependen del signo de P5.
 - Si es positivo, la profundidad de las sucesivas pasadas será $P5 \cdot \sqrt{2}, P5 \cdot \sqrt{3}, \dots, P5 \cdot \sqrt{n}$ hasta alcanzar la profundidad de acabado. Esto significa que cada pasada tendrá menor profundidad que la anterior. El volumen de viruta arrancado será constante.
 - Si es negativo, la profundidad de cada pasada será la misma (e igual al valor indicado en P5) hasta alcanzar la profundidad requerida.

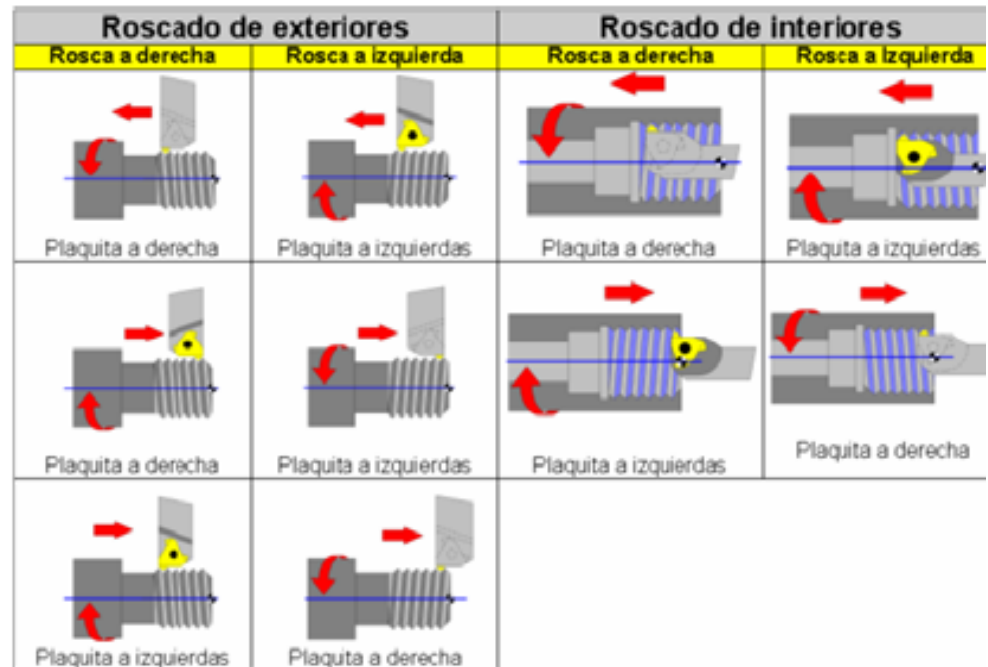
Número de pasadas en función del paso:

p (mm)	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.5	3	3.5	4	6
Pasadas	4-6	4-8	4-8	5-9	6-10	7-12	7-12	8-14	10-16	11-18	11-18	12-20

Ciclo fijo de roscado

SIGNIFICADO DE LOS PARÁMETROS.

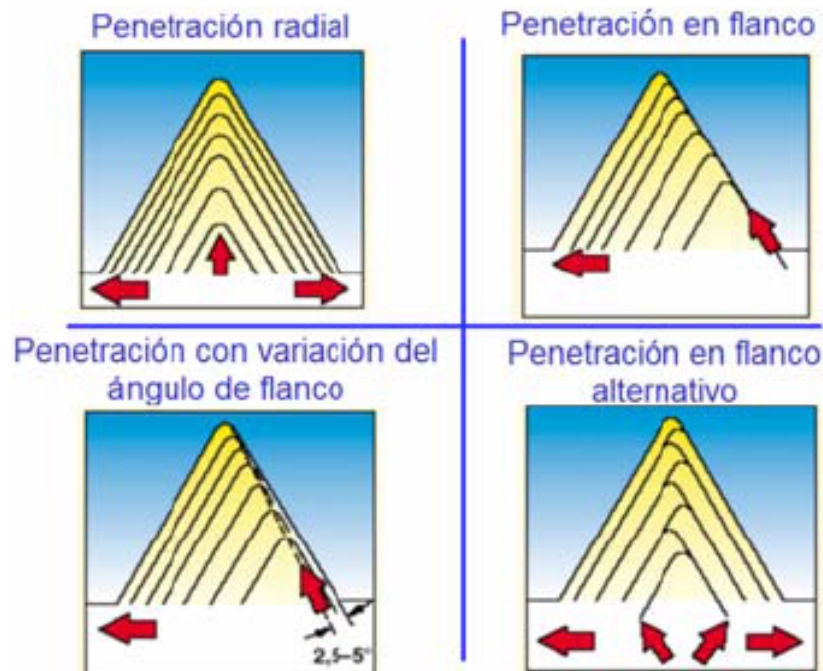
- P6 = Distancia de seguridad (en radios). Indica a que distancia, en el eje X, del punto inicial de la rosca se posiciona la herramienta en el movimiento de acercamiento. También es la distancia a la que se vuelve tras cada pasada de roscado.
- P7 = Demasía para el acabado (en radios).
 - Si es positiva, la pasada de acabado se realiza manteniendo el ángulo P12/2 con el eje X.
 - Si es negativa, la pasada de acabado se realiza con entrada radial.
 - Si es cero, se repite la pasada anterior, es decir, realizará una pasada de cepillado ayudando a dejar un mejor acabado en las paredes de los flancos.
- P10 = Paso de rosca en Z. Para la programación de roscas a derechas o a izquierdas se utilizará el sentido de giro del husillo con M03 y M04



Ciclo fijo de roscado

SIGNIFICADO DE LOS PARÁMETROS.

- P11 = Salida de la rosca. Define a qué distancia del final de la rosca (punto B) según el eje Z comienza la salida de la misma.
 - Si es positivo, el tramo CB' es una rosca cónica cuyo paso en Z es el definido en P10.
 - Si es cero, el tramo CB' es perpendicular al eje Z y se realiza en G00.
- P12 = Ángulo de la herramienta. Las sucesivas pasadas formarán un ángulo $P12/2$ con el eje X. Los tipos de entrada son los siguientes:





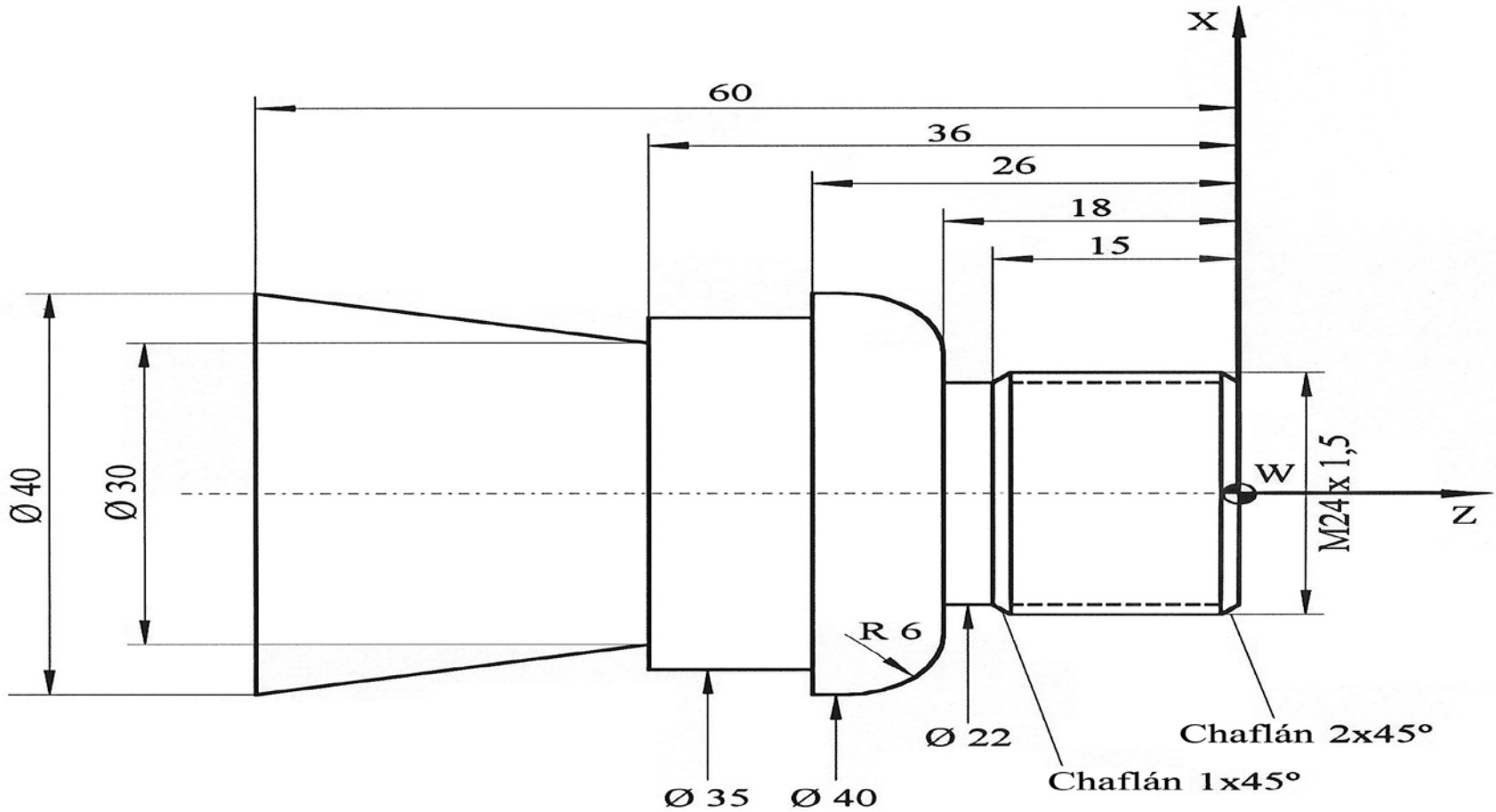
Control Numérico Problemas

1. Ejemplo de ruta tecnológica
2. Ejemplos de programas de CNC





1. Ejemplo de pieza a mecanizar en un Torno CNC

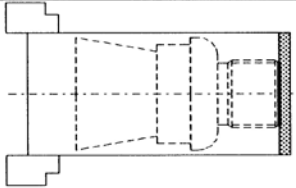

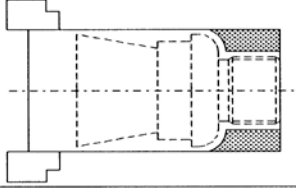

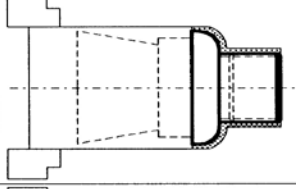
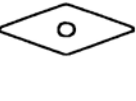
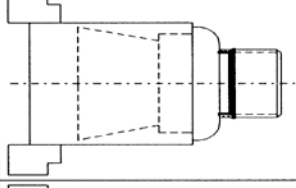
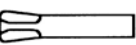
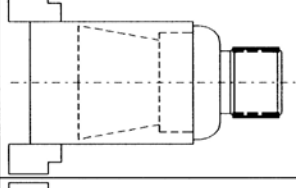
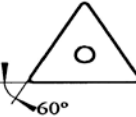
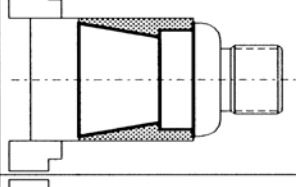
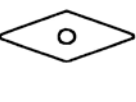
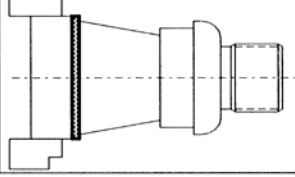



Material: Acero al carbono F-114 normalizado, $60 \div 75 \text{ kg/mm}^2$.
 Material de partida: Cilindro de 42 mm de diámetro.

Pieza 2 para mecanizar en torno



Ruta Tecnológica previa al programa de CNC

Operación	Descripción.	Herr.	Corr.	Ref. Herr.	S m/min	F mm/rev.	Esquema Herr.
	A Refrentado	T7	D5	Herramienta de desbaste. Plaquita DNMG 15 06 08 P KC990 KENNAMETAL	150	0,1	
	B Desbaste parte delantera	T7	D5	Herramienta de desbaste. Plaquita DNMG 15 06 08 P KC990 KENNAMETAL	150	0,2	
	C Acabado parte delantera	T4	D17	Herramienta de acabado. Plaquita VNMM 16 04 04 KC810 KENNAMETAL	250	0,1	
	D Ranurado de salida de rosca + achaflanado	T5	D19	Herramienta de ranurar y cilindrar de ancho 3 mm. TGMF 304 IC825 ISCAR	90	0,1	
	E Roscado M24x2	T1	D8	Herramienta de desbaste. Plaquita DNMG 15 06 08 P KC990 KENNAMETAL	100		
	F Torneado cónico + cilindrado	T8	D16	Herramienta de acabado. Plaquita VNMM 16 04 04 KC810 KENNAMETAL	250	0,1	
	G Segado	T3	D9	Herramienta de segar de ancho 3,1 mm GP 31R KC921 KENNAMETAL	80	0,05	

- Programa de CN para la Operación de Refrentado de la pieza

%1100 (Nombre del PROGRAMA DE CN)

N10 G54

N20 G0 X200 Z200 (A: REFRENTADO JUSTO A LIMPIO)

N30 T7 D5

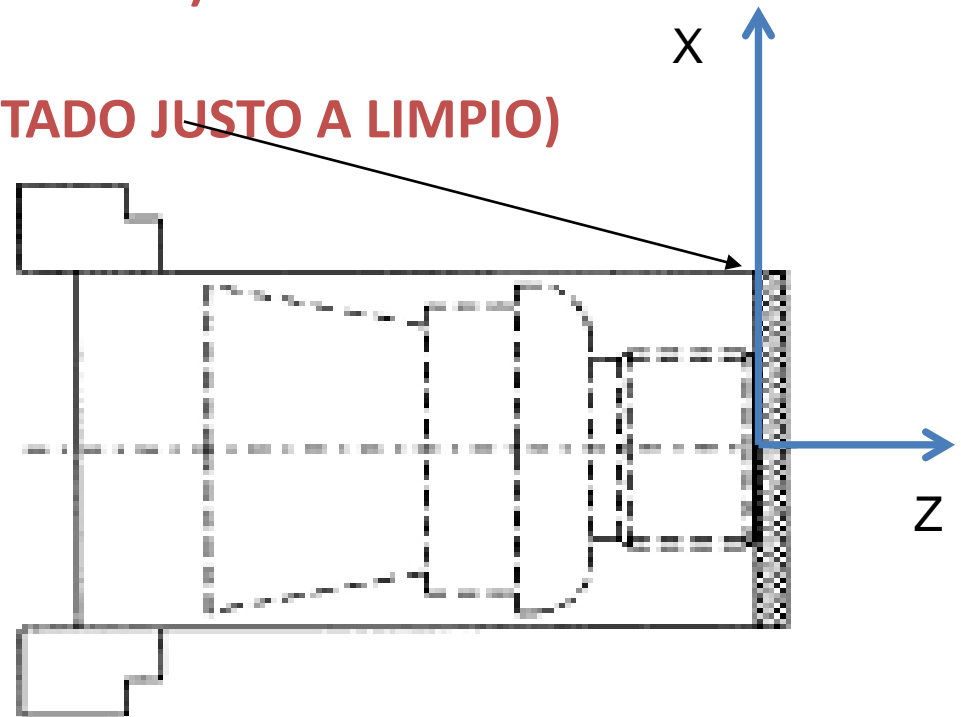
N40 S3000

N50 G92 G96 S150 M4 M14

N60 G0 X44 Z0

N70 G1 X-1 F0.1

N80 G0 X45 Z2



2. Ejemplo de pieza a mecanizar en un Torno CNC

- Ejemplo elaboración del contorno de la pieza empleando las funciones de programación G00, G01, a partir de una pieza bruta de L=150mm d= 85.

%1101 (Nombre del PROGRAMA DE CN)

N10 G54

N20 T1 D1

N30 G00 G71 G90 G95 G96 X0 Z1 F0.15 S100 M04 M41

N40 G01 Z0

N50 X70

N60 Z-70

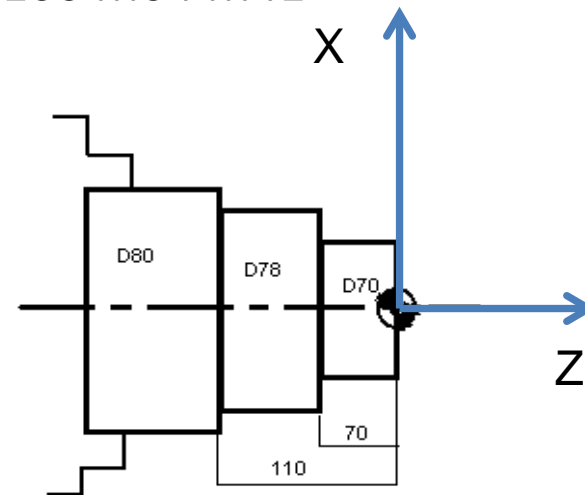
N70 X78

N80 Z-110

N90 X80

N100 G00 X90 Z40

N110 M30





www.upc.edu

- **N10 T1 D1** Primera línea de programa, en ella se hace la llamada a la primera herramienta (T), el primer 1 indica primera posición en el porta herramienta, D1, corrector de herramienta donde aparecen el ancho, largo, radio de la punta y forma de la herramienta.
- **N20 G00 G71 G90 G95 G96 X1 Z0 F0,15 S100 M41 M03**
- **N20** Es la segunda línea de programa, se toma con 10 de diferencia para permitir posteriores cambios en el programa. En esta línea se establecen las condiciones bajo las cuales se realizará el proceso de mecanizado, por medio de las funciones preparatorias.
- **G00:** Función preparatoria que indica desplazamientos rápidos sin control de trayectoria, sólo se define el punto a alcanzar. No se puede utilizar para cortar.
- **G71:** Esta función indica que las unidades que aparecen en el programa, para distancias, avances y velocidades se asumen en sistema métrico. La función es modal, o sea, cuando se programa se mantiene activada hasta que se anule.
- **G90:** Función preparatoria que indica trabajo en coordenadas absolutas. Todas las coordenadas son referidas al mismo origen (cero pieza). En el caso del torneado, centro y cara derecha de la pieza. G91 función complementaria para la programación en coordenadas incrementales, todas las coordenadas están referidas al punto final del desplazamiento anterior. Ambas funciones son modales e incompatibles. G90 es función de encendido. Al encender la máquina el control “despierta” con G00. No es obligatorio declararla cuando se va a trabajar en coordenadas absolutas.
- **G95:** Indica que el avance programado como F se asume en mm/rev. Es modal y de encendido.
- **G96:** Indica que la velocidad programada como S se asume en m/min es modal. La función G97 es la complementaria que indica que el control trabajará en rpm. Son incompatibles y G97 es de encendido.



- **G01:** Es la función que indica interpolación lineal y exige la programación de un valor de avance de trabajo, la trayectoria es definida por la línea recta que une el punto de partida y el punto declarado por (X,Z). Es incompatible con G02 y G03 interpolaciones circulares y con G33 roscado. Todas las referidas aquí son modales.
- **S100:** Significa 100 m/min de velocidad de corte ya que se definió G96. Si se hubiera definido G97 o no se escribe G96, como G97 es de encendido significa 100 rpm.
- **M41:** Función auxiliar que establece las gamas de velocidades de rotación (M41, M42, M43 y M44 según disponibilidad de la máquina).
- **M03:** Función auxiliar que establece el sentido de rotación del husillo, el sentido de rotación normal para tornos con el carro delantero es contrario a las agujas del reloj visto desde el cabezal móvil., en función de la ubicación del carro se asume la de encendido. M04 Es incompatible con M03 e indica sentido contrario a las agujas del reloj, aparece también M05 que indica parada del husillo.
- **N30 G01 Z0:** En esta línea la herramienta se desplaza con avance controlado (G01) y y hace contacto con la cara de la pieza. La función G01 anula a G00 y es modal, asume F0.15mm/rev. y S100m/min de la línea N0020.
- **N40 X70:** En esta línea la herramienta refrenta la cara; el avance y la velocidad no se indican, se asumen los indicados anteriormente.
- **N50 Z-70:** La herramienta se desplaza a lo largo de las generatrices, o sea, cilindra hasta alcanzar una longitud de 70 mm a la izquierda del 0, es lo que representa el signo (-).
- **N60 X78:** La herramienta refrenta el escalón hasta alcanzar \varnothing 80 (positivo por la dirección del movimiento).
- **N70 Z-110:** La herramienta cilindra hasta alcanzar la posición de 110 mm a la izquierda del (0).
- **N80 G00 X90 Z40:** La herramienta se mueve hasta alcanzar la posición de referencia. G00 anula a G01.
- **N90 M30:** Esta función indica la detención de todos los órganos de trabajo de la máquina y lleva el C.N.C a la primera línea del programa para el reinicio.



3. Ejemplo de pieza a mecanizar en una Fresadora CNC

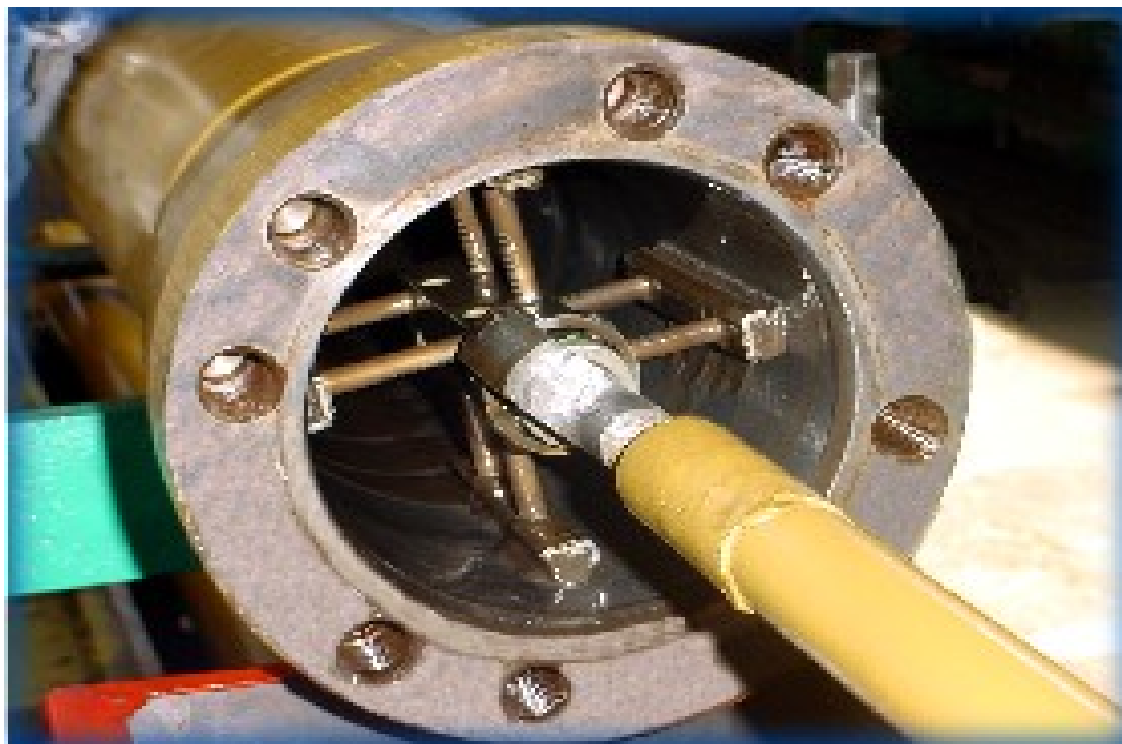
www.upc.edu

Hacer un croquis con la trayectoria que sigue la secuencia de líneas de programa que se muestran a continuación.

```
%00021  
N05 T1 D1  
N10 G0 G90 G17 X20 Y20 Z50  
N20 G1 Z35 F150 S800  
N30 G3 G5 X0 Y0 I-20 J0  
N40 G2 X-20 Y-20 I0 J-20  
N50 G0 Z50  
N60 X200 Y150 Z100  
N70 M30
```

Nota: En la línea N30 se incluye G5 con el objetivo de que el propio control garantice el empalme de los dos arcos.

Operaciones de Rectificado o Superacabado





Definición

El rectificado se puede definir de manera general como la operación o proceso de arranque de partículas de la superficie de una pieza por la acción de granos de material abrasivo de una muela que gira a gran velocidad.

Este proceso se utiliza para:

- Conformar materiales muy duros
- Obtención de tolerancias IT 6 – 7
- Mejora de la rugosidad superficial
- Mejorar aspecto superficial



Herramienta utilizada en el proceso

Muela abrasiva.

Está formada por un conjunto de granos de material abrasivo aglutinados en un aglomerante que le da su forma geométrica, en general de revolución.

Especificaciones que determinan básicamente su utilización:

- Tipo de material abrasivo
- Tamaño del grano
- Aglomerante
- Estructura
- Dureza



Tipos de materiales abrasivos

Nombre	Material	Dureza	Código
Corindón	Oxido de aluminio	8,5 – 9	A, 19A, 32A, 38A
Carborundo	Carburo de silicio	9,2 – 9,3	37C, 39C
Borazón	Carburo de boro	9,4 – 9,6	N
Diamante	Carbono	10	D



Tamaño de grano

Clasificación	Código
Muy basto	6 – 8
Basto	12 – 24
Mediano	30 – 80
Fino	90 – 180
Muy fino	220 – 320
Superfino	400 – 1000



Aglomerantes

Nombre	Composició	Velocidad de corte (m/s)	Código
Magnesiano	Magnesita cálcica + oxiclóruro de Mg	20	O
Cerámico	Arcilla + cuarzo + feldespato	30	V
Silicato	Silicato sódico	30	S
Orgánico	Resina sintética termoestable	50 – 80	B
Goma laca	Goma laca SHELLAC	30	E
Caucho	Caucho sintético	30	R
Metálicos	Bronce o latón	>>	M



Estructura de la muela

Se define a través de la densidad de granos de material abrasivo en la masa del aglomerante.

Tipo de estructura	Códigos
Cerrada	0 – 3
Normal	4 – 6
Abierta	7 – 10

Poros/grano	Código
0	0
0,2	1
0,4	2
0,6	3
0,8	4
1	5
1,2	6
1,4	7
1,6	8
1,8	9
2	10 ^{7/20}

Si el abrasivo es diamante la estructura es la cantidad de quilates por cm³. (1 quilate = 205 mg)



Código	Quilates
25	1,1
50	2,2
75	3,3
100	4,4
150	6,6



Dureza de la muela

Se define como la mayor o menor dificultad para que un grano se desprenda.

Clasificación	Código
Muy blanda	D – E – F – G
Blanda	H – I – J – K
Mediana	L – M – N – O
Dura	P – Q – R – S
Muy dura	T – U – V – W
Extra dura	X – Y – Z



Códigos de especificación de una muela

Ejemplo: A 46 K 5 V

- A** El abrasivo es corindón
- 46** El tamaño de grano es mediano
- K** El grado de dureza es blando
- 5** La estructura es normal
- V** El aglomerante es cerámico

Los fabricantes de muelas acostumban a añadir más características como: Velocidad de corte máxima, Medidas, etc.



Ejemplo: D 220 N 100 B 1/8

- D** Abrasivo diamante
- 220** Grano fino
- N** Dureza media
- 100** Densidad fuerte
- B** Aglomerante orgánico
- 1/8** Espesor diamantado

Si el abrasivo es diamante se añade un código más: El espesor de la capa diamantada en pulgadas.





Tipos de muelas según su forma geométrica

Plana

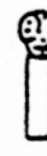
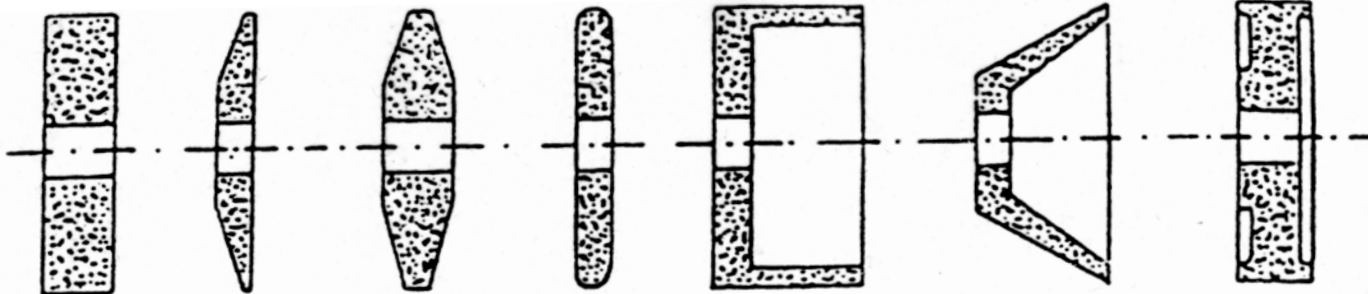
Plato

Bicónica De brocas

Vaso

Copa

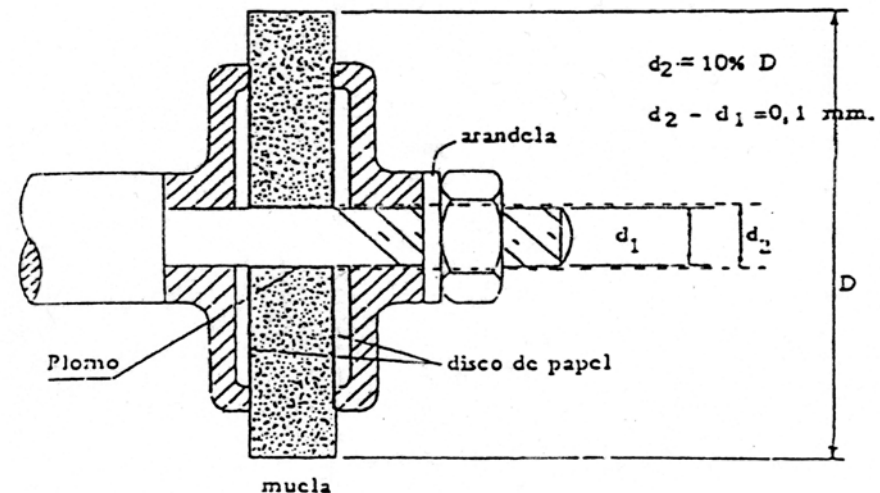
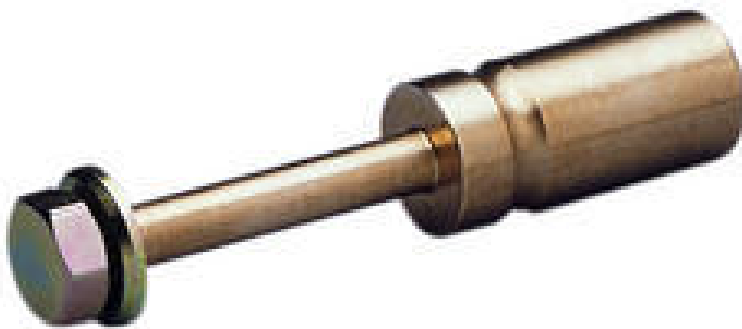
Rebosada





Fijación de la herramienta a la máquina

- En plato portamueclas
- En pinza



Fijación de la pieza de trabajo a la máquina

- Para piezas cilíndricas: Entre puntos, platos de garras, etc. (como en torno)
- Resto de piezas: Mordazas, anclajes, etc. (como en la fresadora)
- Fijaciones específicas: Plato magnético, Sin centros

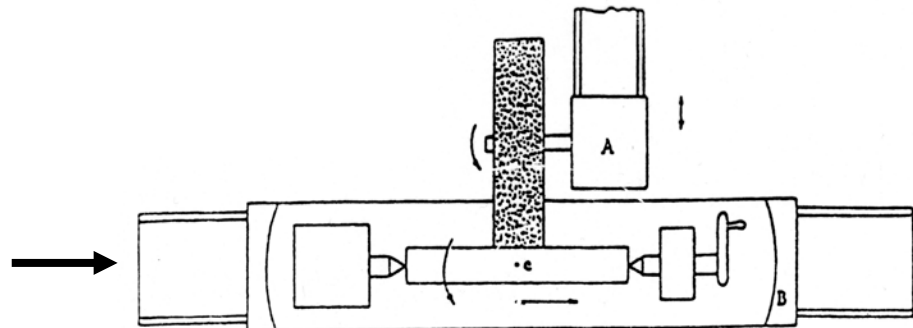


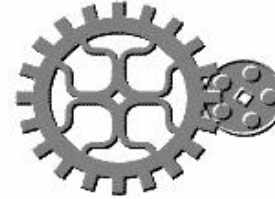


Operaciones básicas

1. Rectificado de planos
2. Con muela cilíndrica: eje horizontal (se trabaja a contracorriente)
3. Con muela frontal: eje vertical
4. Rectificado de cilindros
5. Rectificado de Interiores
 - Fijación de la pieza en platos de garras
 - Los mismos desplazamientos que en el caso anterior
6. Rectificado de exteriores
 - Fijación de la pieza entre puntos
7. Rectificado de conos: Se gira la mesa soporte con respecto a la dirección del movimiento de la mesa.
8. Rectificado de formas: Se perfila la muela para conseguir las formas deseadas.

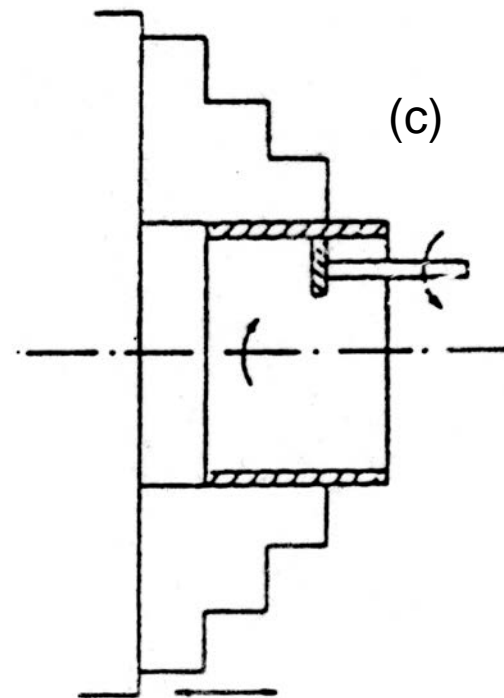
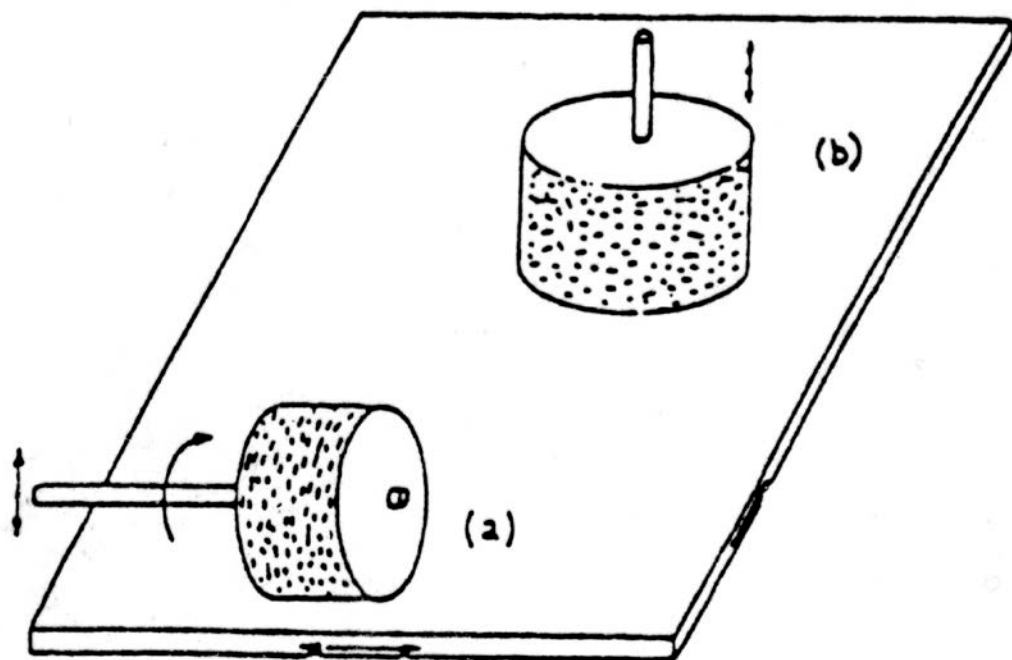
Rectificado exterior con
fijación entre puntos





Operaciones básicas

Rectificado plano con muela cilíndrica horizontal (a) y vertical (b) y rectificado de interiores (c)





Parámetros del régimen de corte

Velocidad de corte de la muela

$$V_c = \frac{\pi \cdot n \cdot D}{1000 \cdot 60}$$

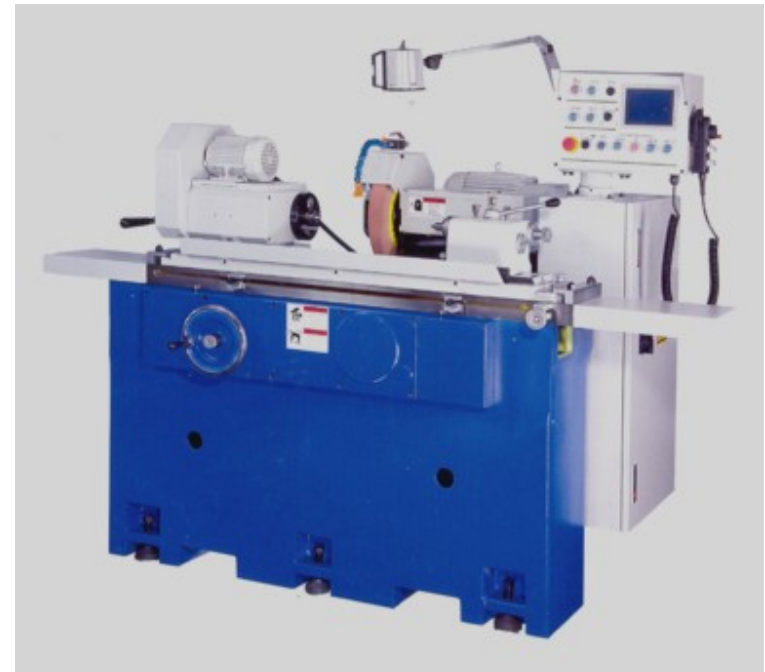
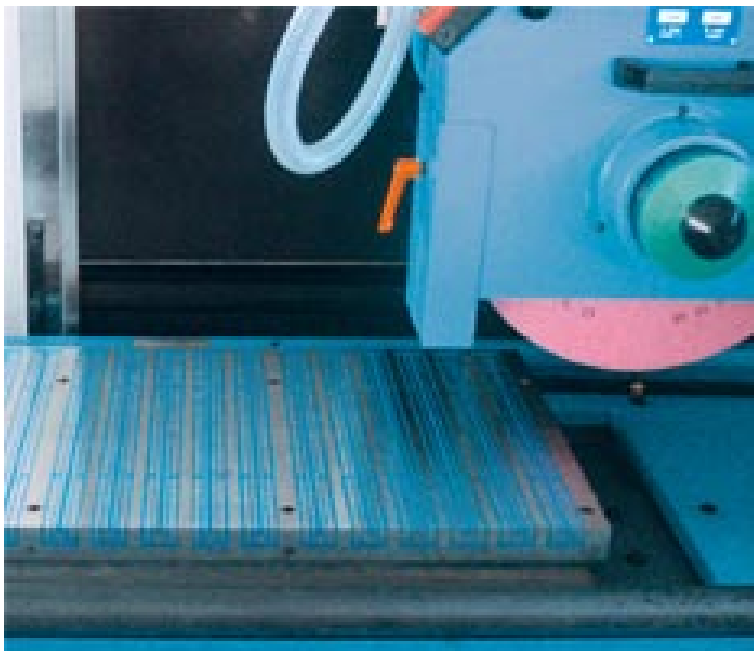
Donde:

D- diámetro de la muela



Tipos de máquinas

Rectificadora cilíndrica: Se utiliza para rectificar superficies en revolución

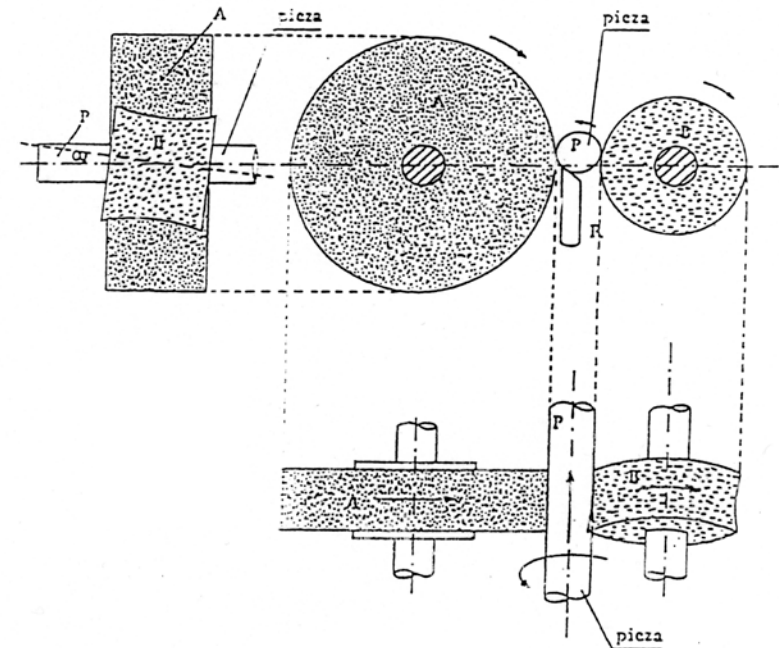


Rectificadora plana: Se utiliza para rectificar superficies planas y en revolución



Tipos de máquinas

Rectificadora sin centros: Es una máquina más rápida y menos precisa



Afiladora de herramientas: Como su nombre lo dice se suele emplear en el afilado o reafilado de herramientas

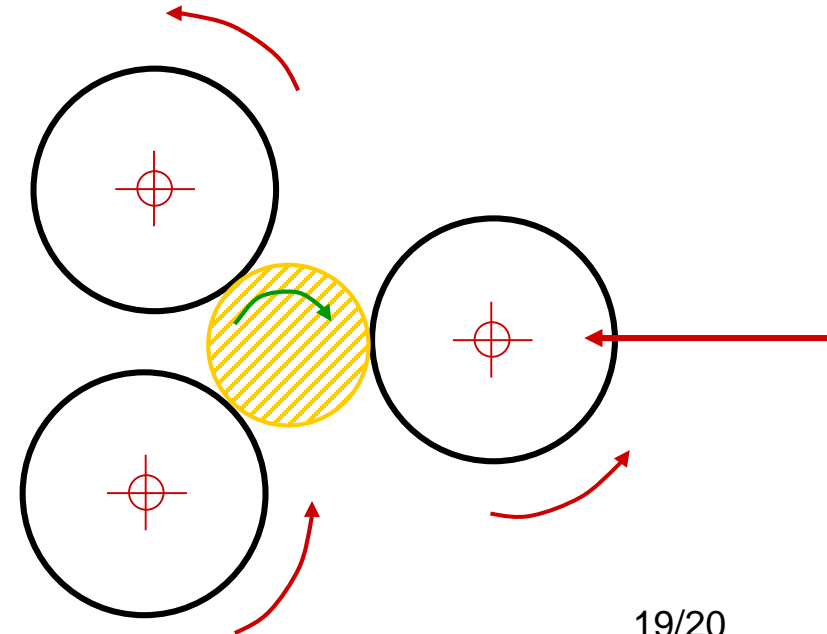
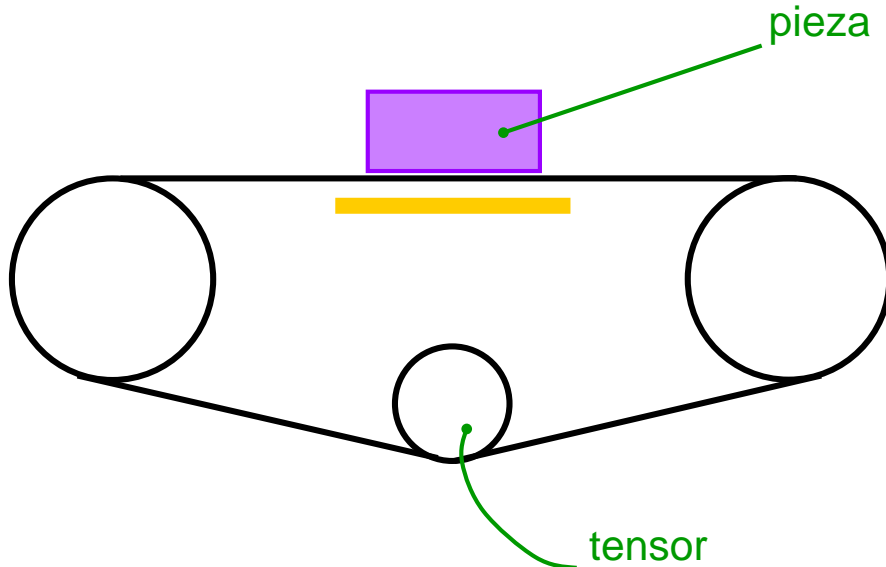
Otras operaciones de superacabado

- 1. Lapeado de exteriores:** Consiste en frotar una piedra abrasiva de grano muy fino con una presión de 0,2 a 0,3 N/mm² sobre una pieza. Se consigue:
 - Eliminar unas micras de material
 - Mejorar el acabado - menos rugosidad -
 - No da conformación geométrica
 - Puede ser de dos tipos diferentes: Lapeado plano o Lapeado cilíndrico
- 2. Lapeado de interiores:** Es el mismo caso que el anterior, pero aplicado a superficies interiores
- 3. Aplicación especial: *Plateau-honning*:** Acabado utilizado en superficies deslizantes para reducir el desgaste.



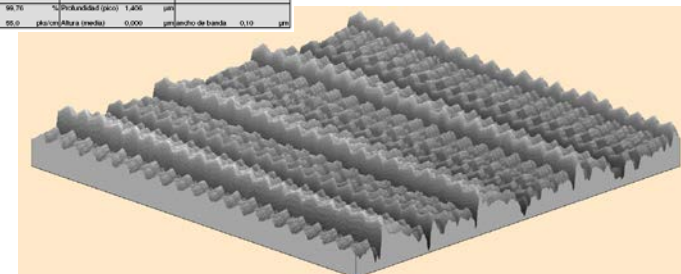
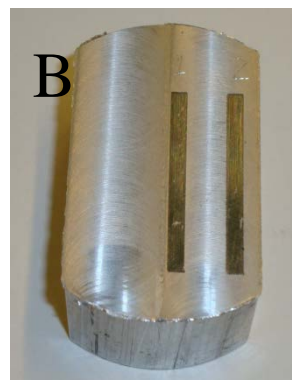
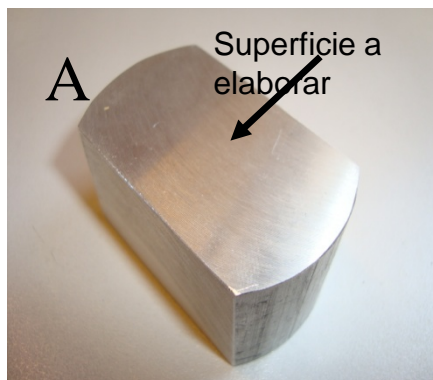
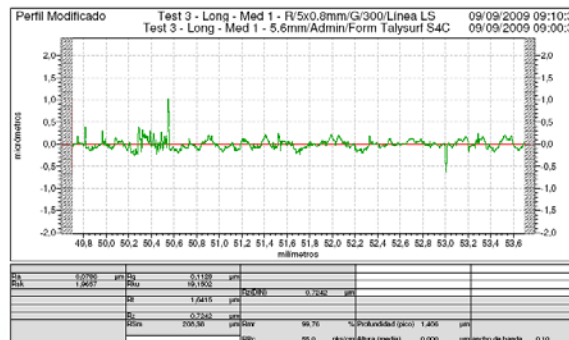
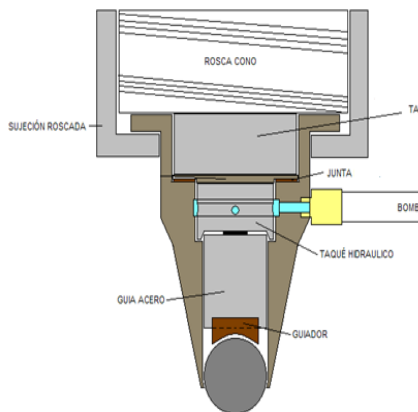
Otras operaciones de superacabado

- 4. Pulido:** Consiste en abrillantar una superficie por medio de abrasivos montados sobre soportes blandos.
- 5. Laminado o rulinado:** Eliminación de las asperezas superficiales por el desplazamiento con presión de discos de un material más duro.



Otras operaciones de superacabado

6. **Bruñido:** Operación que Consiste en deformar plásticamente las irregularidades de una superficie para mejorar el acabado superficial



Proceso de fabricación por fundición

1. Introducción
2. Antecedentes históricos
3. Generalidades sobre el Proceso de Fundición
4. La Fusibilidad de los materiales metálicos
5. Tolerancias en los modelos
6. El metal líquido
7. Tecnología de la colada
8. Enfriamiento y Solidificación
9. Desmoldeo y Limpieza
10. Hornos empleados en la fundición





Antecedentes históricos

- La **fecha** mas exacta en que la humanidad descubrió la técnica de fundir material férrico para producir metal utilizable **no es conocida**.
- Los **instrumentos férricos** más antiguos conocidos fueron descubiertos por arqueólogos en Egipto en el **año 3000 AC** y aun antes se habían utilizado ornamentos férricos; se buscaba el endurecimiento de armas férricas por medio de **variaciones de calor** la cual era una técnica avanzada en el año **1000 AC** y fue dada a conocer por los **Griegos**.
- Las **primeras aleaciones férricas** fueron producidas por obreros aproximadamente en el **siglo 14 DC**, y éste sería clasificado hoy como **hierro forjado**. Estas aleaciones fueron hechas calentando una masa de material férrico y carbón de leña en un horno que tenía una cubierta rígida. Bajo este tratamiento el material se redujo a la esponja de hierro metálico en forma de escoria, compuesta por impurezas metálicas y cenizas del carbón de leña. Esta esponja de hierro se alejaba del horno incandescente, mientras la escoria se manejaba con trineos pesados, para así poder soldar y consolidar el hierro. El hierro producido en estas condiciones contenía 3% de partículas de escoria, y 0.1% de otras impurezas. De vez en cuando esta técnica de fabricación del hierro produjo, por accidente, un verdadero acero en lugar de hierro forjado. Los herreros aprendieron a hacer acero calentando hierro forjado y carbón de leña en arcilla embala por un período de varios días. Por este proceso el hierro absorbió bastante carbono para volverse un verdadero acero, el cual tenía mejores características que el hierro inicialmente.



Proceso de Fundición

Se denomina **Fundición** al proceso de fabricación de piezas, comúnmente metálicas pero también de plástico, consistente en fundir un material e introducirlo en una cavidad llamada molde, donde se solidifica y adopta la forma geométrica del mismo.



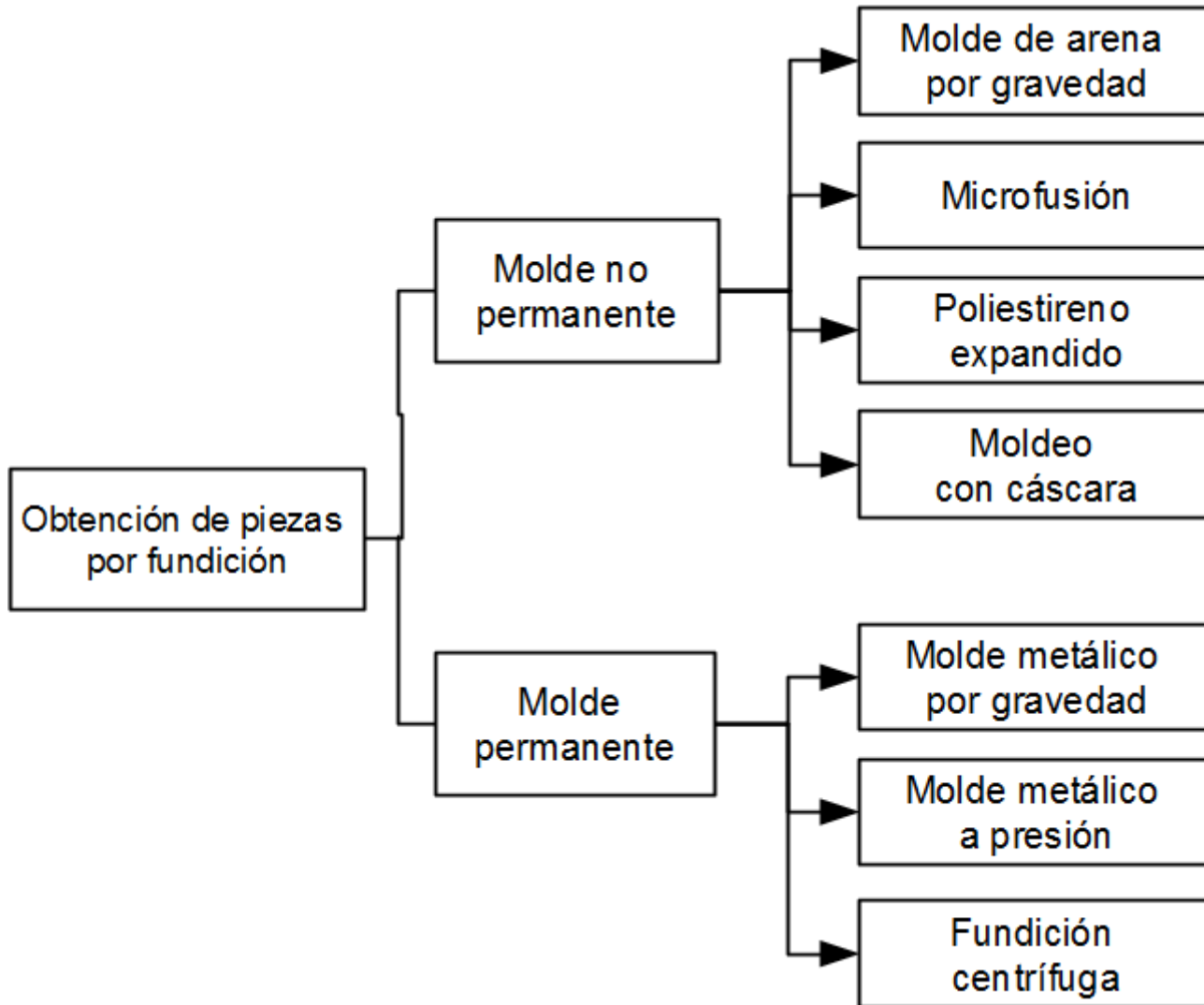
Proceso de Fundición

Características del proceso de Fundición

- Es relativamente barato y fácil de ejecutar
- Las piezas quedan con una calidad aceptable
- Se pueden elaborar gran cantidad de piezas
- Se pueden trabajar con superficies con cierto grado de complejidad
- Piezas con paredes delgadas y laberínticas con geometría compleja.
- Gran capacidad para absorber vibraciones
- En determinadas superficies no se requieren operaciones posteriores de mecanizado

Inconvenientes:

- Características mecánicas inferiores a la forja, sobre todo a flexión
- Porosidad, baja calidad superficial
- Baja precisión dimensional





Fusibilidad de los materiales

FUSIBILIDAD: Es la capacidad que tienen los materiales de fundirse con más o menos facilidad para de esta manera ser moldeados y así se puedan obtener diferentes piezas.

Esta propiedad **está estrechamente relacionada con el punto de fusión**, el cual es el valor de temperatura a partir del cual el material comienza a fundir. Esta es una propiedad inherente a cada material.



