



TECNOLOGÍA

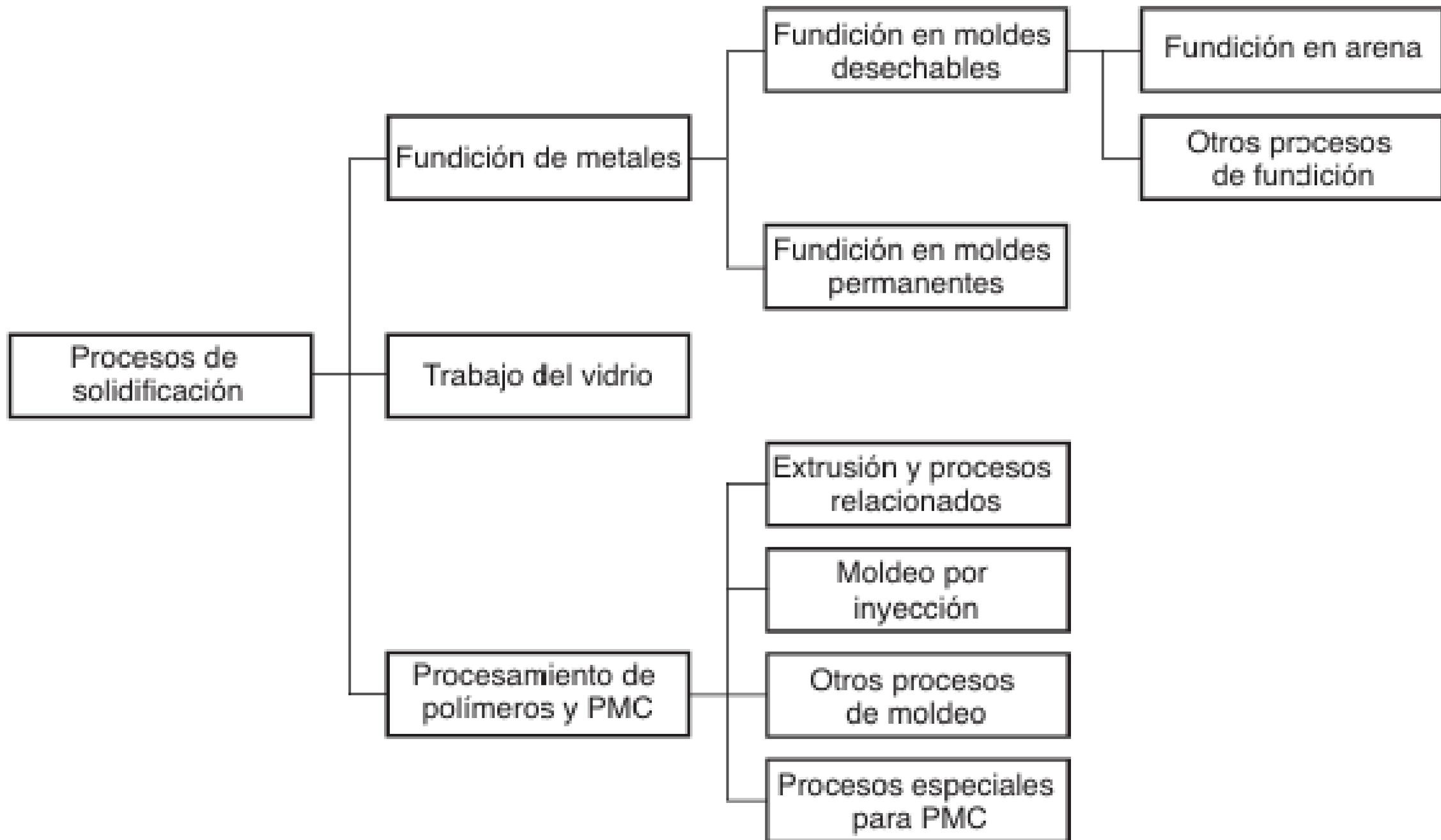
Soluciones e

**IMPLEMENTACIÓN**



A thick black L-shaped frame surrounds the text. The top horizontal bar is on the left, the left vertical bar is on the left, and the bottom horizontal bar is on the right, with a vertical bar on the right side.

PROCESOS DE  
**SOLIDIFICACIÓN**



# Fundamentos de FUNDICIÓN

Proceso de manufactura donde el material de inicio se encuentra en estado líquido o condición muy plástica.

Secuencia:

- 1) Vaciar el material fundido en un molde con la forma de la pieza
- 2) Esperar a que solidifique
- 3) Retirar la pieza del molde
- 4) Postproceso\*



# Fundamentos de FUNDICIÓN

## Consideraciones generales:

- Flujo de material
- Diseño en sistemas de alimentación
- Tiempo de solidificación
- Materiales de la pieza y el molde



A close-up photograph of a metal casting mold, likely made of cast iron or steel. The mold is composed of several rectangular blocks arranged in a grid. Each block contains a large, circular, cylindrical cavity. The cavities are arranged in rows and columns. The metal surface is rough and textured, characteristic of a casting. The lighting is bright, highlighting the metallic sheen of the cavities and the grainy texture of the mold material. The text "FUNDICIÓN METÁLICA" is overlaid in white, bold, sans-serif font on the left side of the image.

**FUNDICIÓN  
METÁLICA**

# Ventajas de la **FUNDICIÓN**

- Formas complejas
- Piezas de forma neta
- Piezas de gran volumen
- Fácil masificación
- Variedad de aleaciones



# Desventajas de la **FUNDICIÓN**

- Limitación propiedades mecánicas
- Dimensionales (contracción)
- Porosidad
- Defectos superficiales

Seguridad de los operarios y medio ambiente.





# **CALENTAMIENTO, VERTIDO y FLUIDEZ**

# CALENTAMIENTO y VERTIDO

La energía calorífica que se requiere es la suma de

- 1) el calor para elevar la temperatura al punto de fusión,
- 2) el calor de fusión para convertirlo de sólido a líquido
- 3) el calor para poner el metal fundido a la temperatura deseada para verterlo.

$$H = P_v \{ C_s (T_m - T_o) + H_f + C_l (T_p - T_m) \}$$

**H** = calor total que se requiere para subir la temperatura del metal a la temperatura a que se vierte,

**J** (Btu);  $\rho$  = densidad, g/cm<sup>3</sup> (lbm/in<sup>3</sup>);

**C<sub>s</sub>** = calor específico por peso para el metal sólido, J/g-C (Btu/lbm-F);

**T<sub>m</sub>** = temperatura de fusión del metal, C (F);

**T<sub>o</sub>** = temperatura de inicio, la ambiental, por lo general, C (F);

**H<sub>f</sub>** = calor de fusión, J/g (Btu/lbm);

**C<sub>l</sub>** = calor específico por peso del metal líquido, J/g-C (Btu(lbm-F);

**T<sub>p</sub>** = temperatura de vertido, C (F);

**V** = volumen del metal que se calienta, cm<sup>3</sup> (in<sup>3</sup>).

# CALENTAMIENTO y VERTIDO

La energía calorífica que se requiere es la suma de

- 1) el calor para elevar la temperatura al punto de fusión,
- 2) el calor de fusión para convertirlo de sólido a líquido
- 3) el calor para poner el metal fundido a la temperatura deseada para verterlo.

$$H = Pv \{Cs (Tm - To) + Hf + Ci (Tp - Tm)\}$$

**Ejemplo:**

Metal puro, 1 metro cúbico.

Densidad 7,5gr/cm<sup>2</sup>

$T_p = 100^\circ C$

$T_o = 25^\circ C$

$T_m = 800^\circ C$

$C_s = 0,33 \text{ J/g}^\circ C$

$C_i = 0,29 \text{ J/g}^\circ C$

¿Cuánta energía requiere? J

# CALENTAMIENTO y VERTIDO

La energía calorífica que se requiere es la suma de

- 1) el calor para elevar la temperatura al punto de fusión,
- 2) el calor de fusión para convertirlo de sólido a líquido
- 3) el calor para poner el metal fundido a la temperatura deseada para verterlo.

$$H = Pv \{Cs (Tm - To )+ Hf +Cl (Tp -Tm )\}$$

## Ejemplo:

Metal puro, 1 metro cúbico.

Densidad 7,5gr/cm<sup>2</sup>

Tp = 100 °C

To = 25 °C

Tm = 800 °C

Cs = 0,33 J/g °C

Cl = 0,29 J/g °C

¿Cuánta energía requiere? J

$$H = (7.5)(10^6) \{0.33(800 - 25) + 160 + 0.29(100)\}$$
$$=$$
$$3335 (10^6) J$$

Su valor de cálculo es limitado y carece de las complicaciones:

El calor específico y otras propiedades térmicas del metal sólido varían con la temperatura, en especial si el metal sufre un cambio de fase durante el calentamiento.

# FLUIDEZ

Medida de la capacidad de un metal para fluir hacia un molde y llenarlo antes de solidificarse.

es el inverso de la viscosidad conforme la viscosidad se incrementa, la fluidez disminuye

Los factores que afectan la fluidez incluyen la **temperatura de vertido respecto del punto de fusión, composición del metal, la viscosidad del metal líquido y la transferencia de calor al ambiente.**

Una temperatura de vertido más elevada respecto del punto de solidificación del metal aumenta el tiempo que permanece en estado líquido, lo que permite que fluya más antes de solidificarse.

La composición también afecta la fluidez, en particular respecto al mecanismo de solidificación del metal. La mejor fluidez se obtiene con metales que se solidifican a temperatura constante



# **SOLIDIFICACIÓN y ENFRIAMIENTO**

# Consideraciones en la **SOLIDIFICACIÓN** y **ENFRIAMIENTO**

Un metal **puro** se solidifica a una temperatura constante igual a su punto de adhesión, el cual es el mismo punto de **fusión**.

La solidificación real toma tiempo, llamado **tiempo local de solidificación** del fundido, durante el cual el calor de fusión latente del metal se libera hacia el molde que lo rodea. El **tiempo total de solidificación** es aquel que transcurre entre el vertido y la solidificación completa.

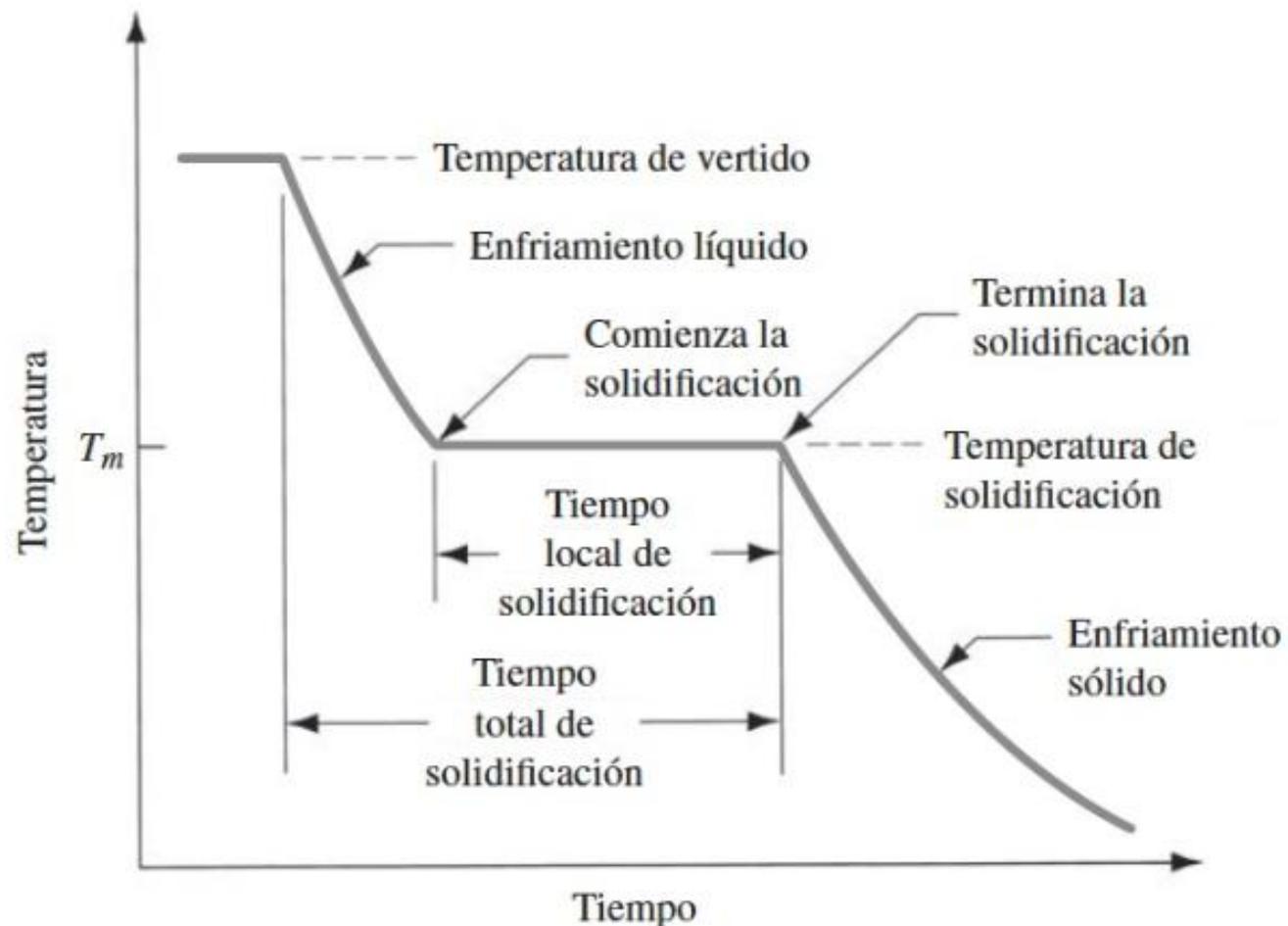
$$T_{TS} = C_m \left( \frac{V}{A} \right)^m$$

$T_{TS}$  = tiempo total de solidificación, min;

$V$  = volumen del fundido,  $\text{cm}^3$  ( $\text{in}^3$ );

$A$  = área de la superficie del fundido,  $\text{cm}^2$  ( $\text{in}^2$ );

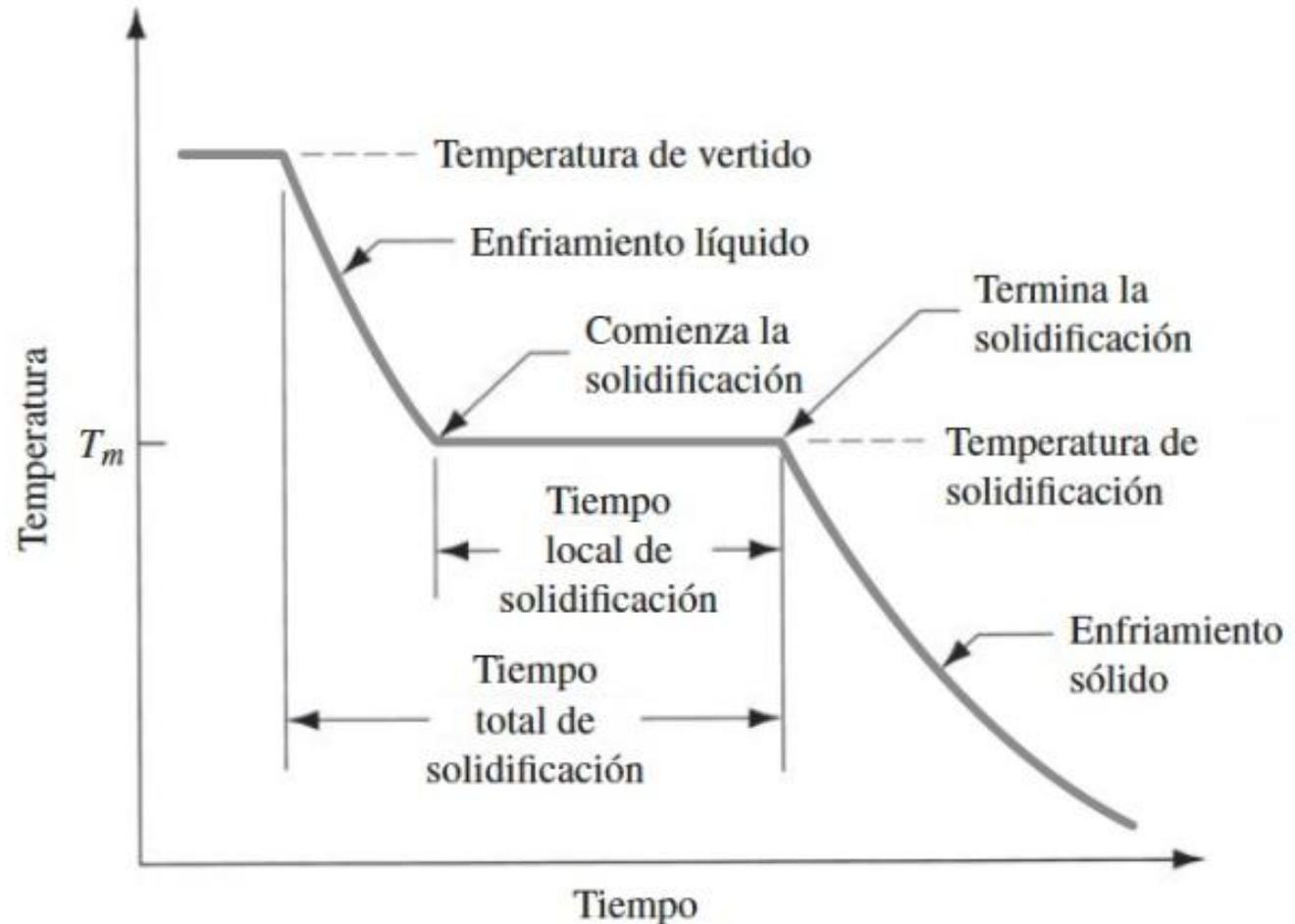
$m$  = es un exponente que por lo general se acepta que tiene un valor de 2; y  $C_m$  es la constante del molde



# Consideraciones en la **SOLIDIFICACIÓN** y **ENFRIAMIENTO**

$$T_{TS} = C_m \left( \frac{V}{A} \right)^m$$

$T_{TS}$  = tiempo total de solidificación, min;  
 $V$  = volumen del fundido,  $\text{cm}^3$  ( $\text{in}^3$ );  
 $A$  = área de la superficie del fundido,  $\text{cm}^2$  ( $\text{in}^2$ );  
 $m$  = es un exponente que por lo general se acepta que tiene un valor de 2; y  $C_m$  es la constante del molde



Usamos la ley de Chvorinov:

$$t_s = C \left( \frac{V}{A} \right)^2$$

Donde:

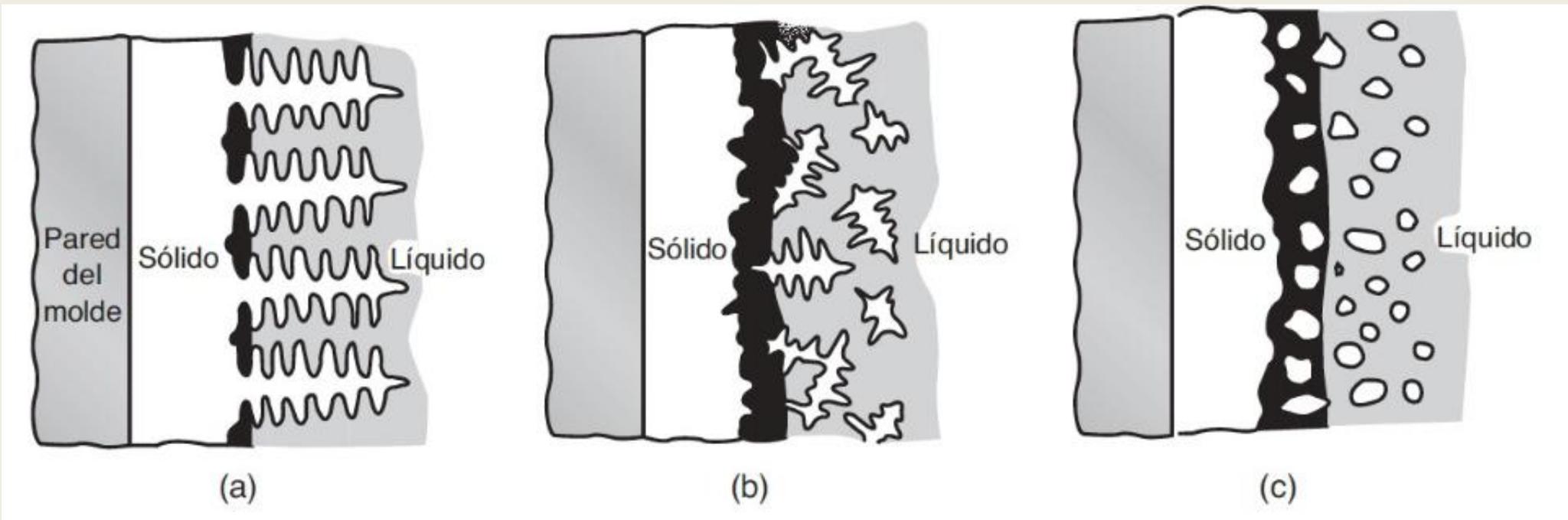
- $V = 900 \text{ cm}^3$
- $A = 600 \text{ cm}^2$
- $C = 4.0 \text{ s/cm}^2$

$$t_s = 4.0 \left( \frac{900}{600} \right)^2 = 4.0 (1.5)^2 = 4.0 \times 2.25 = \boxed{9.0 \text{ segundos}}$$

