



Procesos de preformar



Jesús Velázquez Sancho



Introducción

PREFORMAR:

Dar forma previa a un material para luego someterlo a un proceso posterior.

- **Líquido:** Un sólido pasa a líquido. Un ejemplo es la fundición de un metal o la inyección de un plástico.
- **Polvo:** Se convierte un sólido en polvo para luego someterlo a otro proceso. Un ejemplo es la pulvimetalurgia o el sinterizado.
- **Gas o vapor:** Un sólido se sublima y pasa a vapor o gas.
- **Iones:** Un sólido es tratado por distintos procedimientos para obtener una superficie ionizada.

MATERIALES:

- Metálicos (Aceros, aluminios, aleaciones....):
 - Fundición
 - Inyección
 - Sinterizado (Pulvimetalurgia)
- Polímeros
 - Inyección
 - Extrusión
 - Soplado
 - Termo-conformado
- Cerámicos
 - Moldeado
 - Sinterizado
- Vidrio (≠ Cristal)
 - Soplado
 - Laminado
 - ...



Índice de Fundición

1. Introducción. Fundición
2. Molde. Clasificación
3. Moldeado con molde no permanente
4. Moldeado con molde permanente
5. Diseño del proceso de moldeo
6. Defectos de la fundición
7. Equipos y utillajes

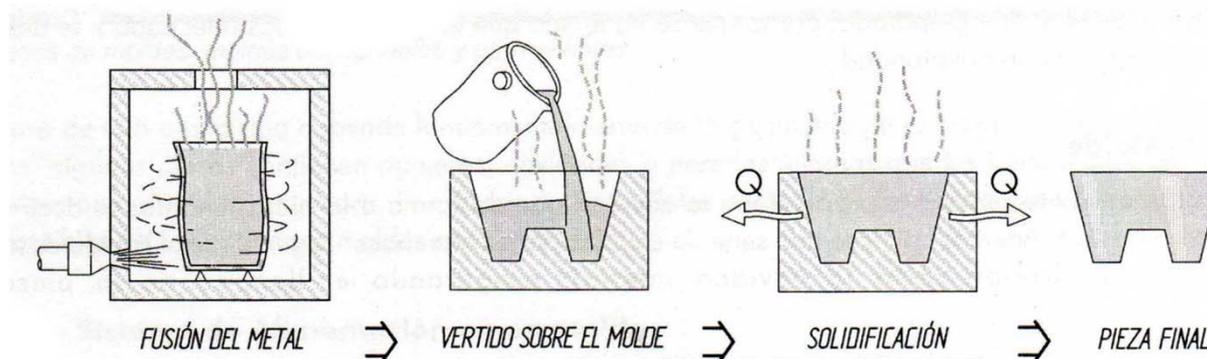


1. Introducción. Fundición

Definición: El moldeo o fundición es un procedimiento de fabricación sin arranque de viruta, basado en la fusión de los metales y sus aleaciones. Consiste en la preparación de un molde o hueco, con arena, metal u otros materiales, que reproduce la forma de la pieza a fundir, y en el cual se vierte el metal o aleación metálica fundida, dejándola enfriar hasta su completa solidificación.

Etapas en la elaboración de un molde:

- Preparación del molde
- Calentamiento y fusión del material
- Llenado del molde
- Solidificación y enfriamiento
- Extracción o desmoldeo
- Inspección
- Operaciones de acabado





2. Molde. Clasificación

Funciones:

- Proporciona la forma y dimensiones de la pieza.
- Garantiza una rugosidad superficial adecuada.
- Disipa el calor del metal mientras se está solidificando.
- Evacua los gases y el aire que se forma en el interior del molde.

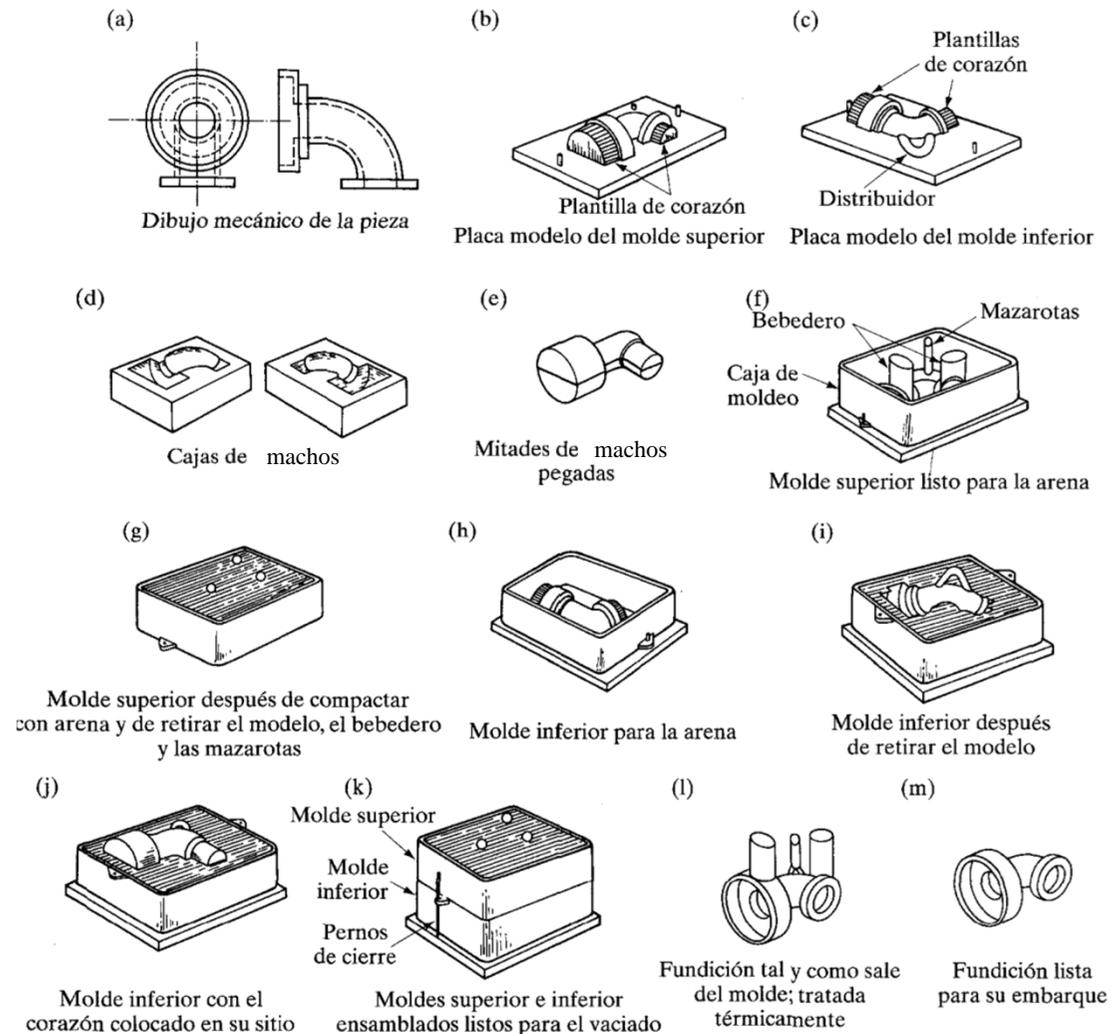
Clasificación según la naturaleza del molde:

- Moldeado con molde NO permanente
 - Modelo no consumible
 - Moldeo en arena. Manual o mecánico.
 - Fundición en cáscara
 - Fundición al vacío
 - Fundición en molde de yeso o cerámico
 - Modelo consumible
 - Poliestireno expandido
 - A la cera perdida
- Moldeado con molde permanente.
 - Moldeado en moldes metálicos.



3. Moldeado con molde no permanente: Fundición en arena

La fundición en arena consiste en colocar un modelo con la forma de la pieza deseada en arena para crear una impresión, incorporar un sistema de alimentación, llenar la cavidad resultante de metal fundido, dejar que el metal se enfríe hasta que se solidifique, romper el molde de arena y retirar la fundición.

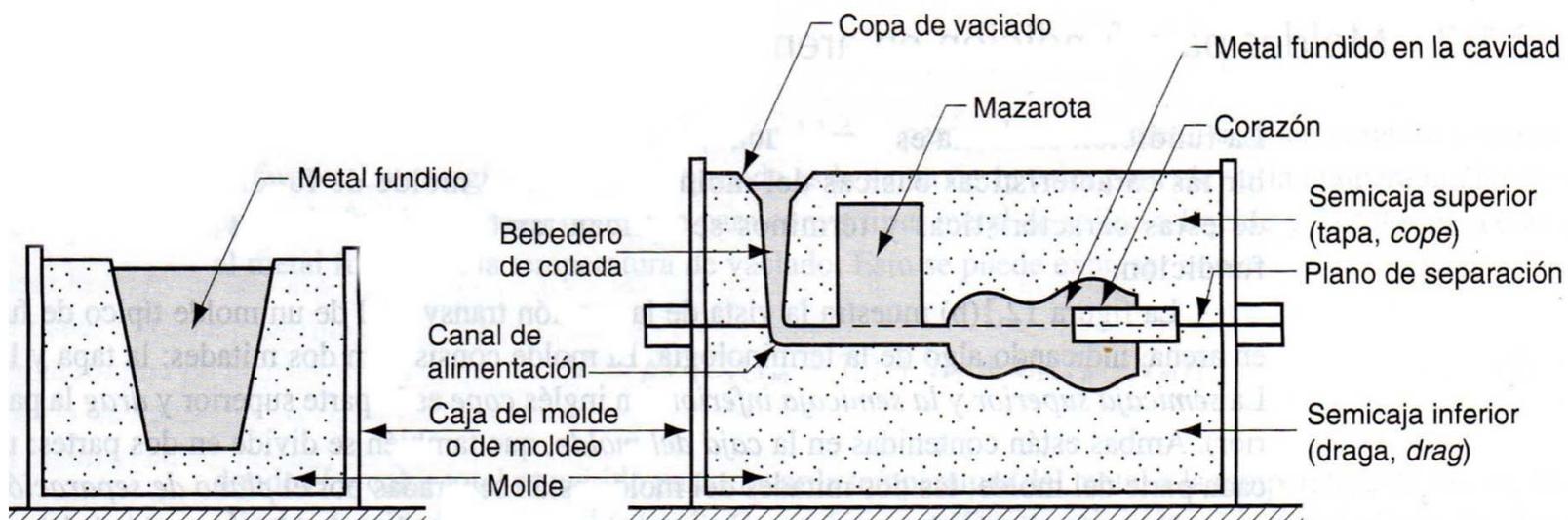




3. Moldeado con molde no permanente: Fundición en arena

Partes del molde:

