

UNIDAD 1

PROCESOS DE LA

MANUFACTURA

Profesor : Robinson Carrillo S.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir básicamente los conceptos de procesos y de manufactura.
- Comprender Desempeñar eficientemente en actividades de producción de una empresa.
- Realizar una participación activa en alternativas para la transformación de materias primas

INTRODUCCIÓN A LOS PROCESOS DE MANUFACTURA

- Los procesos industriales tienen el propósito principal de transformar materias primas en un producto final.
- Un proceso puede ser descrito como la secuencia de cambios en una sustancia.
- La secuencia de cambios puede ocurrir en el aspecto físico, químico o ambos.

Empecemos definiendo los dos principales términos, para luego ver como se relacionan entre sí para formar un nuevo concepto:

PROCESO

“Proceso es el conjunto de actividades relacionadas y ordenadas con las que se consigue un objetivo determinado”.

En la ingeniería industrial el concepto de proceso adquiere gran importancia, debido a la práctica en esta carrera, que requiere: PLANEAR, INTEGRAR, ORGANIZAR, DIRIGIR Y CONTROLAR.

Estas actividades permiten al Ingeniero Industrial lograr sus objetivos.



El ingeniero industrial debe considerar a los procesos de producción como una herramienta para:

- El diseño y definición de planes, programas y proyectos
- El diseño, integración, organización, dirección y control de sistemas
- La optimización del trabajo
- La evaluación de resultados Establecimiento de normas de calidad
- El aumento y control de la eficiencia.

MANUFACTURA

“Obra hecha a mano o con el auxilio de máquina”. O lugar donde se fabrica.

Se observa a la manufactura como un mecanismo para la transformación de materiales en artículos útiles, pero también es considerada como la organización de acciones que permiten a un sistema lograr una tarea determinada.

Conjugando, definimos como: Conjunto de actividades organizadas y programadas para la transformación de materiales, objetos o servicios en artículos o servicios útiles para la sociedad.

En ingeniería industrial, es necesario delimitar la definición de proceso industrial a que siempre existan y se transformen elementos fundamentales materia, energía e información y que a partir de la relación de estos, en mayor proporción de materia y energía, origine un producto tangible y no un servicio; esto implica que los procesos industriales se dan en las empresas de manufactura y no en las de servicio.



Criterios para la producción económica con finalidad de beneficio económico.

los criterios que deben cumplir los factores productivos: costos, rentabilidad y calidad:

Costos	Aceptables Competitivos
Rentabilidad	Ganancias superiores a las que proporciona el banco
Calidad	Sólo la necesaria No inversiones que no sean necesarias

Los costos de producción deben ser los más bajos posibles tal que, sin afectar la calidad requerida, permitan competir en el mercado. Los precios de venta en los mercados conquistados deben ser lo suficientemente favorables como para que arrojen una rentabilidad tal que deje ganancias suponiendo que las inversiones de operación se hacen con capital prestado en los bancos.

Criterios de la producción con fines de la efectividad.

Los criterios que deben cumplir los factores productivos:

Proyecto	Diseños funcionales que permitan la manufactura calculada y controlada.
Materiales	Selección de los materiales adecuados y económicamente aceptables.
Procesos de manufactura	Sistemas para la transformación de los materiales con la calidad adecuada, considerando las necesidades del cliente, de manera eficiente y económica.
Factor humano	<ul style="list-style-type: none">- Motivación- Trato- Facilidad- Capacitación- Seguridad
Proceso administrativo	<ol style="list-style-type: none">1 Planeación2 Integración3 Organización4 Dirección5 Control

Criterios de la producción con fines de la efectividad.

Las definiciones de proyecto, materiales y procesos de manufactura en este contexto son precisas.

Los criterios referentes al factor humano realzan la necesidad de mantener motivado al personal, estableciendo el mejor de los tratamientos, creando condiciones apropiadas a facilitar la vida de trabajo, promoviendo socialmente a las personas apoyando su formación en el trabajo, a la vez que se proporcionan todas las condiciones que garanticen la seguridad industrial de empresa.

Los criterios vinculados al proceso administrativo, conforman un conjunto de manejo universal.

EL PRODUCTO EN LOS PROCESOS DE MANUFACTURA

PRODUCTO

Dependiendo de cuál de las diferentes áreas del conocimiento y de la economía, existen múltiples acepciones del concepto producto, sin embargo existen elementos que pueden ayudar a delimitar la definición de producto, dentro de la ingeniería industrial, siendo algunos de ellos:

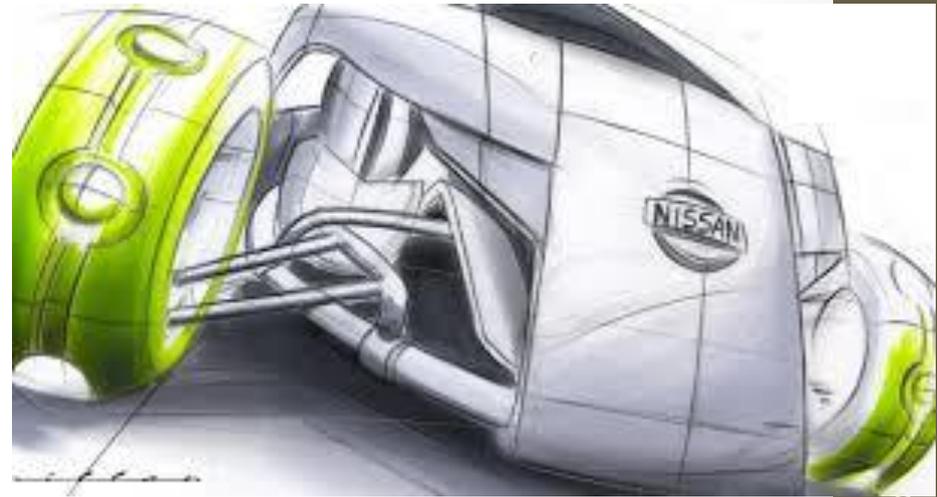
- Un producto existe para satisfacer una necesidad.
- Un producto puede ser un bien, un servicio, una idea, una persona, un lugar, un proyecto.
- Un producto se define o se identifica a través de atributos, especificaciones o condiciones; algunas de ellas son geometría, dimensiones como tamaño, peso, materiales y acabado.



DISEÑO DE PRODUCTO

El diseño de producto es un conjunto de actividades que se llevan a cabo antes de producirlo, en donde se determinan sus atributos, especificaciones y condiciones.

Este proceso inicia cuando se han logrado interpretar las necesidades de un consumidor a partir de una investigación de mercados y termina cuando se han definido las especificaciones del producto y se logran transformar en procesos de manufactura.



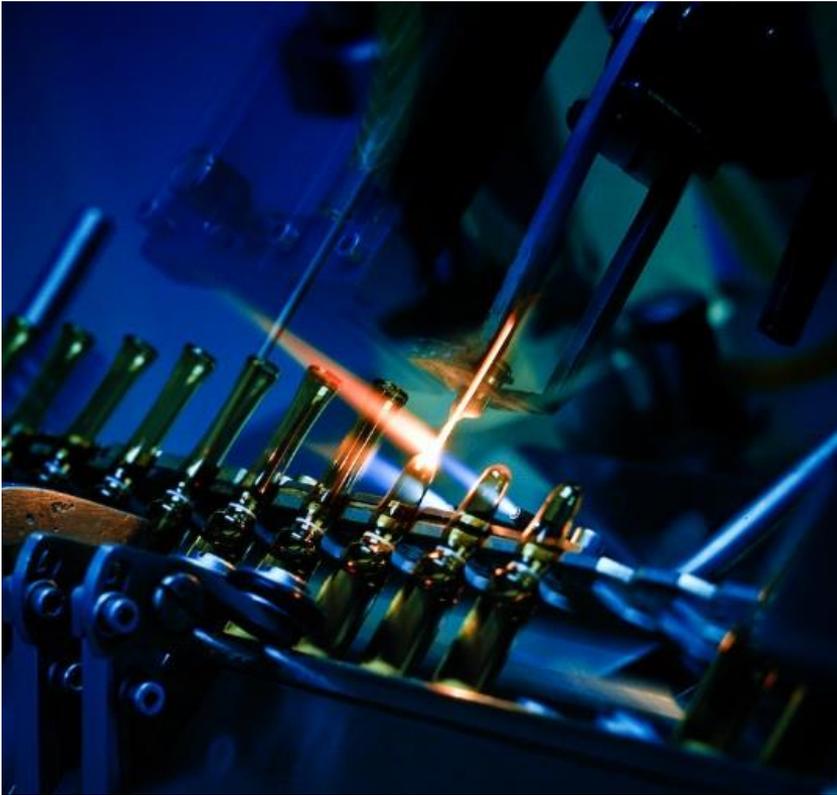
En un proceso de diseño de producto pueden participar diversas profesiones y áreas de una organización, sin embargo la responsabilidad de la función de diseño se ha situado entre las áreas de mercados y producción.

Las etapas del diseño de producto pueden ser en resumen:

- Concepción de producto: cuando se prepara el proyecto de especificaciones.
- Aceptación: cuando se demuestra que las especificaciones son alcanzadas por medio de cálculos matemáticos, bocetos, modelos experimentales, maquetas o pruebas de laboratorio.
- Ejecución: cuando se preparan varios modelos a partir del trabajo de la etapa anterior o se construyen plantas piloto como continuación de los experimentos de laboratorio.
- Adecuación: etapa en la cual el proyecto adquiere una forma que permite integrarlo a la organización y ajustarlo a las especificaciones definitivas.

1.1 PROCESOS MECÁNICOS

GENERALIDADES



Son muy variados los procesos y equipamientos utilizados para la transformación de los materiales mediante procesos mecánicos y/o térmicos , de todas maneras va a depender de las características del producto final que se desea obtener.