El cristal metálico producido por solidificación, que se caracteriza por una estructura análoga a la de un árbol con múltiples ramas, se denomina **dendritas**

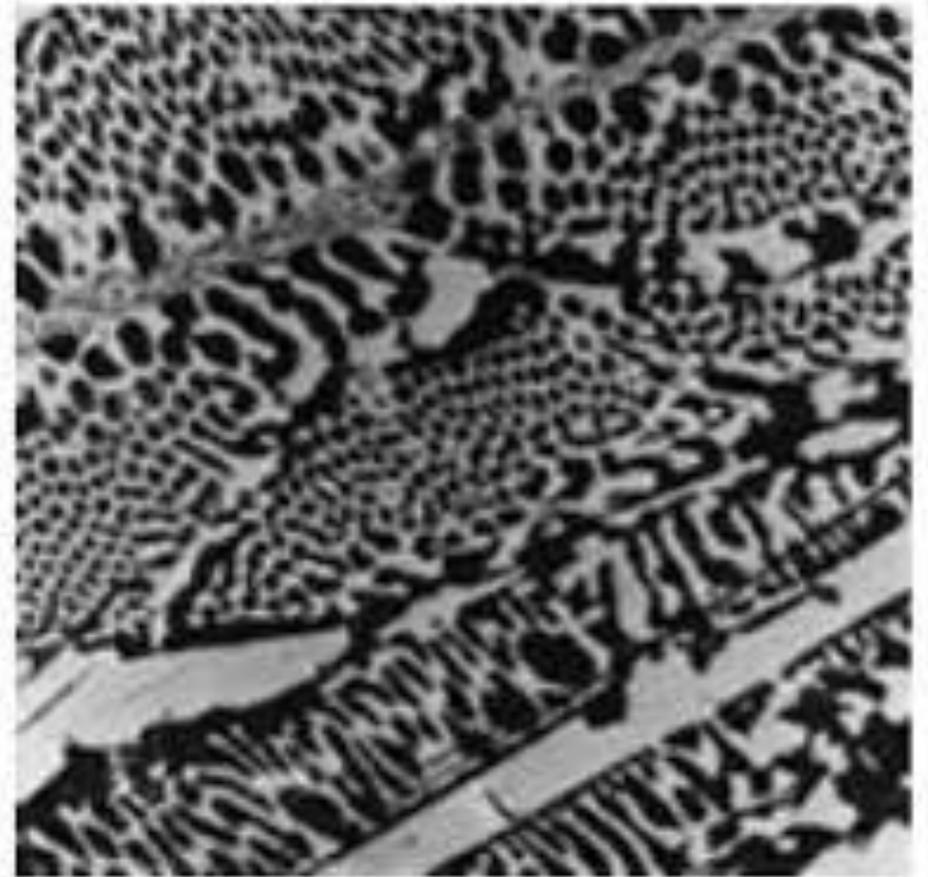
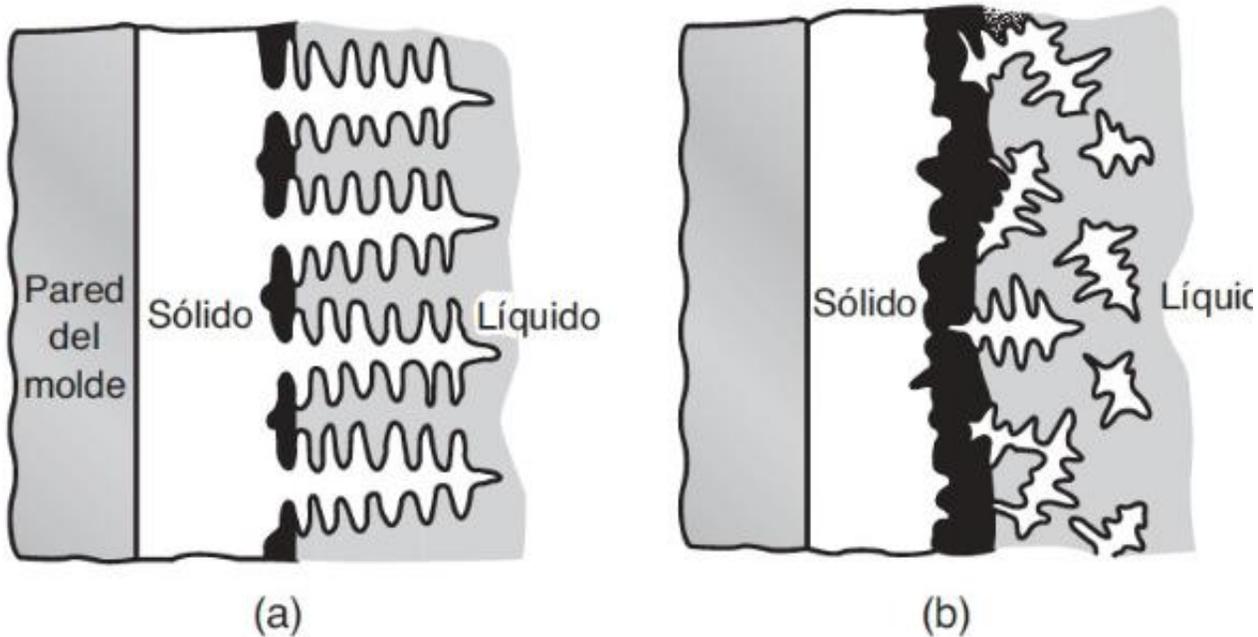
## Consideraciones en la **SOLIDIFICACIÓN** y **ENFRIAMIENTO**

- a. Dendrítica columnares
- b. Dendríticas equiaxiales
- c. No dendríticas



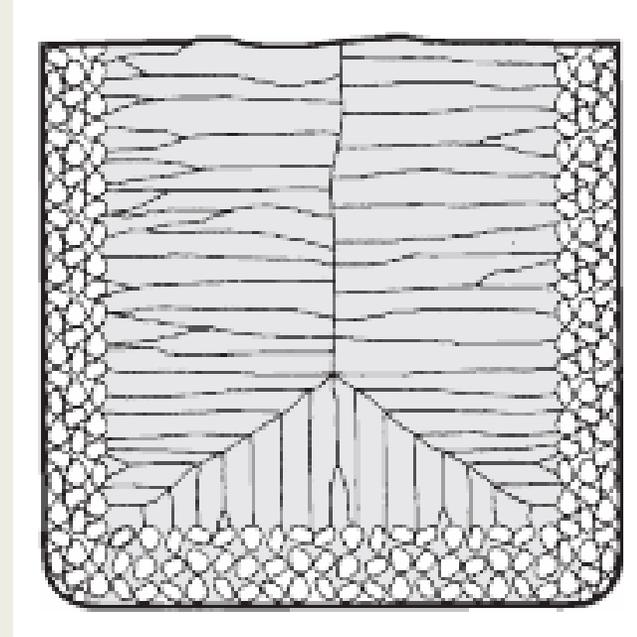
El cristal metálico producido por solidificación, que se caracteriza por una estructura análoga a la de un árbol con múltiples ramas, se denomina **dendritas**

## Consideraciones en la **SOLIDIFICACIÓN** y **ENFRIAMIENTO**



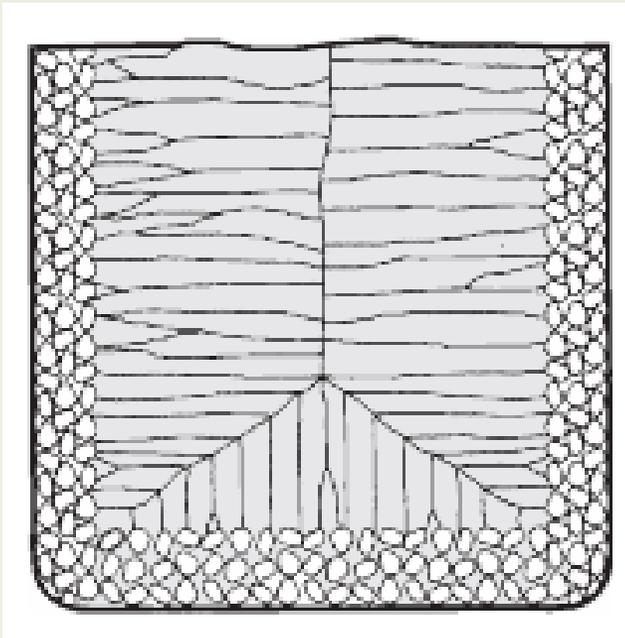
Microestructura de la fundición blanca

Debido a la acción enfriadora de la pared del molde, al principio se forma una capa delgada de metal sólido en la interfaz inmediatamente después del vertido. El espesor de esta capa se incrementa y forma una costra alrededor del metal derretido conforme la solidificación avanza hacia el centro de la cavidad. La tasa a la que la solidificación sucede depende de la transferencia de calor al molde, así como de las propiedades térmicas del metal.



Formación de granos metálicos y su crecimiento durante el proceso de solidificación. El metal que forma la capa inicial se ha enfriado con rapidez por la extracción de calor a través de la pared del molde. Esta acción de enfriamiento ocasiona que los granos de la capa sean finos, de ejes iguales y orientados al azar

Los granos que resultan de este crecimiento dendrítico adoptan una orientación preferente, tienden a ser gruesos y hay granos alargados en dirección del centro del fundido

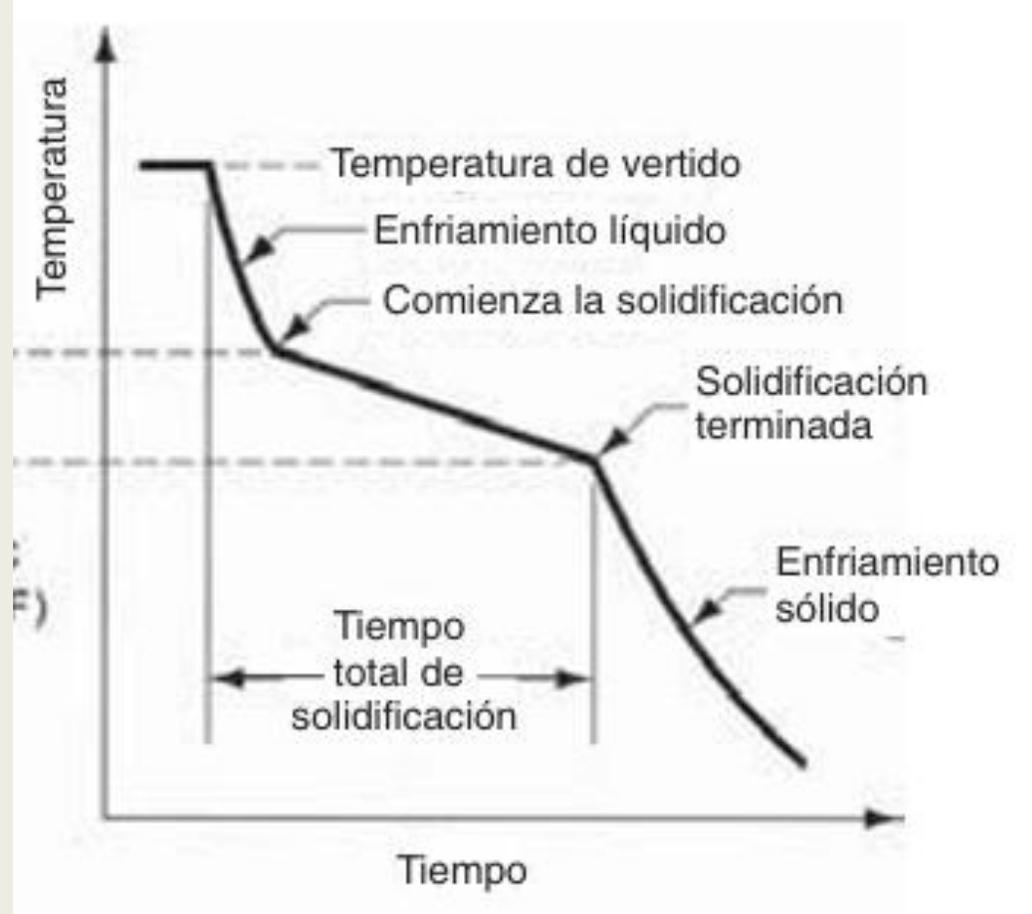
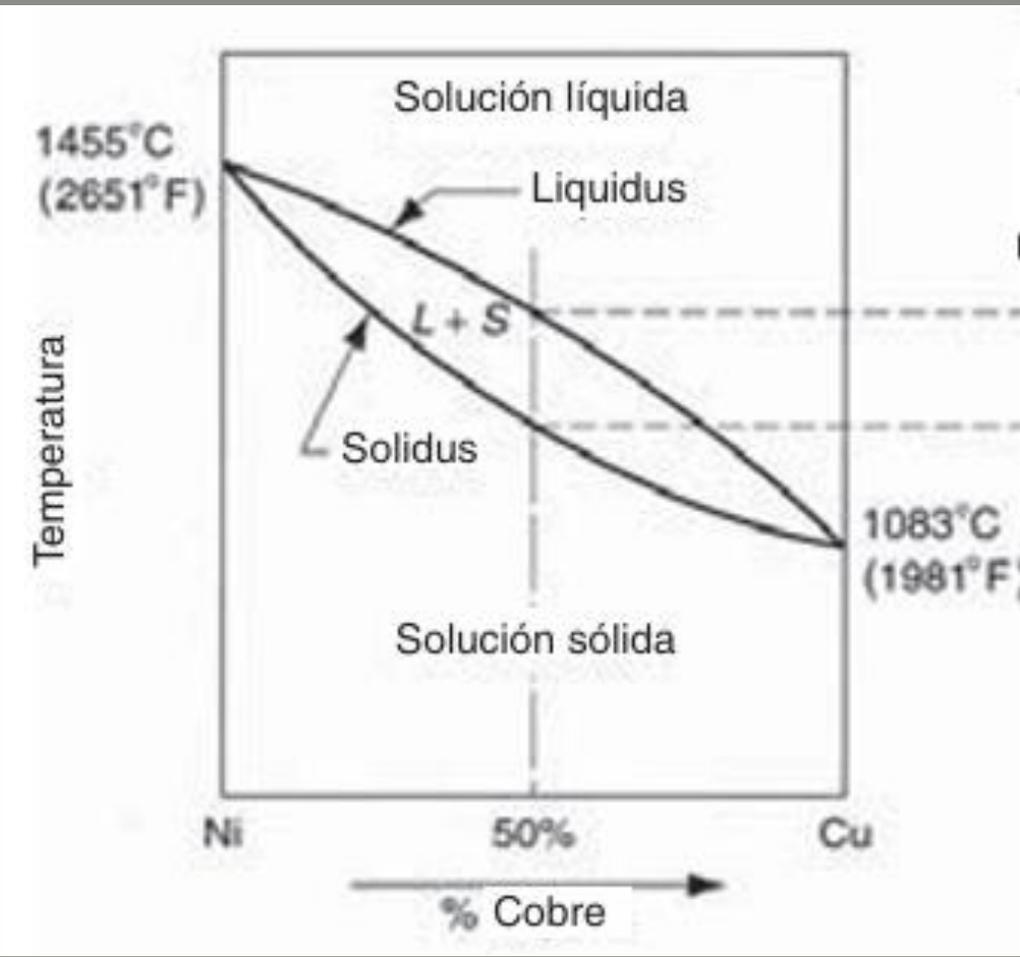


## Consideraciones en la **SOLIDIFICACIÓN** y **ENFRIAMIENTO**

Esta organización de granos confiere una mayor dureza en el centro de la pieza y más ductilidad y resistencia en su exterior.

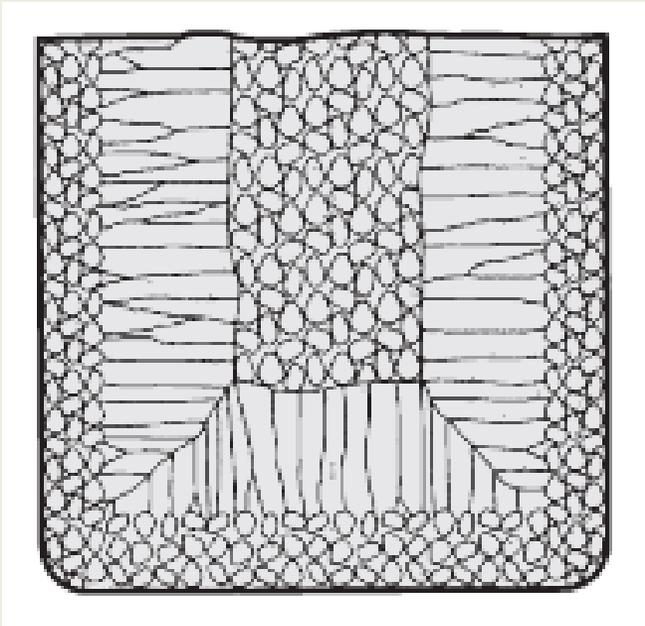
# Consideraciones en la **SOLIDIFICACIÓN** y **ENFRIAMIENTO**

En las aleaciones estos tiempos se transforman en **rangos** y el estado s sólido/líquido es diferente.



# Consideraciones en la **SOLIDIFICACIÓN** y **ENFRIAMIENTO**

La solidificación continúa y las dendritas crecen, se desbalancea la composición entre el metal que ya se solidificó y el restante que sigue derretido. Este desbalanceo en la composición se manifiesta al final, en el fundido terminado, en forma de la segregación de los elementos.



La composición química varía en todo el fundido.

Como sus regiones que se solidificaron primero (hacia fuera, cerca de las paredes del molde) son más ricas en un componente que en otro, la aleación derretida restante queda privada de él en el momento en que ocurre la solidificación en el interior

El efecto de la contracción tiene lugar durante el enfriamiento y solidificación

La contracción ocurre en tres etapas:

1. Contracción líquida durante el enfriamiento antes de la solidificación
2. Contracción durante el cambio de fase de líquida a sólida (contracción por solidificación)
3. Contracción térmica del fundido solidificado durante el enfriamiento a temperatura ambiente

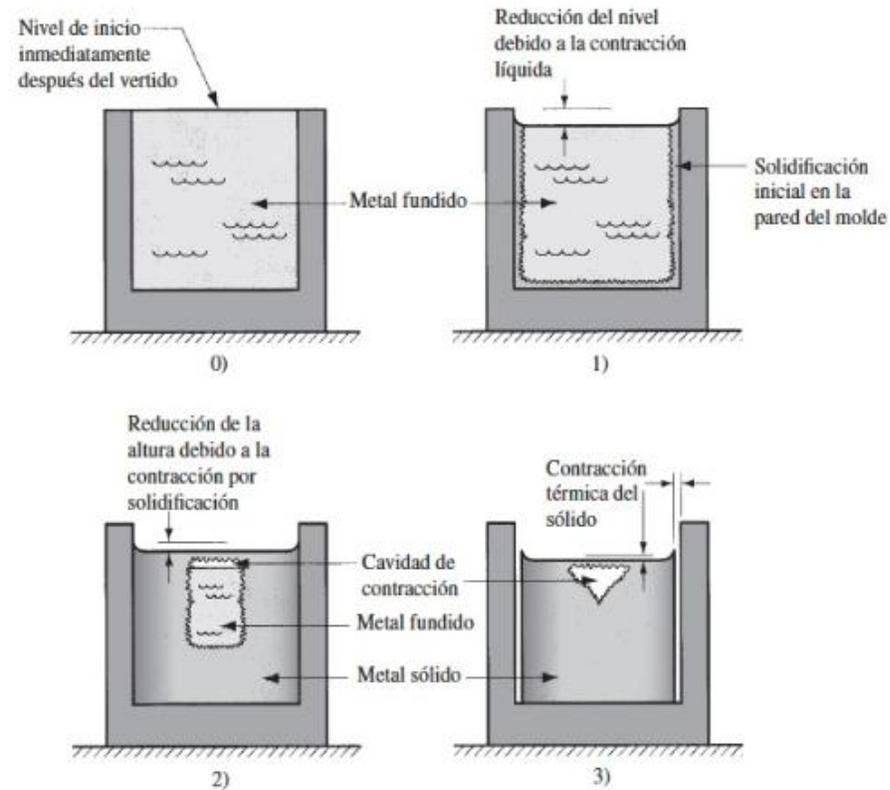


TABLA 10.1 Contracción volumétrica para distintos metales de fundición, debido a la contracción por solidificación y a la del sólido.