- Recipiente de colada: Evita la erosión de los canales interiores al absorber choques, salpicaduras y turbulencias del fluido
- Bebedero: Siempre debe estar lleno durante la colada
- Canal de colada: Ligeramente inclinado para facilitar el flujo del material
- Mazarota: Supone una reserva de material con el que suplir la contracción
- Ataques: Es la zona de entrada de la colada a la cavidad del molde
- Macho, corazón o noyo: Injertos en el molde para generar cavidades





3. Moldeado con molde no permanente: Fundición en arena

Composición de las arenas:

- Arena de cuarzo (Sílice- SiO_2)
 - Resistencia Mecánica
 - Permeabilidad
 - Estabilidad térmica
 - Conductividad térmica
 - Retractibilidad (Capacidad de ser compactado)
 - Plasticidad
- Arcilla
 - Aglutinante
- Agua

Tipo de Arena	Propiedades del Molde		
	Rugosidad Superficial	Permeabilidad	Resistencia Mec.
\varnothing grano ↑	↑	↑	↓
grano irregular	↑	↓	↑



3. Moldeado con molde no permanente: Fundición en arena

Tipos de moldes de arena:

- Moldes de arena verde
 - El molde no se seca
- Moldes de arena seca
 - El secado puede ser parcial (solo la superficie del modelo) o total
 - Son mas resistentes
 - Mejor calidad dimensional y superficial
 - Mejor permeabilidad
 - Distorsión frente al modelo (Diseño más complejo)
 - Mayor probabilidad de grietas “en caliente” por menor retractsibilidad
 - Mayor coste y menor tasa de producción



3. Moldeado con molde no permanente: Fundición en arena

MODELOS:

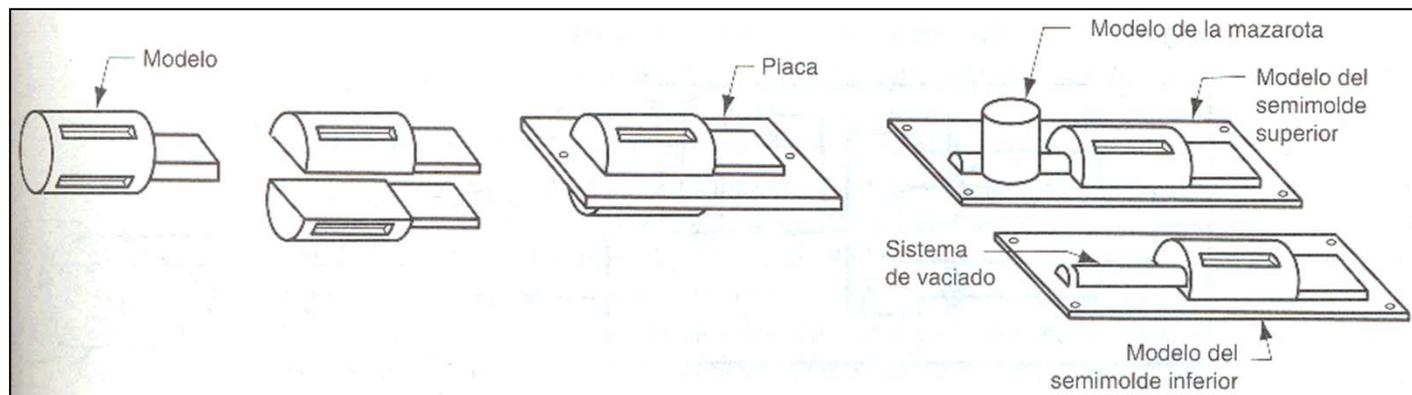
- Materiales:

- Para modelos permanentes: Madera, plástico o metal
- Para modelos NO permanentes: Arena, poliestireno expandido...

- Recubiertos de material desmoldeante

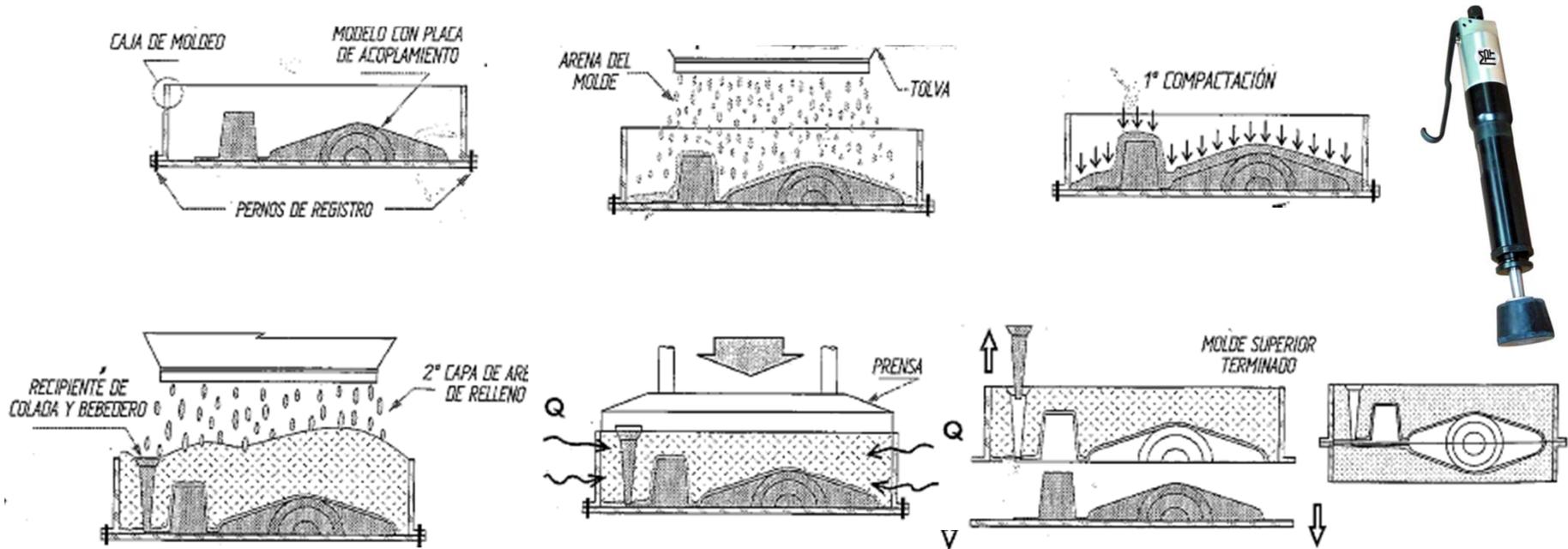
- Tipos de modelos:

- Modelos de una sola pieza
- Modelos divididos sin placa
- Modelos divididos con placa

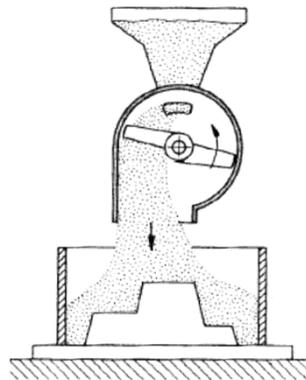




3. Moldeado con molde no permanente: Fundición en arena



Máquinas de moldeado por proyección de arena

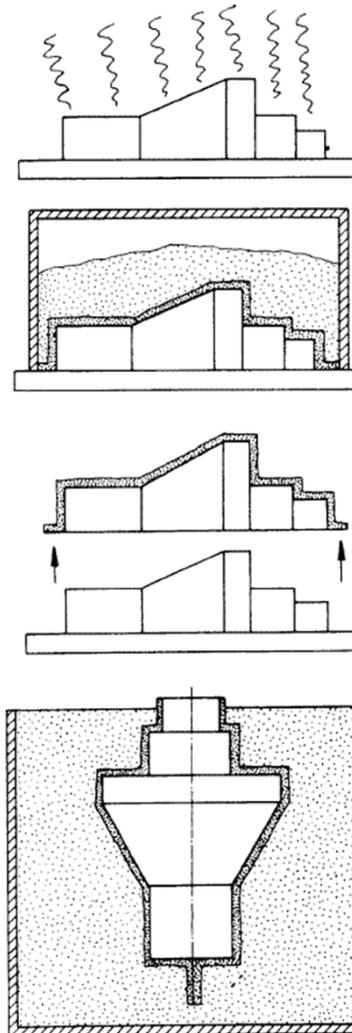




3. Moldeado con molde no permanente: Mod. permanente

Fundición en cáscara características:

- Modelo permanente de acero o aluminio.
- Muy buena calidad dimensional y superficial.
- Problemas con la permeabilidad de la cáscara.



