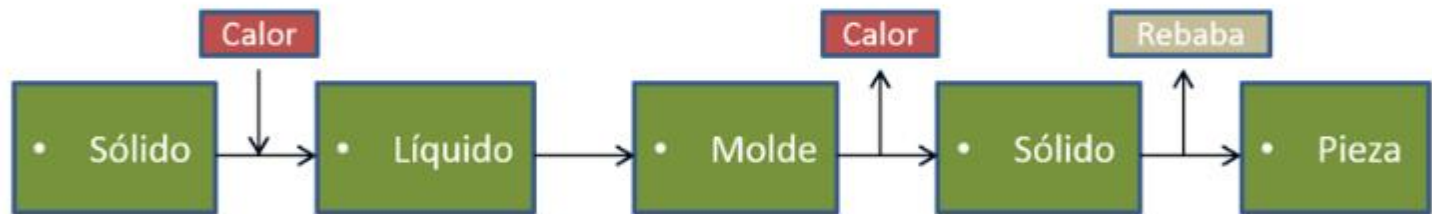
A photograph of a worker in a foundry, wearing a blue shirt and red gloves, pouring molten metal from a large ladle into a mold. The scene is illuminated by the bright orange and yellow glow of the molten metal. The worker is holding a long metal rod, possibly a ladle handle or a tool for the mold. The background is dark and industrial.

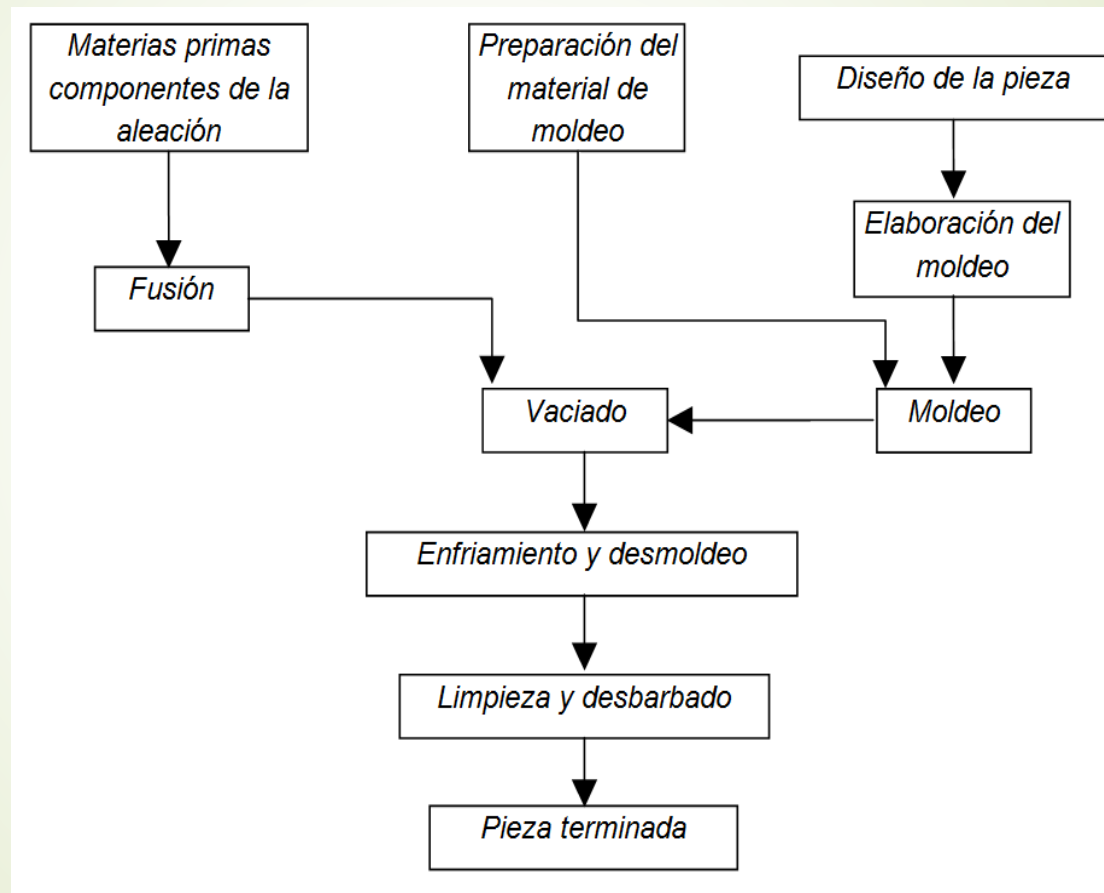
Métodos de Fundición o Colada

Jorge L Romero H

PRINCIPIO FUNDAMENTAL DEL PROCESO DE FUNDICIÓN



Etapas principales del proceso de fundición.



Ventajas de la producción de piezas fundidas

- Producción de partes de geometría compleja
- Algunos procesos no se requiere de operaciones subsecuentes
- Amplio rango de dimensiones
- Reciclaje de rebabas, mazarotas y venas de alimentación



Por fundición se pueden producir piezas de decenas de toneladas.



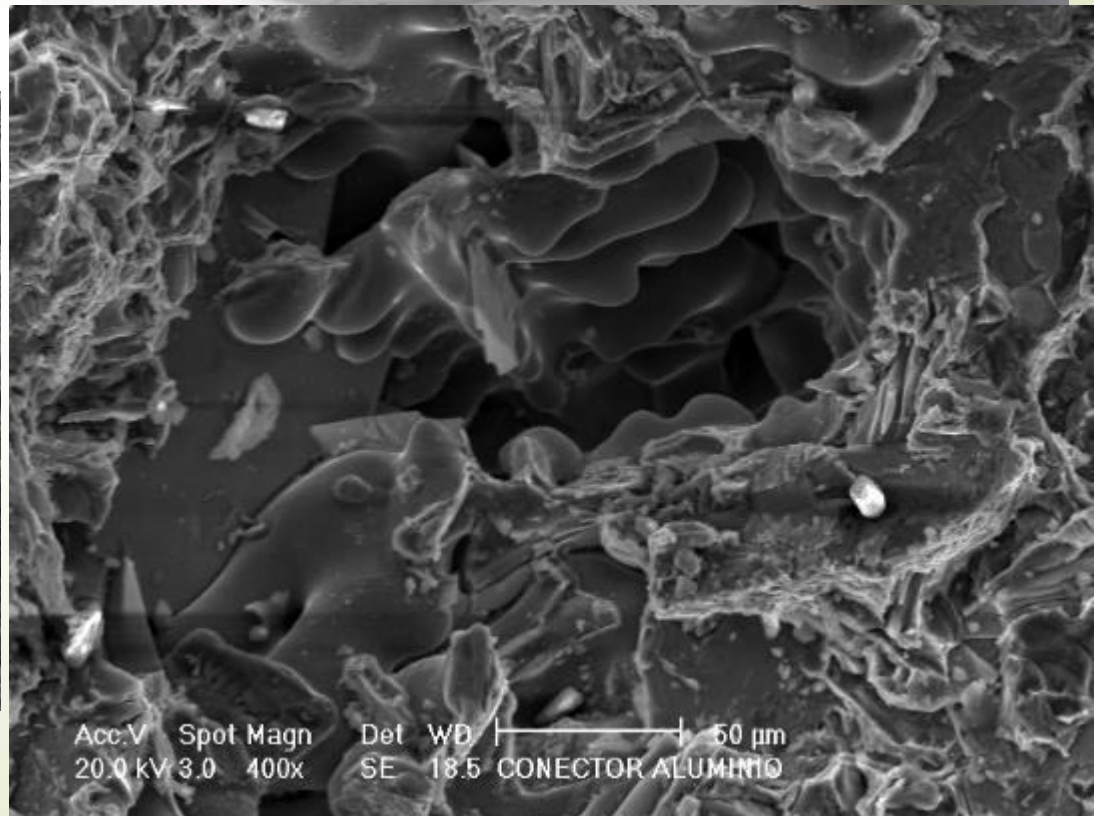
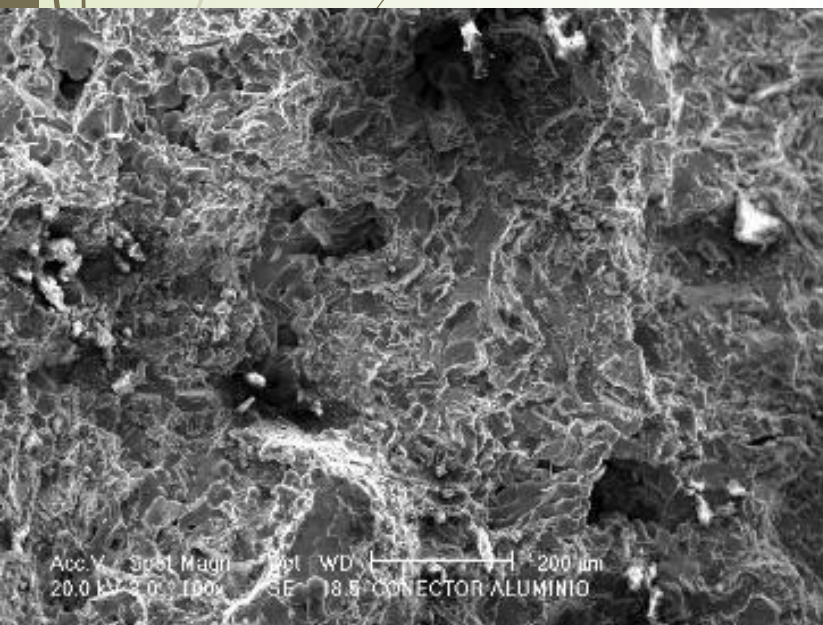
Campana Zarina, Kremlin Moscú, Rusia. Fundida en 1733 y con un peso de 216 ton. y una altura de 6.14 m y un diámetro de 6.6 m.





Desventajas de la producción de piezas fundidas

- Porosidad (gases o contracción interna)
- Fragilidad intrínseca a la microestructura
- El proceso de fundición está limitado a metales y aleaciones con temperatura de fusión menores a los 2000°C (normalmente menor de 1500°C).



• Procesos de fundición

• Molde No permanente

• Molde Permanente

• Modelo permanente

• Modelo no permanente

• Molde Metálico

• Moldeo en arena

• Moldeo en cerámicas

- Espuma pérdida
- Cera pérdida

• Por gravedad

• Baja presión

• Fundición a presión

- Arcillas
- Silicatos
- Resinas
- Al vacío

- En yeso de ceramista
- Cerámicos

Factores importantes a ser considerados en la operación de fundición

- Contracción [en estado líquido, durante la solidificación, en el enfriamiento]
- Fluidéz (viscosidad) del metal líquido durante el vaciado
- Enfriamiento del metal en el molde (transferencia de calor, esto genera esfuerzos internos). Este parámetro lo determina el material del molde.



Consideraciones Para llevar a cabo el proceso se requiere:

→ El modelo

- Desechable
- Permanente

→ El molde o matriz

- Sus materiales
- Su duración
- Su producción

→ El metal líquido

- Técnicas de fusión utilizadas
- Tipo de hornos
- Mecanismos de preparación y desgasificación.

Modelos de madera, la zona pintada de negro (platilla) corresponde al apoyo del macho o corazón.



Modelo de poliestireno expandido y la correspondiente pieza ya fundida.