Leyes de John Campbell

- La calidad de una pieza obtenida por fundición depende de los siguientes factores, llamados las 10 leyes de John Campbell:
 - 1) La calidad del metal líquido
 - 2) Turbulencia superficial en el momento de llenar la cavidad o molde
 - 3) Detención del avance del frente de metal líquido
 - 4) La aparición de burbujas
 - 5) Golpes Básicos
 - 6) Daños producto de la contracción
 - 7) Daños producto de la convección
 - 8) Daños por segregación
 - 9) Daños por tratamiento térmico
 - 10) Daños por mecanizado



El metal líquido

Factores determinantes de la calidad del metal líquido:

1. Fusión
2. Refinado
3. Protección
4. Desoxidación
5. Desgasificación
6. Inoculación

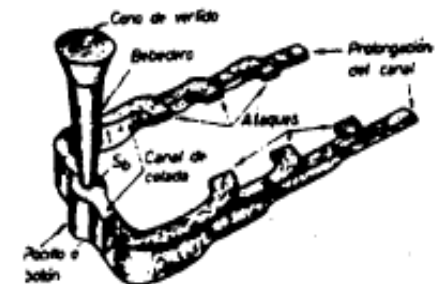
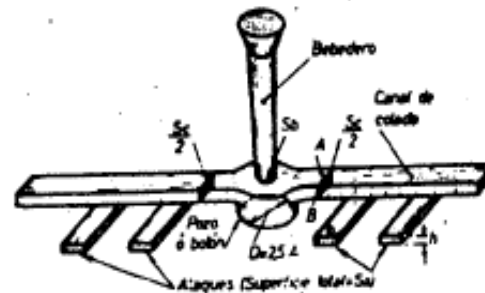
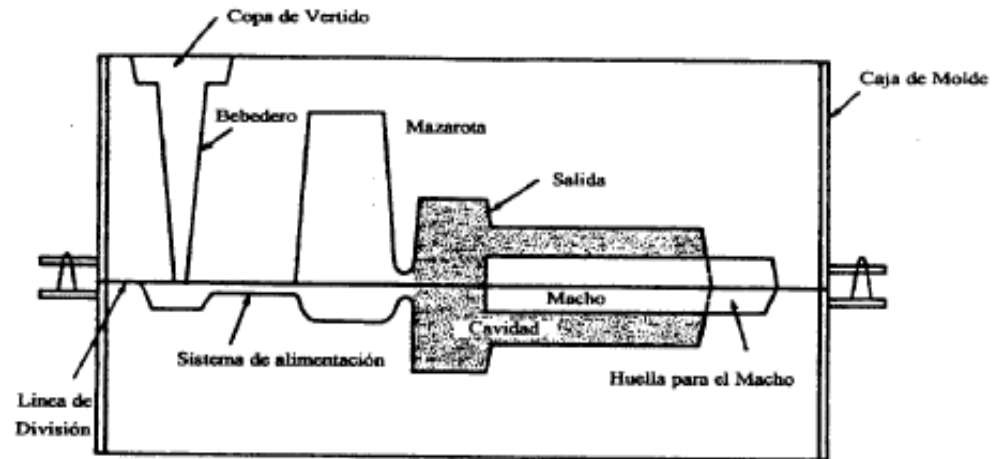
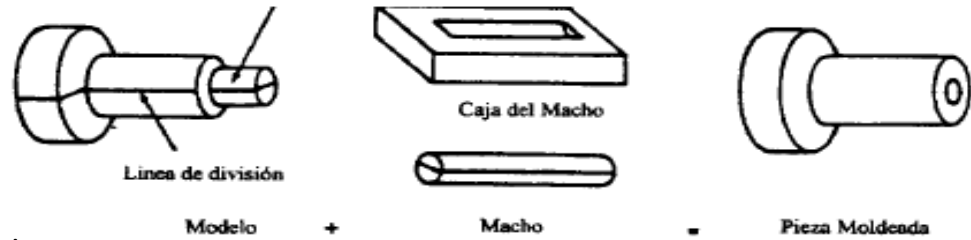
Aleaciones utilizadas en el moldeo:

- Fundiciones: Aleaciones Fe-C con $C > 2\%$
- Aceros: Aleaciones Fe-C con $C < 2\%$
- Aleaciones basadas en Cu: Series C-200 (Cu-Zn); C-300 (Cu-Sn); C-400 (Cu-Al); C-500 (Cu-Pb, o Ni, o Be, o Si)
- Aleaciones basadas en Al: Series L-200 (Al-Cu, Al-Mg, Al-Si, Al-Sn)
- Aleaciones basadas en Mg: Series L-500 (Mg-Al, Mg-Zn)



Sistema de distribución del material

- **Copa de vertido:** Superficie con forma de copa que evita los derrames de material.
- **Bebedero:** Conducto por donde se desplaza el material vertido.
- **Canal de alimentación:** Es el encargado de llevar el material desde el bebedero hasta la parte del molde que debe ocupar el material fundido.
- **Mazarotas:** Depósitos de metal fundido que se colocan en los sitios del molde que son críticos que tienden a generar rechupes, con el objetivo de aportar material para evitarlos.
 - Es posible calcular con relativa precisión la posición de estas mazarotas mediante tablas, después se calculará el volumen de la mazarota por medio del cálculo del **TST***, el cálculo del módulo, o directamente con la ecuación de **Chirinola**.
 - Las mazarotas se eliminaran después del desmolde por medio de tenazas o limado.



*TST = Tiempo de solidificación total, (min)



Tecnología de la colada

- Para efectuar el proceso de fundición, el material se calienta a una temperatura ligeramente superior a la $T_{\text{fusión}}$
- La cantidad de calor Q necesaria para realizar el proceso se puede calcular aproximadamente como:

$$Q = \rho_{\text{material}} \cdot V_{\text{colada}} \left[C_{\text{sólido}} (T_{\text{fusión}} - T_0) + C_{\text{fusión}} + C_{\text{líquido}} (T_{\text{colada}} - T_{\text{fusión}}) \right]$$

ρ : Densidad del material

V : Volumen de la colada

C : Calor específico del material (Depende de la temperatura)



Tecnología de la colada

- La velocidad de la colada se puede calcular a través de la ecuación de Bernoulli.

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho_{material} \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho_{material} \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_{pérdidas}$$

ρ : Densidad del material

v : Velocidad de la colada

h : Altura relativa de la superficie

g : Aceleración de la gravedad

p : Presión

- De aquí se obtiene la expresión simplificada para calcular la altura del bebedero y/o la velocidad del flujo en la base de éste:

$$h_{bebedero} = \frac{v_{base_bebedero}^2}{2 \cdot g}$$



Tecnología de la colada

Según la ecuación de continuidad, el **caudal de material** que circula a través de la cavidad es:

$$q = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$$

El **tiempo mínimo** requerido para el **llenado** de la cavidad se calcula como:

$$t_{llenado} = \frac{V_{cavidad}}{q}$$

- Tener en cuenta que se habla de un tiempo mínimo porque se han despreciado las pérdidas a través de los conductos de la cavidad.
- Depende de la fluidez del metal líquido, de los gradientes térmicos, del peso de la pieza y de su forma.
- Condiciones que debe cumplir:
 1. Lo suficientemente bajo para que el molde esté lleno antes de empezar la solidificación.
 2. Lo suficientemente bajo para que el calor radiante del metal no origine los defectos superficiales debidos a la dilatación de la arena.



Tecnología de la colada

Respecto al **régimen de circulación del líquido** por dentro de las cavidades del molde, este debe ser de **flujo laminar** para evitar:

- Atrapamientos de aire y de escoria
- Que el material se vea alterado químicamente
- Evitar la rotura de la piel del metal líquido
- Evitar la erosión de las paredes del molde por arrastre de arena o gases

Se emplea para su evaluación el número de Reynolds:

$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

- Flujo laminar si $Re < 2000$
- Transición si $2000 < Re < 20000$
- Flujo turbulento si $Re > 20000$

ρ : densidad del fluido
 v : velocidad característica del fluido
 D : diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido o longitud característica del sistema
 μ : viscosidad dinámica del fluido

Tecnología de la colada

Escalonamiento de las secciones transversales de los conductos de un sistema de distribución:

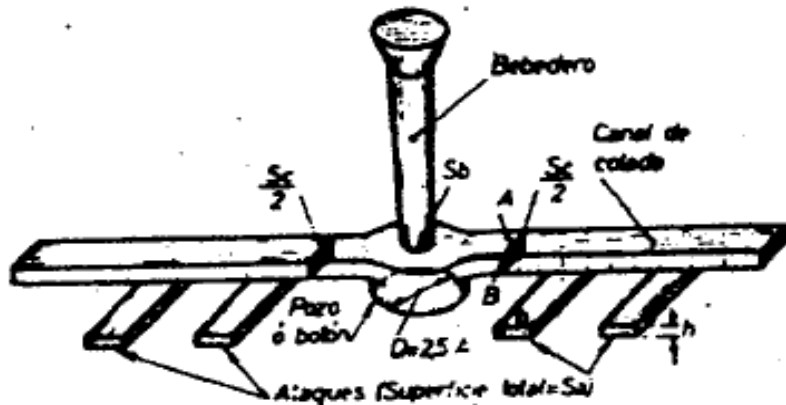
Índice de reducción o relación de la colada

S_b = sección transversal del bebedero en su parte más estrecha

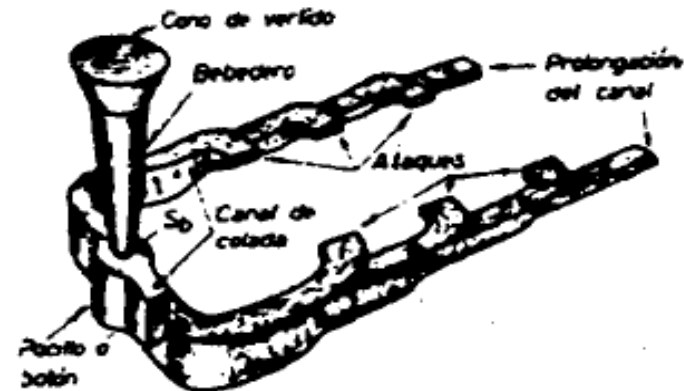
S_c = suma de las secciones transversales de los canales

S_a = suma de las secciones transversales de los ataques

$$\frac{S_c}{S_b} : \frac{S_a}{S_b}$$

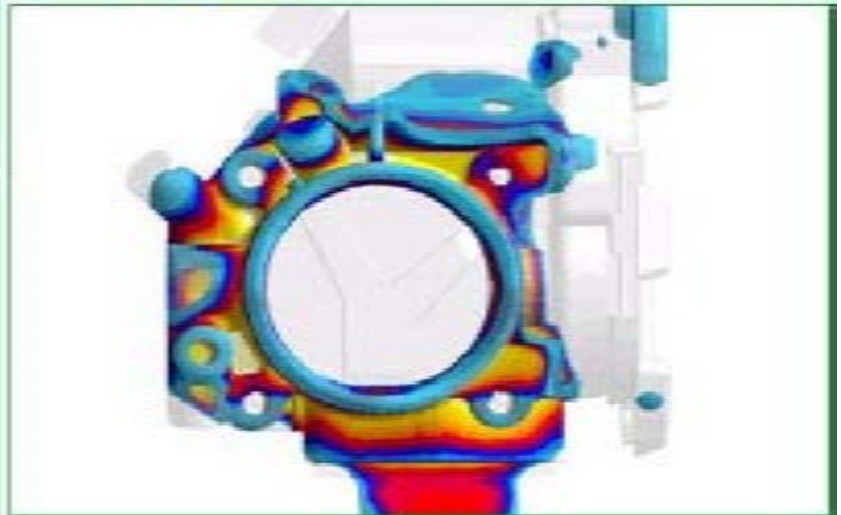
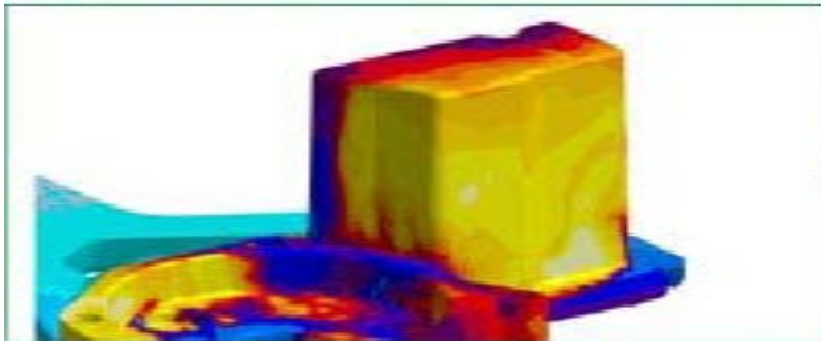
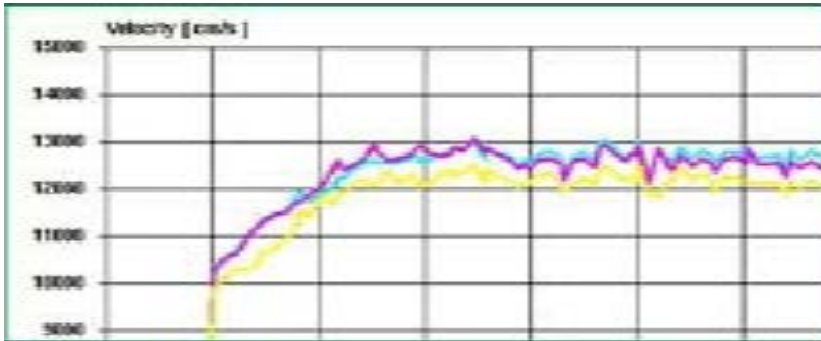


Sistema convergente o a presión
 $S_b > S_c > S_a$



Sistema divergente o sin presión
 $S_b < S_c < S_a$

Tecnología de la colada





Tecnología de la colada

Rendimiento de la fundición (η):

Masa de metal necesaria $M_t = M_p + M_d + M_s$

Masa de la propia pieza M_p

Masa del sistema de distribución M_d

Masa de margen de seguridad $M_s = (5-10 \% \text{ de } M_p + M_d)$

$$\eta = \frac{M_p}{M_t}$$

Presión metalostática:

Presión estática ejercida por un fluido: $p = \rho gh$

Esfuerzo normal a la superficie: $F_n = pS = \rho ghS$

- Esfuerzos en determinadas superficies
- Esfuerzos verticales en la parte inferior y superior del molde
- Resultantes horizontales sobre las paredes del molde
- Esfuerzos sobre los machos



Enfriamiento y Solidificación

- Del **proceso de solidificación** depende en gran parte la **estructura metalográfica** y por lo tanto las **propiedades de las piezas moldeadas**, así como la aparición de diferentes tipos de defectos.
- **Etapas de la solidificación:**
 - Nucleación
 - Crecimiento de los granos
- Se precisa un **tiempo** para que el material solidifique. Se evalúa a través de la ecuación de Chvorinov:

$$t_{st} = C_{molde} \left(\frac{V_{cavidad}}{A_{cavidad}} \right)^n$$

t_{st}: Tiempo de solidificación total, (min)

C_{molde}: Constante del molde. Depende de: Material del molde y sus propiedades térmicas y de la *t_{colada}*

V_{cavidad}: Volumen de material en la cavidad (*m³*)

A_{cavidad}: Área disponible para disipar en calor en la cavidad (*m²*)

n: Exponente que toma usualmente un valor de 2



Enfriamiento y Solidificación

Para compensar los efectos de las contracciones se debe:

1. Prever el **volumen suplementario** de material para compensar la contracción por enfriamiento del líquido y la de la solidificación.
2. **Sobredimensionar el molde** para compensar la contracción por enfriamiento del sólido.
3. **Introducir mazarotas** para que mantengan la alimentación de material fundido a la cavidad de la pieza durante la solidificación del material.

Cálculo de las mazarotas:

Se trata de emplear la cantidad mínima de material, cumpliendo con la función de las mazarotas.

- *Regla de las contracciones.* El volumen del metal líquido de la mazarota (V_m) debe ser superior a la contracción de la pieza, es decir

$$V_m = nV_p c / 100$$

$$M_m = V_m / S_m > M_p = V_p / S_p$$

n : coef. de seguridad (1,5-3)

c : coef. de contracción

En la práctica $M_m = 1,2 M_p$

- *Regla de los módulos.* El tiempo de solidificación de la mazarota debe ser superior al de la pieza



Enfriamiento y Solidificación

Valores orientativos de contracción para diferentes materiales y aleaciones

METAL O ALEACIÓN	CONTRACCIÓN [mm / m]
Aceros	
Aceros bajo carbono	20-21
Aceros medio carbono	16-18
Aceros alto manganeso	25-26
Aceros inoxidable Cr - Ni	25
Aceros al cromo	20-21
Fundiciones	
Fundiciones grises piezas delgadas	10
Fundiciones grises piezas gruesas	7
Fundiciones blancas	16-21
Fundiciones blancas alto cromo	20
Fundiciones maleables	9-13
Fundiciones nodulares	10
Ni Hard	20-23
Aleaciones de aluminio	
Aluminio puro	17
Aluminio - cobre	13-14
Aluminio - silicio	11-13
Aluminio - magnesio	12-14



Desmoldeo y Limpieza

- Si el molde es una coquilla, actuando sobre palancas a mano o mecánicamente, la coquilla se abre y se procede a la extracción.
- Si el molde es en una caja de arena, abiertas las cajas se extraen las piezas de la arena, operación siempre fatigosa y contaminante por la cantidad de polvo silíceo que se desprende.

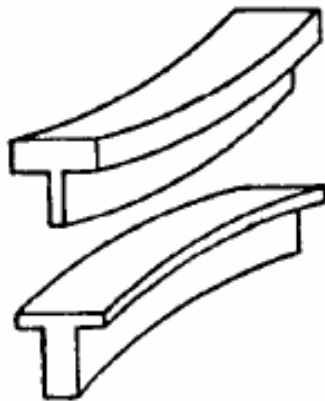


Control de Calidad

Tipos de defectos

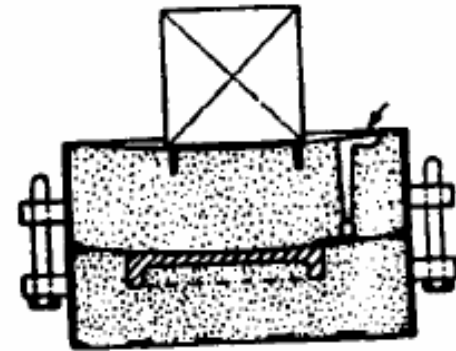
- Defectos advertibles desde el exterior de la pieza.
- Defectos ocultos.

Defectos que afectan a la forma de la pieza:

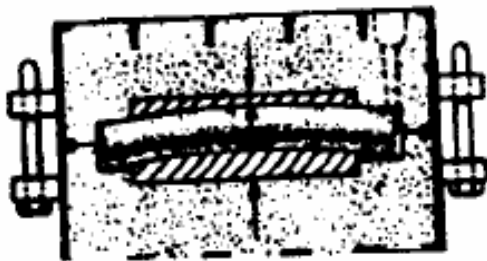
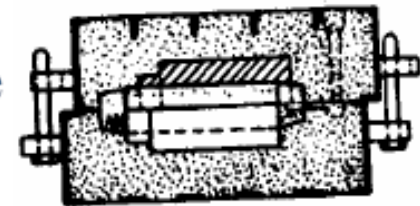


Deformación

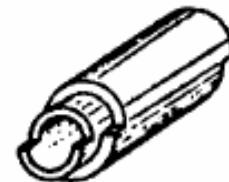
Presión
metalostática



Pérdida de
registro



aplastamiento

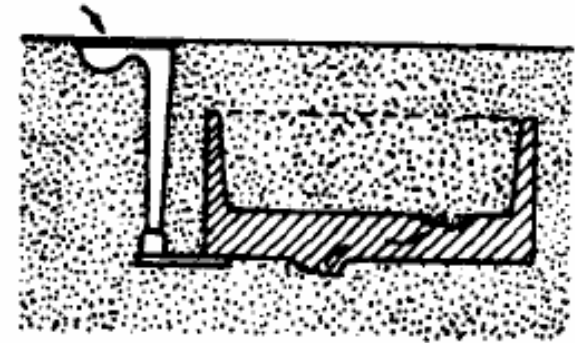


Control de Calidad

Defectos que afectan a la superficie de la pieza:

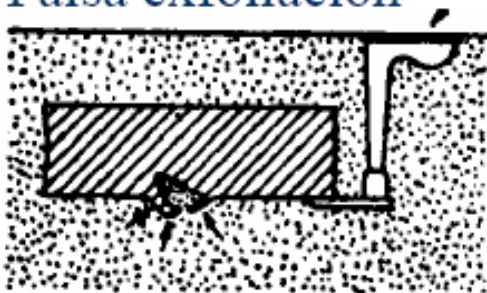


erupciones

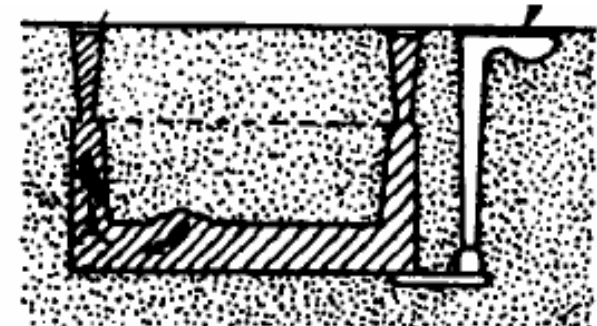


exfoliaciones

Falsa exfoliación



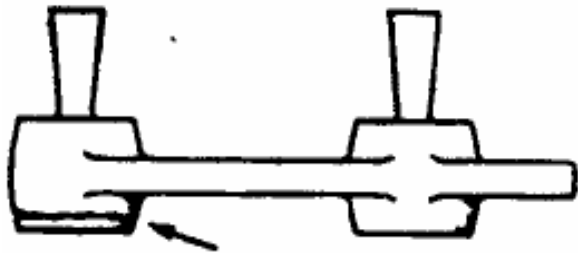
Inclusiones de arena





Control de Calidad

Defectos que afectan al conjunto de la pieza:

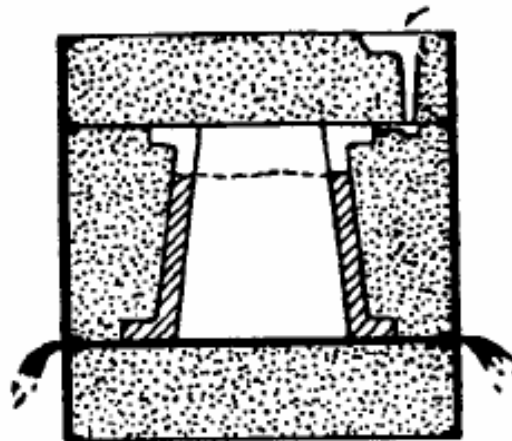


Soldaduras e intermitencias

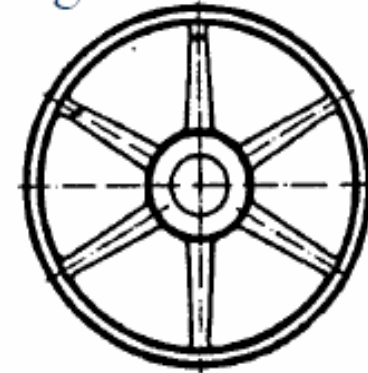
discontinuidades



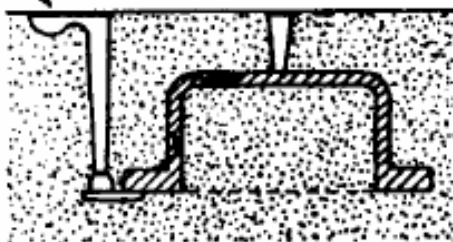
Escapes y falta de metal



Hendiduras, grietas

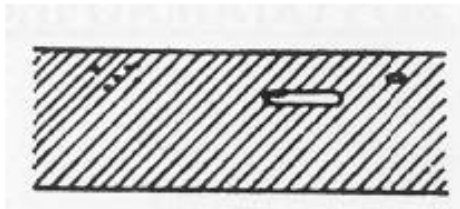


Arranques de parte del molde



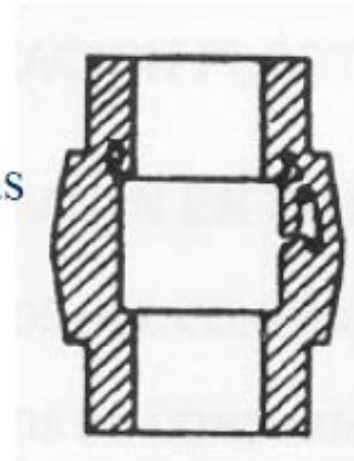
Control de Calidad

Defectos ocultos:

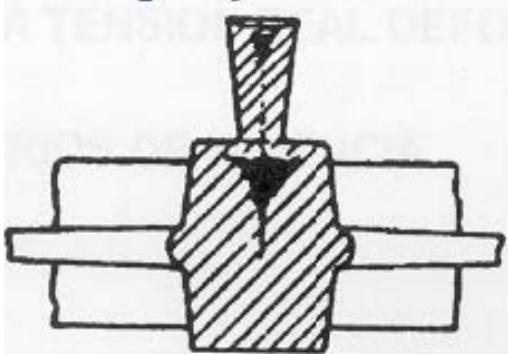


Porosidades,
burbujas

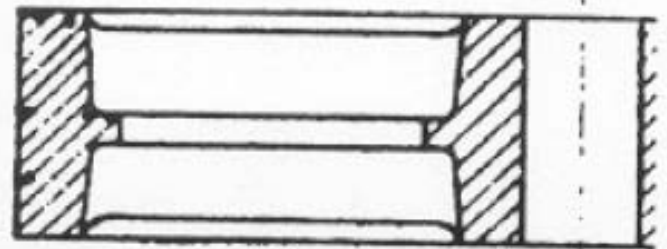
sopladuras



Rechupes y contracciones



Gotas frías



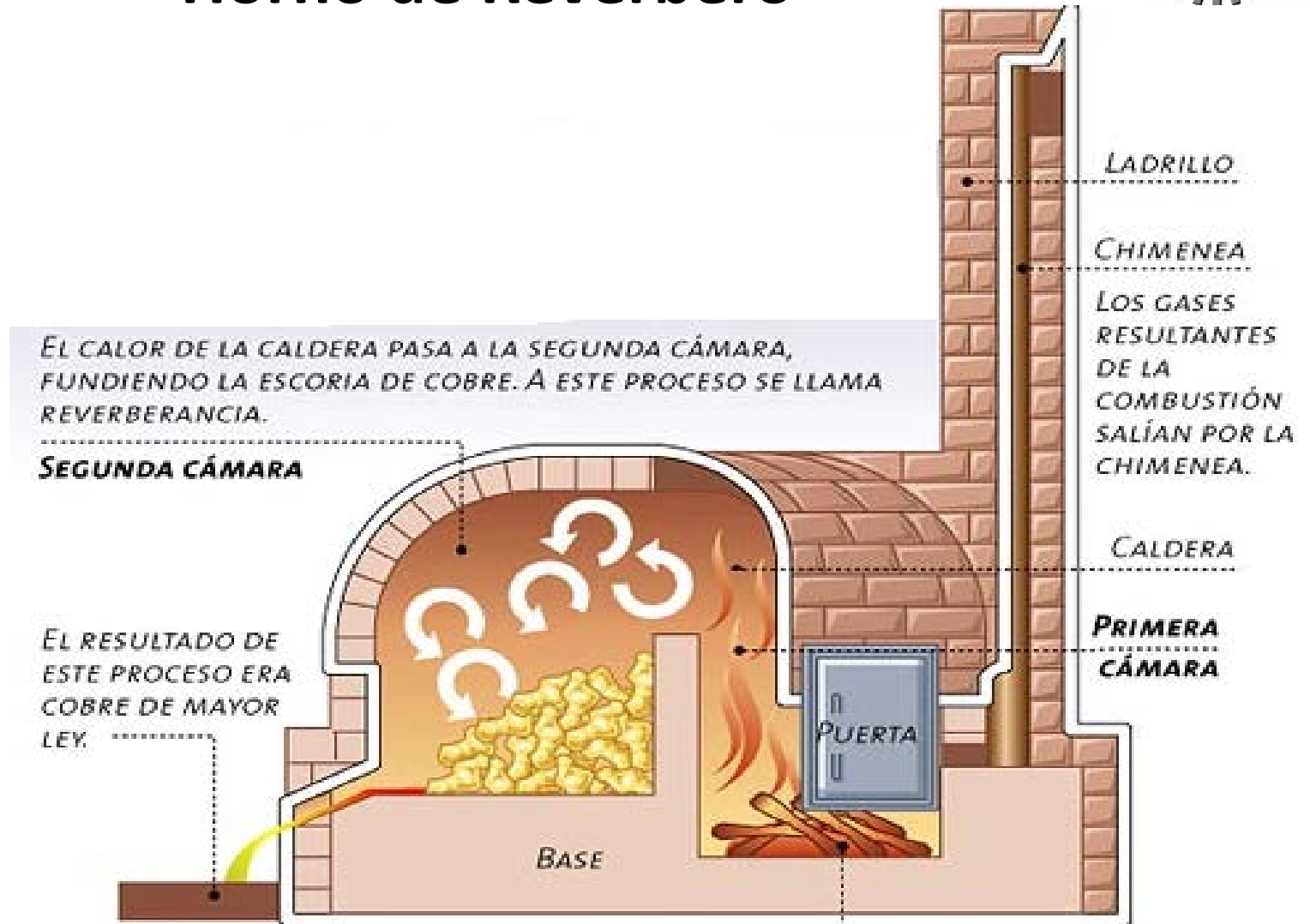


Hornos utilizados en la Fundición

El **horno de reverbero** es un tipo de horno generalmente rectangular, cubierto por una bóveda de ladrillo refractario y con chimenea, que refleja (o reverbera) el calor producido en el sitio donde se hace la lumbre.



Horno de Reverbero



EL COMBUSTIBLE DE ESTOS HORNOS ERA PRINCIPALMENTE MADERA O CENIZA DE CARBÓN, QUE ERA INTRODUCIDA POR UNA PUERTA DE METAL.



Horno de fundición centrífuga

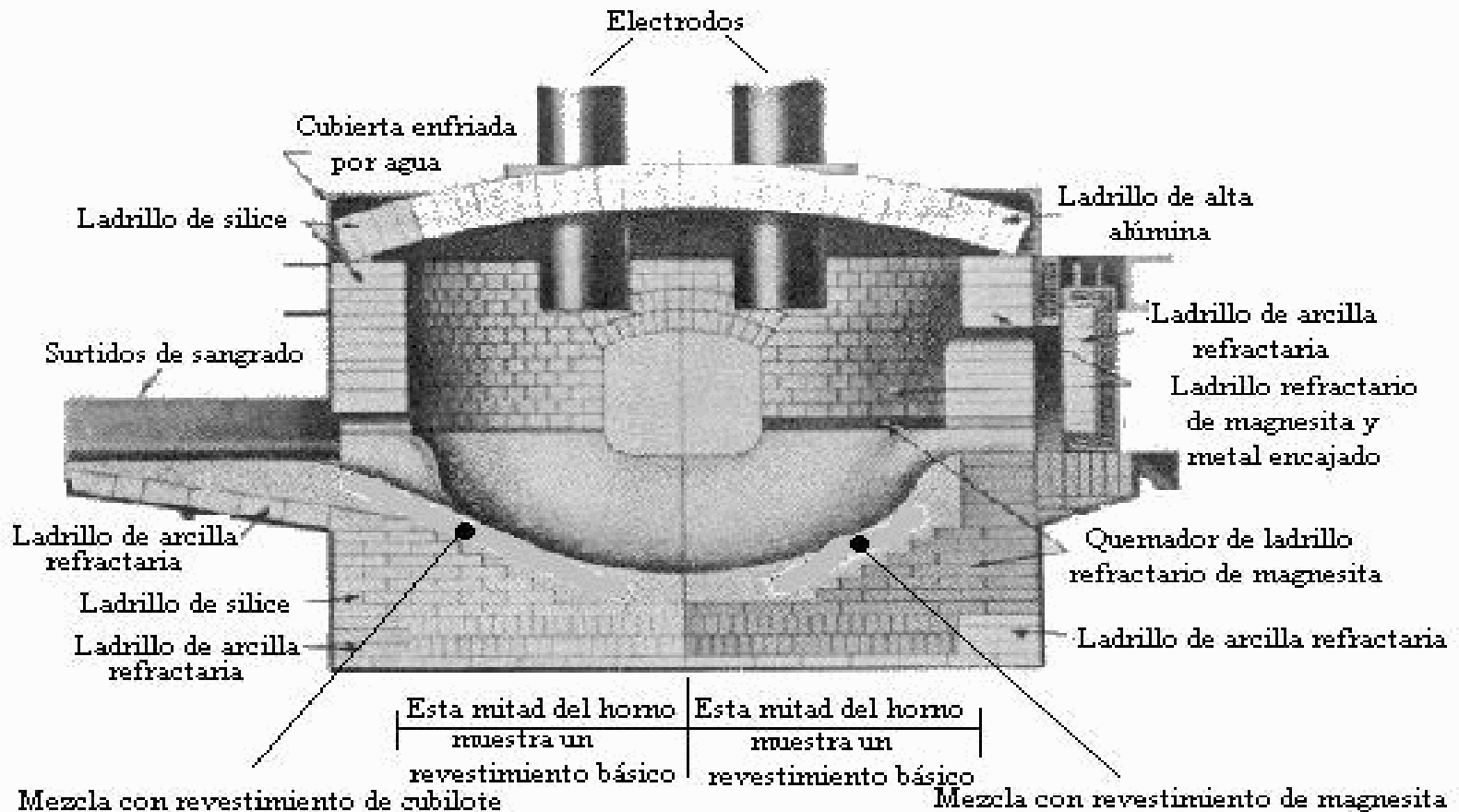




Horno de leña

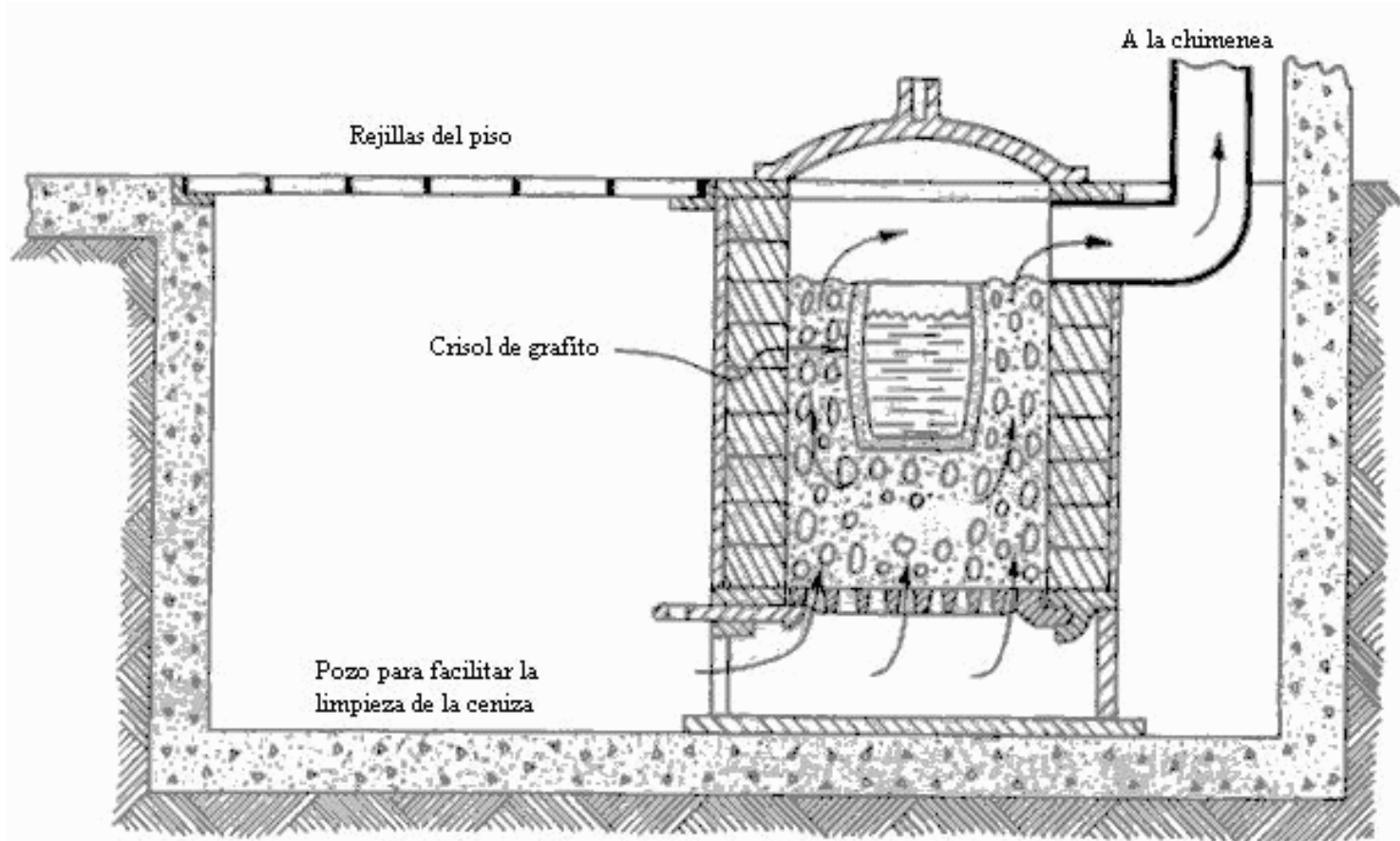


Horno eléctrico



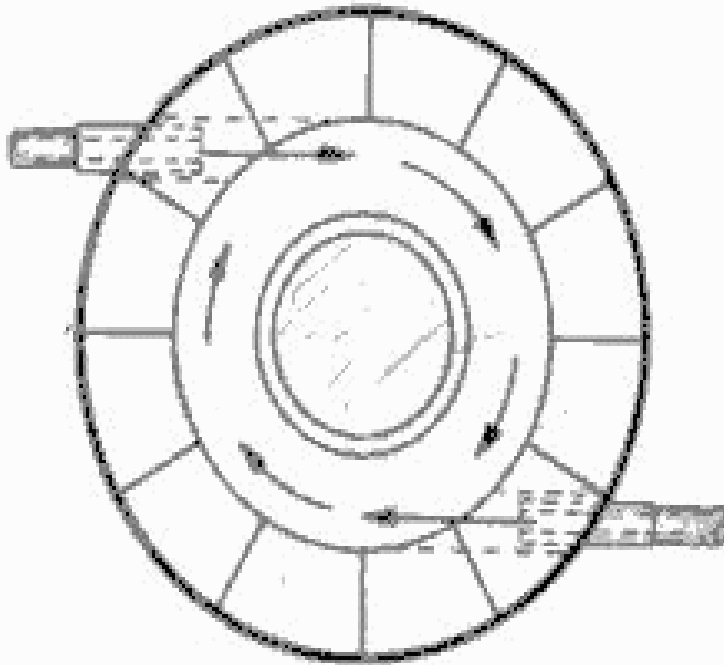
Dibujo de corte de un horno eléctrico con revestimientos tipo ácido y básico

Horno estacionario con coque

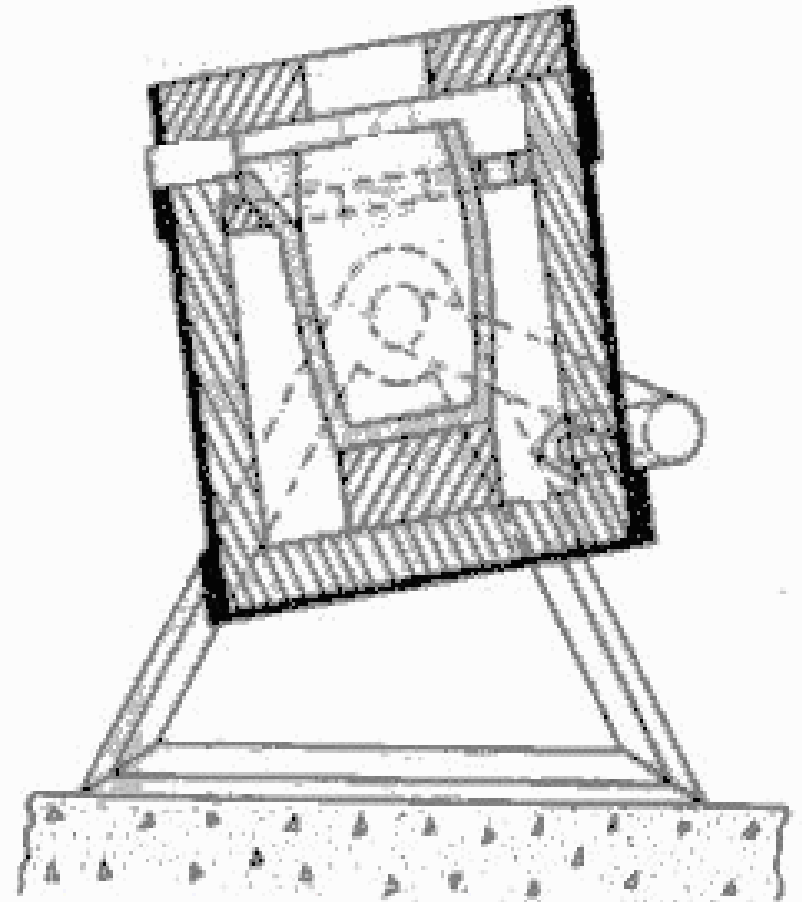


Horno estacionario con coque

Horno bascular de gas



Vista de planta del horno mostrando la colocación de los quemadores para funcionamiento con aceite o gas.



Horno bascular calentado con gas.



Moldeo en diferentes tipos de moldes

El **proceso tradicional** es la **fundición en arena**, por ser ésta un **material refractario** muy abundante en la naturaleza y que, mezclada con arcilla, adquiere cohesión y moldeabilidad sin perder la permeabilidad que posibilita evacuar los gases del molde al tiempo que se vierte el metal fundido.

Es un procedimiento de molde perdido y de vertido por gravedad. **La arena está formada por sílice (88%), arcilla (9%) como aglutinante, agua (3%) y algún material orgánico.**

<http://www.youtube.com/watch?v=xcrwVTkXDEU>

Proceso de fabricación por fundición

2. El Moldeo

- Características
- Diagrama del proceso
- Moldeo en diferentes tipos de moldes
- Características del moldeo en arena
- Etapas del proceso
- Otros tipos de moldeos
- Moldeo en coquilla
- Moldeo a presión
- Moldeo a la cera perdida
- Fundición prensada
- Fundición a baja presión

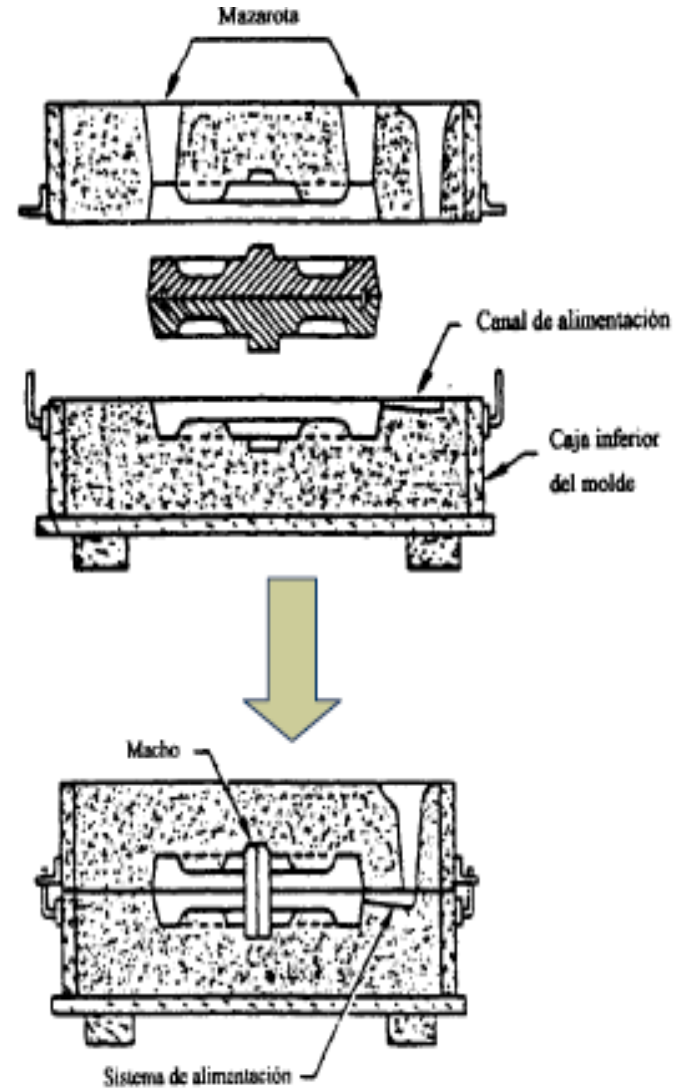
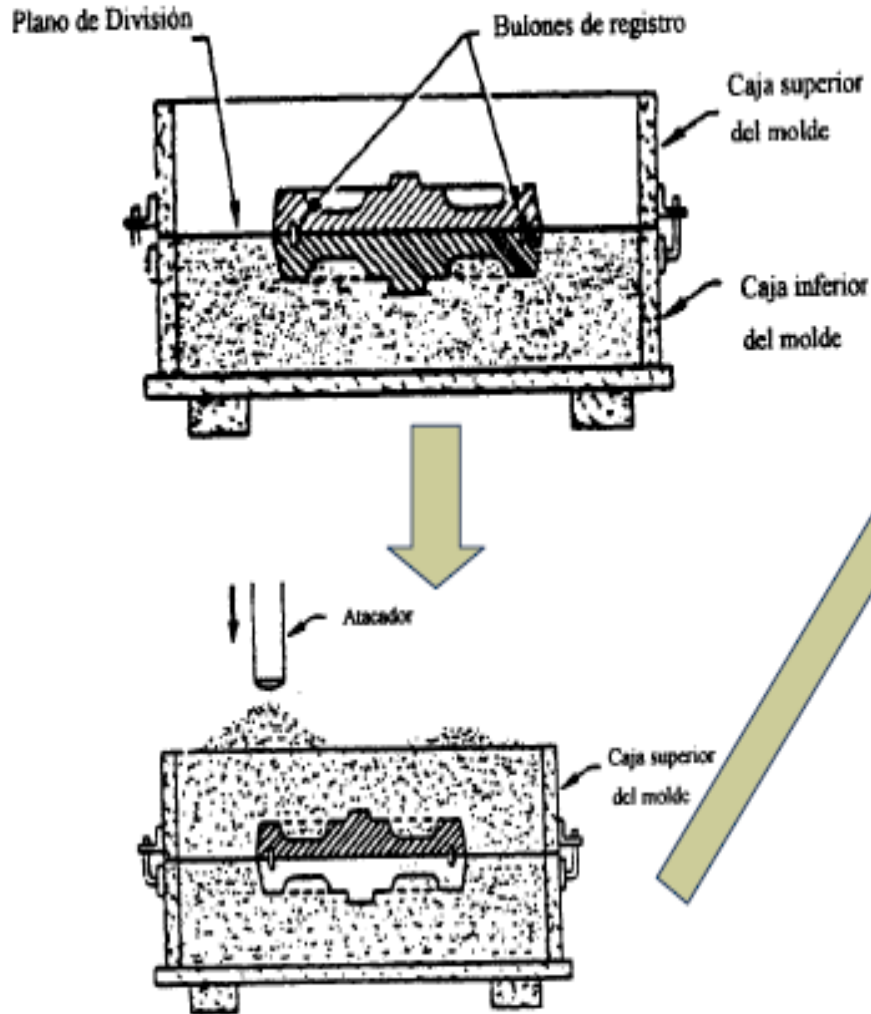
3. Fundamentos del procesado de polvos

- Características del proceso
- Materiales que se pueden utilizar
- Sinterizado
- Consideraciones de diseño
- Tolerancias que se obtienen





Características del moldeo en arena





Características del moldeo en arena

- Hay necesidad de fabricar un **modelo, fabricados en madera, metal o plástico**
- Deben fabricarse **sobredimensionados** por las contracciones de la pieza en el período de enfriamiento
- **Ángulos de salida** para evitar derrumbes o arrastres de material
- **Sobremedidas** para posteriores mecanizados



Etapas del proceso

1. Diseño del modelo

El modelo es la **pieza que se pretende reproducir**, pero con algunas modificaciones derivadas de la naturaleza del proceso de fundición:

- Será **ligeramente más grande** que la pieza, ya que se debe tener en cuenta la **contracción** de la misma una vez se haya extraído del molde.
- Las superficies del modelo deberán respetar unos **ángulos mínimos con la dirección de desmoldeo** (la dirección en la que se extraerá el modelo), con objeto de no dañar el molde de arena durante su extracción. Este ángulo se denomina ángulo de salida.
- Incluirá todos los **canales de alimentación y mazarotas** necesarios para el llenado del molde con el metal fundido.
- Si es necesario incluirá **portadas**, que son prolongaciones que sirven para la **colocación del macho**.

Etapas del proceso



Pieza original



Modelo



Pieza fabricada



Etapas del proceso

2. Fabricación del modelo

En lo que atañe a los materiales empleados para la construcción del modelo, se puede emplear desde **madera o plásticos** como el Poliuretano hasta **metales** como el aluminio o el hierro fundido.

Usualmente **se fabrican dos semi-modelos** correspondientes a sendas partes del molde que es necesario fabricar.

- **Compactación** de la arena alrededor del modelo. Para ello primeramente se coloca cada semi-modelo en una tabla, dando lugar a las llamadas tablas modelo, que garantizan que posteriormente ambas partes del molde encajarán perfectamente.

Actualmente se realiza el llamado moldeo mecánico, consistente en la compactación de la arena por medios automáticos, generalmente mediante pistones (uno o varios) hidráulicos o neumáticos.

- **Colocación del macho.** Si la pieza que se quiere fabricar es hueca, será necesario disponer de machos que eviten que el metal fundido rellene dichas oquedades. Los machos se elaboran con arenas especiales debido a que deben ser más resistentes que el molde, ya que es necesario manipularlos para su colocación en el molde. Una vez colocado, se juntan ambas caras del molde y se sujetan.



Etapas del proceso

Tolerancias en los modelos

- **Tolerancia por acabado.** Cuando se fabrica una pieza es necesario realizar algún trabajo de acabado o terminado de las superficies generadas, esto se logra puliendo o quitando algún material de las piezas producidas por lo que se debe considerar en el modelo esta rebaja de material.
- **Tolerancia de distorsión.** Cuando una pieza es de superficie irregular su enfriamiento también es irregular y por ello su contracción es irregular generando la distorsión de la pieza, estos efectos deberán ser tomados en consideración en el diseño de los modelos.

Golpeteo

En algunas ocasiones se golpean los modelos para ser extraídos de los moldes, acción que genera la modificación de las dimensiones finales de las piezas obtenidas, estas pequeñas modificaciones deben ser tomadas en consideración en la fabricación de los modelos.



Etapas del proceso

3. **Colada.** Vertido del material fundido.
4. **Enfriamiento y solidificación.** Esta etapa es crítica de todo el proceso, ya que un enfriamiento excesivamente rápido puede provocar tensiones mecánicas en la pieza, e incluso la aparición de grietas, mientras que si es demasiado lento disminuye la productividad.
5. **Desmoldeo.** Rotura del molde y extracción de la pieza. En el desmoldeo también debe retirarse la arena del macho. Toda esta arena se recicla para la construcción de nuevos moldes.
6. **Desbarbado.** Consiste en la eliminación de los conductos de alimentación, mazarota y rebabas procedentes de la junta de ambas caras del molde.
7. **Acabado y limpieza** de los restos de arena adheridos. Posteriormente la pieza puede requerir mecanizado, tratamiento térmico, etc.



Etapas del proceso

Variantes de moldes

- **Moldeo en arena verde.** Consiste en la elaboración del molde con arena húmeda y colada directa del metal fundido. Es el método más empleado en la actualidad, con todo tipo de metales, y para piezas de tamaño pequeño y medio.
 - No es adecuado para piezas grandes o de geometrías complejas, ni para obtener buenos acabados superficiales o tolerancias reducidas.
- **Moldeo en arena seca.** Antes de la colada, el molde se seca a elevada temperatura (entre 200 y 300°C). De este modo se incrementa la rigidez del molde, lo que permite fundir piezas de mayor tamaño, geometrías más complejas y con mayor precisión dimensional y mejor acabado superficial.
- **Moldeo mecánico.** Consiste en la automatización del moldeo en arena verde. La generación del molde mediante prensas mecánicas o hidráulicas, permite obtener moldes densos y resistentes que subsanan las deficiencias del moldeo tradicional en arena verde.



Etapas del proceso

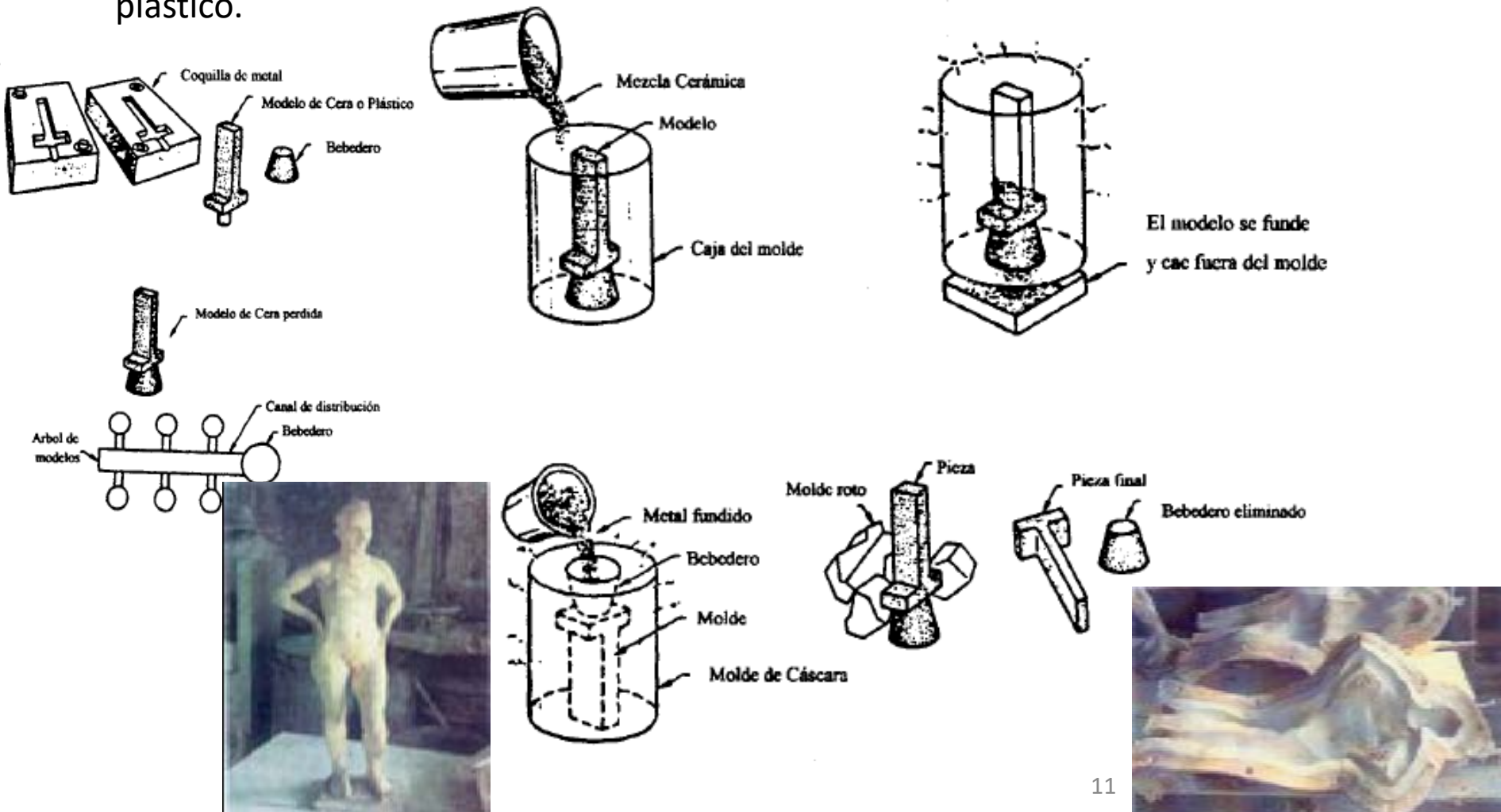
Variantes de moldes (cont...)