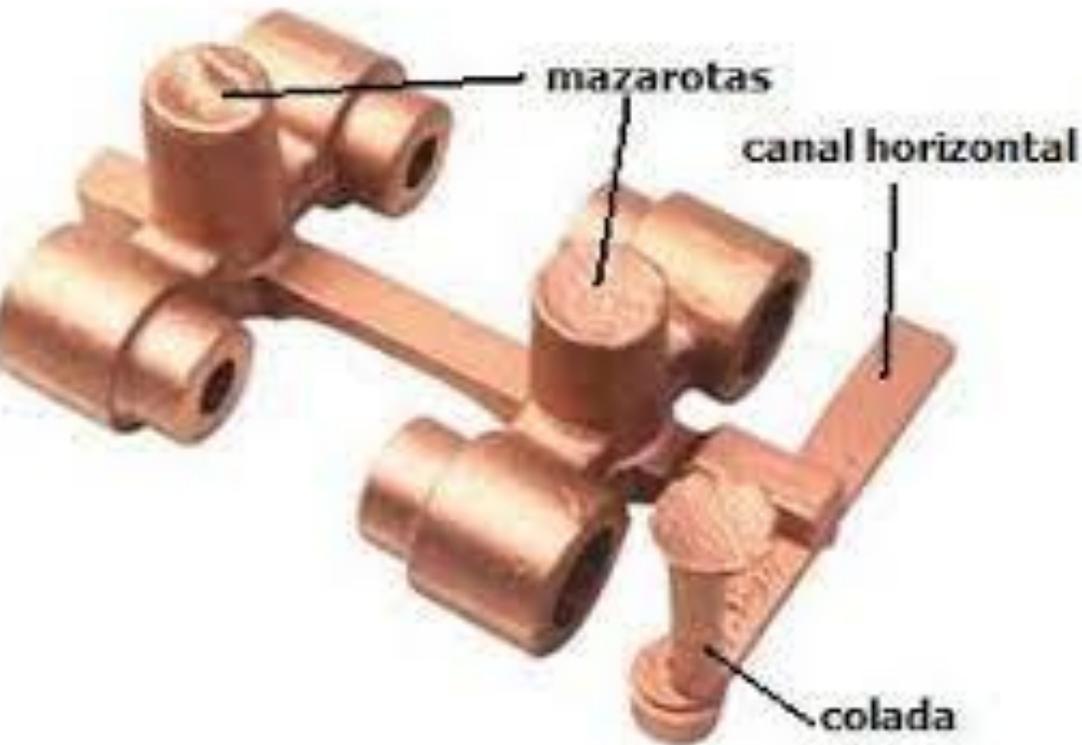
Metal	Contracción volumétrica debida a:	
	Contracción por solidificación, %	Contracción térmica del sólido, %
Aluminio	7.0	5.6
Aleación de aluminio (común)	7.0	5.0
Hierro colado gris	1.8	3.0
Hierro colado gris, alto C	0	3.0
Acero fundido al bajo C	3.0	7.2
Cobre	4.5	7.5
Bronce (Cu-Sn)	5.5	6.0

Los modelistas intervienen en la contracción por solidificación y en la térmica, porque hacen que las cavidades del molde aumenten su tamaño.

La cantidad en la que el molde debe hacerse más grande en relación con el tamaño del fundido final se denomina **tolerancia por contracción del modelo**.

**Entre 1-5% vol. T**

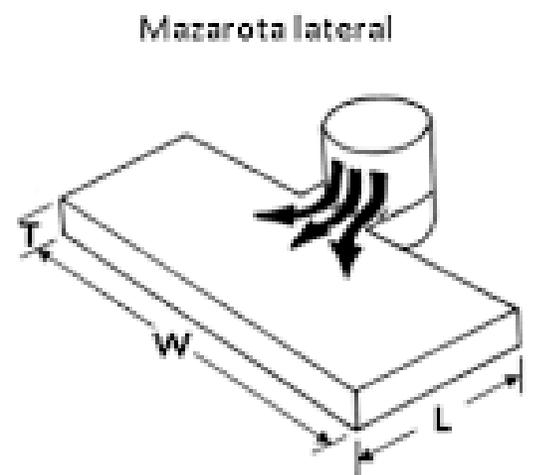
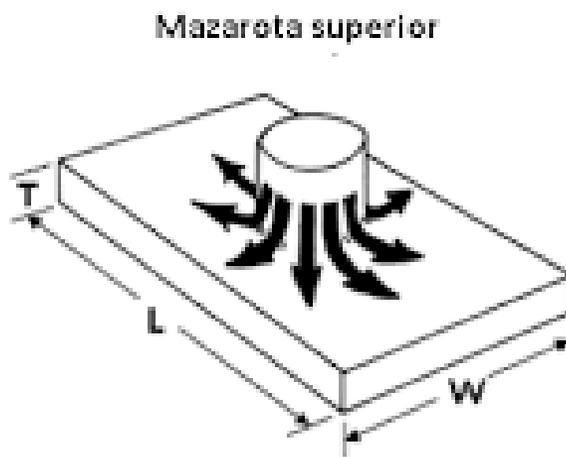
# Consideraciones en la **PIEZA**



## Mazarotas:

También llamadas *Feeders* son depósitos de metal fundido para suministro del metal fundido necesario con el objetivo de evitar porosidad superficial excesiva debido a la contracción térmica.

Dependiendo del modelo se pueden incluir una o más de estas cavidades.

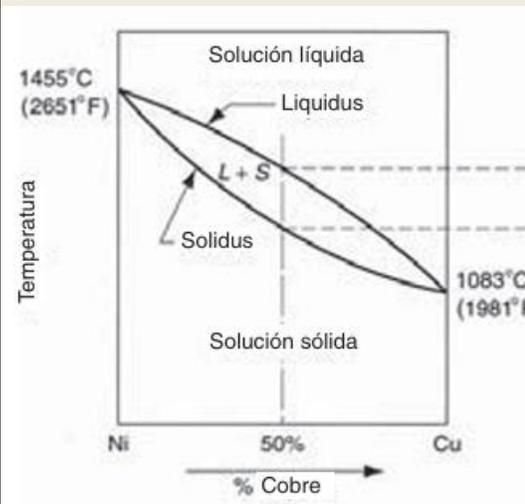


# Consideraciones en la **PIEZA**

La regla de Chvorinov indica que un fundido con una razón grande de volumen a superficie se enfriará y solidificará con más lentitud que otra con una razón menor.

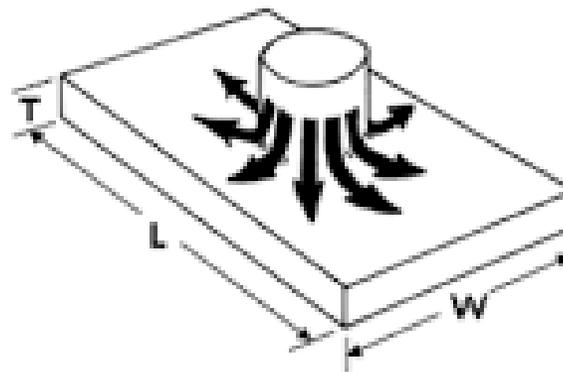
Para que desempeñe su función de alimentar el metal fundido a la cavidad principal, el metal en la mazarota debe permanecer en fase líquida más tiempo que el fundido.

$$T_{TS} = C_m \left( \frac{V}{A} \right)^n$$

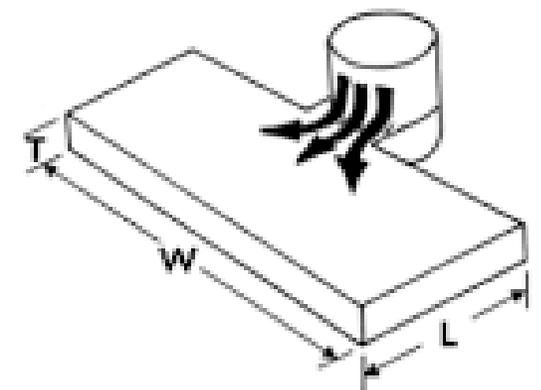


Para que funcione, la mazarota debe permanecer derretida hasta después de que el fundido se solidifica. La regla de Chvorinov se utiliza para calcular el tamaño de la mazarota que satisfará ese requerimiento

Mazarota superior



Mazarota lateral

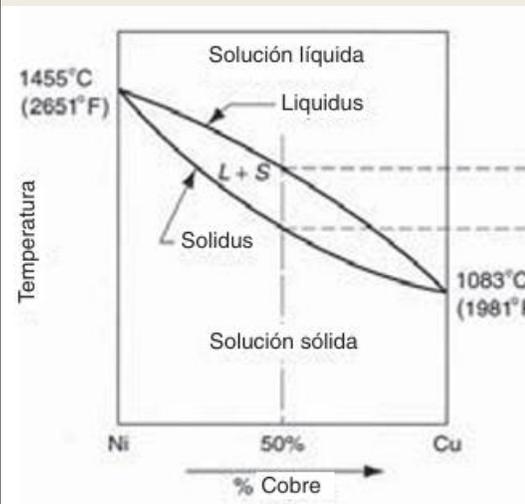


# Consideraciones en la **PIEZA**

La regla de Chvorinov indica que un fundido con una razón grande de volumen a superficie se enfriará y solidificará con más lentitud que otra con una razón menor.

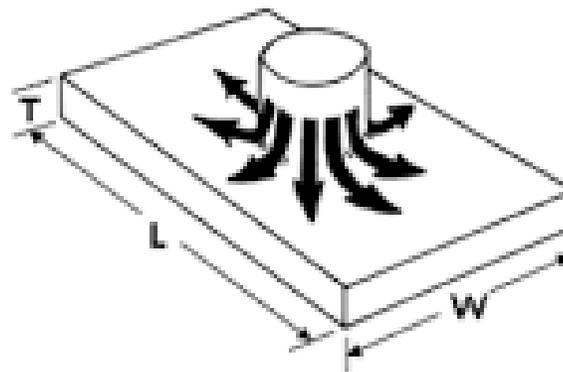
Para que desempeñe su función de alimentar el metal fundido a la cavidad principal, el metal en la mazarota debe permanecer en fase líquida más tiempo que el fundido.

$$T_{TS} = C_m \left( \frac{V}{A} \right)^n$$

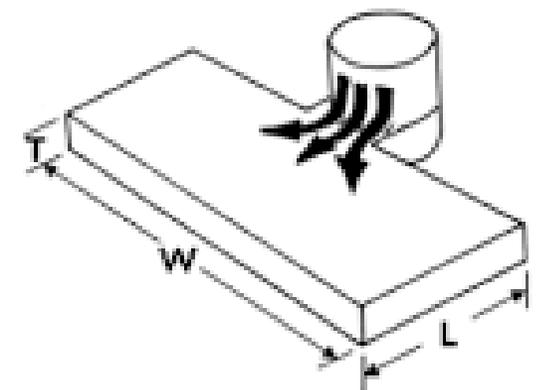


Para que funcione, la mazarota debe permanecer derretida hasta después de que el fundido se solidifica. La regla de Chvorinov se utiliza para calcular el tamaño de la mazarota que satisfará ese requerimiento

Mazarota superior



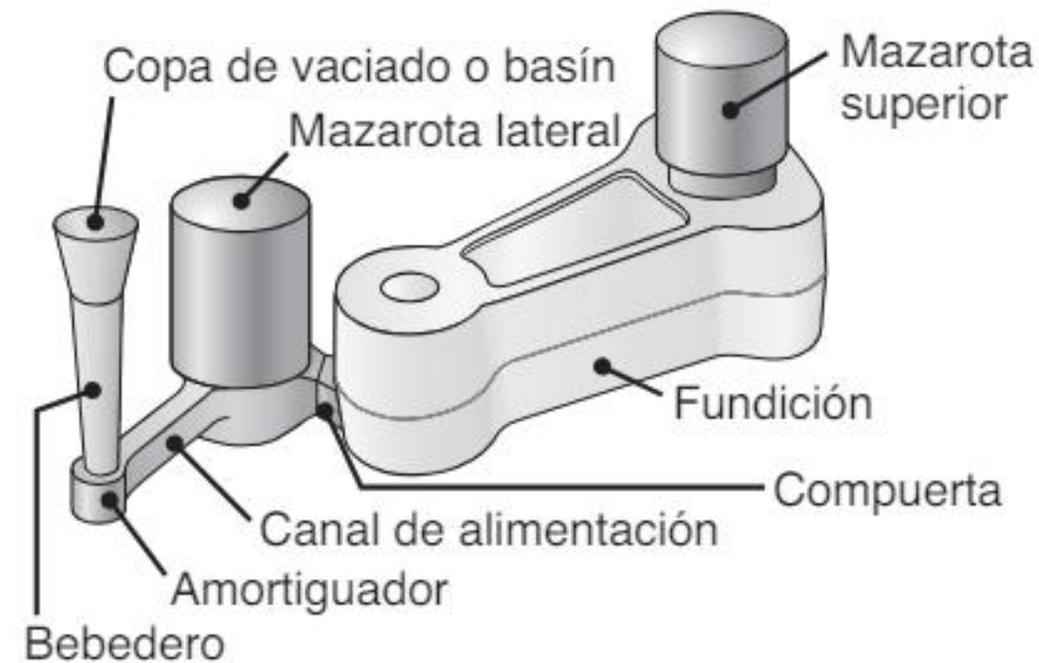
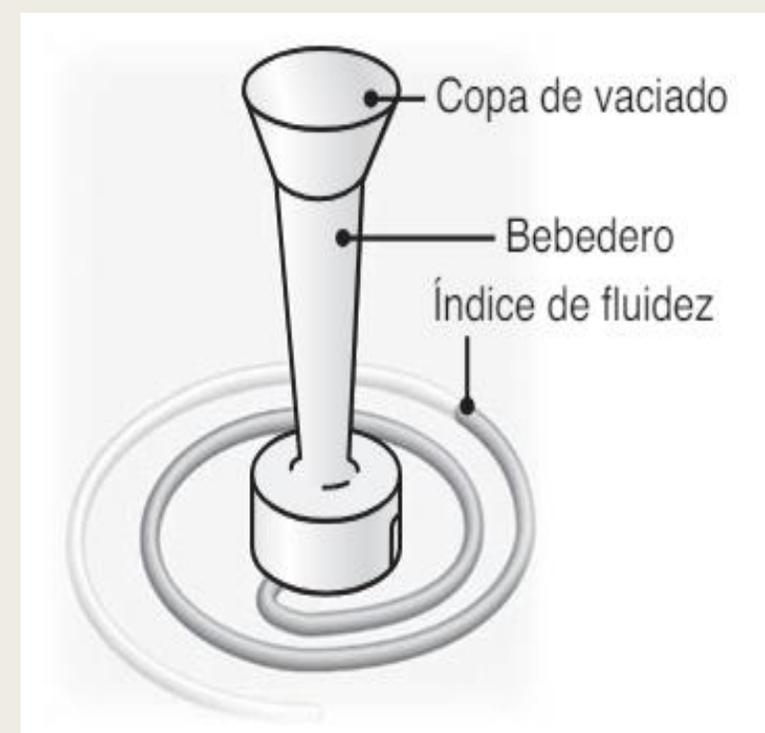
Mazarota lateral



# Consideraciones en la **PIEZA**

$$\frac{A_1}{A_2} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

La velocidad de vertido se denota por el volumen de la pieza, buscando no perder la fluidez



El diseño y las dimensiones del bebedero, de los canales de alimentación y la mazarota afectan la fluidez.

# Consideraciones en la **PIEZA**

Evitar los cambios de dirección bruscos

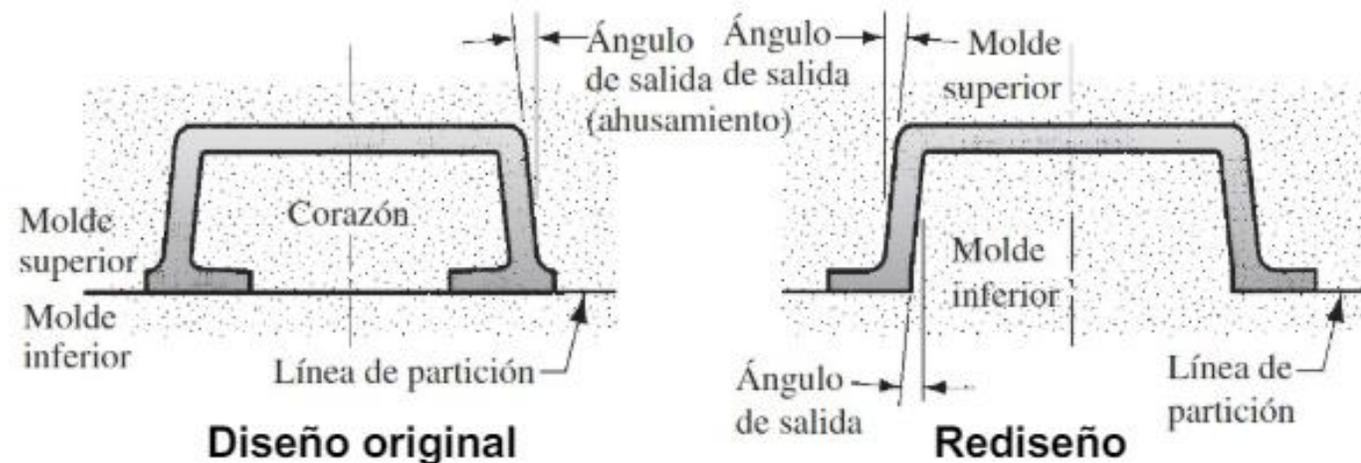
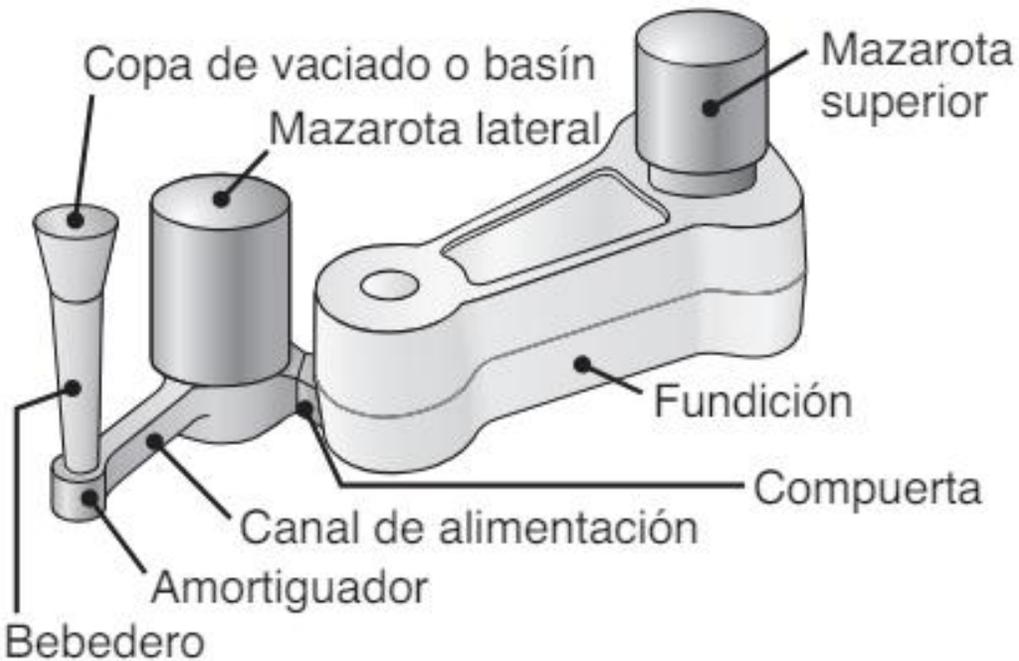
Evitar cavidades y piezas “cerradas”

Sobredimensionar

Utilizar amortiguadores de caída y presión.