La **denominación** será función de su duración

- Molde → Un vaciado y se destruye



- Matriz → Permite más de una operación
Matriz semipermanente → Algunas operaciones
Matriz permanente → más de 1000 vaciados

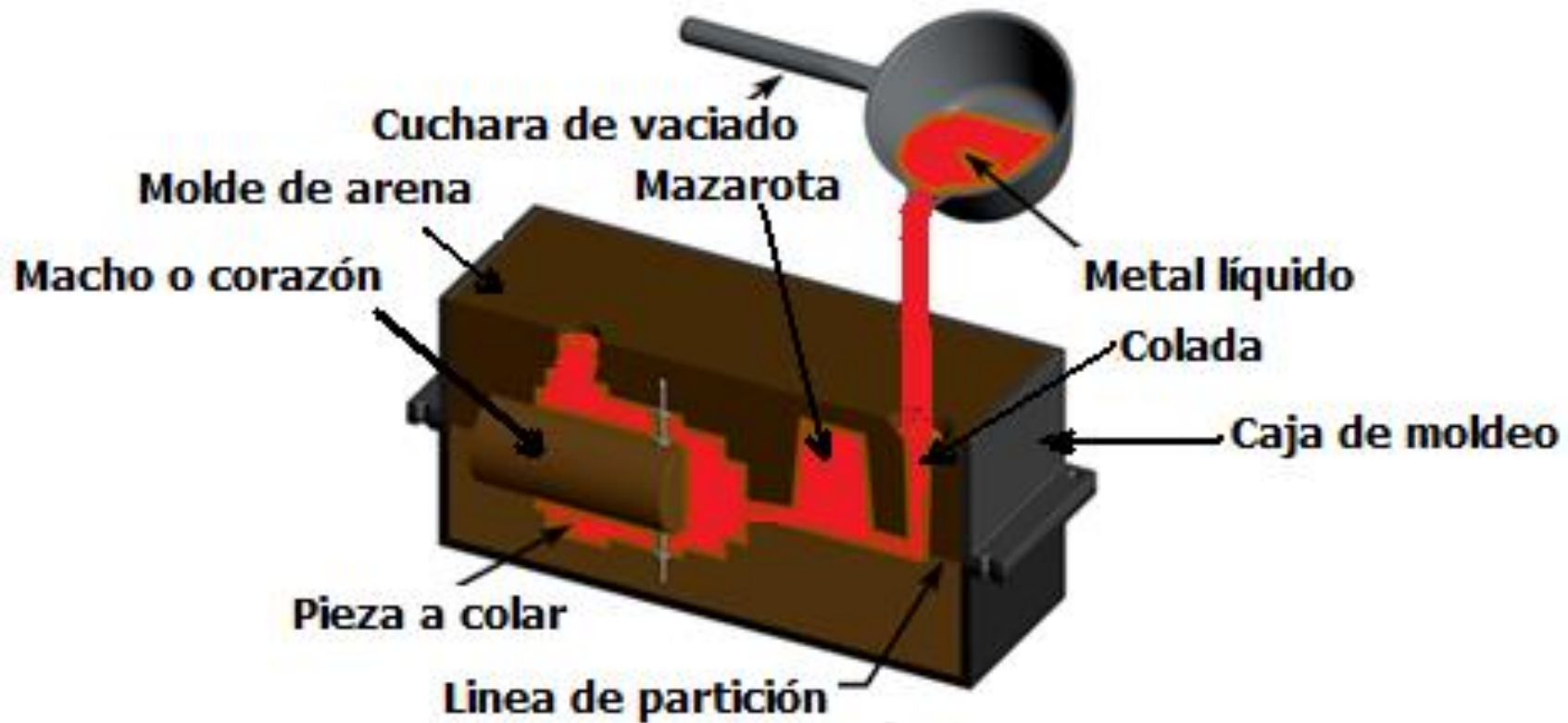




Para el molde

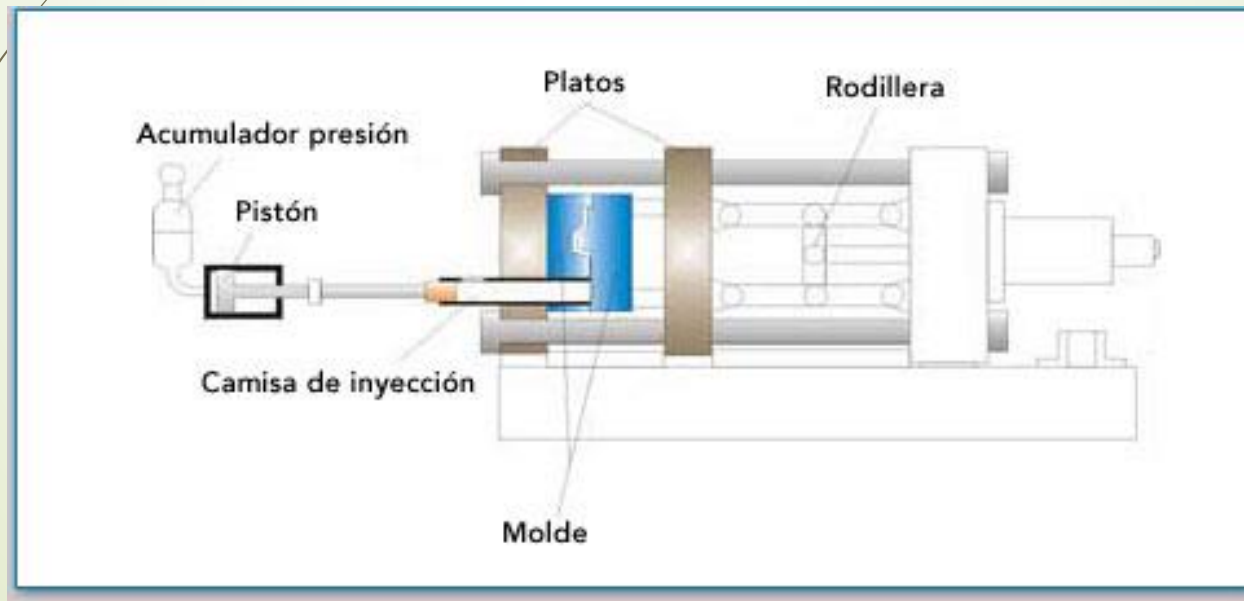
Molde:

- Tiene con la forma geométrica requerida
- Cavidad sobredimensionada → compensa contracción
- De diferentes materiales (Arena, yeso y cerámica)
- Canales de alimentación (coladas)
- Mazarotas (compensan la contracción)
- Las cavidades se producen mediante machos o corazones

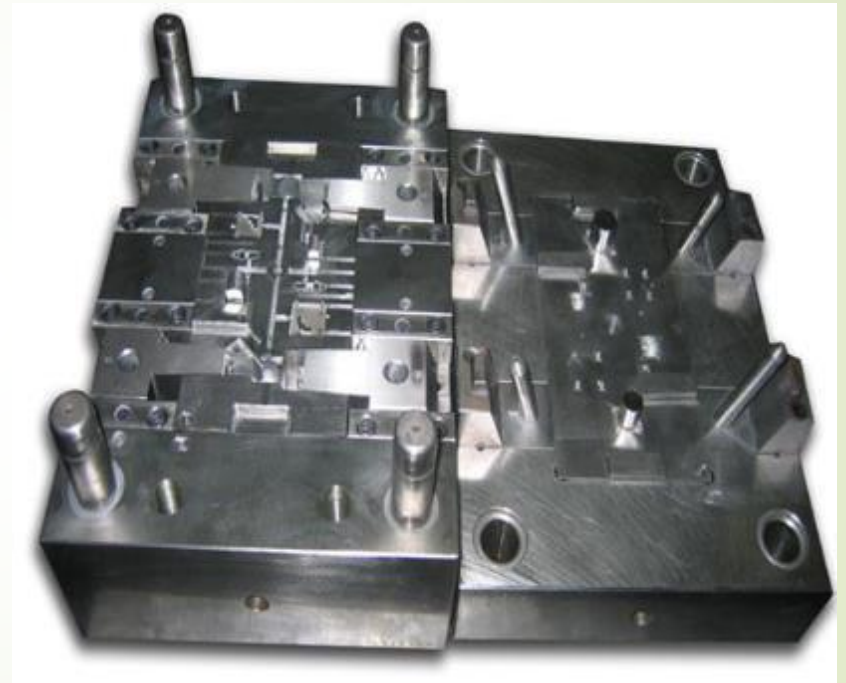


Molde permanente o matriz

- **Fundición a presión (Pressure die casting)**
- **Colada por gravedad en matriz (Die casting)**
- **Colada a baja presión (Low pressure die casting)**



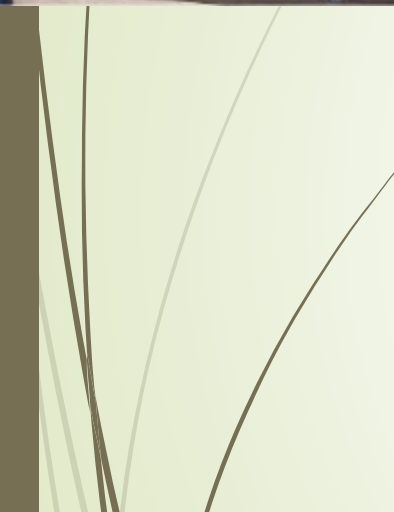
Matrices, (a) Colada por gravedad, (b) Inyección.



Molde no permanente.

- a. Compactación de la arena alrededor del modelo. → Manual ó mecánica (generalmente por medios automáticos mediante sistemas neumáticos).**
 - b. Si la pieza es hueca → Machos ó corazones para generar cavidades.**
- Formados y endurecidos se procederá a su colocación, para el posterior cerrado del molde.**

Métodos de Moldeo



Corazones producidos por diferentes técnicas, ya durante su ensamble.



Métodos de moldeo.

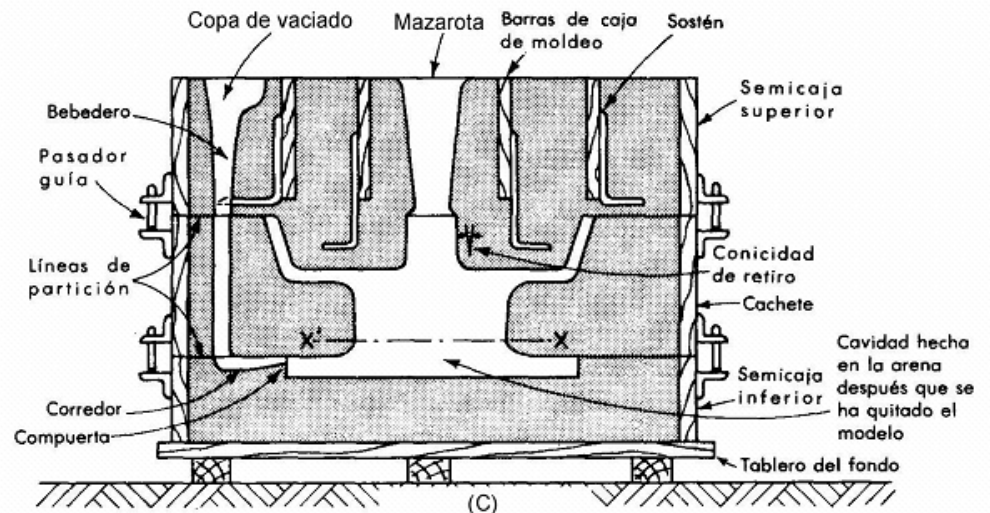
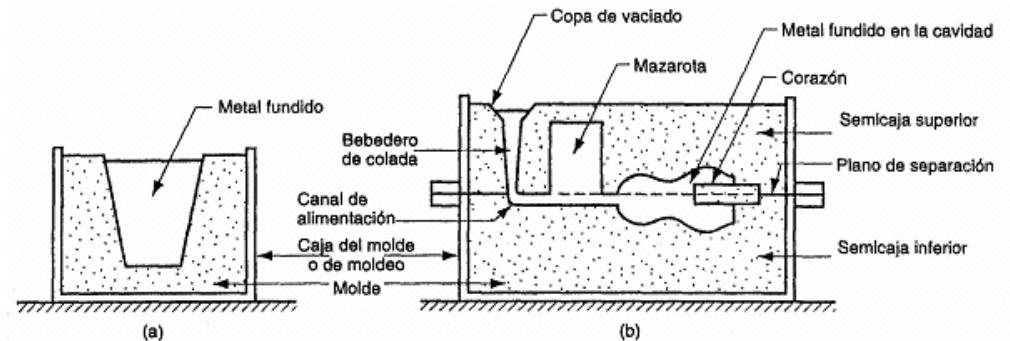
MOLDEO EN ARENA VERDE. → Elaboración del molde con mezcla de molde [arena + arcillas –bentonita-, agua]
→ Se activan por la presencia de humedad

- Método más empleado y económico
- Para casi cualquier metal ó aleación
- No se emplea en el caso de piezas muy grandes o de geometrías complejas
- Inconvenientes con el acabado superficial y las tolerancias

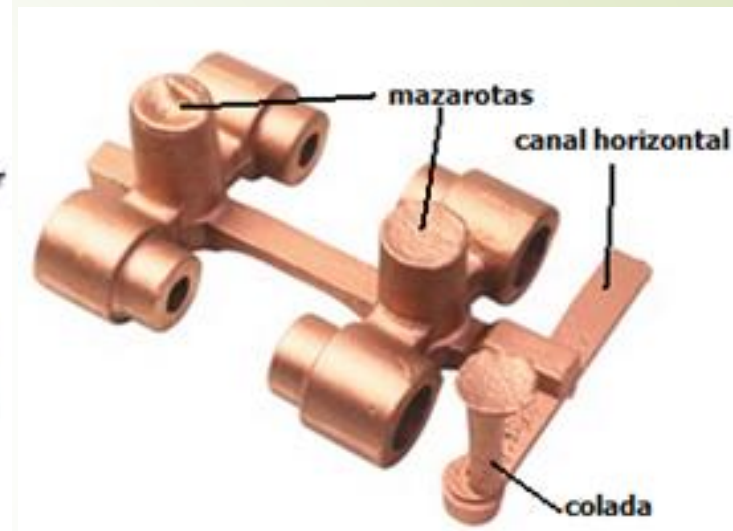
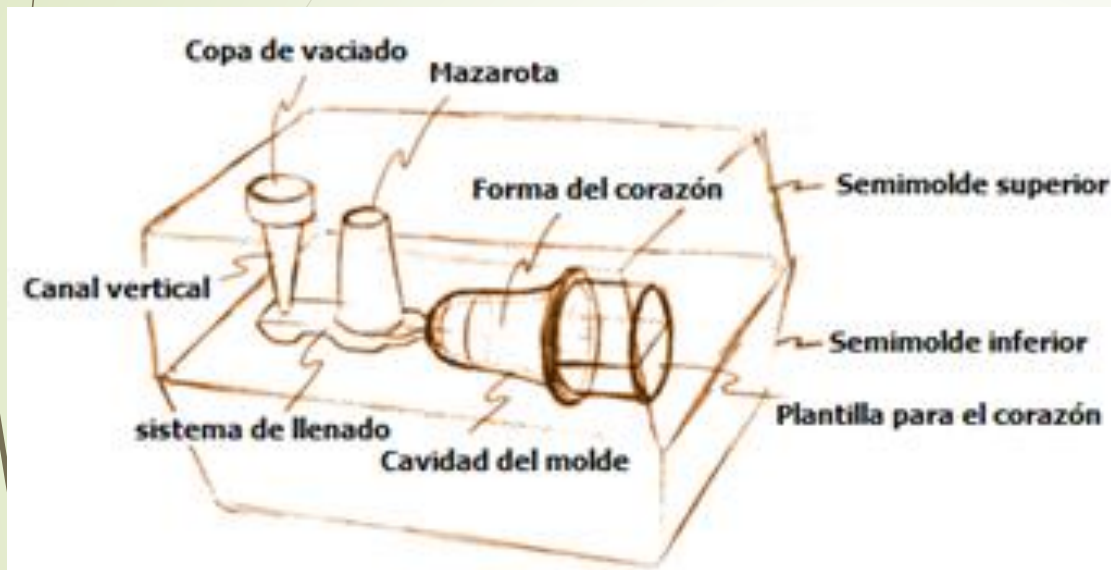
Moldeo en Arena.