Concha de arena fina con resina



Se forma una fina capa y se calienta para cohesionarla



Se monta en una caja de moldeo y se rellena con arena común

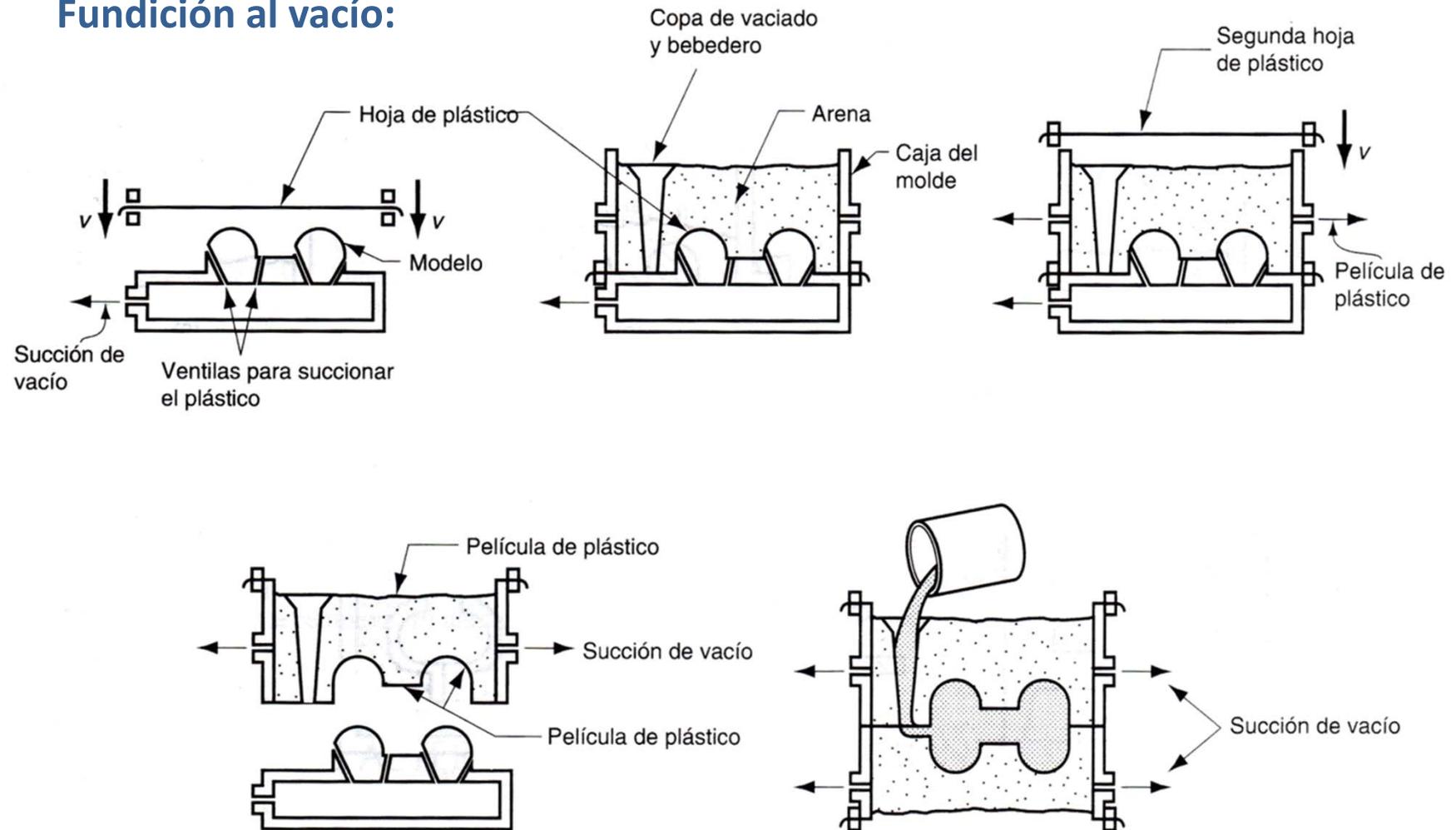


Pieza final



3. Moldeado con molde no permanente: Mod. permanente

Fundición al vacío:

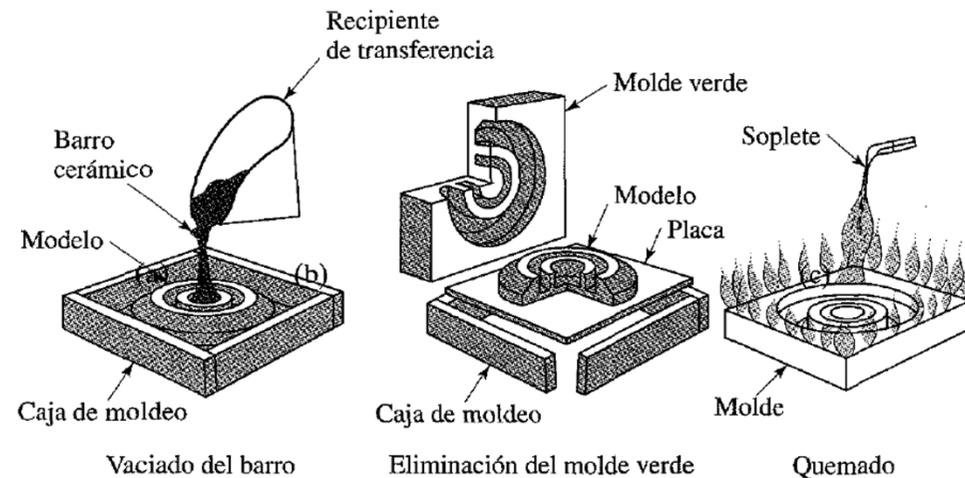




3. Moldeado con molde no permanente: Mod. permanente

Fundición en molde de yeso:

- Baja permeabilidad
- Baja resistencia térmica
- Detalles finos con un buen acabado superficial
- Las fundiciones se enfrían lentamente (grano mayor)



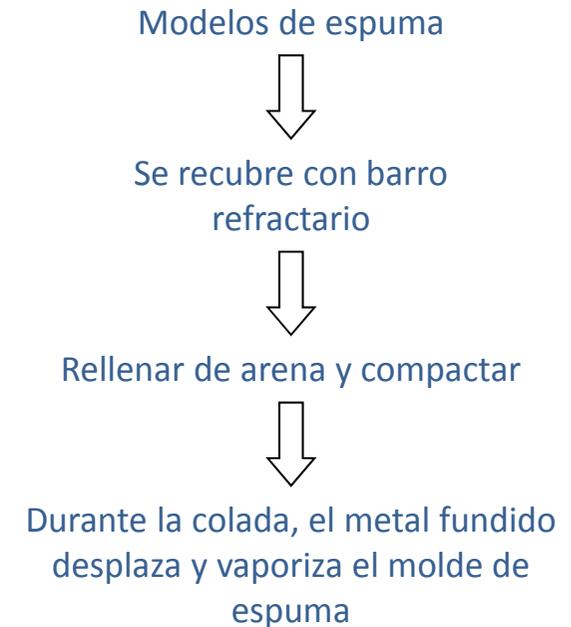
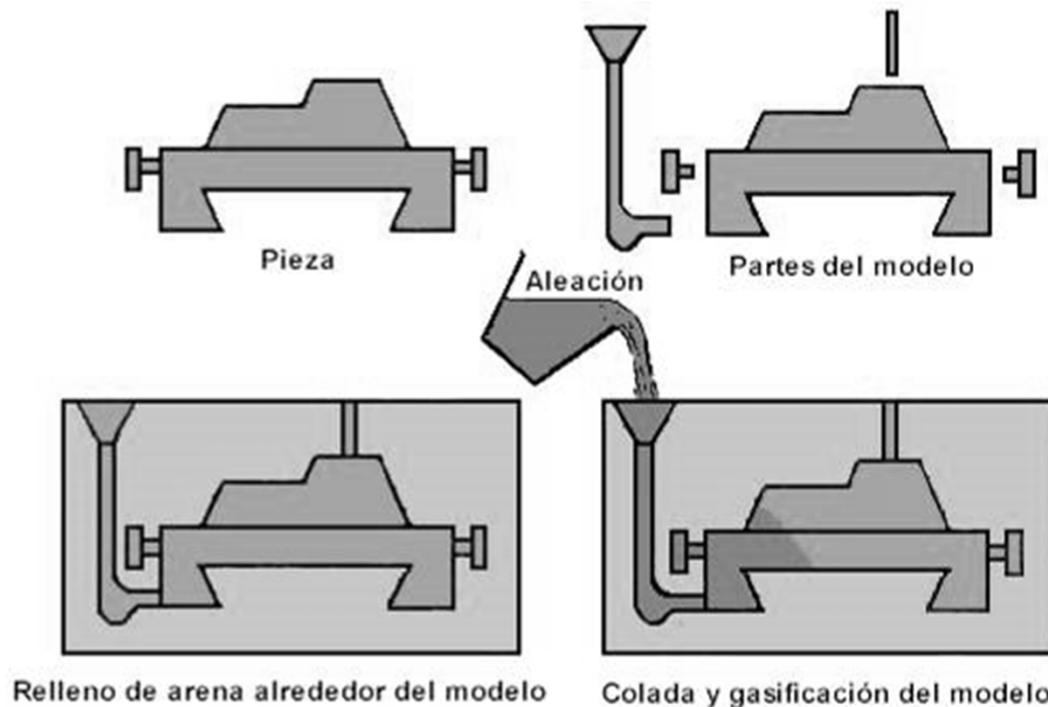
Fundición en molde cerámico:

- Mejora la resistencia térmica -> Permite fundición de materiales férreos

3. Moldeado con molde no permanente: Mod. desechable

Poliestireno expandido

- Molde desechable de poliestireno expandido
- Aplicaciones: Piezas de alta complejidad (Motores de aluminio)
- Puede permitir la inclusión de fibras u otros injertos

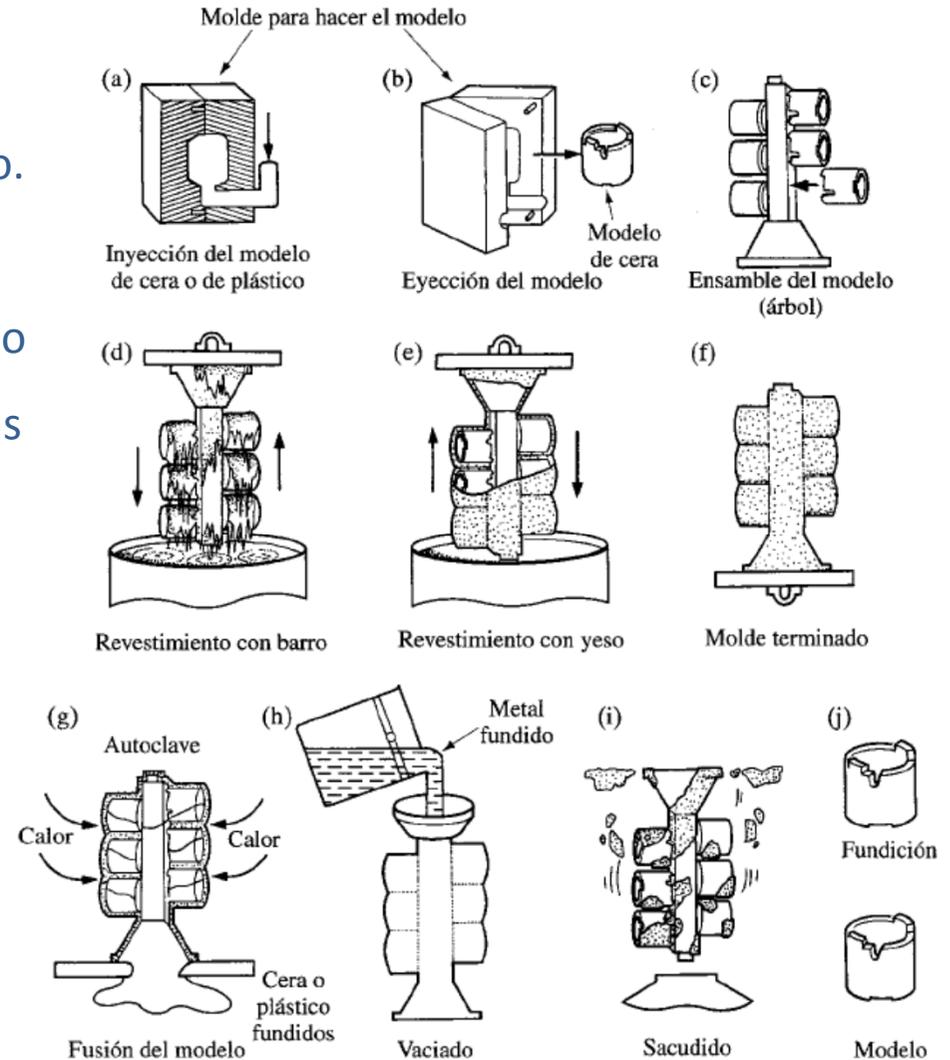




3. Moldeado con molde no permanente: Mod. desechable

Fundición a la cera perdida

- Modelo desechable de cera o plástico.
- La cera es recuperable.
- Revestimiento con material refractario
- Muy buenas propiedades geométricas y dimensionales.
- Alto coste.
- Poco trabajo posterior.





4. Moldeado con molde permanente

Ventajas:

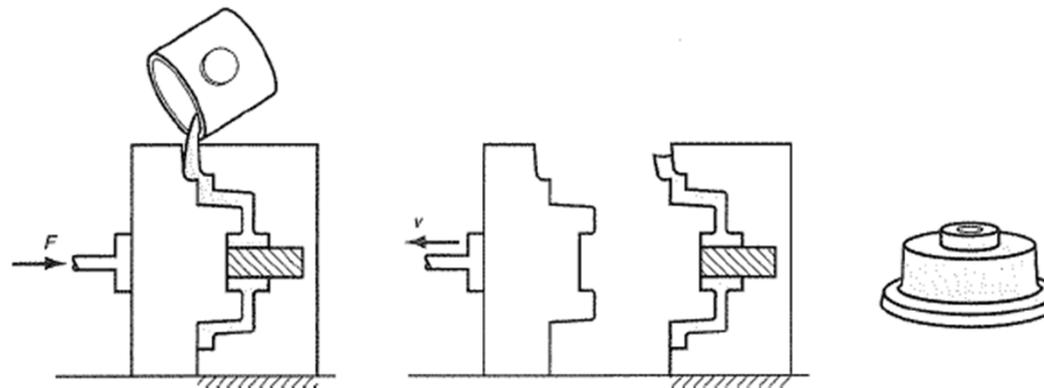
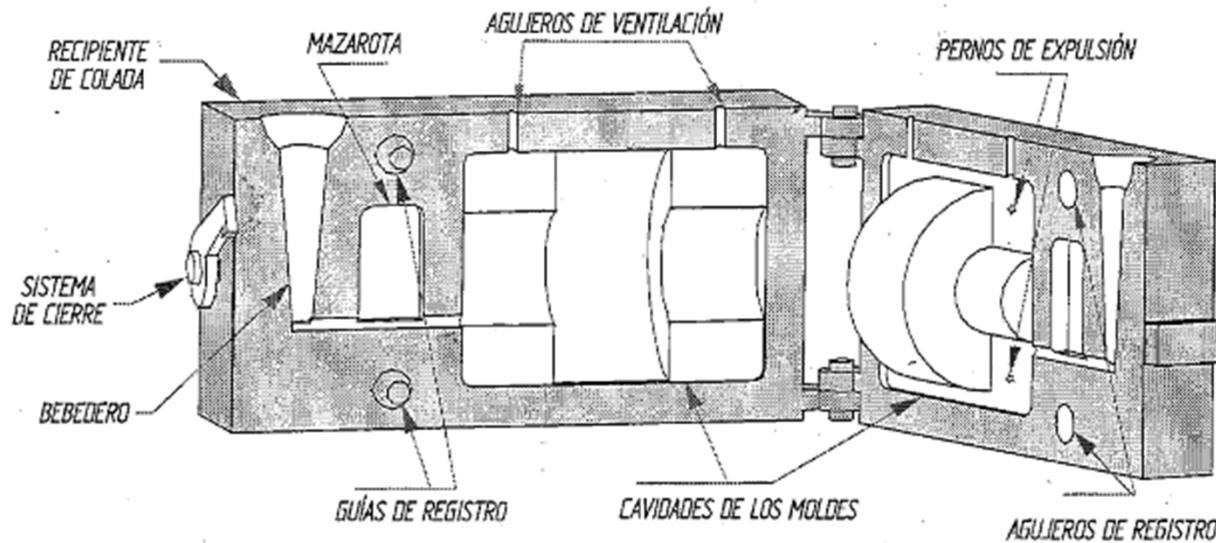
- **No hay que fabricar un nuevo molde para cada pieza**
- Buena precisión dimensional y buen acabado superficial.
- Se puede controlar la solidificación por precalentamiento o refrigerado selectivo.
- Las contracciones son menores que en el molde de arena.
- Proceso rápido y automatizable.

Inconvenientes:

- Alto coste de los moldes y utillajes → Rentable para grandes series (miles de piezas).
- Sólo para aleaciones con bajo punto de fusión (aluminio, magnesio, aleaciones de cobre, etc).
- En general, dimensiones limitadas (generalmente < 25 kg) y formas sencillas.
- Creación de tensiones internas por un enfriamiento excesivamente rápido.