FABRICACIÓN POR FORMACIÓN

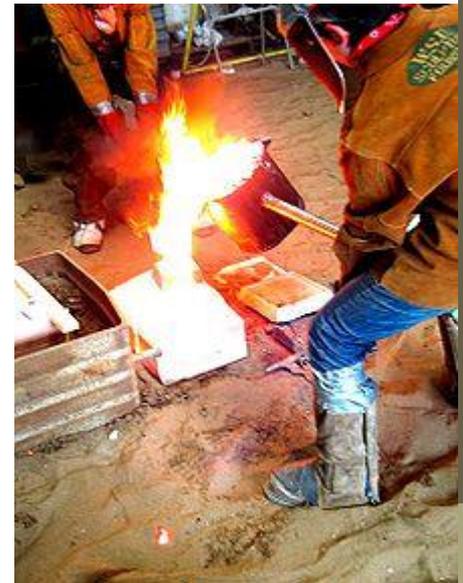
En este proceso las piezas que se obtienen a partir de un material suelto que sufre una alteración en su estado físico . Como polvo, fundido etc.

FUNDICIÓN

Proceso de fabricación de piezas por lo general metálicas o de plásticos que consiste en fundir un material e introducirlo en un molde, del cual adopta su forma.

Tradicionalmente se utiliza un molde de arena por ser un material refractario y abundante que al colar el material fundido este se solidifica y posteriormente se rompe el molde para obtener la pieza fundida.

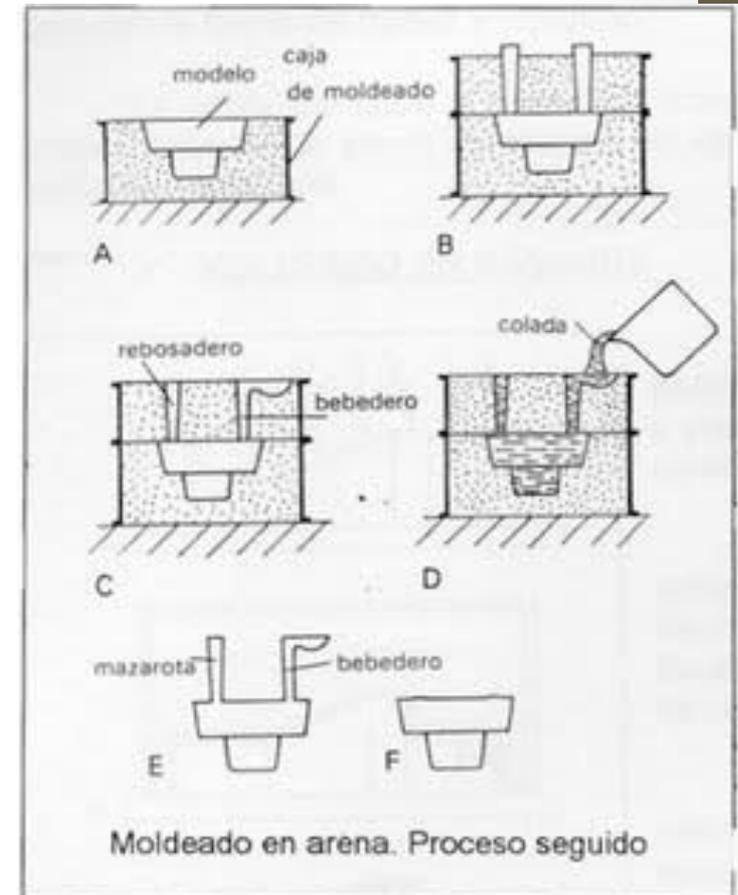
La precisión de la pieza esta limitada por el tipo de arena y el proceso de moldeo utilizado.



Clasificación de Los Procesos de Fundición

Moldes desechables

Fabricados de arena, yeso, cerámica y materiales similares son por lo general mezclados con varios aglutinantes estos materiales son refractarios resisten elevadas temperaturas, una vez solidificada la pieza colada el molde es roto para retirar la fundición



Proceso fundición I

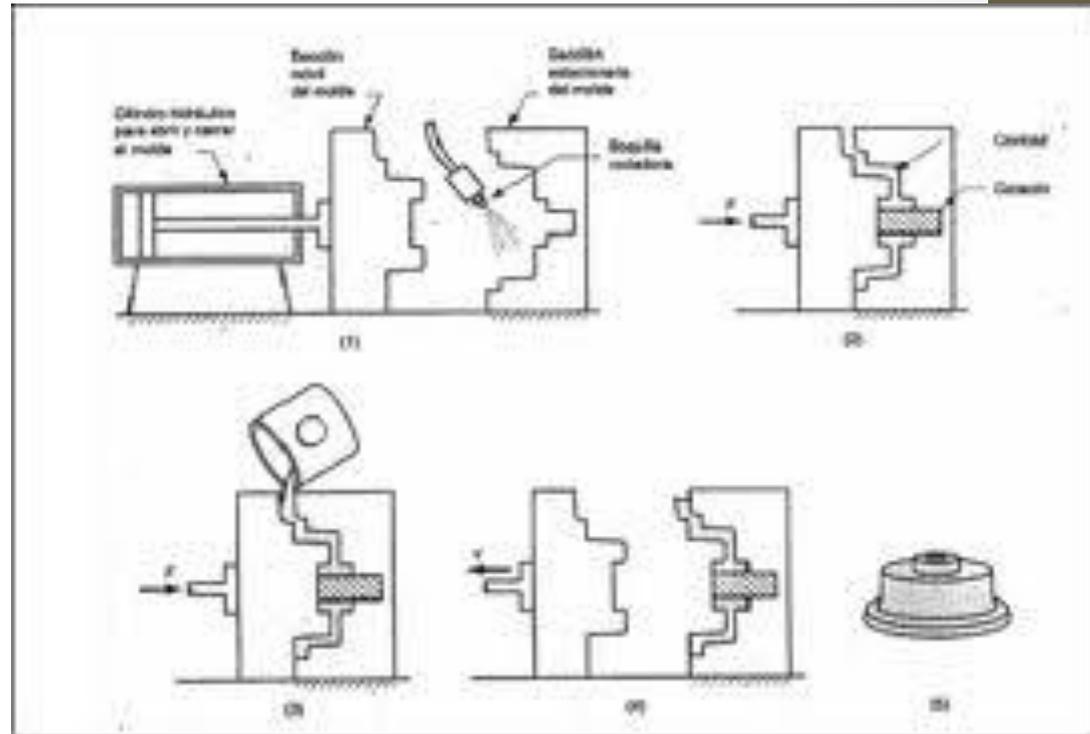
Proceso fundición II

Clasificación de Los Procesos de Fundición

Moldes permanentes:

Hechos de materiales que resisten las altas temperaturas, se utiliza de maneras repetidas con facilidad.

Dado que los moldes de metal son mejores conductores que los desechables no metálicos, la fundición al solidificarse queda sometida a una velocidad de enfriamiento más elevada lo que afecta la micro estructura y el tamaño del grano en la fundición.



Clasificación de Los Procesos de Fundición

Moldes compuestos:

Son aquellos fabricados con dos o más materiales distintos, como arena, grafito y metal combinando las ventajas de cada material. Se utilizan en varios procesos de fundición para mejorar la resistencia del molde, controlar la velocidad de enfriamiento y optimizar la economía general del proceso.



Clasificación de Los Procesos de Fundición

Moldeo por presión.

Se lleva a cabo introduciendo la masa metálica fundida en el interior del molde forzando la entrada en el mismo. En este método se emplean *moldes permanentes*.

1. Moldeo por fuerza centrífuga

El molde gira alrededor de un eje que puede ser horizontal o vertical, con lo que la fuerza centrífuga obliga al metal fundido a rellenar todas las cavidades del mismo.

Se emplea fundamentalmente para piezas de revolución de menor espesor que las que se obtienen por gravedad con menos grietas.

Los moldes resultan caros, ya que deben ser más gruesos debido a las presiones elevadas que deben soportar.



Clasificación de Los Procesos de Fundición

2. Moldeo por inyección

Es el moldeo a presión el metal se inyecta en el molde por medio de una máquina. La inyección puede hacerse por medio de un émbolo.

Los moldes son similares a las coquillas, aunque se suelen denominar **matrices**. Este método presenta la ventaja de que pueden fabricarse piezas de formas complicadas de una manera bastante económica y de gran precisión. Además, las piezas resultan limpias y sin defectos.



Fundición

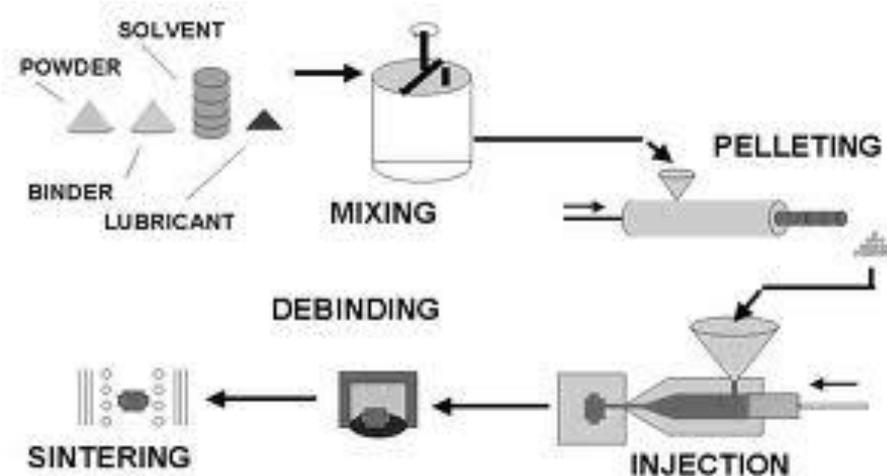
SINTERIZACIÓN

Es uno de los métodos de fabricación más antiguos de metales y materiales cerámicos. Actualmente se usa para obtener cuerpos sólidos compactando y para obtener algunas formas de polímeros . Constituye a veces el único método por el cual puede impartirse a un material propiedades adecuadas para ser utilizado con una determinada finalidad.