El molde consiste en dos mitades: la semicaja ó semimolde superior y la semicaja ó semimolde inferior. Las dos mitades del molde están separadas por el plano de separación.

Molde de fundición en arena.



Sistema de llenado colada (sprue) y alimentadores (gating system) y mazarotas (riser).



Mazarota es una reserva en el molde que sirve como fuente de metal líquido para compensar la contracción de la fundición durante la solidificación. A fin de que la mazarota cumpla adecuadamente con su función, debe diseñarse de tal forma que solidifique después de la fundición principal.

- **Moldeo en verde con Moldeadoras Neumáticas**
- **Moldeo con arena en verde de piezas de grandes dimensiones**

El compactado de la arena se efectúa por percusión-prensado.



Cuando las piezas son muy grandes, el moldeo se efectúa en foso, para esto se emplean las lanzadoras de arena.



Mezcla de Moldeo. Éstas deben presentar:

Plasticidad (Facilidad para reproducir la geometría del modelo),

Resistencia Mecánica (capacidad de la arena para conservar la forma de la cavidad)

Poder Refractario (Capacidad para soportar el contacto con el metal fundido sin ser sinterizado por éste),

Permeabilidad (Capacidad para permitir la salida de del aire y los gases producidos durante el llenado de la pieza)

Estabilidad Química y Física (la mezcla no deberá sufrir transformaciones que afecten las dimensiones de la pieza)

Tabla 1 Composición típica de una arena para fundición.

Composición	Arena Sintética %	Arena Natural %
SiO ₂	97.91	78.2
Al ₂ O ₃	1.13	
Fe ₂ O ₃	0.5	10.12
TiO ₂	0.04	
CaO	0.11	2.4
MgO	0.02	1.8
K ₂ O	0.65	2.1
Na ₂ O	0.07	0.2
Pérdidas por combustión	0.21	4.1

Arena sílica (SiO₂) es la más común, se pueden llegar a utilizar arenas de zirconio (ZrSiO₄), olivinita (Mg₂SiO₄) y cromita (FeO - Cr₂O₃).

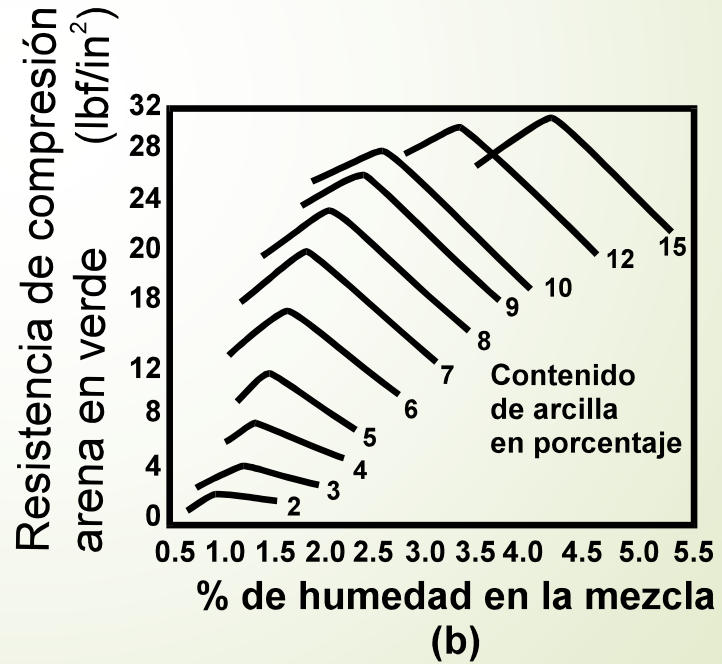
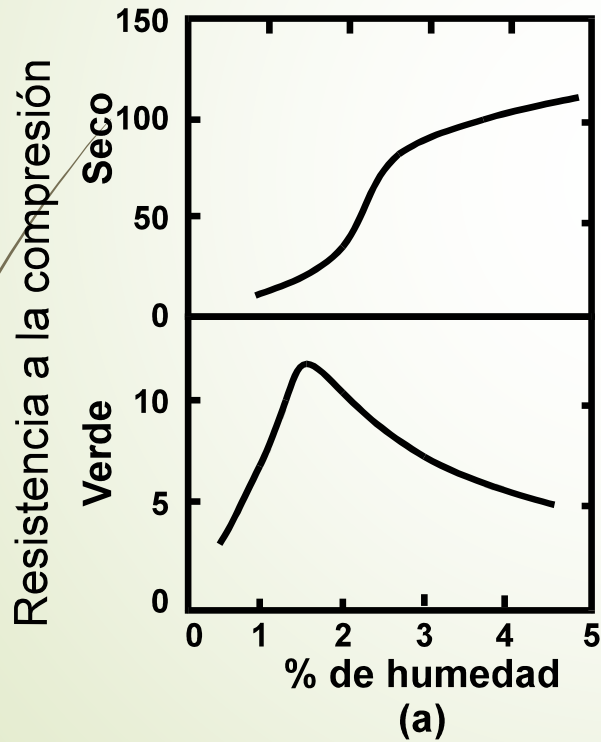
La *Arena Sílica* es la de empleo general por su costo.

Las arenas de zirconio presentan mayor conductividad térmica y no se adhieren a la superficie de la pieza.

Moldeo en verde;

- **aglomerantes- arcillas**, éstas se caracterizan por ser regenerables ya que su fuerza de adhesión se obtiene mediante la adición de agua
- **Caoliníticas** ($\text{Al}_2\text{O}_3 - 2\text{SiO}_2 - 2\text{H}_2\text{O}$), **montmorilloníticas [bentonitas]** ($\text{Al}_2\text{O}_3 - 4\text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O} - n\text{H}_2\text{O}$), **hidromicáceas** y **poliminerales**.
- Las bentonitas se utilizan tanto para el moldeo en verde como en seco.

- a) Efecto de la Humedad en la Resistencia en Verde y en Seco,
- b) Influencia de la Humedad y del Contenido de Arcillas en la Resistencia en Verde.



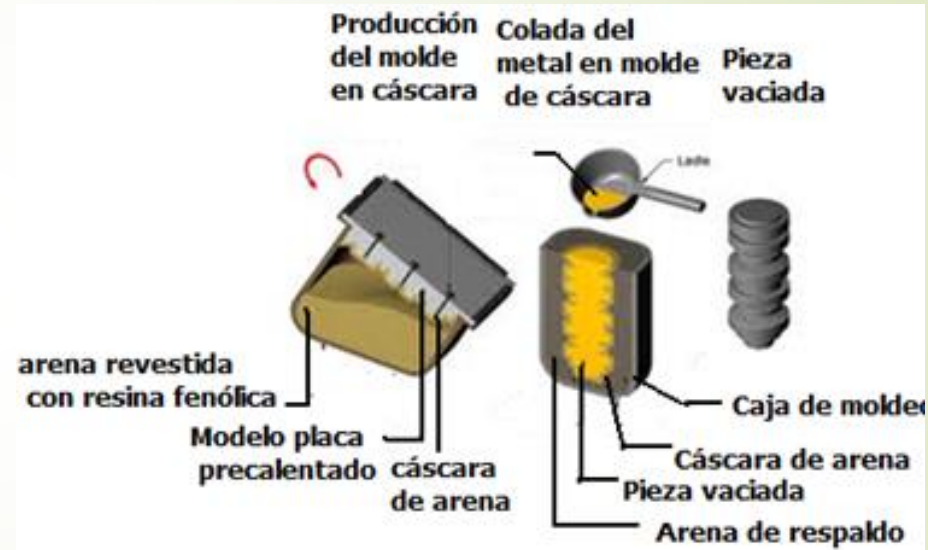
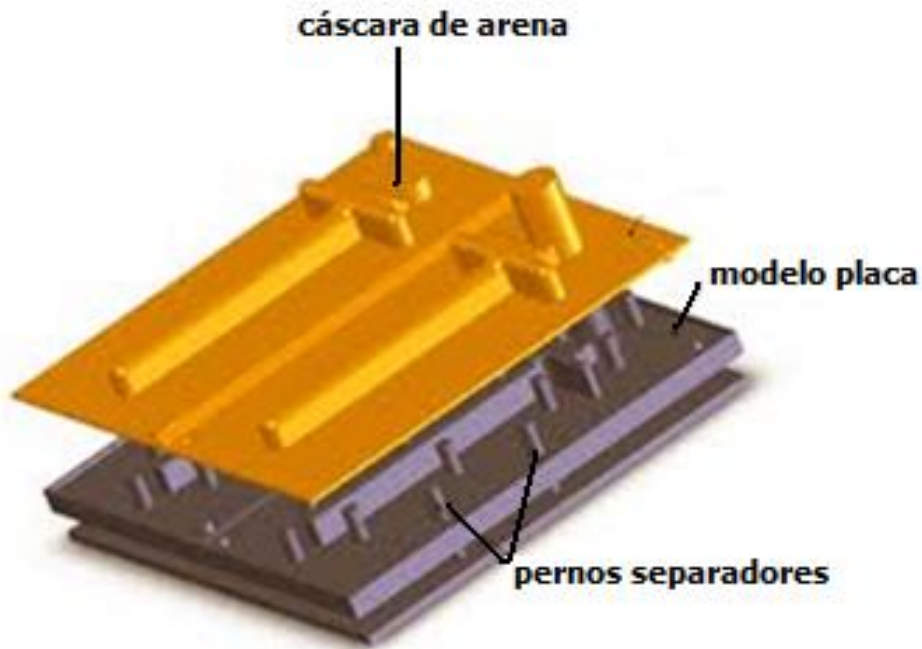
Izquierda vaciado de aluminio en moldes de arena en verde. Derecha, compactado de la arena alrededor del modelo, con auxilio de una pisoneta neumática



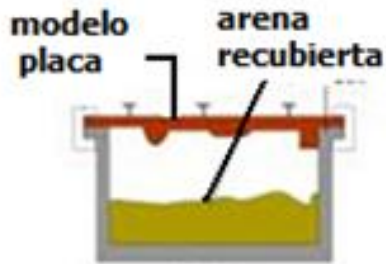
Vaciado de los moldes en un carrusel



Moldeo en cáscara (Shell).

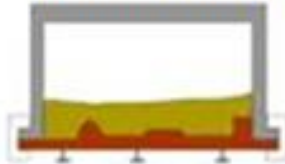


Moldeo en cáscara (Shell).



