

# **TECNOLOGIA Y PROCESOS DE FUNDICION**

## **GUIA DE ESTUDIO DE LA UNIDAD I**

### **MOLDEO**

#### **1.1. Modelos y Materiales**

En la industria la fundición es muy importante para construir máquinas e infinidad de piezas en distintos tamaños y formas, para ello se desarrollan conocimientos técnicos tan diversos como son el dibujo industrial, la mecánica de los cuerpos sólidos y fluidos.

Es necesario e importante encontrar nuevos criterios para diseñar modelos, incluyendo software y programas, conocer algunos procesos de fundición utilizando moldes permanentes y moldes desechables, logrando con ello rapidez, eficiencia, calidad y economía en los modelos para fundición.

Un modelo para fundición es el elemento que sirve para la obtención de los moldes de arena. Estos se logran cuando la arena se comprime alrededor del modelo y ambos están dentro de una caja de moldeo. Cuando se termina de compactar la arena se extrae el modelo y después de cerrar el molde, se vacía el metal líquido para que llene las cavidades del mismo.

Los modelos deben estar bien diseñados a fin de evitar dificultades de moldeo, o bien desecho por excentricidades, formación de grietas y otros defectos más. Los defectos anteriores pueden evitarse si se prevén las formas adecuadas de los modelos para facilitar el moldeo.

Dependiendo de cuál sea el proceso de fundición, los materiales y tratamientos utilizados serán muy diferentes, así, no es lo mismo el proceso de fundición a la cera perdida donde los modelos son desechables, o la fundición a presión donde los moldes son permanentes y tienen que aguantar series elevadas.

De todos modos en la mayoría de los casos el proceso de elección suele ser el inverso, es decir, analizando la pieza que queremos obtener, se selecciona el proceso de fundición más adecuado. A la hora de analizar los distintos procesos, se clasifican de distintas maneras

Los modelos son herramientas principales de la que se valen los fundidores para hacer las piezas coladas. Aun cuando se desee hacer una sola pieza, será necesario contar con un modelo al cual en la generalidad de las veces será útil para fabricar una mayor cantidad de piezas. El contar con un modelo apropiado se convierte por lo anterior, en la primera etapa de la elaboración de piezas coladas.

Puede definirse un modelo como una réplica de la pieza que se desea obtener. Al diseñador hay que tener en cuenta la disminución de las dimensiones ocasionadas por la contracción de la pieza al enfriarse, la rugosidad de las superficies por la calidad de la arena y los alojamientos para los corazones. Los pesos de los modelos pueden variar entre unos granos y 50 ó 60 ton. De ahí que los tamaños de los modelos son muy variados.

El primer paso para la fabricación de una pieza fundida es realizar el modelo a tamaño natural de la pieza que se quiere reproducir y que tomará forma en el interior del molde. Según la cantidad de piezas a fundir se realizará un modelo único o una placa con varias figuras del modelo. Una vez fabricado este modelo o placa, en el primer proceso de fundición se compactará la arena contra la placa o el modelo creando las cavidades del molde.



**Fig. 1.1 - a. Ejemplos de Modelos: Muestra del modelo y de las piezas finales**

Se definen los modelos determinando las especificaciones, características, disposición, dimensiones y coste de componentes. A partir de los datos previos establecidos se realizan los cálculos técnicos necesarios para el dimensionamiento de los moldes.

Se verifican que las especificaciones del diseño se cumplen durante el desarrollo del proyecto. Los procedimientos de verificación contemplan la funcionalidad y calidad del producto, materiales, elementos diseñados, utillajes y normativa y reglamentación específica. Se realizan ensayos y análisis que permiten comprobar el nivel de cumplimiento respecto a los requerimientos de quien ocupa el modelo. +

Existen varios tipos de modelos los cuales se utilizan, dependiendo de los requerimientos en cuanto al tipo, tamaño y peso de la pieza a fabricar, el volumen de producción, la fundición y las facilidades de fabricación:



**Fig. 1.1. Ejemplos de Modelos: Muestra del modelo y de las piezas finales**

Los modelos se utilizan para moldear la mezcla de arena a la forma de la fundición. Pueden estar hechos de madera, plástico o metal. La selección del material del modelo depende del tamaño y de la forma de la fundición, la precisión dimensional, la cantidad de coladas requeridas y el proceso de moldeo.