Mantener aristas redondeadas

Tolerancias de ajuste y vínculo.





# **MOLDES**

Partes y consideraciones

# Clasificación de los procesos de fundición

## Fundición de molde desechable y modelo permanente

Fundición en arena

Molde en cáscara

Fundición en molde de yeso

Fundición en molde cerámico

## Fundición de molde y modelo desechable

Fundición de modelo evaporable

Fundición por revestimiento

## Fundición de molde permanente

Fundición de molde permanente

Fundición al vacío

Fundición hueca por escurrimiento

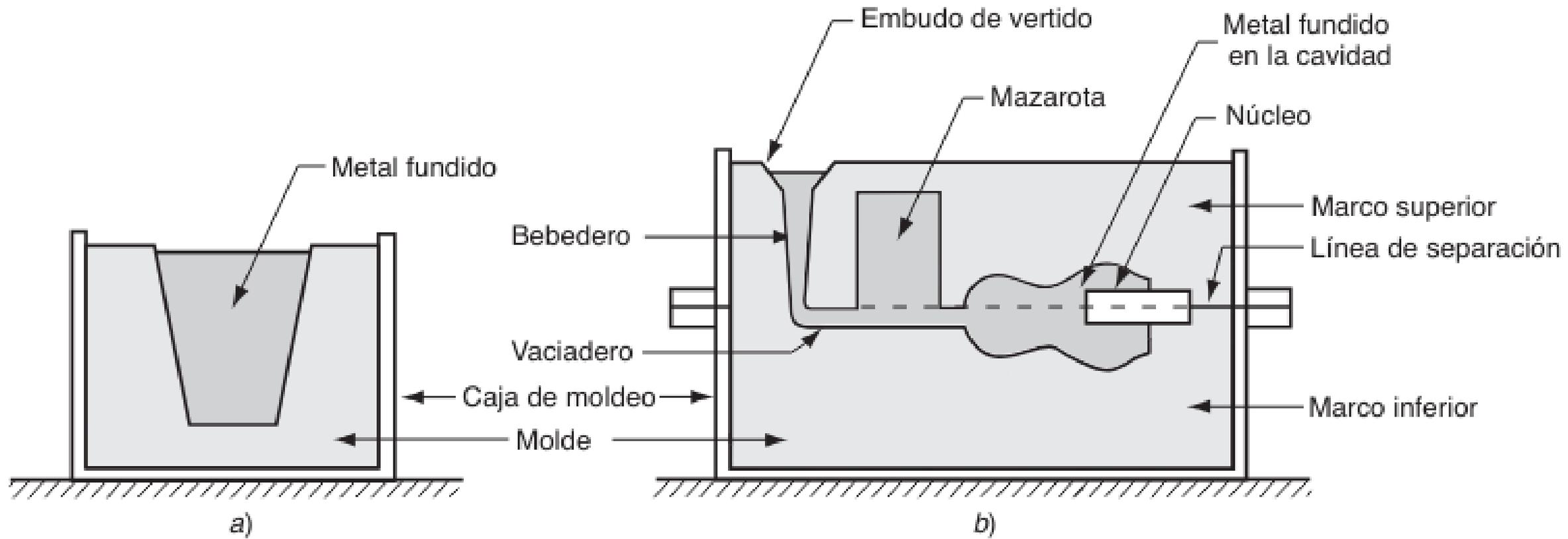
Fundición a presión

Fundición en dado

Fundición centrífuga

Fundición por dado impresor y formado de metal semisólido

Operaciones de fundición con molde compuesto



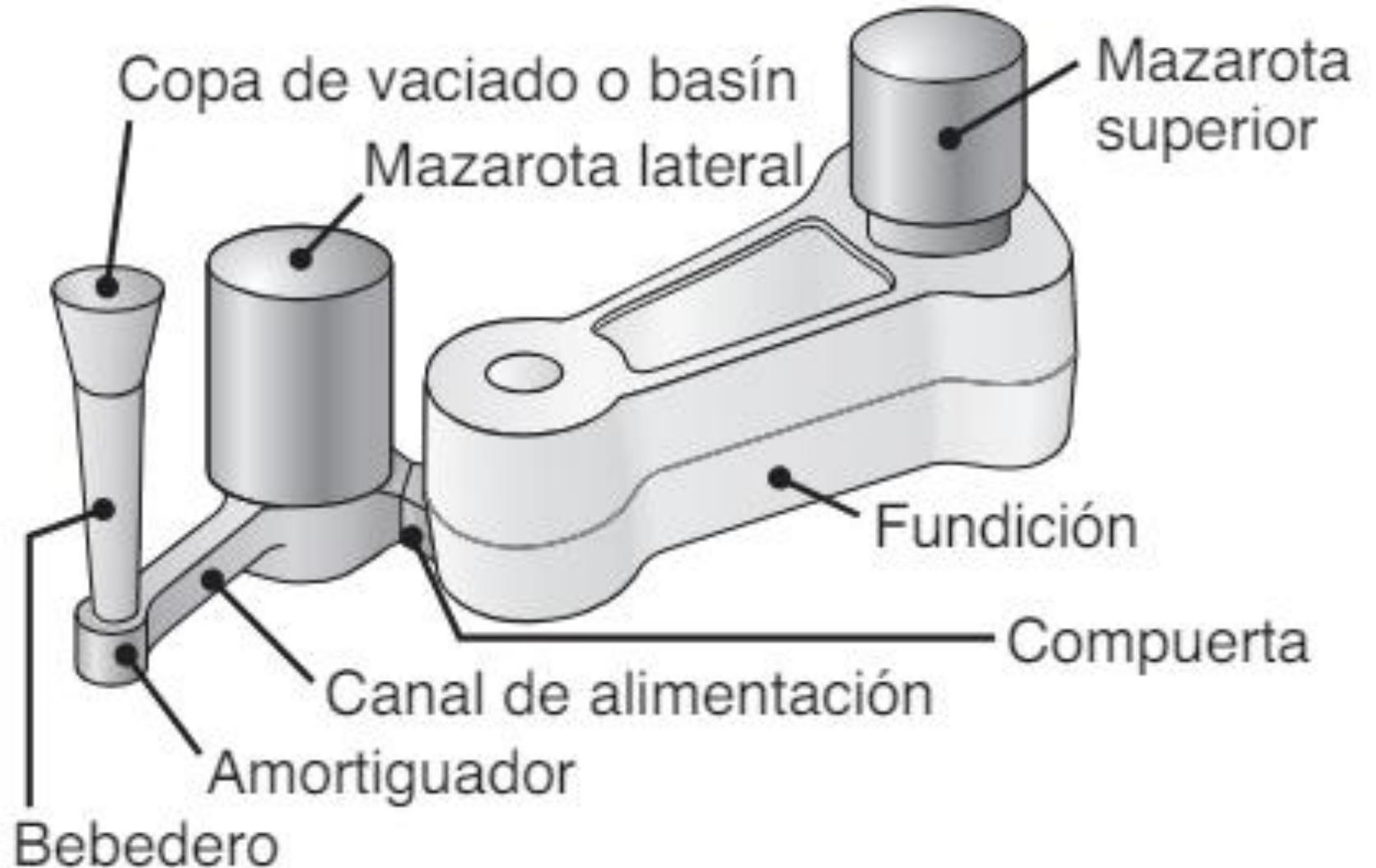
a) molde abierto es tan sólo un contenedor con la forma de la pieza que se desea

b) molde cerrado, en la que la forma del molde es más compleja y requiere un sistema de paso (pasaje) que conduzca a la cavidad.

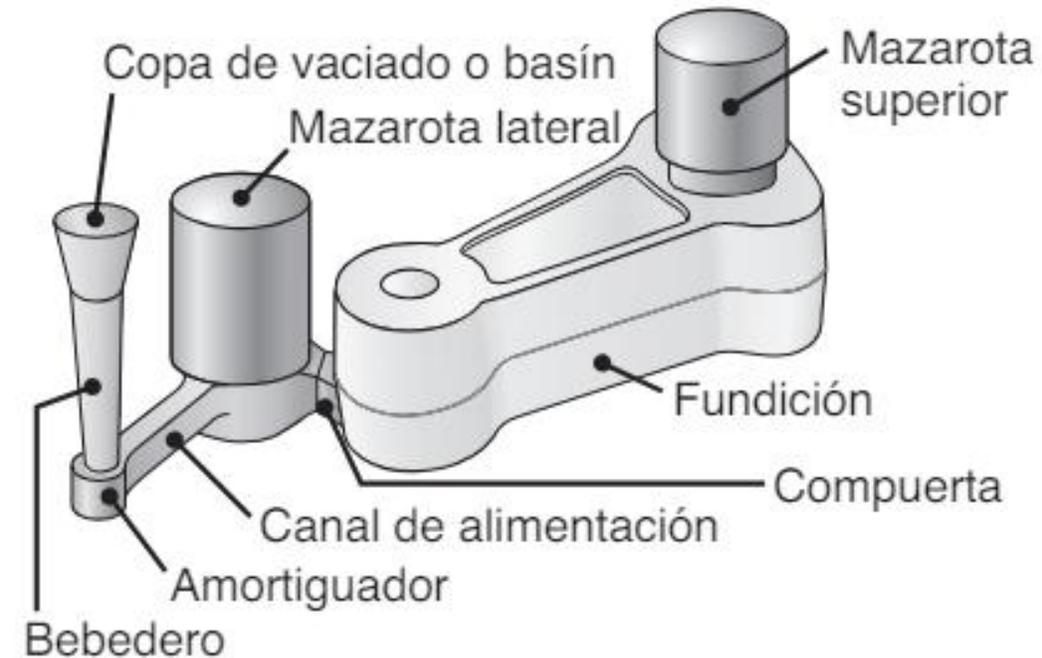
# PIEZA MOLDE CERRADO

Cuenta con todas las partes y requerimientos para la fundición y fluidez continua.

Además de un acabado superficial mejorado

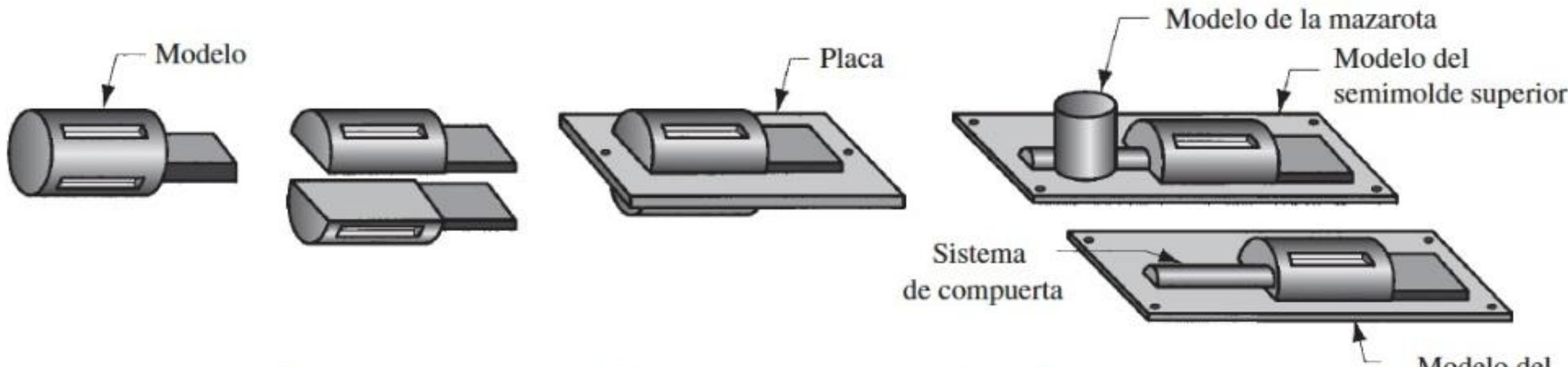


# Consideraciones en la **PIEZA**



- Ángulos de desmolde
- Ejes de partición
- Mazarotas
- Copa de vaciado y bebedero
- Canales de alimentación
- Espesores

# Evolución: Forma $\Rightarrow$ Molde



Modelo sólido

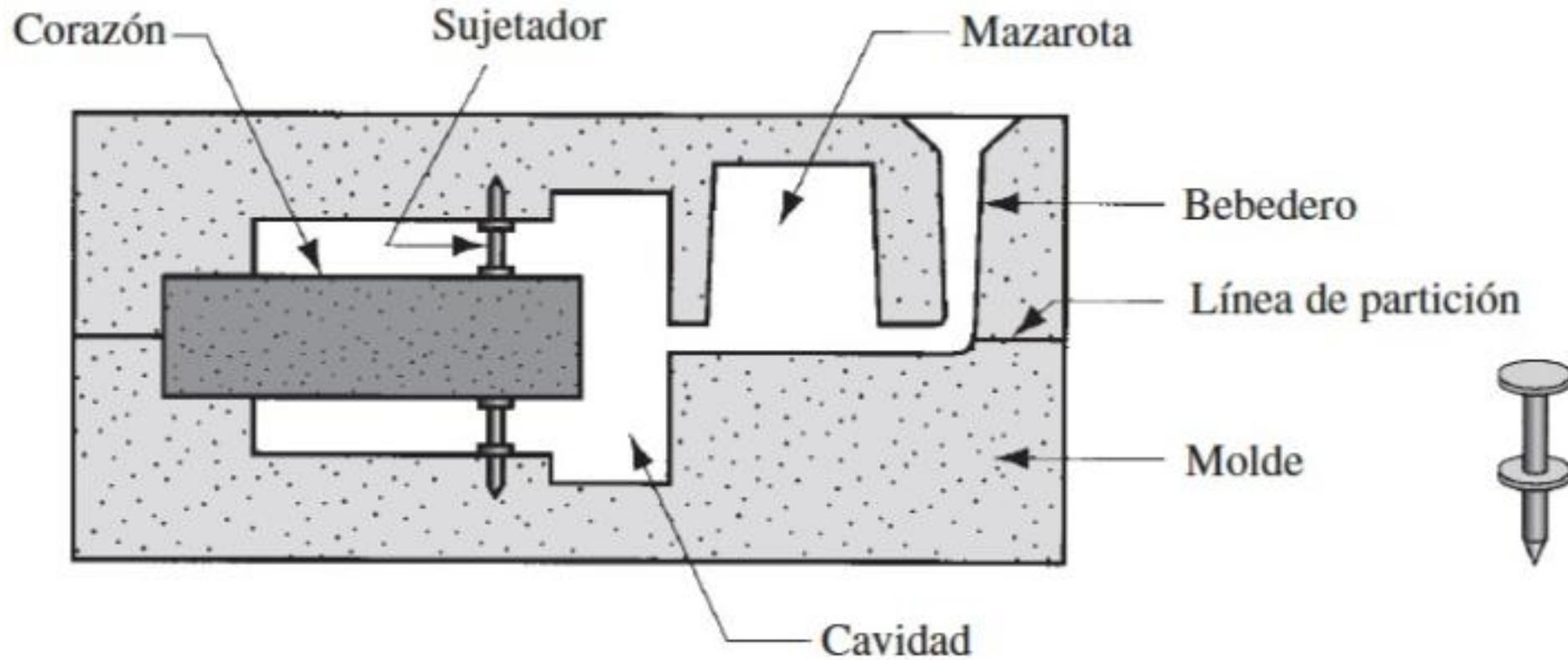
Modelo dividido

Modelo de placa

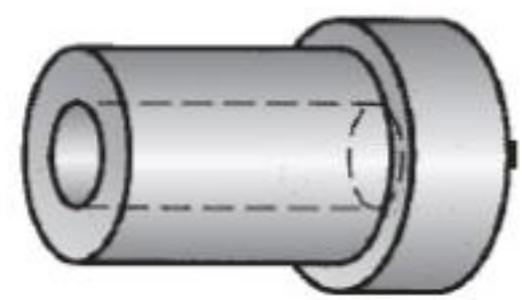
Modelo para semimoldes superior o inferior

Modelo del semimolde inferior

# Corazón dentro de la cavidad del molde



Sujetador



Fundición con cavidad interna

# Tipos de moldes para fundición.

- Tipo de material
- Rugosidad superficial y nivel de detalle
- Tolerancias
- Cantidad de unidades
- Volumen de masa

Moldes en arena

-Arena Húmeda

-Arena seca

Moldes en Cascara

Material “perdido”

-Cera perdida

-PS expandido perdido

Molde permanente.

# Defectos

**Porosidad** (burbujas o cavidades internas)  
Causada por gases atrapados o contracción.

Prevención: diseñar trayectos de enfriamiento coherentes y prever salidas de gas.

**Inclusiones** (impurezas atrapadas)  
Se debe a turbulencias en el llenado o contaminación del metal.

Prevención: geometría del canal de alimentación optimizada y materiales limpios.

**Contracción localizada**  
Puntos gruesos se enfrían lentamente y generan vacíos.

Prevención: espesores uniformes, redondeos y ubicación adecuada de mazarotas.

**Falta de llenado**  
Geometrías largas y delgadas enfrían rápido y detienen el flujo.

Prevención: aumentar fluidez (diseño del canal, temperaturas), o simplificar formas.

**Deformación o alabeo**  
Producido cuando partes delgadas se enfrían de forma desigual.

Prevención: evitar largos brazos o aletas sin refuerzo; diseñar con simetría.

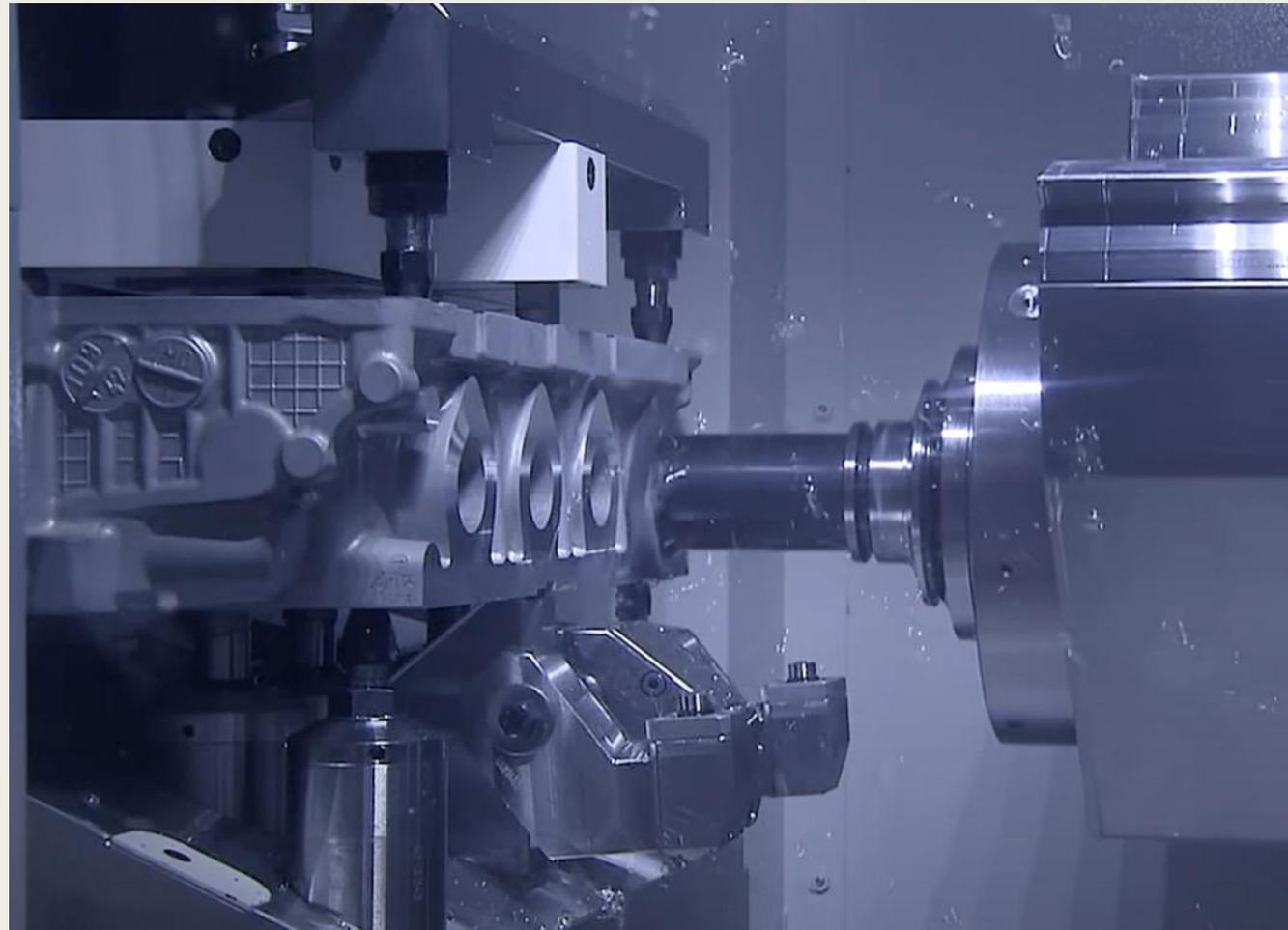
Según la pieza y sus vinculaciones puede ser requerido un post proceso, tratamiento o nueva línea de procesamiento para su correcto funcionamiento.