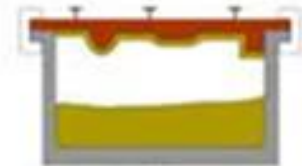
1

La arena se deposita sobre el modelo placa que ha sido precalentado



2

3



Una vez endurecida una capa de arena sobre la placa se devuelve la arena restante al depósito

4



Por último se separa la cáscara de arena del modelo placa



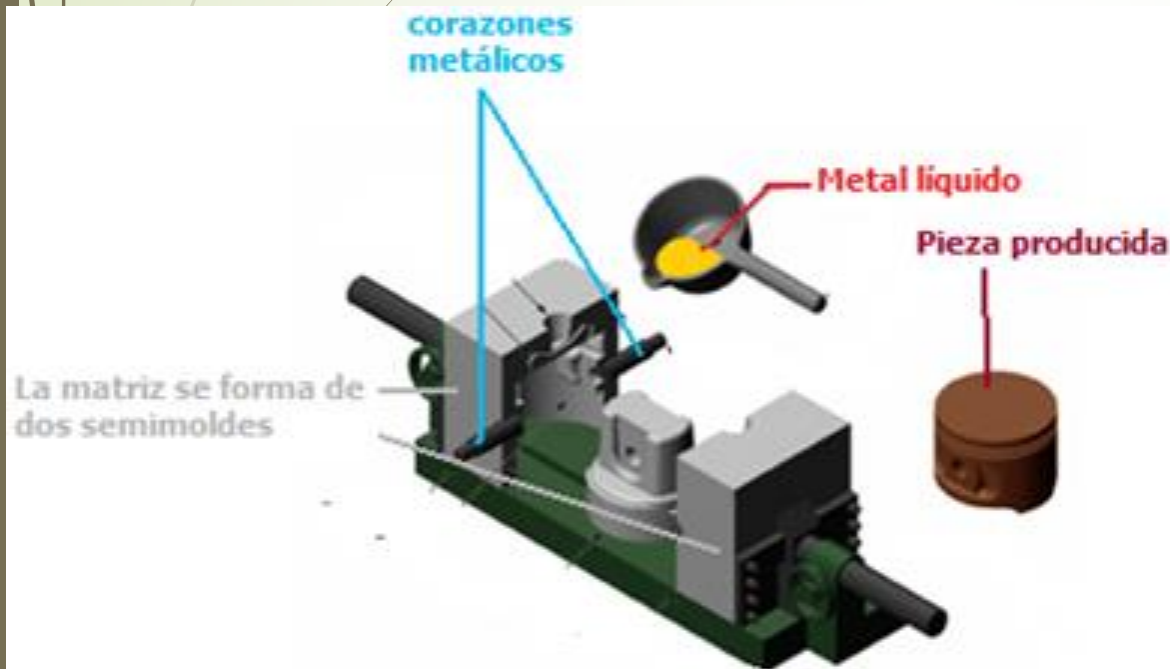
5

Molde en yeso ya terminado, derecha piezas en aluminio producidas por este método.



Colada en matriz.

Se caracteriza por el empleo de moldes metálicos (matrices) producidos en hierro gris o acero. Este tipo de proceso se emplea para lotes grandes de producción de piezas medianas cuya geometría permite su llenado por acción exclusiva de las fuerzas de gravedad (por ejemplo pistones automotrices).



Fundición a presión ó inyección de metales:

Piezas medianas y pequeñas (desde unos gramos hasta unos 50 Kg).

Metales y aleaciones de bajo punto de fusión (generalmente menor a 650 °C; aleaciones de aluminio y de zinc).

Geometrías complejas y espesores pequeños (del orden de unos cuantos mm)

Cavidades simples [los corazones son de acero]

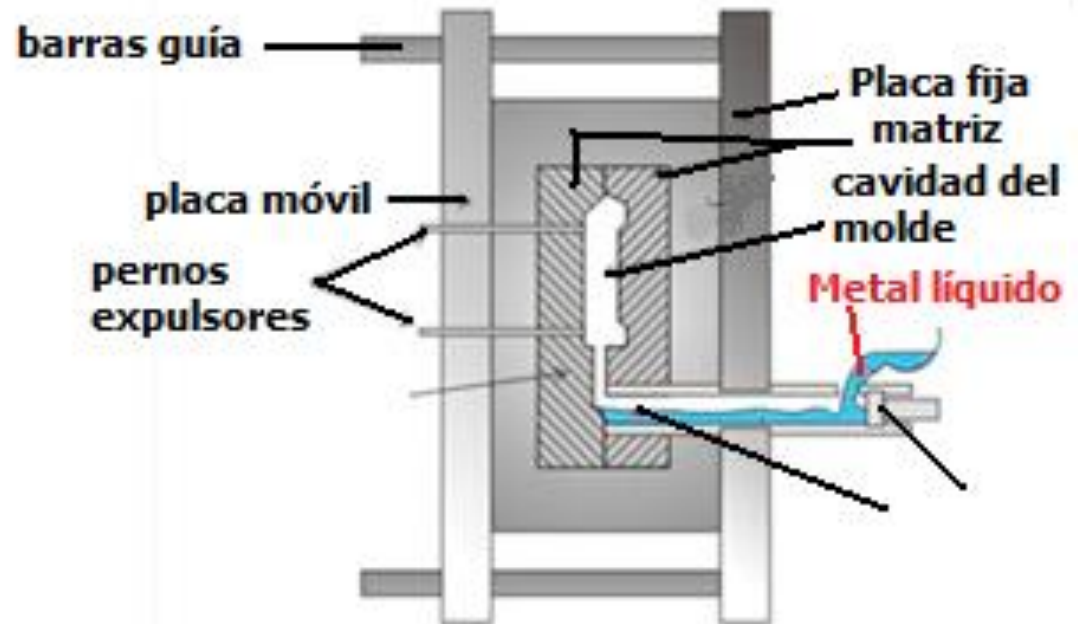
Lotes de producción muy grandes (mínimo del orden de unas 10000 piezas).

Se caracteriza por su reducido costo de operación, aunado a excelentes acabados y tolerancias cerradas.

Máquina para inyección de metales, Descripción esquemática del proceso.



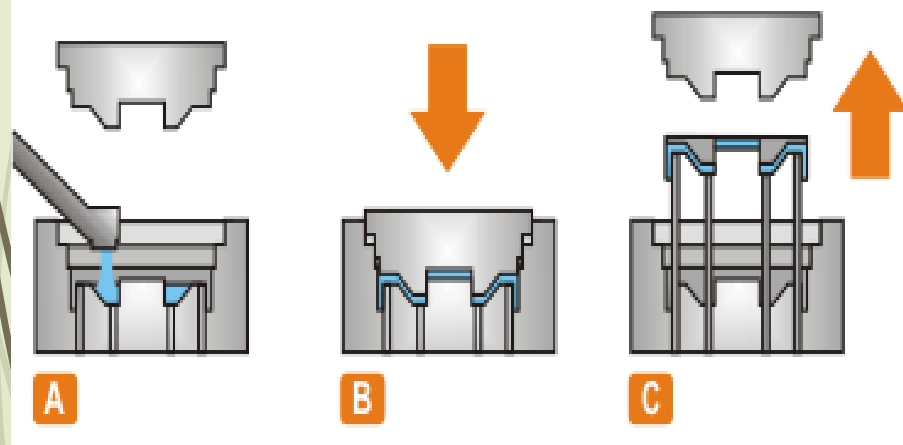
Descripción esquemática
de una máquina de
cámara fría



Fundición prensada (squeeze casting)

Desarrollada en la segunda mitad del siglo XX (hacia 1960)
Involucra la solidificación del metal bajo alta presión; combina forja con colada, afinando la microestructura y obteniendo mejores propiedades mecánicas.

a). Descripción esquemática, b) Piezas producidas por squeeze casting.



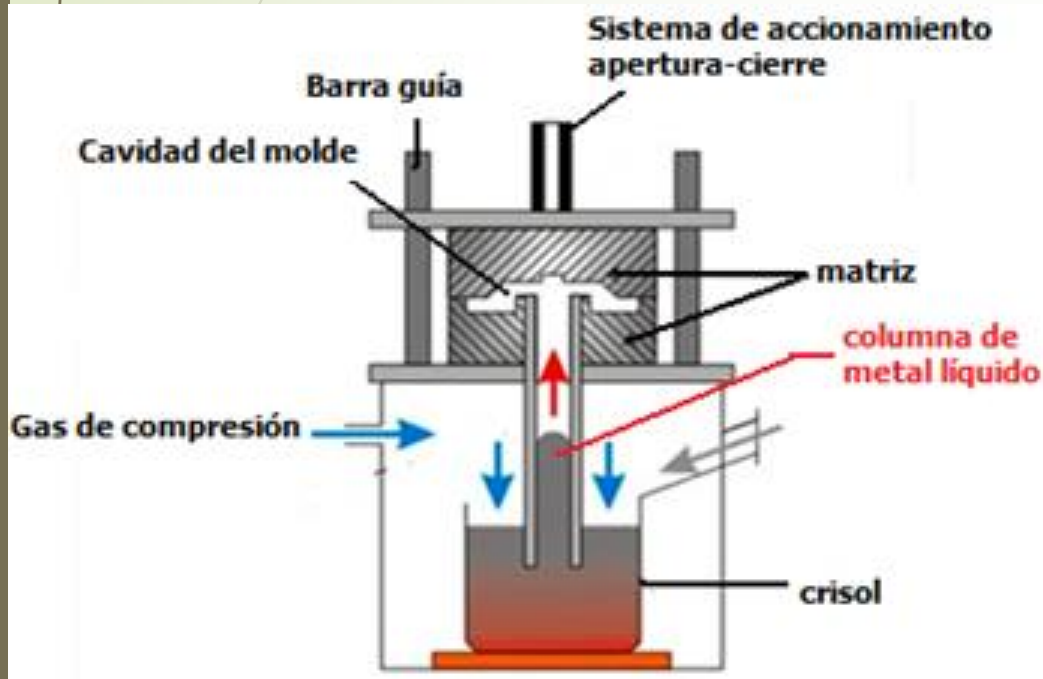
Fundición a baja presión (low pressure casting)

Moldes de grafito o también matrices metálicas.

El llenado es en flujo laminar por la parte inferior del molde, La presión necesaria para que el metal ascienda y llene el molde se aplica a través de un gas inerte.

La microestructura obtenida garantiza excelentes propiedades mecánicas. Este proceso se puede emplear tanto para los blocks de motor como para las ruedas.

Fundición a baja presión (low pressure casting).



Centrifugado y semicentrifugado:

Llenado del molde por la acción de las fuerzas generadas por la rotación de éste.

Estos permiten la obtención de piezas sanas (eliminación de defectos) y la disminución o en su caso la eliminación de conductos de llenado y mazarotas.

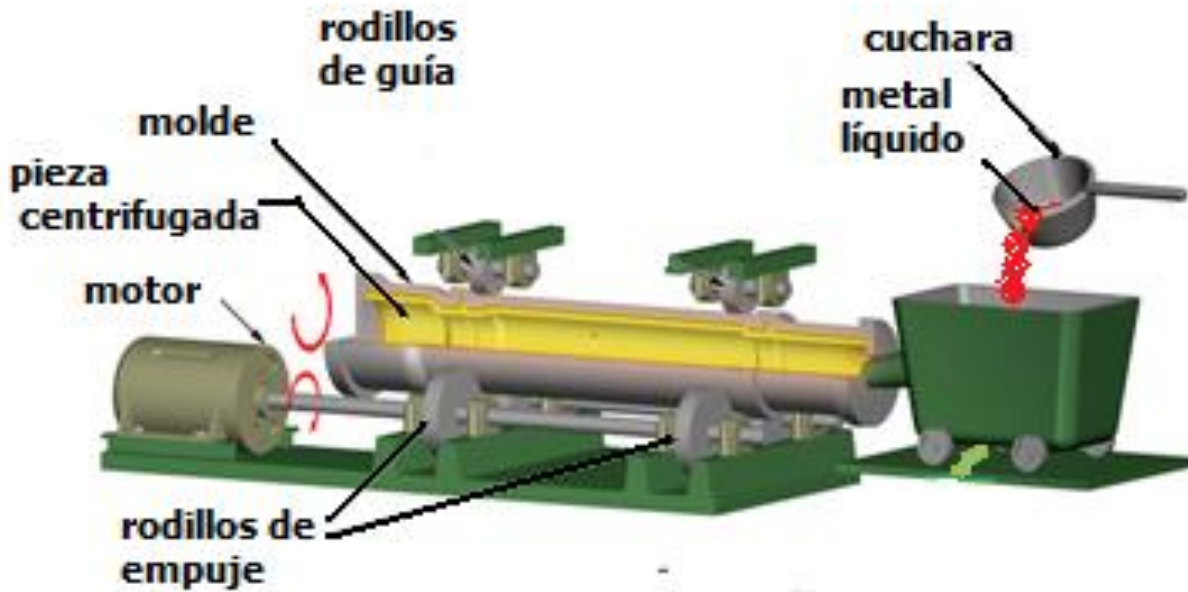
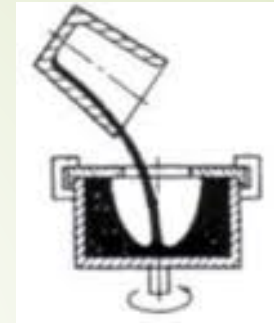
Centrifugado