4. Moldeado con molde permanente

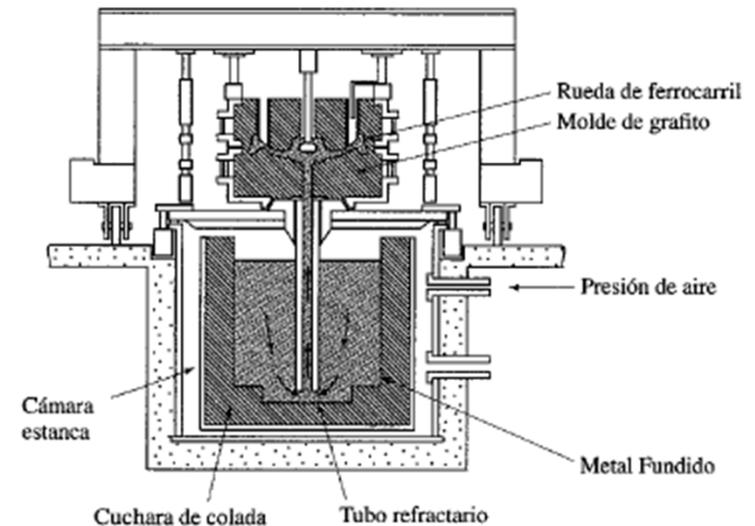




4. Moldeado con molde permanente

Fundición a baja presión:

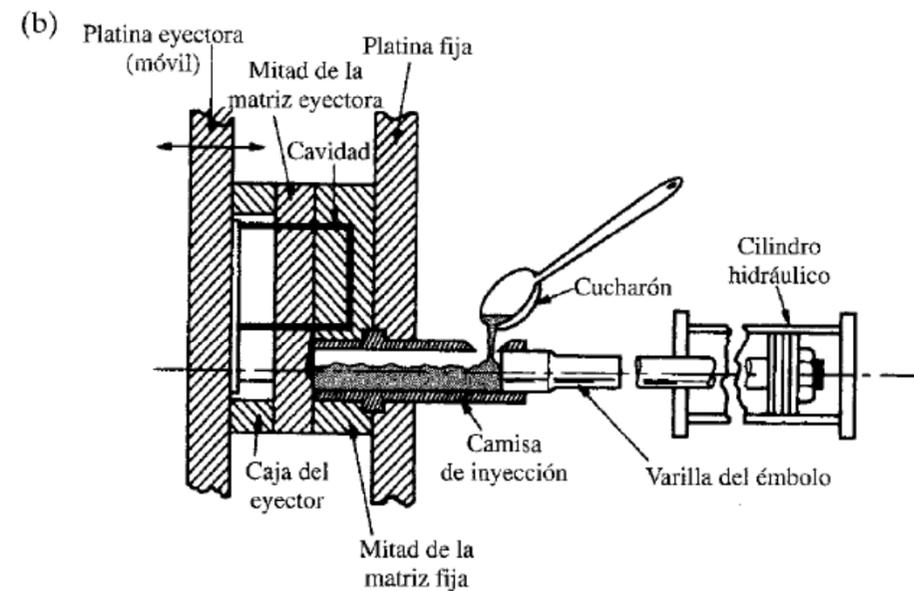
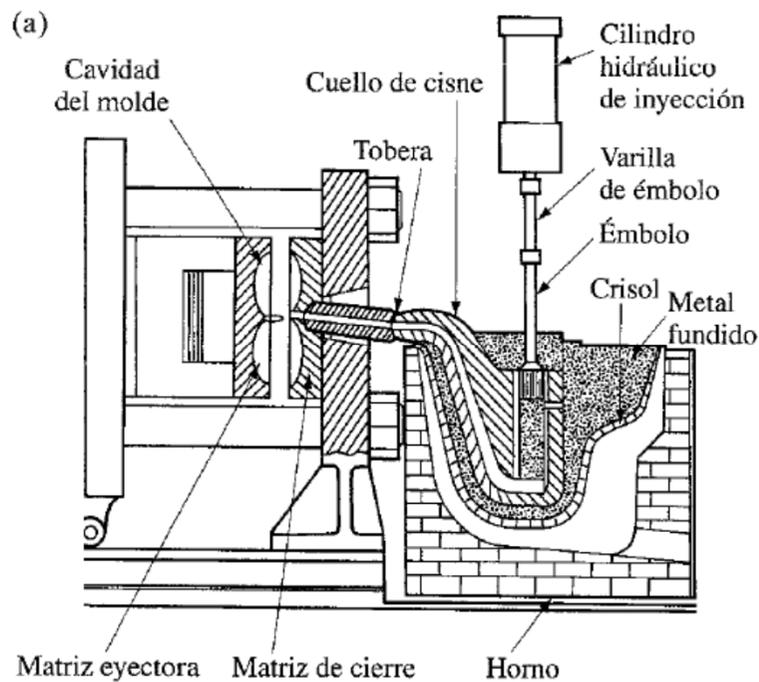
- Inyectado directamente desde el crisol.
- Material limpio de reacciones con el oxígeno de la atmosfera.
- La Fundición con llenado al vacío es una variante de la de baja presión.



4. Moldeado con molde permanente

Fundición a alta presión:

- En cámara caliente
- En cámara fría





4. Moldeado con molde permanente

Fundición a alta presión:

Ventajas

- Formas complicadas
- Espesores mínimos
- Mejores tolerancias
- Mejores propiedades mecánicas
- Posibilidad de automatización total

Inconvenientes

- Precio
- Tamaño de pieza limitado
- Limitaciones en el punto de fusión de los materiales (mayores en cámara caliente)

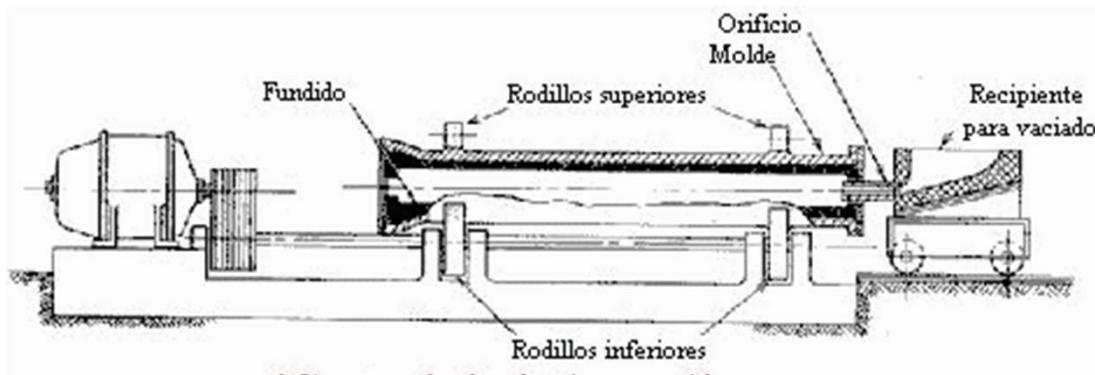
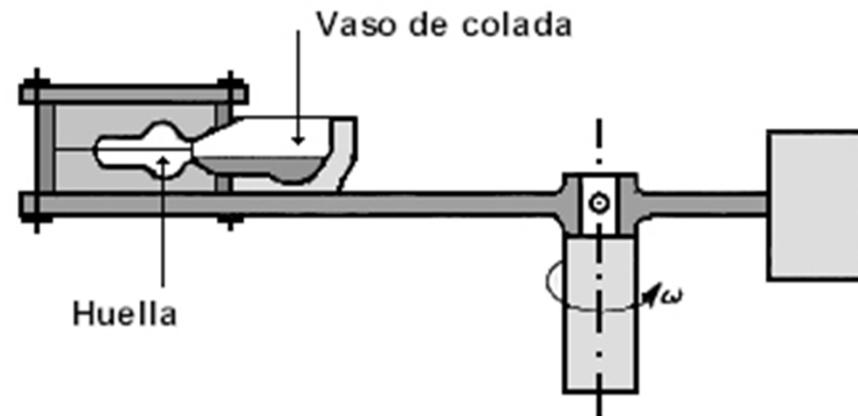


4. Moldeado con molde permanente

Fundición centrifuga:

- Con molde permanente o desechable
- Geometrías de revolución

- Eje Vertical



- Eje Horizontal



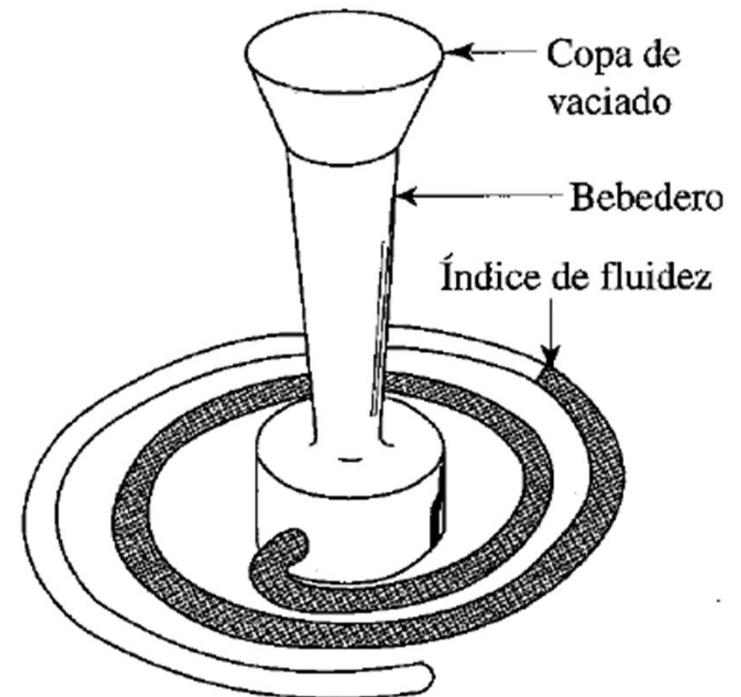
5. Diseño del proceso de moldeo

Colabilidad:

Es la facilidad con la cual se puede vaciar un metal para obtener una pieza de calidad.

Depende de:

- El propio material:
 - Viscosidad,
 - Tensión superficial
 - Inclusiones
- De aspectos propios al proceso:
 - Diseño, material y calidad superficial del molde
 - Espesor de paredes
 - Grado de sobrecalentamiento
 - Velocidad de vaciado
 - Conductividad térmica del molde...