- **Moldeo a la cera perdida o microfusión.** En este caso, el modelo se fabrica en cera o plástico. Una vez obtenido, se recubre de una serie de dos capas, la primera de un material que garantice un buen acabado superficial, y la segunda de un material refractario que proporcione rigidez al conjunto.
 - Una vez que se ha completado el molde, se calienta para endurecer el recubrimiento y derretir la cera o el plástico para extraerla del molde en el que se verterá posteriormente el metal fundido.
 - Este método tiene dos ventajas principales, la ausencia de machos y de superficies de junta, con lo que se logran fieles reproducciones del modelo original sin defectos superficiales (líneas de junta y rebabas) que luego haya que pulir.

Moldeo a la cera perdida



Molde cerámico formado por una mezcla de material refractario, silicato de etilo hidrolizado y alcohol, que se moldea utilizando un gel sobre el modelo de cera o plástico.

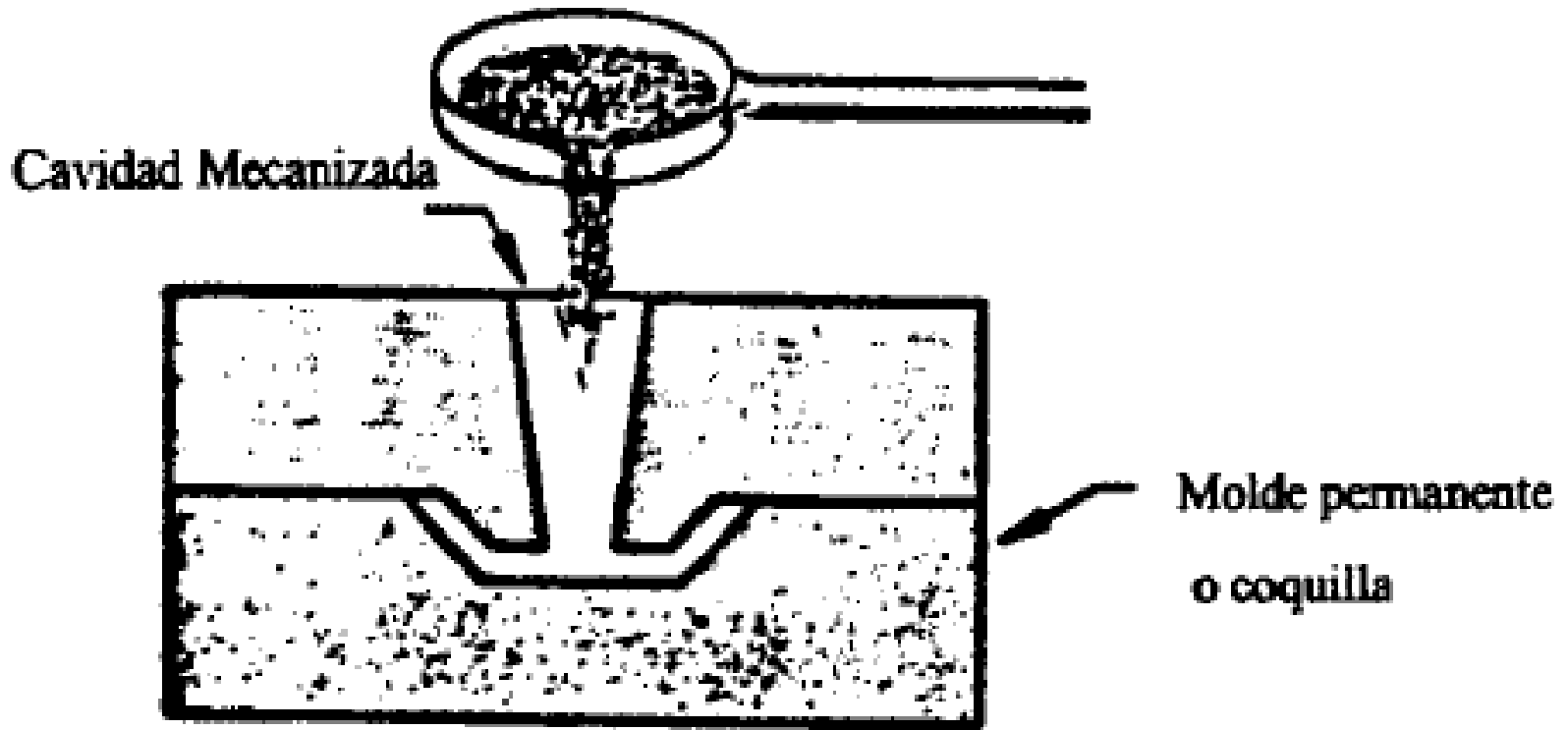




Otros tipos de Moldeos

- Fundición en coquilla
- Fundición por Inyección
- Fundición prensada
- Fundición a baja presión

Moldeo en Coquilla





Moldeo en Coquilla

El molde puede estar hecho en **fundición gris, acero refractario o grafito**. El vertido se hace por gravedad.

Ventajas de su utilización:

- Reutilizable
- Índice de producción rápido
- Buenos acabados superficiales
- Buena precisión dimensional
- Baja cantidad desperdicios
- Direccionamiento de la solidificación
- Enfriamiento rápido mayor resistencia en las piezas

Inconvenientes de su utilización:

- No se pueden moldear piezas complejas
- Coste elevado
- Tiempo de construcción del molde elevado

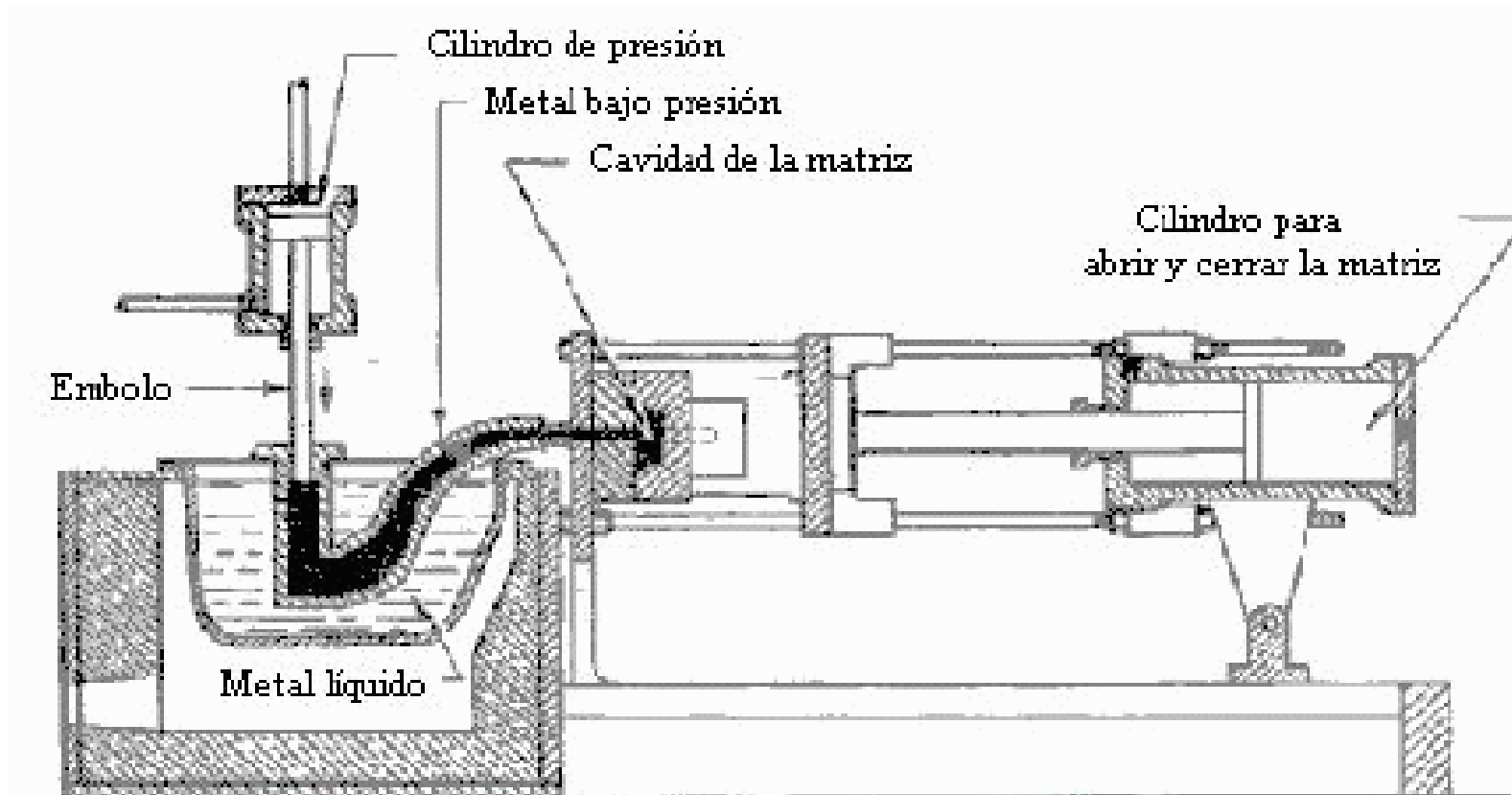


Moldeo a presión

- En este proceso **el metal líquido se inyecta a presión** en un molde metálico (matriz). La inyección se hace a una presión entre **10 y 14 MPa**.
- Las piezas logradas con este procedimiento son de **gran calidad en lo que se refiere a su acabado y a sus dimensiones**.
- Este procedimiento es uno de los más utilizados para la producción de **grandes cantidades de piezas fundidas**.
- La presión permite conseguir **paredes muy finas y detalles pequeños**.
- Se utiliza en **aleaciones de cobre, aluminio y zinc**.
- Necesidad de un ciclo tiempo-presión para cada etapa del proceso.

Moldeo a presión

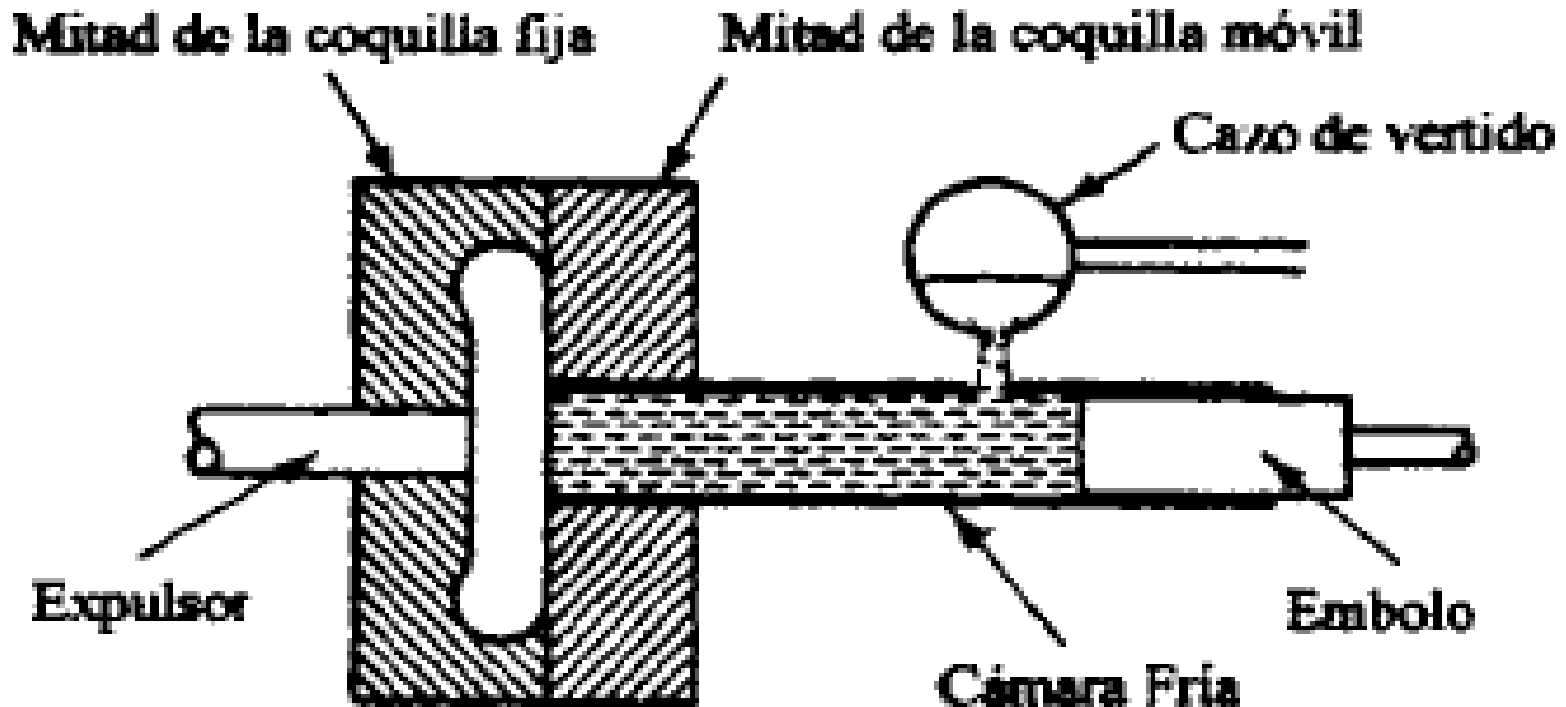
Se pueden utilizar dos tipos de sistema de inyección:
Fundición en cámara caliente



Máquina de cámara caliente para fundición en matriz actuada mediante un émbolo.

Moldeo a presión

Fundición en cámara fría



Moldeo a presión

Ejemplos de moldes





Fundición prensada

La **fundición prensada** es un procedimiento de fundición.

Este procedimiento combina las características de la fundición y la forja, de forma que **no se hace necesario el uso de canales de alimentación ni de mazarotas**. La fundición prensada **se basa en el principio de la solidificación prensada del metal fundido usando un juego de utillajes y una prensa hidráulica**.

Se coloca el juego de utillajes en la prensa hidráulica y se precalientan hasta la temperatura de trabajo. Se introduce una cantidad exacta de metal fundido en la parte inferior del troquel y se activa la prensa. Cuando se cierran la parte superior e inferior del troquel, el utillaje obliga al metal a rellenar las cavidades definidas por el juego de troqueles y el metal es presionado. La presión se mantiene hasta la completa solidificación de la pieza. Ello fuerza al metal a tener un contacto muy estrecho con las superficies del troquel, obteniendo una reproducción exacta de la superficie.



Fundición a baja presión

La **fundición a baja presión** es un sistema de fundición que consiste en la colocación de un crisol de metal fundido en un recipiente a presión. Un tubo de alimentación conecta el metal de crisol con la entrada del molde.

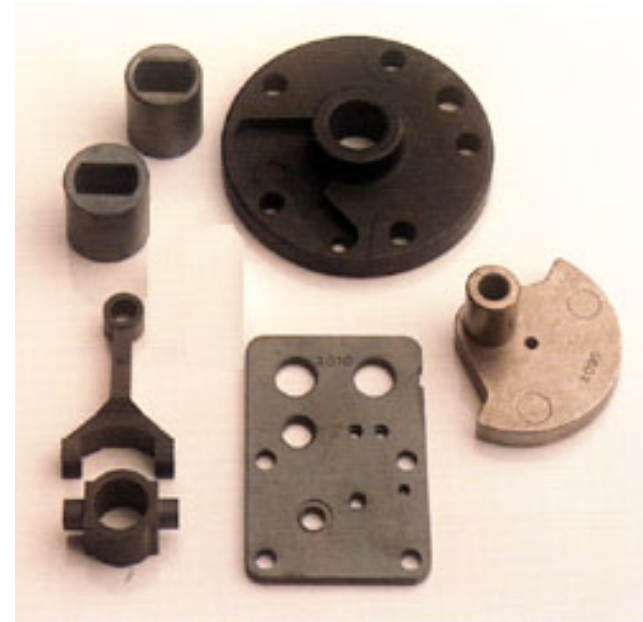
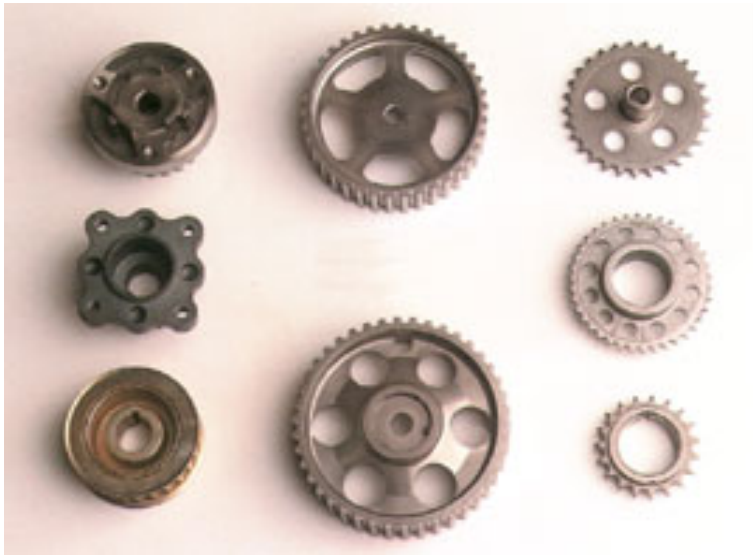
Se inyecta aire comprimido o un gas inerte en el recipiente a una presión de entre **0,020 y 0,105 MPa**. Al inyectarlo la única salida del metal será el tubo por lo que se genera el flujo de metal, que llena la matriz y forma la pieza.

La presión se mantiene durante la solidificación para compensar la contracción volumétrica. **No son necesarias ni mazarotas ni alimentación de colada.**



Fundamentos del procesado de polvos

La **metalurgia de polvos** es una tecnología de fabricación basada en la **formación de piezas a partir de partículas metálicas** que son **prensadas** entre sí y **calentadas** para generar la unión de las mismas.





Características del proceso

Ventajas:

- Las piezas producidas normalmente no necesitan un procesado posterior.
- Tolerancias dimensionales estrechas (± 0.15 mm).
- Genera poco desperdicio de material ($\approx 3\%$).
- Se pueden conseguir piezas de diferentes niveles de porosidad: rodamientos, filtros, etc.
- Se pueden utilizar materiales difíciles de procesar a través de otras técnicas.
- Permite obtener piezas difíciles de fabricar por otros métodos.
- Permite combinar metales difícilmente aleables.
- Excelente reproducibilidad para grandes series.
- Ahorro de costes: el consumo energético por pieza es menor que el de fundición.
- Elevada reducción de costes para series medianas y grandes.



Características del proceso

Inconvenientes:

- Elevado coste de los útiles.
- Alto coste de obtención de las partículas metálicas.
- Dificultades de almacenamiento y manipulación de las partículas metálicas.
- Limitaciones en la forma de las piezas: los taladros transversales se deben obtener por mecanizado posterior.
- Variaciones de densidad del material en diferentes zonas de la pieza.



Materiales que se pueden utilizar

▫ *Metales férreos:*

- Hierro
- Acero
- Hierro + cobre
- Hierro + carbón + cobre

▫ *Metales no férreos:*

- Latón
- Plata-Níquel
- Aluminio
- Tungsteno
- Molibdeno

Sinterizado

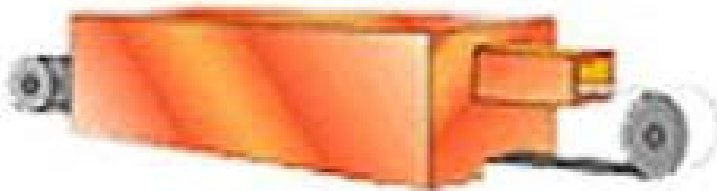
Características del proceso:

Es la operación de Tratamiento térmico que se efectúa sobre la pieza en verde para unir sus partículas e incrementar su resistencia mecánica.



- En horno:
 - A altas temperaturas (por debajo del punto de fusión).
 - En atmósfera controlada: (Vacío, Ni, NH_3 disociado, gas inerte, H_2 , gas natural)

sinterizado



- Fases:
 - Precaentado.
 - Sinterizado.
 - Enfriado.



Sinterizado

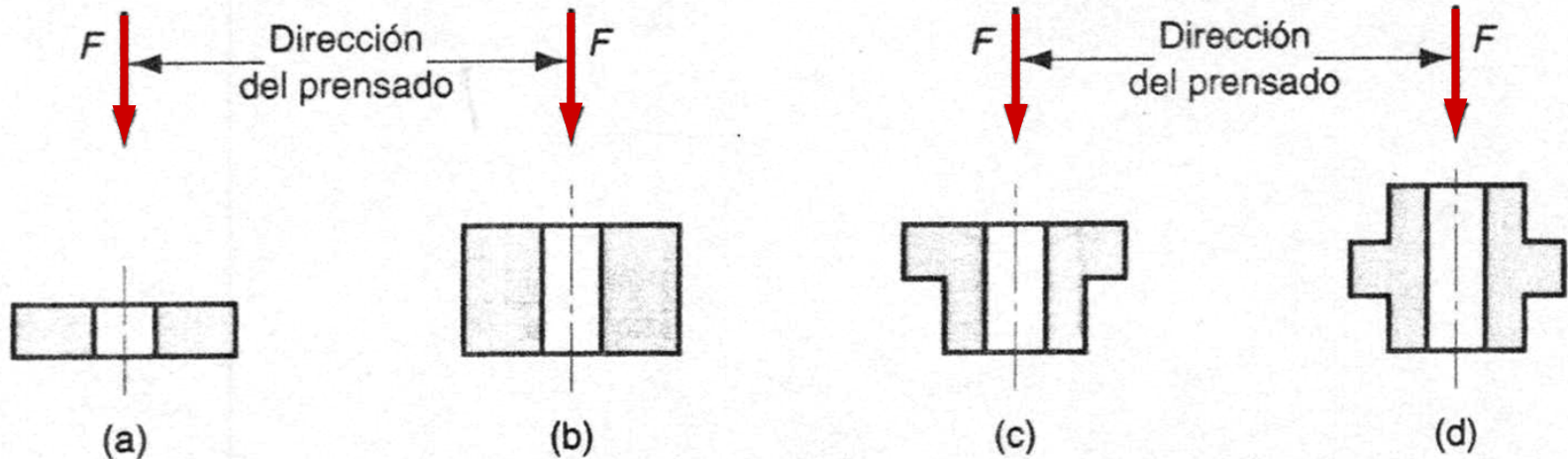
- Las **temperaturas de Sinterización** oscilan entre el **70 % y el 90 %** de la **temperatura de fusión** del material
- El tiempo depende del material considerado

Metal / Aleación	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
Cobre, Latón y Bronce	760 – 900	10 - 45
Fundición de Hierro	1000 – 1150	8 - 45
Níquel	1000 – 1150	30 - 45
Acero Inoxidable	1000 – 1290	30 - 60
Ferritas	1200 – 1500	10 - 600
Carburo de Tungsteno	1430 – 1500	20 - 30
Molibdeno	2050	120
Tungsteno	2350	480
Tántalo	2400	480



Consideraciones de diseño

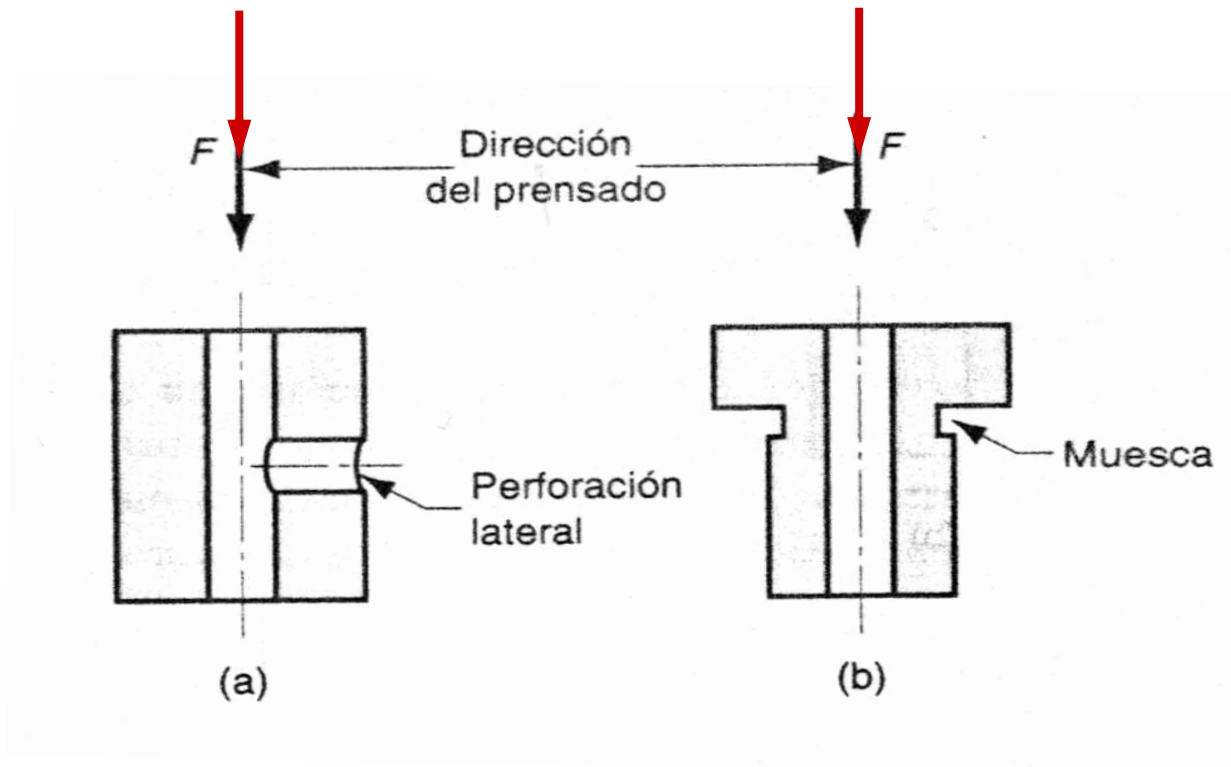
La forma de la pieza debe permitir su extracción: caras verticales, aunque también se permiten escalonamientos.





Consideraciones de diseño

Deben evitarse las muescas y perforaciones laterales.

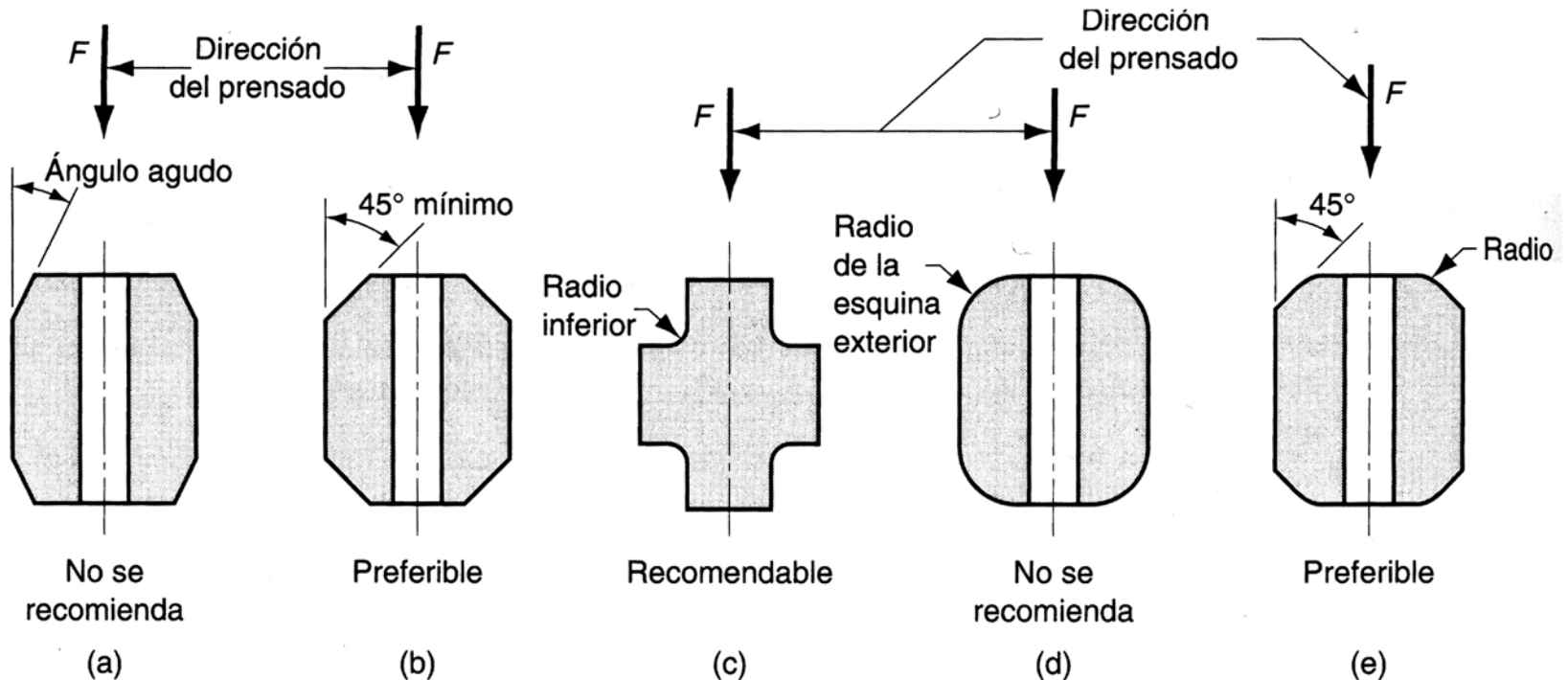




Consideraciones de diseño

Los elementos roscados no se pueden fabricar por sinterizado, deben mecanizarse posteriormente.

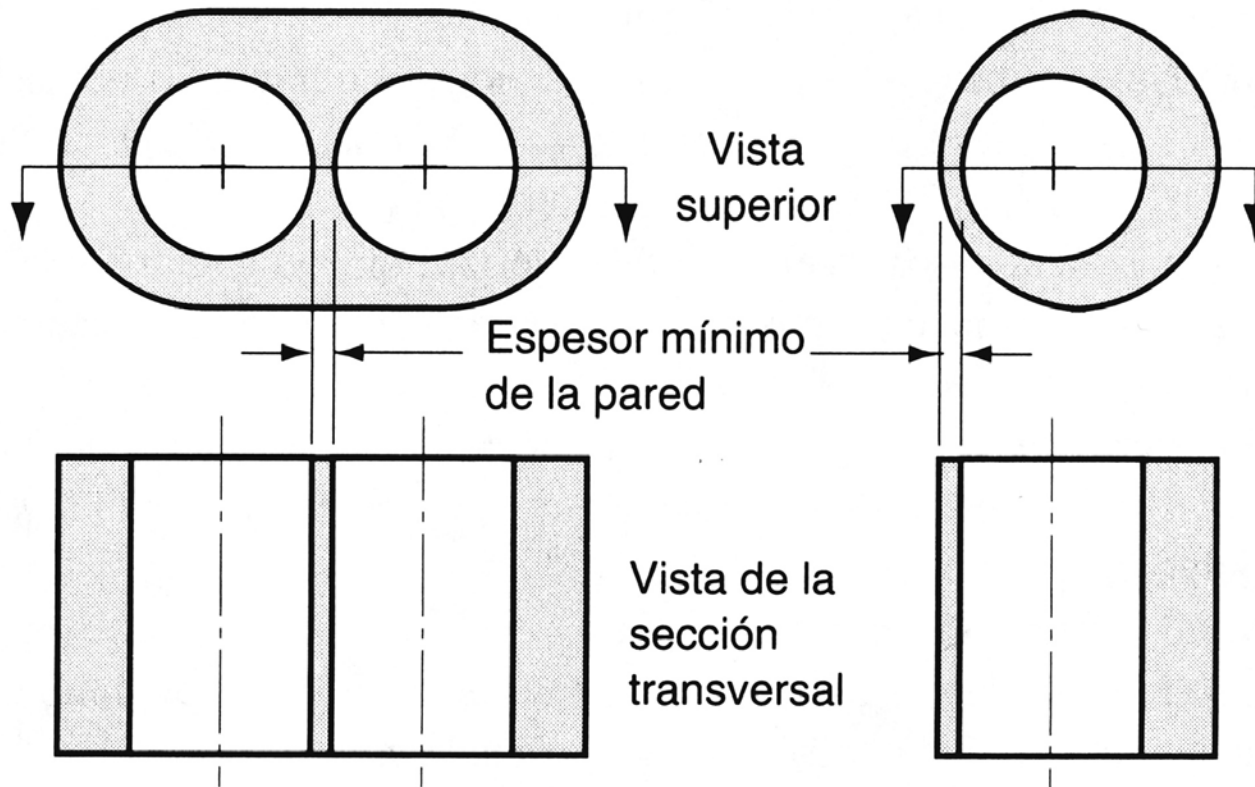
Se pueden obtener chaflanes y esquinas redondeadas, pero si los ángulos son muy agudos, hay problemas de rigidez de los punzones.





Consideraciones de diseño

En general, se pueden fabricar paredes de **espesor mínimo de 1,5 mm**





Tolerancias que se obtienen

Precisiones de cota y relaciones con las calidades ISO, para piezas sinterizadas

CALIDAD	ALEACIONES DE Fe COTA TRANSVERSAL	ALEACIONES DE Fe COTA LONGITUDINAL	ALEACIONES LIGERAS Y DE Cu	ACEROS MUY ALEADOS Y CERÁMICA
8	COMPACTADO + CALIBRADO		TOLERANCIAS DEL ORDEN DE LA MITAD DE LAS CONSEGUIDAS CON FE	TOLERANCIAS DEL ORDEN DEL DOBLE DE LAS CONSEGUIDA S CON FE
9		COMPACTADO + CALIBRADO		
10	COMPACTADO			
11		COMPACTADO		



Problemas de Fundición



Calor necesario para que ocurra el proceso de fundición de un material Q

$$Q = \rho_{material} \cdot V_{colada} \left[C_{sólido} (T_{fusión} - T_0) + C_{fusión} + C_{líquido} (T_{colada} - T_{fusión}) \right]$$

ρ : Densidad del material

V : Volumen de la colada

C : Calor específico del material (Depende de la temperatura)

$C_{fusión}$: Calor de fusión

$$h_{bebedero} = \frac{v_{base_bebedero}^2}{2 \cdot g}$$

$$q = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$$

$$t_{llenado} = \frac{V_{cavidad}}{q}$$

q : Caudal del fluido

A : Área de la sección transversal

$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

ρ : densidad del fluido

v : velocidad característica del fluido

D : diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido o longitud característica del sistema

μ : viscosidad dinámica del fluido

Flujo laminar si $Re < 2000$



$$\eta = \frac{M_p}{M_t}$$

Rendimiento de la fundición (η)

Masa de metal necesaria $M_t = M_p + M_d + M_s$

Masa de la propia pieza M_p

Masa del sistema de distribución M_d

Masa de margen de seguridad $M_s = (5-10 \% \text{ de } M_p + M_d)$

$$p = \eta gh$$

Presión metalostática

$$F_n = \eta ghS$$

Esfuerzo normal a la superficie

Ecuación de Chvorinov

$$t_{st} = C_{molde} \left(\frac{V_{cavidad}}{A_{cavidad}} \right)^n$$

t_{st}: Tiempo de solidificación total, (min)

C_{molde}: Constante del molde.

V_{cavidad}: Volumen de material en la cavidad (m^3)

A_{cavidad}: Área disponible para disipar en calor en la cavidad (m^2)

n: Exponente que toma usualmente un valor de 2



METAL O ALEACIÓN	CONTRACCIÓN [mm / m]
Aceros	
Aceros bajo carbono	20-21
Aceros medio carbono	16-18
Aceros alto manganeso	25-26
Aceros inoxidable Cr - Ni	25
Aceros al cromo	20-21
Fundiciones	
Fundiciones grises piezas delgadas	10
Fundiciones grises piezas gruesas	7
Fundiciones blancas	16-21
Fundiciones blancas alto cromo	20
Fundiciones maleables	9-13
Fundiciones nodulares	10
Ni Hard	20-23
Aleaciones de aluminio	
Aluminio puro	17
Aluminio - cobre	13-14
Aluminio - silicio	11-13
Aluminio - magnesio	12-14



Cálculo de las mazarotas

1. Regla de las contracciones. El volumen del metal líquido de la mazarota (V_m) tiene que ser superior a la contracción de la pieza.

$$V_m = nV_p c / 100$$

V_p : Volumen de metal líquido de la pieza
 n : coef. de seguridad (1,5-3)
 c : coef. de contracción

$$M_m = V_m / S_m > M_p = V_p / S_p$$

En la práctica $M_m = 1.2 M_p$

2. Regla de los módulos. El tiempo de solidificación de la mazarota debe ser superior al de la pieza.



Problema 1



Se necesita fundir una pieza de 3kg de masa de una aleación de Aluminio A2017.
La temperatura a la que se hace la colada es de 800°C.

Calcular:

1. La velocidad de la colada en la entrada del molde
2. La cantidad de calor necesaria a aplicar para realizar el proceso
3. La altura mínima del bebedero
4. El tiempo de llenado del molde
5. La masa total de material necesario para cubrir el volumen de la pieza, teniendo en cuenta el más alto margen de seguridad
6. El rendimiento de la fundición

Datos

$$\rho_{(20^{\circ}\text{C})} = 2,8\text{g/cm}^3$$

$$C_{(20^{\circ}\text{C})} = 900\text{J/KgK}$$

$$C_{(800^{\circ}\text{C})} = 1060\text{J/KgK}$$

$$C_{\text{fusión}} = 390\text{kJ/Kg}$$

$$D = 50\text{mm (Diámetro de la sección de entrada)}$$

$$D = 5\text{mm (Diámetro de la sección de la base del bebedero)}$$

$$\mu_{(700^{\circ}\text{C ó } 973\text{K})} = 1,1\text{mNs/m}^2$$

Flujo laminar $Re < 2000$

$$M_d = 0,78\text{kg}$$

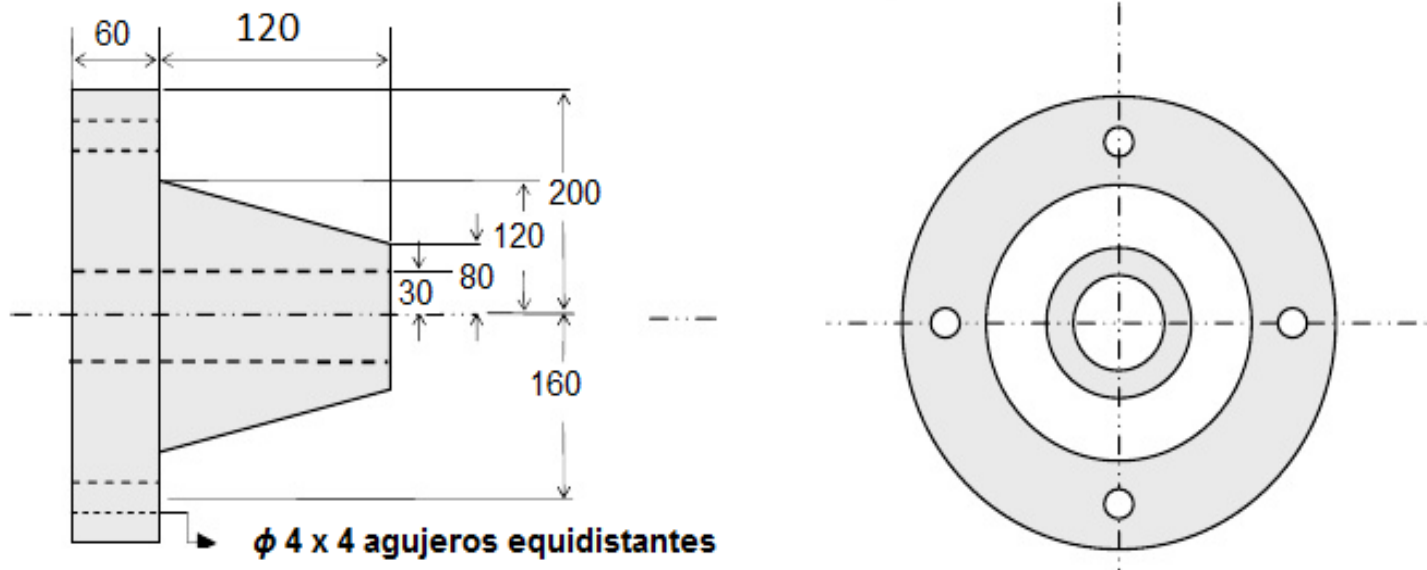


Problema 2

Se desea obtener por fundición la pieza mostrada en la figura, el material es Acero 1.1176. Diseñe el proceso para un moldeo en arena de modo que la mazarota sea cilíndrica con una relación $L/D=1$, la constante del molde es de $4\text{min}/\text{cm}^2$ y se desea que la solidificación ocurra un 50% después del tiempo en que solidifique la pieza. Además de los volúmenes de la mazarota y la pieza considere un 10% adicional para cubrir el volumen del canal de alimentación, parte del bebedero y otros.

Determine:

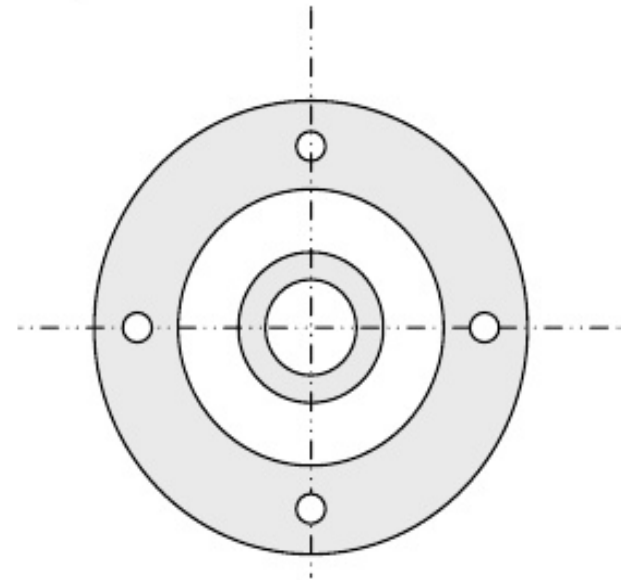
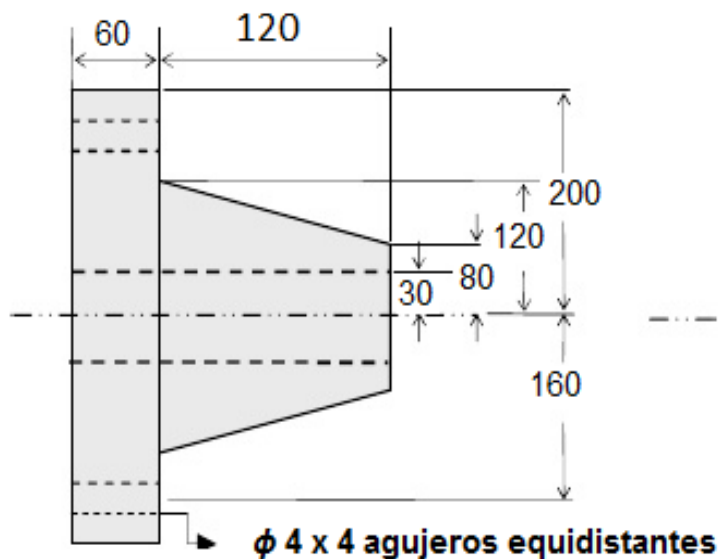
1. Tiempo de solidificación total del contenido del molde.
2. Tiempo de vaciado si la altura de colada es de 10cm y el diámetro de alimentación del canal es de 3cm





Problema 3

Para la pieza representada en el croquis del problema anterior, y siguiendo las recomendaciones de los pasos 1 a 4 del capítulo III del libro (J.M. Lasheras. “Tecnología Mecánica y Metrotecnica. Volumen I, págs. 50-53”. Editorial Donostiarra s.a. ISBN:8470630871), represente en un croquis el modelo necesario para fabricar dicha pieza señalando las dimensiones más importantes de la misma.

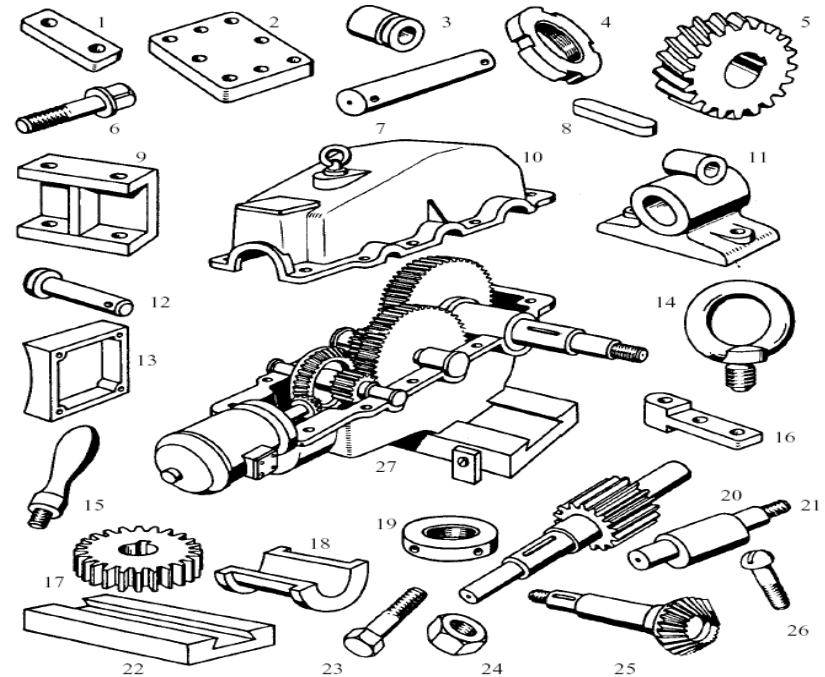




Fabricación por Conformación plástica.

Procesos de Conformación volumétrica

1. Laminado
2. Extrusión
3. Trefilado o Estirado
4. Forjado



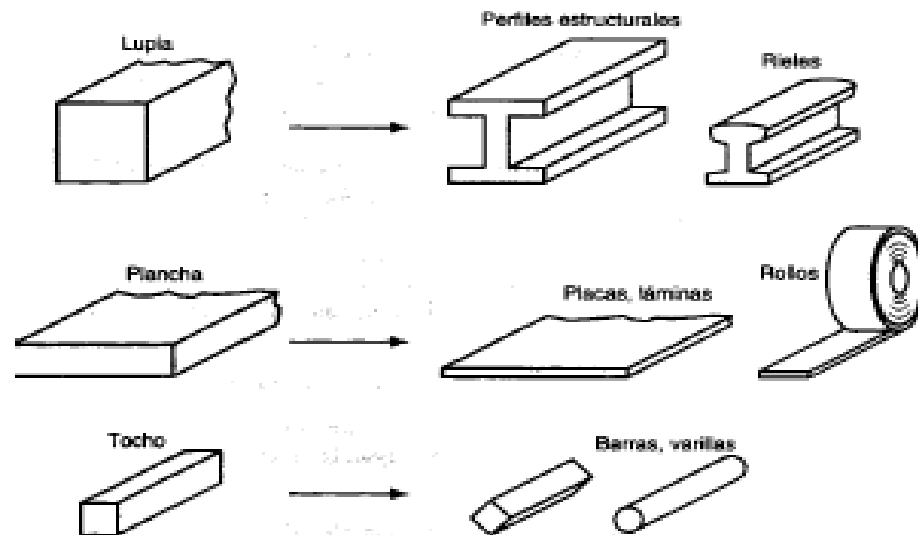
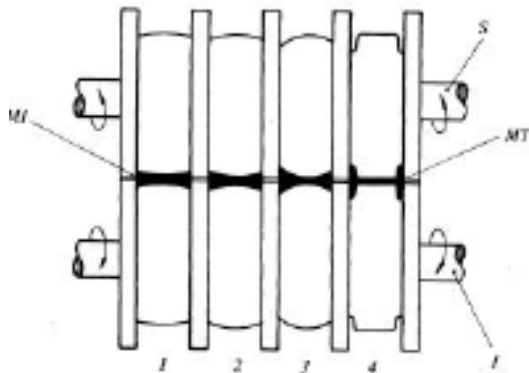
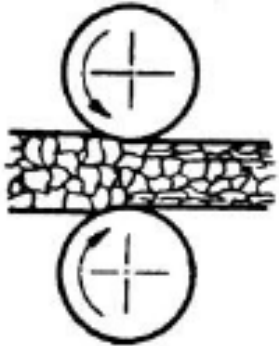


Laminado

Proceso de conformado en el cual se hace pasar al metal por trenes de rodillos paralelos que le dan una forma progresivamente más parecida a la deseada.

El producto final de la laminación puede presentarse en grupos de **chapas de tamaños normalizados**, o de **bobinas** en las que la lámina se enrolla en un cuerpo, también bajo medidas normalizadas o en forma de **perfiles**.

La **lámina** puede ser tratada químicamente tras su transformación para variar su comportamiento mecánico con tratamientos superficiales comunes, como el **galvanizado**.





Laminado

Materials que se pueden laminar:

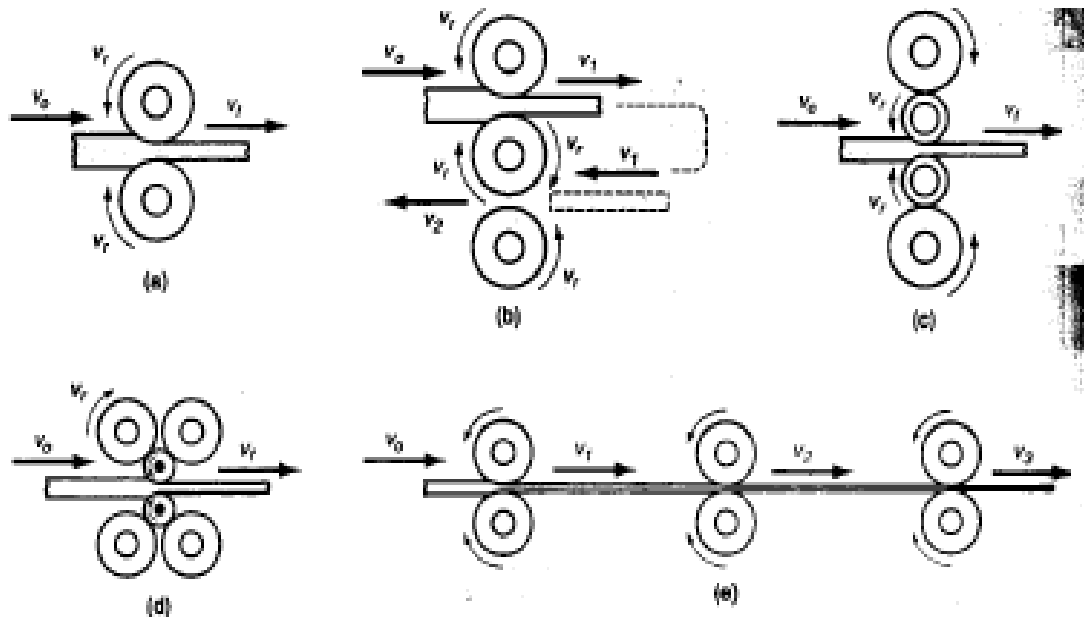
- Metales puros: Al, Cu, Fe, Ti, Zn
- Aleaciones: Acero, de Al, (Al-Cu, Al-Mg, Al-Zn, Al-Mn) de Mg (Mg-Al, Mg-Zn, Mg-Mn), de Cu (Cu-Zn, Cu-Zn-Sn, Cu-Zn-Pb) o bronce (Cu-Al, Cu-Ni, Cu-Si)

Trenes de laminación:

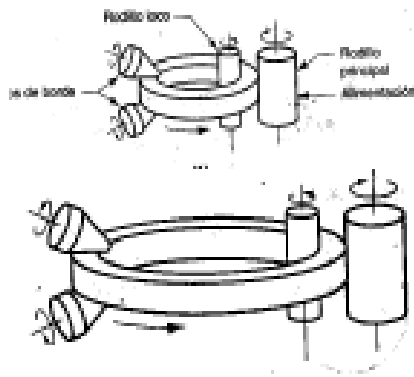
- De desbaste
- De palanquilla
- De acabado

Laminado

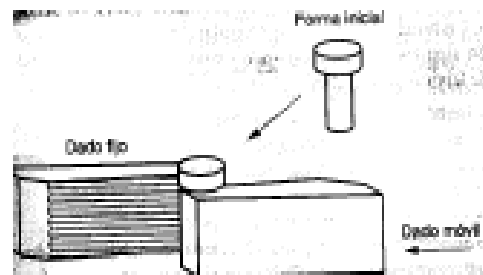
Molinos laminadores



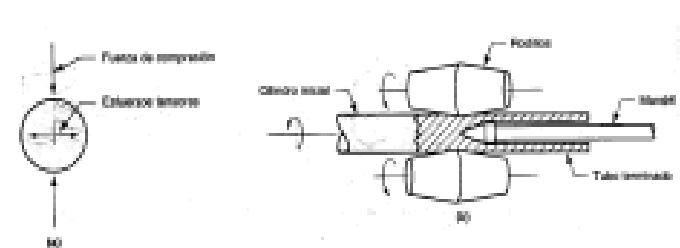
Laminado de anillos



Laminado de cuerdas

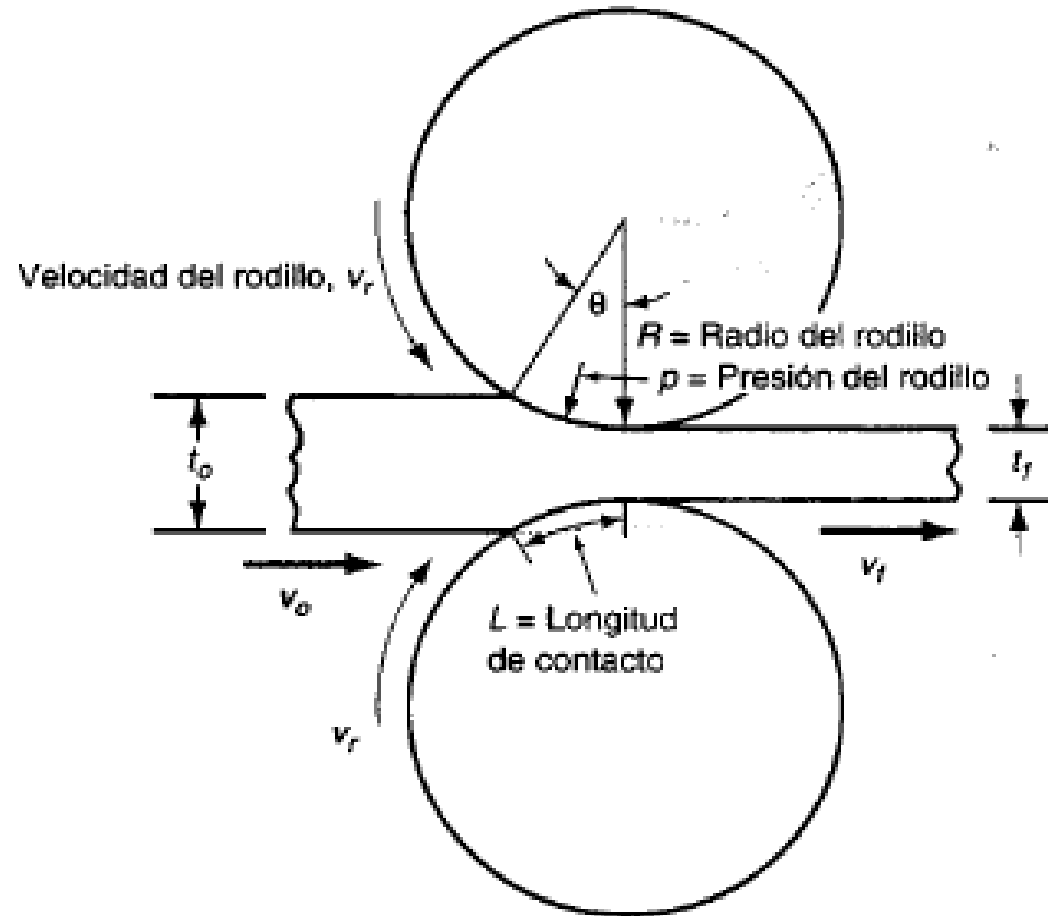


Perforado de rodillos



Laminado

Geometría del proceso





Laminado



Parámetros tecnológicos del proceso

$$d = t_0 - t_f \quad d_{\max} = \mu^2 R \quad r = \frac{d}{t_0}$$

$$t_0 w_0 L_0 = t_f w_f L_f \quad t_0 w_0 v_0 = t_f w_f v_f$$

$$\varepsilon = \ln \frac{t_0}{t_f} \quad \bar{Y}_f = \frac{K \varepsilon^n}{1+n}$$

$$F = \bar{Y}_f \omega_0 L$$

$$L = R \cdot ar \cos \left(1 - \left(\frac{t_0 - t_f}{2R} \right) \right)$$

$$T = 0,5 \cdot F \cdot L$$

$$P = 2\pi \cdot n \cdot F \cdot L$$

d- Draft

d_{\max} - Draft máximo posible a alcanzar con un coeficiente de fricción dado

μ - coeficiente de fricción

R- Radio del rodillo

r- Coeficiente de reducción de altura

t_0 - Espesor inicial

t_f - Espesor final

w_0 - Ancho inicial de la pieza

w_f - Ancho final de la pieza

L_0 - Longitud inicial de la pieza

L_f - Longitud final de la pieza

v_0 - velocidad volumétrica del material antes del rodillo

v_f - velocidad volumétrica del material después del rodillo

ε - Esfuerzo real experimentado por el material

\bar{Y}_f - Esfuerzo de fluencia promedio aplicado al material

K- Esfuerzo límite de fluencia del material

n- Coeficiente de endurecimiento por deformación del material de la pieza

F- Fuerza de laminado

T- Momento de torsión en los rodillos

P- Potencia requerida para mover cada rodillo

n- Velocidad de rotación de los rodillos

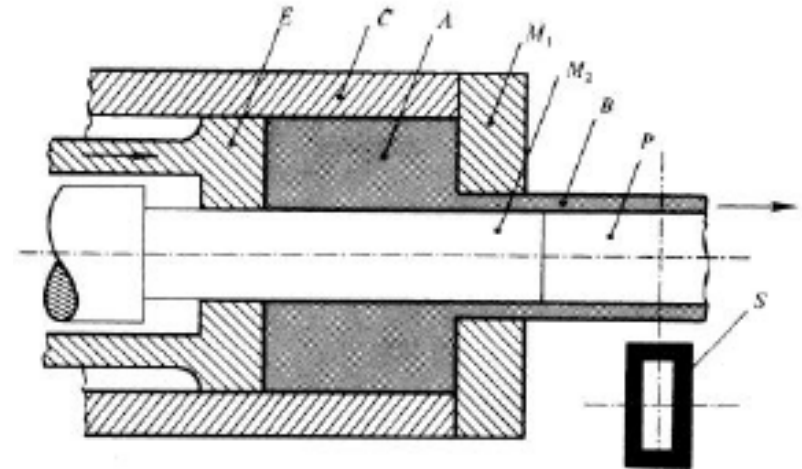


Extrusión

La extrusión es un **proceso de conformado por compresión** en el cual el **material de trabajo es forzado a fluir** a través de la abertura de un dado para darle forma a su sección transversal.