SINTERIZACIÓN

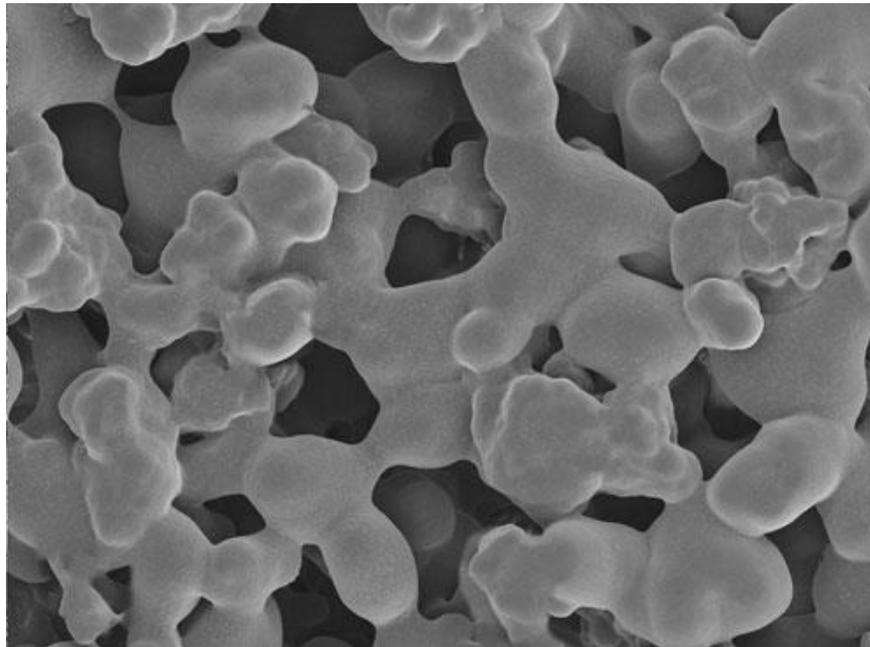
Mezcla – Preparación homogénea de polvos mecánicos y productos químicos o una composición de polvos metálicos con no metálicos.



Compactado– La mezcla es introducida en un molde de acero y presionada a 150 a 900 Mpa para obtener la forma y la resistencia suficiente para soportar la fuerza de eyección del molde y el traslado al sinterizado. Las propiedades mecánicas finales de la pieza están relacionadas con la densidad al presionar. Se puede realizar en frío o en caliente dependiendo del proceso.

SINTERIZACIÓN

Aglomeración – Etapa clave para el proceso. Es aquí en donde la pieza adquiere la resistencia y fuerza para realizar su función. Esta operación, casi siempre, se lleva a cabo dentro de un ambiente de atmósfera controlada y a temperaturas entre el 60 y 90% de la temperatura de fusión del mayor constituyente.



SINTERIZACIÓN

El horno eléctrico se usa en la mayoría de los casos pero si se requieren temperaturas superiores se puede variar a diferentes tipos de hornos. Las atmósferas controladas son una parte esencial en casi cualquier proceso de sinterización ya que previenen la oxidación y otras reacciones que no conviene al proceso. Algunas de las atmósferas más usadas son las compuestas con hidrógeno seco o con hidrocarburos sometidos parcialmente a la combustión.



Sinterización

FABRICACIÓN POR CONFORMACIÓN

Este tipo de fabricación consiste en dar forma a una pieza por medio de procesos mecánicos pero sin registrar una pérdida de material, ya que se basa en la deformación plástica del mismo.

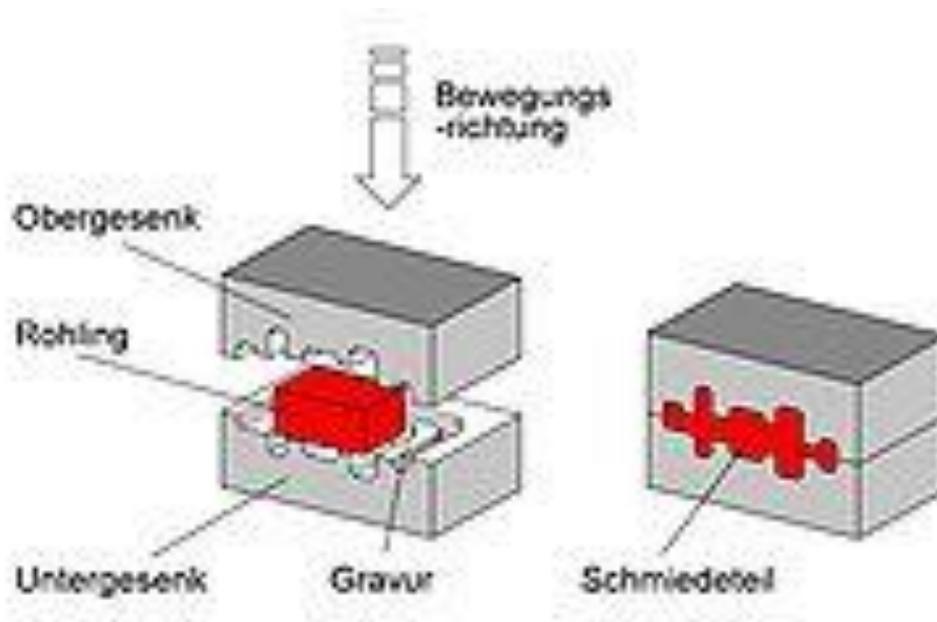
FORJA SIN ESTAMPA

Sin un molde o plantilla da forma a la pieza golpeándola hasta conseguir la geometría deseada. utilizada durante mucho tiempo por los herreros.



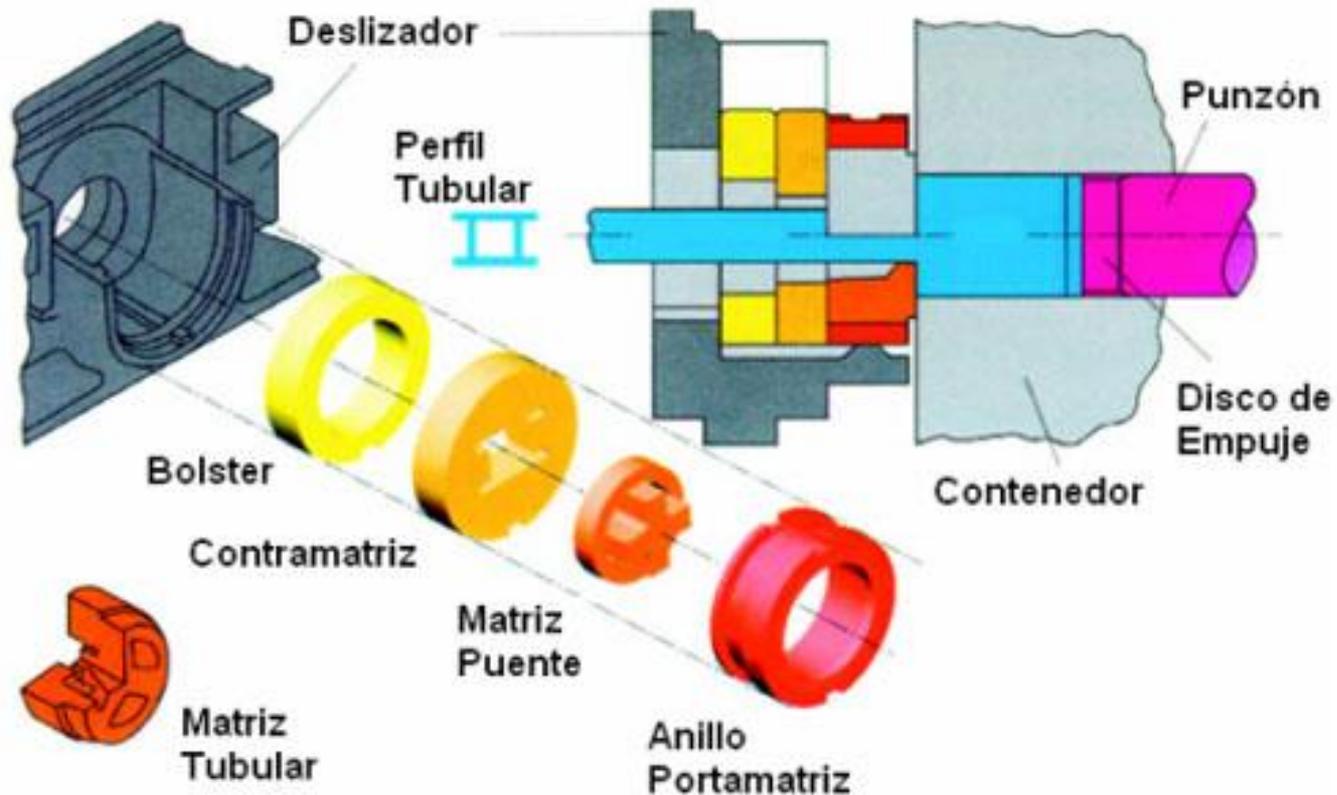
FORJA CON ESTAMPA

Consiste en dar forma a una pieza por percusión entre dos matrices. Al recibir el impacto, el material en estado pastoso (calentado de antemano) se deforma y se adapta a las matrices. Es la forma habitual de elaborar las piezas con geometrías complejas que deben soportar sollicitaciones importantes, tales como bielas de motores.



EXTRUSIÓN

Es un proceso continuo para conformar materiales, haciéndolos fluir a presión, por medio de un **émbolo**, a través de orificios con una forma determinada. El metal no debe estar fundido, sino por debajo de su punto de fusión.