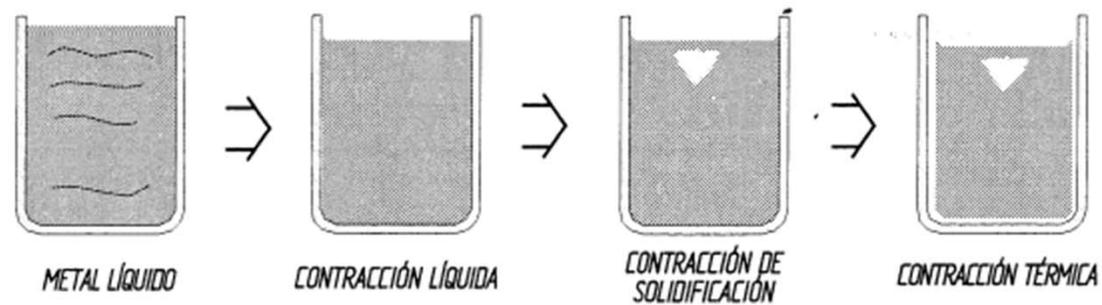


5. Diseño del proceso de moldeo

Solidificación:

Es el proceso físico por el que el metal pasa de estado líquido a sólido.

- La solidificación y enfriamiento de la colada implica una contracción:

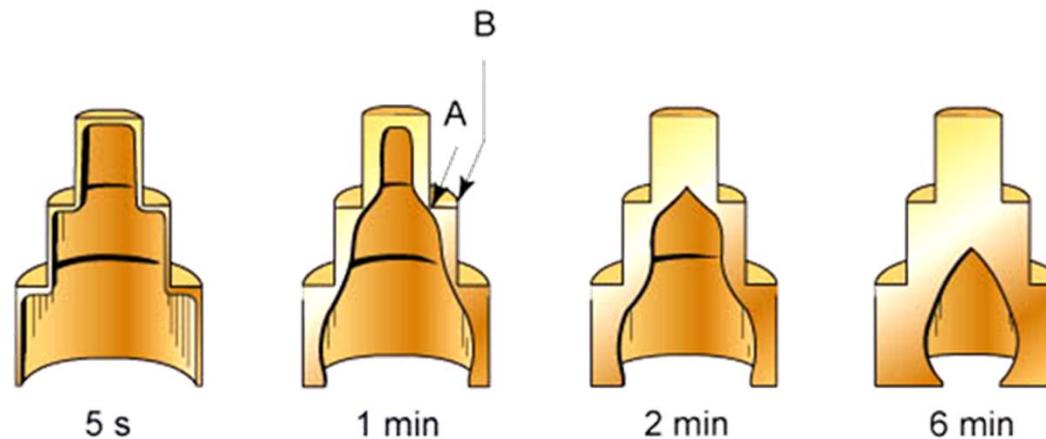




5. Diseño del proceso de moldeo

Tiempo de solidificación:

- Regla de Chvorinov



$$\text{Tiempo de solidificación} = C \cdot \left(\frac{\text{volumen}}{\text{área superficial}} \right)^n$$



5. Diseño del proceso de moldeo

Problema 1

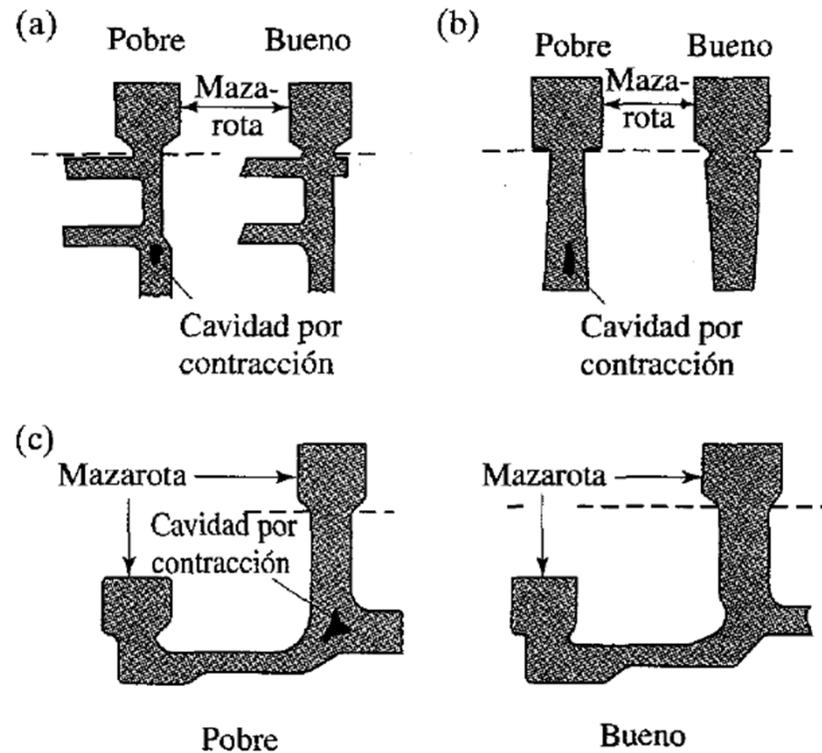
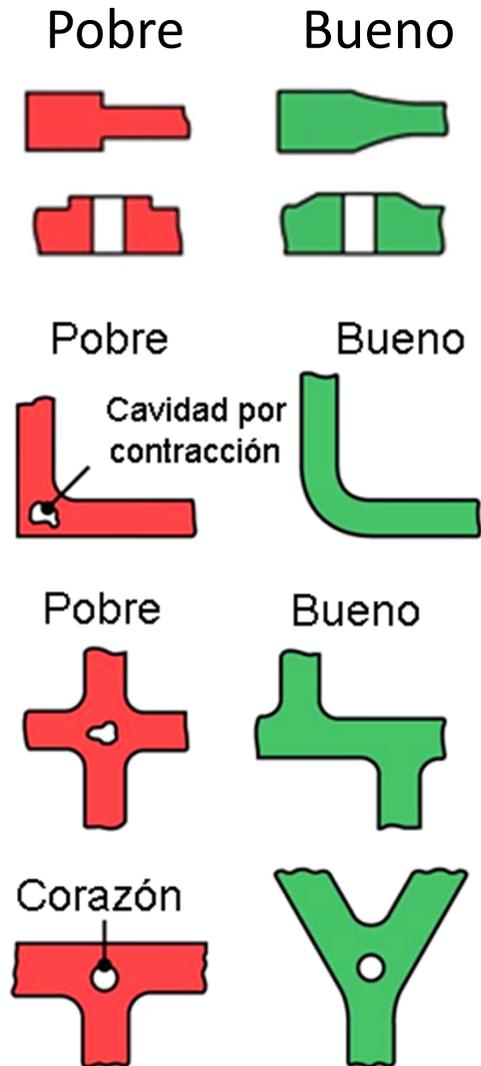
Tres piezas del mismo metal se están fundiendo y presentan el mismo volumen pero formas distintas; una es una esfera, una un cubo y la otra un cilindro cuya altura es igual a su diámetro.

¿Qué pieza se solidificará más rápido y cuál será la más lenta?