Características principales:

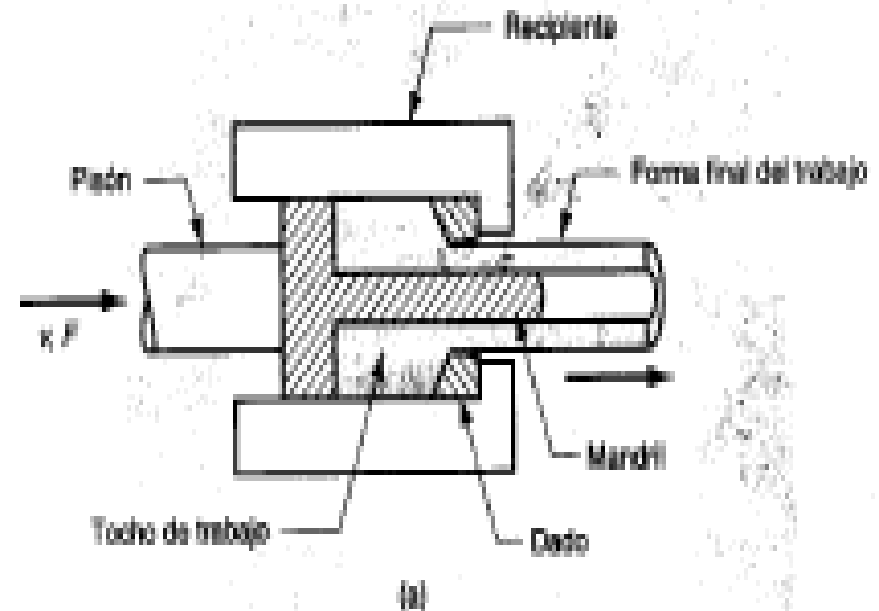
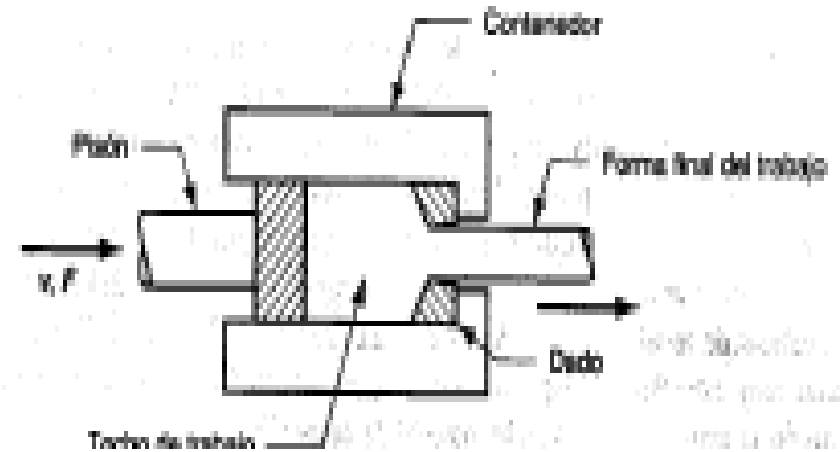
- Se puede extruir una gran variedad de formas, especialmente en caliente; sin embargo, una limitación de la geometría es que la sección transversal debe ser la misma a lo largo de toda la pieza.
- La estructura del grano y las propiedades de resistencia mejoran con la extrusión.
- Puede realizarse en frío o en caliente, según el tipo de material
- Necesidad de grandes fuerzas de prensado (de 2.000 a 20.000 t).
- Grandes reducciones de sección (20:1 en acero, hasta 100:1 en aluminio).
- Son posibles tolerancias muy estrechas.
- Poco o ningún material de desperdicio



Extrusión

Tipos de Extrusión

- **Extrusión directa o hacia adelante:** Un tocho de material se carga en un recipiente y un pistón lo fuerza a salir hacia el otro lado del mismo a través de un dado.
- Al final del proceso quedará una pequeña porción del tocho que no puede forzarse a salir a través del dado. (**Tope**)
- **Problema:** Hay mucha **fricción** entre el tocho y las paredes del dado, lo cual **incrementa la fuerza** que debe realizar al pistón.
- Se producen formas según la sección del dado. También pueden ser huecas.

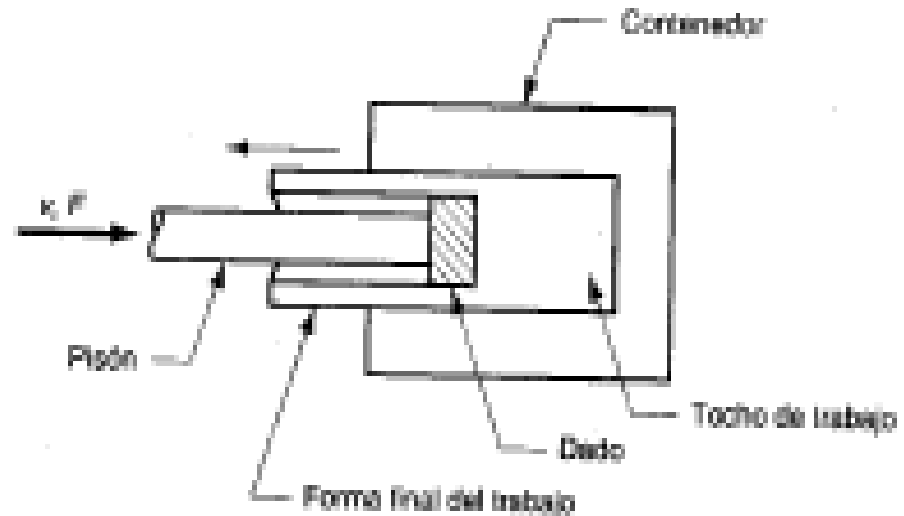
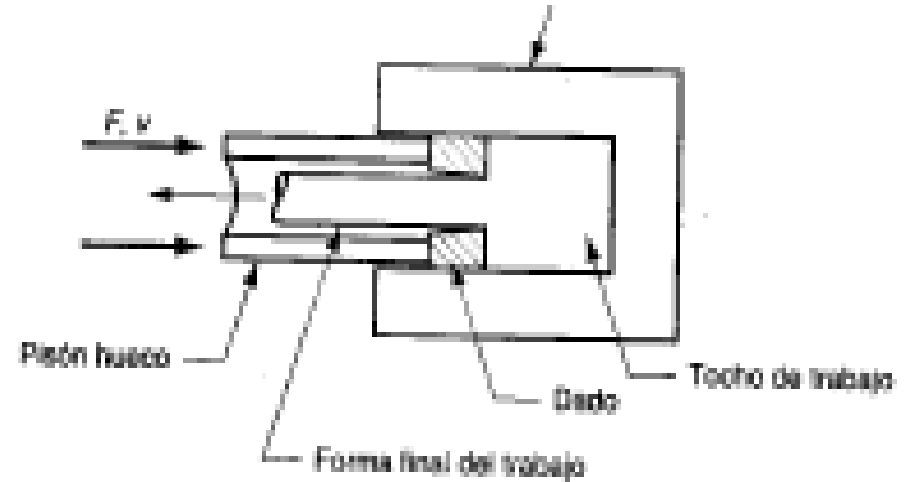


Extrusión



Tipos de Extrusión

- **Extrusión indirecta o hacia atrás o inversa:** El dado de extrusión está montado sobre el pistón y el material fluye en el sentido contrario al movimiento del pistón.
- La fuerza de fricción disminuye ya que el tocho no se mueve con respecto al recipiente.
- **Problemas:** Menor rigidez del pistón hueco y dificultad de mantener el producto extraído tal como sale del dado.
- Se producen formas según la sección del dado. También pueden ser huecas.





Extrusión

Parámetros tecnológicos del proceso

Relación de extrusión

$$r_x = \frac{A_0}{A_f}$$

A_0 - Área sección inicial del tocho a extruir
 A_f - Área de la sección recta extruida

Deformación ideal sin fricción y sin trabajo redundante

$$\varepsilon = \ln r_x$$

Y_f - Esfuerzo de fluencia promedio
 p - presión aplicada por el pistón

Para cualquier procedimiento de extrusión:

$$p = \bar{Y}_f \ln r_x$$



Extrusión

Parámetros tecnológicos del proceso

Relación de extrusión

$$r_x = \frac{A_0}{A_f}$$

A_0 - Área sección inicial del tocho a extruir
 A_f - Área de la sección recta extruida

Deformación con fricción. Fórmula de Johnson

$$\epsilon_x = a + b \ln r_x$$

$$a = 0.8$$

$$b = [1.2, 1.5]$$

a y b – Constantes empíricas para el ángulo del dado

Extrusión indirecta

$$p = \bar{Y}_f \epsilon_x$$

Extrusión

Parámetros tecnológicos del proceso

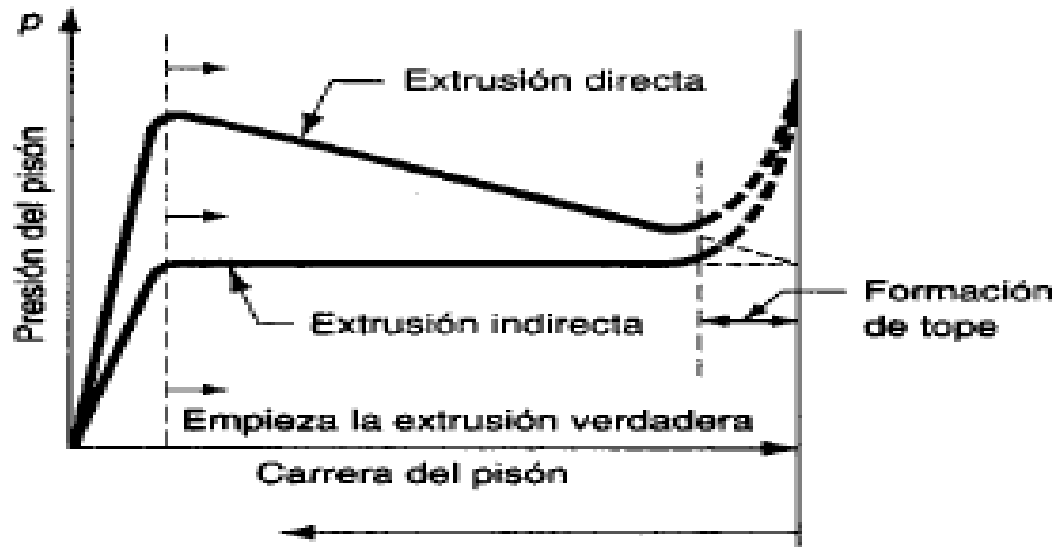
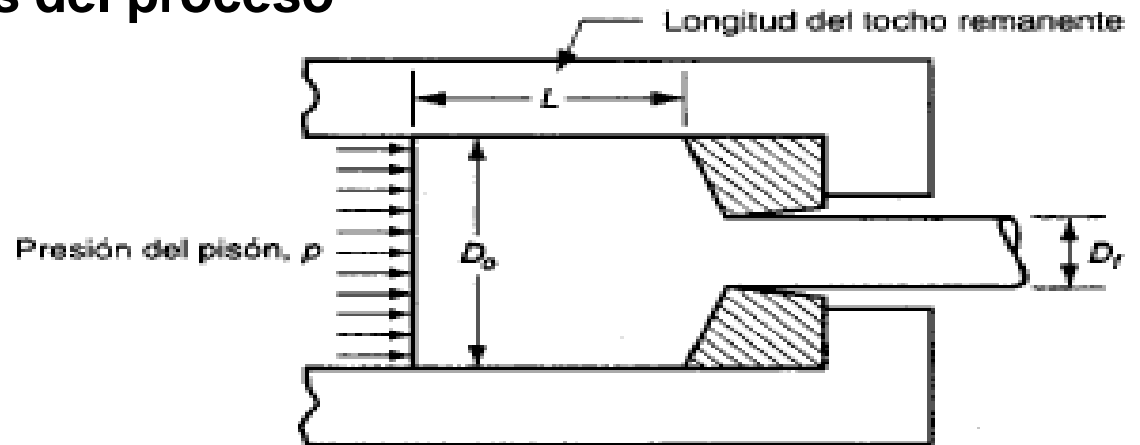
Extrusión directa

$$p = \bar{Y}_f \left(\epsilon_x + \frac{2L}{D_0} \right)$$

Fuerza y potencia del pistón

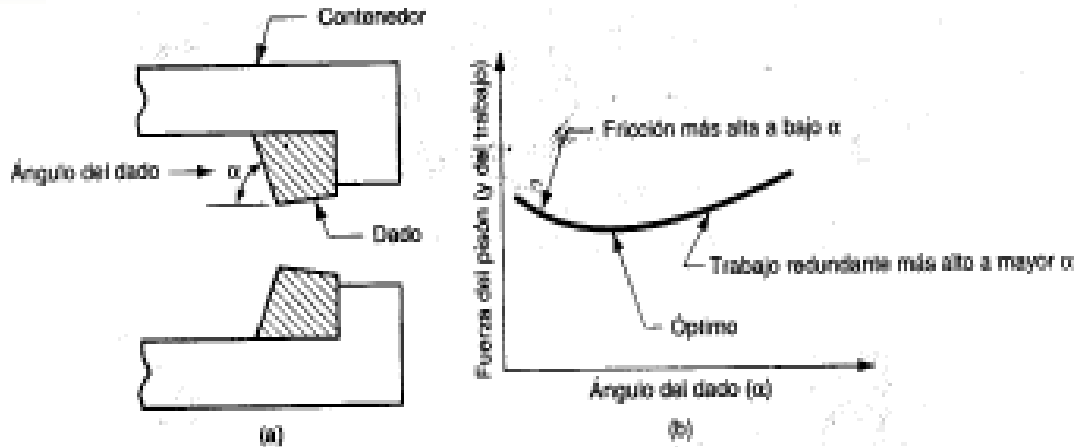
$$F = pA$$

$$N = Fv$$



Extrusión

Parámetros tecnológicos del proceso



Factor de forma de orificio:

$$K_x = 0.98 + 0.02 \left(\frac{C_x}{C_c} \right)^{2.25}$$

C_x = perímetro de la sección transversal extruida

C_c = perímetro de un círculo de la misma área que la forma extruida

Extrusión indirecta

$$p = K_x \bar{Y}_f \epsilon_x$$

Extrusión directa

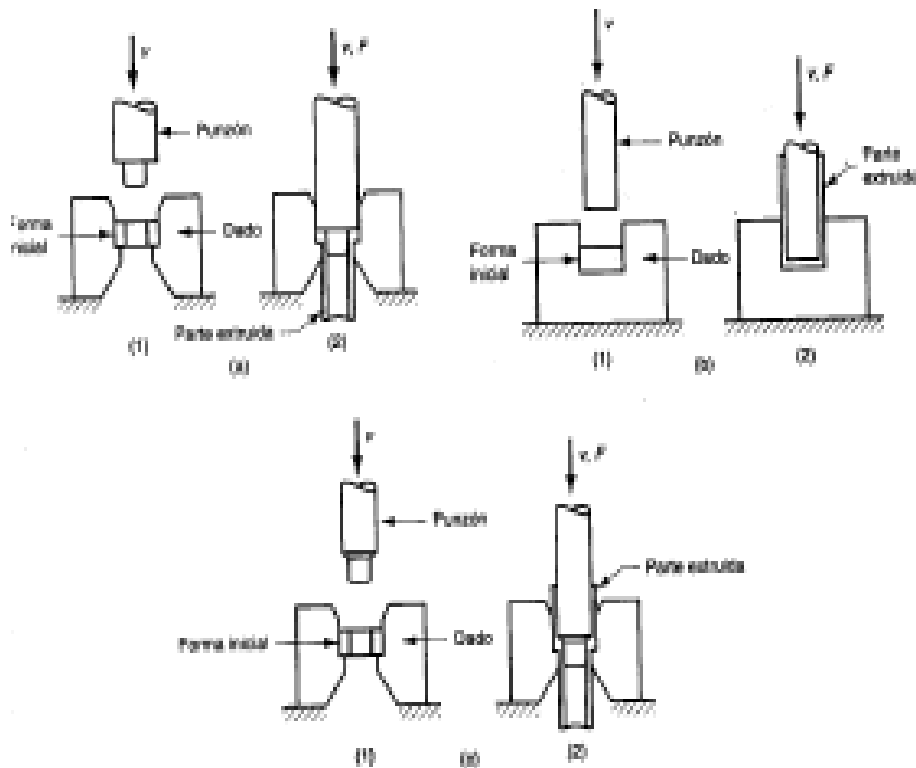
$$p = K_x \bar{Y}_f \left(\epsilon_x + \frac{2L}{D_0} \right)$$

Extrusión

Otros procesos de Extrusión

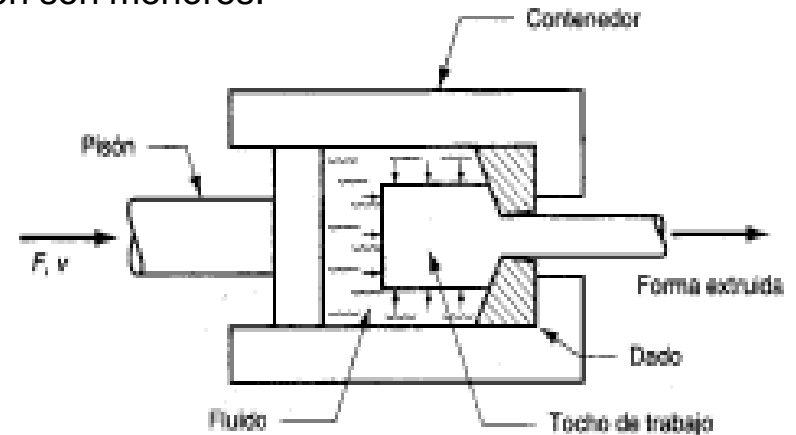
Extrusión por impacto

Se realiza a altas velocidades y carreras más cortas. Se utiliza para hacer componentes individuales. El pistón o punzón más que aplicar presión golpea a la pieza. Puede hacerse hacia delante o hacia atrás.



Extrusión hidrostática

Es un problema de extrusión directa pero se utiliza un fluido entre el pistón y el tocho, que ejerce una presión hidrostática sobre éste último. Se disminuye mucho la fricción, con lo cual las fuerzas que ejerce el pistón son menores.

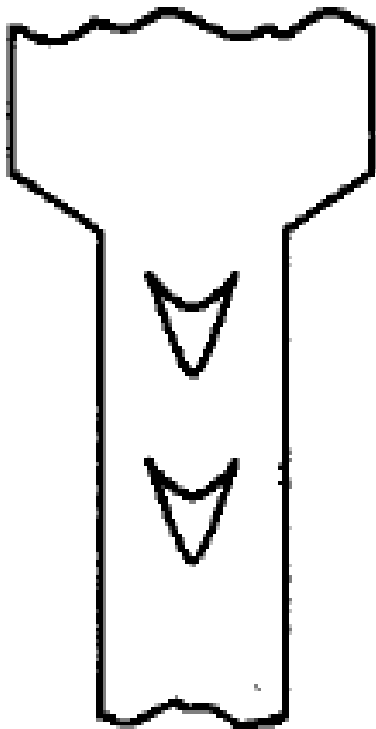


Defectos en la Extrusión

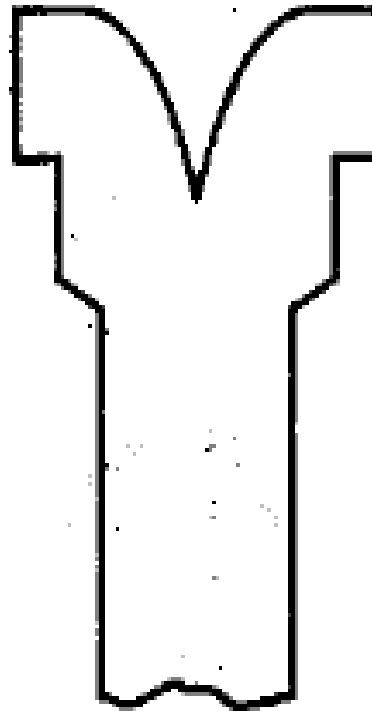
Reventado central

Tubificado

Agrietado superficial



(a)



(b)



(c)



Trefilado o Estirado



- El trefilado es el proceso de **estirado de una barra, varilla o alambre en frío, por pasos sucesivos a través de hileras, dados o trefilas de carburo de tungsteno** cuyo diámetro es paulatinamente menor. Esta disminución de sección da al material una cierta acritud en beneficio de sus características mecánicas.
- La **disminución de sección en cada paso** es del orden de un **20% a un 25%** lo que da un **aumento de resistencia entre 100 y 150 N/mm²**. Alcanzado cierto límite, variable en función del tipo de material, no es aconsejable continuar con el proceso de trefilado pues, a pesar que la resistencia a la tracción sigue aumentando, se pierden otras características como la flexión.
- Si es imprescindible seguir **disminuyendo el diámetro**, se hace un **nuevo tratamiento térmico** que devuelve al material sus características iniciales.



Trefilado o Estirado

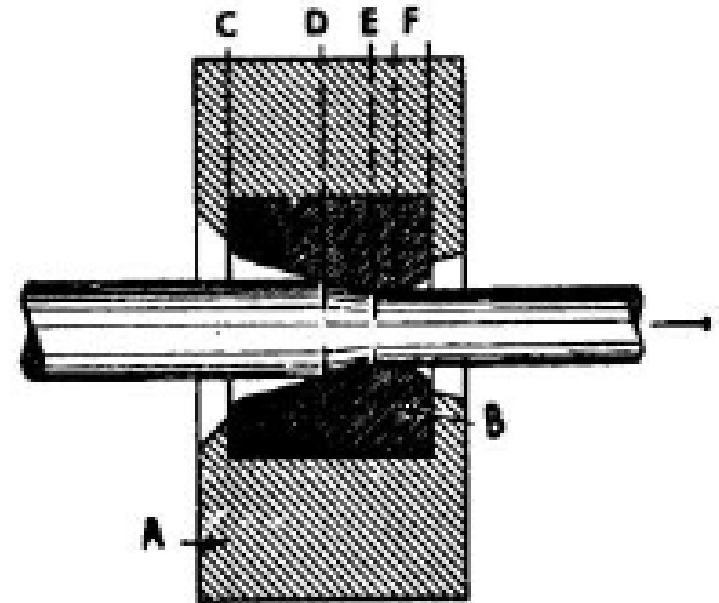


- Las **máquinas** utilizadas para realizar este proceso se denominan **trefiladoras**.
- El **alambre se enrolla en unos tambores o bobinas de tracción** que fuerzan el paso del alambre por las hileras. Estas **hileras se refrigeran** mediante unos lubricantes en polvo y las **bobinas o tambores de tracción se refrigeran** normalmente con agua y aire.
- Las **trefiladoras pueden ser de acumulación** en las que no hay un control de velocidad estricto entre pasos; **o con palpadores** en las que sí se controla la velocidad al mantener el palpador una tensión constante.



Trefilado o Estirado

La diferencia con la extrusión, es que en el estirado se tira del material, mientras que en la extrusión se empuja.



Parámetros tecnológicos

Coefficiente de reducción de Área (r):

$$r = \frac{A_0 - A_f}{A_0}$$

Draft: Diferencia entre los diámetros antes y después del estirado(d):

$$d = D_0 - D_f$$

Trefilado o Estirado

Parámetros tecnológicos

$$\varepsilon = \ln \frac{A_0}{A_f} = \ln \frac{1}{1-r}$$

$$\sigma = \bar{Y}_f \varepsilon = \bar{Y}_f \ln \frac{A_0}{A_f}$$

$$\sigma_d = \bar{Y}_f \left(1 + \frac{\mu}{\tan \alpha}\right) \phi \ln \frac{A_0}{A_f}$$

ε - Deformación ideal cuando no hay auto-deformación

σ - Esfuerzo que resulta de la deformación ideal

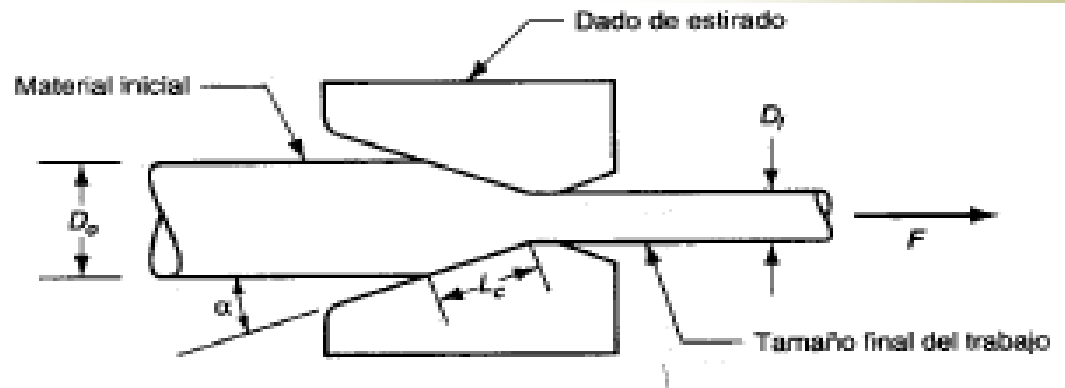
σ_d - Esfuerzo real de estirado sugerido por Schey

μ - Coeficiente de fricción entre dado y material

α - Ángulo del dado

ϕ - Factor que tiene en cuenta que la deformación no es homogénea

$$F = A_f \sigma_d = A_f \bar{Y}_f \left(1 + \frac{\mu}{\tan \alpha}\right) \phi \ln \frac{A_0}{A_f}$$



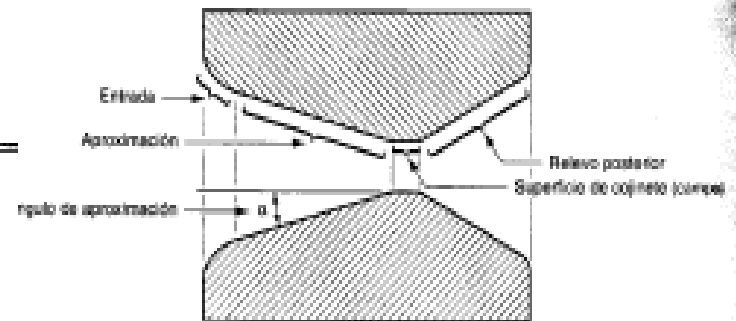
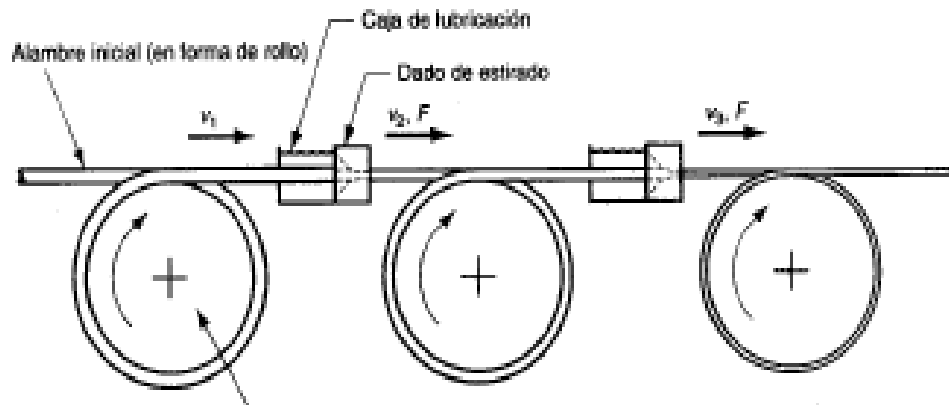
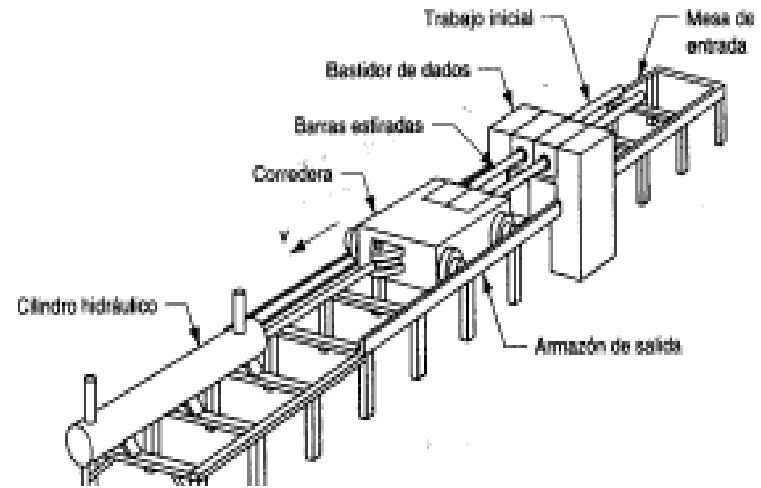
$$\phi = 0.88 + 0.12 \frac{D}{L_c}$$

$$D = \frac{D_0 + D_f}{2}$$

$$L_c = \frac{D_0 - D_f}{2 \sin \alpha}$$

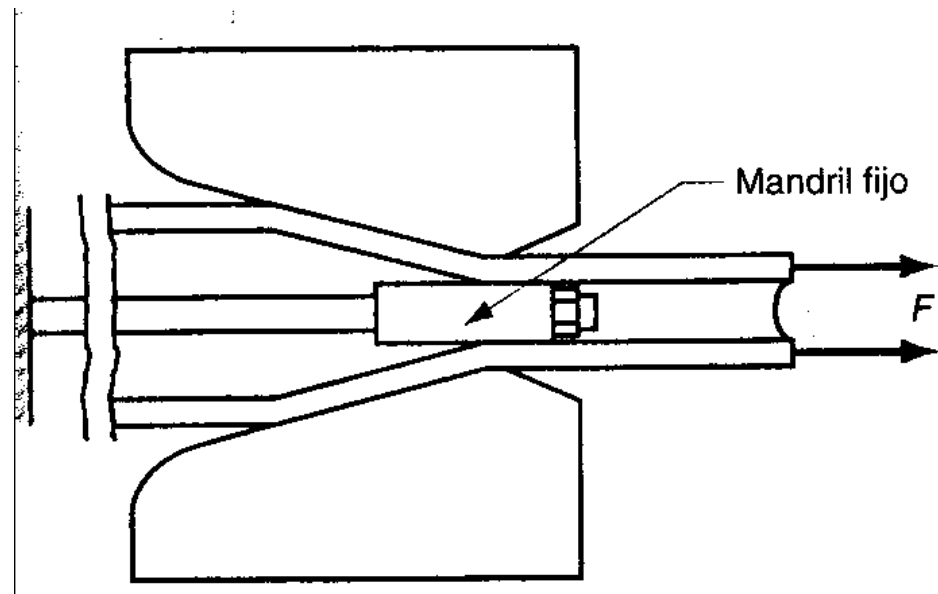
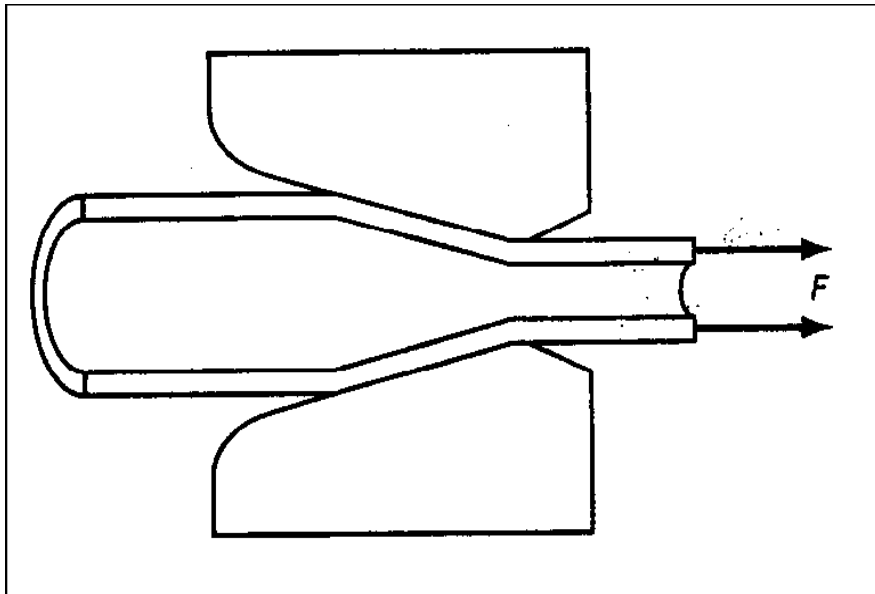
Trefilado o Estirado

Trenes de Trefilado



Trefilado o Estirado

Trefilado de barras de sección circular





Forjado

- La forja es el arte y el lugar de trabajo del forjador o herrero, cuyo trabajo consiste en dar forma al metal por medio de su calentamiento y de la aplicación de fuerzas externas.
- Básicamente una forja contiene una fragua para calentar los metales, un yunque y un recipiente en el cual se puede refrigerar rápidamente las piezas forjadas para templarlas.
- Las herramientas incluyen tenazas para coger el metal caliente y martillos para golpearlo.
- En la forja se trabaja el metal por deformación plástica.

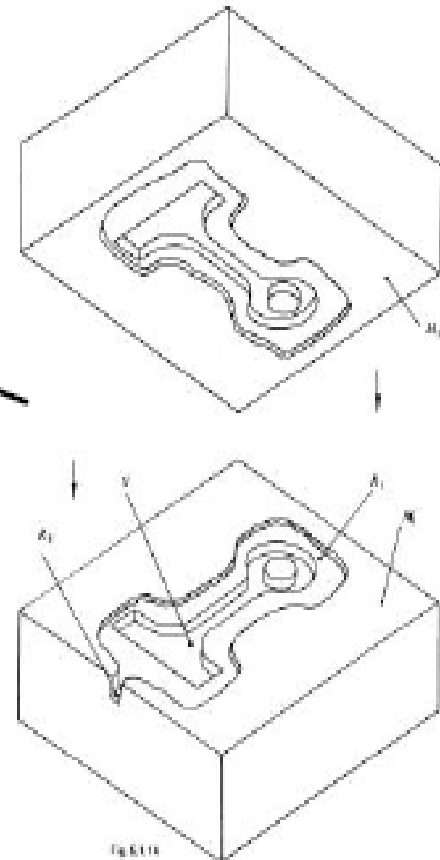
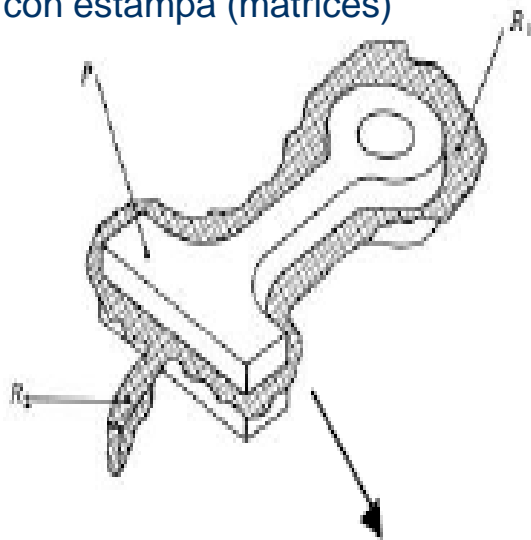
Forjado

La aplicación de las presiones externas se puede hacer:

- Intermitentemente (golpes)
- De forma continua (prensado)

Dos posibilidades:

- Forja libre (martillo y yunque)
- Forja con estampa (matrices)



Necesidad de un proceso posterior de desbarbado

Característica fundamental: aumento de la resistencia de las piezas



Forjado

Efectos de la forja:

- Elimina cavidades o defectos internos del material
- Afina el grano

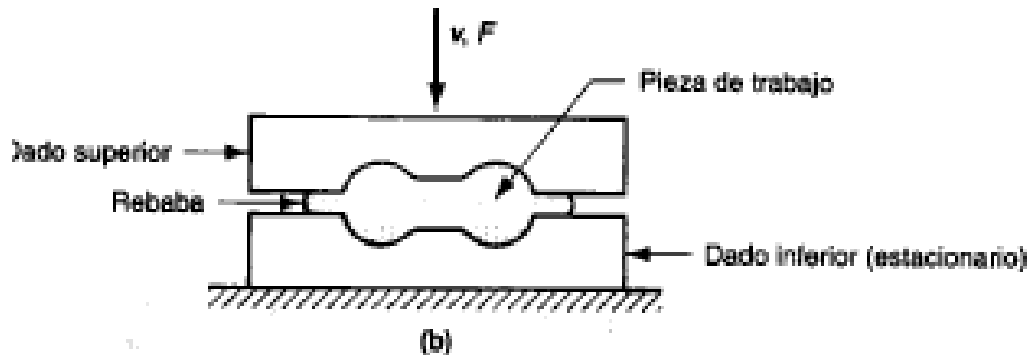
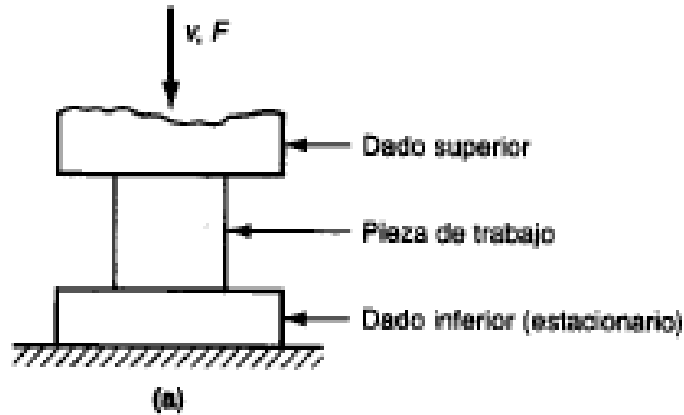
Materiales forjables:

- Metales puros: Al, Cu, Fe, Ti, Zn
- Aleaciones: Acero, de Al, (Al-Cu, Al-Mg, Al-Zn, Al-Mn) de Mg (Mg-Al, Mg-Zn, Mg-Mn), de Cu (Cu-Zn, Cu-Zn-Sn, Cu-Zn-Pb) o bronces (Cu-Al, Cu-Ni, Cu-Si)

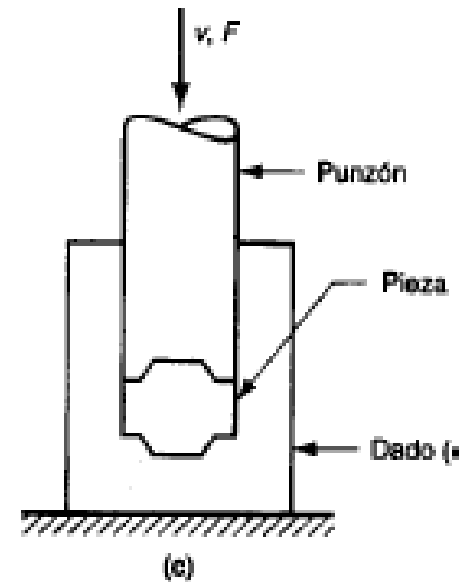
Forjado

Tipos de Operaciones de Forja

Dado abierto
o Recalcado



Dado impresor

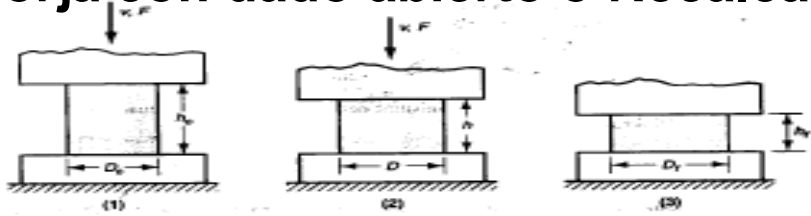


Forjado sin rebaba

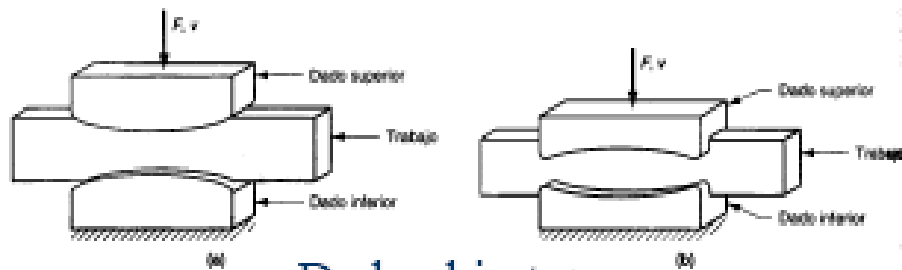
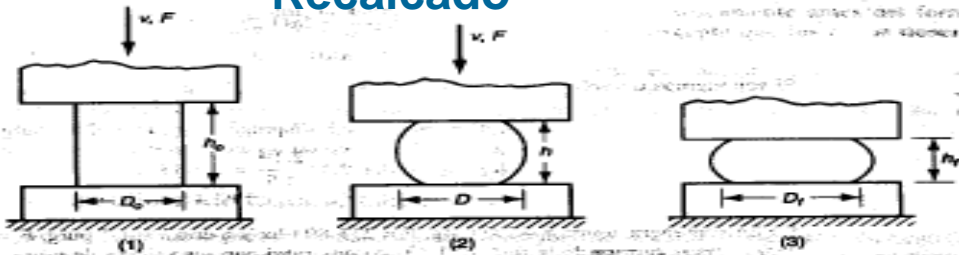


Forjado

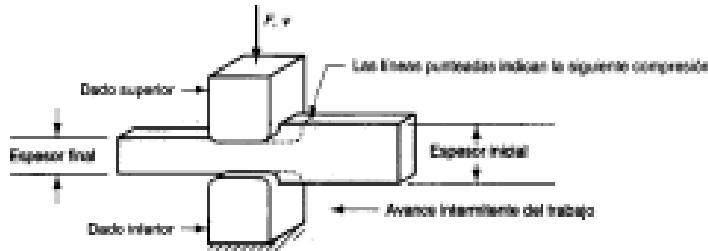
Forja con dado abierto o Recalcado. Parámetros tecnológicos



Recalcado



Dado abierto



$$\epsilon = \ln \frac{h_0}{h}$$

ϵ - Esfuerzo que experimenta el material en condiciones ideales

h_0 - altura inicial de la pieza

h - altura de la pieza en un punto intermedio o final del proceso

$$\bar{Y}_f = K \epsilon^n$$

$$F = K_f \bar{Y}_f A$$

F - Fuerza a aplicar en el proceso

K - Tensión límite a corte puro del material

K_f - Factor de forma del forjado, el cual introduce las condiciones reales al problema (fricción μ)

\bar{Y}_f - Esfuerzo de fluencia promedio del material

A - Área de la sección transversal de la pieza

$$K_f = 1 + \frac{0,4\mu D}{h}$$

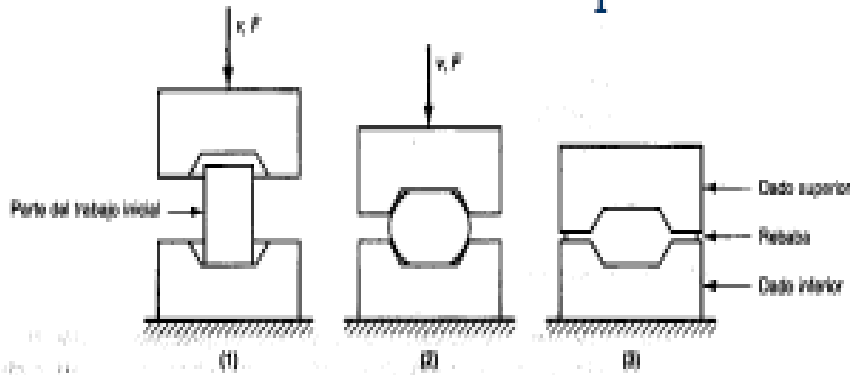
D - diámetro de la pieza en un punto intermedio o final del proceso

Forjado

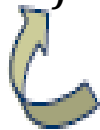


Forja con dado impresor o sin rebaba. Parámetros tecnológicos

Dado impresor



$$F = K_f \bar{Y}_f A$$



Factor de forma del forjado

Forma de la parte	K_f
<i>Forjado con dado impresor</i>	
Formas simples con rebaba	6.0
Formas complejas con rebaba	8.0
Formas muy complejas con rebaba	10
<i>Forjado sin rebaba</i>	
Acuñado	6.0
Formas complejas	8.0




www.upc.edu

L- 19 Conformación Plástica

Problemas



Problema 1. Laminado

Una tira de 300mm de ancho y 25mm de espesor se alimenta a través de un tren de laminado de dos rodillos de 250mm de radio cada uno. El espesor de material de trabajo se reduce a 22mm en un paso, a una velocidad de 50 rpm. El material de trabajo tiene una curva de fluencia definida por $K=275\text{MPa}$ y $n=0,15$. Se asume que el coeficiente de fricción entre los rodillos y la pieza de trabajo es de 0,12. Determine si la fricción es suficiente para realizar la operación de laminado. Si es así, calcule la fuerza de laminado, el momento de torsión y la potencia necesaria en la máquina, para mover cada rodillo.

El draft: $d=25-22=3\text{mm}$

El draft máximo posible: $d_{\text{máx}}=(0,12)^2 \cdot 250\text{mm}=3,6\text{mm}$

Como la reducción de diámetro máximo permisible es mayor que la planteada, la operación de laminado planteada se puede efectuar.

Cálculo de la fuerza. Se necesita la longitud de contacto L y el esfuerzo de fluencia promedio.

$$L=250 \cdot \arccos\left(1 - \frac{(25-22)}{(2 \cdot 250)}\right) = 27,4\text{mm}$$

El esfuerzo de fluencia se determina por la deformación real.

$$\epsilon = \ln\left(\frac{25}{22}\right) = 0,1278$$

$$\bar{Y}_f = 275\text{MPa} \cdot (0,1278)^{0,15} / (1+0,15) = 175,64\text{MPa}$$

La fuerza se determina por la ecuación:

$$F = 175,64\text{MPa} \cdot 300\text{mm} \cdot 27,4\text{mm} = 1443760,8\text{N}$$

El momento de torsión para mover cada rodillo se calcula como:

$$T = 0,5 \cdot 1443760,8\text{N} \cdot 27,4\text{mm} = 19779522,96\text{N}\cdot\text{mm} = 19779,52\text{N}\cdot\text{m}$$

La potencia necesaria para mover cada rodillo es de:

$$P = 2\pi \cdot 50\text{rpm} \cdot (1\text{min}/60\text{s}) \cdot 1443760,8\text{N} \cdot 27,4\text{mm} \cdot (1\text{m}/1000\text{mm}) = 207131,10\text{W} = 207,13\text{KW}$$



Problema 2. Trefilado

Se desea reducir la sección de un alambre de cobre, para fabricar cables eléctricos. El diámetro inicial del alambre es de 1 mm. El cable eléctrico está compuesto de 10 alambres de 0,3 mm. Considere que el esfuerzo de fluencia para el cobre es de 60 MPa.

- Determine cuantas pasadas se deben realizar para obtener el diámetro del alambre necesario para fabricar el cable eléctrico. Asumir un rendimiento del 50%, y la reducción por pasada, si no hay endurecimiento por deformación de un 39%.
- Qué potencia consume el proceso de deformación, si la velocidad con que sale el alambre es de 2 m/s.

Solución:

a) La definición de reducción de área en el trefilado se calcula:

$$r = \frac{A_0 - A}{A_0} \quad \longrightarrow \quad A = (1 - r)A_0 \quad \longrightarrow \quad D = \sqrt{(1 - r)}D_0$$



Problema 2. Trefilado



1ª Pasada	1mm a 0,78mm
2ª Pasada	0,78mm a 0,61mm
3ª Pasada	0,61mm a 0,48mm
4ª Pasada	0,48mm a 0,37mm
5ª Pasada	0,37mm a 0,29mm *Se toma 0,30 porque no es necesario llevarlo a 0,29

Por lo tanto, el número mínimo de pasadas para obtener el diámetro del alambre deseado es 5 pasadas

b) La potencia de trefilado N_T será la suma de las potencias consumidas en cada reducción N_i

$$N_T = \sum_{i=1}^5 N_i$$

Suponiendo que la velocidad de trefilado en cada etapa es similar y que la potencia de trefilado N_T se define como el producto escalar de la fuerza F_i por la velocidad de trefilado V_T .

$$N_T = V_T \sum_{i=1}^5 F_i$$



Problema 2. Trefilado

$$F_T = A_f \bar{Y}_f \ln \frac{1}{1-r}$$

	Diámetro salida	Fi
1ª Pasada	0,78 mm	14,17 N
2ª Pasada	0,61 mm	8,67 N
3ª Pasada	0,48 mm	5,37 N
4ª Pasada	0,37 mm	3,19 N
5ª Pasada	0,30 mm	2,07 N

$$N_T = V_T \sum_{i=1}^5 F_i = 2 \cdot 33,46 = 66,92 \text{ W}$$

$$N_{ME} = \frac{1}{\eta} N_T = 133,84 \text{ W}$$



Problema 3. Extrusión

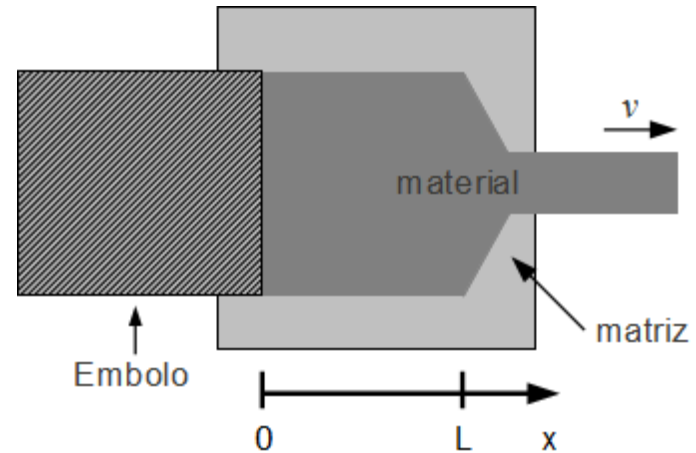
La extrusión de una barra de aluminio 2017 en caliente se realiza de un simple golpe, pasando de un tocho de diámetro de 100mm a una barra de 25mm de diámetro, ver figura. Considere que este proceso tiene un rendimiento del 50%.

- ¿Cuál es la presión de extrusión ideal?
- Realice una estimación de la fuerza de rozamiento del tocho de material con la pared del cilindro.
- Realizar una estimación de la distribución de presión del pistón.