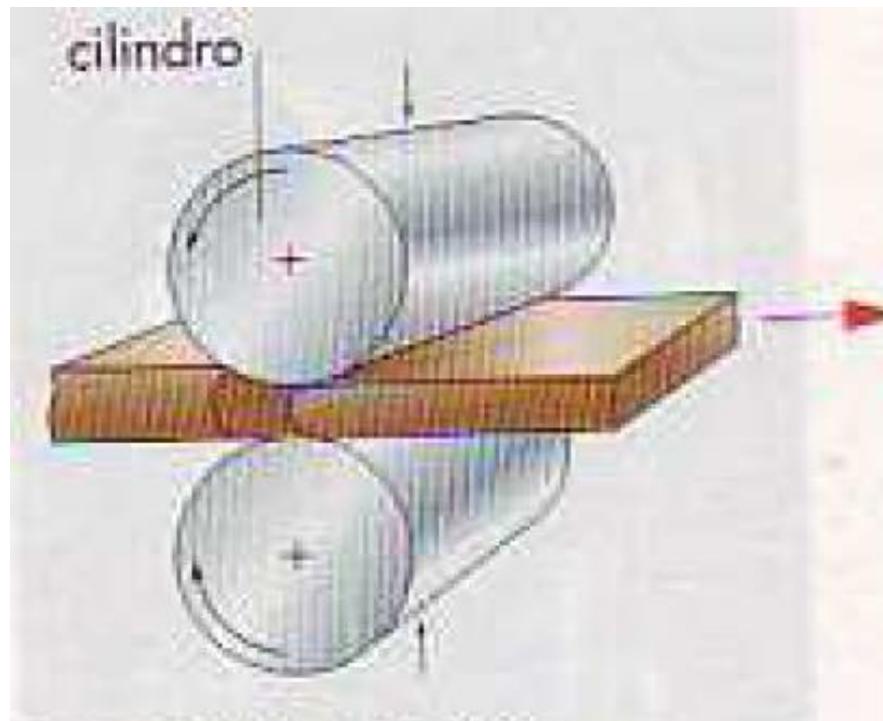
Forjado

LAMINADO

Consiste en pasar entre dos o más rodillos, una masa de forma continua a través de sucesivas pasadas se reduce su espesor y se adapta su forma para obtener planchas, barras o perfiles.

El lingote se calienta a una temperatura por debajo de la de fusión.

Los rodillos están separados una distancia un poco más pequeña que la anchura del lingote. Se emplea para metales y plásticos.



FABRICACIÓN POR DEFORMACIÓN EN FRIO

Existen varios métodos, algunos similares a la deformación en caliente. En este caso, estudiaremos:

ESTAMPACIÓN EN FRIO

Se aplica para obtener chapas o para darles la forma deseada (para carrocerías de automóviles, puertas, etc). Los materiales más empleados son el acero y el aluminio. En este caso la estampa inferior se denomina *matriz* y la superior se denomina *punzón*. La plancha se introduce entre las estampas, de forma que den relieve por un lado y se hunda por el otro.

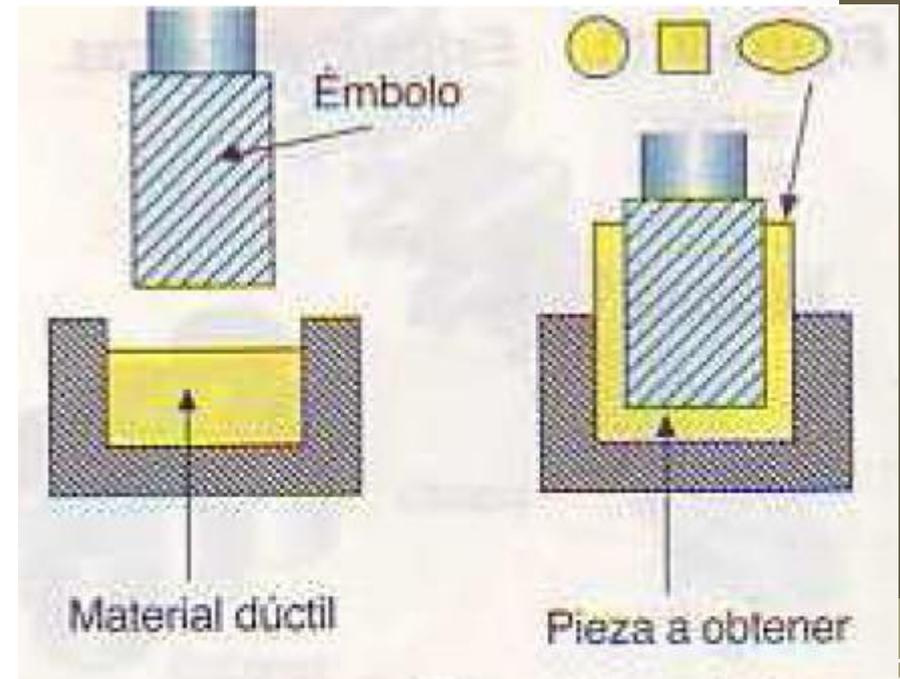


FORJADO EN FRIO

Se utiliza principalmente para producir pequeñas piezas por martilleo, como tornillos, arandelas, varillas, etc. Las máquinas empleadas son potentes prensas.

EXTRUSIÓN EN FRIO

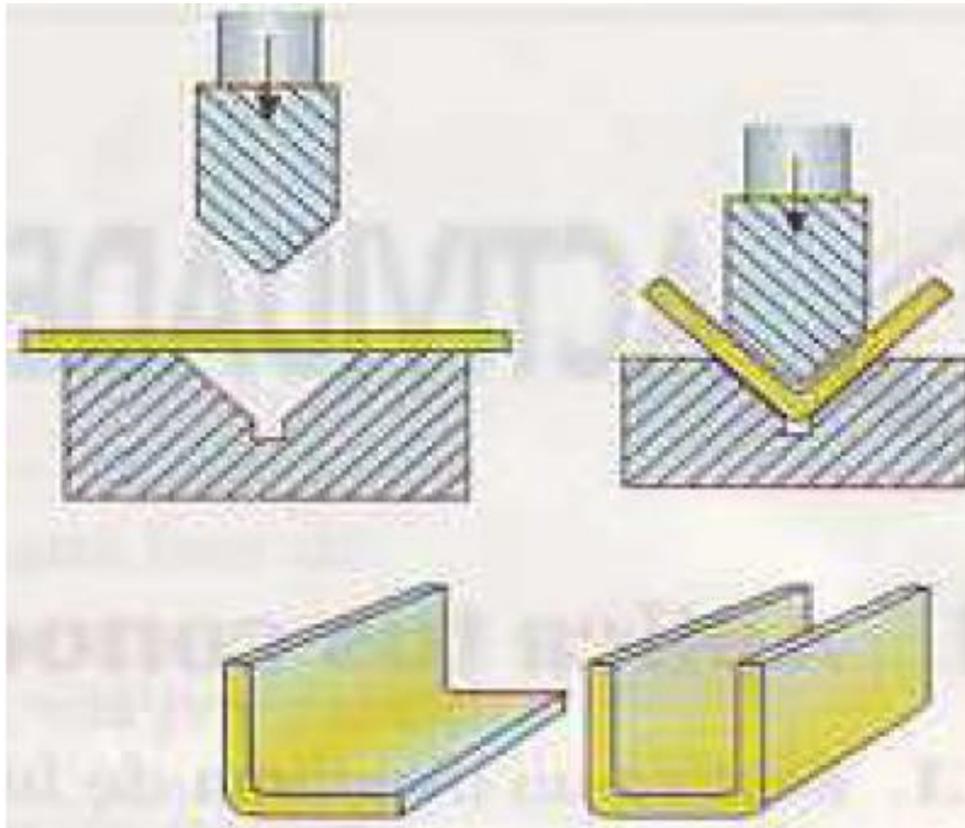
Consiste en introducir en un recipiente un material dúctil presionándolo fuertemente con un *punzón* o *émbolo*, lo que obliga al material a “fluir” por el orificio que queda libre. De esta manera se pueden obtener barras o tubos de sección constante (tubos de pasta de diente, de pegamento, carcasa de pilas,...)



Extrusión

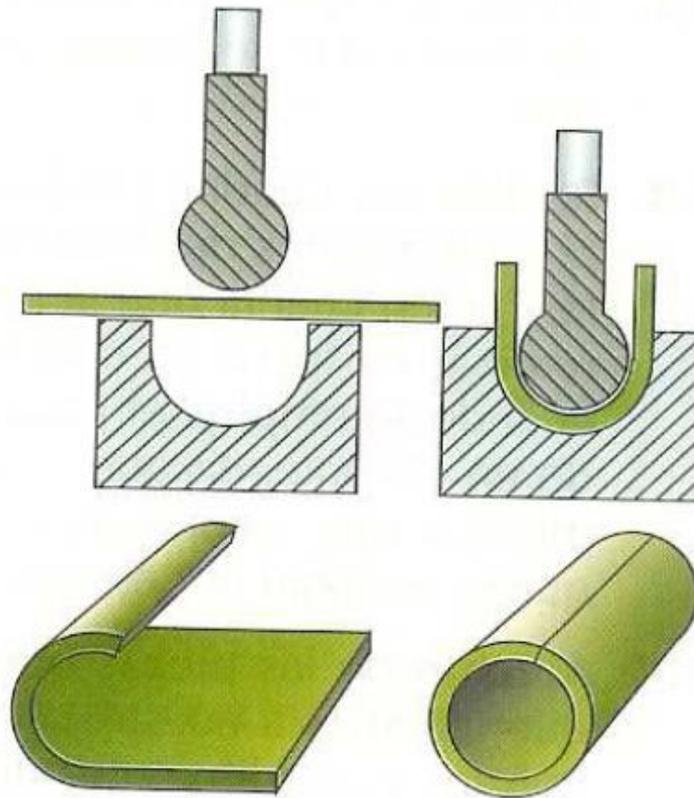
DOBLADO

Se trata de hacer un pliegue para formar un cierto ángulo sobre la línea de doblez. El radio de curvatura de la deformación es relativamente pequeño.