Nota: Aplicar que n tiene un valor de $n = 2$

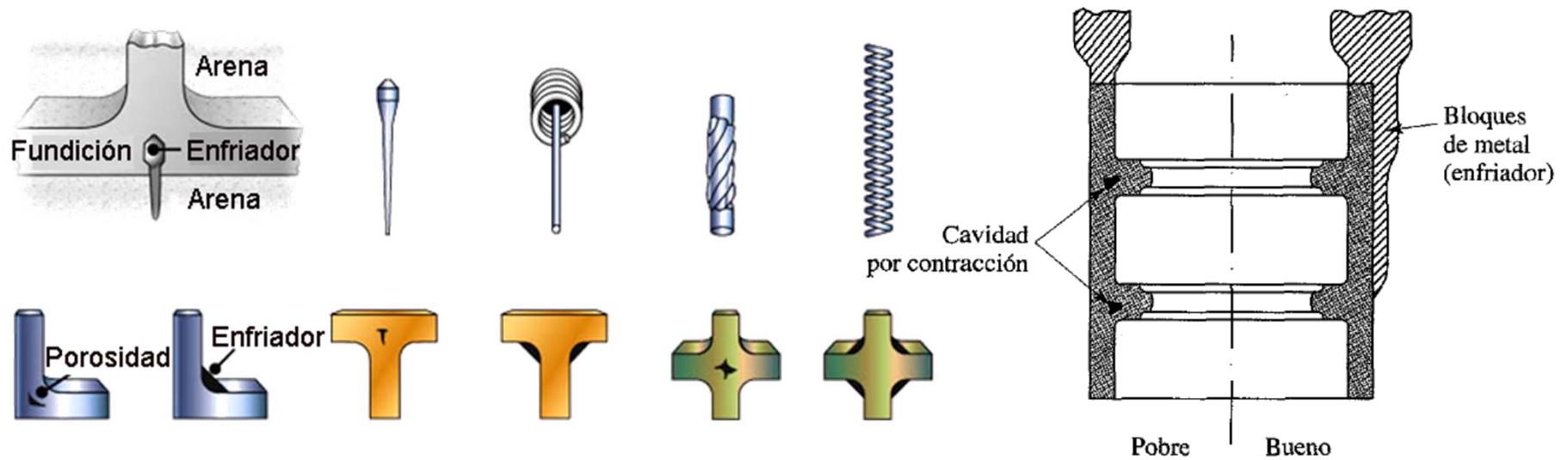


5. Diseño del proceso de moldeo

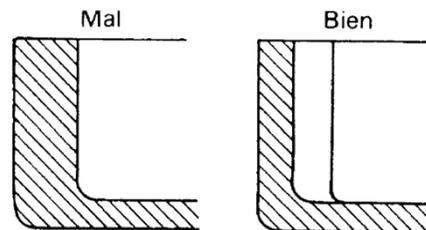




5. Diseño del proceso de moldeo



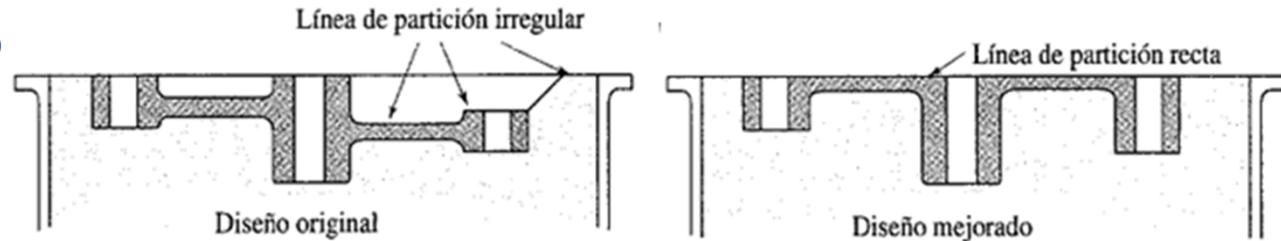
- Áreas planas grandes



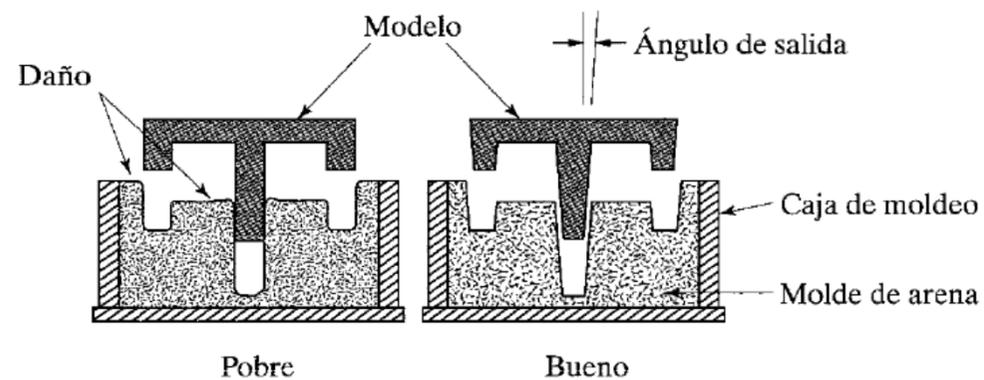
- Contracción

5. Diseño del proceso de moldeo

- Creces de mecanizado
- Línea de partición:



- Ángulo de desmoldeo:

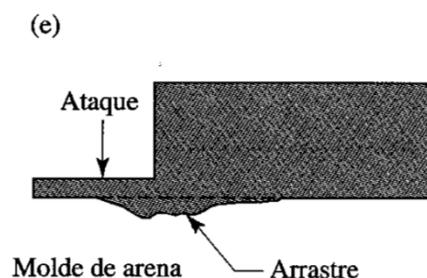
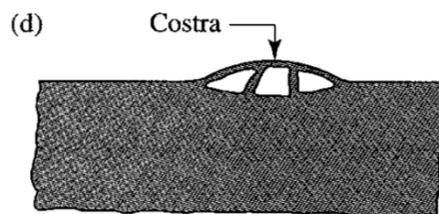
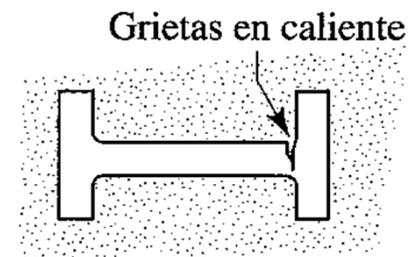
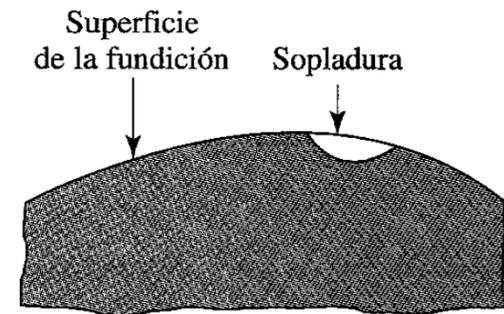


- Tolerancias dimensionales
- Calidades superficiales
- Holgura de mecanizado
- Pueden surgir tensiones internas



6. Defectos de la fundición

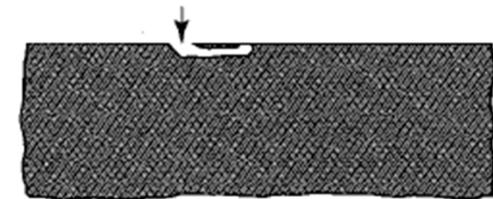
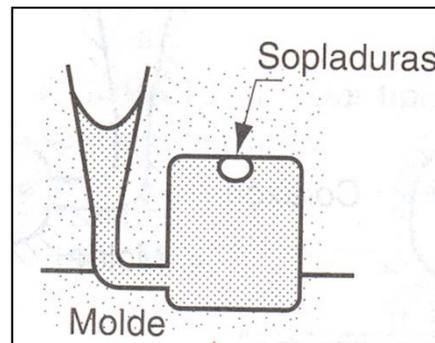
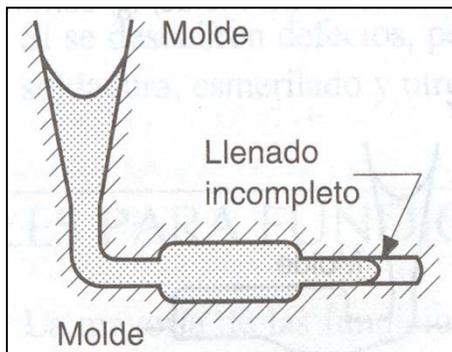
1. **Proyecciones metálicas**, formadas por aletas, rebabas o proyecciones masivas como ondulaciones y superficies ásperas. Gránulos fríos o metal granoso.
2. **Cavidades**, formadas por cavidades redondeadas o ásperas internas o expuestas, incluyendo sopladuras, porosidad y cavidades de contracción .
3. **Discontinuidades**, como son grietas, grietas en caliente, y puntos fríos.
4. **Superficie defectuosa**, como son pliegues, arrastres, capas de arena adheridas y cascarilla de óxido.





6. Defectos de la fundición

5. **Fundición incompleta**, como son las faltas de llenado (debidas a una solidificación prematura), volumen insuficiente de metal vaciado y fugas (debido a pérdida de metal del molde después del vaciado).
6. **Sopladuras**, hueco en forma de burbuja en la parte mas alta de la fundición, debido a la baja porosidad del molde o el exceso de agua en la arena
7. **Dimensiones o formas incorrectas**
8. **Inclusiones**, que se forman durante la fusión, solidificación y moldeo.





6. Defectos de la fundición

- Porosidad



▪ Algunas características deseables:

- Baja temperatura de fusión
- Bajo calor latente de fusión
- Baja tensión superficial
- Bajo coeficiente de dilatación en estado líquido
- Reducido intervalo de temperatura de solidificación
- Bajo coeficiente de dilatación en estado sólido
- Alta conductividad térmica
- Fluidez adecuada.

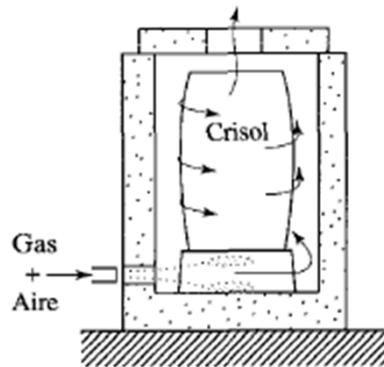
▪ Aleaciones: más utilizadas que metales puros

- **Tipos:** ferrosas (hierro fundido o acero fundido) y no ferrosas (aluminio, magnesio, cobre, zinc, níquel y titanio)

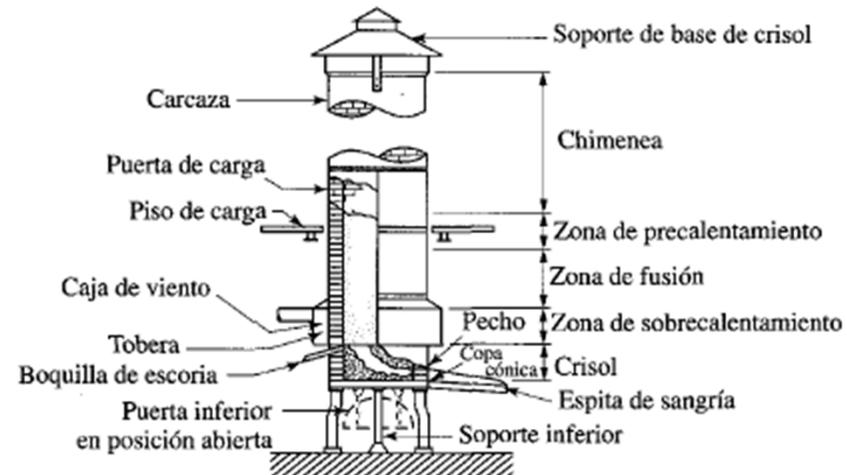


7. Equipos y utillajes

Hornos de crisol:

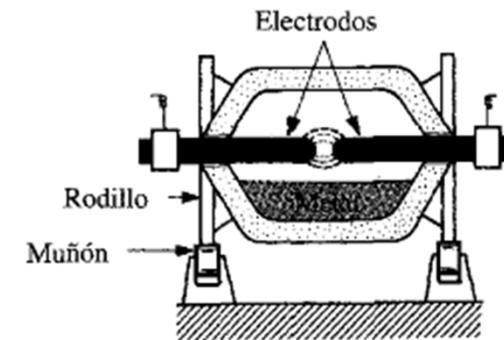
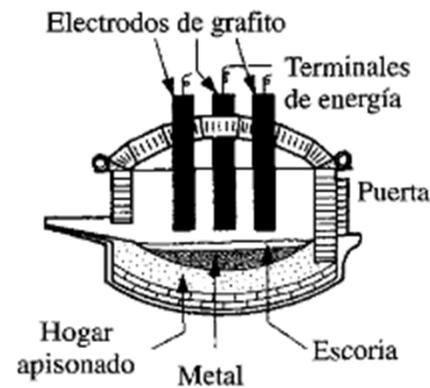
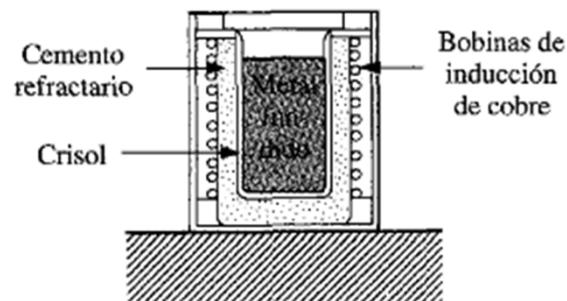


Hornos de cubilote:



Hornos de arco eléctrico:

Hornos de inducción:





Fundición. Resumen

Proceso	Ventajas	Limitaciones
Arena	Se puede colar prácticamente cualquier metal; no hay límite de tamaño, forma o peso; costo de herramental bajo.	Se requiere algo de acabado; un acabado algo áspero; tolerancias amplias.
Moldeo en cáscara	Buena precisión dimensional y acabado superficial; alta velocidad de producción.	Restricciones en el tamaño de la pieza; se requieren modelos y equipos costosos.
Modelo consumible	La mayor parte de los metales pueden ser fundiciones sin límite de tamaño; formas complejas.	Los modelos tienen baja resistencia y pueden ser costosos para pequeñas cantidades.
Molde de yeso	Formas complicadas; precisión dimensional y acabado buenos; porosidad baja.	Limitado a metales no ferrosos; tamaño y volumen de producción limitados; tiempo de fabricación del molde relativamente largo.
Molde cerámico	Formas complejas; piezas de tolerancias estrechas; buen acabado superficial.	Tamaño limitado.
Fundición por revestimiento	Formas complejas; acabado superficial y precisión excelentes; prácticamente se puede fundir cualquier metal.	El tamaño de la pieza es limitado; modelos, moldes y mano de obra costosos.
Molde permanente	Acabado superficial y precisión dimensional buenos; porosidad baja; velocidad de producción alta.	Costo del molde elevado; forma y complejidad limitados; no adecuado para metales de alto punto de fusión.
Troquel	Precisión dimensional y acabado superficial excelentes; velocidad de producción elevada.	El costo de la matriz es alto; el tamaño de la pieza es limitado; por lo general limitado a metales no ferrosos; tiempo de entrega largo.
Centrífugo	Grandes piezas cilíndricas de buena calidad; alta velocidad de producción.	El equipo es costoso; la forma de la pieza es limitada.



Fundición. Resumen

Características generales de los procesos de fundición

Proceso	Materiales fundiciones típicos	Peso (kg)		Acabado superficial típico (μm , R_a)	Porosidad*	Complejidad de forma*	Precisión dimensional*	Espesor de la sección (mm)	
		Mínimo	Máximo					Mínimo	Máximo
Arena	Todos	0.05	Sin límite	5-25	4	1-2	3	3	Sin límite
Moldeo en cáscara	Todos	0.05	100+	1-3	4	2-3	2	2	—
Modelo desechable	Todos	0.05	Sin límite	5-20	4	1	2	2	Sin límite
Molde de yeso	No ferroso (Al, Mg, Zn, Cu)	0.05	50+	1-2	3	1-2	2	1	—
Cera perdida	Todos (elevado punto de fusión)	0.005	100+	1-3	3	1	1	1	75
Molde permanente	Todos	0.5	300	2-3	2-3	3-4	1	2	50
Troquel	No ferrosos (Al, Mg, Zn, Cu)	< 0.05	50	1-2	1-2	3-4	1	0.5	12
Centrífugo	Todos	—	5000+	2-10	1-2	3-4	3	2	100

*Calificación relativa: 1 el mejor, 5 el peor.

Nota: Estas calificaciones son sólo generales; dependiendo de los métodos utilizados pueden ocurrir variaciones significativas.



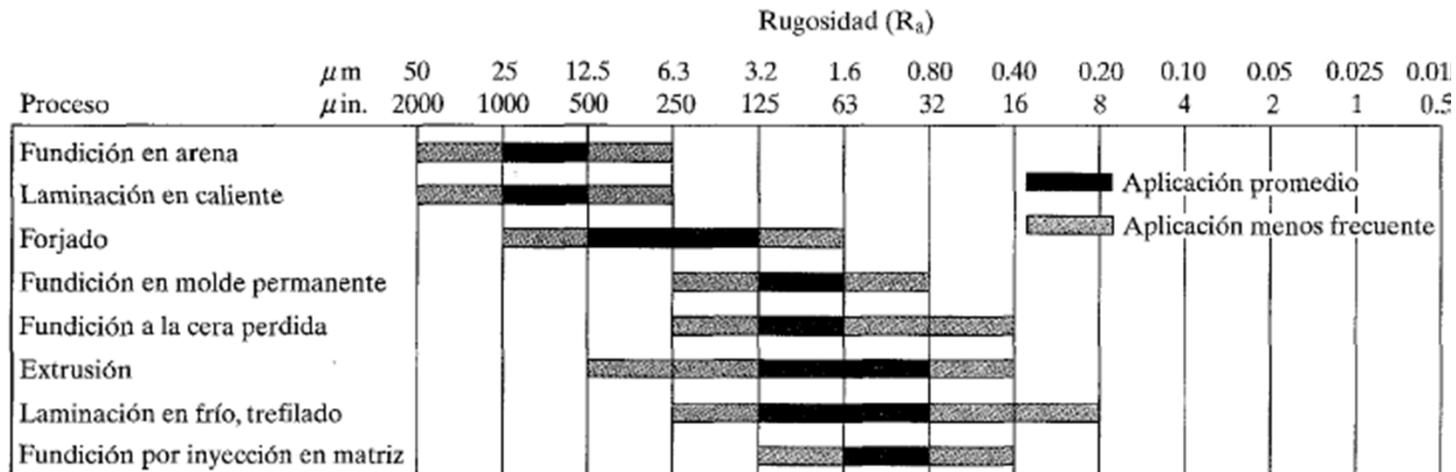
Fundición. Resumen

Proceso	Tolerancia mm						
	± 0.1	± 0.25	± 0.5	± 0.75	± 1	± 1.5	± 2
Fund en arena			■	■	■	■	■
Molde en concha		■	■	■	■		
Fund en yeso	■	■	■				
Fund cera perdida	■	■					
Molde permanente a baja presión		■	■	■			
Molde permanente a alta presión	■						

Tolerancias aproximada según el proceso

Proceso	Rugosidad μm						
	0.75	1	2.5	3.5	6	10	25
Fund en arena					■	■	■
Molde en concha					■	■	
Fund en yeso	■	■					
Fund cera perdida	■	■	■				
Molde permanente a baja presión				■	■		
Molde permanente a alta presión	■	■	■				

Rugosidad superficial aproximada según el proceso





Metal	Densidad (kg/m ³)	Punto de fusión (°C)	Calor específico (J/kg K)	Conductividad térmica (W/m K)
Aluminio	2700	660	900	222
Aleaciones de aluminio	2630-2820	476-654	880-920	121-239
Berilio	1854	1278	1884	146
Colombio (niobio)	8580	2468	272	52
Cobre	8970	1082	385	393
Aleaciones de cobre	7470-8940	885-1260	377-435	29-234
Hierro	7860	1537	460	74
Aceros	6920-9130	1371-1532	448-502	15-52
Plomo	11,350	327	130	35
Aleaciones de plomo	8850-11,350	182-326	126-188	24-46
Magnesio	1745	650	1025	154
Aleaciones de magnesio	1770-1780	610-621	1046	75-138
Aleaciones de molibdeno	10,210	2610	276	142
Níquel	8910	1453	440	92
Aleaciones de níquel	7750-8850	1110-1454	381-544	12-63
Aleaciones de tantalio	16,600	2996	142	54
Titanio	4510	1668	519	17
Aleaciones de titanio	4430-4700	1549-1649	502-544	8-12
Tungsteno	19,290	3410	138	166
Zinc	7140	419	385	113
Aleaciones de zinc	6640-7200	386-525	402	105-113
No metálicos				
Cerámicos	2300-5500	—	750-950	10-17
Vidrios	2400-2700	580-1540	500-850	0.6-1.7
Grafito	1900-2200	—	840	5-10
Plásticos	900-2000	110-330	1000-2000	0.1-0.4
Madera	400-700	—	2400-2800	0.1-0.4