Solución:

a) La extrusión se realiza en caliente por lo tanto se considera despreciable el endurecimiento por deformación.

$$P_i = \bar{Y}_f \ln \frac{A_0}{A} = \bar{Y}_f \ln \left(\frac{\pi \frac{D_0^2}{4}}{\pi \frac{D^2}{4}} \right) = \bar{Y}_f 2 \ln \frac{D_0}{D} = 388 MPa$$





Problema 3. Extrusión



b) La fuerza de rozamiento se caracteriza a través del coeficiente de rozamiento μ

$$F_r = \mu F_{normal}$$

Remplazando la fuerza normal por el producto de la presión de extrusión multiplicada por el área del manto que define la pared, se obtiene la fuerza de rozamiento F_r

$$F_r = \mu P_i \pi D (L - a)$$

c) La fuerza de extrusión F_e es igual a la fuerza aplicada para realizar el trabajo ideal F_i más la fuerza de rozamiento F_r

$$F_e = F_i + F_r$$

Dividiendo la ecuación anterior por el área de la sección del cilindro y por el rendimiento se tiene la función presión de extrusión P_e

$$P_e = P_i \left(1 + \frac{4\mu(L - a)}{D} \right) \quad \text{con } 0 \leq a \leq L$$



Problema 4. Forjado

Una pieza de trabajo cilíndrica se somete a una operación de recalado en una forja. Esta tiene 75 mm de altura y 50 de diámetro. Después de la operación su altura se reduce a 38 mm. El material de trabajo tiene una curva de fluencia definida por $K= 345$ MPa y $n= 0,17$. El coeficiente de fricción entre la pieza y el dado de recalcar es de $\mu=0,1$. Determinar:

- La fuerza al comenzar el proceso. Asumir una deformación inicial $\varepsilon=0,002$
- La fuerza a alturas de 63,5 mm y 50 mm (Como si fueran las alturas finales a obtener en una única etapa)
- La fuerza en el momento en que se alcanza la altura final de la pieza (Considerar el proceso en una única etapa)

a) $\bar{Y}_f = K\varepsilon^n = 345 \cdot 0,002^{0,17} = 119,94$ MPa

$$K_f = 1 + \frac{0,4\mu D}{h} = 1 + (0,4 \cdot 0,1 \cdot 50/75) = 1,026 \longrightarrow \text{Factor de ajuste}$$

$$A = \pi r^2 = \pi \cdot 25^2 = 1963,49 \text{ mm}^2 \longrightarrow \text{Área inicial}$$

$$F = K_f \bar{Y}_f A = 1,026 \cdot 119,94 \cdot 1963,49 = 241624,02 \text{ N Fuerza de forjado al empezar el proceso}$$

b) y c) $\varepsilon = \ln\left(\frac{h_0}{h}\right) = \ln(75/63,5) = 0,166 \qquad = \ln(75/50) = 0,405 \qquad = \ln(75/38) = 0,679$

$$\bar{Y}_f = K\varepsilon^n = 345 \cdot 0,166^{0,17} = 254,24 \qquad = 345 \cdot 0,405^{0,17} = 295,86 \qquad = 345 \cdot 0,679^{0,17} = 323,02 \text{ MPa}$$

Suponer $V=\text{cte}$ $A = \frac{V}{h} = 147262,45/63,5 = 2319,09 \qquad = 147262,45/50 = 2945,25 \qquad = 147262,45/38 = 3875,33 \text{ mm}^2$

$$d = \sqrt{4 \frac{A}{\pi}} = \text{Raíz}(4 \cdot 2319,09/\pi) = 54,34 \qquad = \text{Raíz}(4 \cdot 2945,25/\pi) = 61,23 \qquad = \text{Raíz}(4 \cdot 3875,33/\pi) = 70,24 \text{ mm}$$

$$K_f = 1 + \frac{0,4\mu D}{h} = 1 + (0,4 \cdot 0,1 \cdot 54,34/63,5) = 1,034 = 1 + (0,4 \cdot 0,1 \cdot 61,23/50) = 1,048 = 1 + (0,4 \cdot 0,1 \cdot 70,24/38) = 1,074$$

$$F = K_f \bar{Y}_f A = 1,034 \cdot 254,24 \cdot \pi \cdot 54,34^2/4 = 609652,03 \text{ N} \qquad = 1,048 \cdot 295,86 \cdot \pi \cdot 61,23^2/4 = 914079,36 \text{ N} \qquad = 1,074 \cdot 323,02 \cdot \pi \cdot 70,24^2/4 = 1344291,52 \text{ N}$$

Fabricación por Conformación plástica.

Estampado de Chapa

1. Propiedades de los materiales aprovechables para la conformación
2. Operaciones de estampado de la chapa:
 - Proceso de Doblado
 - Proceso de Embutido
 - Proceso de corte de Chapa
 - Otras operaciones





Propiedades de los materiales aprovechables para la conformación



- **FORJABILIDAD:** Es la capacidad para poder soportar las variaciones de formas, en estado sólido y caliente, por la acción de martillos, laminadores o prensas.
- **MALEABILIDAD:** Es la capacidad que tienen los materiales de dejarse convertir en láminas a temperatura ambiente, mediante la acción de martillado y estirado.
- **DUCTILIDAD:** Es la capacidad de poderse alargar longitudinalmente.
- **TENACIDAD:** Resistencia a la ruptura al estar sometido a tensión.
- **FACILIDAD DE CORTE:** Capacidad de poder separarse en trozos regulares con herramientas cortantes.

Operaciones de estampado de la chapa

El estampado es un conjunto de operaciones de conformado, a través de las cuáles se somete una chapa a una o más transformaciones producto de un proceso de deformación plástica de la misma



Las chapas tienen un espesor de entre 0,4 y 6mm, de manera general



Operaciones de estampado de la chapa

Las principales operaciones de estampado de la chapa suelen ser:

1. Doblado
2. Embutido
3. Corte

El **corte y doblado** se realizan generalmente en **frío**, en cambio, el **embutido** se realiza **tanto en caliente como en frío**.

Las **operaciones de estampado** se realizan con unos dispositivos llamados **matrices o estampas**, las cuáles se colocan en las prensas

Ventajas de las piezas hechas por estampado:

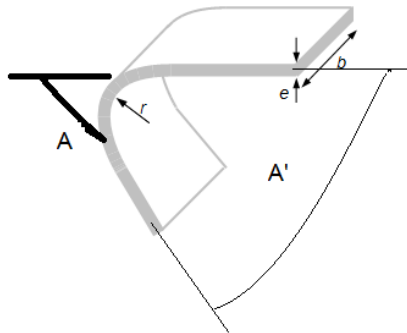
1. Buena precisión dimensional
2. Buen acabado superficial
3. En grandes series se obtienen piezas muy económicas. Es el método de producción más económico.



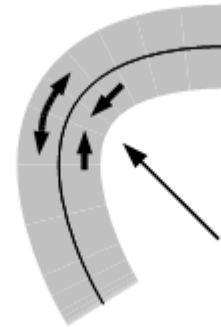
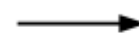
Doblado

El doblado se define como la deformación del metal alrededor de un eje recto.

El metal **por dentro** del plano neutral se **comprime**, mientras que el metal **por fuera** del plano neutral **se estira**.



Esfuerzos de tracción



Línea neutra

Esfuerzos de compresión

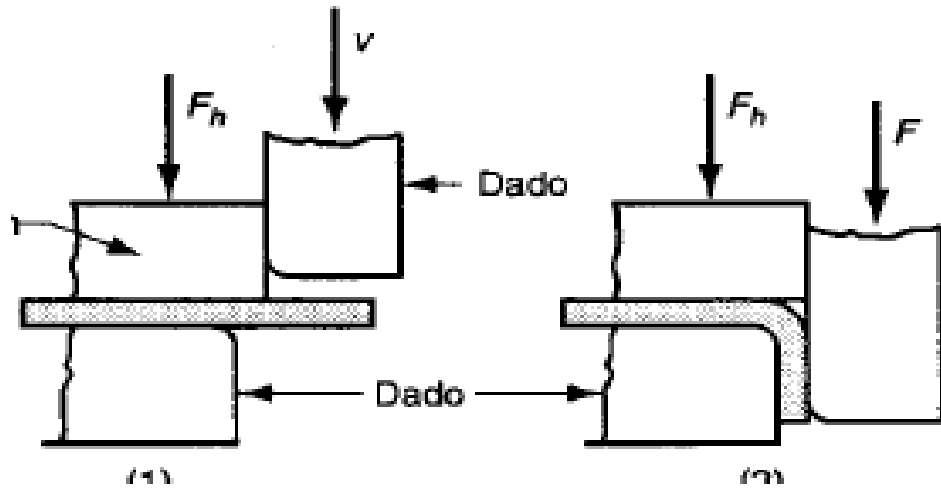
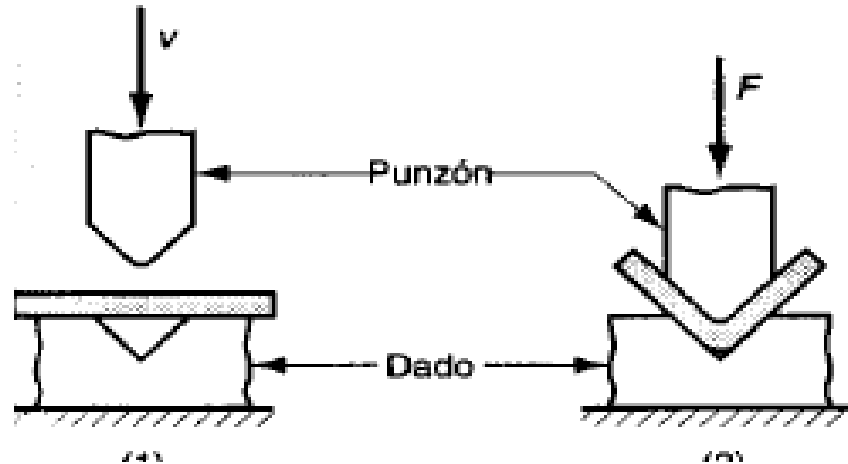
b- ancho de la chapa
 e- espesor de la chapa
 r- radio de curvatura del doblado
 A- ángulo de doblado
 A'- ángulo incluido en la chapa

Doblado

Tipos de Doblado

Doblado en V

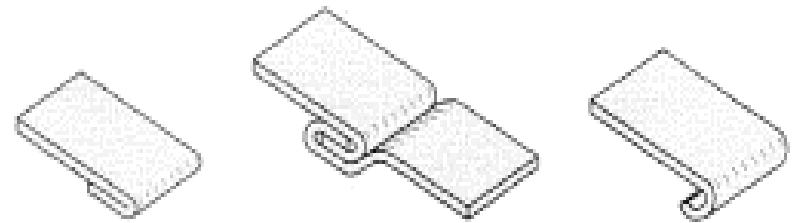
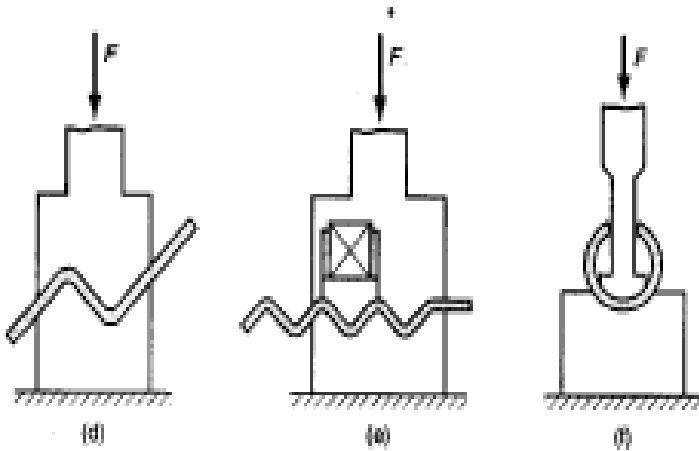
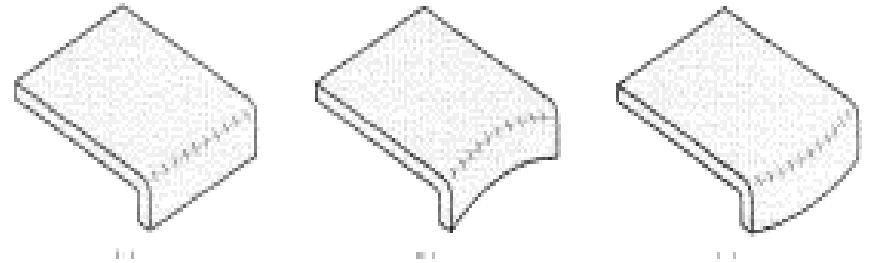
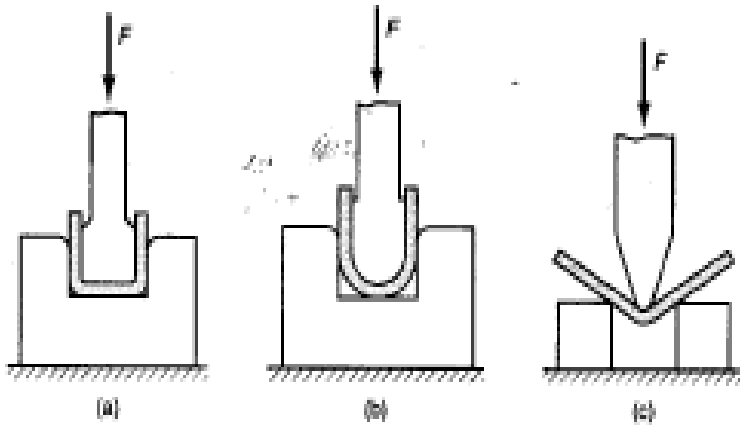
F- fuerza de doblado
 F_h - Fuerza de sujeción



Doblado de bordes

Doblado

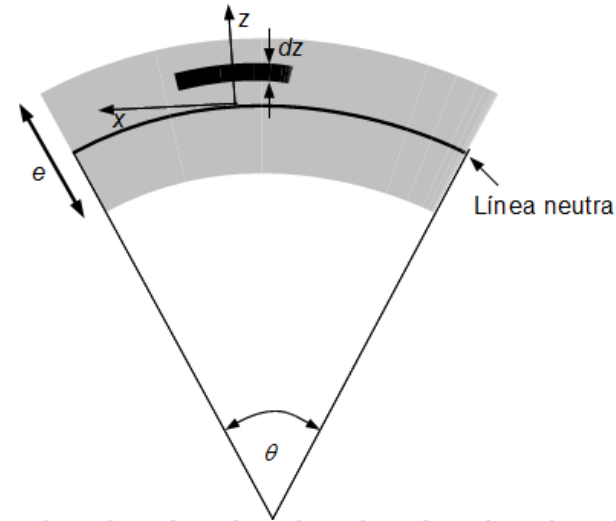
Otros tipos de Doblado





Doblado

El par necesario M para doblar una chapa se puede evaluar, considerando el diferencial dz que se muestra en la figura, donde el momento para ese infinitésimo, se calcula teniendo en cuenta la longitud que existe hasta la fibra neutra y la fuerza que actúa sobre el diferencial dF_x .



$$\left. \begin{aligned} dM &= z \cdot dF_x \\ dF_x &= \sigma \cdot b \cdot dz \end{aligned} \right\} M = \int_{-\frac{e}{2}}^{\frac{e}{2}} \sigma \cdot b \cdot z \cdot dz = \sigma \cdot b \cdot 2 \int_0^{\frac{e}{2}} z \cdot dz = \frac{\sigma \cdot b \cdot e^2}{4}$$

De la teoría de la elasticidad se obtiene la relación entre el esfuerzo de deformación σ y la tensión de fluencia del material σ_y .

$$\sigma = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_y$$

Luego, el par necesario M para doblar una chapa se puede estimar según:

$$M = \frac{\sigma_y b e^2}{2 \sqrt{3}}$$

Donde:

σ_y : esfuerzo de fluencia de la chapa

b : ancho de la chapa

e : espesor de la chapa



Doblado

Tolerancia del doblado

$$BA = 2\pi \frac{A}{360} (r + K_{ba}e)$$

Recuperación elástica

$$SB = \frac{A' - A'_b}{A'_b}$$

Fuerza de doblado

$$F = \frac{K_{bf}\tau be^2}{D}$$

BA- Tolerancia del doblado: **Longitud que tiene en cuenta la variación de la longitud de la lámina doblada.**

e- espesor de la chapa

r- radio de curvatura del doblado

A- ángulo de doblado en grados

K_{ba} - Factor para estimar el estirado de la chapa.

$K_{ba}=0,33$, si $r < 2e$; $K_{ba}=0,5$ si $r \geq 2e$

SB- Es el incremento del ángulo comprendido por la parte doblada (A') en relación con el ángulo comprendido por la herramienta deformadora (A'_b), después que ésta se retira.

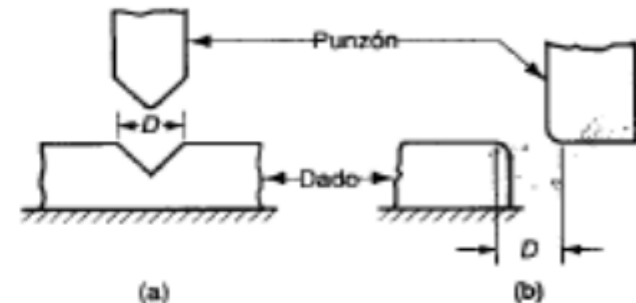
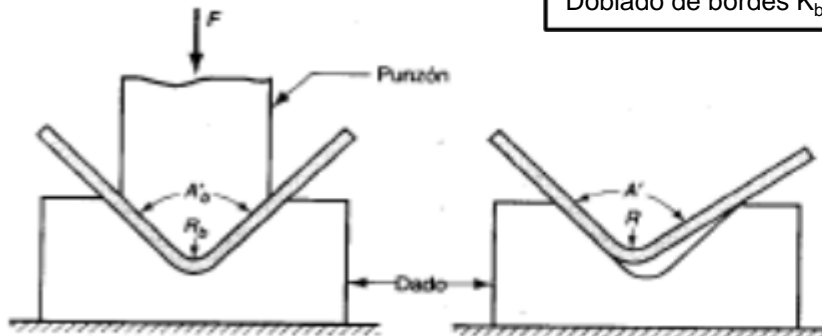
τ - Resistencia a la tracción del material en lámina
 b- ancho de la pieza en la dirección del eje de dobléz
 e- espesor de la lámina
 D- dimensión del dado de doblar.

K_{bf} - Constante que considera las diferencias encontradas en un proceso real de doblado

Valores que toma:

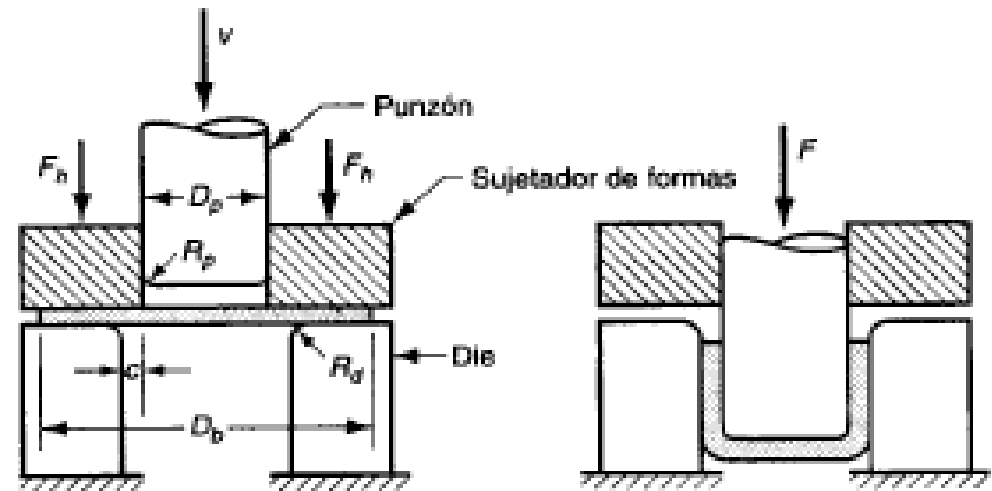
Doblado en V $K_{bf}=1,33$

Doblado de bordes $K_{bf}=0,33$

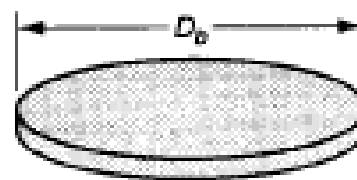


Embutido

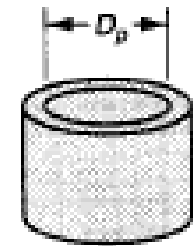
El embutido es una operación de conformado de láminas metálicas que se usa para hacer piezas de forma acopada, de caja y otras formas más complejas. Se realiza colocando una lámina de metal sobre la cavidad de un dado y empujando el metal hacia la cavidad de éste con un punzón.



(a)



(1)

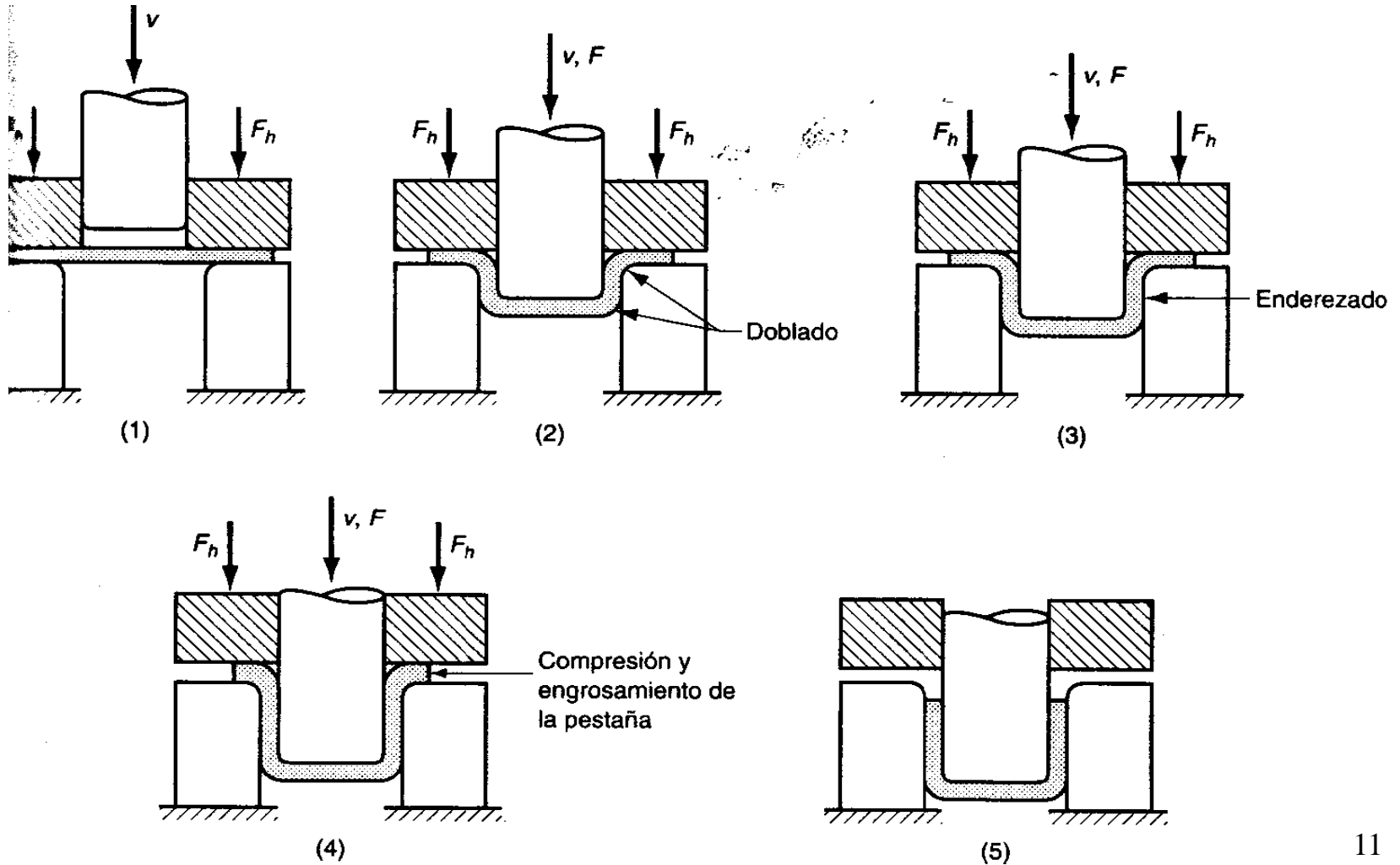


(2)



Embutido

Proceso de Embutido





Embutido

Parámetros del proceso

$$c = 1,1e$$

c- Separación entre los lados del punzón y del dado
e- espesor de la chapa

Relación de Embutido $DR = \frac{D_b}{D_p} < 2,0$

Reducción $r = \frac{D_b - D_p}{D_b} < 0,5$

D_b - Diámetro del disco inicial
 D_p - Diámetro del punzón

Relación de espesor/diámetro $\frac{e}{D_p} > 1\%$

12

Fuerzas

Fuerza de embutido $F = \pi D_p e \tau \left(\frac{D_b}{D_p} - 0,7 \right)$

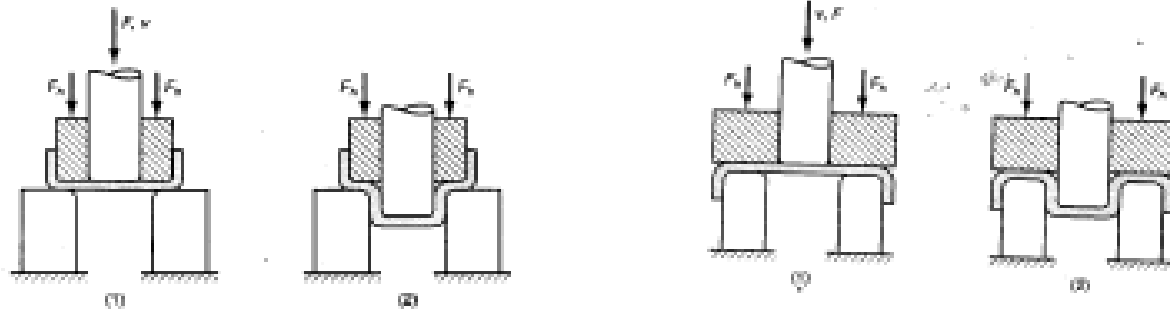
Fuerza de sujeción

0,7- Factor constante de corrección de la fricción
 σ_y - esfuerzo de fluencia de la lámina del material
 R_{σ} Radio de la esquina del dado
 τ - Resistencia a la tracción del material en lámina

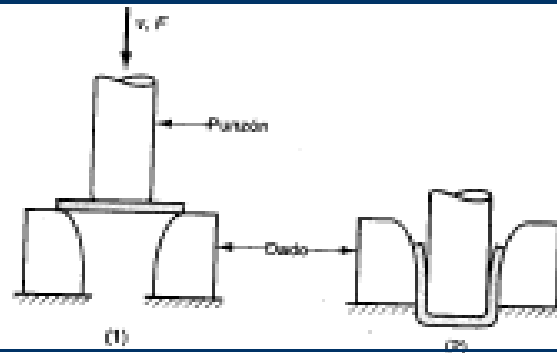
$$F = 0,015 \sigma_y \pi \left[D_b^2 - (D_p + 2,2e + 2R_d)^2 \right]$$

Otras operaciones de embutido

Reembutado:

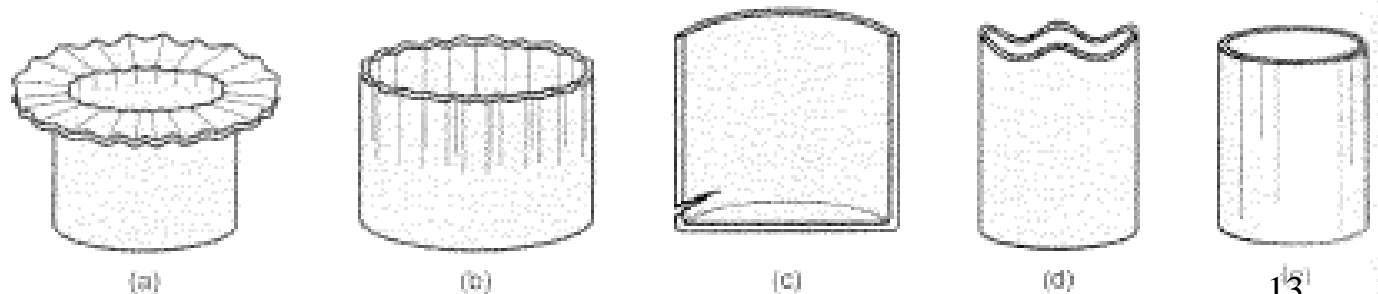


Embutido sin sujetador:



$$D_d - D_p < 5t$$

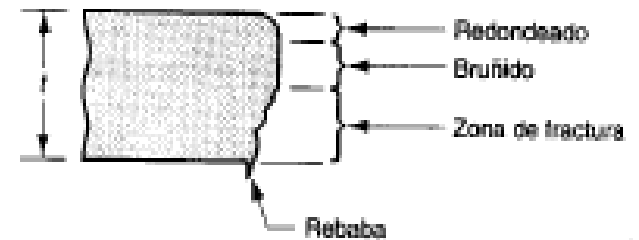
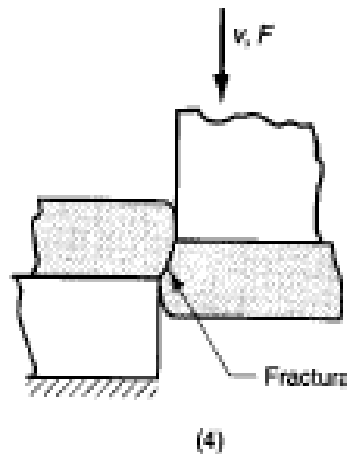
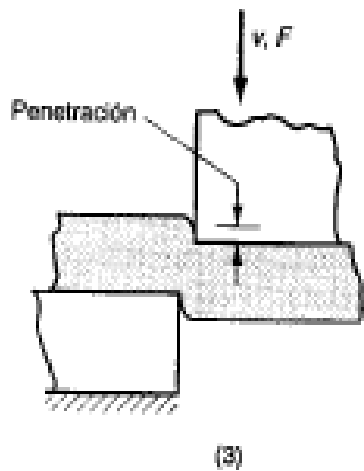
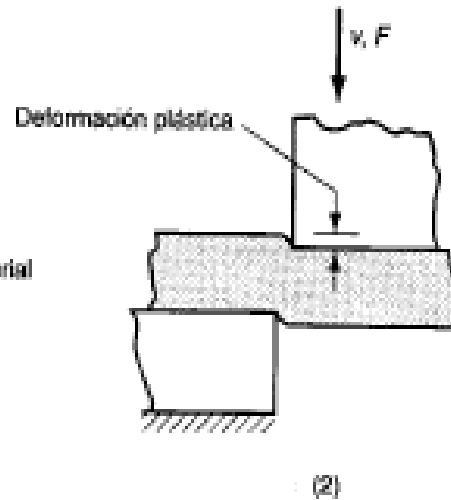
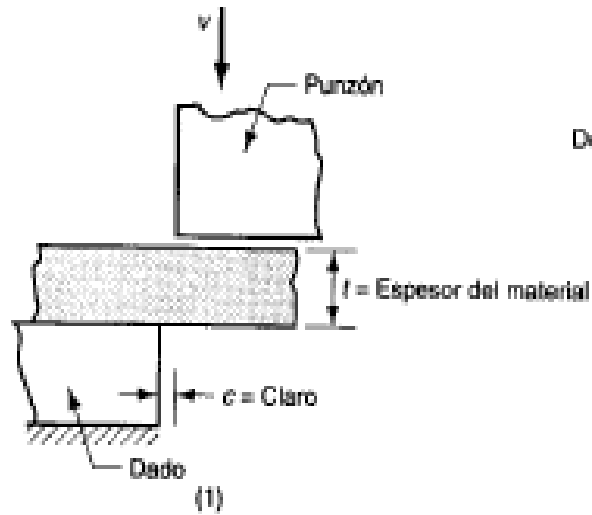
defectología:





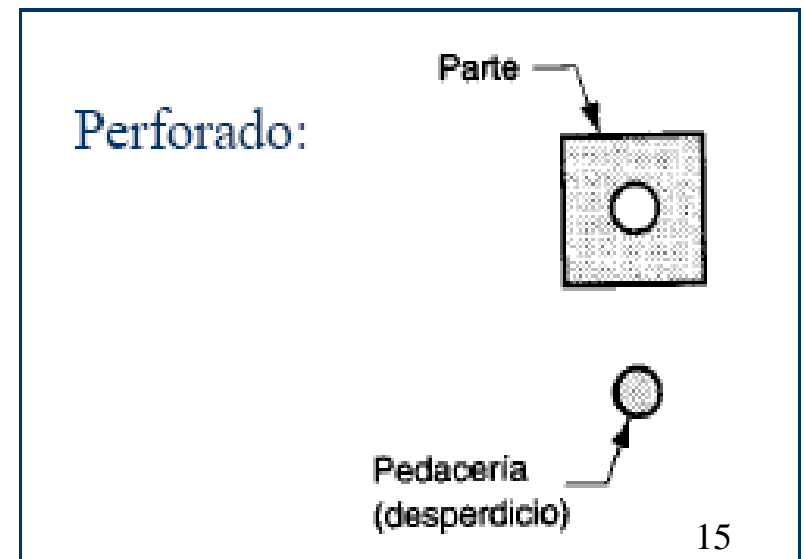
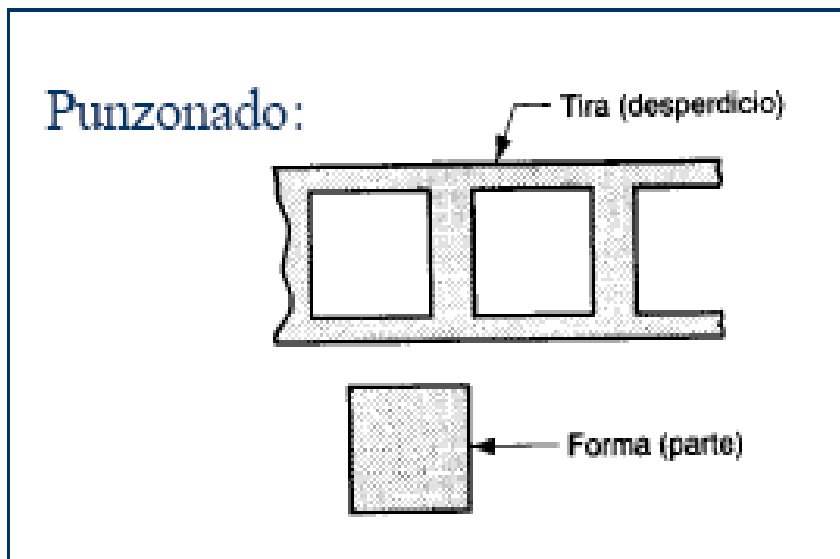
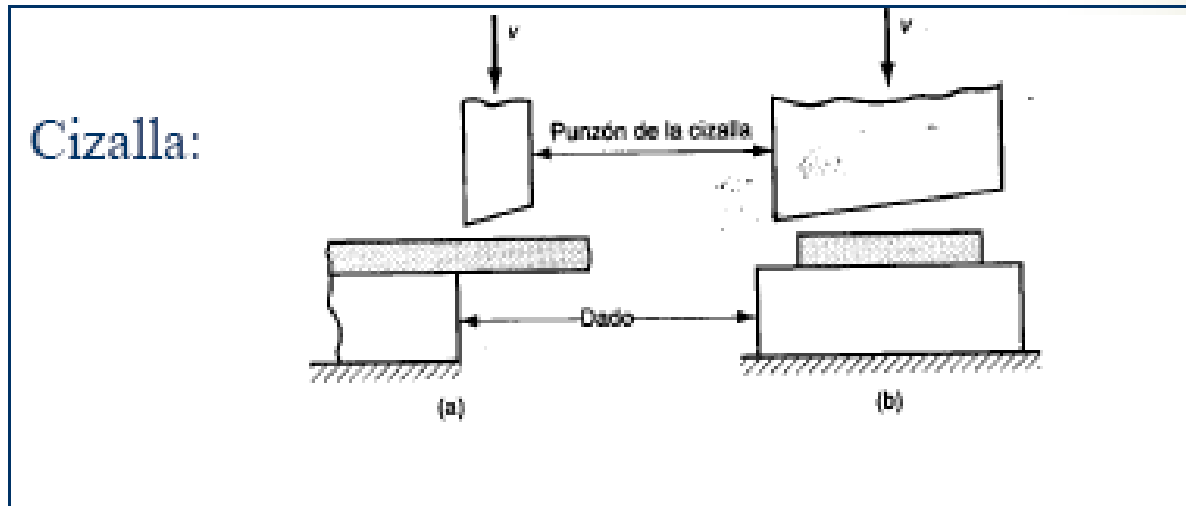
Corte

El corte de lámina se realiza por una acción de cizalla entre dos bordes afilados de corte.





Corte



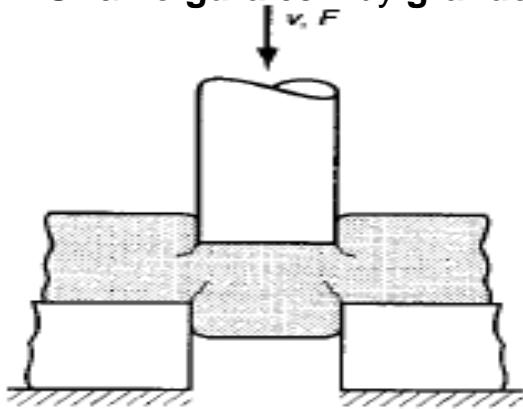


Corte

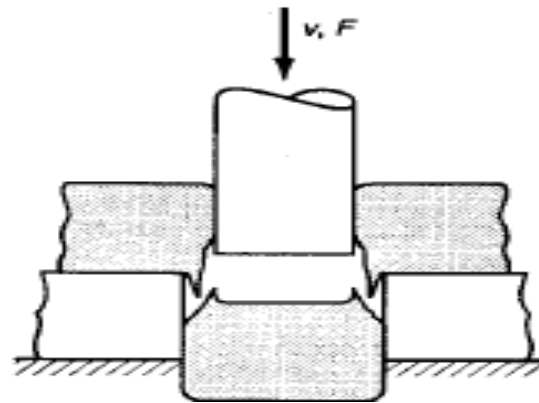
Una de las características más importante en el momento de **diseñar una estampa**, es la definición de la **holgura, claro o juego entre punzón y matriz, h** .

Si la **holgura es pequeña**, figura (a), **las grietas o líneas de fractura superiores e inferiores, se propagan por el material sin unirse**, lo que genera un **aumento en la fuerza** de estampado y la **generación de dos superficies con corte irregular**.

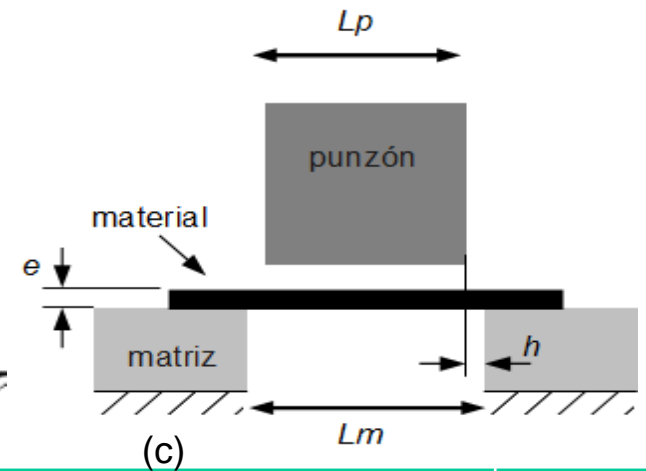
Si la **holgura es muy grande**, figura (b), el material de la chapa es arrastrado dejando **rebabas** en el corte.



(a)



(b)



(c)

$$h = c \cdot e$$

$$Lm = Lp + 2h$$

Para el caso de un punzón o matriz circular, la longitud característica es el diámetro.

h - Holgura o Claro: Es la distancia que hay entre el punzón y el dado
 c - tolerancia
 e - espesor del material
 Lp : longitud característica del punzón
 Lm : longitud característica de la matriz

Material

Aluminio y metales ligeros

Latón, hierro, acero dulce, acero inoxidable

Acero duro o en frío

c

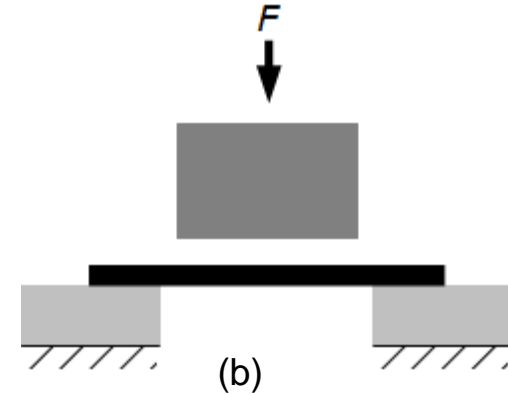
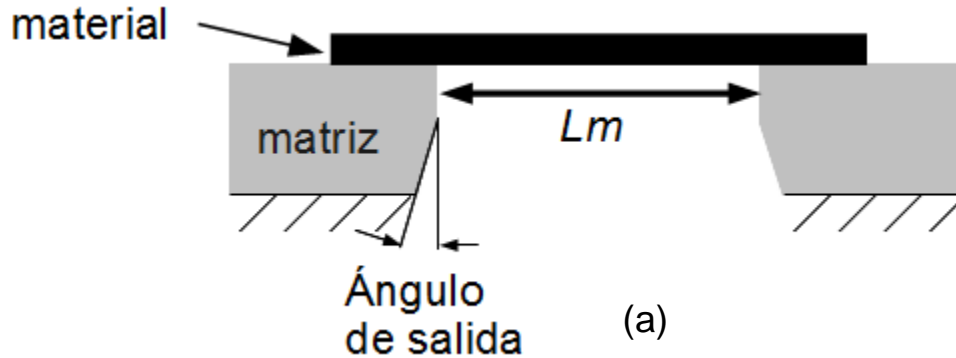
0,045

0,060

0,075



Corte



Ángulo de salida: Su propósito es **permitir la salida del material**. Los valores de este ángulo varían entre **0,25° y 1,5° por cada lado**, figura (a).

Fuerza de corte, figura (b):

$$F = \tau \cdot e \cdot L$$

τ : Tensión de corte
 e : espesor de la lámina
 L : longitud de la zona de corte

De la teoría de la elasticidad se puede estimar la tensión de corte, ya que los materiales fallan a corte. En un ensayo de tracción el material se rompe dejando cráteres a 45°. Por lo tanto la tensión de corte τ , se puede relacionar, por medio del **criterio de von Mises**, con la tensión máxima que soporta el material o esfuerzo de fractura σ_f .

$$\tau = 0,58 \cdot \sigma_f$$

Distancia entre cortes sucesivos: $L_c = 1,5 \cdot e$



Problema 1. Optimización de material en el punzonado

En un proceso de punzonado de chapa se desea producir discos de acero endurecido de 30mm de diámetro a partir de una chapa de 1mm de espesor y esfuerzo último $\sigma_f = 600\text{N/mm}^2$. Se presentan dos distribuciones posibles de cortes múltiples: Figura 1 y Figura 2. El coste del material es de P(euros/kg).

- ¿Determine cuál de las opciones es la más rentable?
- Definir las dimensiones del punzón y de la matriz o sufridera para el caso de mínimo coste de fabricación. ¿Cuál es la calidad de los discos?
- Para la opción escogida en la pregunta a, determinar la fuerza de punzonado y el material del punzón.

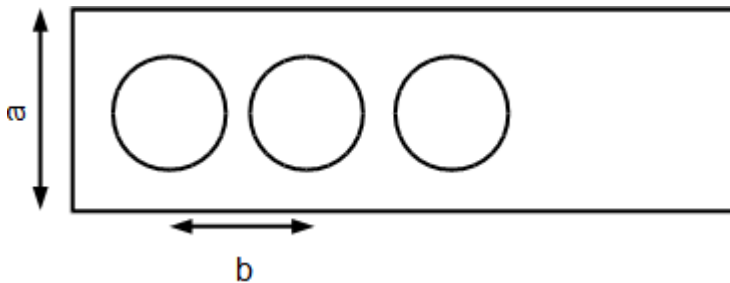


Figura 1, Opción de corte 1

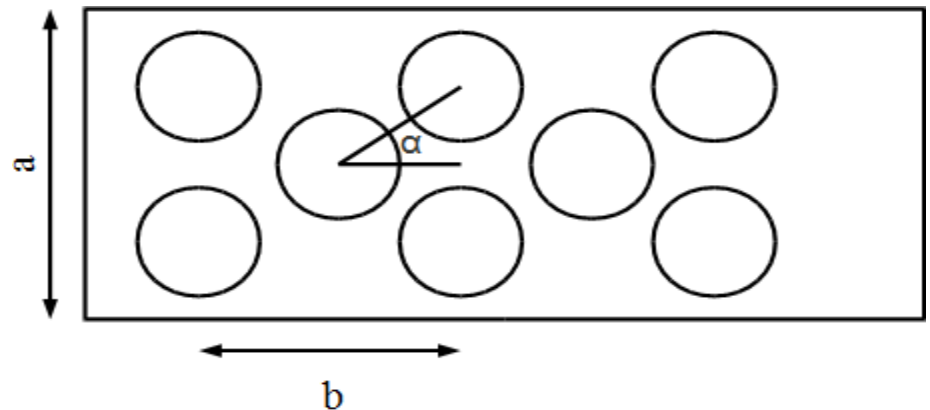


Figura 2, Opción de corte 2 18



Problema 1. Optimización de material en el punzonado

Solución:

- a) Suponiendo que la distribución más económica es la que aprovecha mejor el material. El coste del material es proporcional al peso de la chapa, por lo tanto, considerando constante la densidad del material y el espesor de la chapa, la distribución más económica es la que minimiza el área de material desaprovechado. Sean A_1 y A_2 el área de material desaprovechado Figura 1 y Figura 2, respectivamente.

$$A_1 = a \cdot b - \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Donde a y b son las magnitudes definidas en la Figura 1 y D es el diámetro de los discos

$$A_1 = (D + 2 \cdot 1,5 e)(D + 1,5 e) - \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 332,6 \frac{mm^2}{disco}$$

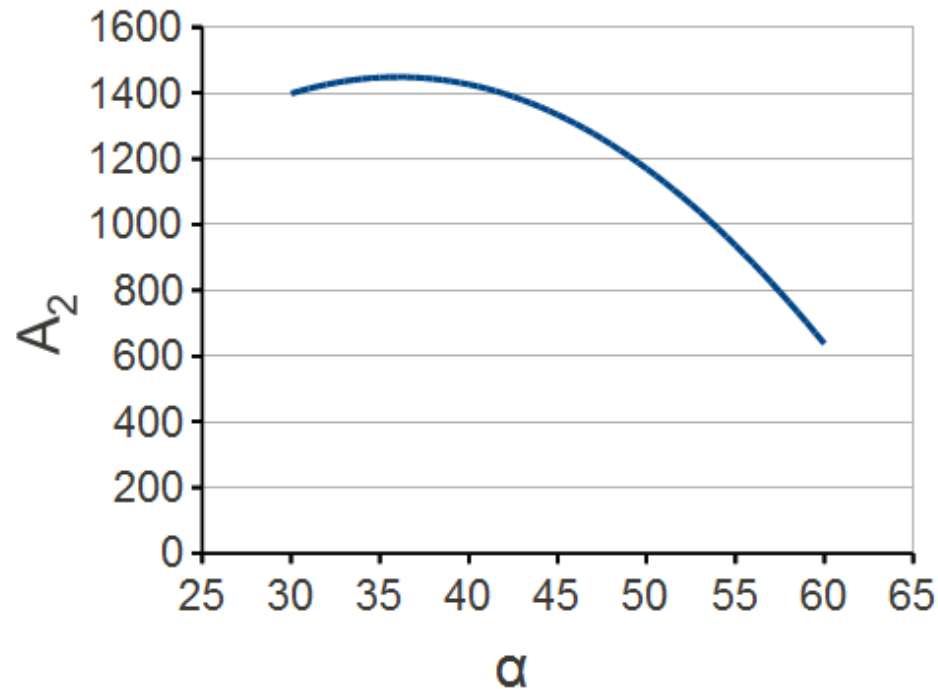
$$A_2 = (2(D + 1,5 e) \sin(\alpha) + D + 2 \cdot 1,5 e) \cdot (2(D + 1,5 e) \cos(\alpha)) - 3 \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A_2 = (63 \sin(\alpha) + 33) \cdot (63 \cos(\alpha)) - 2120,6 \quad \text{con} \quad 30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$$



Problema 1. Optimización de material en el punzonado

En la figura siguiente se puede ver la gráfica de la función A_2 para el intervalo de interés



La menor área y por lo tanto el menor coste se obtiene para un ángulo α de 60° . Si $\alpha=60^\circ$ el área de material no aprovechado es de 638mm^2

$$A_2 = \frac{638}{3} = 212,7 \frac{\text{mm}^2}{\text{disco}}$$



Problema 1. Optimización de material en el punzonado

El área A_2 es menor que el área A_1 , por lo tanto, desde la óptica de la optimización del material que se pierde, el óptimo corresponde a un proceso de punzonado múltiple como el que se muestra en la Figura 2. En este análisis no se ha considerado el costo de la matriz de punzonado múltiple, la que debiera ser amortizada por los beneficios de venta de los discos, entre otras opciones.

b) En general es preferible fabricar un agujero de un diámetro nominal, debido a que es relativamente fácil encontrar una broca o broca mandril o escariador para un valor nominal. Por lo tanto el diámetro de la matriz o sufridera $D_m=30\text{mm}$. En cambio diámetro del punzón es:

$$D_p = D_m - 2h = 30 - 2 \cdot 0,075 \cdot 1 = 29,85 \text{ mm}$$

La amplitud del intervalo de tolerancias o error en la fabricación del disco es:

$$\left. \begin{array}{l} AIT = D_m - D_p = 2h = 0,15 \text{ mm} \\ D_n = 30\text{mm} \end{array} \right\} IT = 11$$



Problema 1. Optimización de material en el punzonado

c) La fuerza de punzonado es:

$$F = 0,58 \cdot \sigma_y \cdot e \cdot \pi \cdot D = 32,8 \frac{kN}{punzón}$$

Si, el esfuerzo de fluencia del punzón σ_{yp} multiplicado por la sección del disco, es la fuerza F de la ecuación anterior, se obtiene una relación que permite estimar el esfuerzo máximo que soporta el punzón y por lo tanto definir el material del punzón.

$$\sigma_{yp} \frac{\pi \cdot D^2}{4} \geq 0,58 \cdot \sigma_y \cdot e \cdot \pi \cdot D$$

Despejando σ_{yp} se tiene:

$$\sigma_{yp} \geq 2,32 \cdot \sigma_y \frac{e}{D}$$

Luego, el material del punzón debe tener un esfuerzo de fluencia mayor que $46,4 N/mm^2$



Problema 2. Corte de chapa

Se desea cortar un disco de 76 mm de diámetro de una tira de acero laminado en frío medio endurecido de 3mm de grueso, cuya resistencia al corte= 310,26 MPa. Determine:

1. Los diámetros apropiados del punzón y el dado
2. La fuerza de corte

1. Claro: $h = c \cdot e = 0,075 \cdot 3\text{mm} = 0,225\text{mm}$

Diámetro de la abertura del dado o matriz: $L_m = 76\text{mm}$, porque éste determina el diámetro del disco (dado en los datos)

Diámetro del punzón: $L_p = L_m - 2h = 76 - 2 \cdot (0,225) = 75,55\text{mm}$

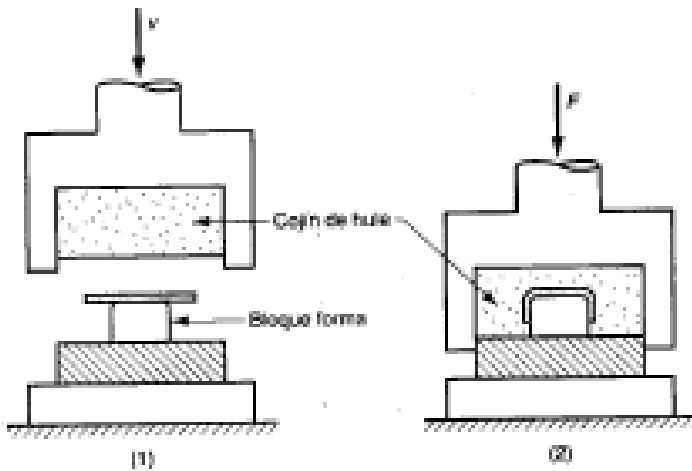
2. Para calcular la fuerza de corte se asume que el perímetro entero de la forma, se corta en una sola operación.

Longitud del borde de corte: $L = \pi D_b = \pi \cdot 76\text{mm} = 238,76\text{mm}$

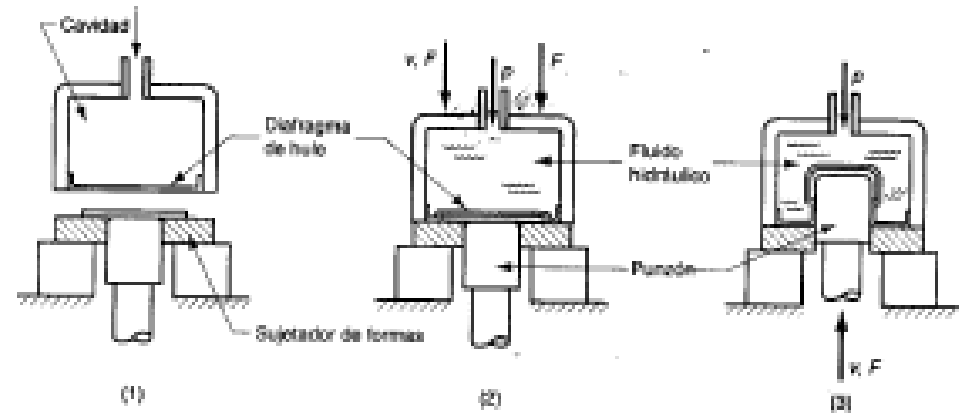
$$F = \tau \cdot e \cdot L = 310,26\text{MPa} \cdot 3\text{mm} \cdot 238,76\text{mm} = 222234,45\text{N} = 222,23\text{kN}$$

Otras operaciones de corte

En prensa:



Guerin

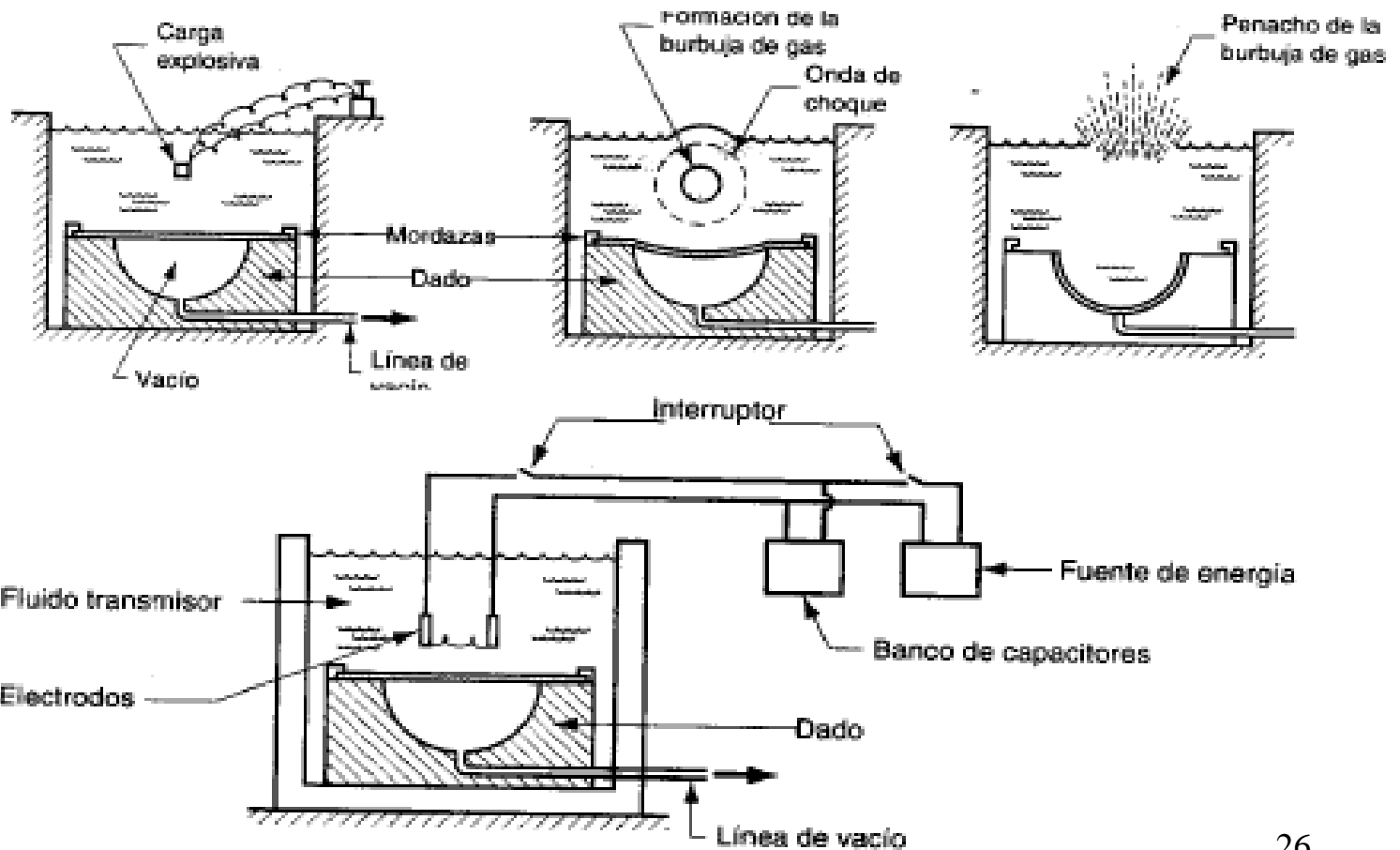


hidroformado

Otras operaciones de corte

Sin prensa:

Por alta
velocidad



Fabricación de piezas de plástico

1. Materiales plásticos y sus características.
2. Procesos de transformación de materiales plásticos.
 - Procesos de mezclado, plastificado y granulado.
 - Obtención de piezas por compresión.
 - Obtención de piezas por inyección.
 - Obtención de piezas por extrusión.
 - Obtención de piezas por soplado.
 - Obtención de piezas por termoconformado.
3. Técnicas de prototipado rápido.