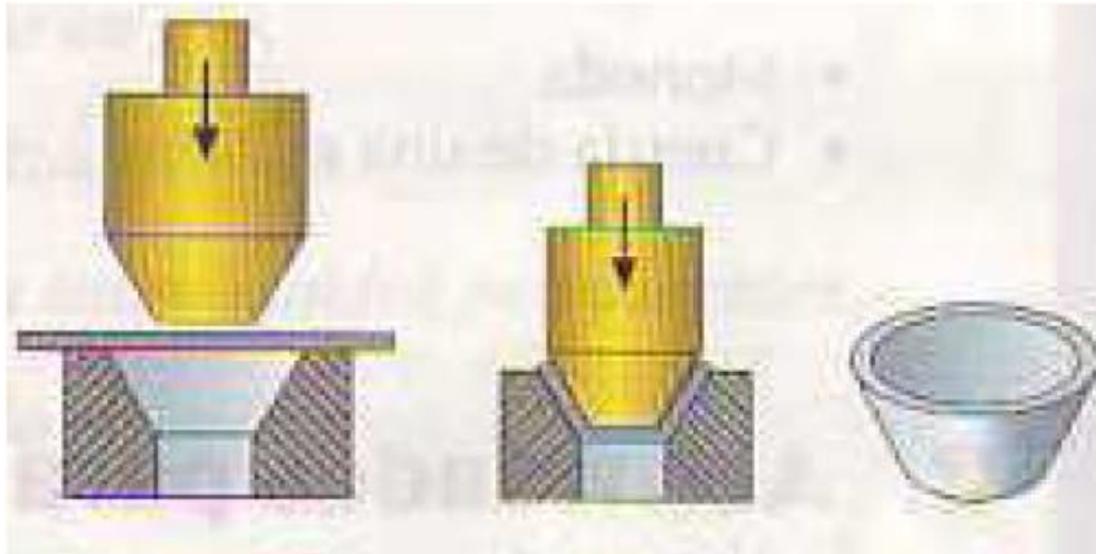
CURVADO

Tiene por objeto dar a la pieza la forma de una línea curva. El radio de curvatura de la deformación es relativamente grande



EMBUTICIÓN

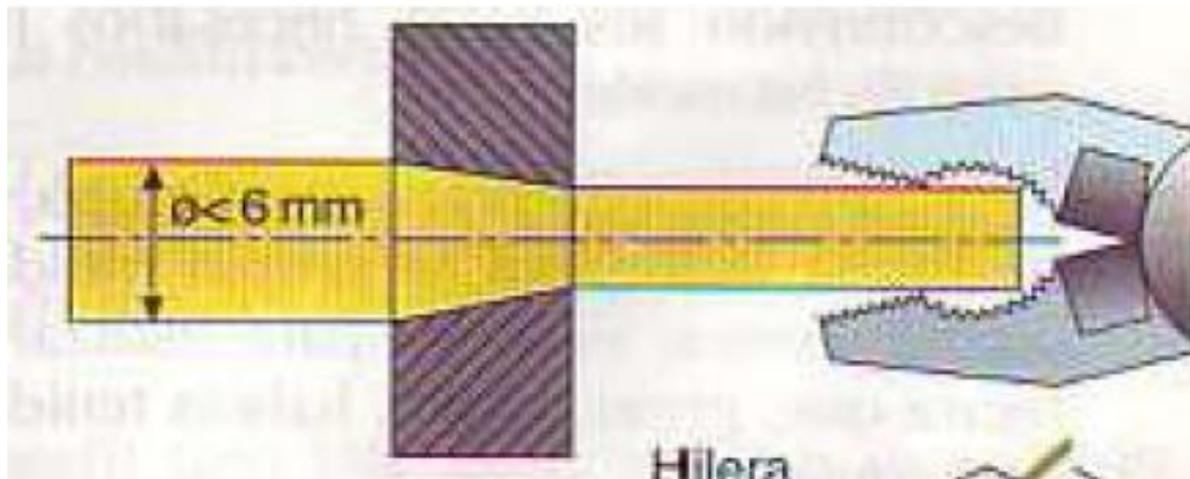
Una prensa golpea chapas o láminas colocadas sobre el molde con la forma de la pieza buscada. Realizada esta operación, el grosor de la chapa no sufre variación. Con este procedimiento se deforman chapas para obtener formas muy diversas y de una manera rápida, tapas de envases, recipientes.



ESTIRADO

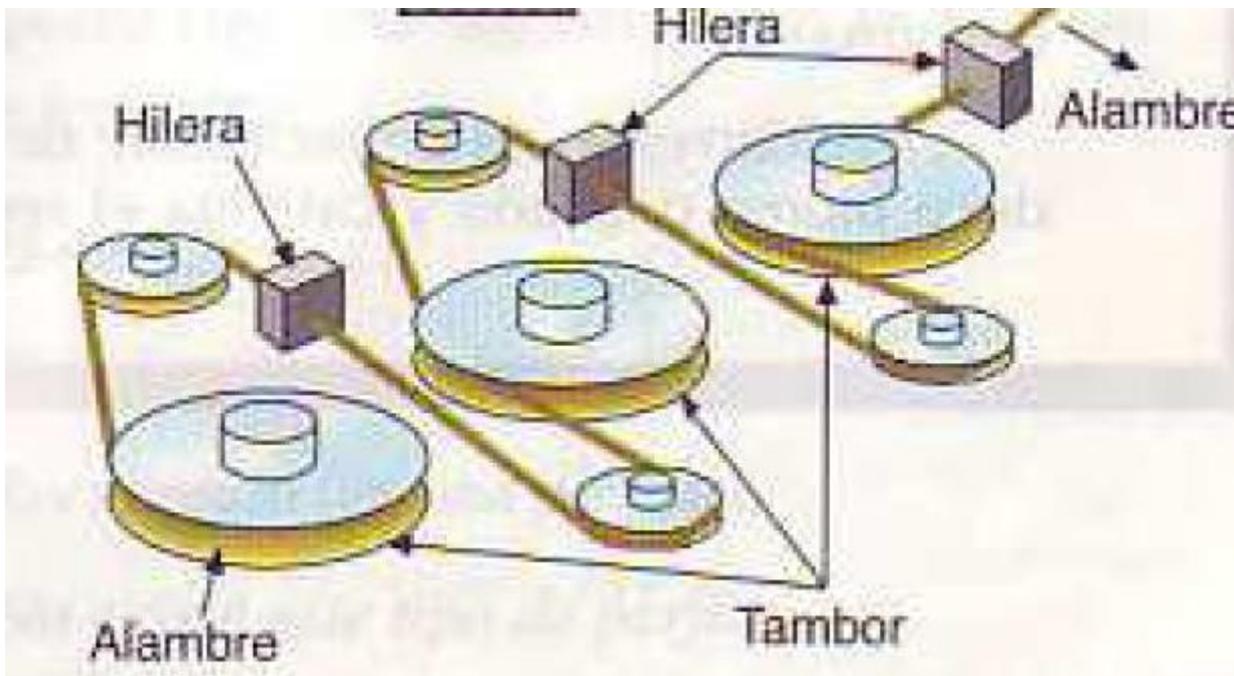
Con este método se pretende reducir la sección de un determinado material, por ejemplo, para reducir el grosor de una varilla. Esto se consigue haciéndolo pasar a través de unos orificios calibrados que se denominan **hileras**.

El material que se quiere estirar debe ser dúctil y tenaz. Se usa para barras procedentes de fundición de metales como Cu, latón, Al y aleaciones



TREFILADO

Es un procedimiento que se emplea para obtener *alambres finos*. Es un método muy similar al estirado, pues consiste en hacer pasar una varilla por **una serie** de orificios de diámetro decreciente, llamados también **hileras**. Al material se le obliga a pasar por los orificios estirándolos, al igual que el método anterior.



Laminado

TREFILADO

NOTA: No se debe confundir estirado y trefilado, son métodos muy similares pero la diferencia esencial es la siguiente...

- El **estirado** se aplica para *varillas gruesas* y tiene por objeto obtener *varillas más finas*.
- El **trefilado** se aplica sólo para obtener *alambres finos*.

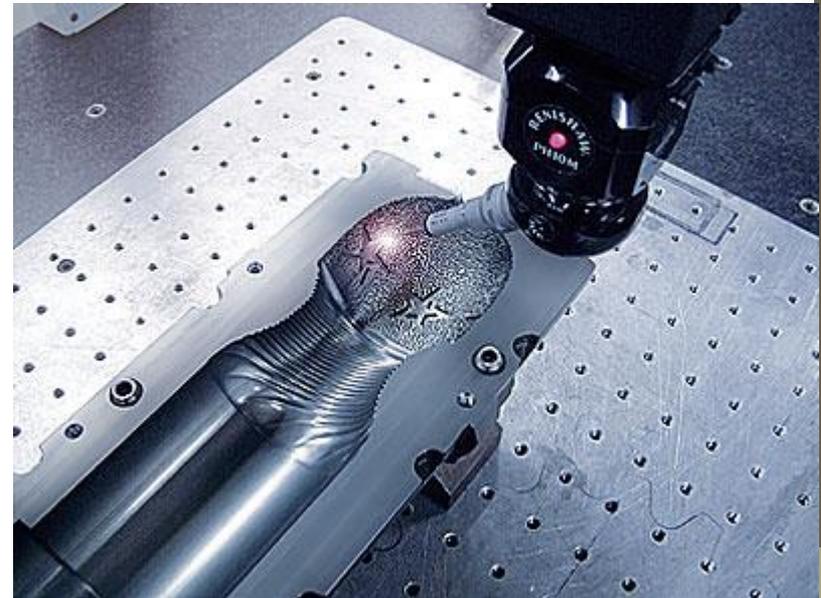
FABRICACIÓN POR ARRANQUE DE MATERIAL

Este tipo de procedimientos son los más utilizados y los que permiten una diversidad mayor de formas. En todos ellos la pieza se fabrica mediante una pérdida de material llamada viruta, resultado del corte de la pieza con una pieza cortante.