Eliminación de corazones o machos

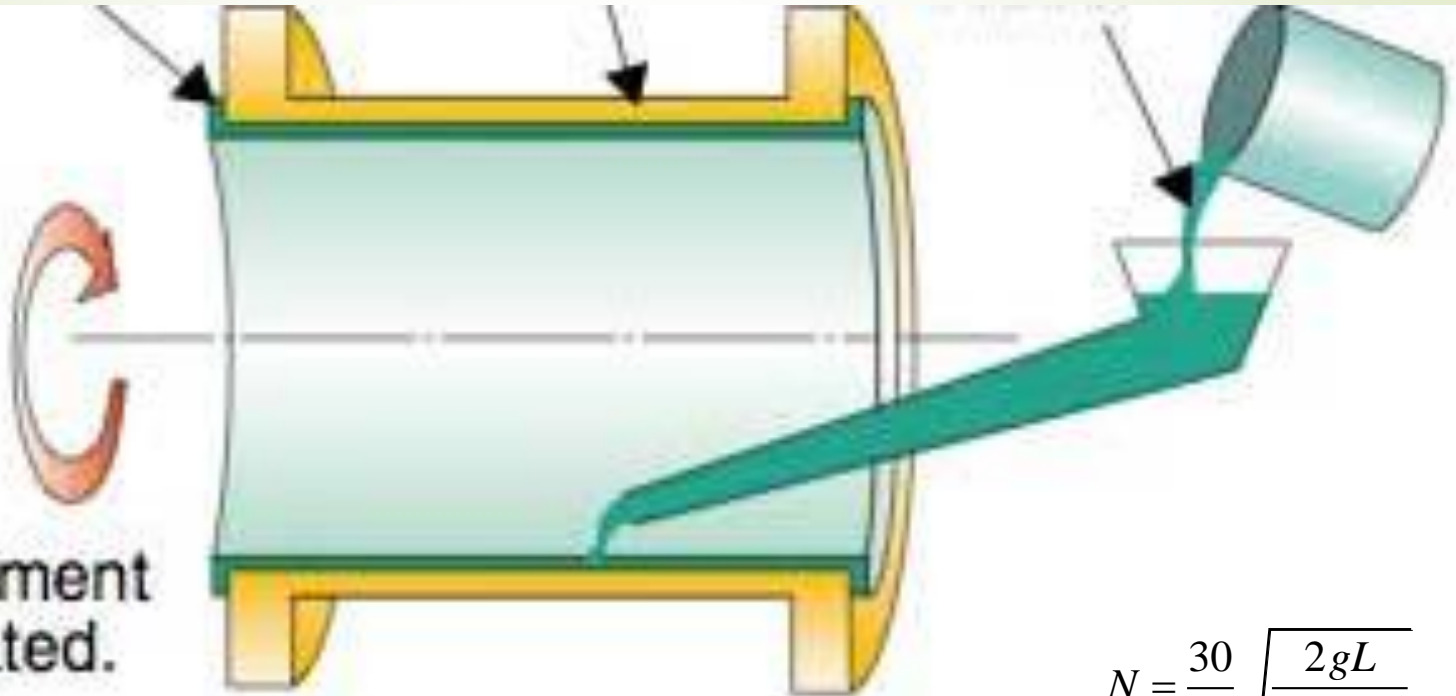
Semicentrifugado

Eliminación de mazarotas o alimentaciones

Centrifugado. a) en eje horizontal; b) Máquina para centrifugado vertical.



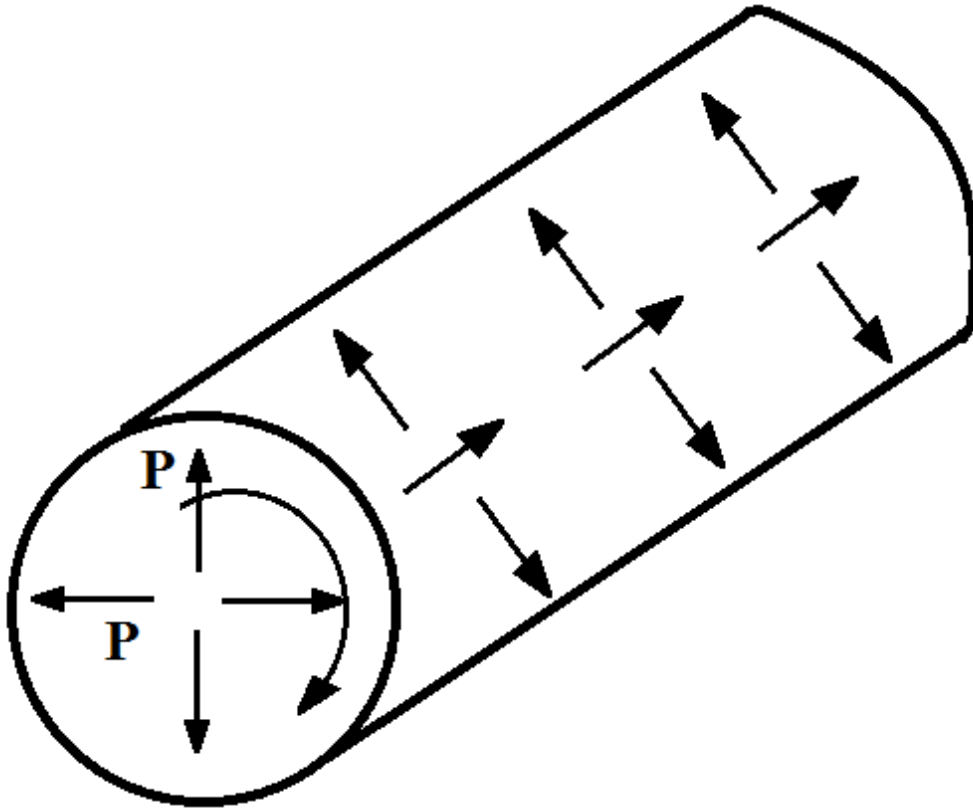
Centrifugado. en eje horizontal



A measurement tube is rotated.

$$N = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2gL}{R_e^2 - R_i^2}}$$

Centrifugado



$$P = \frac{F}{A} = \frac{ma}{\pi\phi l} \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$a = \frac{v^2}{R} = \frac{(\omega R)^2}{R} = \omega^2 R \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} ; N [rpm]$$

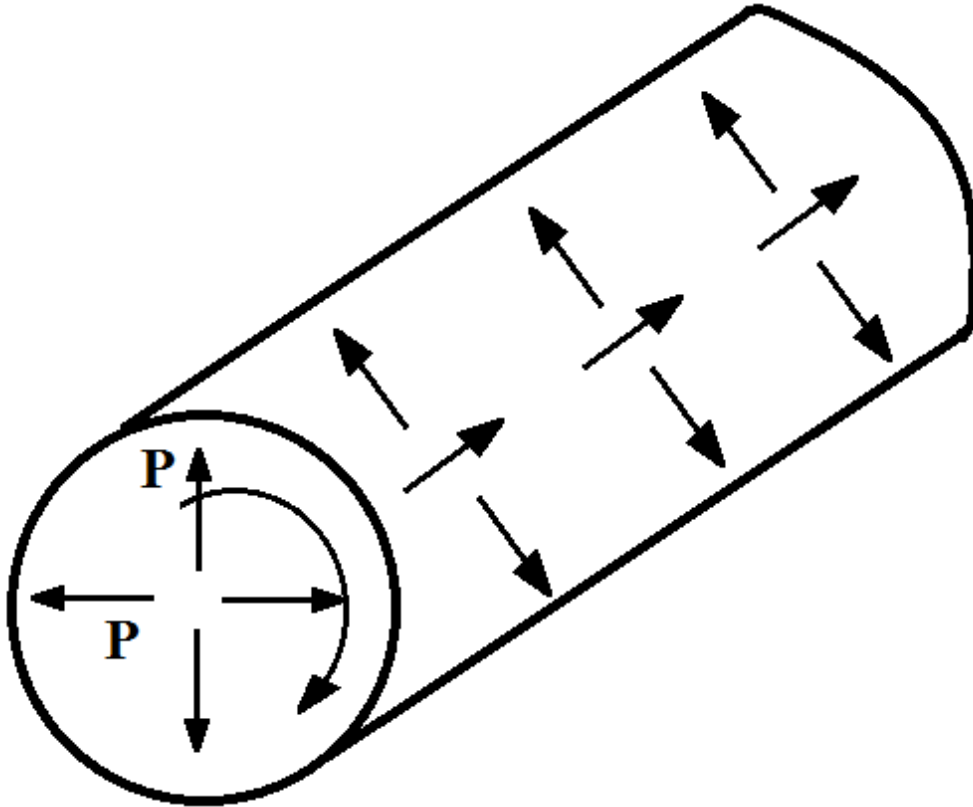
$$\Rightarrow a = \frac{4\pi^2 N^2 R}{3600} = \frac{\pi^2 N^2 R}{900}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V = \rho \left(\frac{\pi\phi l}{4} \right)$$

$$\therefore P = \rho \frac{\pi^2 N^2 R^2}{1800} \text{ pieza s\u00f3lida}$$

Centrifugado

Pieza hueca



$$\therefore P = \rho \frac{\pi^2 N^2}{1800} (R_{ext}^2 - R_{int}^2)$$

$$\therefore P = \frac{1}{2} \rho \omega^2 (R_{ext}^2 - R_{int}^2)$$

Factor de centrifugado (G)

$$G = \frac{R\omega^2}{g} = \frac{v^2}{Rg}$$

$$G = \frac{\left(\frac{2\pi NR}{60}\right)^2}{Rg} = \frac{\pi^2 N^2 R}{900g}$$

donde

R – radio de la pieza

g – aceleración de la gravedad

ρ – densidad

N – revoluciones por minuto

ω – velocidad angular

Centrifugado, Ejemplo.

Ejemplo:

Una operación de fundición centrífuga real se va a realizar para producir tubo de hierro gris. La sección tendrá una longitud de 42 in y un diámetro exterior de 8 in y espesor de 0.5 in. Si la velocidad de rotación del tubo es de 500 rpm determine: a) El factor G, b) La presión que se genera si la densidad del hierro gris es de 7.9 g/cm³.

$$G = ((3.1492^2) * (500^2) * (8 * 2.54 / 100)) / (900 * 9.81)$$

$$G = 57.062$$

$$P = ((7900 * (3.1416^2) * (500^2) * ((8 * 2.54 / 100)^2 - (7.5 * 2.54 / 100)^2))) / 1800$$

$$P = 54145.891 \text{ Pa}$$

$$P = 54.145 \text{ KPa}$$

Sustentabilidad de la fundición.

- Genera desechos
- Gran huella de carbón
- Permite el reciclado de metales

Tendencia → Reducir el empleo de aleaciones que demanden elevadas temperaturas de colada, las cuales en su mayoría han sido sustituidas por aleaciones de aluminio.

→ Se ha buscado modificar los químicos empleados sobre todo como aglomerantes haciendo estos más eficientes (se requiere menor porcentaje de resinas por tonelada de arena), reduciendo las emisiones generadas durante el endurecimiento y el vaciado del metal.

→Tendencia al uso de aglomerantes inorgánicos.


→ Búsqueda de aplicaciones para las arenas y escorias a las cuales no solo se les ha encontrado uso como rellenos sino como fuente de minerales para los suelos agrícolas.

Calentamiento del metal (consideraciones)

Material a fundir (temperatura de fusión y reactividad con el ambiente), calidad y tamaño de las piezas, volumen de producción, tipo de unidades de fusión (hornos), para calentar el metal a la temperatura necesaria.

La energía calorífica requerida es la suma de:

- 1) El calor para elevar la temperatura hasta el *punto de fusión*,
- 2) *Calor de fusión* para convertir el metal sólido a líquido
- 3) El calor necesario elevar al metal fundido a la *temperatura de vaciado*.


$$Q = \rho V [C_s (\theta_m - \theta_0) + q_f + C_l (\theta_p - \theta_m)]$$

Donde

Q = Calor requerido para elevar la temperatura del metal a la temperatura de colada [J]

ρ = Densidad [Kg / m^3]

V = Volumen del metal que se calienta [m^3]

C_s = Calor especifico del metal solido [J/Kg °C]

θ_0 = Temperatura inicial, generalmente la ambiente [°C]

θ_m = Temperatura de fusion del metal [°C]

q_f = Calor de Fusion [J/Kg]

C_l = Calor especifico del metal liquido [J/Kg °C]

θ_p = Temperatura de vaciado [°C]

Vaciado del metal fundido.

Calentamiento → Temperatura de colada → Vaciado

- **La introducción del metal fundido en el molde y su flujo dentro éste es un paso crítico en el proceso.**
- **El metal debe fluir antes de solidificarse a través de todas las regiones del molde.**
- **Los factores que afectan la operación de vaciado son la temperatura de vaciado, la velocidad de vaciado y la turbulencia generada durante el llenado del molde.**

Vaciado del metal fundido.

- Sobrecalentamiento mínimo posible que garantice el correcto llenado del molde
- La cinética de oxidación como la solubilidad de gas en el metal líquido dependen de la temperatura.



Vaciado del metal fundido.

- La velocidad de vaciado es el caudal con que se vierte el metal fundido dentro del molde.
- Si la velocidad es muy lenta, el metal puede enfriarse antes de llenar la cavidad.
- Si la velocidad de vaciado es excesiva provoca turbulencia y puede convertirse en un problema serio, dando lugar a porosidad en la pieza o arrastre de escoria o arena [Número de Reynolds].

Vaciado del metal fundido.