-Limado

-lijado y pulido

-Fresado

-Apertura de cavidades/ agujeros



# Tipos de moldes para fundición.

- Tipo de material
- Rugosidad superficial y nivel de detalle
- Tolerancias
- Cantidad de unidades
- Volumen de masa

Moldes en arena

-Arena Húmeda

-Arena seca

Moldes en Cascara

Material “perdido”

-Cera perdida

-PS expandido perdido

Molde permanente.

# Moldes en Arena

Al hacer el molde, los granos de arena se mantienen unidos por una mezcla de agua y arcilla adhesiva. Una mezcla común (en volumen) es de 90% de arena, 3% de agua y 7% de arcilla. Para mantener a la arcilla en su sitio se emplean distintos agentes adhesivos, como resinas orgánicas (por ejemplo, resinas fenólicas) y aglutinantes inorgánicos (por ejemplo, silicato de sodio y fosfato)

Para formar la cavidad del molde, el método tradicional consiste en compactar la arena alrededor del modelo en un contenedor llamado caja de moldeo



## Indicadores de calidad:

**resistencia**, conservar su forma y resistir la erosión

**permeabilidad**, permitir que pasen el aire y los gases calientes a través de la arena,

**estabilidad térmica**, resistencia ante el impacto térmico

**colapsabilidad**, facilidad de que el molde se retire y permita que el fundido se contraiga

**reutilización**

# Moldes en Arena

Un molde de arena seca está hecho con aglutinantes orgánicos en lugar de arcilla, y se cuece en un horno entre 200°-600°

Los moldes de arena seca proporcionan mejor control dimensional del producto fundido, en comparación con los de arena verde



Los moldes de **arena verde** están elaborados con una mezcla de arena, arcilla y agua; la palabra verde se refiere al hecho de que el molde contiene humedad en el momento del vertido. Los moldes de arena verde tienen resistencia suficiente para la mayoría de aplicaciones, buenas colapsabilidad, permeabilidad y posibilidades de reuso, y son los menos caros de todos los moldes

# Moldes en Arena

Moldes de 1 solo uso, se requiere un modelo o matriz para conformar al fabricar en serie.

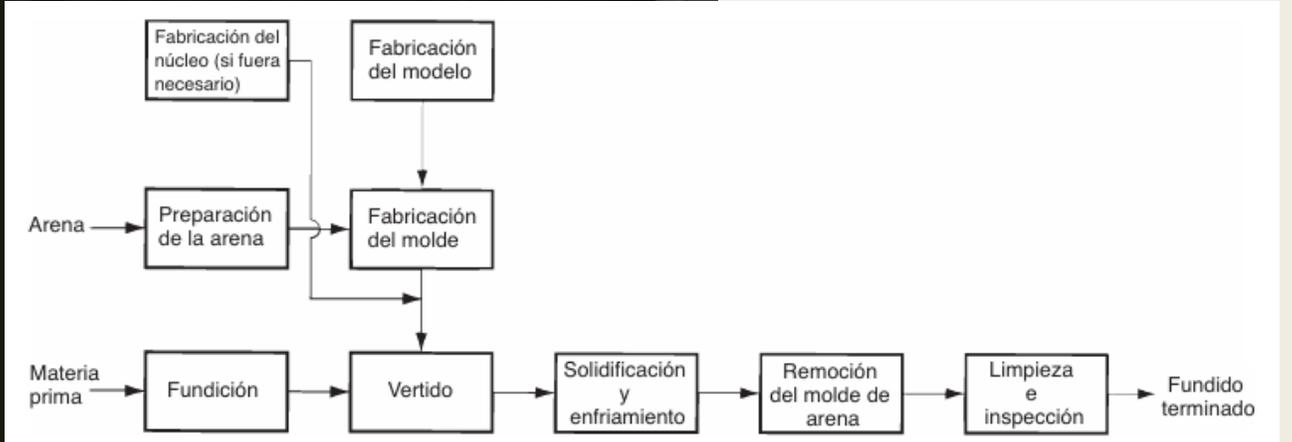
Arenas húmedas: materiales con bajo punto de fusión.

Arenas secadas en estufa u soplete: Cualquier material, mayor volumen.



Matriz de madera donde se vierte la arena.

Pieza terminada en fundición.



# Moldes en Arena

**Molde sólido:** Misma forma que pieza final. Geometría simple, fácil fabricación, ubicación de mazarotas, cavidades y partición a criterio del trabajador

**Molde deslizante:** Pieza dividida, geometría de mayor complejidad. Elementos del molde definidos por diseño.



Matriz de madera donde se vierte la arena.



Pieza terminada en fundición.

# Moldes en Arena

**Ventajas:** Gran volumen de pieza.

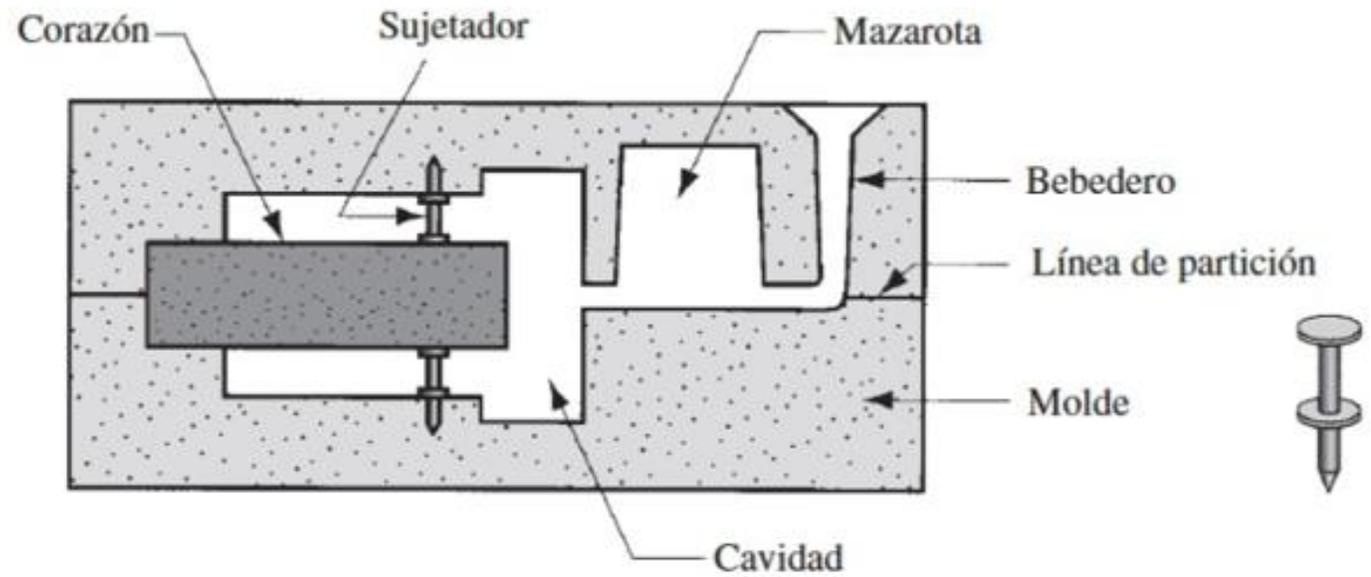
Cualquier material.

Económico y sencillo de realizar.

**Desventajas:**

Geometría simple, rugosidad muy alta (15-25 nm).

Producción en serie limitada.

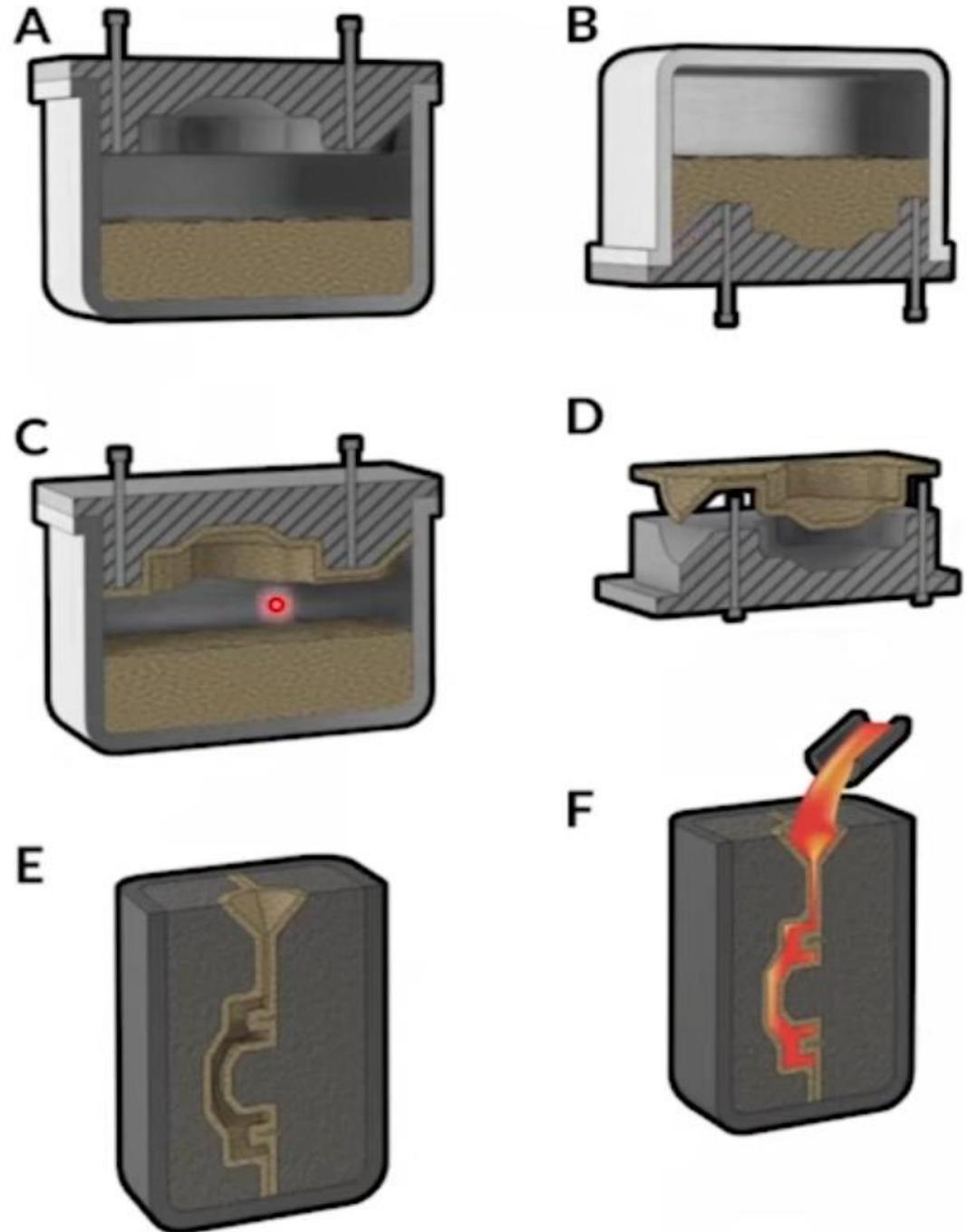


# Moldeado en cascara

Se parte de un modelo fabricado en metal que servirá para generar los moldes.

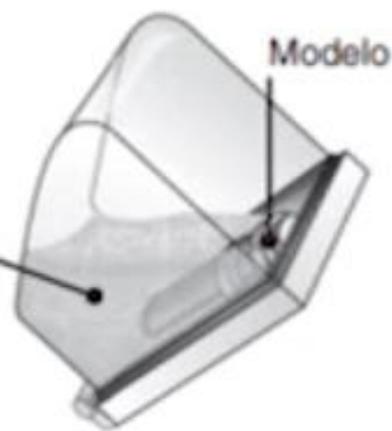
Este se calienta y se vierte una mezcla de arena y resina termoestable. Esto genera la cáscara utilizada para generar nuevas piezas.

Dicha cáscara puede romperse o utilizarse múltiples veces.

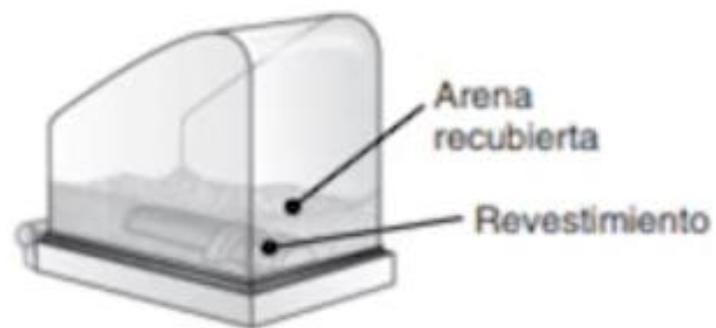




1. Modelo girado y sujeto a la caja de volteo



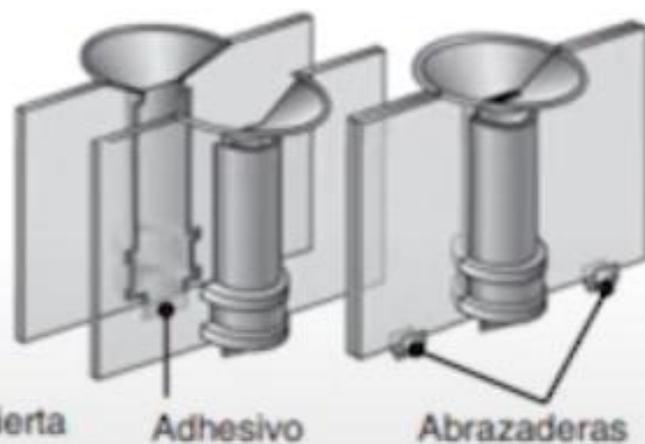
2. Modelo y caja de volteo, girados



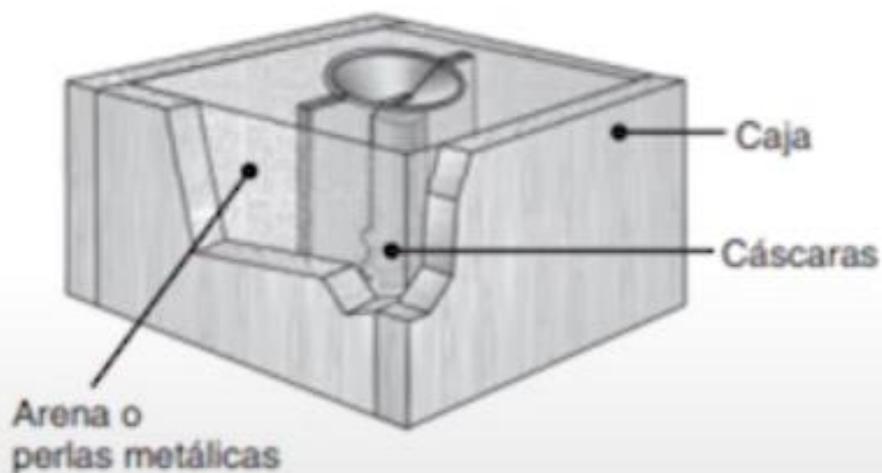
3. Modelo y caja de volteo en posición para el revestimiento



4. Modelo y cáscara retirados de la caja de volteo



5. Unión de las mitades del molde



6. Se coloca el molde en arena y se vacía el metal

# Molde por cáscara

El resultante es un molde almacenable, de fabricación rápida y seriada.



Mejora las prestaciones del moldeo en arena:

Mejor geometría

Rapidez de fabricación.

Posibles usos múltiples.

# Moldeado en cascara

Geometrías más complejas

Rugosidad similar a la arena.

Fabricación en todos los metales

Tolerancias buenas

Masa menor a 10-20kg

Facilidad de fabricación seriada.



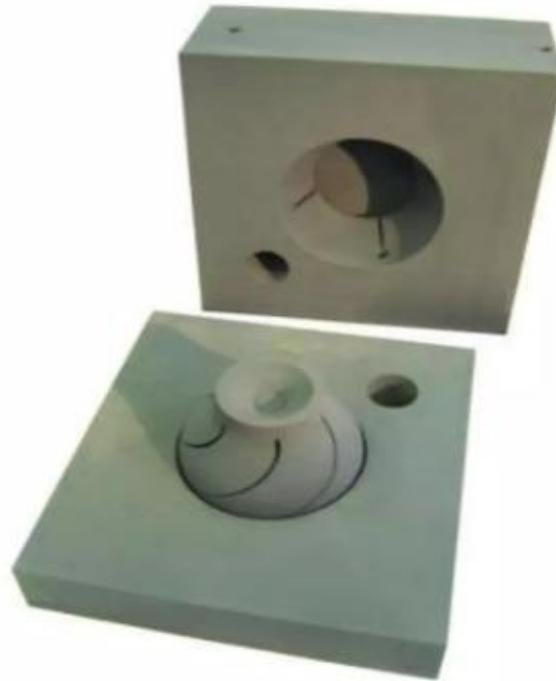
# Moldeado en Yeso

Se utiliza yeso ( $\text{CaSO} + \text{H}_2\text{O}$ )

Para la colada y generación del molde.

Presenta un mejor acabado superficial, detalle geométrico y tolerancias.

Sirve para piezas pequeñas y metales con bajo punto de fusión



Muy bueno para prototipado de moldes, pruebas o producción a baja escala.



# Moldeado en Yeso

Se utiliza yeso ( $\text{CaSO} + \text{H}_2\text{O}$ )

Se puede utilizar una cerámica de mayor resistencia:

$\text{ZrSiO}_4$  /  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$

Aumentando la masa posible de trabajo a 50kg.

Facilita la reutilización del molde.