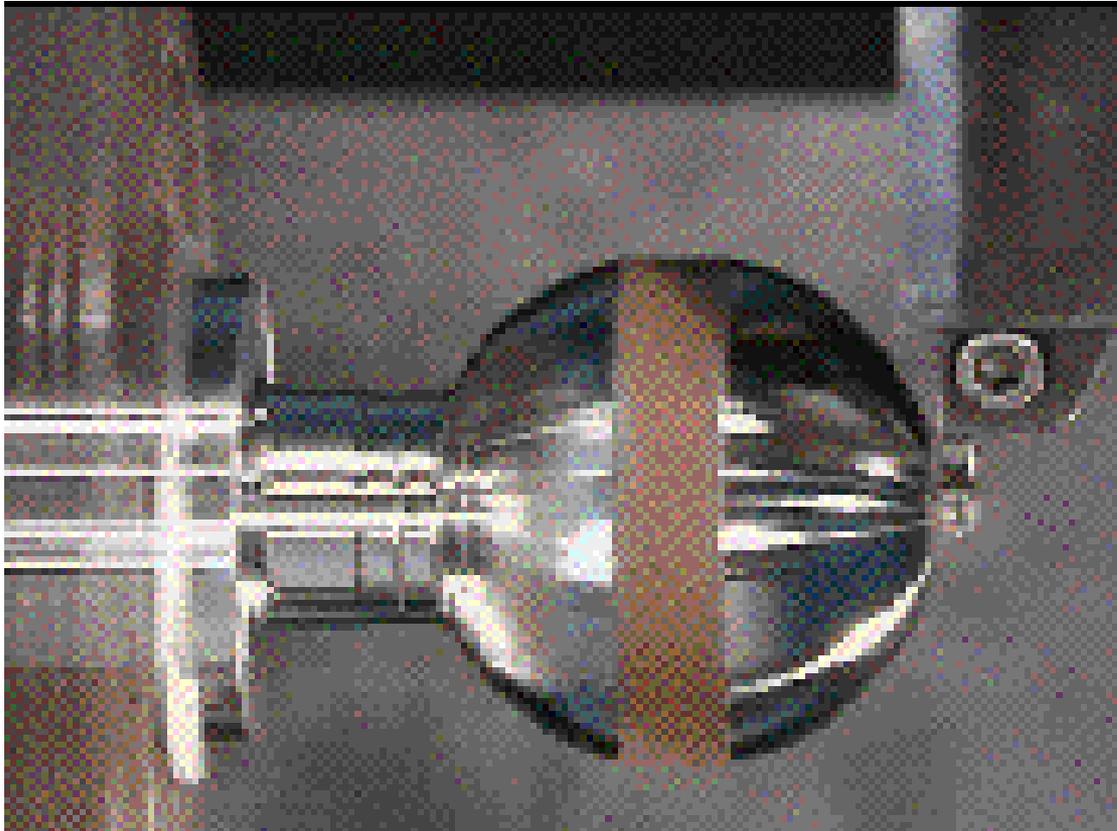


FABRICACIÓN POR ARRANQUE DE MATERIAL

Por medio del arranque de viruta se obtienen piezas con tolerancias pequeñas y buenos acabados superficiales, aunque se pierde gran parte de material en forma de viruta debido a que se parte de una pieza de tamaño aproximado (pieza en bruto o preforma).

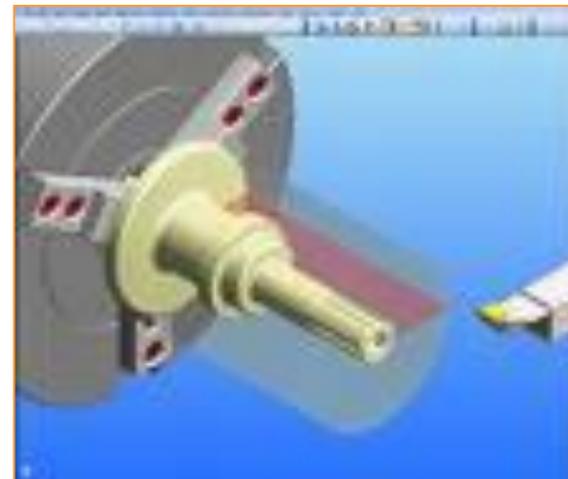


Ciclo de Torneado



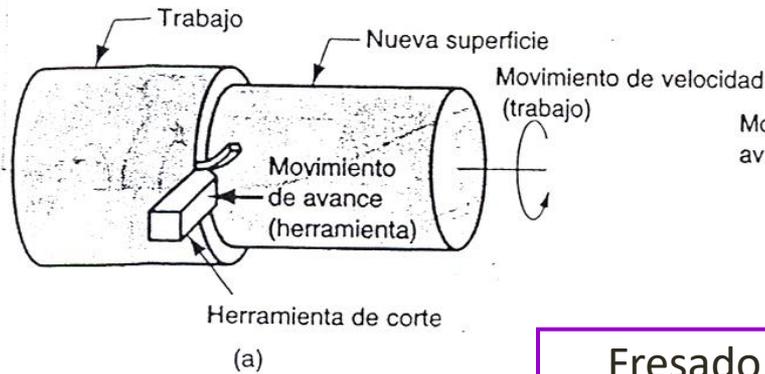
CARACTERÍSTICAS

- Se da forma a la pieza a base de arrancar material.
(procesos secundarios)
- Buenos ajustes dimensionales, estrechas tolerancias y bajas rugosidades superficiales
- Ejecución de pequeños y complejos detalles difíciles de conseguir por otros métodos.
- Operaciones muy versátiles
 - Aleaciones metálicas
 - Plásticos
 - Cerámicas
 - Composites (Resinas)



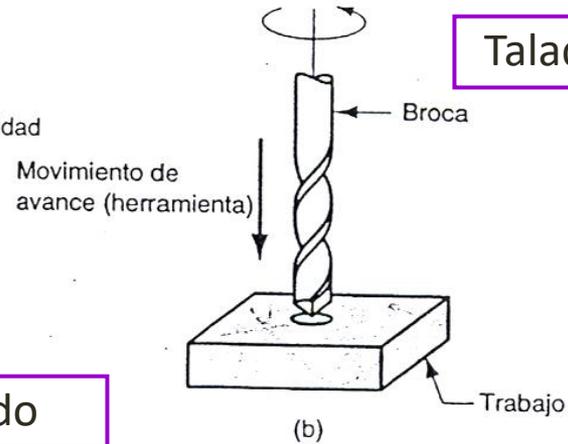
Tipos y Máquinas de Mecanizado

Torneado

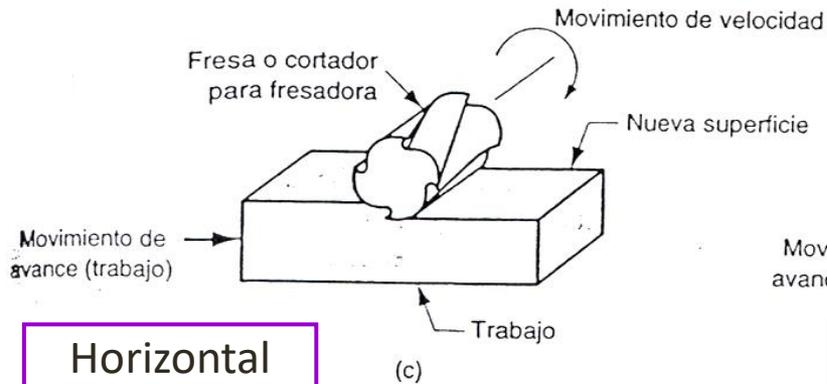


Movimiento de velocidad (herramiental)