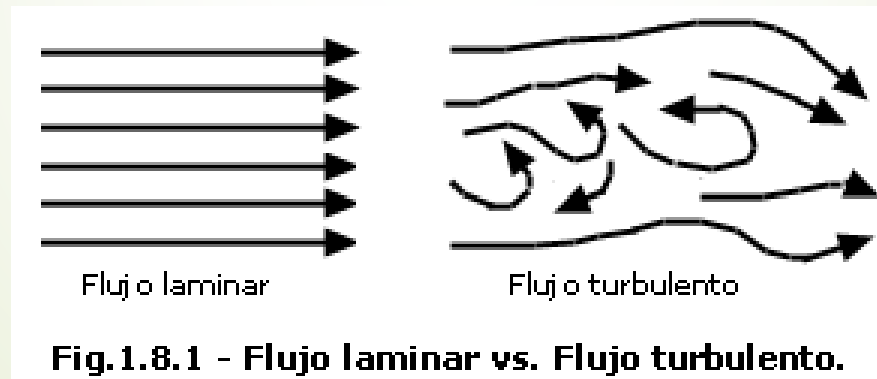
- La turbulencia del flujo se produce al contacto del metal líquido con las paredes del molde; depende de la velocidad y de la viscosidad del metal líquido, así como de la geometría del sistema de llenado.
- El Flujo turbulento debe evitarse, ya que provoca; mayor interacción entre metal y aire favoreciendo la formación de óxidos metálicos que pueden quedar atrapados durante la solidificación, erosión excesiva del molde por efecto del impacto del flujo de metal fundido.
- La turbulencia promueve que el metal líquido atrape gas y escorias afectando la calidad de las piezas producidas.

Vaciado del metal fundido.

- **Capa Límite**

Mediante un análisis adimensional se obtuvo el llamado número de Reynolds (Re), el cual es muy significativo para caracterizar el movimiento de los fluidos como:

- **Flujo laminar**
- **Flujo turbulento**



Vaciado del metal fundido.

- **Número de Reynolds (Re)**

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

A este le afectan factores como el gradiente de presión, la rugosidad de la superficie en contacto, la transferencia de calor por mencionar algunos.

Para flujo en tuberías, donde:

μ - viscosidad del fluido (metal líquido, el cual depende de la temperatura)

ρ - densidad del fluido

v - velocidad del fluido o metal líquido

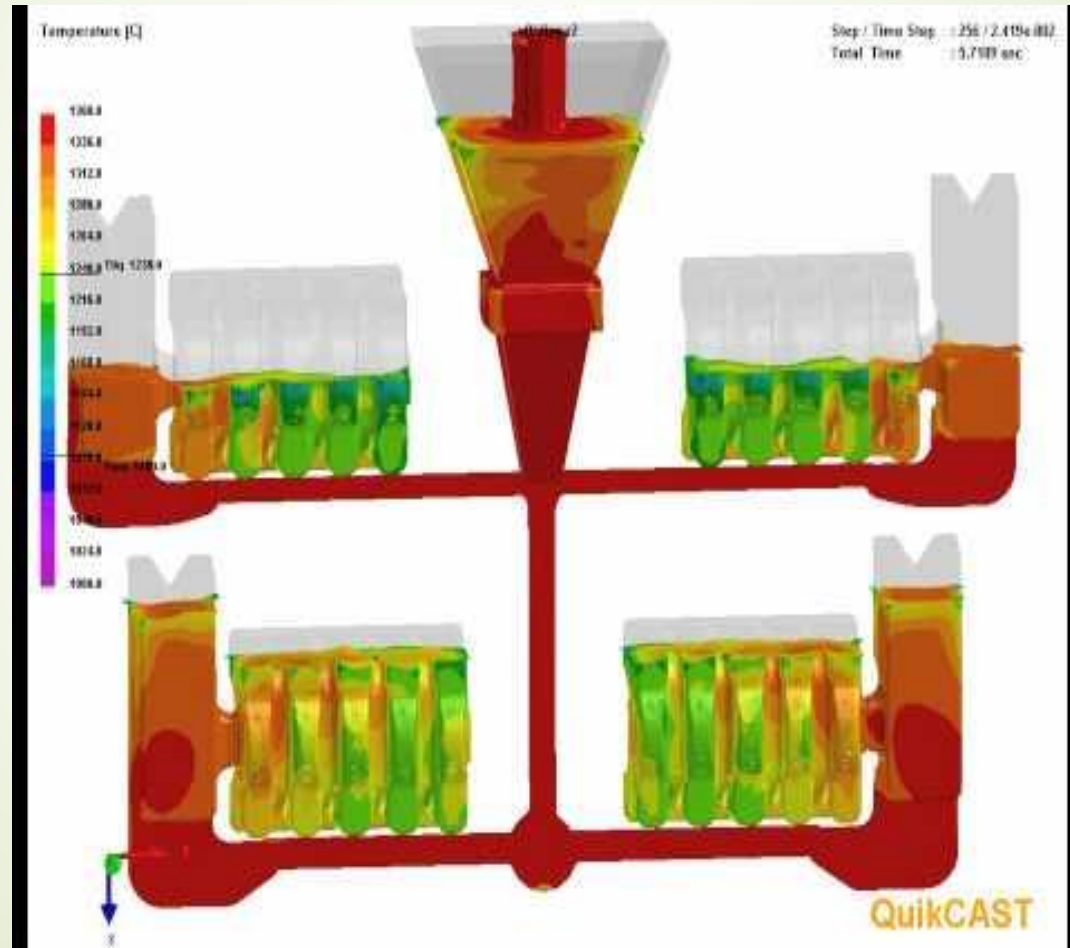
D - diámetro del canal o bebedero

$Re \leq 2000$ Flujo laminar

$2000 \leq Re \leq 20,000$ Régimen de transición

$Re \geq 20,000$ Flujo turbulento

Simulación del llenado mediante paquetería comercial [software Quikcast™].



Análisis del proceso de vaciado.

Flujo conservativo (lo cual no es verdad): se puede realizar un primer análisis empleando para tal fin la ecuación de Bernoulli

“La suma de las energías (altura, presión dinámica y energía cinética) en dos puntos cualquiera de un líquido que fluye es igual.

Análisis del proceso de vaciado.

Esto se puede escribir como:

$$h_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + F_1 = h_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + F_2$$

Donde:

h = Altura [m]

P = Presion en el liquido [N/m^2]

ρ = Densidad [Kg / m^3]

v = Velocidad de Flujo [m/s]

g = aceleracion gravitatoria [m/s^2]

F = Perdidas de carga debidas a la friccion [m]

** Los subindices 1 y 2 indican dos puntos cualesquiera en el flujo del liquido

Análisis del proceso de vaciado.

Si no se consideran las pérdidas por fricción y se asume que la descarga es presión atmosférica en toda su extensión, entonces la ecuación puede reducirse a:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

La cual puede emplearse para determinar la velocidad del metal fundido en la base del bebedero de colada (ecuación de Torricelli):

$$v = \sqrt{2gh}$$

donde:

v = Velocidad del metal líquido en la base del bebedero [m/s]

g = aceleración gravitatoria [m/s²]

h = Altura del bebedero [m]

Análisis del proceso de vaciado.

Otra relación de importancia durante el vaciado es la ecuación de conservación de masa y dado que la densidad se considera constante entonces:

$$\dot{V} = v_1 A_1 = v_2 A_2$$

donde:

\dot{V} = Velocidad de flujo volumetrico [m^3/s]

v = Velocidad [m/s]

A = Area de la seccion transversal del liquido [m^2]

** Un incremento en el area produce una disminucion en la velocidad y viceversa

Análisis del proceso de vaciado.

El conducto vertical del sistema de colada deberá ser cónico

→ Con la finalidad de que el metal no atrape gas durante el vaciado

El área de la sección transversal del canal debe reducirse conforme el metal se acelera durante su descenso en el bebedero de colada

→ Ya que puede aspirar aire dentro del líquido debido al incremento de la velocidad del metal que fluye hacia la base del bebedero y conducirlo a la cavidad del molde.

Análisis del proceso de vaciado.

Considerando que el canal alimentador de la base del bebedero a la cavidad del molde sea horizontal (y por tanto que la altura sea la misma que la de la base del bebedero), la velocidad volumétrica de flujo a través del sistema de vaciado y dentro de la cavidad del molde permanece igual a vA en la base. Por consiguiente, se puede estimar el tiempo requerido para llenar una cavidad de volumen V como sigue:

$$t = \frac{V}{\dot{V}}$$

$$t = s\sqrt{M}$$

donde:

t = Tiempo de llenado del molde [s]

V = Volumen de la cavidad del molde [m^3]

\dot{V} = Flujo volumetrico [m^3/s]

** Un incremento en el area produce una disminucion en la velocidad y viceversa



Análisis del proceso de vaciado.

El tiempo de llenado del molde calculado debe considerarse como tiempo mínimo,



Tiempo de solidificación.

El tiempo de solidificación depende del tamaño y de la forma de la fundición expresada por una relación empírica conocida como **regla de Chvorinov** que establece:

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

donde:

t_s = Tiempo de solidificación total [min]

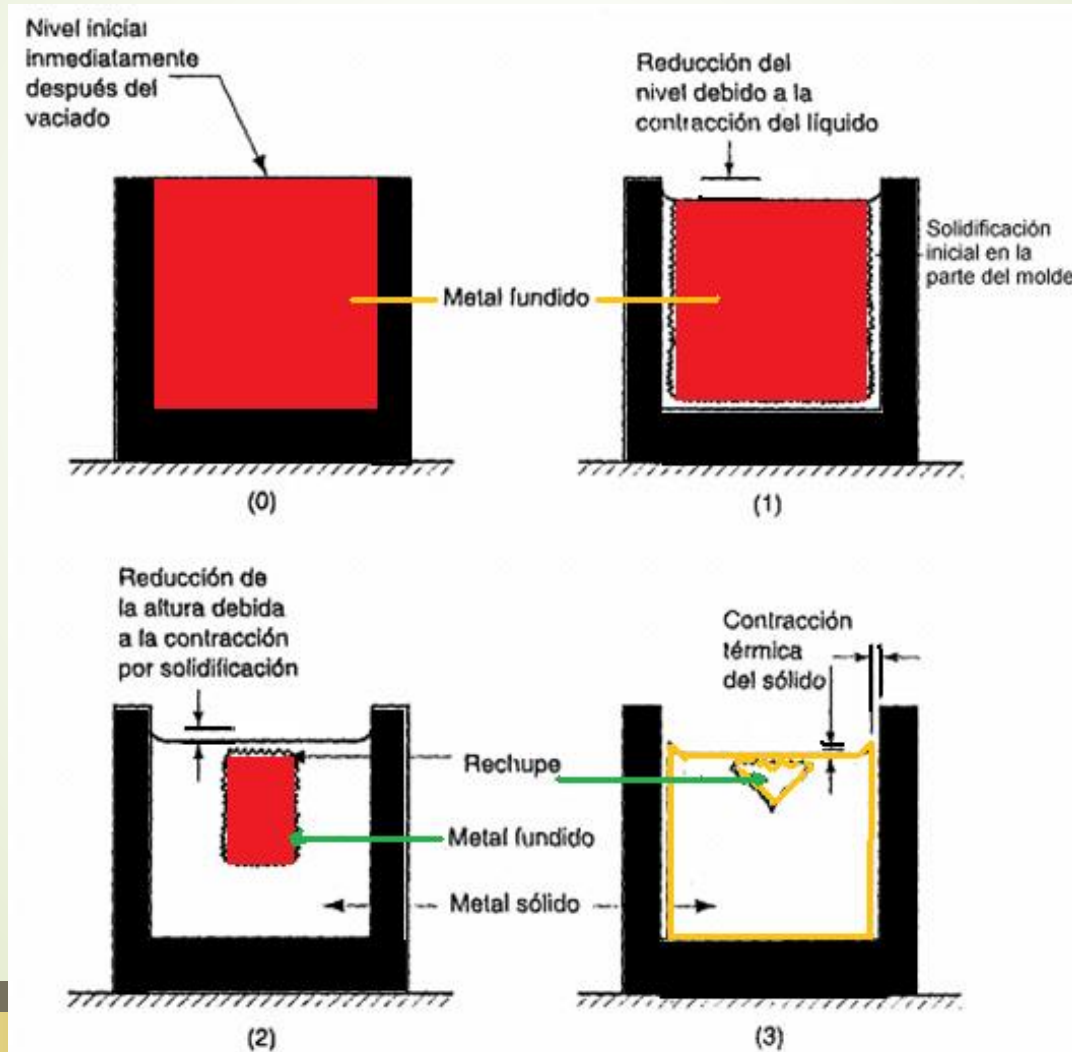
V = Volumen de fundición [m^3]

A = Área superficial de la fundición [m^2]

n = Exponente que toma usualmente el valor de 2

C_m = Constante del molde

Descripción del proceso de contracción considerando una condición axisimétrica y un molde abierto.



Diseño de la mazarota.