# Molde por cera perdida

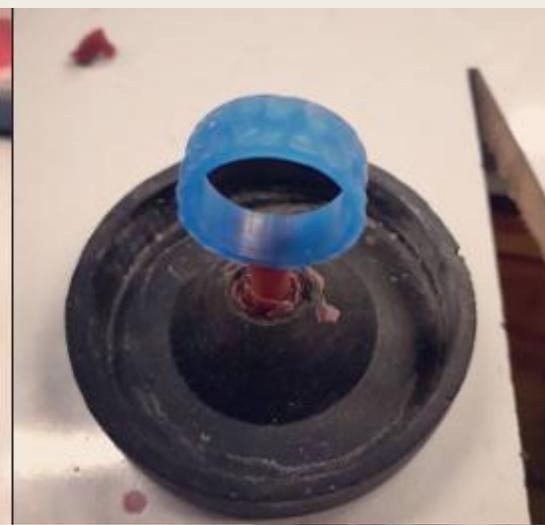


# Molde en cera perdida

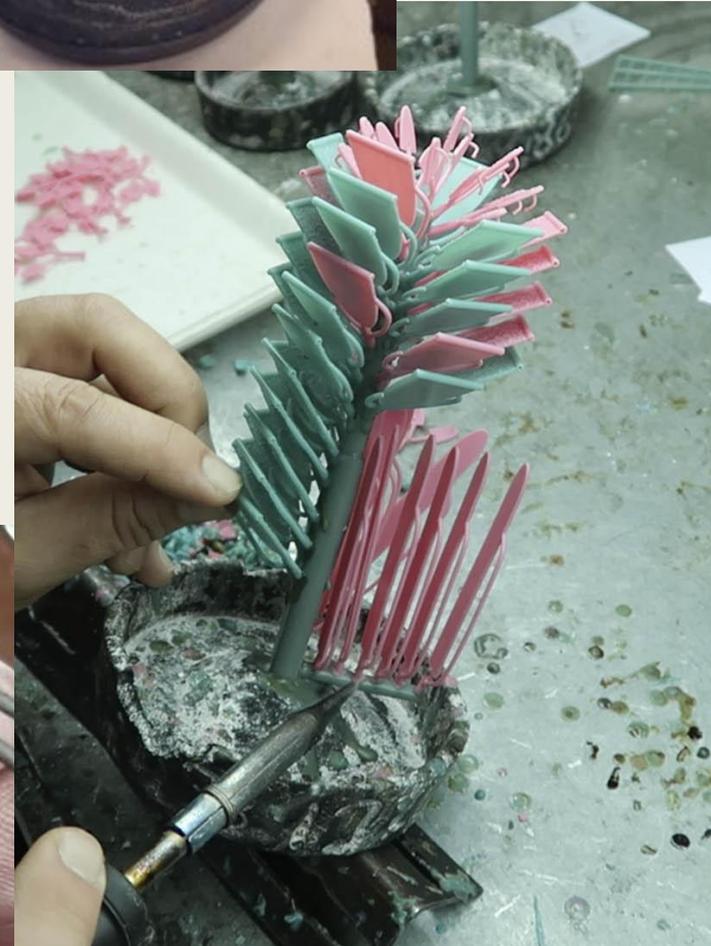
Se generan las piezas en cera para modelar, pudiéndose “tallar” y dar formas de alta complejidad.

Dichas piezas son recubiertas mediante inmersión en material refractario ( $ZrSiO_4/Al_2O_3+SiO_2$ )

Dicha cera se derrite y extrae previo a la colada del metal fundido.



Modelo generado por un artesano o mediante imp. 3D

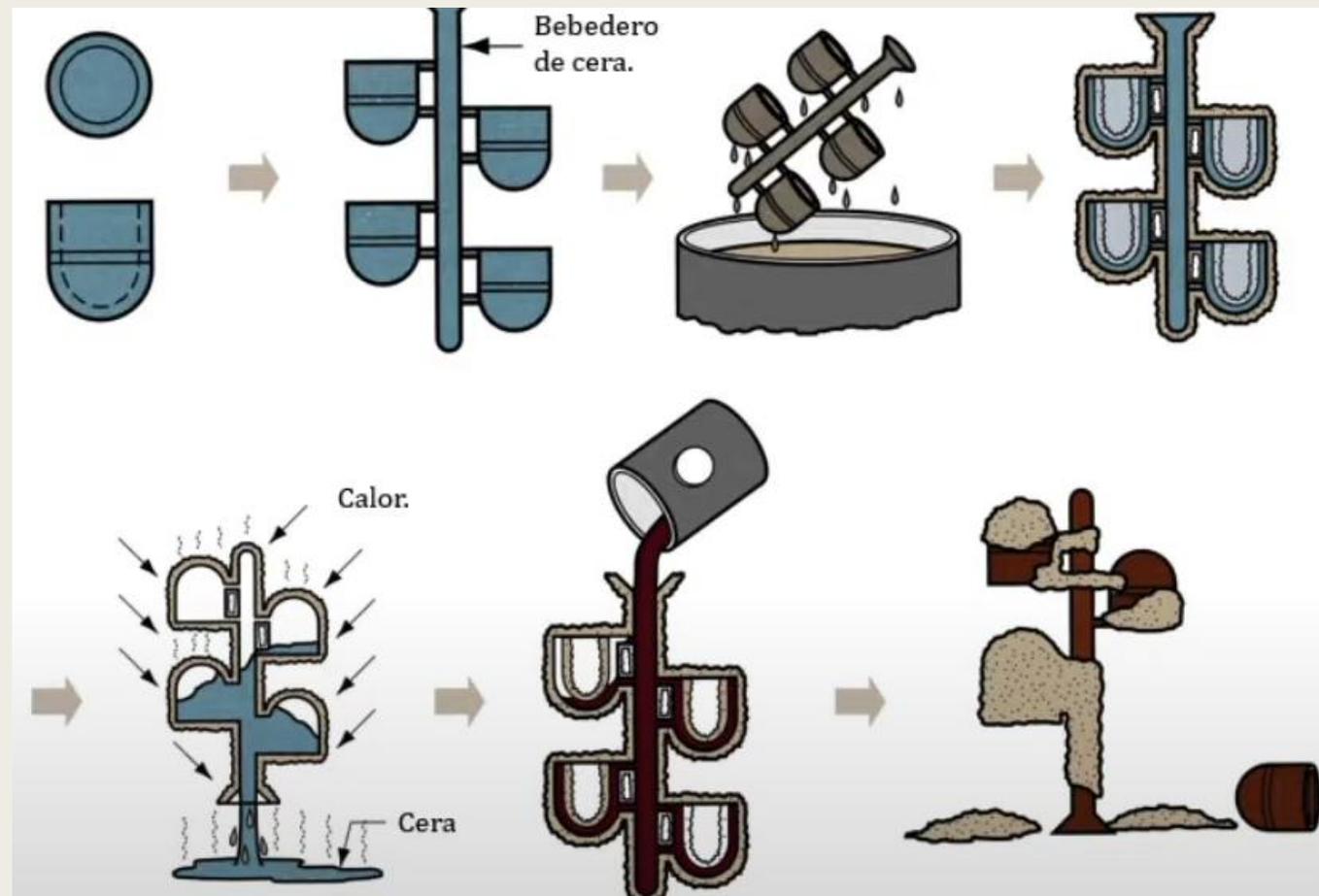


# Molde en cera perdida

Se generan las piezas en cera para modelar, pudiéndose “tallar” y dar formas de alta complejidad.

Dichas piezas son recubiertas mediante inmersión en material refractario ( $ZrSiO_4/Al_2O_3+SiO_2$ )

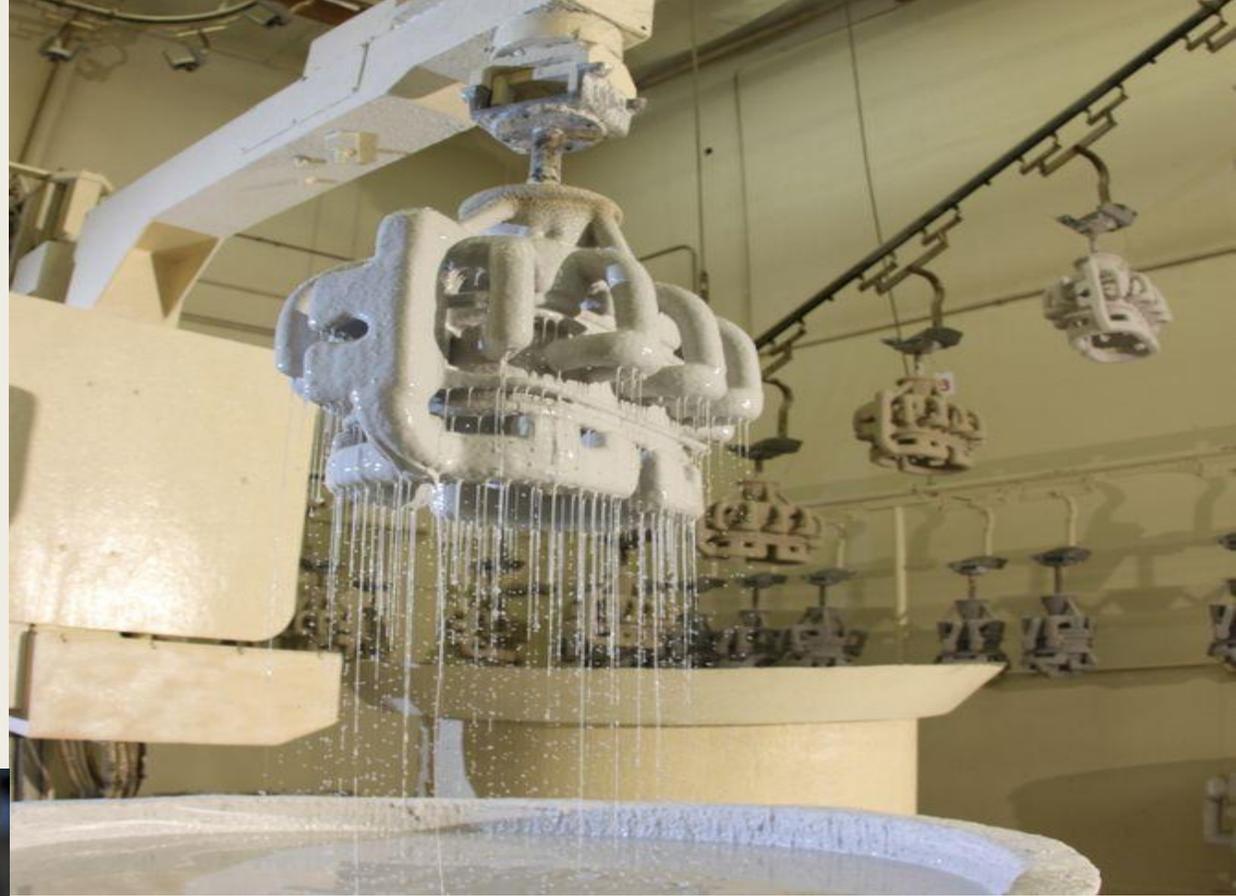
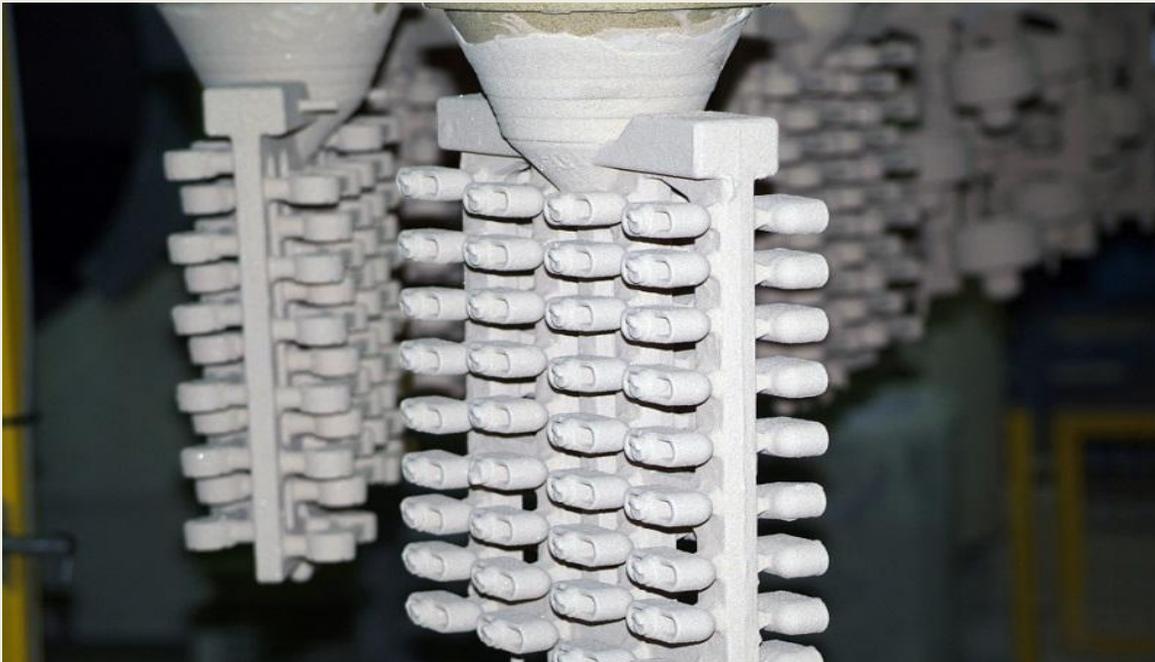
Dicha cera se derrite y extrae previo a la colada del metal fundido.



El molde se desecha al terminar el proceso, las piezas obtenidas pasan a postproceso.

# Molde por cera perdida

Permite la reproducción de piezas medianas (<20kg) con geometría muy complejas.



También la producción de muchas piezas de menor volumen al mismo tiempo.

# Molde en cera perdida

Todos los metales y aleaciones

Masa de pieza grande,  
hasta 20 kg.

Rugosidad pequeña, 1,3 - 3,2nm.

Detalles geométricos y  
tolerancias muy buenas.

( $\pm 0,1\text{mm}$ )



# Molde en Poli Estireno (PS) perdido

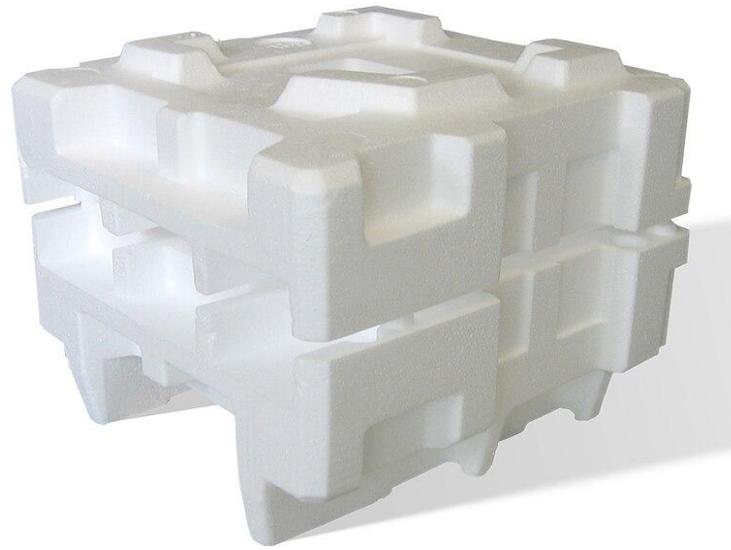
Todos los metales y aleaciones

Masa de pieza grande, hasta 50 kg.

Rugosidad pequeña, 1,3 - 3,2nm.

Detalles geométricos y tolerancias muy buenas.

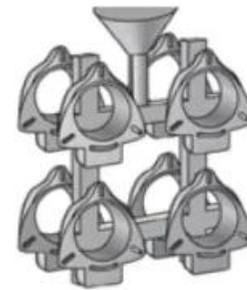
( $\pm 0,25\text{mm}$ )



El molde es desechado luego de obtenida la pieza.



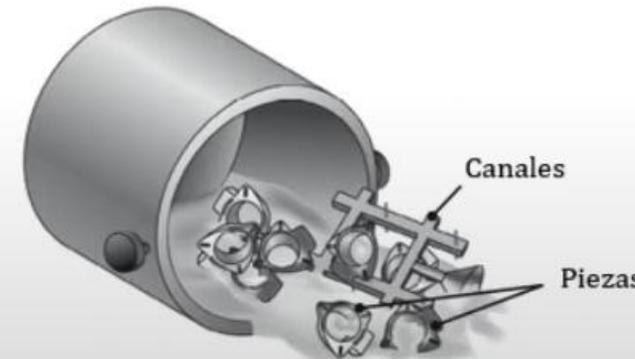
Modelo de poliestireno expandido



Recubrimiento con suspensión de material refractario



Relleno de arena suelta

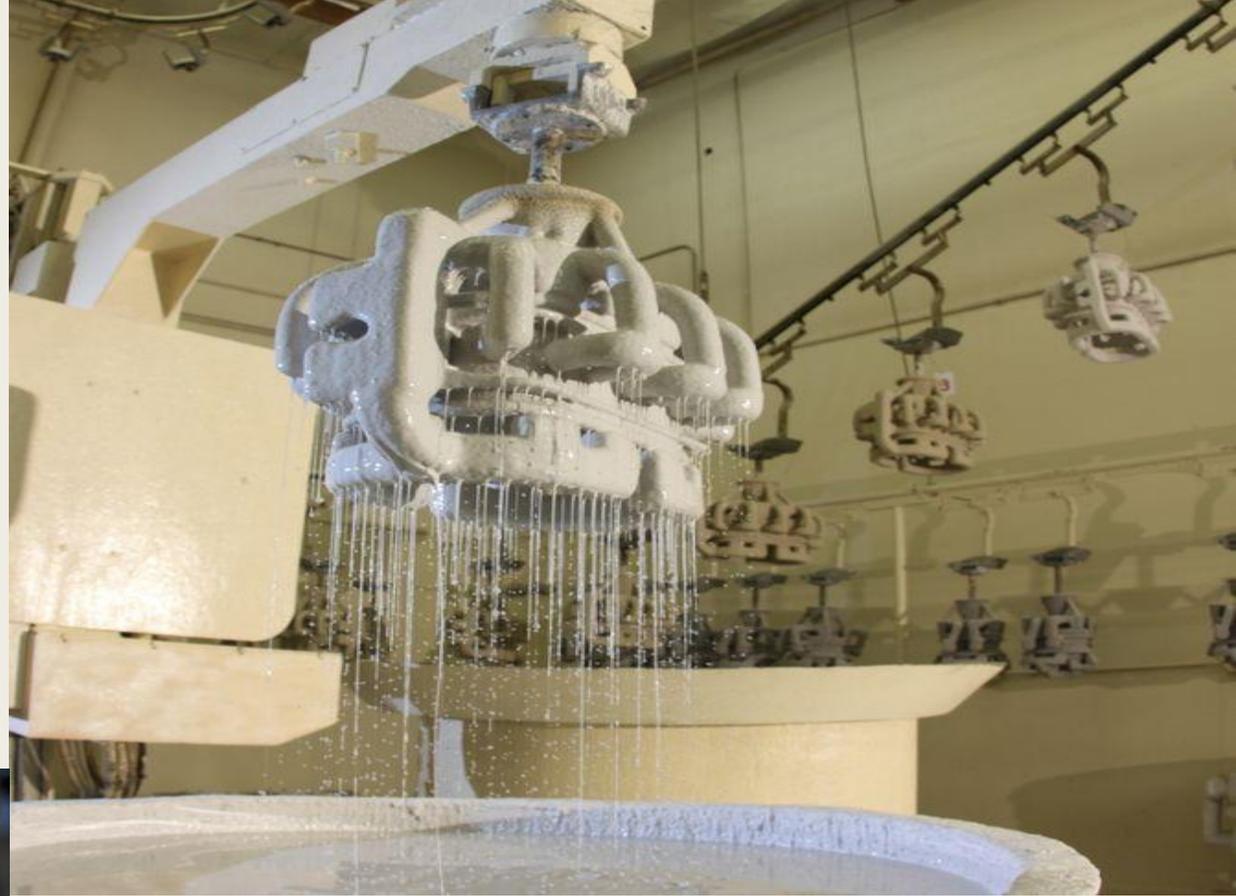
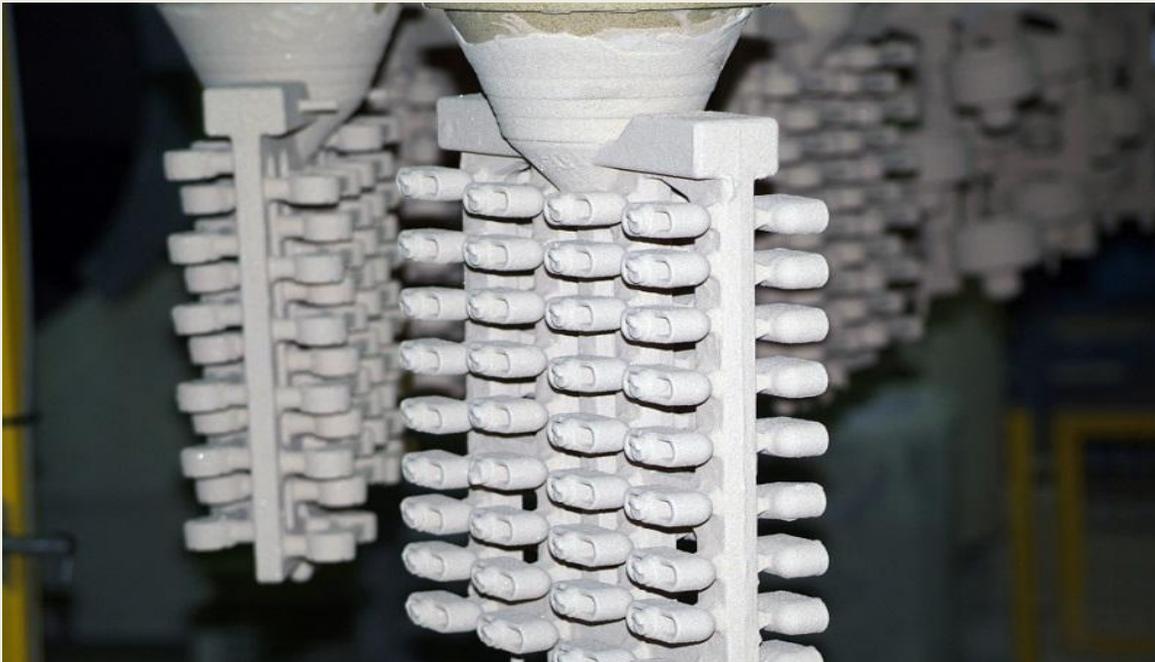