Materiales plásticos y sus características



1. Materiales plásticos:

Químicamente los plásticos están **formados por cadenas más o menos** largas de moléculas simples, la menor estructura o molécula que se identifica a un material plástico es el **monómero**.

Cuando por aportación de calor, luz, presión, mezcla, etc. se logra que los diferentes **monómeros polimericen** y se unan formando cadenas más largas, se consigue un material plástico de características específicas y a menudo sensiblemente distintas a las de los materiales de idéntica composición, pero con un grado de polimerización distinto.

La multiplicidad de **las propiedades conseguidas** con los diferentes plásticos técnicos, se debe precisamente a los **diferentes grados de polimerización**.



Propiedades de los materiales plásticos



Baja densidad

3 veces menor que el aluminio
8 veces menor que el acero

Temperatura de moldeo baja

Entre 250 y 400 °C (el acero precisa 1400 °C)

Buenos aislantes eléctricos

1000 veces mayor que los metales
La mala conductividad se debe a la carencia de electrones libres

Mal conductor del calor

En su procesado supone un problema

Pueden ser coloreados, cargados y reforzados



Propiedades de los materiales plásticos

- Propiedades físicas:

Valores de la densidad de los diferentes tipos de plásticos

<i>Material</i>	<i>Densidad en g/cm³</i>
Plásticos	0,9 - 2,3
PE (Polietileno)	0,9 - 1,0
PP (Polipropileno)	0,9 - 1,0
PC (Policarbonato)	1,0 - 1,2
PA (Poliamida)	1,0 - 1,2
PVC (Policloruro de vinilo)	1,2 - 1,4
PTFE (Politetrafluoroetileno)	> 1,8
Acero	7,8
Aluminio	2,7
Madera	0,2 - 0,95
Agua	1,0



Propiedades de los materiales plásticos



- Propiedades físicas:

Buena resistencia a la corrosión.

Mala resistencia a los disolventes de composición similar a la suya.

Gran flexibilidad y algunos presentan una gran resistencia al impacto.

Posibilidad de ser reciclados (termoplásticos).

Su incineración es problemática si contienen cloro (*PVC*) o flúor (*PTFE*).



Clasificación de los plásticos



Según *DIN 7728* los plásticos se clasifican en **termoplásticos**, **termoestables** y **elastómeros**, dependiendo de la forma de las cadenas que forma el material una vez polimerizado.

■ Termoplásticos :

Son materiales en los que **se unen los monómeros de forma lineal** de longitudes mayores o menores según el grado de polimerización aplicado y **no presentan uniones laterales** entre las diferentes cadenas, estos materiales pueden fundirse de forma reiterada, pudiéndose procesar de nuevo sin perder sus propiedades. A temperatura ambiente son sólidos.



Clasificación de los plásticos



■ Termoestables :

Son plásticos en los que las cadenas lineales formadas al **polimerizar, en determinadas condiciones de presión y temperatura**, desarrollan **uniones o enlaces laterales** que unen entre si las cadenas lineales, creando una redícula molecular en toda la masa, proporcionando unas características de rigidez muy destacables.

A diferencia de los termoplásticos, los plásticos termoestables no son reprocesables, ya que las uniones entre cadenas **son verdaderos enlaces químicos**, por lo que una nueva aplicación de calor conduciría a su degradación.



Clasificación de los plásticos



■ Elastómeros :

Son polímeros capaces de sufrir **grandes deformaciones elásticas** cuando se les somete a esfuerzos mecánicos relativamente bajos. Están formados por moléculas de cadena larga que se **encadenan transversalmente**. Para que un polímero exhiba propiedades elastómeras debe ser amorfo cuando no se le aplica ningún esfuerzo, y su temperatura debe estar **por encima de la de transición vítrea** (si estuviese por debajo sería duro y quebradizo).



Composición de los plásticos industriales

Al plástico base de la pieza deben añadirse:

- 1.- **Plastificantes:** Permiten el flujo de material dentro del molde.
- 2.- **Lubricantes:** Fluidifican el llenado o la extracción de la pieza.
- 3.- **Estabilizadores:** Retrasan la degradación del material.
- 4.- **Antiestáticos:** Evitan que el material se cargue de electricidad estática.
- 5.- **Relleno, refuerzos y cargas:** Aumentan el espacio o dan propiedades, como insonorizar, absorber energía (parachoques), etc.
- 6.- **Colorantes:** Dan color mediante tintes (solubles en el polímero) o pigmentos (no solubles en el polímero).
- 7.- **Catalizadores:** Ayudan a que tengan lugar determinadas reacciones o dar cierto tipo de cadenas.



Composición de los plásticos industriales



- 8.- **Antioxidantes:** Minimizan su afinidad por el oxígeno del aire.
- 9.- **Reticulantes:** Mejoran la reticulación.
- 10.- **Inhibidores de las radiaciones:** Principalmente de la ultravioleta.
- 11.- **Antifungicidas:** Evitan el ataque de microorganismos.
- 12.- **Desodorantes:** Cambian o eliminan el olor residual del plástico.
- 13.- **Desmoldeantes:** Facilitan la extracción de la pieza.



Obtención de plásticos



Material de partida.

- Se obtienen a partir de materiales naturales como la celulosa, el carbón, el petróleo y el gas natural.
- Sus moléculas contienen **C, H, O, N y S**.
- Es necesario destilar el petróleo y separar el gas, la gasolina, el éter del petróleo y el gasoil.
- El *crackizado* de la gasolina permite obtener etileno, propileno y butileno.
- A partir del etileno se obtienen los monómeros como el estireno, el cloruro de vinilo, etc.



Obtención de plásticos

Denominación de materiales plásticos según el proceso de obtención.

Proceso de síntesis	Denominación del producto	Ejemplos de denominación
Polimerización	Polímero	(PP) Polipropileno (PE) Polietileno
Policondensación	Policondensado	(PC) Policarbonato (PA) Poliamida
Poliadición	Poliaducto	(PUR) Poliuretanos (EP) Resinas epoxi



Obtención de plásticos



Comportamiento de los plásticos técnicos.

En los plásticos las moléculas de gran longitud se entrelazan entre ellas de forma que el producto resultante tiene un comportamiento muy distinto al de la molécula base.

La magnitud de las fuerzas que se oponen a las deformaciones es de un orden muy inferior al de las fuerzas generadas por los enlaces iónicos de los compuestos y aleaciones de los metales.

Las fuerzas que tienden a unir las cadenas son las de Wan der Waals, relativamente bajas.

En el proceso de fabricación se tiende a orientar y enderezar las cadenas, lo que mejora el comportamiento del material en aplicaciones concretas. Esta orientación de cadenas incrementa de forma considerable la resistencia en la dirección de la orientación.



7.2. Procesos de transformación de materiales plásticos



7.2.1 Procesos de mezclado, plastificado y granulado.

7.2.2 Obtención de piezas por compresión.

7.2.3 Obtención de piezas por inyección.

7.2.4 Obtención de piezas por extrusión.

7.2.5 Obtención de piezas por soplado.

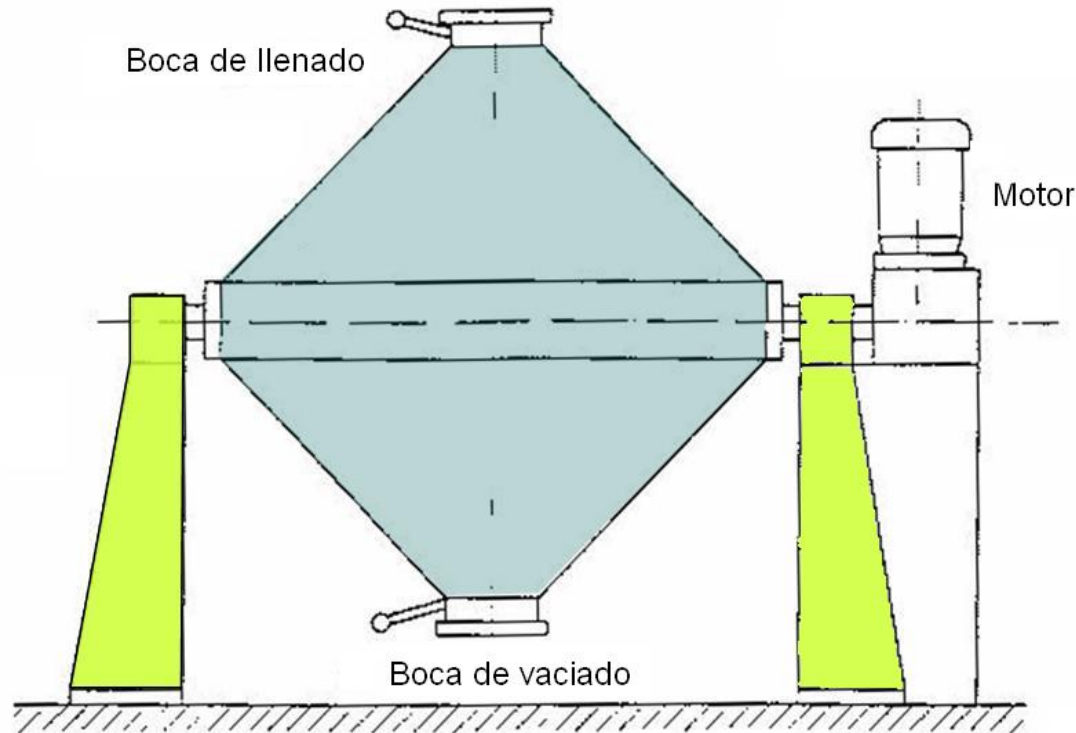
7.2.6 Obtención de piezas por termoconformado.



Procesos de mezclado de la granza y otros aditivos

Puede ser en frío o en caliente y tener lugar por caída libre o por agitación con mezcladores de paletas. En ocasiones se adicionan algunos elementos de composición final del plástico.

Mezclado en frío

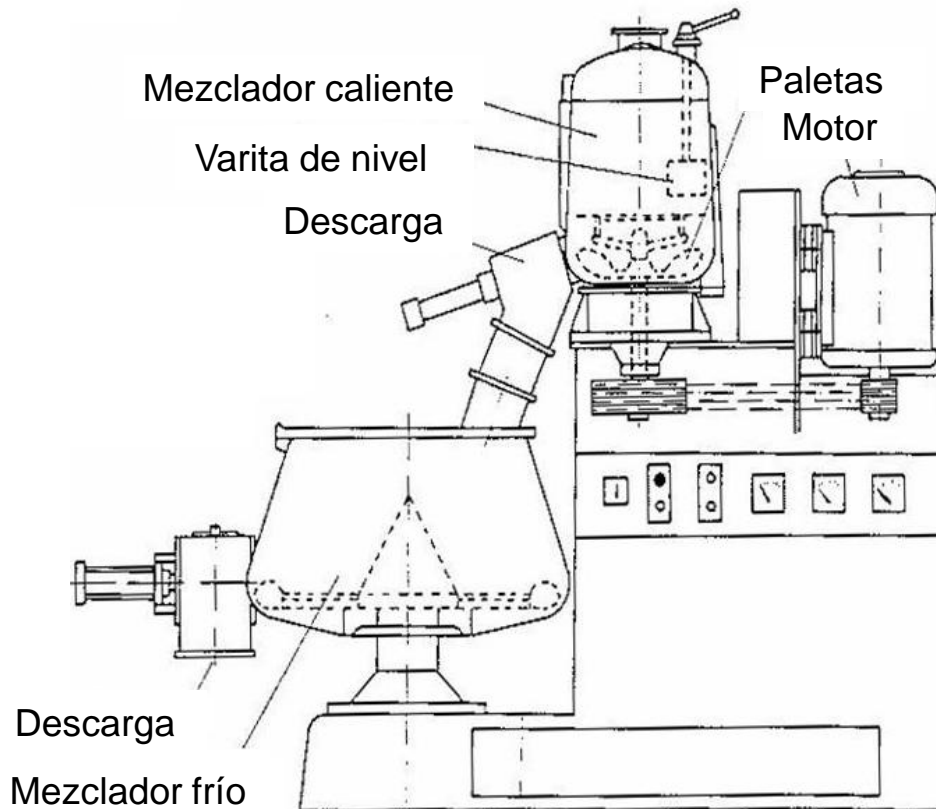


Mezclador de caída libre



Mezclado en caliente

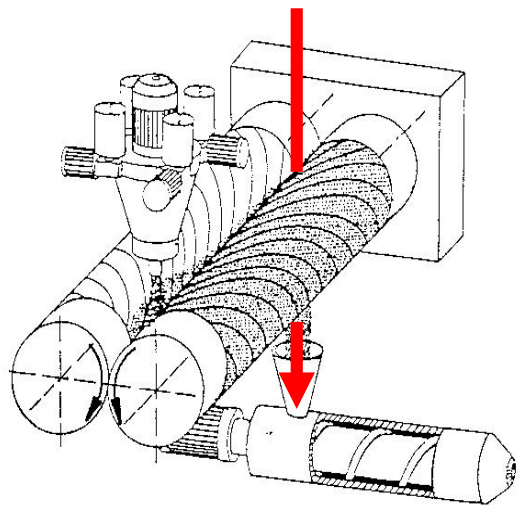
En el mezclado en caliente se produce un calentamiento de la mezcla. A 140 °C funden diversos aditivos, difundándose por el plástico. A continuación se puede ver un ejemplo de mezclador rápido, que se compone de un mezclador caliente y un mezclador frío.



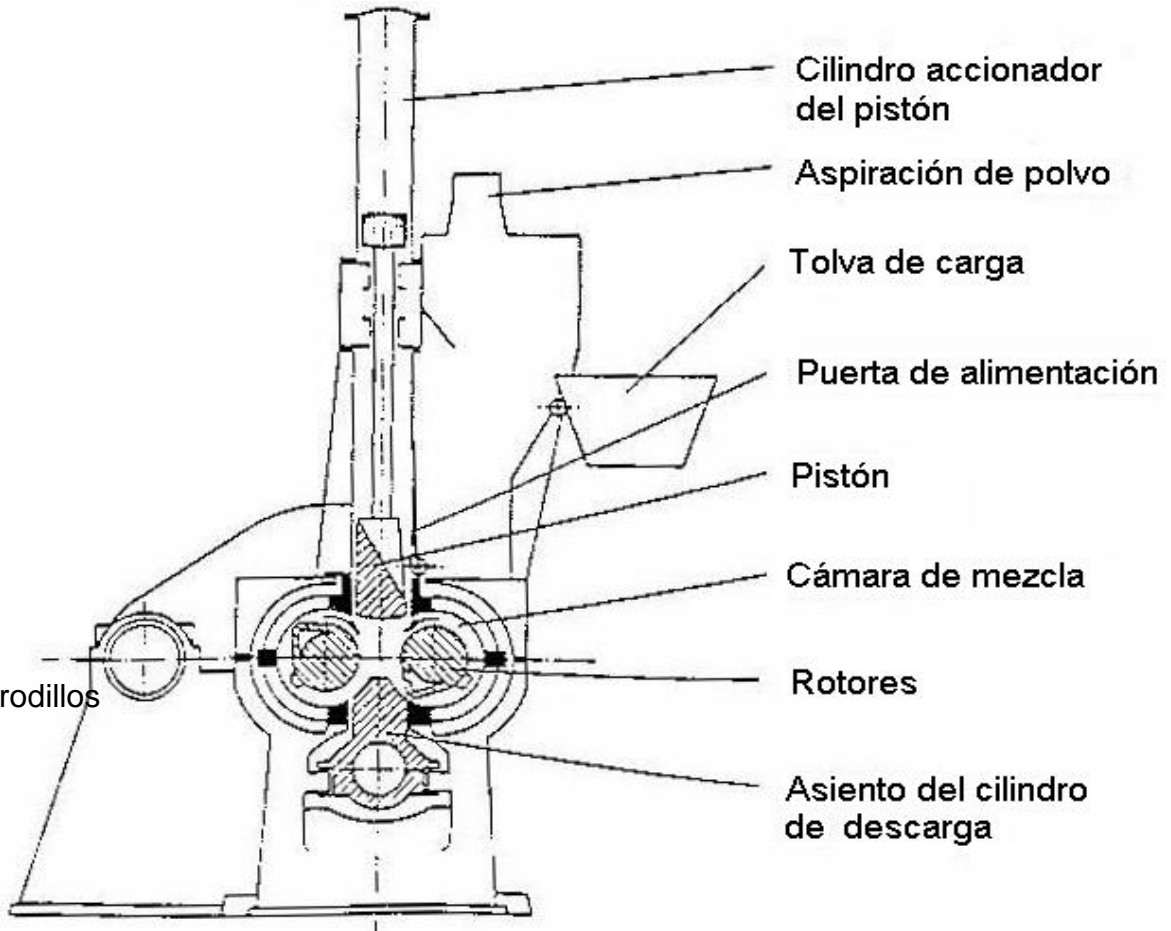


Procesos de plastificado

En esta etapa se **homogeniza la masa**, se **añaden cargas, refuerzos, estabilizantes, colorantes, pigmentos**, etc., que no sería rentable añadir en el mezclado.



Confección continua con un mezclador de rodillos



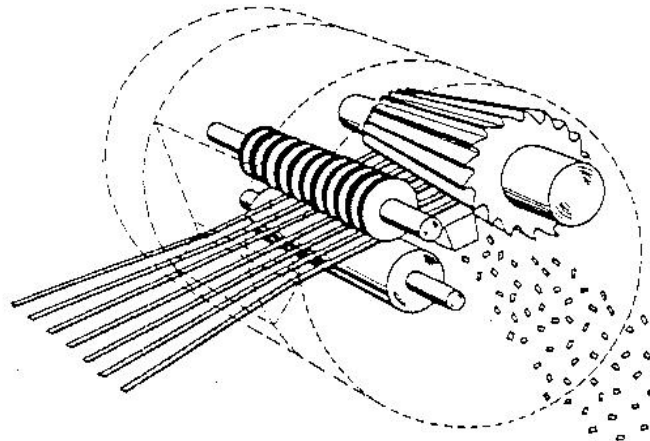
Mezclador interno



Granulado

Por granulado se entiende la acción de cortar el plástico en pequeños trocitos que se puedan deslizar fácilmente. Para ello existen dos variantes de proceso: el granulado en frío y el granulado en caliente.

En el **granulado en frío**, se enfría primero la mezcla plastificada, para luego cortarla en trocitos. La desventaja está en que estos trocitos presentan rebabas de corte, por lo que se deslizan peor que los granulados en caliente, ya que los primeros tienden a trabarse entre ellos.

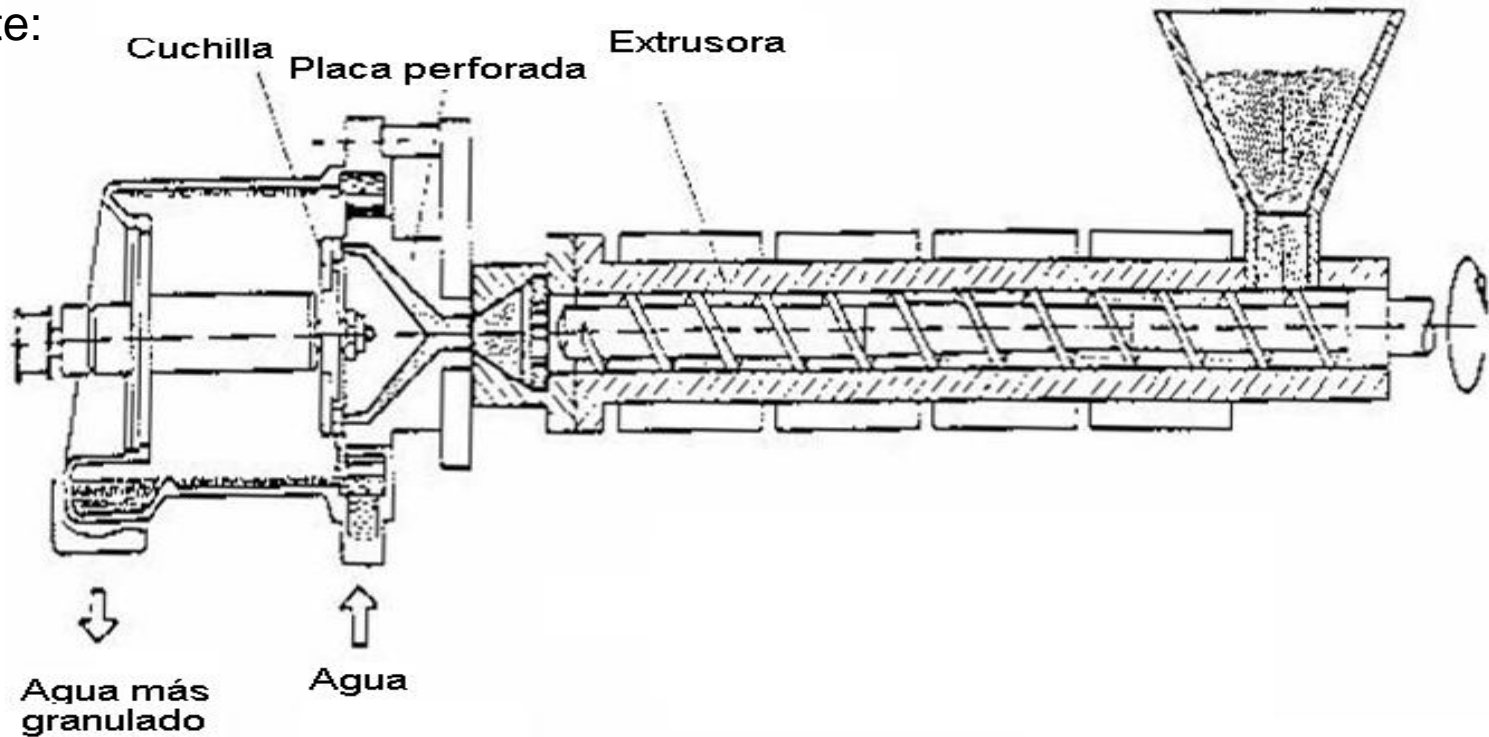


Granuladora



Procesos de granulado (producción de la granza)

En el **granulado en caliente** se plastifica la mezcla en una **extrusora**. Como **molde** de la extrusora actúa únicamente una **simple placa perforada**, a través de la cual se obliga al material a penetrar. Los hilos que salen por ella son cortados por una **cuchilla** y los trozos son enfriados por aire o por agua. El proceso es el siguiente:



Una ventaja de este proceso es el hecho de que los granos cortados en caliente no forman rebabas, lo que facilita su deslizamiento.

Procesos de granulado (producción de la granza)

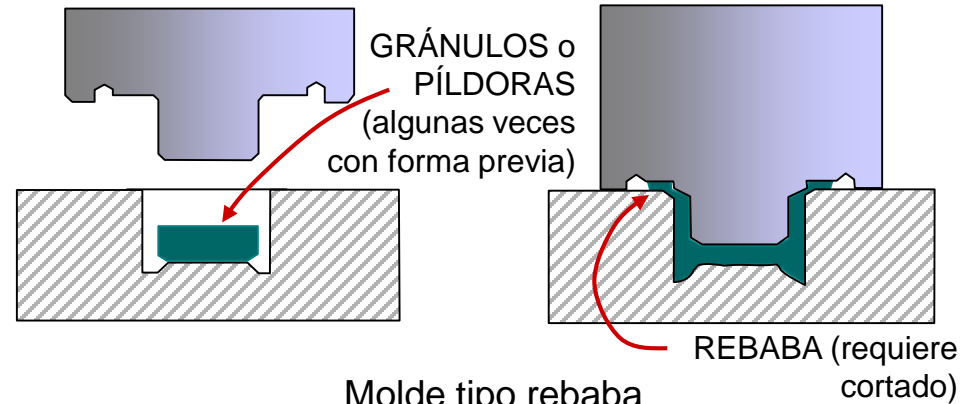
Ejemplo del tamaño y tipos de granza generalmente utilizados:



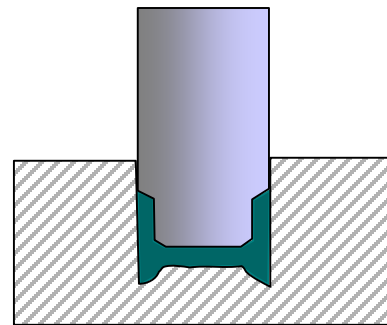


Moldeo a compresión en frío / en caliente

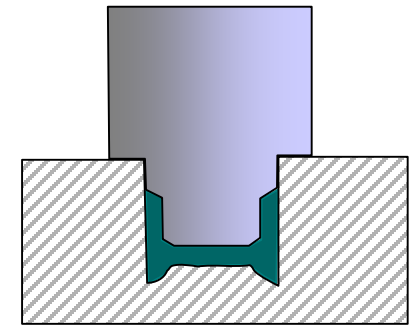
El proceso más frecuente es con **resinas fenólicas** y en frío, con adición de bastante disolvente para asegurar su aglomeración **sólo con presión y sin aporte de calor**: una vez desmoldeadas, las piezas son calentadas moderada y lentamente para conseguir la reacción de termoestabilización.



Molde tipo rebaba
Control de la dimensión y la densidad



Molde tipo de émbolo directo
Control de la densidad
Dimensión variable

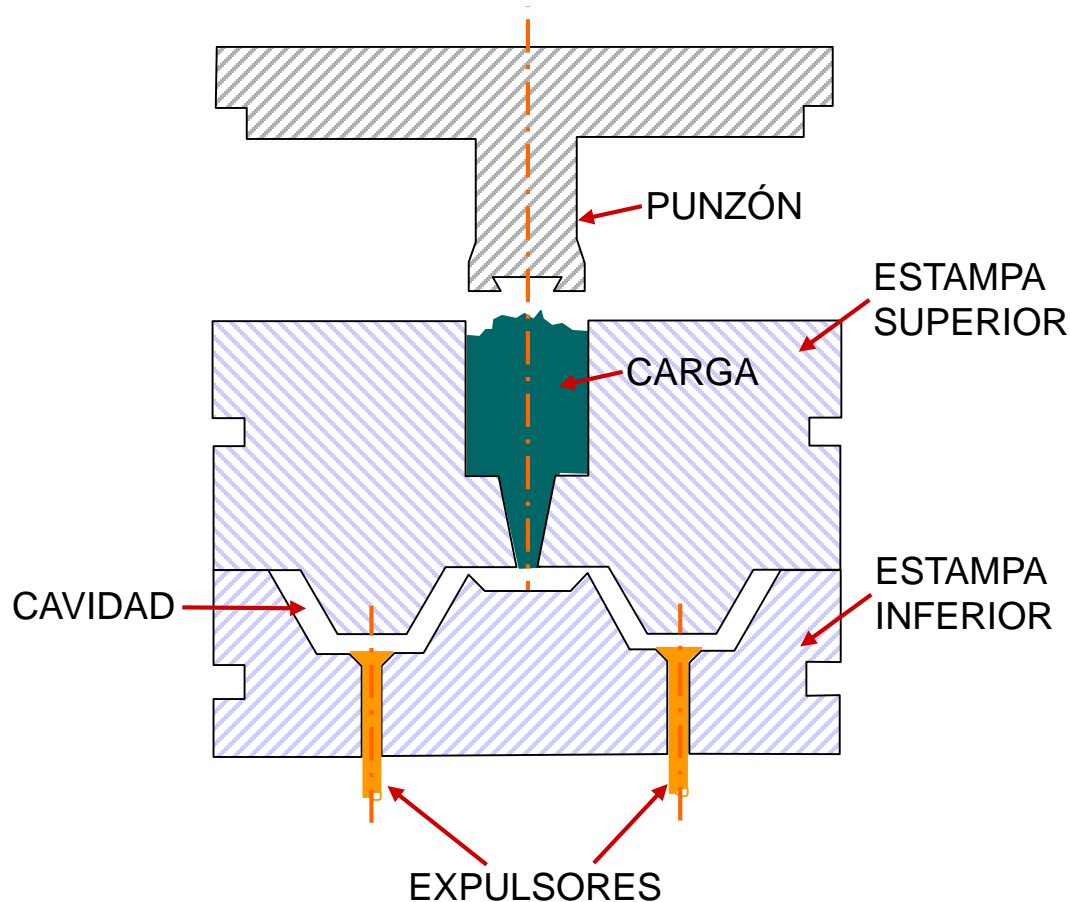


Molde tipo de émbolo con límite de carrera
Control de la dimensión
Densidad variable



Moldeo a compresión por transferencia

También puede ser calentado el material exteriormente o en la propia matriz.





Obtención de piezas por inyección



Inyección

Proceso a través del cual se plastifica o funde una masa de plástico que se inyecta dentro de un molde donde se enfría y solidifica tomando su forma.

El llenado debe ser **sin turbulencias, por ello** se debe controlar:

Presión de inyección

Velocidad de inyección

TMP (*Tiempo de mantenimiento de la presión*)

Temperatura de la masa

Temperatura del molde

Espesor de las paredes y volumen de la pieza

Dimensión y geometría de los canales de colada

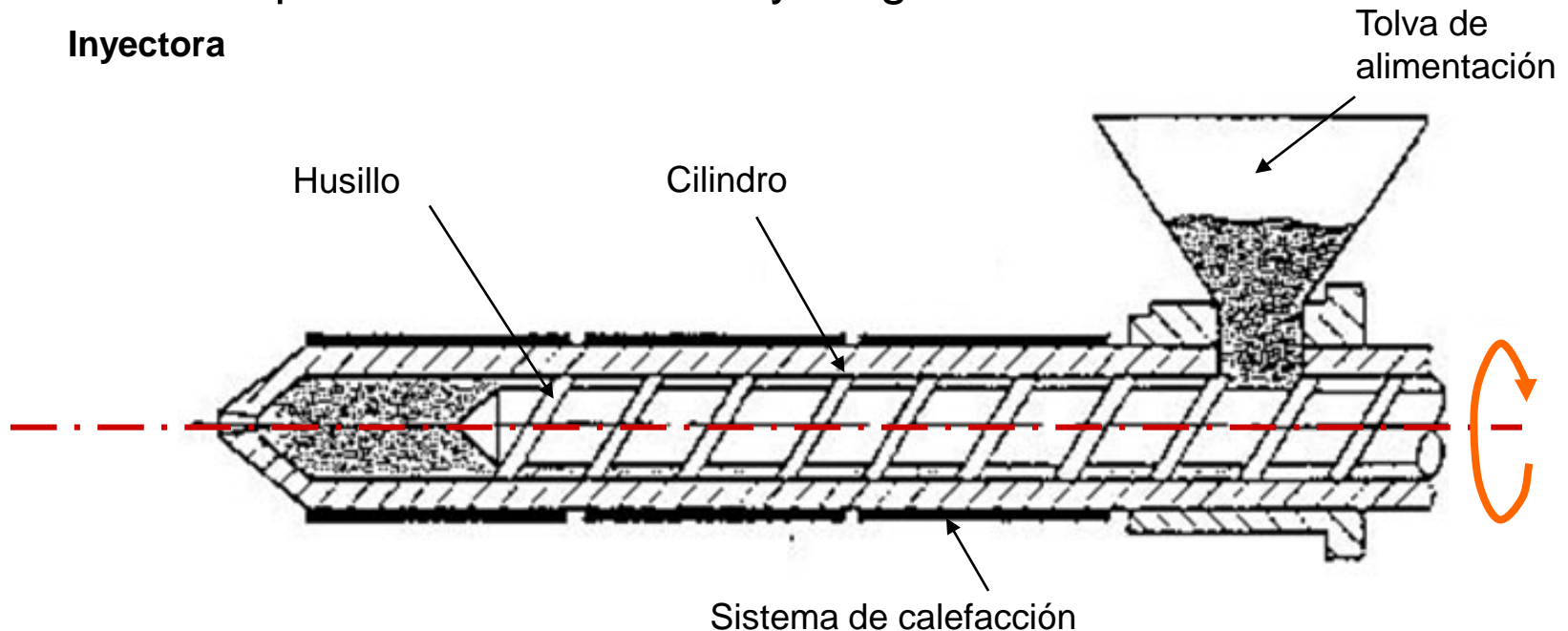


Rasgos característicos de los procesos de inyección

Son características destacables de las piezas inyectadas:

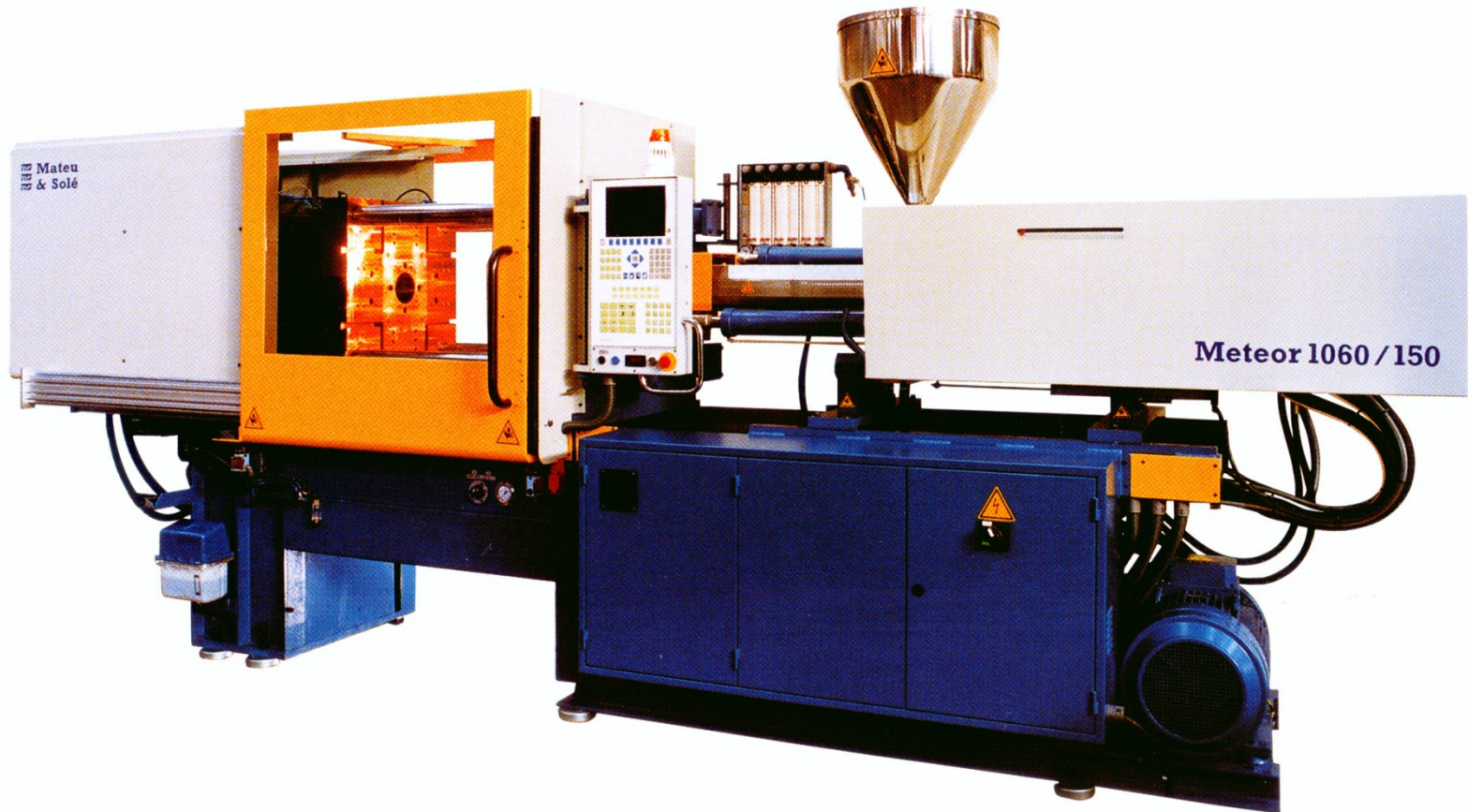
- La pieza se obtiene en una sola etapa y no precisa operaciones de acabado.
- El proceso es automatizable.
- Las condiciones de fabricación son fácilmente reproducibles.
- Las piezas son uniformes y de gran calidad.

Inyectora





La máquina inyectora





El 60% de las máquinas de transformación son por inyección.

Las piezas salen acabadas y sin rebabas, lo que no ocurre en los termoestables y los elastómeros obtenidos por prensado.

Plásticos más comúnmente usados para inyección	
TERMOPLÁSTICOS	TERMOESTABLES
Poliestireno (PS)	Resinas de poliéster insaturado (UP)
Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)	Resinas de fenol formaldehído (PF)
Polietileno (PE)	ELASTÓMEROS
Polipropileno (PP)	
Policarbonato (PC)	Caucho de nitrilo (Acril-butadieno) (NBR)
Polimetacrilato de metilo (PMMA)	Caucho de estireno-butadieno (SBR)
Poliamida (PA)	Cauchos de poliisopropeno (IR)



Obtención de piezas por inyección



Rasgos característicos de los procesos de inyección

Los termoestables, a diferencia de los termoplásticos, precisan un período de enfriamiento más largo y su alcance es proporcional al espesor de las paredes de la pieza (**deben ser delgadas**), ya que además de requerir más tiempo para el enfriamiento podrían producirse quemaduras en la superficie al tener que mantener durante mucho tiempo la temperatura de reticulación a fin de que su efecto alcance el centro de la pieza.

En **los termoestables y los elastómeros** el molde debe cerrar muy bien a fin de que no se produzcan rebabas por escape del material dada su baja viscosidad.



Rasgos característicos de los procesos de inyección

- **Tiempo de enfriamiento:** es proporcional al cuadrado del espesor de la pieza y debe ser uniforme.

En los **termoplásticos** para conseguirlo a veces hay que **refrigerar para endurecer**.

En los **termoestables y elastómeros** a veces hay que **refrigerar** el material **para no alcanzar la temperatura de reticulación** y endurecer el material antes del llenado completo del molde.

- **Presión de inyección:** es característica de cada material y pieza y no debe rebasarse.
- **La velocidad de inyección:** depende del material y pieza a inyectar pero, a diferencia de la presión, ésta puede variar entre ciertos límites



- El tiempo de mantenimiento de la presión *TMP*:

Garantiza un mejor comportamiento de la pieza frente a la contracción.

Si *TMP* es corto la pieza rechupa y si es largo hace rebabas.

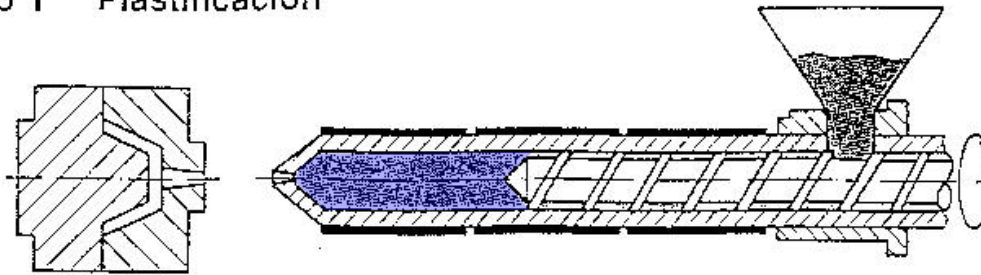
- Temperatura de la unidad inyectora:

El **calor en la inyección proviene mayoritariamente de la fricción** del material con la cámara y el husillo. En la inyección de termoestables, a veces hay que refrigerar la cámara y calentar el molde entre 160 y 200°C para que el material reticule justo al entrar en él.

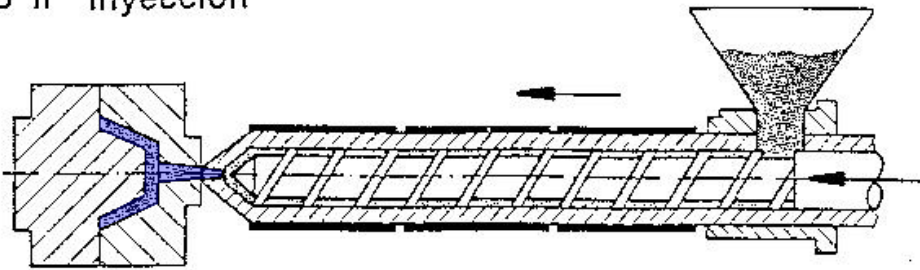


Secuencia de fases del proceso de inyección

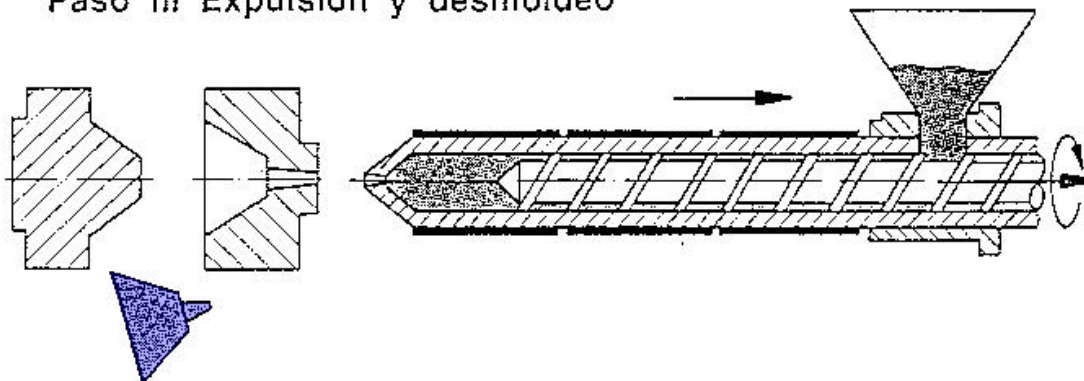
Paso I Plastificación



Paso II Inyección



Paso III Expulsión y desmoldeo



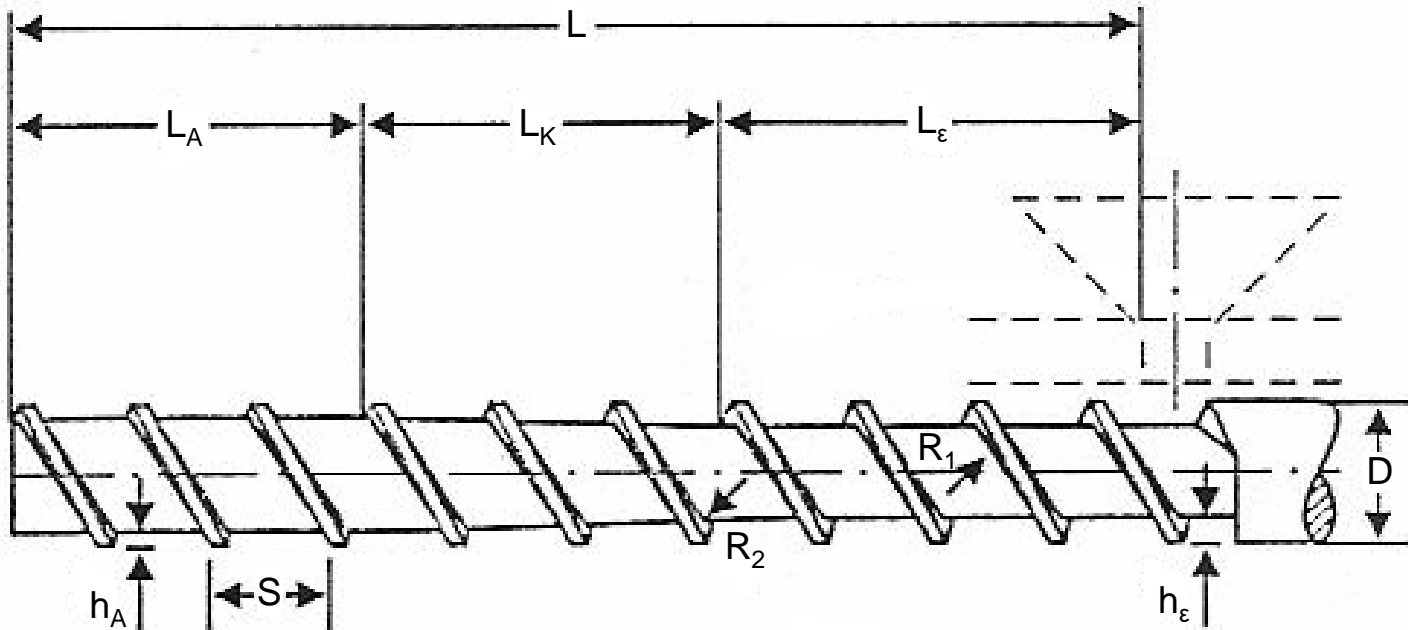
El émbolo es un tornillo de Arquímedes que mezcla, homogeneiza y fuerza a la masa a entrar en el molde.

El giro del husillo produce el 67% del calor a la vez que homogeneiza la masa y distribuye el calor por toda ella. El 33% restante proviene de los calefactores.



Geometría del husillo

Conceptos y dimensiones de los husillos de tres zonas para máquinas de inyección.



D Diámetro exterior del husillo
 L Longitud efectiva del husillo ($10 - 22 \cdot D$)
 L_ϵ Longitud de la zona de alimentación ($0,5 \cdot L$)
 L_K Longitud de la zona de compresión ($0,3 \cdot L$)
 h_A Profundidad del filete en la zona de plastificación

h_ϵ Profundidad del filete en la zona de alimentación
 L_A Longitud de la zona de plastificación ($0,2 \cdot L$)
 S Paso ($0,8 - 1,0 \cdot L$)
 R_1 Radio posterior de la base del filete ($\geq 2,0$ mm)
 R_2 Radio anterior de la base del filete ($\geq 10,0$ mm)

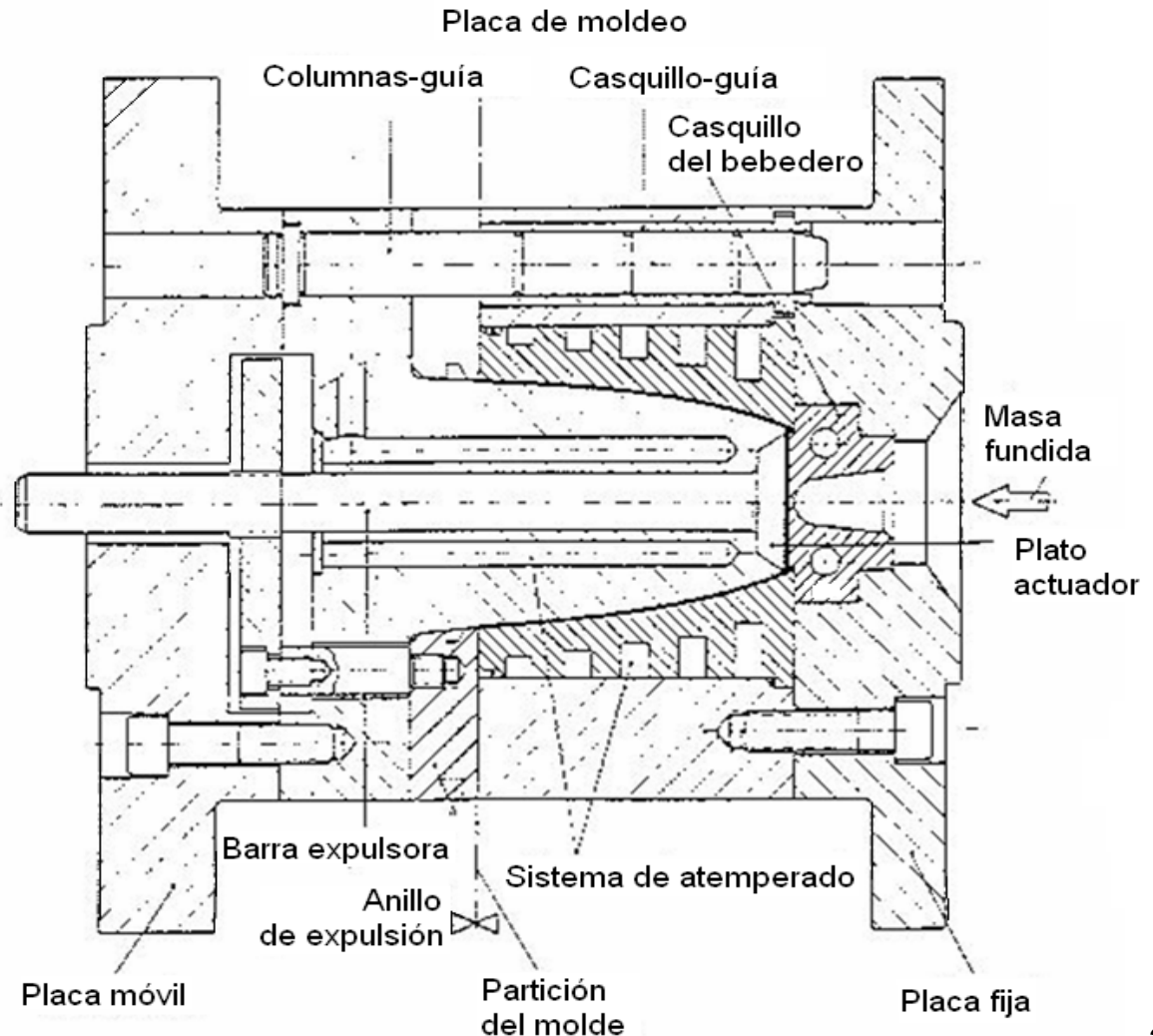


Composición de los moldes usados para la inyección

Se componen de :

- Placa con las cavidades de la pieza
- Sistema de alimentación
- Sistema de refrigeración
- Sistema de expulsión

Molde de inyección

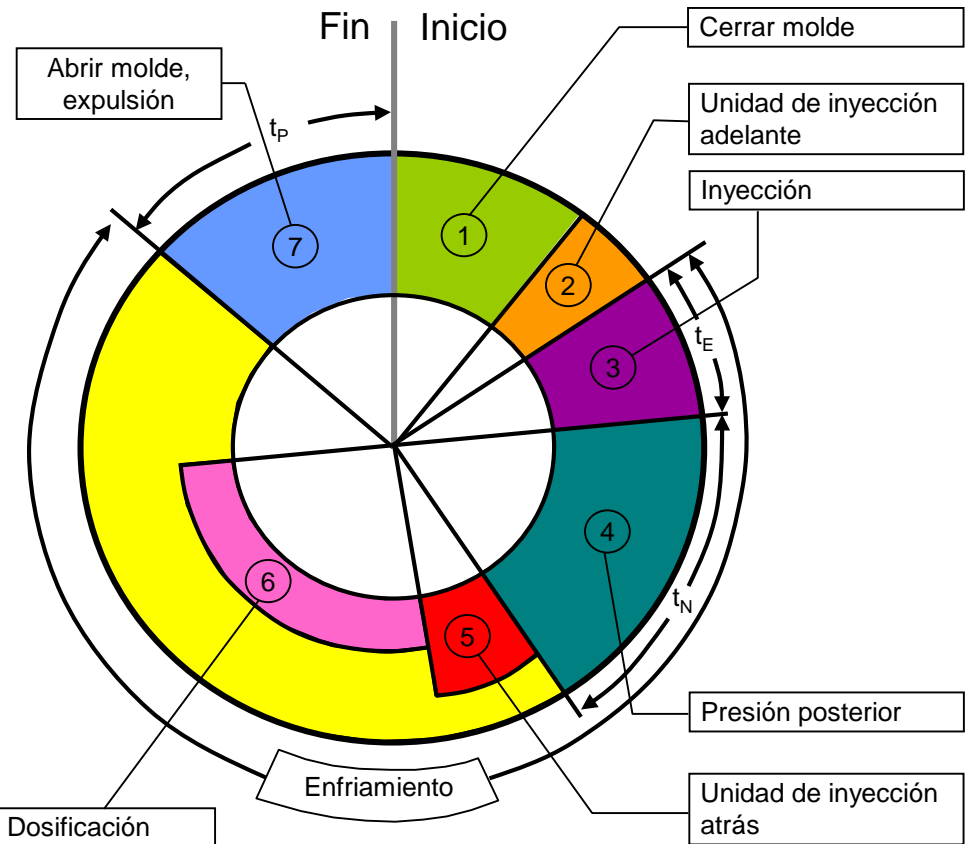




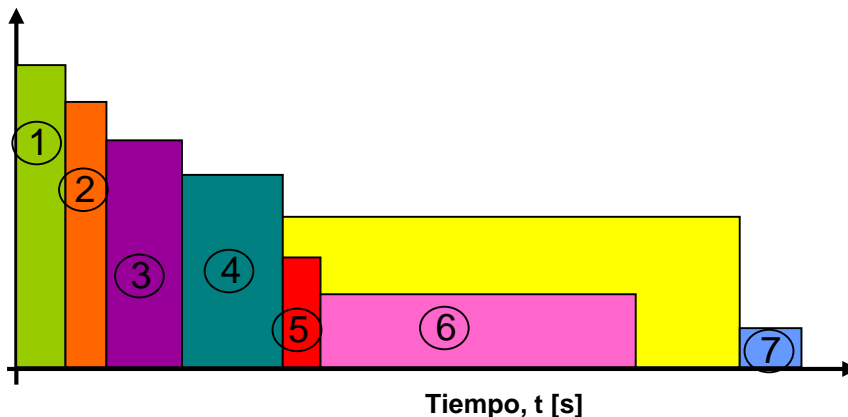
Etapas del proceso de inyección

- 1 - Cierre del molde
- 2 - Posicionamiento de la boquilla de inyección
- 3 - Inyección del material
- 4 - Mantenimiento de la presión
- 5 - Retirada de la unidad inyectora
- 6 - Enfriar la pieza y simultáneamente dosificar la pieza siguiente
- 7 - Abrir y extraer la pieza

Ciclo de inyección

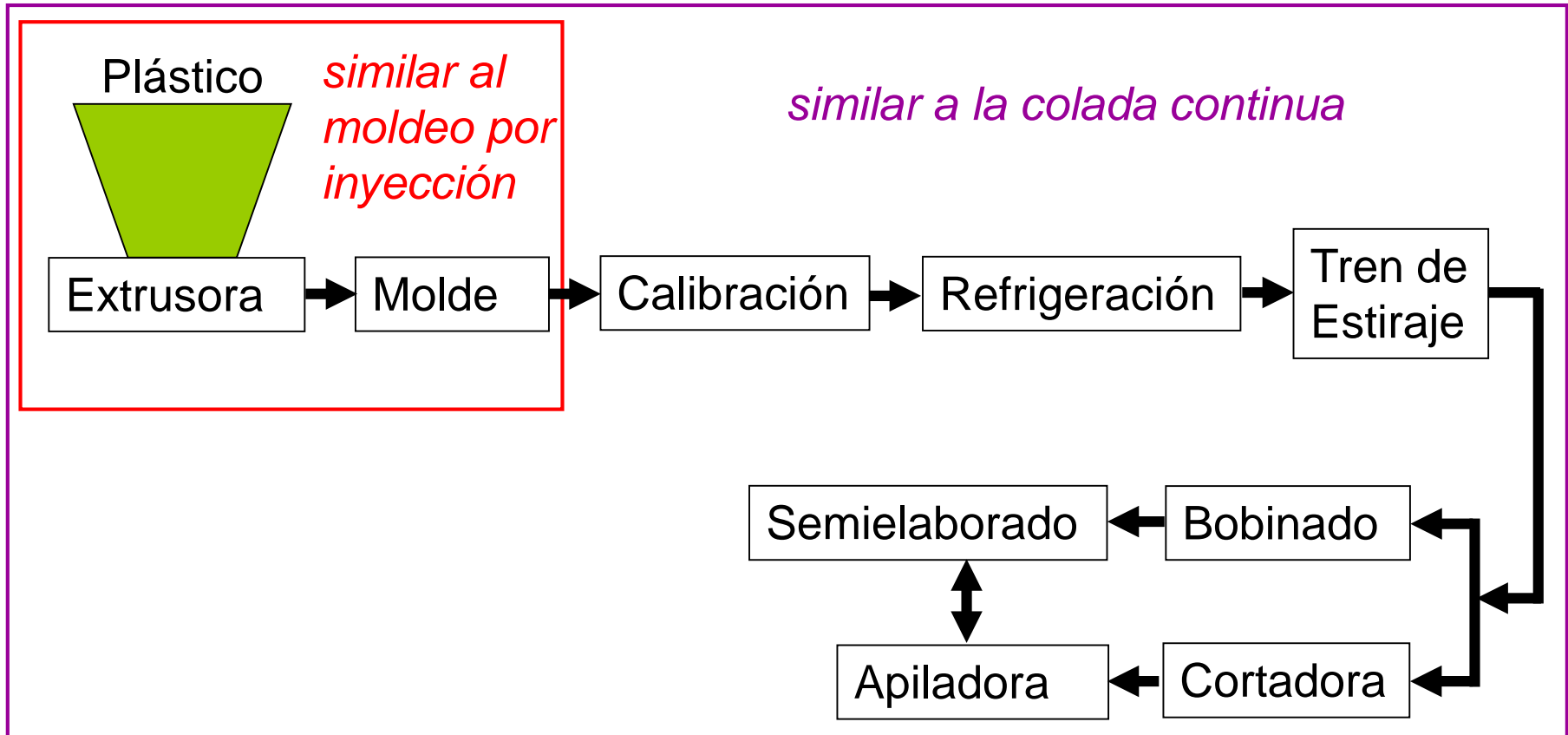


Desarrollo temporal del ciclo de inyección





En este proceso el plástico es obligado a llenar un molde o hilera tras haber sido fundido, por ello se considera como un proceso de moldeo por inyección o por colada continua.