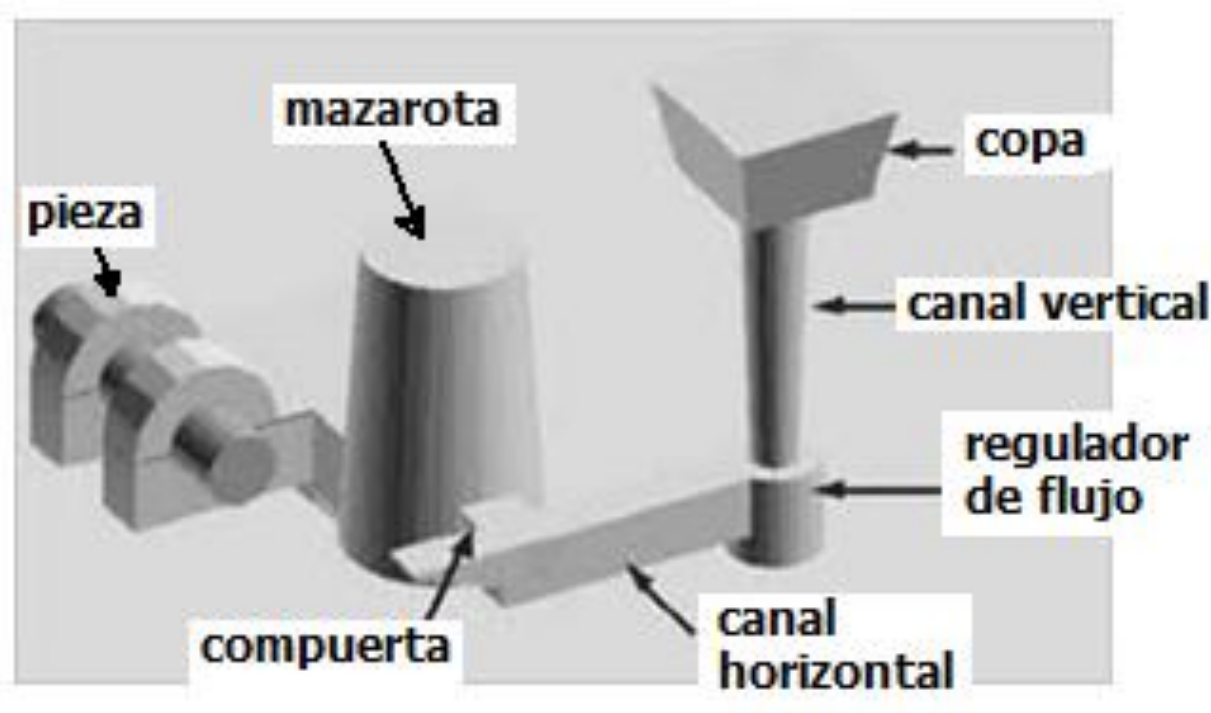
La mazarota se usa en un molde de fundición para alimentar metal líquido al proceso durante el enfriamiento y compensar así la contracción por solidificación.

La mazarota debe permanecer líquido hasta después de que la fundición solidifique.

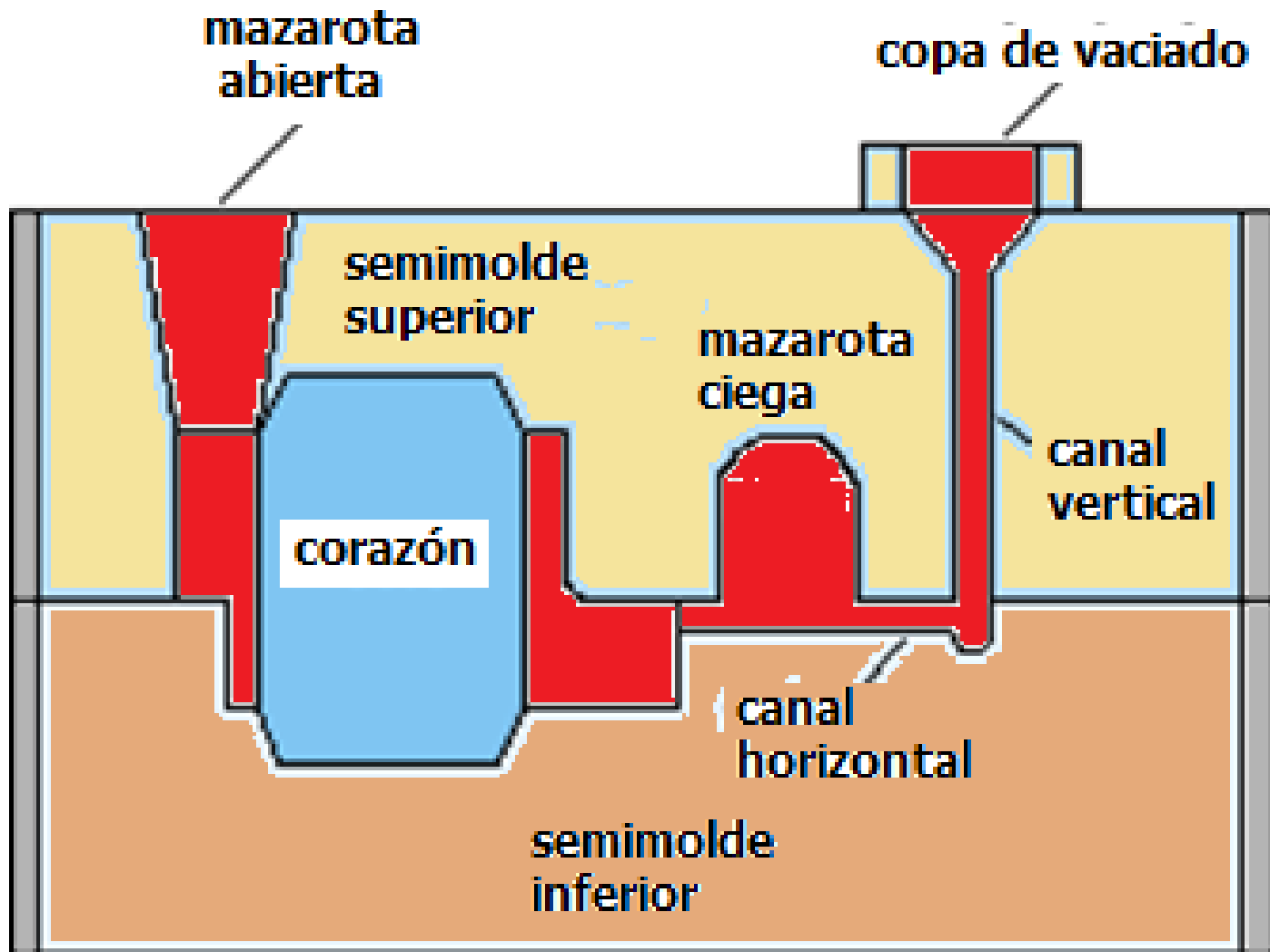
Diseño. Para satisfacer este requerimiento se puede calcular el tamaño de la mazarota usando la regla de **Chvorinov**.

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

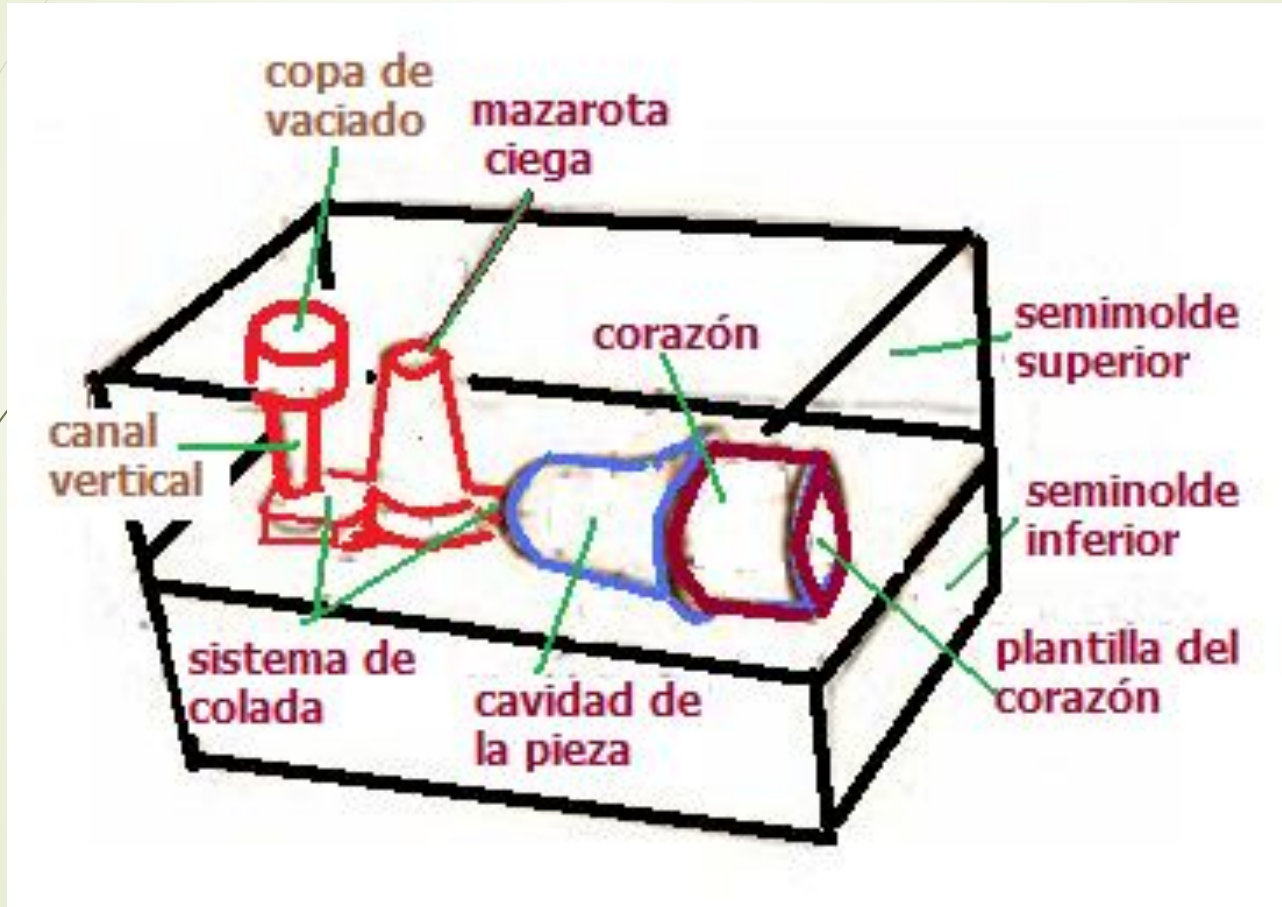
Sistema de llenado (colada) y alimentación (mazarotas).



Sistema con mazarota ciega.



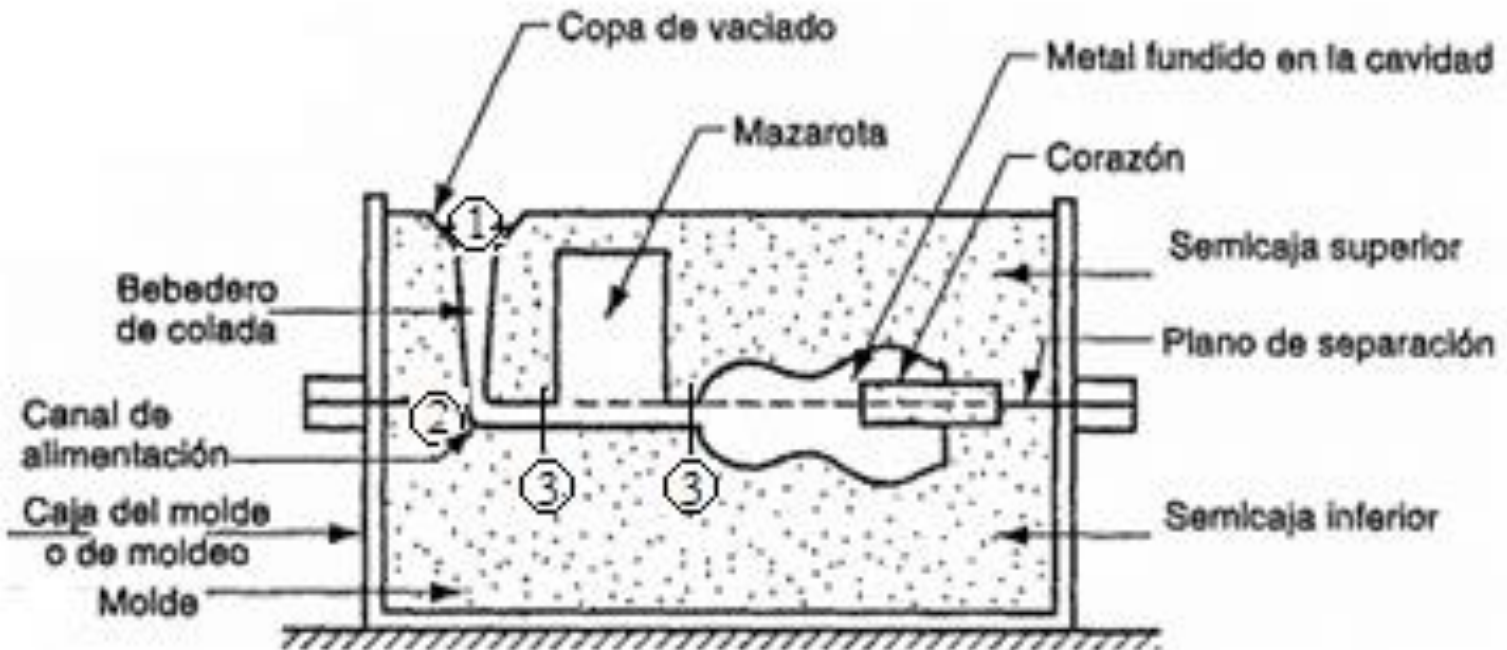
Colada y mazarota en serie.