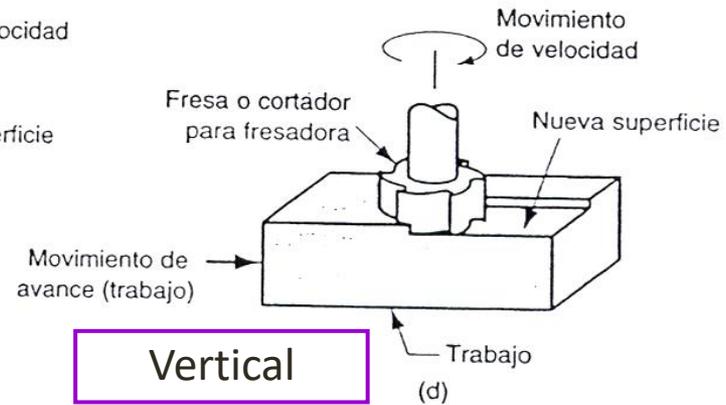
Taladrado



Fresado



Horizontal



Vertical

Proceso de Mecanizado

Profundidad de corte

Avance

Velocidad de corte

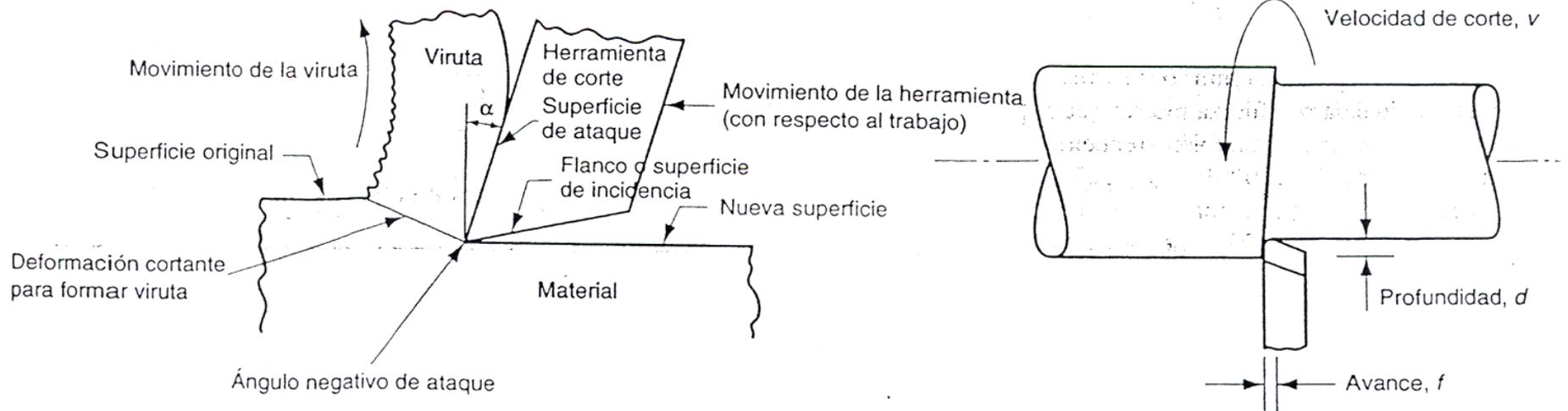
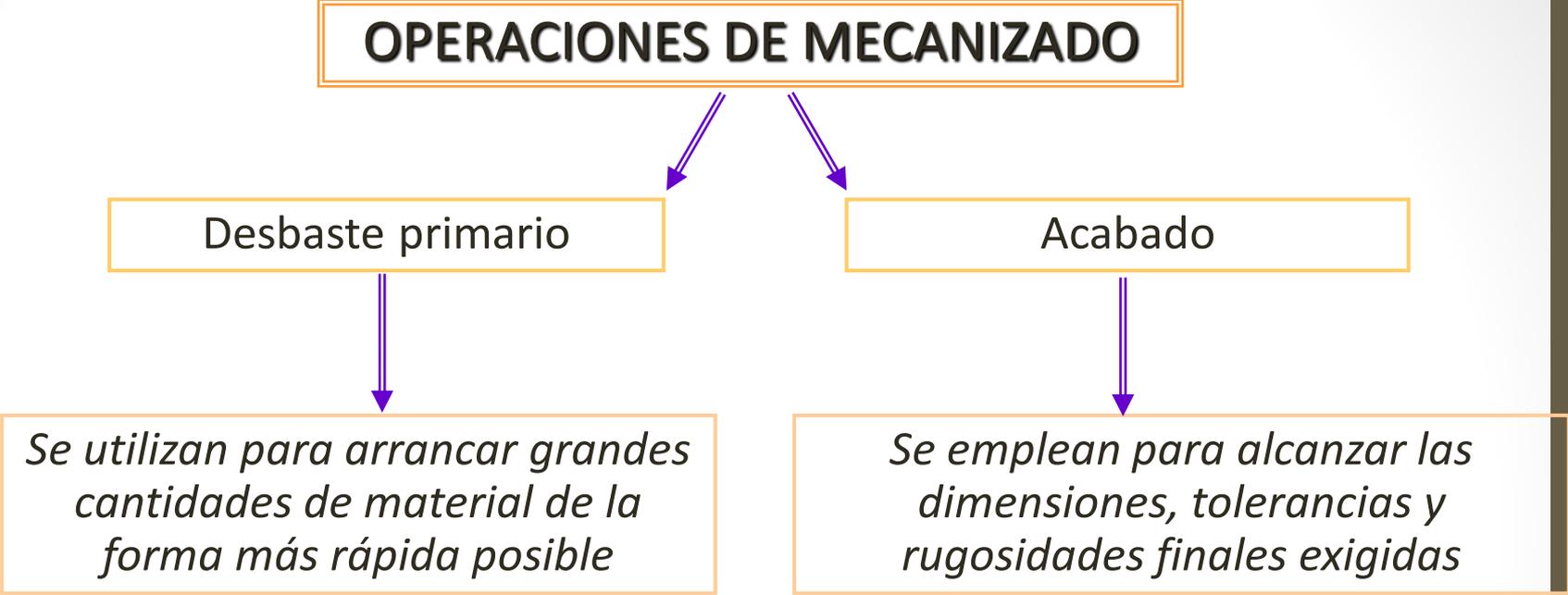


Figura 10.1. Operaciones de mecanizado, a) torneado, b) taladrado, c,d) fresado

$$\text{Velocidad corte(m/min)} = \frac{\pi \times \text{Diam} \times \text{RPM}}{1000}$$

OPERACIONES DE MECANIZADO



```
graph TD; A[OPERACIONES DE MECANIZADO] --> B[Desbaste primario]; A --> C[Acabado]; B --> D[Se utilizan para arrancar grandes cantidades de material de la forma más rápida posible]; C --> E[Se emplean para alcanzar las dimensiones, tolerancias y rugosidades finales exigidas];
```

Desbaste primario

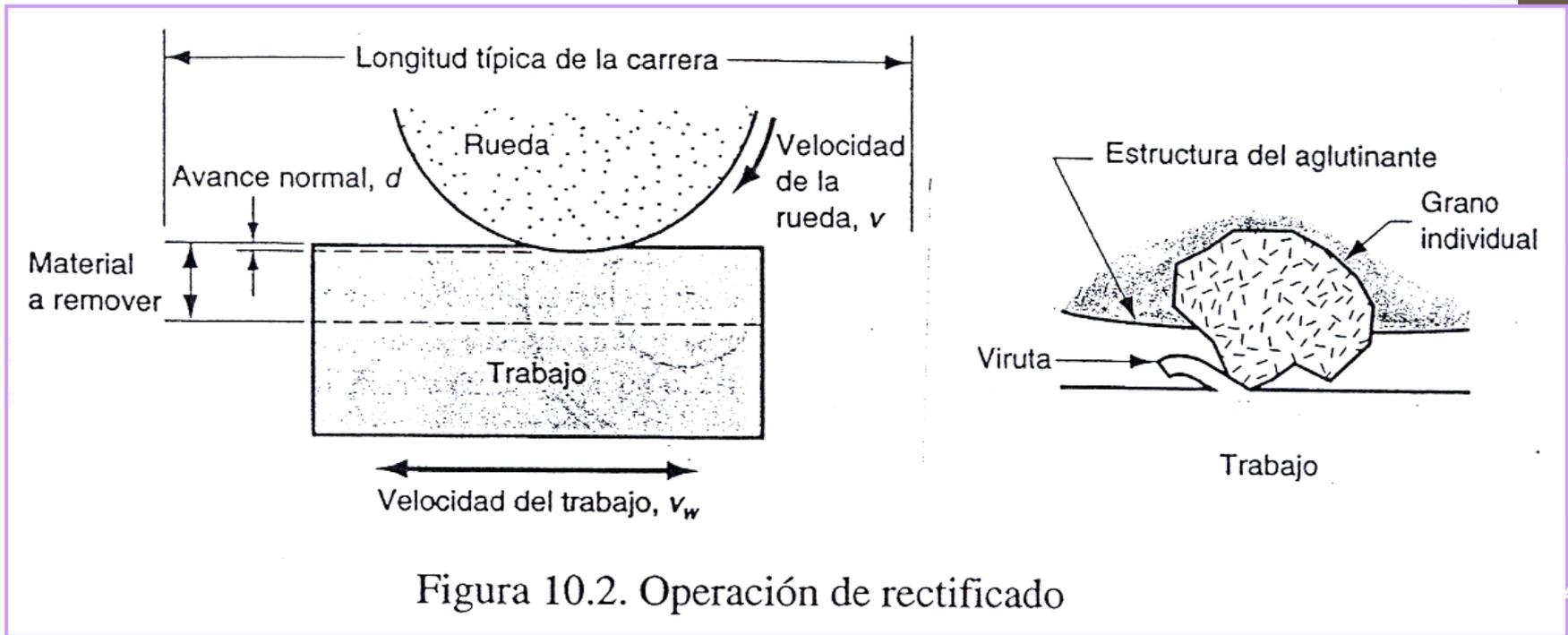
Se utilizan para arrancar grandes cantidades de material de la forma más rápida posible

Acabado

Se emplean para alcanzar las dimensiones, tolerancias y rugosidades finales exigidas

RECTIFICADO

Utilizado para conseguir mecanizados de precisión tanto en dimensiones como en acabado superficial, a veces a una operación de rectificado le siguen otras de pulido y lapeado. Las piezas que se rectifican son principalmente de acero endurecido mediante térmico, utilizando para ellos discos abrasivos robustos, llamados muelas.



TOLERANCIAS Y CALIDAD SUPERFICIAL

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

TOLERANCIAS Y CALIDAD SUPERFICIAL

Fusión
Metalurgia de
polvos

Deformación
plástica

Mecanizado

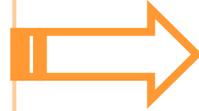
Process	Typical tolerance (\pm)		Typical surface roughness (R_a)	
	mm	in $\times 10^{-3}$	μm	μin
Sand casting	0.5–2.0	20–80	12.5–25	500–1000
Investment casting	0.2–0.8	8–30	1.6–3.2	63–125
Die-casting	0.1–0.5	4–20	0.4–1.6	16–63
Powder metallurgy	0.2–0.4	8–16	0.8–3.2	32–125
Forging	0.2–1.0	8–40	3.2–12.5	125–500
Hot rolling	0.2–0.8	8–30	6.3–25	250–1000
Hot extrusion	0.2–0.8	8–30	6.3–25	250–1000
Cold rolling	0.05–0.2	2–8	0.4–1.6	16–63
Cold drawing	0.05–0.2	2–8	0.4–1.6	16–63
Cold extrusion	0.05–0.2	2–8	0.8–3.2	32–125
Flame cutting	1.0–5.0	40–200	12.5–25	500–1000
Sawing	0.4–0.8	15–30	3.2–25	125–1000
Turning and boring	0.025–0.05	1–2	0.4–6.3	16–250
Drilling	0.05–0.25	2–10	1.6–6.3	63–250
Shaping and planing	0.025–0.125	1–5	1.6–12.5	63–500
Milling	0.01–0.02	0.5–1	0.8–6.3	32–250
Chemical machining	0.02–0.10	0.8–4	1.6–6.3	63–250
EDM and ECM	0.02–0.10	0.8–4	1.6–6.3	63–250
Reaming	0.01–0.05	0.4–2	0.8–3.2	32–125
Broaching	0.01–0.05	0.4–2	0.8–3.2	32–125
Grinding	0.01–0.02	0.4–0.8	0.1–1.6	4–63
Honing	0.005–0.01	0.2–0.4	0.1–0.8	4–32
Polishing	0.005–0.01	0.2–0.4	0.1–0.4	4–16
Lapping and super-finishing	0.004–0.01	0.16–0.4	0.05–0.4	2–16