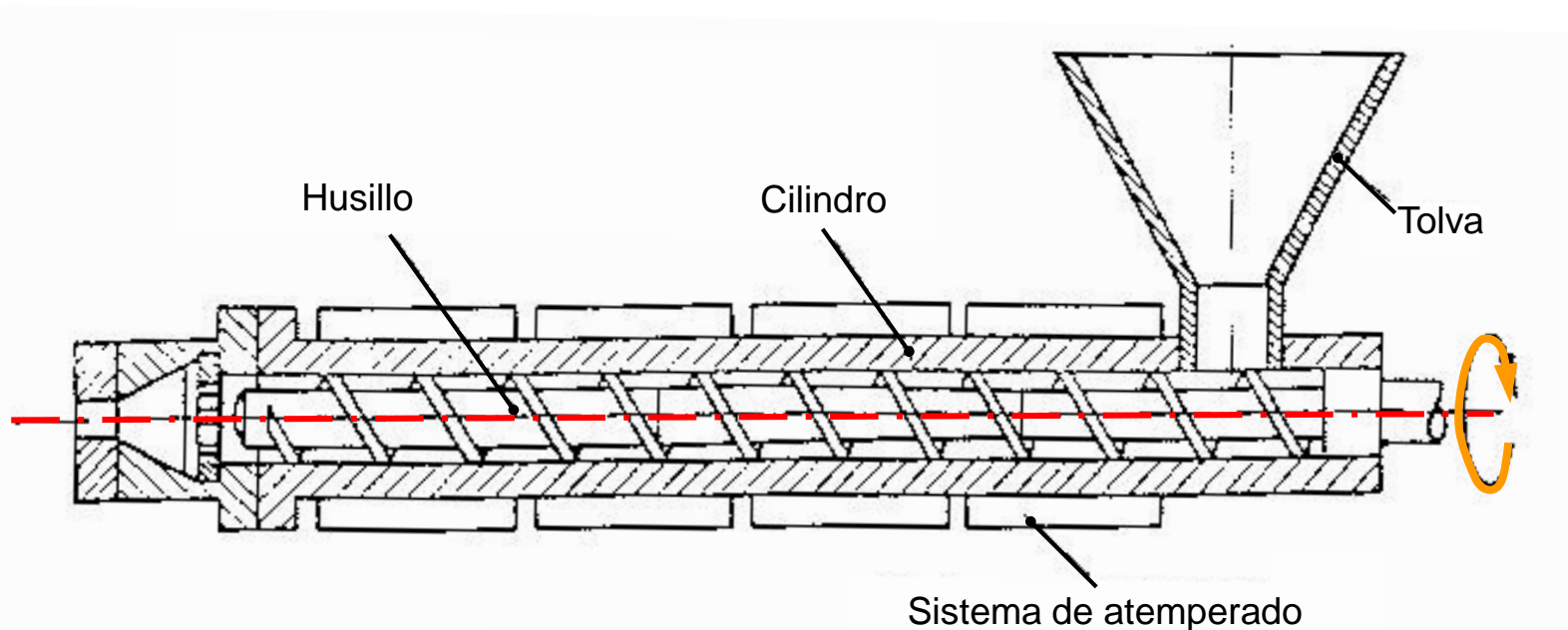




Máquina extrusora

En la figura siguiente se esquematizan los elementos principales de una unidad de extrusión. La capacidad extrusora depende de la relación L/D y todas deben cumplir que:

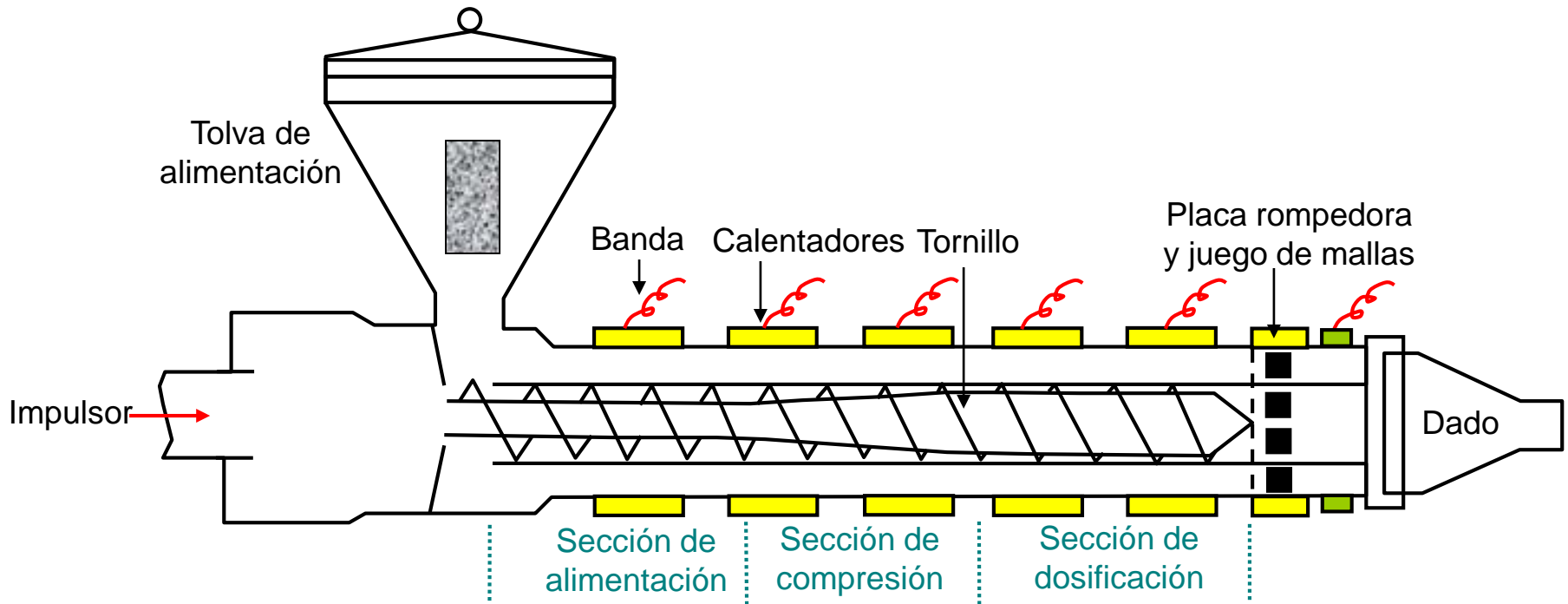
- El transporte del material debe ser continuo.
- La masa debe ser térmica y mecánicamente continua.
- Deben permitir la transformación del material en condiciones que no lo degraden térmica, química o mecánicamente.





La máquina extrusora

Con la interposición de la **mall**a se retienen los gránulos no plastificados o impurezas, impidiéndoles entrar en la pieza, y con la de la **placa rompedora** se corrige la memoria de las fibras, según la cual éstas seguirían con la orientación helicoidal.





Obtención de piezas por extrusión

La máquina extrusora





La máquina extrusora

Extrusora vertical
para la fabricación
de láminas



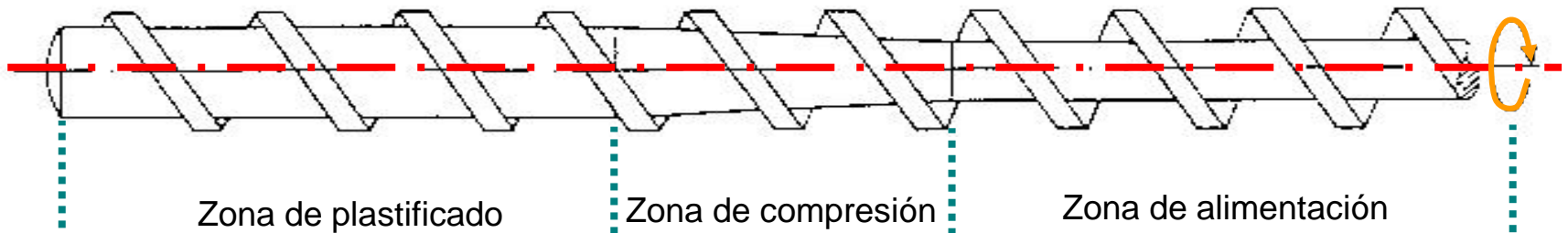


Husillos de extrusión

Son convencionales cuando su misión consiste en desplazar el material hasta su introducción en el molde solamente y presentan en general las **zonas de alimentación, compresión y plastificado o dosificación.**

Las cámaras extrusoras pueden ser **calentadas o enfriadas**, según si el **calor producido** por la **fricción** del material al desplazarse **es inferior o superior al necesario** para que la masa alcance la temperatura de transformación.

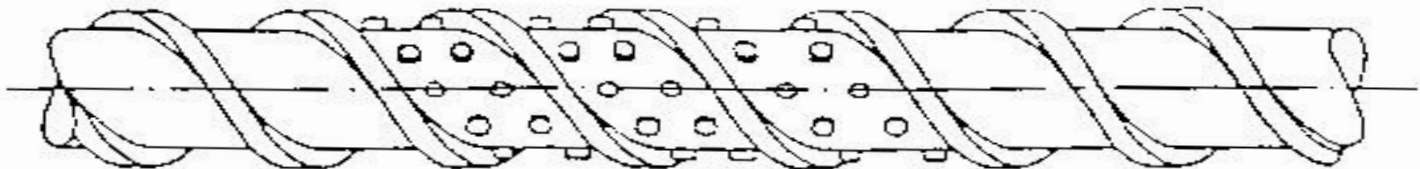
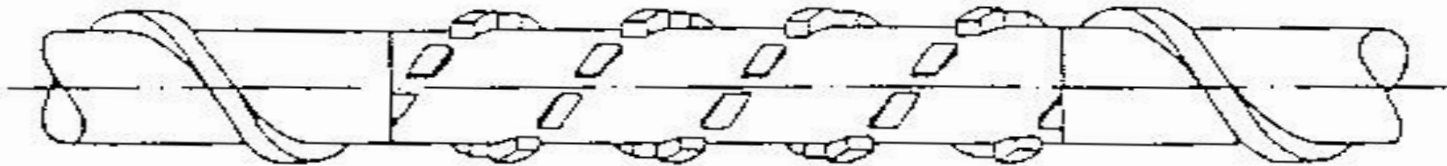
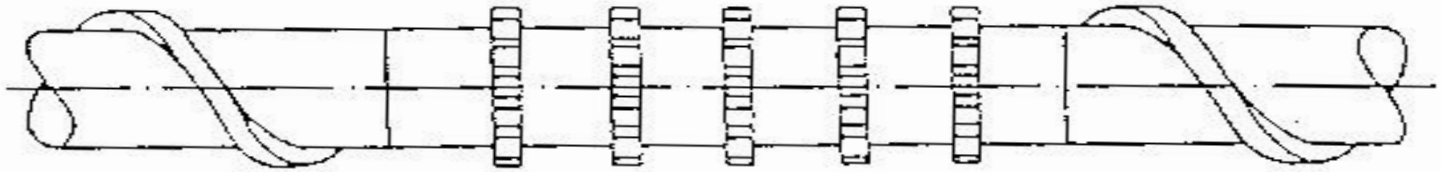
En la **inyección** se desea **baja viscosidad y elevada fluidez**, mientras que en la **extrusión** se precisa una **elevada viscosidad.**





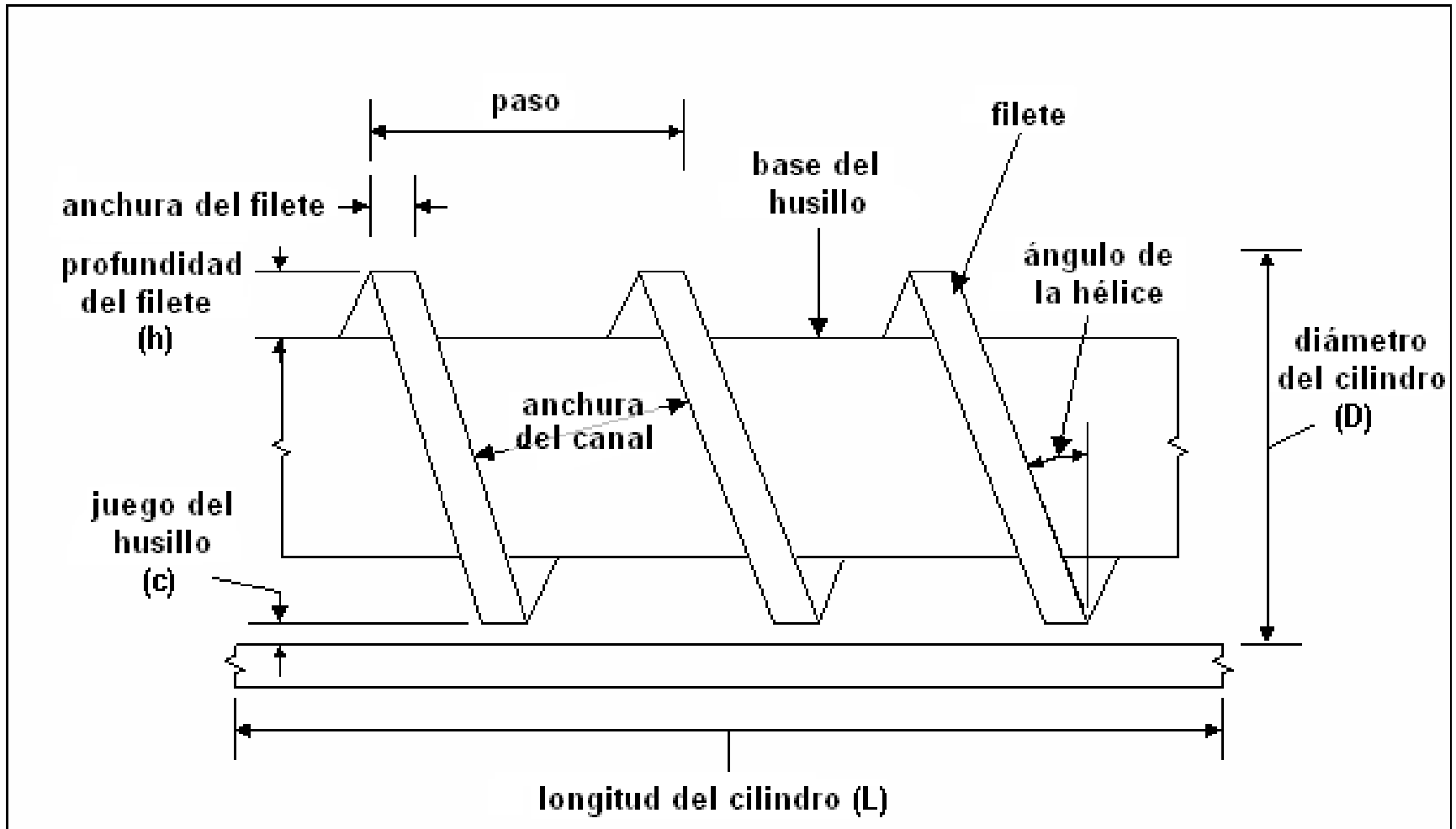
Husillos de extrusión

Se definen como husillos de alto rendimiento los que incorporan varios tipos de hilos o multiplicidad de husillos, con el fin de realizar simultáneamente con el transporte otras funciones como la homogeneización, la mezcla, la fijación, etc.





Husillos de extrusión





Husillos de extrusión

La configuración de la sección del husillo dependerá de forma muy especial del comportamiento y características del material a extruir. Se construyen con paso y profundidad variables, pero de todas formas lo más corriente es que se construyan con un paso constante y profundidad variable según la aplicación específica.

Fusión suave y baja densidad



polietileno

Fusión lenta



cloruro de polivinilo

Fusión abrupta



nylon



Obtención de piezas por extrusión



Husillos de extrusión

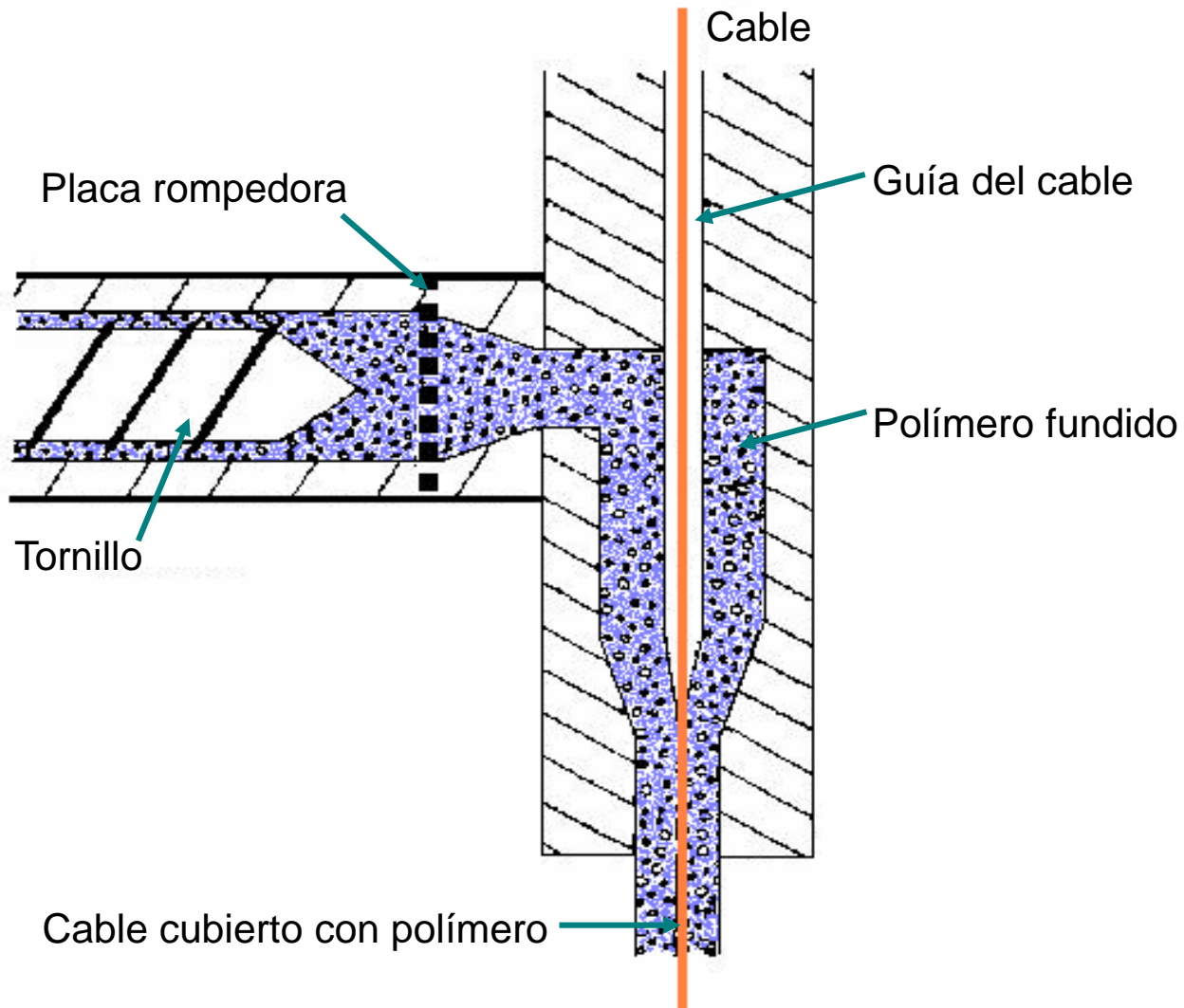
Origen del calor necesario para la extrusión

El **67% del calor** que se necesita para fundir el material proviene de los **esfuerzos de cortadura** a los que se somete el fluido debido a su **mayor o menor viscosidad**, y el **33% restante** es suministrado por los **calefactores** de la cámara extrusora.

En ocasiones el calor generado por la cortadura de la masa fluida es excesivo y se alcanzan temperaturas mayores que las que requiere el material, siendo preciso refrigerar la cámara extrusora.



Extrusión transversal para la fabricación de cable eléctrico





Productos semielaborados más comúnmente utilizados

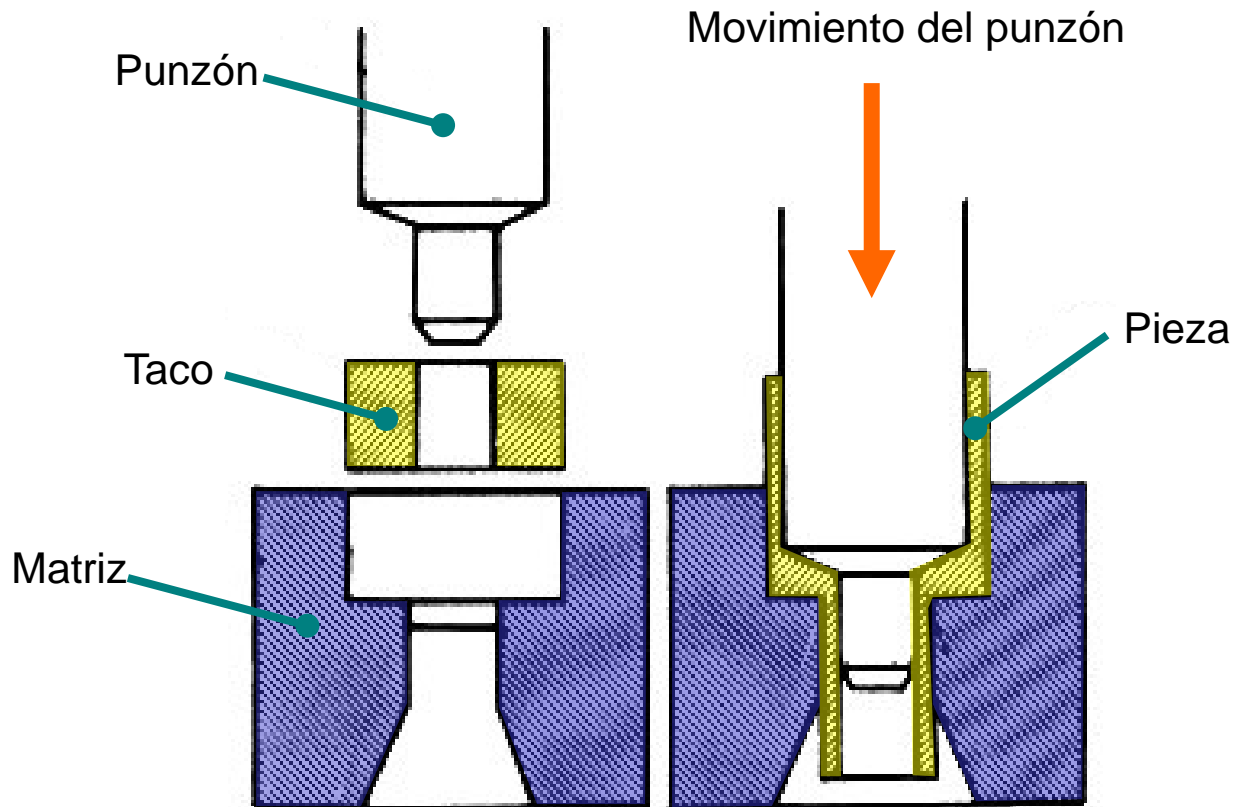
En ocasiones la pieza definitiva se obtiene por mecanizado, en una operación posterior al proceso de conformado de la masa plástica, conformado en el que se obtienen perfiles suministrados comercialmente en forma de chapas, barras, tubos, etc.

Productos semielaborados y temperaturas de transformación		
Tipo de material plástico	Intervalo de temperaturas de transformación [°C]	Ejemplos de aplicación (semielaborados)
Polietileno (PE)	130 - 200	tubos, plancha, láminas, recubrimientos
Polipropileno (PP)	180 - 260	tubos, láminas planas, planchas, cintas
Cloruro de polivinilo (PVC)	180 - 210	tubos, perfiles, planchas
Polimetil metacrilato (PMMA)	160 - 190	tubos, perfiles, planchas
Policarbonato (PC)	300 - 340	planchas, perfiles, cuerpos huecos



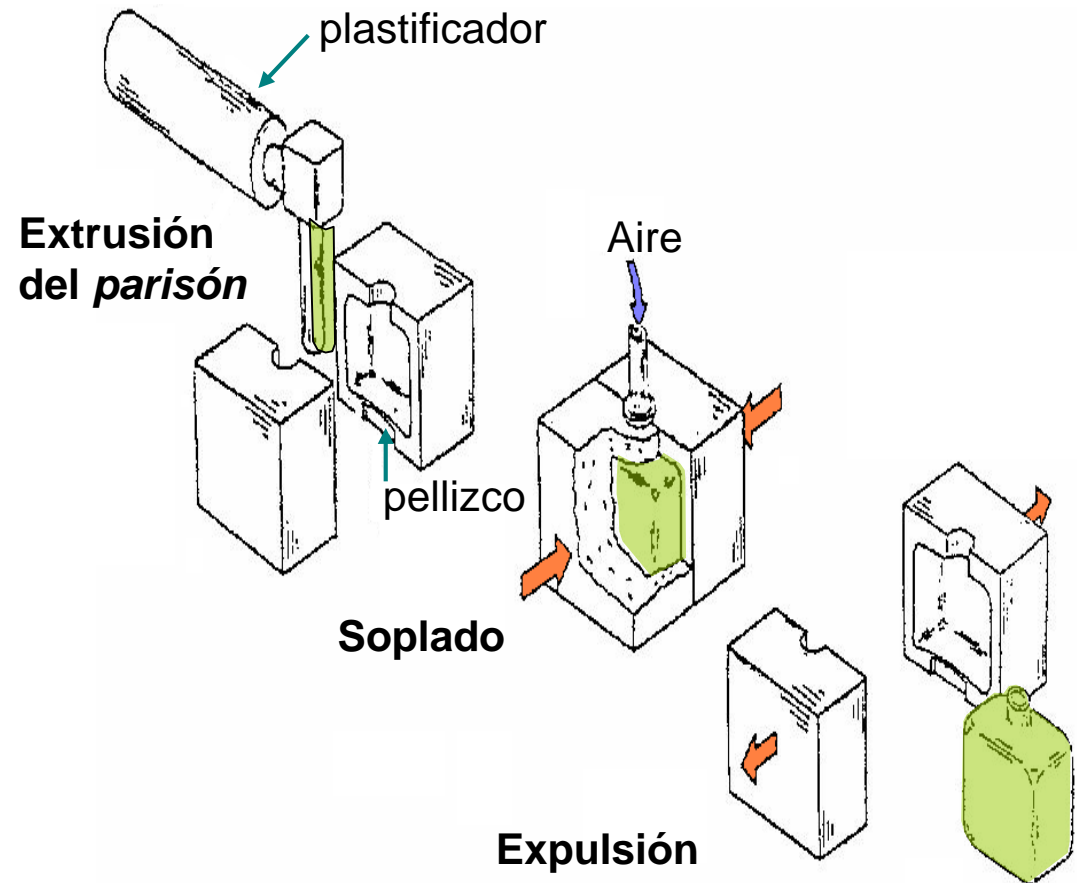
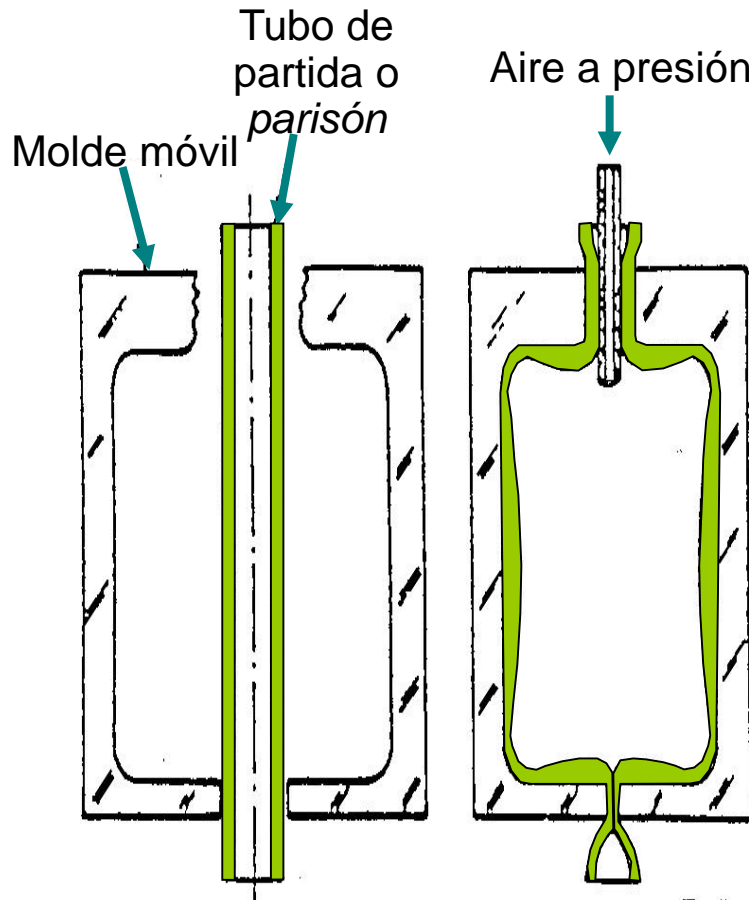
Extrusión por impacto

Consiste en comprimir una masa de material plástico caliente, obligándole a salir entre el punzón y la matriz, pudiendo salir sólo hacia delante o adelante y atrás; también puede estar fría la masa y la matriz caliente.





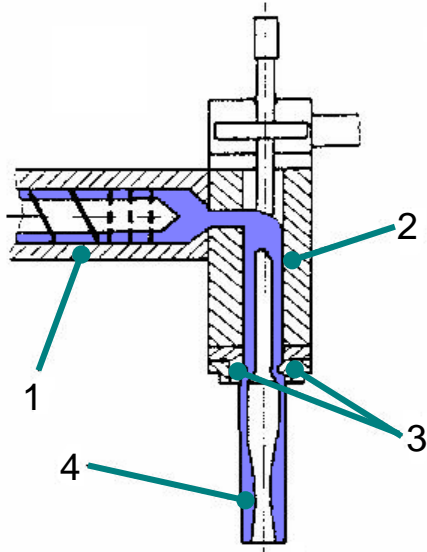
El sistema consiste en extruir un tubo o *parisón* de diámetro y espesor adecuados, tomar la longitud precisa del mismo y, cerrándolo por un extremo, soplar por el otro, conformando la pieza por acoplamiento del material a las paredes del molde.



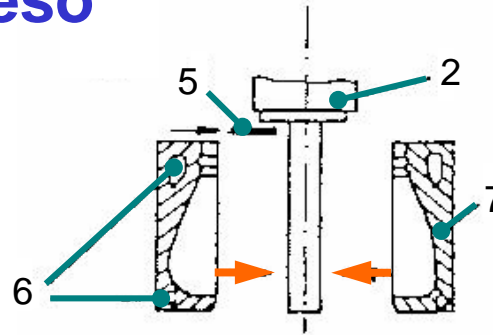
Obtención de piezas por soplado



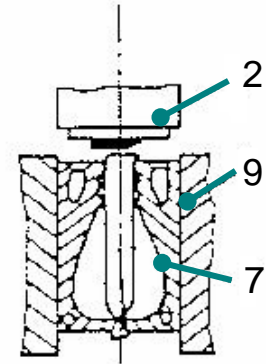
Etapas del proceso



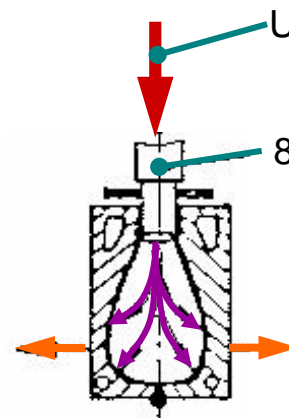
I. Extrusión de la preforma



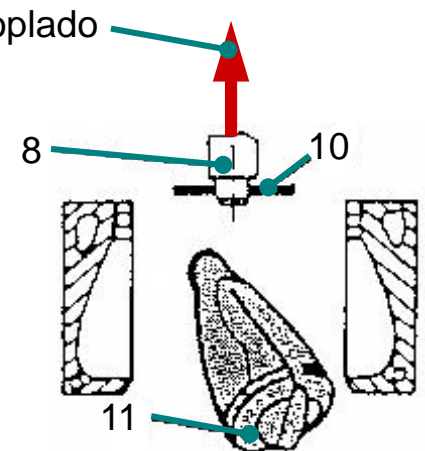
II. Cierre del molde de soplado



III. Sujeción y corte de la preforma



IV. Soplado y enfriamiento



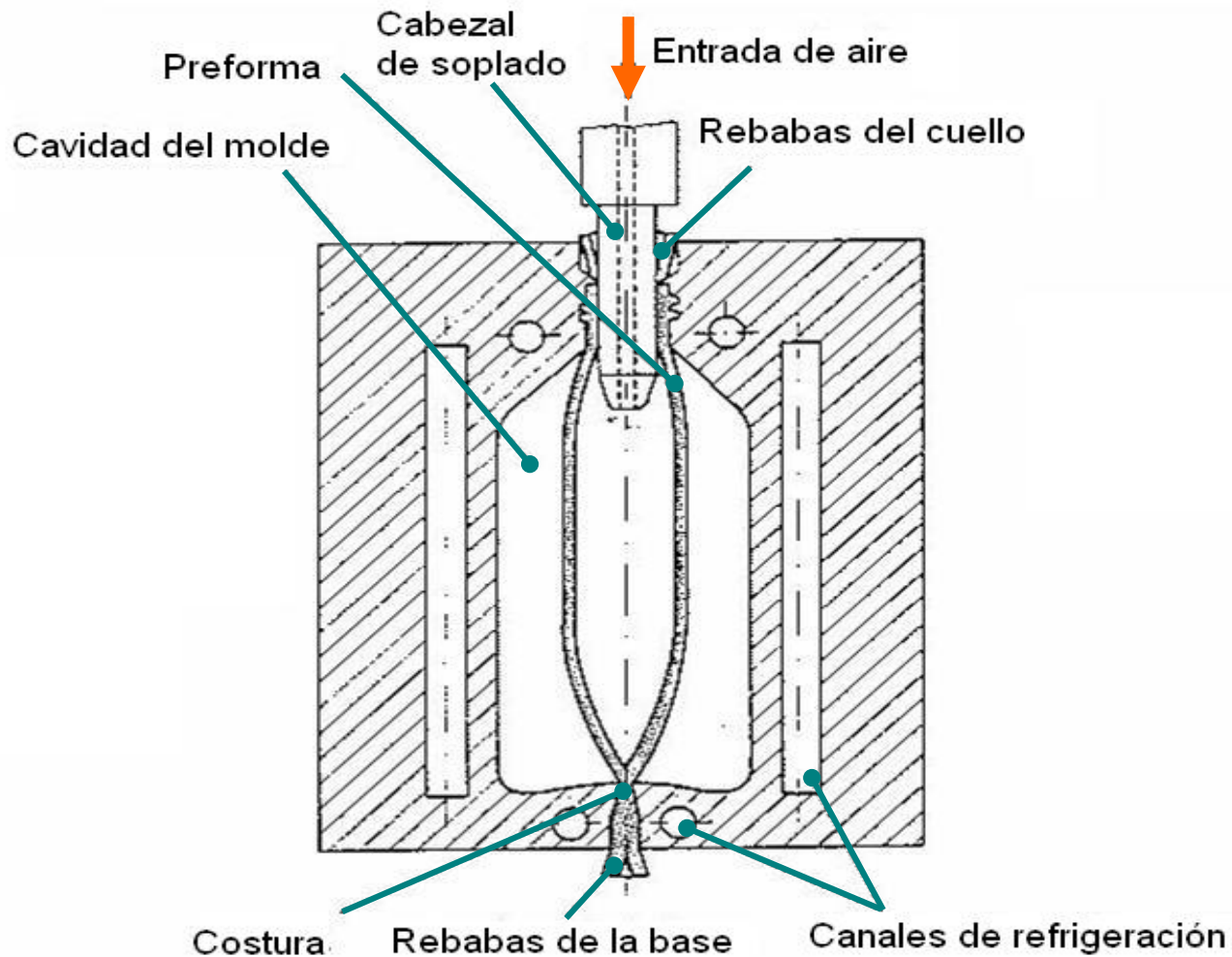
V. Desmoldeo y repaso de costuras

Partes de la instalación:

- | | |
|-----------------------------|------------------------|
| 1. Extrusora | 7. Molde de soplado |
| 2. Cabezal transversal | 8. Cabezal de soplado |
| 3. Mandril | 9. Unidad de cierre |
| 4. Preforma | 10. Anillo extractor |
| 5. Cuchilla cortadora | 11. Producto terminado |
| 6. Canales de refrigeración | |

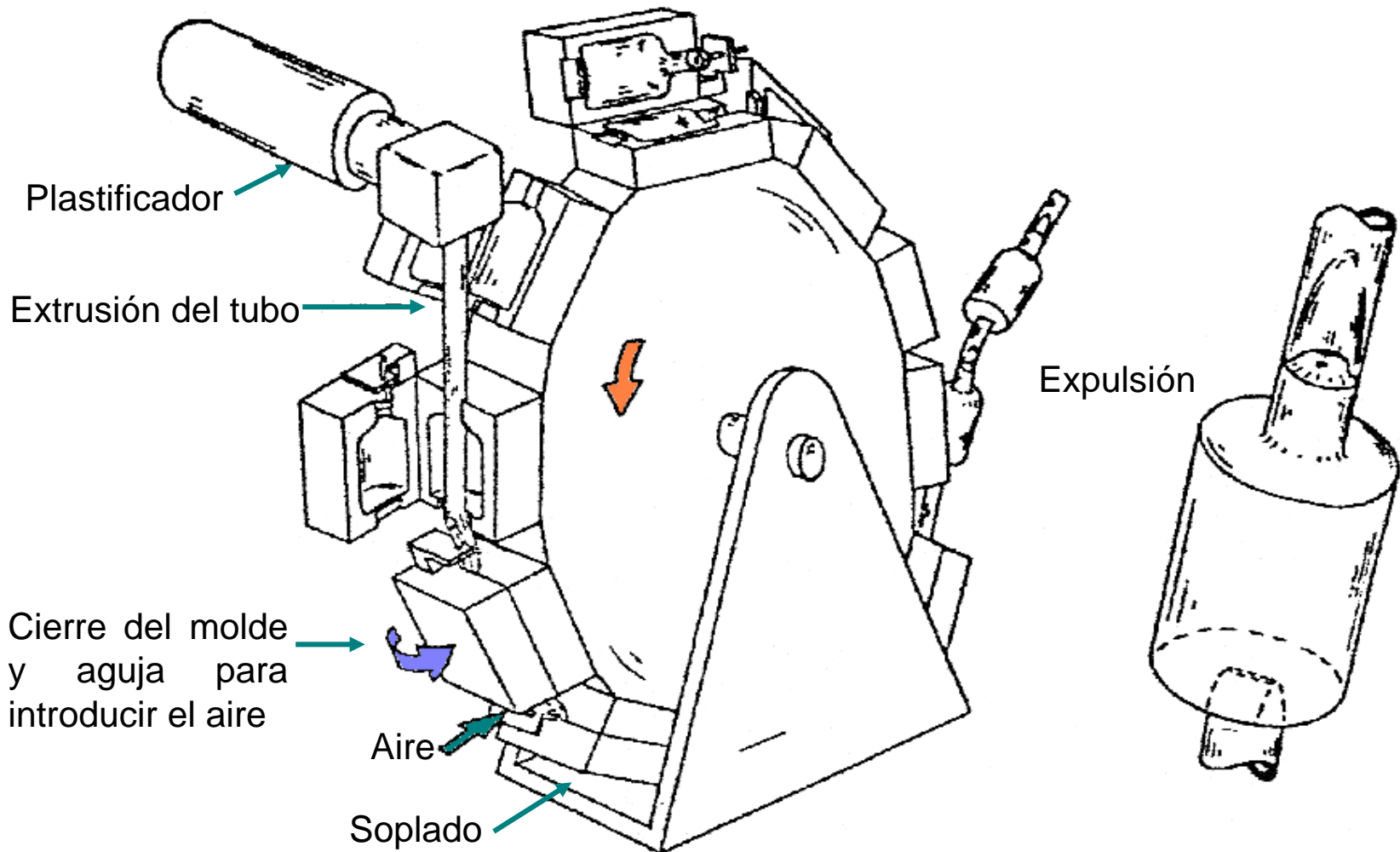


La dificultad del sistema es que se consiga un espesor constante en todo el perfil de la pieza





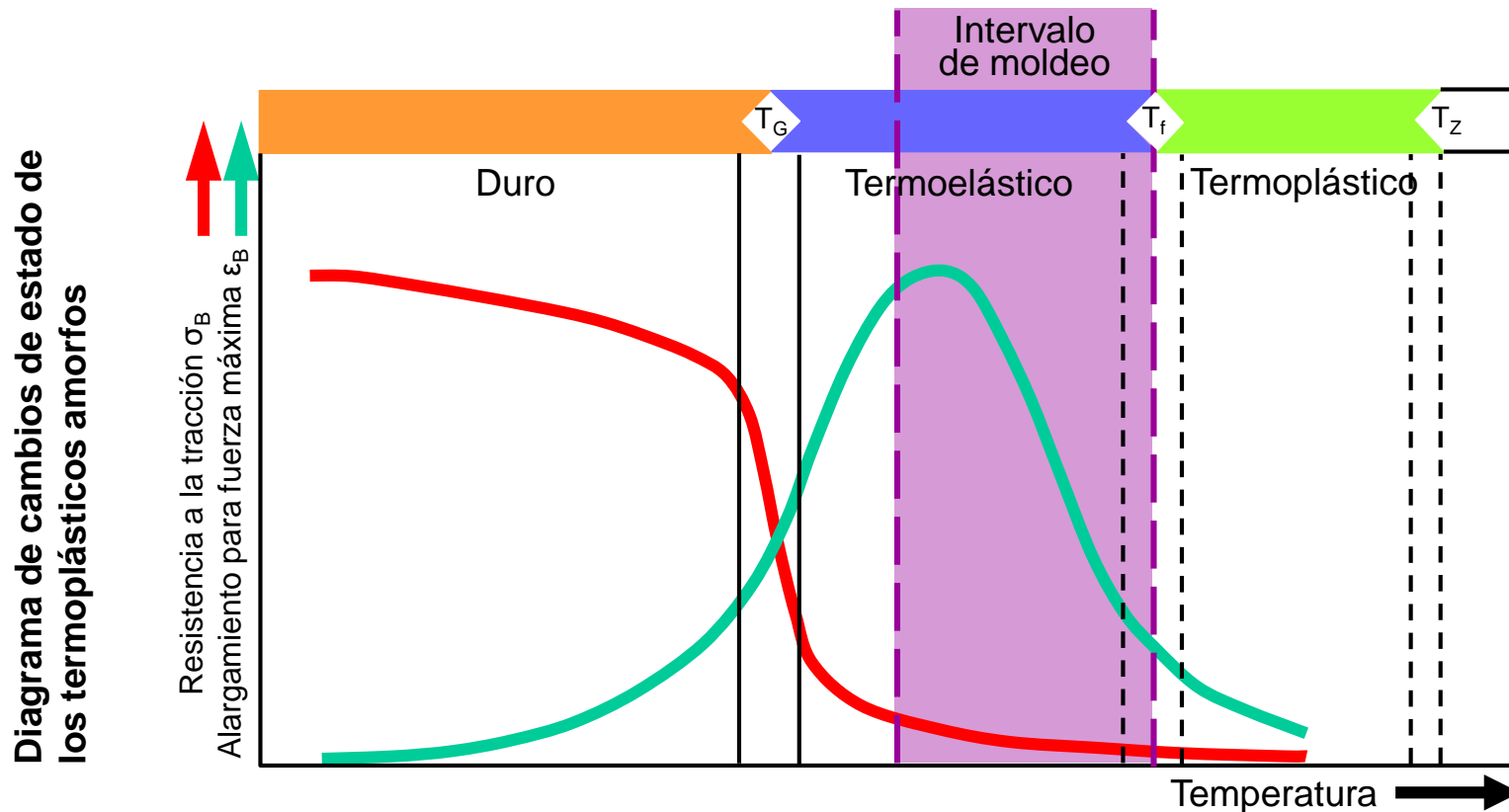
El proceso es fácilmente automatizable



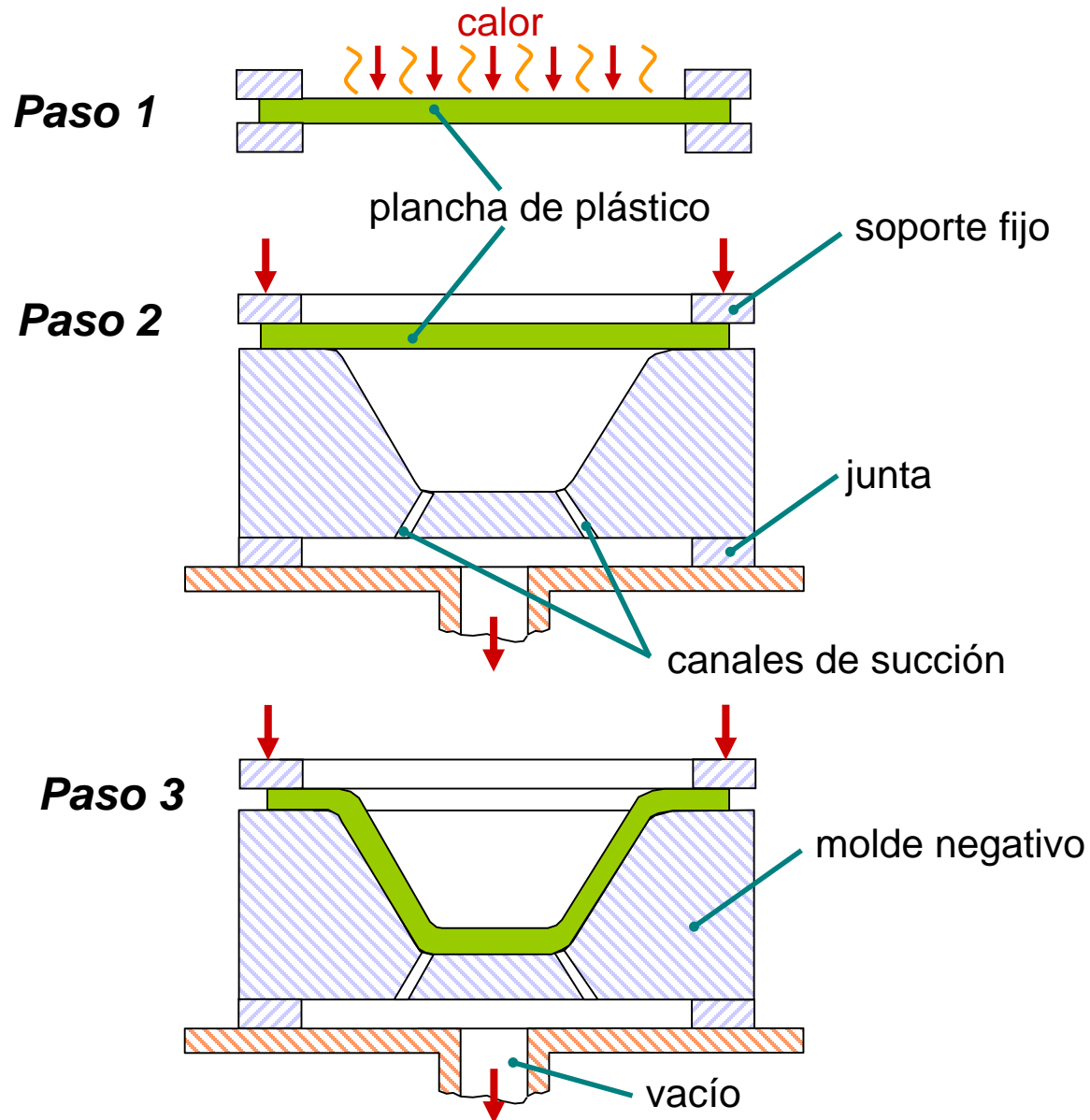


Se conocen con el nombre de **termoconformado** a los procesos basados en **calentar y aplicar fuerza a una masa de plástico**. En la mayoría de estos sistemas la fuerza es aplicada **a través del aire, soplando o succionando**.

El plástico debe llevarse al intervalo de temperaturas que sitúa a la masa en la **zona gomoeelástica**, luego se moldea, se enfría y se extrae la pieza.



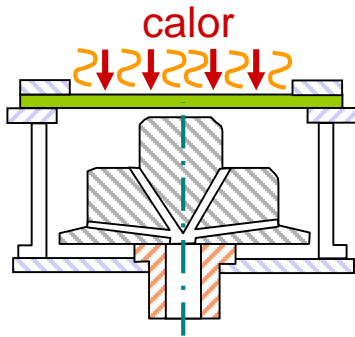
Obtención de piezas por termoconformado. Negativo



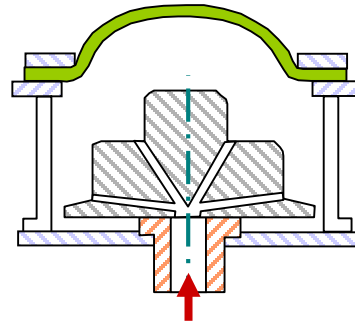


Positivo

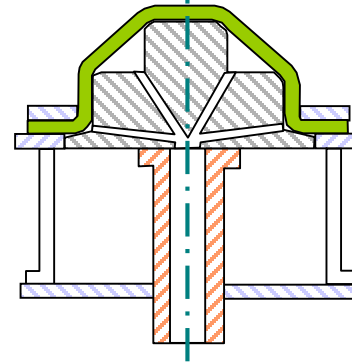
Con o sin pre-estiraje de aproximación



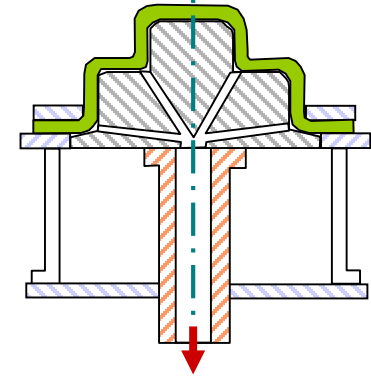
I. Calentamiento



II. Preestiraje
(plástico)



III. Preestiraje
(mecánico)



IV. Succión





Máquina de termoconformado

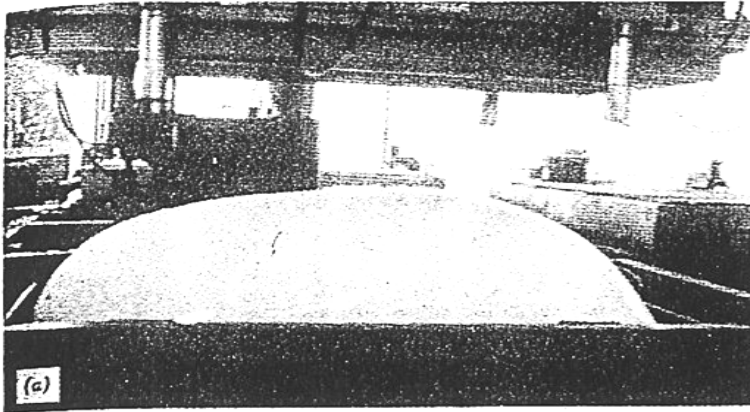


Máquina de termoconformado

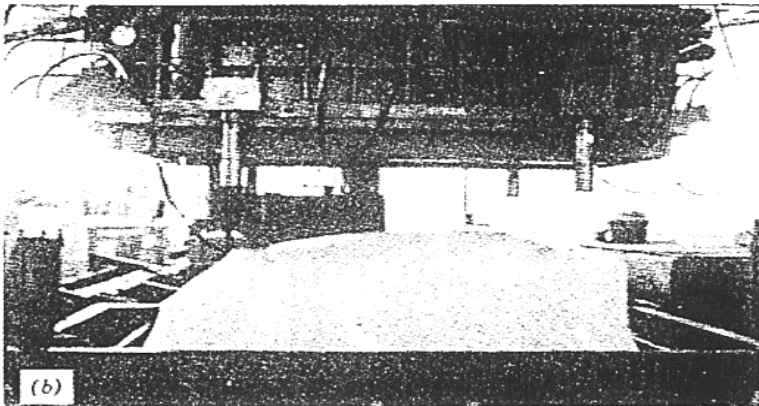




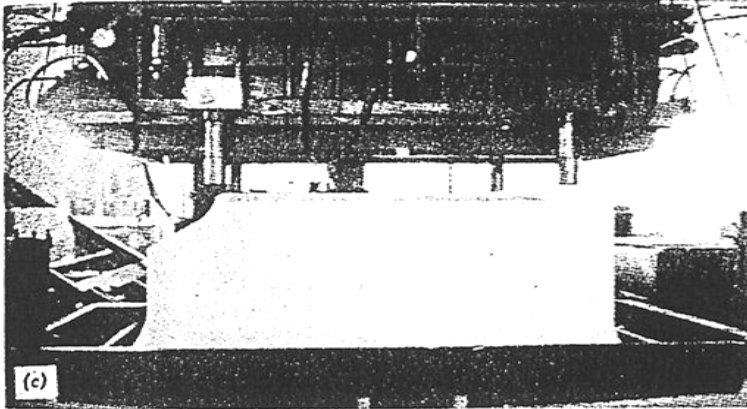
Obtención de piezas de **gran tamaño** partiendo de lámina de plástico, ejemplo de la fabricación del revestimiento de una nevera:



Revestimiento de nevera moldeado parcialmente por termoconformado. La matriz de moldeo se muestra en la posición abierta.