Ejemplos.

Un molde tiene un bebedero de colada de 0.2[m] y el área de la sección transversal de la base es de $0.000258\text{[m}^2\text{]}$. El bebedero alimenta un canal horizontal que conduce a la cavidad del molde cuyo volumen es $0.0016387\text{[m}^3\text{]}$. Calcular:

- La velocidad del metal líquido en la base del bebedero de colada.
- El flujo volumétrico.
- El tiempo de llenado del molde (MFT).



Ejemplos.

Deben diseñarse una mazarota cilíndrica para un molde en arena. La fundición es una placa rectangular de acero con dimensiones $0.0762\text{[m]} \times 0.127\text{[m]} \times 0.0254\text{[m]}$. En observaciones previas se ha indicado que el tiempo de solidificación total (TST) es de 1.6 [min] . La mazarota cilíndrica debe tener una relación de diámetro/altura igual a uno. Obtener:

El diámetro y altura de la mazarota si el TST de la mazarota es de 2[min] .

Ejemplos.

Un molde tiene una colada de 6[in]. El área de la sección transversal en la base de la colada o bebedero es de 0.5[in²]. El canal conduce al material a una cavidad que forma la mazarota y la pieza con un volumen de 75[in³]. Determine:

- El tiempo de llenado de la pieza (MFT).
- Diseñe la mazarota, si la pieza es en forma de placa, de longitud de 6[in] x 5[in] de ancho y 1.5 [in] de espesor y la mazarota deberá tener una altura 1.5 veces el diámetro y deberá solidificar en un tiempo 30% más del de la pieza.

Ejemplos.

Una fundición de aluminio tiene forma cilíndrica con 10[cm] de diámetro y pesa 60[N]. Ésta fundición tarda 4[min] en solidificar completamente.

Otra fundición cilíndrica del mismo aluminio, con la misma relación diámetro/altura, pesa 32[N] y solidifica en 2[min] bajo las mismas condiciones de vaciado y molde. Determine:

- La constante del molde (C_m).
- El exponente (n) en la regla de Chorinov.

Considere para lo anterior que la densidad del aluminio es de 2.7 (g/cm^3)

Proceso	Material procesado	Tamaño [Kg]	Acabado superficial [Ra- μ m]	Tolerancia [mm/mm]	Espesores [mm]	Complejidad geométrica
Arena (sand casting)	Todos	0.05-sin límite	5 a 25	1.6-4	3-sin límite	1-2
Cáscara (shell molding)	Todos	0.05-100	1 a 3	± 0.003	2-	2-3
Yeso de ceramista (plaster)	No ferrosos	0.05-50	1 a 2	$\pm 0.005-0.01$	1-	1-2
Alta precisión (investment casting)	Todos (alto punto de fusión)	0.0005-100	1 a 3	± 0.005	1-75	1
Molde permanente (permanent mold)	No ferrosos	0.5-100	2 a 20	± 0.015	2-50	3-4
Matriz a presión (die casting)	No ferrosos	< 50	0.5 a 3	$\pm 0.001-0.005$	0.5-12	3-4
A baja presión (low pressure casting)	No ferrosos	0.2-100	1 a 4	0.01	-	-
Centrífuga (centrifugal)	Todos	0.5-5000	2 a 10	0.015	2-100	3-4

Diseño de la colada.

Para el diseño de las coladas, a partir de la ecuación de Toriccelli se puede conocer la velocidad del metal líquido al colar por gravedad

$$v = \sqrt{2gH}$$

Donde:

v – velocidad del metal líquido $[m / s]$

g – aceleración de la gravedad $[m / s^2]$

H – altura del bebedero (promedio en función de las condiciones de alimentación) $[m]$

Diseño de la colada.

Considerando la masa de la total a depositar al interior de la cavidad, se puede calcular un tiempo de duración de la colada. La ecuación anterior es válida para piezas con una masa hasta de 450[Kg] (y paredes de 2.5 a 15[mm]).

$$t = s\sqrt{M}$$

Donde:

t – duración de la colada [s]

s – coeficiente que considera el espesor de las paredes de la pieza

M – masa de la pieza y la mazarota [Kg]

La ecuación anterior es válida para piezas con una masa hasta de 450[Kg] (y paredes de 2.5 a 15[mm]).

Diseño de la colada.

Valores del factor s .

Espesor de las paredes de la pieza [mm]	s
2.5-3.5	1.68
3.5-8	1.85
8-15	2.2

Diseño de la colada.

Para piezas medianas y grandes con una masa hasta de 1000[Kg] y para fundiciones donde el material es acero (debido a la alta viscosidad que presenta este) la ecuación experimental utilizada es.

$$t = s\sqrt[3]{\delta M}$$

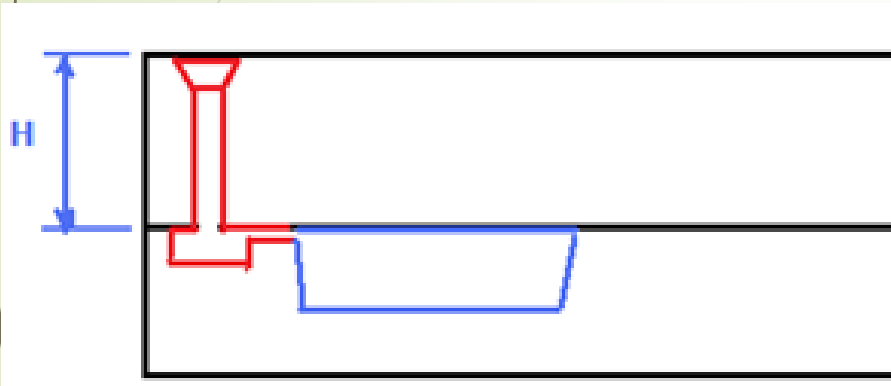
Donde:

δ – espesor de la pieza [mm]

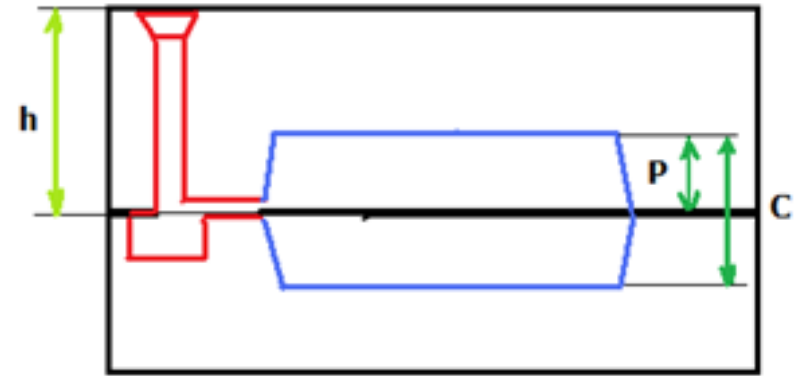
δ [mm]	s
Hasta 10	1
20	1.35
40	1.5
80 y mayores	1.7

Diseño de la colada.

Altura de vaciado o colada:



$$h = H$$



$$H = \frac{2hC - P^2}{2C} = h - \frac{P^2}{2C}$$

donde:

h – altura del bebedero o colada [cm]

C – altura total de la cavidad a reproducir [cm]

P – distancia (altura) de la cavidad respecto del canal de alimentación [cm]

Diseño de la colada.

A partir de la ecuación que describe el flujo volumétrico

$$\dot{Q} = vA$$
$$\Rightarrow \dot{Q} = vA = \frac{M}{\rho t}$$

Donde:

ρ – densidad del metal $[Kg / m^3]$

Diseño de la colada.

Como la velocidad real del metal líquido es menor debido a las pérdidas por la fricción con la pared del molde, entonces se tiene que:

$$v_r = \mu v$$

Donde μ es un factor debido a las pérdidas antes mencionadas, determinado basándose en datos empíricos. Toma valores que por lo general oscilan entre 0.75 y 0.85 (en promedio 0.8). Para piezas con espesores hasta los 10[mm] este factor tiene una magnitud de 0.34.

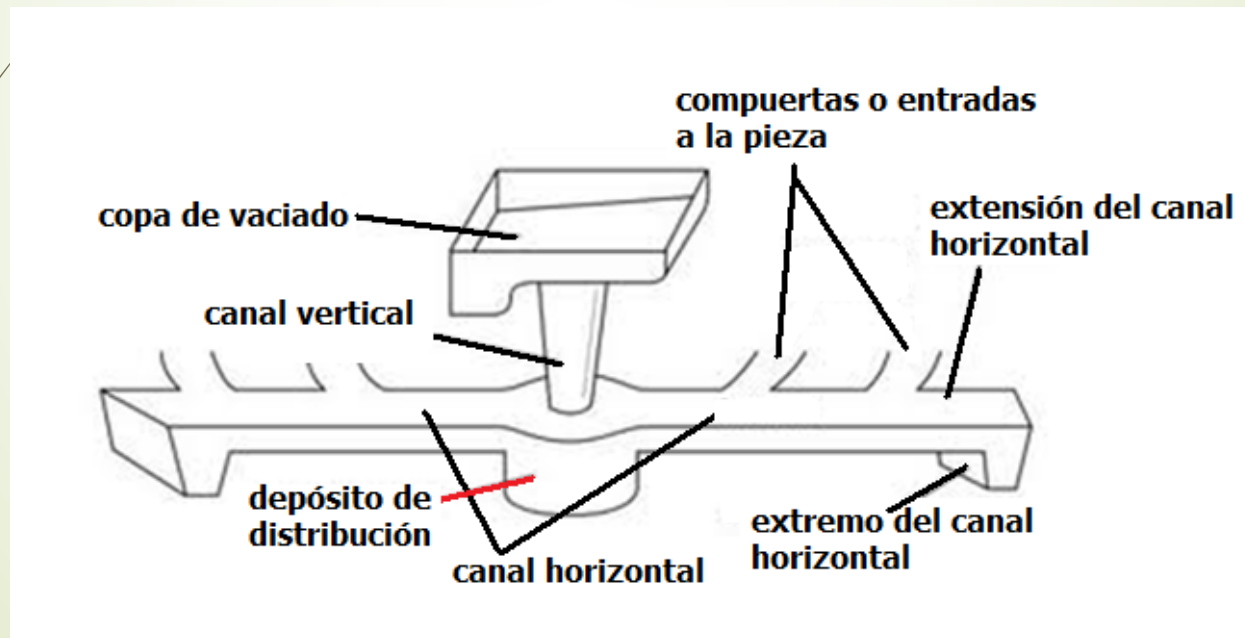
Diseño de la colada.

Finalmente el área de la sección transversal de la colada se obtiene mediante la ecuación:

$$\therefore A = \frac{M}{0.8(2gH)^{1/2} \rho t}$$

Diseño de la colada.

Por la magnitud de la sección transversal de la colada, se puede relacionar en forma proporcional la superficie del colector de escoria así como de las compuertas de alimentación de las piezas, esto con el fin de garantizar un flujo volumétrico del material constante.



Elementos del sistema de llenado

Diseño de la colada.

a) Pieza con espesores delgados

<i>Acolada</i>	<i>Ascoria</i>	<i>Acompuestas</i>
1	1.06	1.11

b) Pieza con espesores medianos y pequeños

<i>Acolada</i>	<i>Ascoria</i>	<i>Acompuestas</i>
1	1.1	1.15

Diseño de la colada.

c) Pieza con espesores medianos y grandes

<i>Acolada</i>	<i>Aescoria</i>	<i>Acompuestas</i>
1	1.5	2

d) Pieza con espesores grandes

<i>Acolada</i>	<i>Aescoria</i>	<i>Acompuestas</i>
1	1.2	1.4

donde:

A_{colada} ó A – área de la sección transversal de la colada $[m^2]$

$A_{escoria}$ – área de la superficie del canal del colector de escoria $[m^2]$

$A_{escoria}$ – área de la sección transversal de las compuertas de alimentación $[m^2]$

Diseño de la colada.

Ejemplo:

Se va a fabricar una pieza en una fundición en hierro gris, el cual tiene una densidad de $7150[\text{kg}/\text{m}^3]$. La semicajas de las que se compone la caja de moldeo, tienen una altura cada una de $6[\text{in}]$. La cavidad a reproducir se encuentra totalmente en la semicaja inferior y posee espesores de $10[\text{mm}]$ así como una masa de $40 [\text{kg}]$. Diseñe la colada para el óptimo llenado de la pieza.