Canales

Piezas

# Molde por cera perdida

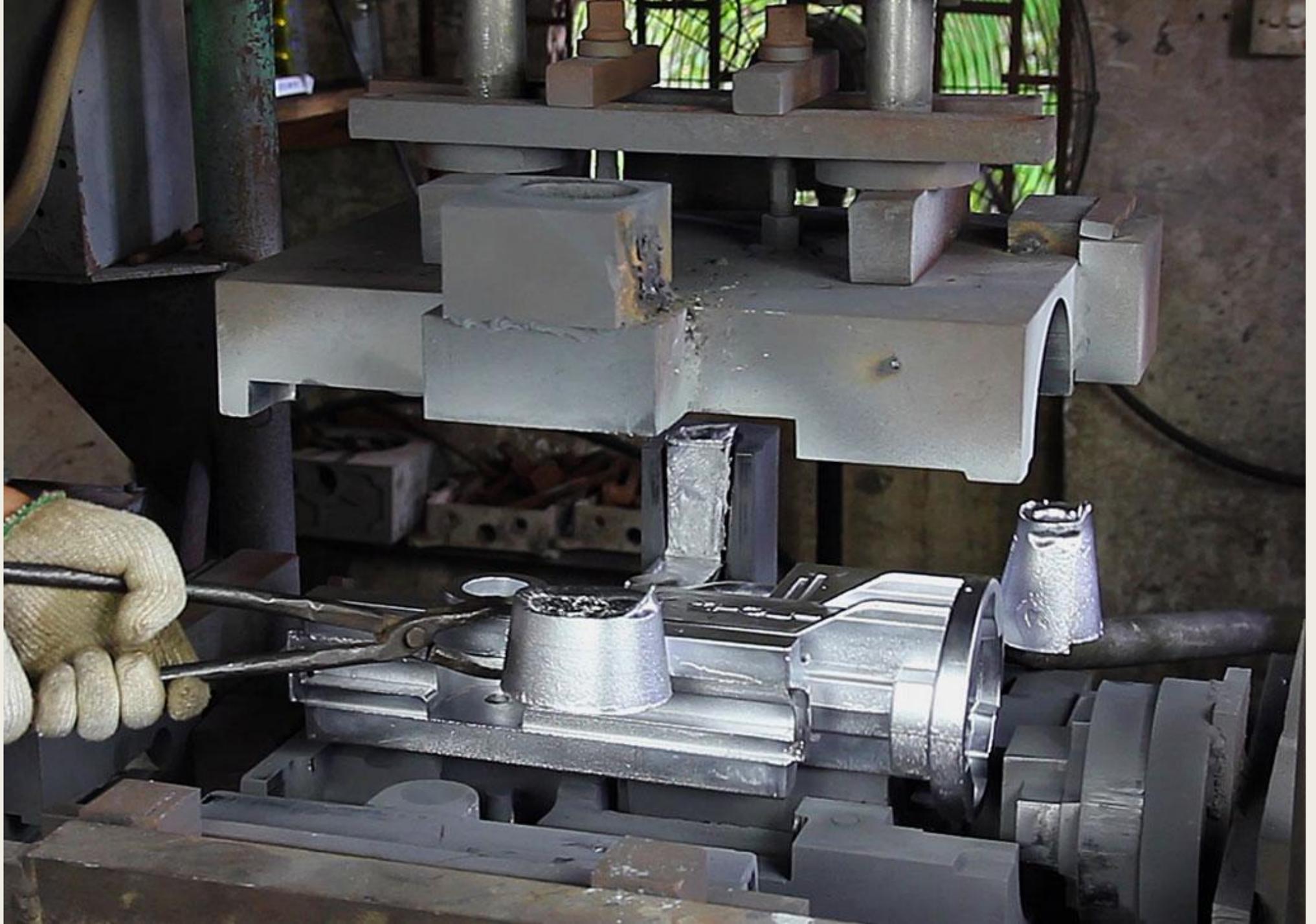
Permite la reproducción de piezas medianas (<20kg) con geometría muy complejas.



También la producción de muchas piezas de menor volumen al mismo tiempo.

# **MOLDES PERMANENTES**





# Fundición con moldes permanentes

Principalmente utilizado para fundición de aluminio y sus aleaciones.

Punto de fusión Al = 650 °C

Aleaciones en su mayoría termotratables, envejecimiento natural o artificial.

<b>Aleaciones de Aluminio para fundición</b>	
Aluminio Puro (99 % de Al )	1xx.x
Aluminio -Cobre (Duraluminio Al-Cu)	2xx.x
Aluminio- Silicio-Cobre (Si-Cu y/o Mg)	3xx.x
Aluminio-Silicio (Al-Si)	4xx.x
Aluminio-Magnesio (Al-Mg)	5xx.x
Aluminio-Cinc (Al-Zn)	7xx.x
Aluminio-Estaño (Al-Sn)	8xx.x
Aluminio-Otros Elementos (Al-X)	9xx.x
Aluminio-Serie no Usuales	6xx.x

# Fundición con moldes permanentes

## Al-Si12

Excelente fluidez de material.

Capacidad de adoptar formas complejas y espesores variables.

Soldabilidad excelente.

Baja resistencia mecánica y maquinabilidad.



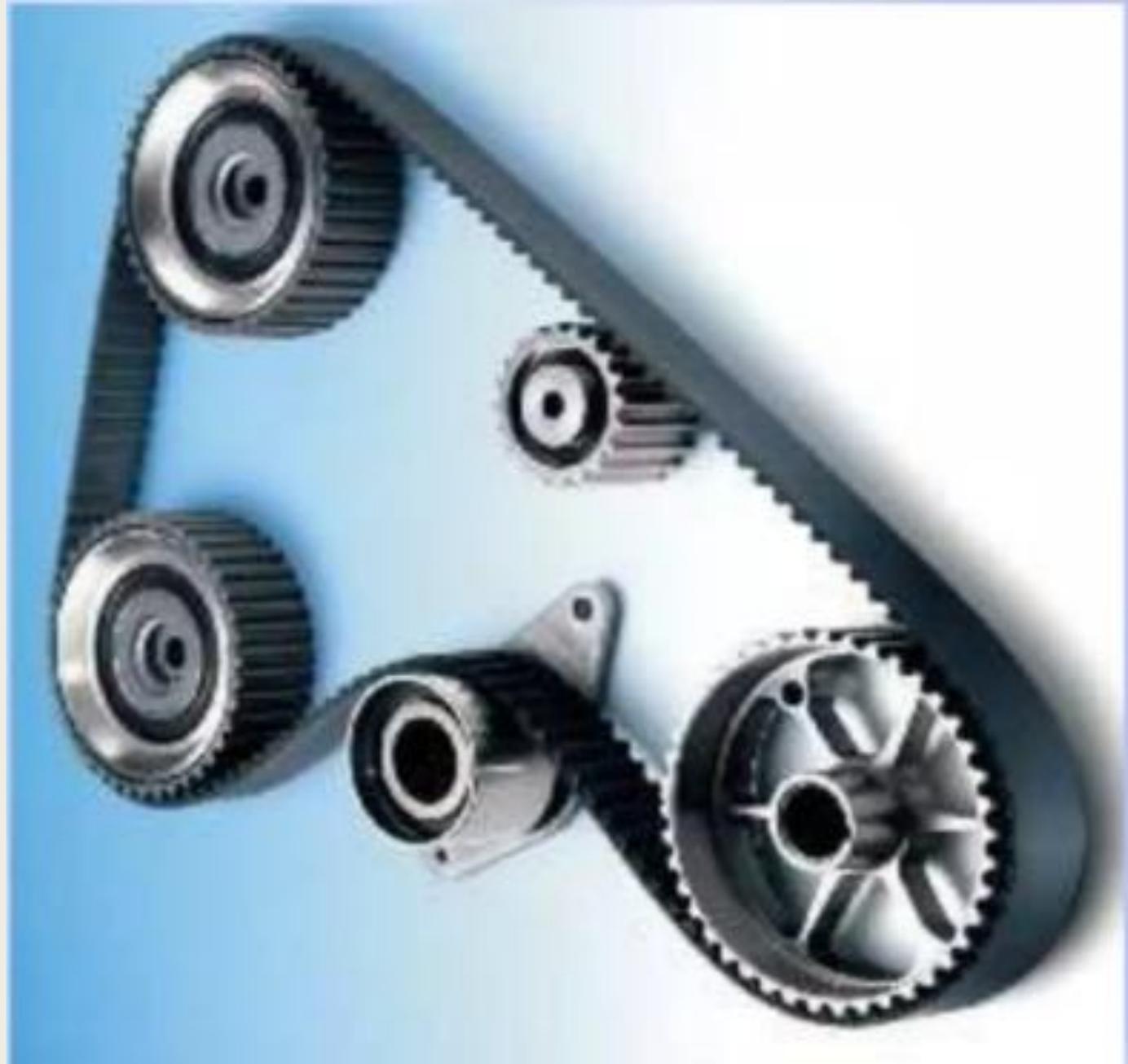
Dicha aleación es suplementada con otros materiales para aumentar sus capacidades. (Zn, Cu, Ni)

# Fundición con moldes permanentes

## Al-Cu

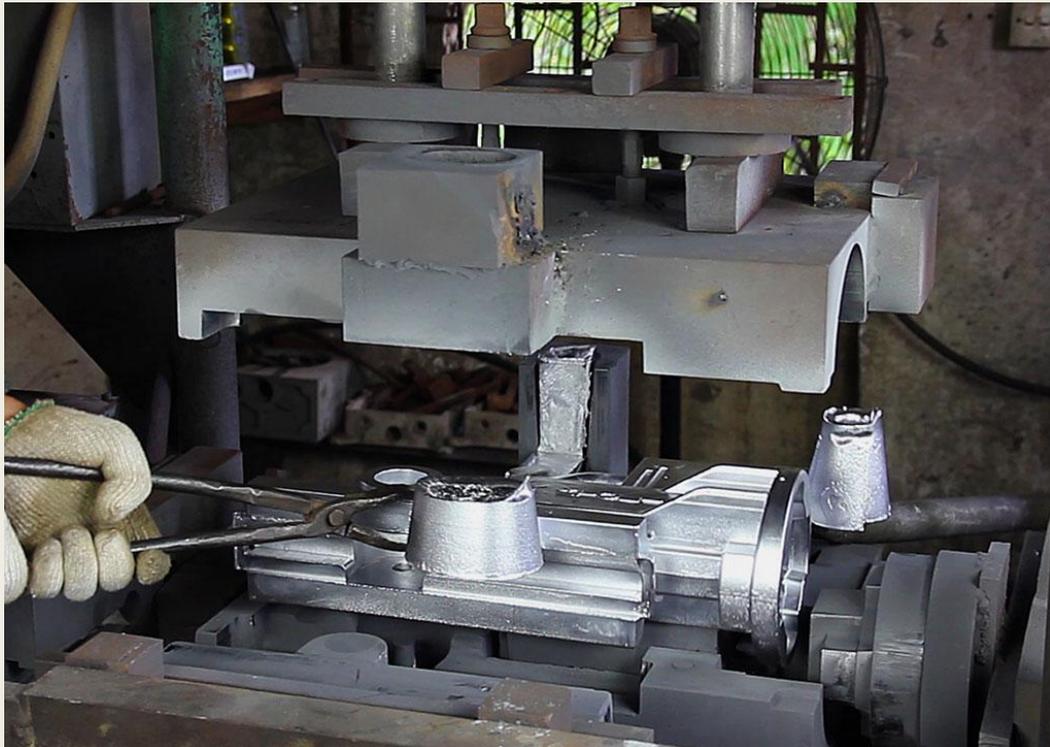
Mejores propiedades mecánicas, maquinabilidad. Usados en entornos demandantes mecánicamente.

Presenta defectos térmicos (rechupes, posibles resquebrajamientos) y reducida resistencia a la corrosión.



# Fundición con moldes permanentes

Piezas geométricamente complejas



Piezas medianas de hasta 20kg, dependiendo del tipo de colada.

Mínimo postproceso

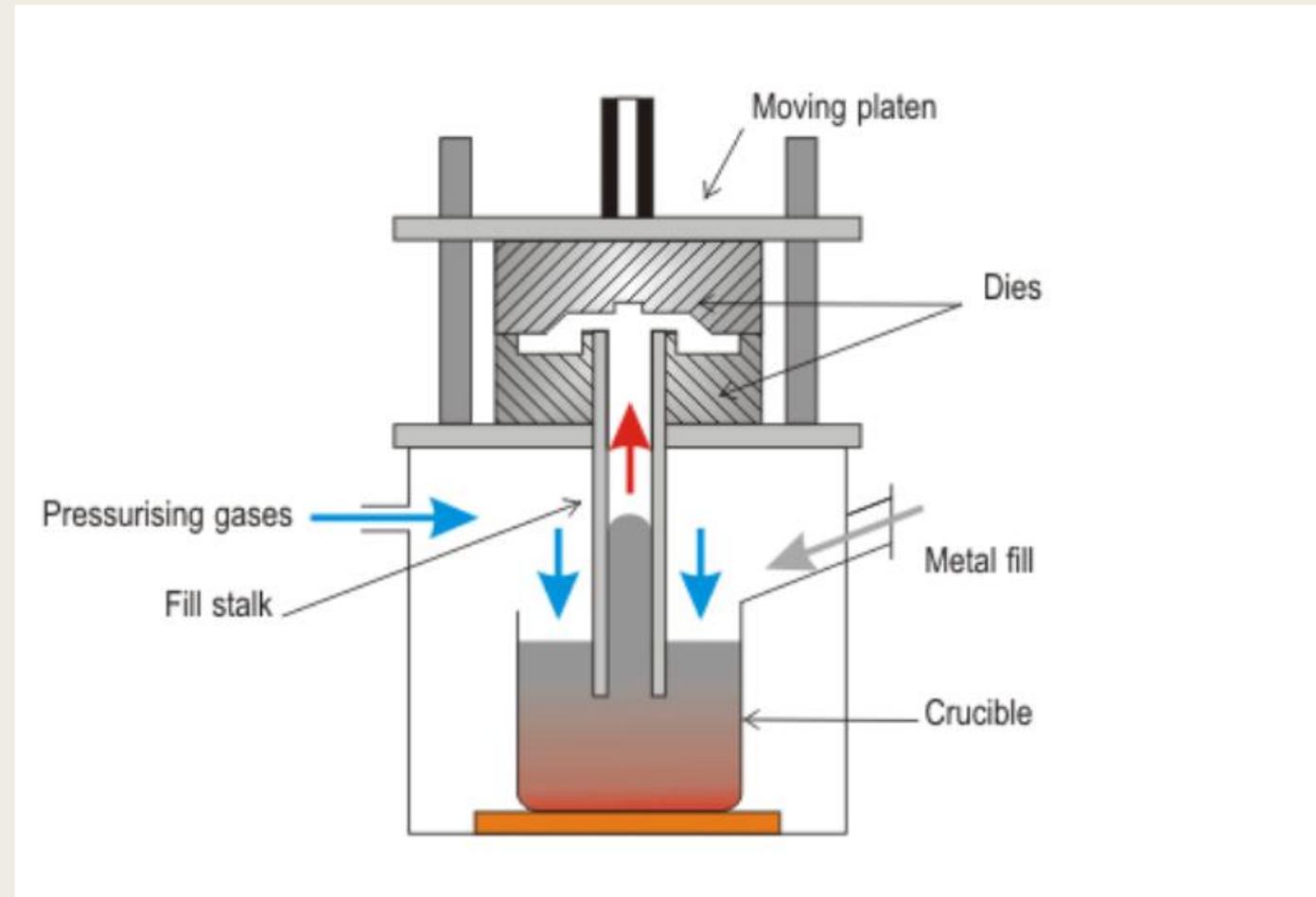
# Fundición con moldes permanentes

## Moldeo por baja presión

Utiliza aire o gas a presión.

Moldes fabricados en grafito, arenas finas y resina.

Capacidad de lograr piezas de bajo espesor con tolerancias excelentes.



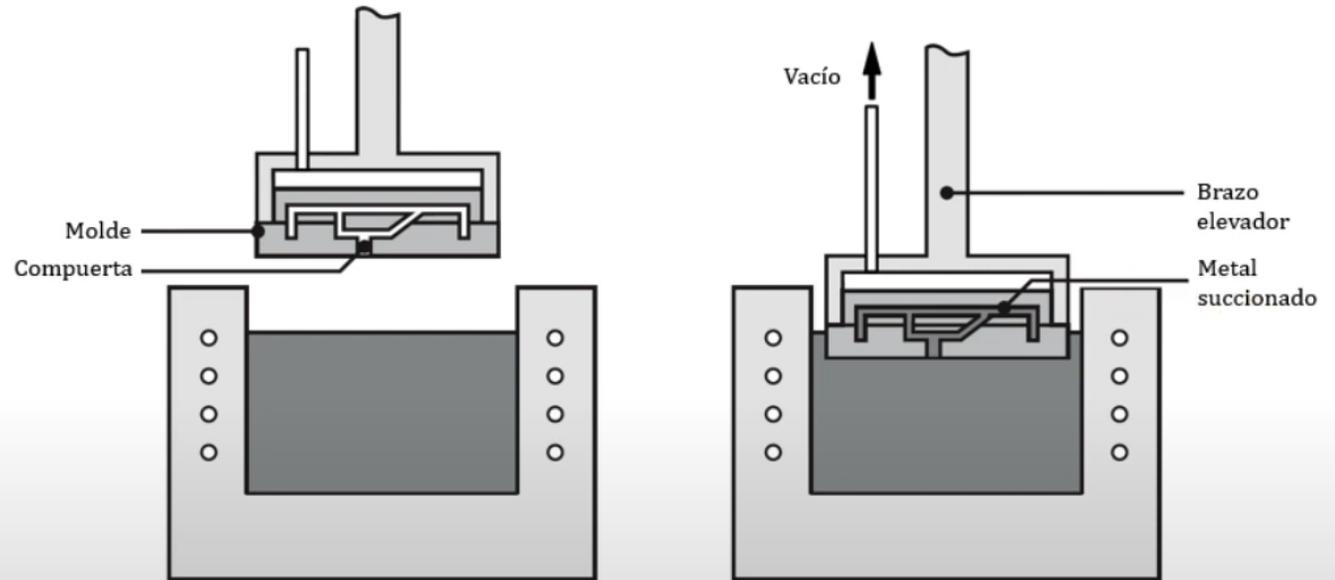
Utilizado en Al+Ti para evitar reactividad superficial.

# Fundición con moldes permanentes

## Molde de vacío:

Se genera vacío alrededor de la cavidad, succionando el aire del interior del molde.

Igualmente que el moldeo a baja presión, evita el contacto con la atmosfera y cuenta con las mismas capacidades.



Fuente: S. Kalpakjian, S.R. Schmid, *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*

Moldes de fácil fabricación y materiales mecanizables como el grafito.