Rugosidad promedio en micrómetros - Ra μm

Proceso	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.80	0.40	0.20	0.10	0.05	0.025	0.012
Arenado													
Aserrado													
Brochado													
Bruñido													
Cepillado													
Cizallado													
Corte con soplete													
Corte electroquímico													
Corte láser													
Electroerosión													
Estampado													
Esmerilado													
Extrusión													
Forjado													
Fresado													
Fundición a cera perdida													
Fundición a presión													
Fundición en arena													
Fundición en coquilla													
Granallado													
Laminado en caliente													
Laminado en frío													
Lapidado													
Limado													
Mandrillado													
Mortajado													
Oxicorte													
Pulido													
Recalcado													
Rectificado													
Superacabado													
Taladrado													
Torneado													
Trefilado													
	Aplicación frecuente						Aplicación menos frecuente						

EFECTO SOBRE LOS MATERIALES

Operación de mecanizado

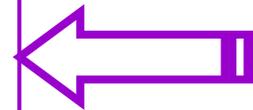


Energía de deformación para formar una viruta



Fuerte desprendimiento de calor

Bruscos aumentos locales de temperatura en la intercara pieza-herramienta



Acumulaciones de calor

80% viruta
+
~20% pieza-herramienta



Velocidades de deformación

Grandes deformaciones plásticas

Problemas especialmente graves en **polímeros** y **cerámicos** en virtud de su baja conductividad térmica

EFECTO SOBRE LOS MATERIALES

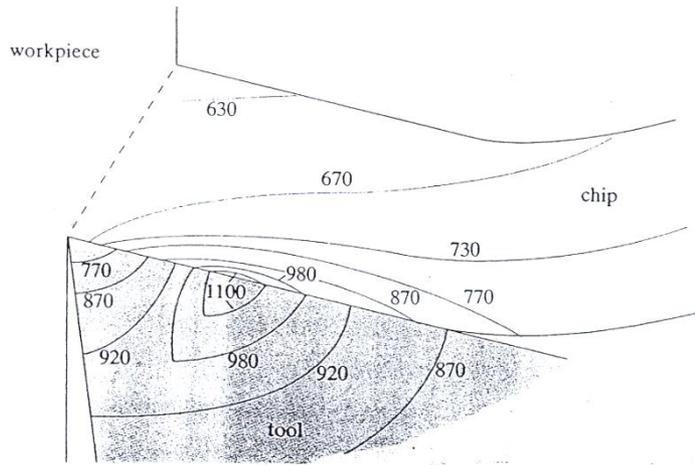


Figura 10.5. Distribución térmica en el contacto pieza-herramienta (K)

A mayor velocidad de corte o mayor dureza del material → mayores valores de temperatura

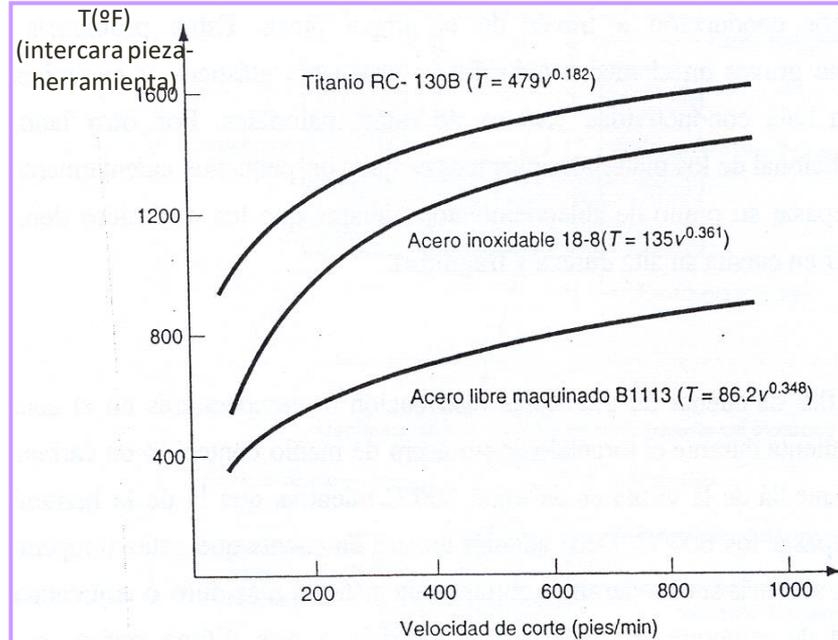


Figura 10.6. Relación entre la velocidad de corte (pies/min) y la temperatura en la intercara herramienta/viruta (°F).

Uso de fluidos de corte: disminuyen la fricción y reducen el aumento de la temperatura en la zona de corte → **aumento de la vida de la herramienta, mejora el acabado superficial de la pieza**

HERRAMIENTAS DE CORTE

↑ Productividad ↑ Velocidad de Corte



Herramientas capaces de realizar el corte a temperaturas cada vez mayores



Materiales que mantengan su dureza y rigidez a altas temperaturas

Propiedades que se requieren a la hora de seleccionar los materiales más adecuados para fabricar herramientas de corte son:

- -Dureza: Especialmente a altas temperaturas
- -Resistencia al desgaste: Para aumentar la vida de la herramienta
- -Tenacidad: Para evitar su fractura en sobrecargas súbitas

HERRAMIENTAS DE CORTE

Aceros rápidos

Limitan la pérdida de dureza a altas temperaturas

Importante proporción de elementos carburígenos (Ej. : 1%C-18%W-4%Cr-1%V)

Carburos cementados, cerments o widias:

Utilizan como aglomerante cobalto (3-12%)

2000-3000HV

HERRAMIENTAS DE CORTE

Cerámicas: Al_2O_3 Si_3N_4

Duras, rígidas y con buena resistencia al calor

Frágiles y de conductividad térmica baja

Diamante

Material más duro y de mayor conductividad térmica

8000HV

Nitruro cúbico de boro

Producto sintético

4000-5000HV

MAQUINABILIDAD

Puede medirse:

- Por el número de piezas que es posible mecanizar por unidad de tiempo
- Por el coste de mecanizar un componente
- Por la calidad superficial final obtenida

Facilidad de mecanizar un material

MAQUINABILIDAD

Depende de los siguientes factores:

- Vida de la herramienta (volumen de material mecanizado por una herramienta, trabajando en condiciones estandarizadas hasta su deterioro)
- Máxima velocidad de arranque de material permitida
- Fuerza y potencia requeridas para ejecutar el corte
- Acabado superficial logrado
- Forma de la viruta (preferibles cortas)

MAQUINABILIDAD

La dureza es una de las propiedades del material que más influyen en su maquinabilidad

Material	Dureza Brinell	Índice de maquinabilidad ^a	Material	Dureza Brinell	Índice de maquinabilidad ^a
Acero base: B1112	180-220	1.00	Acero de herramienta (no endurecido)	200-250	0.30
Acero al bajo carbono C1008, C1010, C1015	130-170	0.50	Fundición de hierro Suave	60	0.70
Acero al medio carbono C1020, C1025, C1030	140-210	0.65	Dureza media	200	0.55
Acero al alto carbono C1040, C1045, C1050	180-230	0.55	Duro	230	0.40
Acero aleado ^b 1320, 1330, 3130, 3140	170-230	0.55	Superalcaciones Inconel	240-260	0.30
4130	180-200	0.65	Inconel X	350-370	0.15
4140	190-210	0.55	Waspalloy	250-280	0.12
4340	200-230	0.45	Titanio Puro	160	0.30
4340 (fundición)	250-300	0.25	Aleaciones	220-280	0.20
6120, 6130, 6140	180-230	0.50	Aluminio 2-S, 11-S, 17-S	Suave	5.00 ^c
8620, 8630	190-200	0.60	Aleaciones de aluminio (suaves)	Suave	2.00 ^d
B1113	170-220	1.35	Aleaciones de aluminio (duras)	Duro	1.25 ^d
Acero de libre maquinado	160-220	1.50	Cobre	Suave	0.60
Acero inoxidable 301, 302	170-190	0.50	Latón	Suave	2.00 ^d
34	160-170	0.40	Bronce	Suave	0.65 ^d
316, 317	190-200	0.35			
403	190-210	0.55			
416	190-210	0.90			

Los valores son promedios estimados basados en [1], [2], [3], [6] y otras fuentes. Los índices representan velocidades de corte para una vida determinada de la herramienta

^a Los índice de maquinabilidad se expresan frecuentemente en porcentaje (número índice x 100%)

^b Nuestra lista de aceros aleados no es muy completa. Hemos tratado de incluir algunas de las aleaciones más comunes y de indicar el rango de índices de maquinabilidad entre estos aceros.

^c La maquinabilidad del aluminio varía ampliamente. Se expresa aquí como IM = 5.00, pero el rango probablemente va de 3.00 a 10.00 o más.

^d Las aleaciones de aluminio, bronce y latones varían también significativamente en el rendimiento del maquinado. Diferentes grados tienen diferentes índices de maquinabilidad. En cada caso hemos tratado de reducir la variación a un solo valor promedio para indicar el desempeño relativo con otros materiales de trabajo.

Se define un índice relativo de maquinabilidad (IM) que tiene cierta relación con la dureza del producto

Tabla 10.1 Dureza Brinell e índices de maquinabilidad de materiales seleccionados

MAQUINABILIDAD

La **microestructura** también tiene una notable influencia en la maquinabilidad

A los aceros de alta maquinabilidad se les añade **S y Mn**(Azufre y Manganeso) para formar MnS (Sulfuro Manganeso) y **Pb** (plomo) (aparece en estado libre al ser un metal insoluble) con el propósito de romper la viruta y facilitar y mejorar el corte.

Esto permite aumentar la velocidad de corte hasta un 100% en relación al mismo acero de bajo S o sin Pb

Estos aceros se utilizan para la producción masiva de componentes que se mecanizan en máquinas automáticas