El revestimiento empieza a asumir la forma de la matriz.



El revestimiento terminado justo antes de retirarlo de la matriz de moldeo.



Revestimientos completos de nevera después de la remoción de la matriz de moldeo.



Fábrica de bañeras por termoconformado



Fabricación aditiva



La fabricación aditiva es un conjunto de técnicas que tienen en común una serie de características:

- Son procesos aditivos, en los cuales las piezas se forman capa a capa
- Tiene como resultado piezas que pueden o no estar listas para ser utilizadas
- Permite ligar el proceso de diseño y concepción de producto con la etapa de fabricación
- Su control está ligado a la fabricación digital



Fabricación aditiva



Ventajas

Técnicas rápidas

Son baratas y muy productivas

No necesitan moldes u otros accesorios

Suelen tener buenos acabados superficiales



Fabricación aditiva



Inconvenientes

Suelen tener capacidades mecánicas reducidas

Bajo nivel de estandarización

Procesos a menudo no certificados



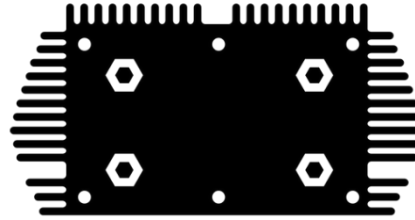
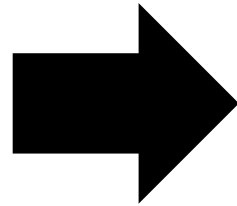
Fabricación aditiva



Estos procesos se basan en un mismo flujo de trabajo, referido a menudo bajo la denominación de **FABRICACIÓN DIGITAL**

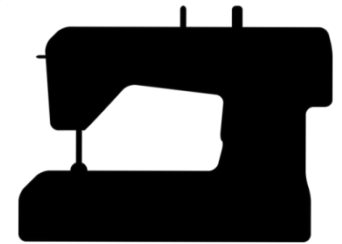
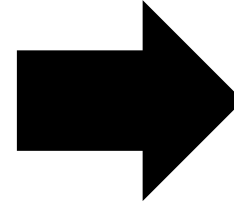


Diseño en 3D de la pieza que se desea



**standard code:
ISO-6983**

f (tecnología)



Código ejecutado por la máquina de fabricación



Fabricación aditiva



La diferencia entre un proceso y otro viene dada por el estado de agregación del material de entrada



Sólido

Laminated object manufacturing (LOM)

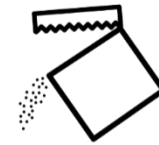
Fused deposition modelling (FDM), o Fused filament Fabrication (FFF)



Líquido

Estereolitografía

Colada al vacío



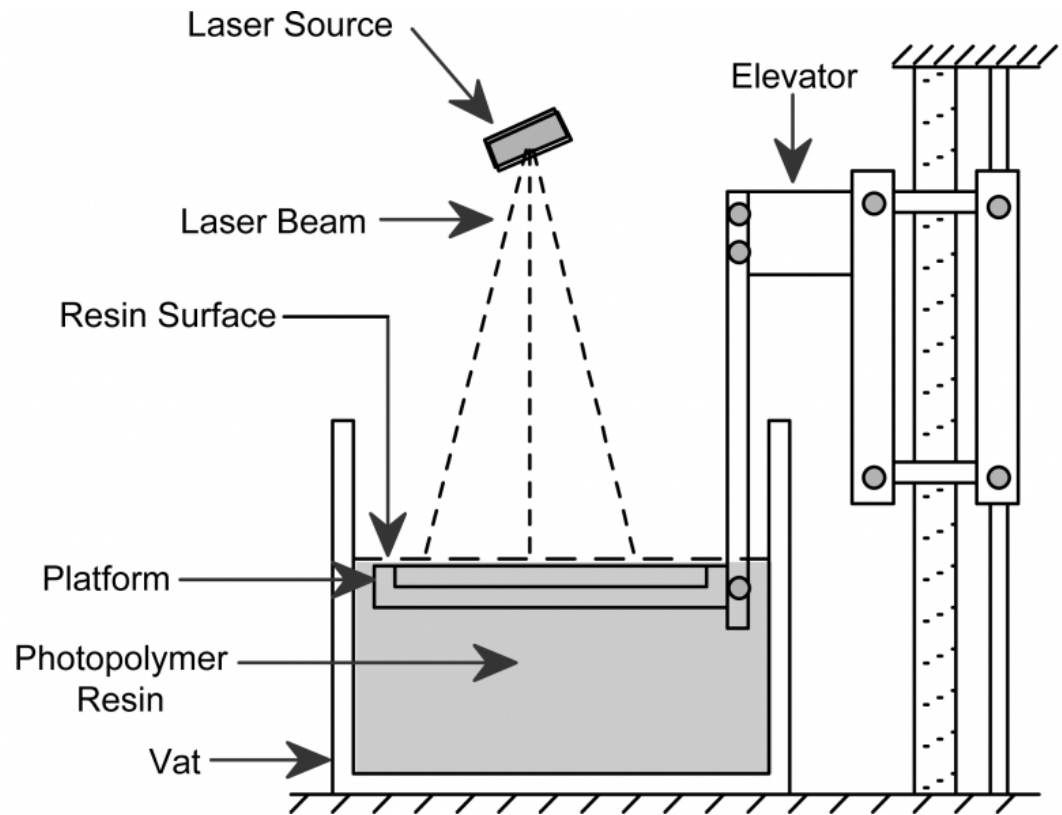
Polvos

Sinterizado por láser selectivo



Estereolitografía

Una resina líquida fotosensible se solidifica por curado por acción de un laser. El material de aporte es la resina que rebosa por encima de la plataforma de fabricación para cada capa.



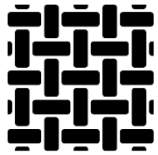


Fabricación aditiva



Estereolitografía

Materiales



Resinas fotocurables.

Composiciones especiales de ABS

Pros



Alta productividad.

Acabados de alta calidad.

Las piezas pueden mecanizarse para dar la forma final.

Gran campo de aplicación a la fabricación de moldes.

Cons



Materiales muy sensibles a la luz y la humedad.

Caro.

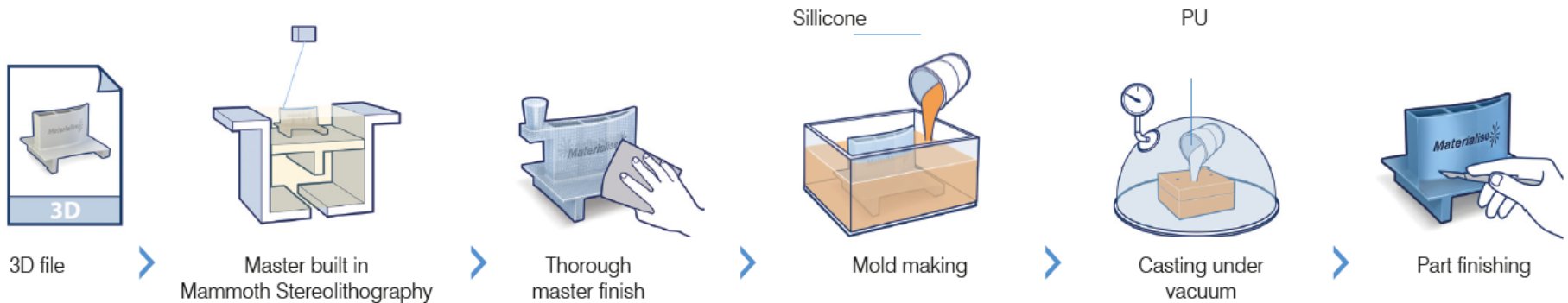


Fabricación aditiva



Colada al vacío

Sistema patentado que integra diseño y colada, en un ambiente estéril



Source: www.manufacturing.materialize.com

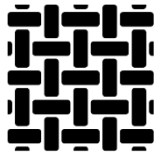


Fabricación aditiva



Colada al vacío

Materiales



Poliuretano

Nylon

Silicona

Cera

Aleaciones de bajo punto de fusión

Pros



Partes funcionales

Gran variedad de formas finales

Alta repetitibilidad

Fabricación de piezas grandes

Cons



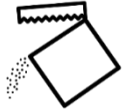
Limitaciones geométricas

Proceso en parte manual

Moldes tienen vida limitada



Fabricación aditiva



Sinterizado selectivo por láser

Se consigue la forma final mediante la fusión y resolidificación de polvos de plástico o metálicos.



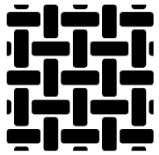


Fabricación aditiva



Sinterizado selectivo por láser

Materiales



Termoplásticos
Aleaciones en polvo de
aluminio, titanio, etc.

Pros



Bajo coste para la
fabricación de plásticos
Alta productividad
Obtención de formas
funcionales

Cons

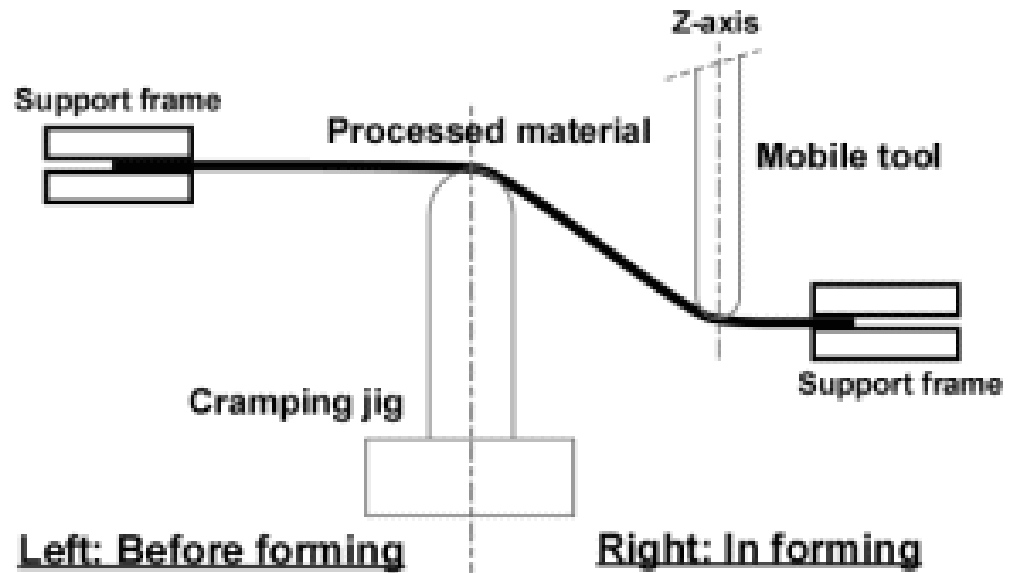


Bajas precisiones
dimensionales
Malos acabados
superficiales



Deformación incremental, sin molde

Una plancha de metal se deforma por efecto de un macho comandado por control numérico



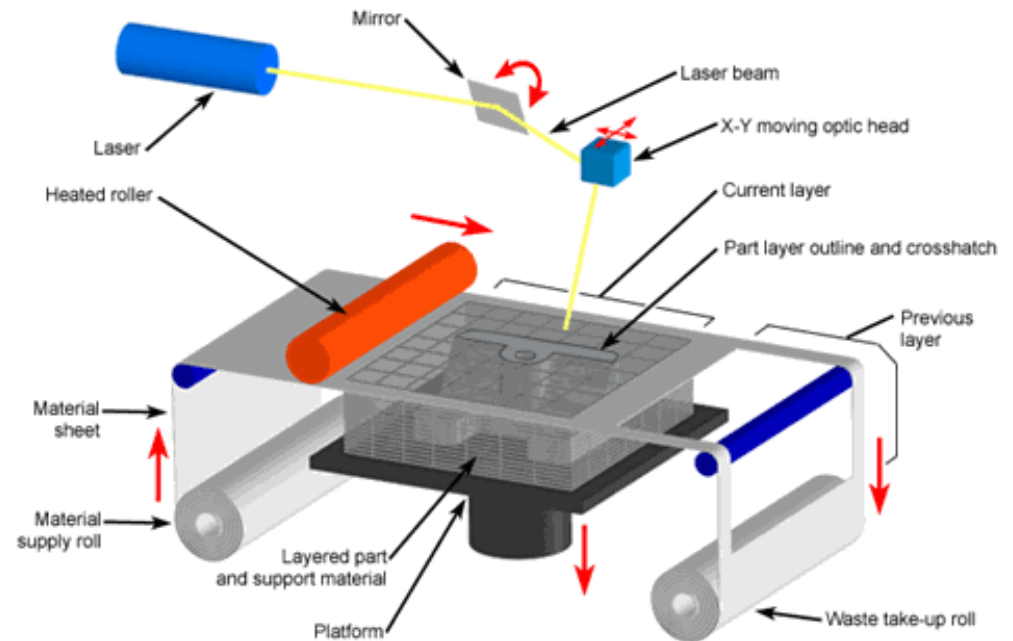
Source:

www.yokosei.co.jp



Laminated object manufacturing (LOM)

El material se alimenta como láminas de material que provienen de un rollo, y son adheridas mediante un pegamento especial capa a capa.



Source: www.custompartner.com

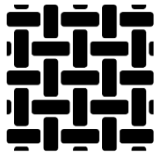


Fabricación aditiva



Laminated object manufacturing

Materiales



Láminas de:
PVC
Resinas acrílicas
Parafinas

Pros



Alta velocidad
Bajo coste de
mantenimiento

Cons

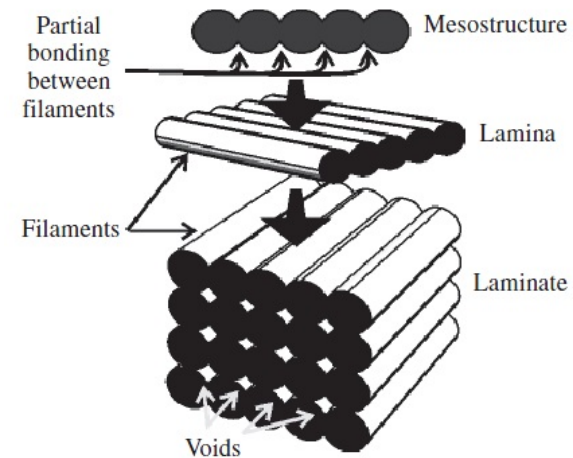
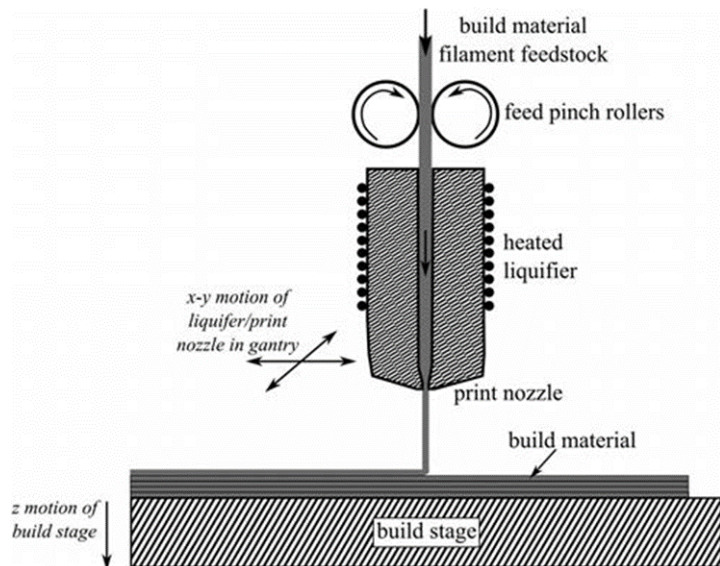


Baja precision
Mucho tiempo de
postprocesado.



Fused filament fabrication (FFF) o Fused deposition modelling (FDM) → [®]Stratasys

El material se alimenta como un hilo enrollado cuyo diámetro es reducido por efecto de una extrusión en caliente por encima de su temperatura de transición vítrea



Source: Bellehumeur et al. (2004)

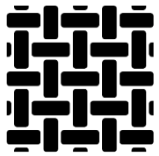


Fabricación aditiva



Fused filament fabrication

Materiales



ABS
PLA
PC
Cera
Poliésteres

Pros



Fácil accesibilidad a materiales.
Rapidez de fabricación.

Cons



Requiere a menudo de estructuras de soporte para estructuras complejas.
Bajo acabado superficial.

Uniones soldadas

1. Soldabilidad
2. Aspectos que encierra la soldabilidad
3. Soldabilidad de los aceros
4. Uniones soldadas
5. Clasificación de los procesos de soldadura
6. Soldadura heterogénea
7. Soldadura homogénea
8. Soldadura a gas: oxiacetilénica
9. Soldadura eléctrica
10. Por resistencia
11. Por arco en atmósfera controlada (TIG, MIG / MAG)
12. Soldadura eléctrica con electrodo revestido
13. Clasificación de los electrodos
14. Posiciones de soldadura
15. Intensidad de corriente
16. Defectos de las uniones soldadas
17. Oxicorte
18. Corte por plasma
19. Medidas de seguridad a seguir en los procesos de Soldadura





Soldabilidad



Soldabilidad: Califica la aptitud de un material para ser unido mediante un proceso determinado.

Existen varios **criterios para calificar** la soldabilidad o grado de soldabilidad; pero, en general, **se puede hablar de materiales de:**

1. Muy buena soldabilidad (Excelente)
2. Buena soldabilidad (Satisfactoria)
3. Soldabilidad limitada (Regular)
4. Mala soldabilidad.

Aspectos que encierra la soldabilidad.

Esta encierra **tres grupos de aspectos básicos**, fundamentales:

1. Metalúrgicos
2. Operativos y
3. Constructivos o globales.

También, cuando la situación práctica lo imponga, se habla de **aspectos de código y aspectos económicos.**



Soldabilidad



Lo más importante no es como se haga referencia a la soldabilidad; sino tener presente que la **soldabilidad no se puede evaluar desde un sólo punto de vista**; o sea, teniendo en cuenta sólo los aspectos metalúrgicos o los operatorios, etc.

- **Aspecto Metalúrgico.** (Soldabilidad Metalúrgica). Se refiere al **efecto de la soldadura en las transformaciones estructurales**; en la **variación de las propiedades físico - químicas y mecánicas**; al riesgo de fragilización y fisuración; surgimiento de porosidades; a la necesidad de aplicar o no precalentamiento y postcalentamiento.



Soldabilidad



- **Aspecto operativo** (Operacional): Soldabilidad operatoria: **Relacionado con la propia ejecución del proceso de soldadura.** Incluye, o se consideran los **métodos o procesos**; los **equipos**; la preparación de la junta; los **parámetros** del régimen; **material de aportación** ; **secuencia** de soldadura; estado de la superficie; **posiciones** de soldadura; necesidad o no de precalentar.
- **Aspecto de conjunto** (Soldabilidad **constructiva o Global**): Contempla el **diseño de la estructura; cálculo de las uniones**; propiedades físicas que puedan influir en las tensiones de conjunto o localizadas; estabilidad de las juntas y de las construcciones.



Soldabilidad de los aceros



SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS

a- **De excelente soldabilidad:** Cuando al soldarlos **se garantiza la ausencia de fisuras**, de estructuras duras, de porosidades, **sin el empleo de técnicas especiales**, se dice que el acero es de excelente soldabilidad. **Normalmente se acota el espesor límite**, en este caso se plantean 50 mm, a partir del cual pueden presentarse problemas de soldabilidad asociados a la elevada velocidad de enfriamiento y elevadas tensiones debidas al espesor.

A estos pertenecen los aceros con:

$C < 0,25 \% (0,30 \%)$

$C_e < 0,45 \% (0,50 \%)$ IIW

$C_e = C + Mn / 6 + Si / 4 + Ni / 15 + Mo / 4 + Cr / 5 + Cu / 13 + P / 2 + V / 5.$

b- **De buena soldabilidad (Satisfactoria).** Son los **aceros que pueden ser soldados en condiciones normales, sin formación de grietas**; o sea, cuando se sueldan en aire tranquilo y a temperaturas sobre cero. A estos pertenecen los aceros con :

$C = 0,25 - 0,35 \% (0,30 - 0,45 \%)$

$C_e = 0,45 - 0,60 \%$.



Soldabilidad de los aceros

c - **De soldabilidad limitada.** Tienen **tendencia a la formación de grietas durante la soldadura en condiciones normales** u ordinaria; es necesario adoptar precauciones especiales para evitar el agrietamiento: **Precalear;** **postcalear;** **disminuir el aporte térmico;** soldarlos, generalmente, con electrodos básicos; disminuir en lo posible las condiciones de embridamiento (fijación). Pueden endurecerse con facilidad.

A estos pertenecen los aceros con :

$0,35 \% < C < 0,60 \%$

$Ce > 0,60 \%$

d- **De mala soldabilidad:** Aceros **propensos al desarrollo de grietas durante la soldadura;** sólo admiten ser **soldados con el empleo de técnicas especiales** (particulares para cada tipo); normalmente se afectan las propiedades del metal base y se requiere, **siempre, precalear;** **controlar la temperatura durante el proceso;** **emplear electrodos con características especiales.**

A estos pertenecen los **aceros fundidos de alto carbono;** **aceros para herramientas de corte, entre otros.**



Soldabilidad de los aceros



Observación: No sólo será el **espesor** y el **carbono equivalente**, los elementos a tener en cuenta en los aceros para calificar su soldabilidad; **se observarán también:**

- Proceso de obtención
- Estado estructural
- Contenido de elementos nocivos: Oxígeno, fósforo, azufre, presencia de hidrógeno debido al electrodo que se emplee, entre otros.



Soldabilidad de los aceros



RESUMEN

La soldabilidad se ve afectada por:

- 1. Composición Química.** Dada por el carbono equivalente.
- 2. Espesor:** Tensiones y velocidad de enfriamiento.
- 3. Desarrollo de tensiones internas** producto de las transformaciones estructurales.
- 4. Severidad del ciclo térmico.**
- 5. Presencia de hidrógeno.**
- 6. Impurezas:** Fósforo, azufre, óxidos, compuestos de bajo punto de fusión.
- 7. Propiedades físicas:** Conductividad térmica, coeficiente de dilatación.



Uniones Soldadas

Son uniones fijas que se realizan entre dos o más piezas a través de la aportación de calor y en ocasiones, de un material de aportación.

Clasificación de los procesos de soldadura:

- Heterogéneos
- Homogéneos



Soldadura Heterogénea

Soldadura Heterogénea: Se realiza entre piezas de diversas naturalezas. En este caso las piezas no se llegan a fundir entre sí, sino que se les lleva a una **temperatura** a la cual presentan una cierta **afinidad** con un metal de aportación, que funde a baja temperatura y se pega a las distintas piezas.

Ejemplo: Soldaduras de cables de Cu con estaño.



Soldadura Heterogénea



Elementos importantes para utilizar este tipo de soldadura:

Soldadores: De lápiz, Industrial, Pistola de soldar, Soldador de gas

Material de aportación: Se usan aleaciones constituidas por Estaño, Plata, Antimonio y Cobre. Se comercializan en forma de barras, pasta, o en carretes de hilo.

Fundentes: Producto que se añade a las superficies a soldar cuya finalidad es:

1. Eliminar el óxido del metal
2. Evitar la nueva formación de óxido
3. Reducir la tensión superficial, para que el estaño fundido fluya con facilidad por acción capilar
4. Favorecer la unión del estaño con la pieza de trabajo



Soldadura Homogénea

- **Soldadura homogénea:** Es la que se realiza entre dos metales y, en presencia o no de un metal de aportación, de la misma naturaleza. A éste grupo pertenecen la mayoría de los procedimientos más utilizados.



Soldadura Homogénea

El método o proceso de soldadura se selecciona en función de:

- Su función
- El tipo de material
- Su ubicación



Soldadura Homogénea



Estos procesos **se clasifican** en:

1. Soldadura a gas: Oxiacetilénica

2. Soldadura eléctrica:

- » Por resistencia
- » Por arco en atmósfera controlada (TIG, MIG / MAG)
- » Por arco en atmósfera ambiental (con electrodo revestido)



Tipos de procesos de soldadura

Soldadura oxiacetilénica: Por la combustión del **acetileno** en presencia de oxígeno se genera un calor que lleva los extremos de las piezas a soldar a la temperatura de fusión. Se puede utilizar metal de aportación o no, pero en todo caso todos los elementos a unir son de la misma naturaleza.

Se pueden soldar materiales como: acero, cobre, latón, aluminio, magnesio, fundiciones, etc.



Tipos de procesos de soldadura



Soldadura eléctrica por resistencia: Es una soldadura autógena **sin metal de aportación**. Se produce haciendo pasar corriente de elevada intensidad (más o menos **5000 A**) entre dos electrodos. Esto lleva a los metales a unir a una temperatura un poco por debajo de la fusión. En este momento se hace presión sobre los mismos, y se consigue un punto de soldadura.

Este método tiene varias ventajas:

1. Rapidez en la ejecución
2. No produce deformaciones por el calor aplicado
3. Es fácil de manejar
4. No necesita repasos posteriores
5. Es fácil sustituir las piezas unidas con este sistema

Estas ventajas hacen que sea el método más utilizado en carrocería y se está imponiendo también en los procesos de reparación.



Tipos de procesos de soldadura



Soldadura por arco con protección a gas: Utiliza un arco eléctrico que se establece entre el extremo del electrodo y las piezas a soldar, protegiendo el mismo de la acción del oxígeno, la humedad y el nitrógeno del aire ambiente, mediante un flujo de gas que se distribuye alrededor del punto de fusión a una ligera presión.

Ventajas de este tipo de procesos:

1. Buena penetración
2. Fácil manejo
3. Se puede automatizar la soldadura
4. Suelda cualquier tipo de material metálico y en cualquier posición
5. No produce escoria
6. Son menos costosos



Tipos de procesos de soldadura



Soldadura por arco con protección a gas

En función del tipo de electrodo y la corriente que se utilicen y la naturaleza del gas, estos procesos pueden clasificarse en:

1. **TIG** (Tungsten Inert Gas). Se utiliza un electrodo de tungsteno o wolframio no consumible en una atmósfera de un gas inerte. Se utiliza para soldar **metales ligeros y de alta aleación y en espesores de 0,5 a 5 mm.**



Tipos de procesos de soldadura



Soldadura por arco con protección a gas

- 2. MIG (Metal Inert Gas).** Se utiliza un electrodo que además constituye el metal de aportación en forma de alambre que se va aportando de manera automática con la ayuda de un motor. Todo esto ocurre en una atmósfera de gas inerte. Se utiliza para soldar **aceros inoxidables, cobre, aluminio, y aleaciones ligeras, aunque permite soldar todo tipo de chapas.**



Tipos de procesos de soldadura



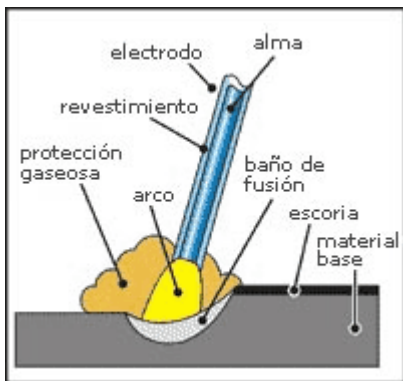
Soldadura por arco con protección a gas

- 3. MAG (Metal Active Gas).** Se diferencia del anterior en que la atmósfera es de un gas activo. Se utiliza para soldar **aceros no aleados o de baja aleación.**



Soldadura eléctrica con electrodo revestido

Se realiza utilizando el calor producido al establecerse un arco eléctrico entre dos conductores de distinta polaridad. La temperatura que alcanza funde la zona de soldadura. Los dos conductores se conectan a la pinza porta-electrodo y a la pinza de masa. El **electrodo** en este caso es **fungible** y **constituye el metal de aportación**, el cual al fundirse va formando el denominado **cordón de soldadura**.



El circuito de soldadura

El circuito de soldadura está compuesto principalmente por los siguientes elementos:

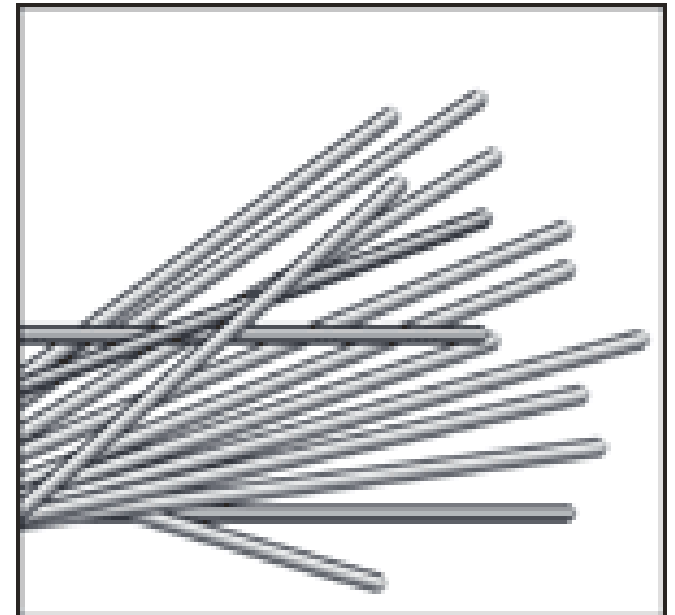
1. **Generador de corriente**
2. **Pinza porta electrodo**
3. **Electrodo revestido**
4. **Pinza de masa**
5. **Los cables de pinza y de masa**



Electrodos

El electrodo está formado por:

- El alma o Varilla
- El revestimiento





Electrodos

Clasificación de los electrodos

Según la varilla o alma:

- Para soldaduras de aceros suaves
- Para soldaduras de aceros de gran resistencia
- Para recargues de dureza
- Para soldaduras de aceros inoxidables y resistentes a altas temperaturas
- Para soldaduras de metales no férreos
- Para soldadura de fundición



Electrodos



Clasificación de los electrodos

Según el recubrimiento o revestimiento:

- Ácido
- Básico
- Celulósico
- De Rutilo (de uso más general)



Electrodos

- **Electrodos con revestimiento ácido**

Los revestimientos de estos electrodos están **formados por óxidos de hierro, aleaciones ferrosas de manganeso y silicio**. Garantizan una **buena estabilidad del arco** que los hace **idóneos tanto para la corriente alterna (CA) como para la corriente continua (CC)**. Tienen un baño muy fluido que **no permite soldaduras en determinadas posiciones**; además no tienen un gran poder de limpieza en el material base y esto puede causar grietas. No soportan elevadas temperaturas de secado, con el consiguiente riesgo de humedad residual y por lo tanto de inclusiones de hidrógeno en la soldadura.

- **Electrodos con revestimiento básico**

El revestimiento está formado por **óxidos de hierro, aleaciones ferrosas y sobre todo por carbonatos de calcio y magnesio** a los cuales, añadiendo el **fluoruro de calcio**, se obtiene la **fluorita**, o sea, un **mineral adecuado para facilitar la fusión**. Tienen una elevada capacidad de depuración del material base, por lo que **se obtienen soldaduras de calidad y con una notable robustez mecánica**. Además, estos electrodos soportan elevadas temperaturas de secado, y por lo tanto no contaminan el baño con hidrógeno. La fluorita hace que el **arco sea muy inestable**: el baño es menos fluido, **se producen frecuentes corto circuitos** debidos a una transferencia del material de aporte con grandes gotas; **el arco debe mantenerse muy corto** por la escasa volatilidad del mismo revestimiento; todas estas características hacen **necesario que el soldador tenga una buena experiencia**. Tienen una **escoria dura y difícil de quitar**, y debe eliminarse completamente en caso de repasos. Estos electrodos se prestan para realizar **soldaduras en posición, verticales, por encima de la cabeza, etc...**En lo que se refiere a la corriente a emplear, se aconseja el empleo de generadores de **corriente continua (CC)** en polaridad inversa. Los electrodos básicos se distinguen por la elevadísima cantidad de material depositado y se adaptan notablemente a la soldadura de juntas de grandes espesores. Son fuertemente higroscópicos y se aconseja mantener estos electrodos en ambientes secos y en cajas bien cerradas; si esto no fuese posible, se aconseja efectuar un nuevo secado del electrodo antes de la utilización.



Electrodos



- **Electrodos con revestimiento Celulósico**

Este electrodo contiene en su **revestimiento 45% de celulosa**. El arco eléctrico del electrodo calienta el recubrimiento descomponiendo la celulosa en (CO, CO₂ y vapor de agua). Poseen otros elementos como: Bióxido de Titanio, que es formador de escorias, Ferro manganeso como desoxidante o reductor. Asbesto como formador de arco y escoria, Silicato de Potasio como liga de compuesto y purificador, Silicato de sodio como liga de compuesto. Este tipo de electrodo **forma poca escoria** siendo principalmente **usado en soldadura vertical descendente y altas penetraciones**, efecto causado por la capa gaseosa del recubrimiento, el electrodo presenta un **cordón poco vistoso por su tipo irregular y alto chisporroteo**. Su uso se debe a cordones donde es necesario obtener doble acabado (Piezas que no se pueden soldar por ambos lados) por ejemplo en tuberías en el cordón de fondeo y posiciones difíciles. Son **excelentes para soldar aceros con más del 0,25% de carbono y aceros efervescentes**.

- **Electrodos con revestimiento de rutilo**

Se destacan por su **tipo de acabado y facilidad de manejo**. Su **escoria se remueve fácilmente y en algunos casos sola**, su contenido de hidrógeno es alto y no requiere un proceso de exactitud. El nombre de este electrodo es propiamente incorrecto, ya que el contenido de rutilo es principalmente un bióxido de titanio. **Este electrodo se utiliza en trabajos de serie y de pocos requerimientos**.



Electrodos. Resumen

TIPO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	APLICACIONES
Ácido	<ul style="list-style-type: none"> * bajo coste * arco estable * corriente CA y CC * escoria fácil de eliminar * elevada desoxidación * fácilmente conservables 	<ul style="list-style-type: none"> * baño fluido * escaso efecto de limpieza * elevado aporte de hidrogeno * escoria no se puede refundir 	<ul style="list-style-type: none"> * soldaduras en horizontal * aceros bajos en carbono y con poca presencia de impurezas * soldaduras económicas y con características mecánicas suficientes (buena robustez pero riesgo de grietas)
Rutilo	<ul style="list-style-type: none"> * bajo coste * arco estable * fácil cebado * corriente CA y CC * cordón estéticamente mejor * fácilmente conservables 	<ul style="list-style-type: none"> * baño fluido * escaso efecto de limpieza * elevado aporte de hidrogeno 	<ul style="list-style-type: none"> * soldaduras en horizontal * soldaduras en vertical y en esquinas para pequeños espesores * aceros bajos en carbono y con poca presencia de impurezas * soldaduras estéticamente buenas pero características mecánicas suficientes (buena robustez pero riesgo de grietas)
Celulósico	<ul style="list-style-type: none"> * elevada penetración * elevada manejabilidad * escoria reducida 	<ul style="list-style-type: none"> * son necesarios generadores CC con elevada tensión en vacío * cordón irregular * elevado aporte de hidrogeno 	<ul style="list-style-type: none"> * soldaduras en todas las posiciones, incluida la vertical descendiente * tubos o donde no sea posible el cordón al reverso * soldaduras en las que el acceso del electrodo resulta crítico * aceros bajos en carbono con escasa presencia de impurezas
Básico	<ul style="list-style-type: none"> * óptima limpieza del material * aporte de hidrogeno muy reducido * baño frío 	<ul style="list-style-type: none"> * arco poco estable * escoria no se puede refundir y de difícil eliminación * arco corto y difícil de trabar * cebado difícil * generadores CC * de difícil conservación 	<ul style="list-style-type: none"> * soldaduras en todas las posiciones, incluso con grandes espesores * elevadas velocidades de depósito * soldaduras de elevada calidad mecánica, incluso con materiales que contengan impurezas



Electrodos

Los electrodos se seleccionan en función de las siguientes consideraciones:

- Naturaleza de las piezas a soldar
- Operaciones a realizar y esfuerzos mecánicos a los que estará sometida la soldadura
- Posición de soldadura

El diámetro del electrodo es un elemento que hay que seleccionar correctamente a la hora de ejecutar una correcta soldadura.



Electrodos

Elección de la corriente en función del electrodo

La **I de la corriente** se selecciona en función del diámetro del electrodo que se utilice. De ello depende que no se pegue el electrodo, que la soldadura fluya entre las dos piezas o que no se perforen las piezas que se van a unir.

VALORES MEDIOS DE LA CORRIENTE DE SOLDADURA (A)							
Diámetro electrodo (mm)	1,60	2,00	2,50	3,25	4,00	5,00	6,00
Electrodo ácido	-	-	-	100-150	120-190	170-270	240-380
Electrodo rutilo	30-55	40-70	50-100	80-130	120-170	150-250	220-370
Electrodo celulósico	20-45	30-60	40-80	70-120	100-150	140-230	200-300
Electrodo básico	50-75	60-100	70-120	110-150	140-200	190-260	250-320



Electrodos

Formas de denominar un electrodo

Los grupos de electrodos revestidos se clasifican según la norma **EN 499** por el tipo de revestimiento en función de sus características más importantes.

a) Según la normativa en vigor cada electrodo puede definirse en su totalidad con una sigla indicada en la envoltura de la protección, como a continuación se muestra:

E	44	T	3	C	1	9	R09	KV20
----------	-----------	----------	----------	----------	----------	----------	------------	-------------

E = electrodo

44 = resistencia a tracción, que puede ser:

00 = ningún valor garantizado

44 = mínimo garantizado 440 MPa

T = Tipo de aplicación que puede ser:

S = para chapas finas (inferior a 4 mm.)

L = para chapas medias y gruesas

T = para tuberías

3 = clase de calidad, que varía de 1 a 4, en función de pruebas mecánicas especiales.

C = tipo de revestimiento, que puede ser:

R = rutilo

RC = rutilo-celulósico

B = básico

RB = rutilo-básico

C = celulósico

V = especial

1 = posiciones de soldadura, que puede ser:

1 = todas

2 = todas, excepto vertical descendiente

3 = sólo plano y plano-frontal (ángulo normal)

4 = sólo plano y ángulo sobre vértice

9 = corriente eléctrica a emplear, que puede ser: Continua o Alterna

R09 = valor mínimo garantizado del rendimiento, expresado en décimas

KV20 = símbolo añadido para características de resiliencia a baja temperatura

En el ejemplo el electrodo tiene un valor de resiliencia de hasta - 20°C.



Electrodos

Formas de denominar un electrodo

b) Según la clasificación **AWS (AMERICAN WELDING SOCIETY) ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS)** cada electrodo está representado además del logotipo del fabricante por un símbolo como en el siguiente ejemplo:

E	60	1	1
----------	-----------	----------	----------

E = electrodo

60 = resistencia mínima a tracción, expresada en libras por pulgada cuadrada

1 = posiciones de soldadura, que puede ser:

1 = todas

2 = plano y ángulo sobre vértice

1 = corriente de soldadura, que puede ser:

0 = continua con polaridad positiva, para electrodos celulósicos

1 = alterna y continua (polo positivo)

2 = alterna y continua (polo negativo)

3 = alterna y continua para electrodos al rutilo

4 = alterna y continua para electrodos de alto rendimiento, al rutilo

5 = continua con polaridad positiva para electrodos básicos

6 = alterna y continua para electrodos básicos

7 = alterna y continua (cualquier polaridad) para electrodos de alto rendimiento con óxido de hierro.

8 = alterna y continua (polo positivo) para electrodos básicos de alto rendimiento

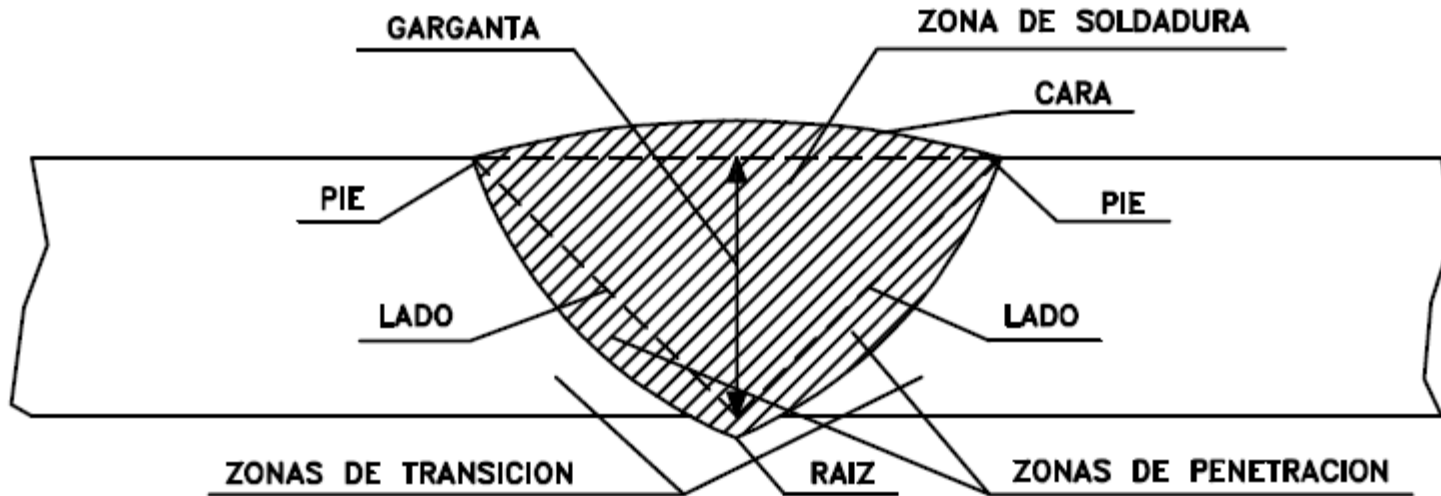


Posiciones de soldadura

1. **Soldadura plana:** El metal de la soldadura se deposita sobre el metal base. El metal base actúa como soporte.
2. **Soldadura vertical:** El metal base actúa como un soporte parcial solamente, y el metal que ya a sido depositado debe usarse como ayuda. La soldadura vertical puede ejecutarse de dos maneras diferentes: Una, desde la parte de abajo de la unión hacia la parte superior llamada Superior vertical y otra, de la parte superior de la unión hacia abajo llamada Bajada vertical.
3. **Soldadura horizontal:** Como en la soldadura vertical, el metal base da sólo soporte parcial, y el metal de la soldadura que se deposita debe usarse como ayuda.
4. **Soldadura sobre la cabeza:** El metal base sostiene ligeramente al metal de la soldadura depositado. Se experimentará poca dificultad en la soldadura vertical o sobre la cabeza, si el charco se conserva plano o poco profundo y no se permite que forme una gota grande.

Cordón de soldadura

Partes de un cordón de soldadura



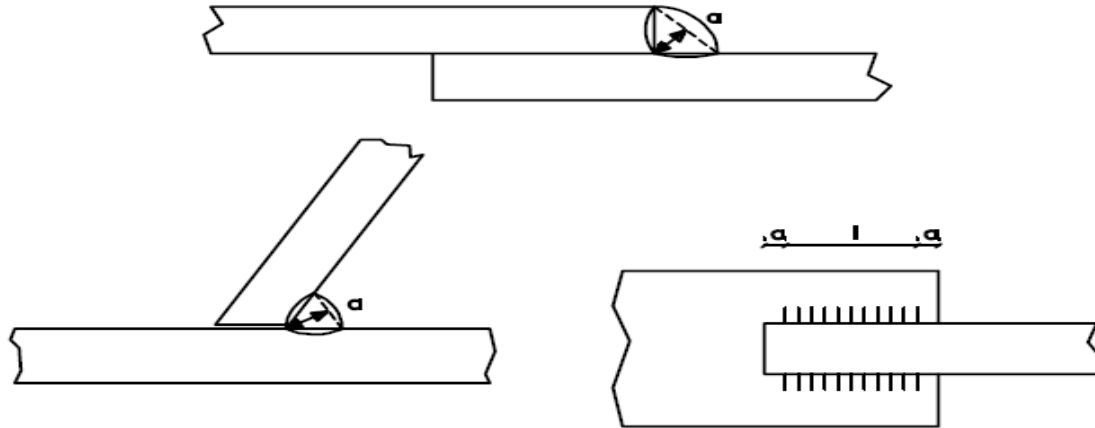
Zona de soldadura: Es la zona central, que está formada fundamentalmente por el metal de aportación.

Zona de penetración: Es la parte de las piezas que ha sido fundida por los electrodos. La mayor o menor profundidad de esta zona define la penetración de la soldadura. Una soldadura de poca penetración es una soldadura generalmente defectuosa.

Zona de transición: Es la más próxima a la zona de penetración. Esta zona, aunque no ha sufrido la fusión, sí ha soportado altas temperaturas, que le han proporcionado un tratamiento térmico con posibles consecuencias desfavorables, provocando tensiones internas.

Cordón de soldadura

Partes de un cordón de soldadura



Las dimensiones fundamentales que sirven para determinar un cordón de soldadura son:

La garganta (a): Es la altura del máximo triángulo isósceles cuyos lados iguales están contenidos en las caras de las dos piezas a unir y es inscribible en la sección transversal de la soldadura.

La longitud eficaz (l): Es la longitud real de la soldadura menos los cráteres extremos. Se admite que la longitud de cada cráter es igual a la garganta.

$$l_{\text{eficaz}} = l_{\text{geométrica}} - 2 \times a$$



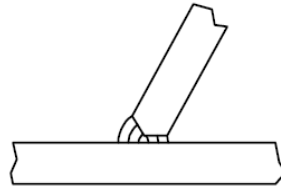
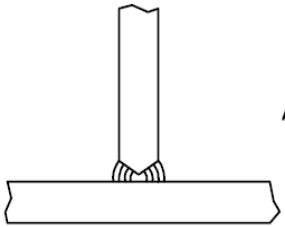
Cordón de soldadura

Se puede soldar a Tope

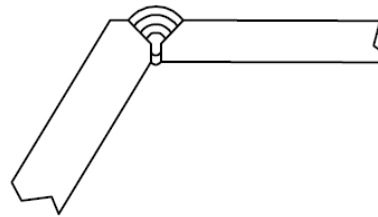
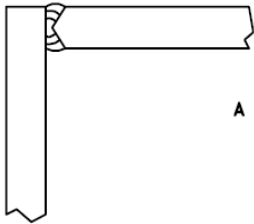
EN PROLONGACION



A TOPE EN T

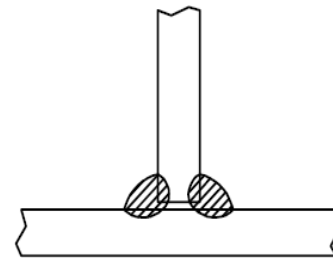


A TOPE EN L

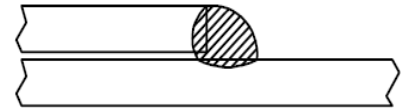


O en ángulo

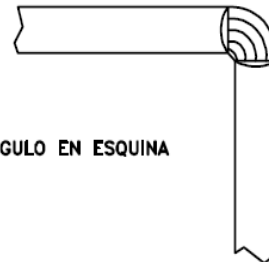
ANGULO EN RINCON



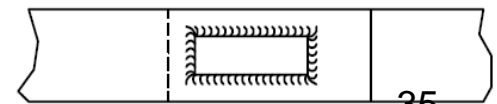
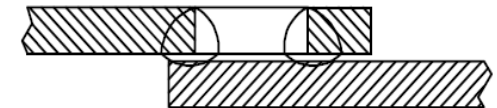
ANGULO EN SOLAPE



ANGULO EN ESQUINA



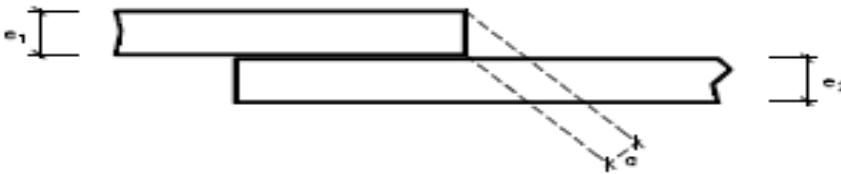
ANGULO EN RANURA



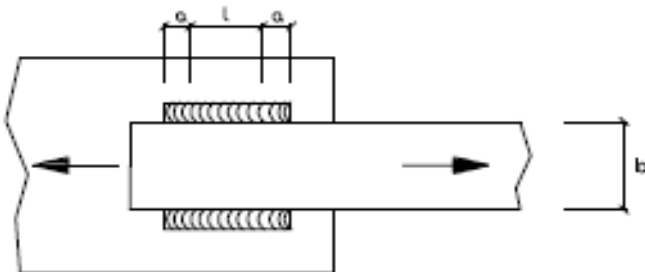


Dimensiones del cordón de soldadura

- La garganta de una soldadura en ángulo que une dos perfiles de espesores $e_1 \leq e_2$, no debe sobrepasar el valor que corresponde al valor e_1 y no debe ser menor que el mínimo correspondiente al espesor e_2 , y siempre que este valor mínimo no sea mayor que el valor máximo para e_1 .



- La longitud eficaz l de una soldadura lateral en ángulo con esfuerzo axial debe estar comprendida entre los siguientes valores:
 - Valor mínimo: $l \geq 15 \times a$ y $l \geq b$
 - Valor máximo: $l \leq 60 \times a$ y $l \leq 12 \times b$



Valores límite de la garganta de una soldadura en ángulo en una unión de fuerza		
Espesor de la pieza (mm)	Garganta a	
	Valor máximo (mm)	Valor mínimo (mm)
4.0- 4.2	2.5	2.5
4.3- 4.9	3	2.5
5.0- 5.6	3.5	2.5
5.7- 6.3	4	2.5
6.4- 7.0	4.5	2.5
7.1- 7.7	5	3
7.8- 8.4	5.5	3
8.5- 9.1	6	3.5
9.2- 9.9	6.5	3.5
10.0-10.6	7	4
10.7-11.3	7.5	4
11.4-12.0	8	4
12.1-12.7	8.5	4.5
12.8-13.4	9	4.5
13.5-14.1	9.5	5
14.2-15.5	10	5
15.6-16.9	11	5.5
17.0-18.3	12	5.5
18.4-19.7	13	6
19.8-21.2	14	6
21.3-22.6	15	6.5
22.7-24.0	16	6.5
24.1-25.4	17	7
25.5-26.8	18	7
26.9-28.2	19	7.5
28.3-31.1	20	7.5
31.2-33.9	22	8
34.0-36.0	24	8



Defectos

Defectos de las uniones soldadas por este tipo de soldadura:

- Falta de penetración
- Perforaciones
- Mordeduras
- Soldadura con poros
- Soldadura con grietas



Oxicorte

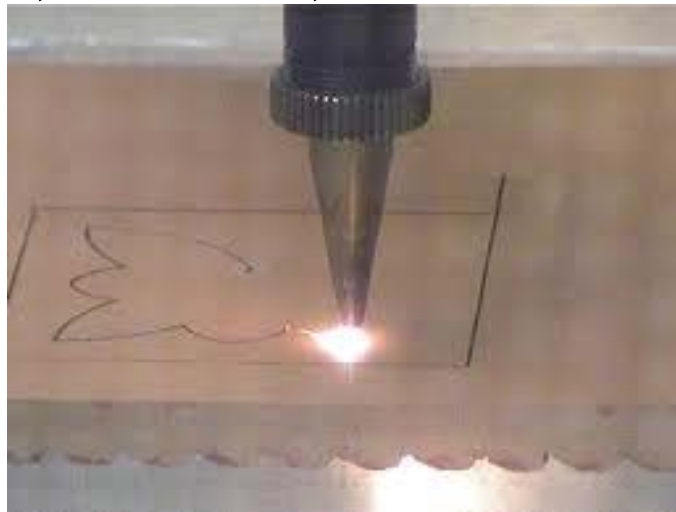
Es un **proceso de corte de metales** en el que mediante un **soplete oxiacetilénico**, se **calienta la chapa a cortar al rojo vivo** y en ese momento se **lanza un chorro de oxígeno a presión** el cual **quema el metal**, separándose y propagándose la **combustión rápidamente** a todo el espesor de la chapa.





Corte por Plasma

Consiste en **hacer pasar un gas por un arco eléctrico** que produce unas **temperaturas de hasta 30000 °C**. Este gas se vuelve al **estado de agregación de plasma** en estas condiciones de temperatura y de ésta manera **es aprovechado para cortar planchas**. Se utiliza para cortar **todos los materiales que sean buenos conductores de la electricidad** como: acero dulce, acero inoxidable, aluminio, etc.





Seguridad

Medidas de seguridad a seguir en los procesos de Soldadura:

- Suelde solamente en las áreas designadas.
- Utilice solamente equipos de soldadura en los que haya sido capacitado.
- Sepa qué sustancia es la que está soldando y si está tiene o no revestimiento.
- Lleve puesta ropa de protección para cubrir todas las partes expuestas del cuerpo que podrían recibir chispas, salpicaduras calientes y radiación.



Seguridad

- La ropa de protección debe estar seca y no tener agujeros, grasa, aceite ni ninguna otra sustancia inflamable.
- Lleve puestos guantes incombustibles, un delantal de cuero o asbesto, y zapatos altos para protegerse bien de las chispas y salpicaduras calientes.
- Lleve puesto un casco hermético específicamente diseñado para soldadura, dotado de placas de filtración para protegerse de los rayos infrarrojos, ultravioleta y de la radiación visible.
- Nunca dirija la mirada a los destellos producidos, ni siquiera por un instante.



Seguridad

- Mantenga la cabeza alejada de la estela, manteniéndose detrás y a un lado del material que esté soldando.
- Haga uso del casco y sitúe la cabeza correctamente para minimizar la inhalación de humos en su zona de respiración.
- Asegúrese de que exista una buena ventilación por aspiración local para mantener limpio el aire de su zona de respiración.
- No suelde en un espacio reducido sin ventilación adecuada y sin un respirador aprobado por NIOSH.



Seguridad

- No suelde en áreas húmedas, no lleve puesta ropa húmeda o mojada ni suelde con las manos mojadas.
- No suelde en contenedores que hayan almacenado materiales combustibles ni en bidones, barriles o tanques hasta que se hayan tomado las medidas de seguridad adecuadas para evitar explosiones.
- Si trabajan otras personas en el área, asegúrese de que hayan sido avisadas y estén protegidas contra los arcos, humos, chispas y otros peligros relacionados con la soldadura.
- No se enrolle el cable del electrodo alrededor del cuerpo.



Seguridad

- Ponga a tierra el alojamiento del instrumento de soldadura y el metal que esté soldando.
- Observe si las mangueras de gas tienen escapes, usando para ello un gas inerte.
- Revise las inmediaciones antes de empezar a soldar para asegurarse de que no haya ningún material inflamable ni disolventes desgrasantes.
- Vigile el área durante y después de la soldadura para asegurarse de que no haya lumbres, escorias calientes ni chispas encendidas que podrían causar un incendio.
- Localice el extinguidor de incendios más próximo antes de empezar a soldar.
- Deposite todos los residuos y despuntes de electrodo en un recipiente de desechos adecuado para evitar incendios y humos tóxicos.



Links de ejemplos



<http://www.youtube.com/watch?v=AG09Q2NJmYk> (soldadura blanda)

<http://www.youtube.com/watch?v=3cJXJmXleMw> (soldadura por puntos)

<http://www.youtube.com/watch?v=tmlXuDgNLlg> (MIG/MAG)

<http://www.youtube.com/watch?v=tX64WbRM04M&feature=related>
(MIG)

<https://www.youtube.com/watch?v=Pvvhya8ADao>. Electroodos