Utiliza baja presión, menor a 5 Mpa

# Fundición con moldes permanentes

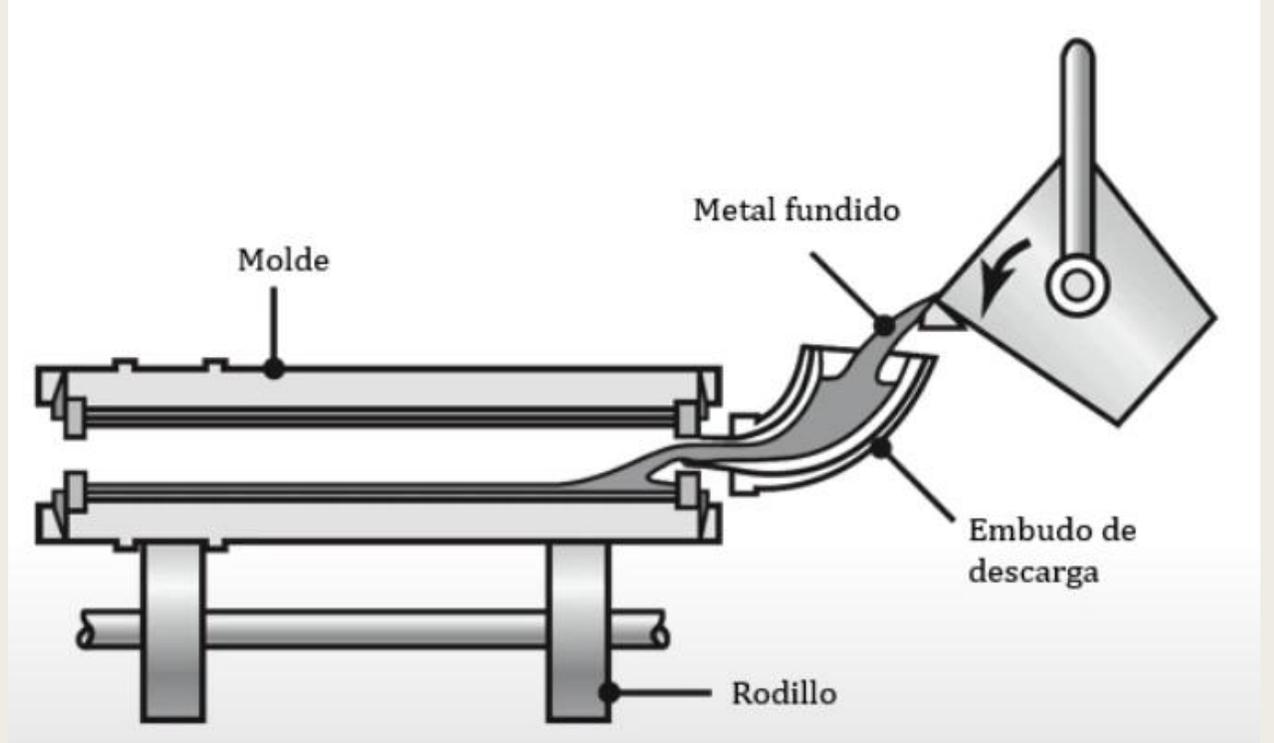
## Fundición centrífuga:

Utiliza baja presión, principalmente generada por la inercia.

Utiliza moldes de grafito.

Permite grandes volúmenes y masa de pieza, superando los 100kg.

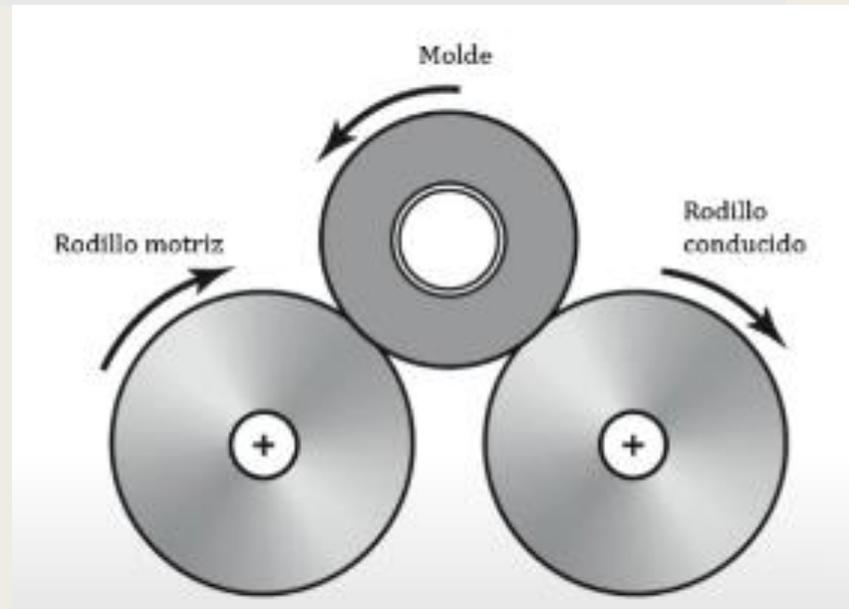
Rugosidad alta y detalle limitado.



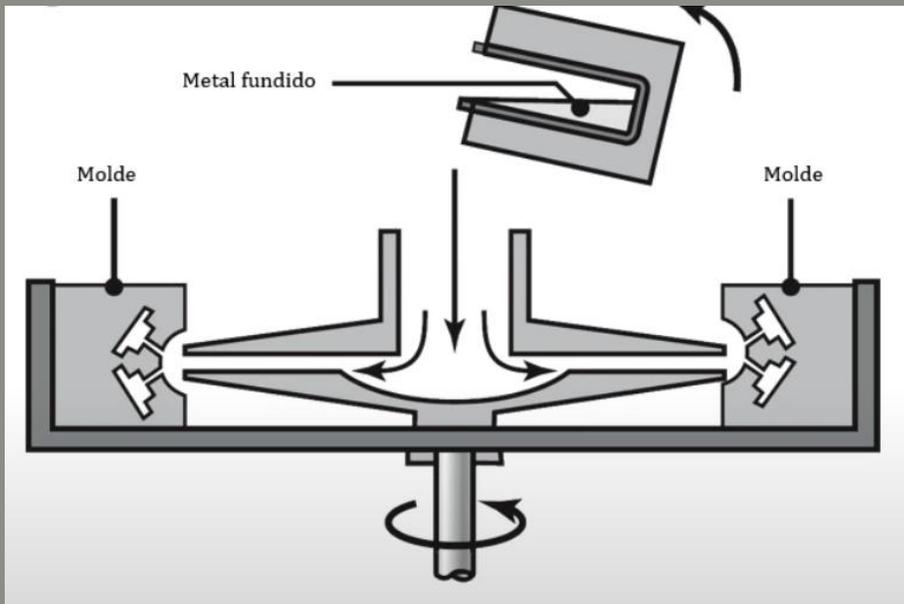
## Horizontal:

Gran masa de pieza.

Deja un volumen hueco en su interior.

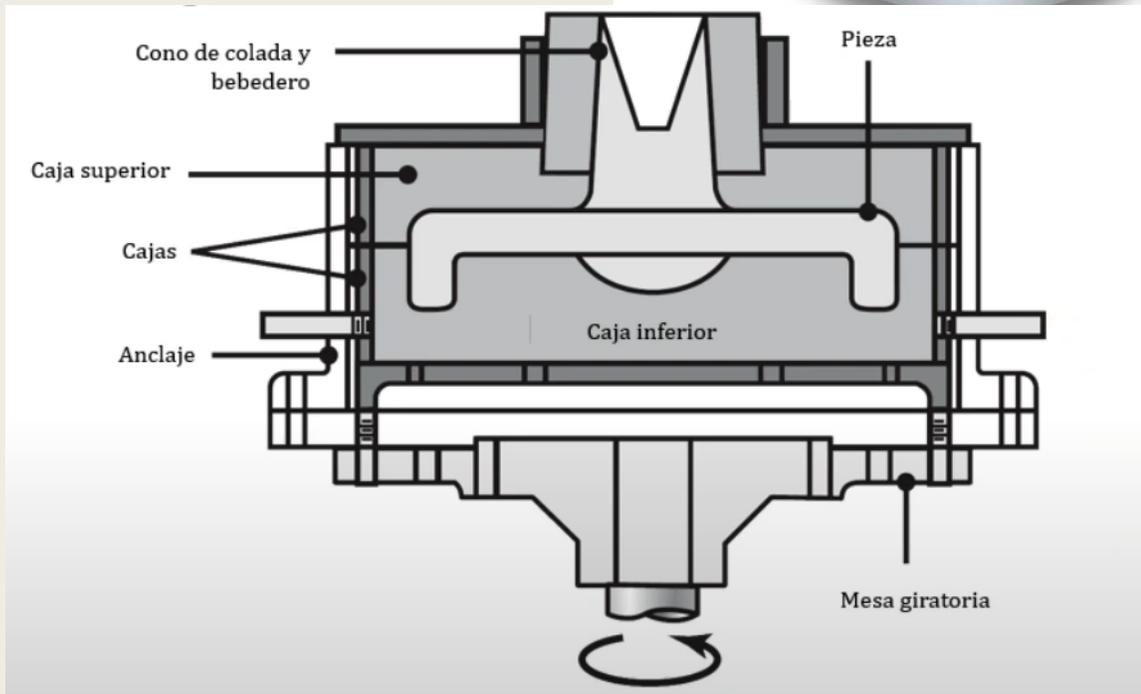
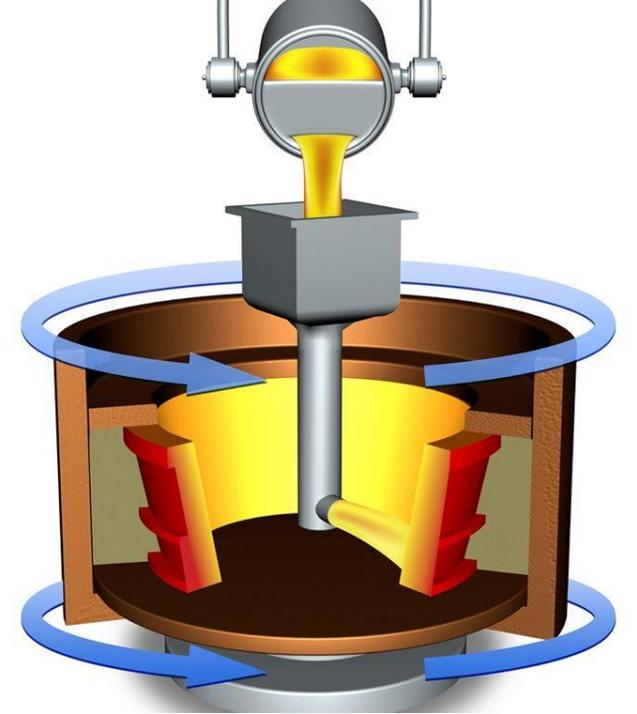


# Fundición con moldes permanentes



Piezas centrifugadas no revolucionadas. Solo se utiliza la fuerza centrífuga para generar presión.

Utiliza un eje de simetría, expulsa los gases por el mismo centro de la pieza.

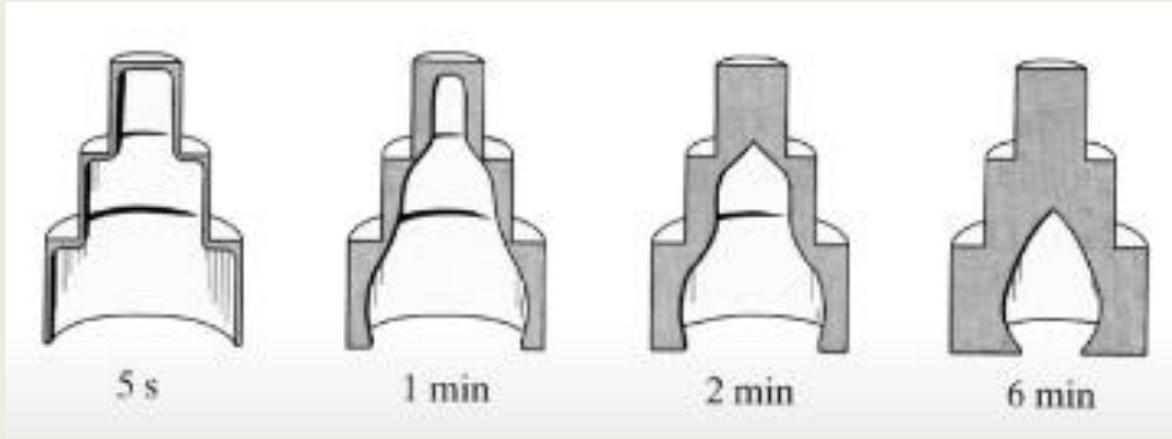


# Fundición con moldes permanentes

## Moldeo por inversión de molde

Controlando el tiempo donde el metal fundido está en contacto con el molde damos el espesor de pared deseado.

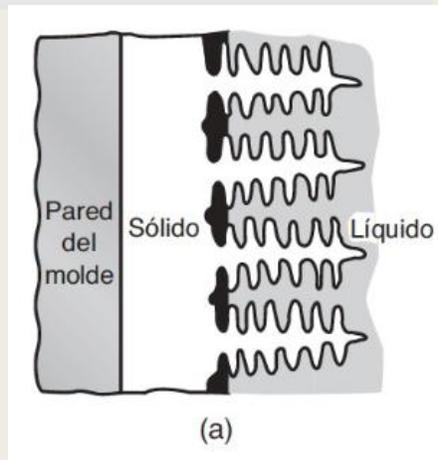
Genera formas huecas y el espesor de pared puede ser no constante.



Geometrías buenas, tolerancias decentes ( $\pm 0,5\text{mm}$ ) y rugosidad media ( $3,4-6,5\mu\text{m}$ )



Masa grande, capacidad de superar los 50kg de pieza.



# Fundición con moldes permanentes

## Moldeo por inyección

Utiliza grandes cantidades de presión para impulsar el metal hacia el interior del molde.

Requiere que el material de este resista dicha presión (7-350MPa)

Gran volumen de producción.

Tolerancias muy buenas ( $\pm 0,25\text{mm}$ )  
Rugosidad pequeña ( $0,8-1,6\text{nm}$ )



Piezas de masa limitada, menores a 15kg y cantidad de metales y aleaciones limitados.



# Fundición con molde perm...

Moldeo p...

Utiliza gran presión pa... hacia el int...

Requiere q... resista dich... (350MPa)

Gran volumen de producción.

Tolerancias muy buenas ( $\pm 0,25\text{mm}$ )



## Moldeo en cámara caliente



Materiales de bajo punto de fusión

Presiones bajas (7 – 35 MPa)

Horno de fusión en el mismo equipo

## Moldeo en cámara fría



Materiales de alto y bajo punto de fusión

Presiones elevadas (20 – 150 MPa)

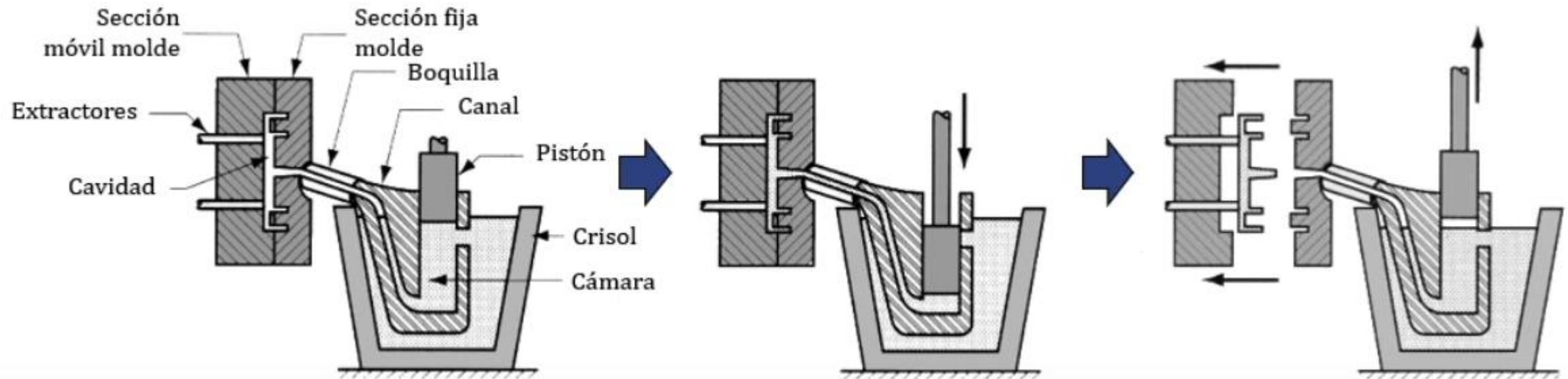
Horno de fusión separado



# Fundición con moldes permanentes

## Cámara caliente

El horno esta incorporado al equipo de molde



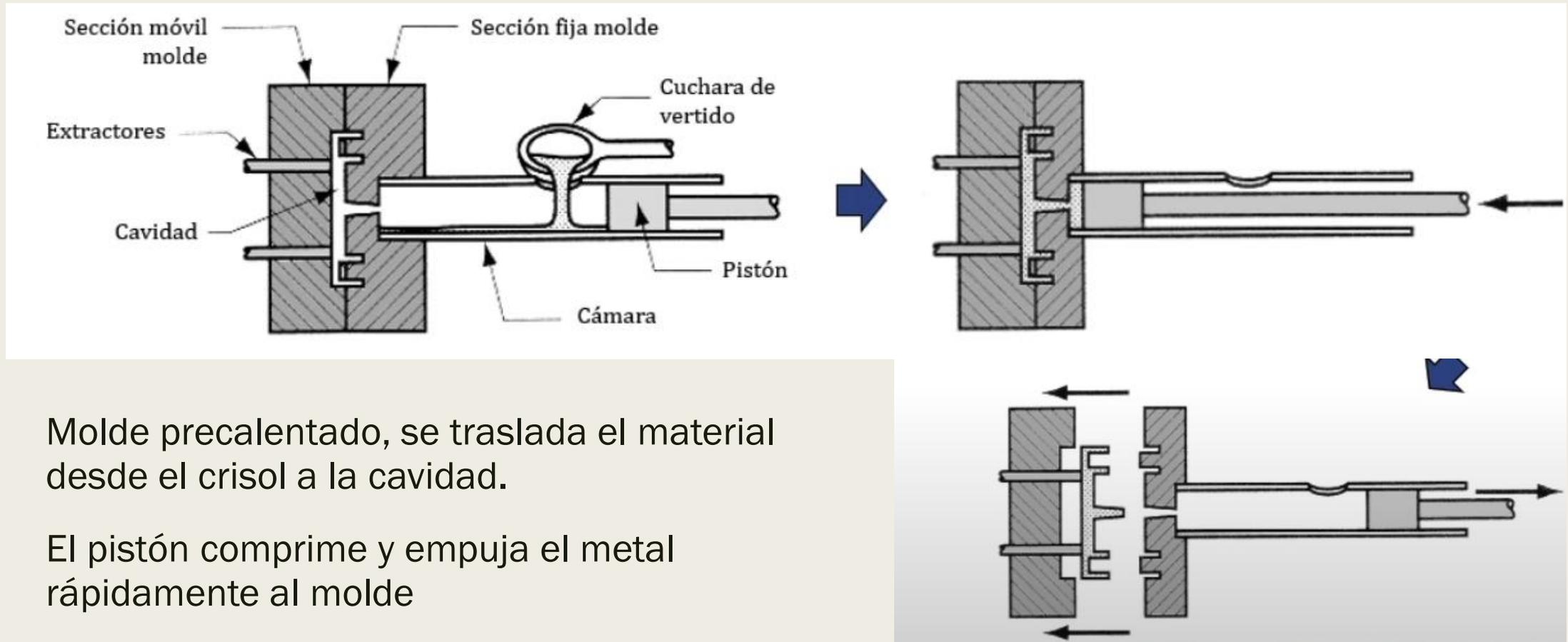
Presenta ciclos mucho más rápidos de producción, ya que solo la apertura y cerrado del molde son los pasos necesarios.

Dicha velocidad hace que el cierre no soporte altas presiones.

# Fundición con moldes permanentes

## Cámara fría

El horno esta fuera del equipo de molde



Molde precalentado, se traslada el material desde el crisol a la cavidad.

El pistón comprime y empuja el metal rápidamente al molde

# Fundición con moldes permanentes

Moldeo por inyección



Conectores para inyección de múltiples piezas