**Fig. 1.2. Utillaje es un conjunto de instrumentos y herramientas que optimizan la realización de las operaciones de proceso de fabricación**

Para la fabricación de molduras se utiliza una gran cantidad de dispositivos, los cuales se denominan utillaje de fundición. Una parte comprende los dispositivos o utillajes necesarios para obtener en el molde la impresión del modelo de la pieza que será fundida, a la cual se le llama juego de modelos. La exactitud, resistencia y durabilidad depende de las condiciones de producción: unitaria, en serie y a gran escala.

En vista de que los modelos se usan de manera repetida para la fabricación de moldes, la resistencia y durabilidad del material seleccionado debe reflejar el número de coladas que el molde tiene que producir. Por lo general los modelos son recubiertos por un agente separador para facilitar su extracción de los moldes. Los modelos se usan para moldear la mezcla de arena a la forma de la fundición.



**Fig. 1.3. Modelos: Muestra del modelo y de las piezas finales**

- **DISEÑO DEL MODELO**

El modelo es la pieza que se pretende reproducir, pero con algunas modificaciones derivadas de la naturaleza del proceso de fundición:

Será ligeramente más grande que la pieza, ya que se debe tener en cuenta la contracción de la misma una vez se haya extraído del molde. Las superficies del modelo deberán respetar unos ángulos mínimos con la dirección de desmoldeo (la dirección en la que se extraerá el modelo), con objeto de no dañar el molde de arena durante su extracción. Este ángulo se denomina ángulo de salida.

Incluir todos los canales de alimentación y mazarotas necesarios para el llenado del molde con el metal fundido. Si es necesario incluirá portadas, que son prolongaciones que sirven para la colocación del macho. La mejor manera de entender que es, es explicando paso a paso como se hace un Modelo para fundición.

1. El primer paso es el dibujo de la pieza que deseamos fabricar.
  - En este dibujo deben quedar detalladas todas las medidas de la pieza, no debe faltar ninguna medida, ya que si llegase a faltar alguna medida sería imposible hacer el modelo para fundición.
2. El segundo paso es el diseño del modelo para fundición, muchas veces el primer y el segundo paso se hacen en el mismo momento, pero este segundo paso es el más importante de todos los pasos para hacer un buen modelo.
  - Para diseñar correctamente un modelo para fundición tendremos que tener en cuenta 3 cosas muy importantes:
  - Material en el cual se fundirá la pieza final: cada material (habitualmente los modelos para fundición se hacen para fundir piezas metálicas) tiene una contracción al pasar del estado líquido al sólido. Es decir, el tamaño de la pieza final varía al enfriarse.
  - Esto hay que tenerlo muy en cuenta ya que si queremos una pieza cubica de 1m x 1m x 1m al fundirla en aluminio, si no tenemos en cuenta la contracción, seguramente obtendremos una pieza de aproximadamente 83cm x 83cm x 83cm.
  - Angulo de desmolde: En el proceso de moldeado, será necesario que la pieza a fundir posea un ángulo de desmolde adecuado, ya que si no tuviera este ángulo, al retirarlo de la arena en el que se coloca el material fundido se rompería y el moldeado sería incorrecto.
3. El tercer paso es el dibujo en 3 dimensiones del modelo, este dibujo 3D nos permitirá tener una visualización mucho más gráfica del modelo terminado y dependiendo el software podremos hacer cálculos del peso de la pieza fundida, análisis de ángulos de desmolde y un sinnúmero de detalles más, pero por sobre todas las cosas, podremos utilizar este dibujo en 3D para hacer un programa de mecanizado.
4. Una vez realizado el diseño del modelo para fundición solo resta transformar ese dibujo en algo tangible. Existen miles de procedimientos para llegar desde pedazos de metal, madera, telgopor o plásticos hasta el modelo para fundición. Pero uno de los más sencillos de mostrar es el mecanizado en CNC.

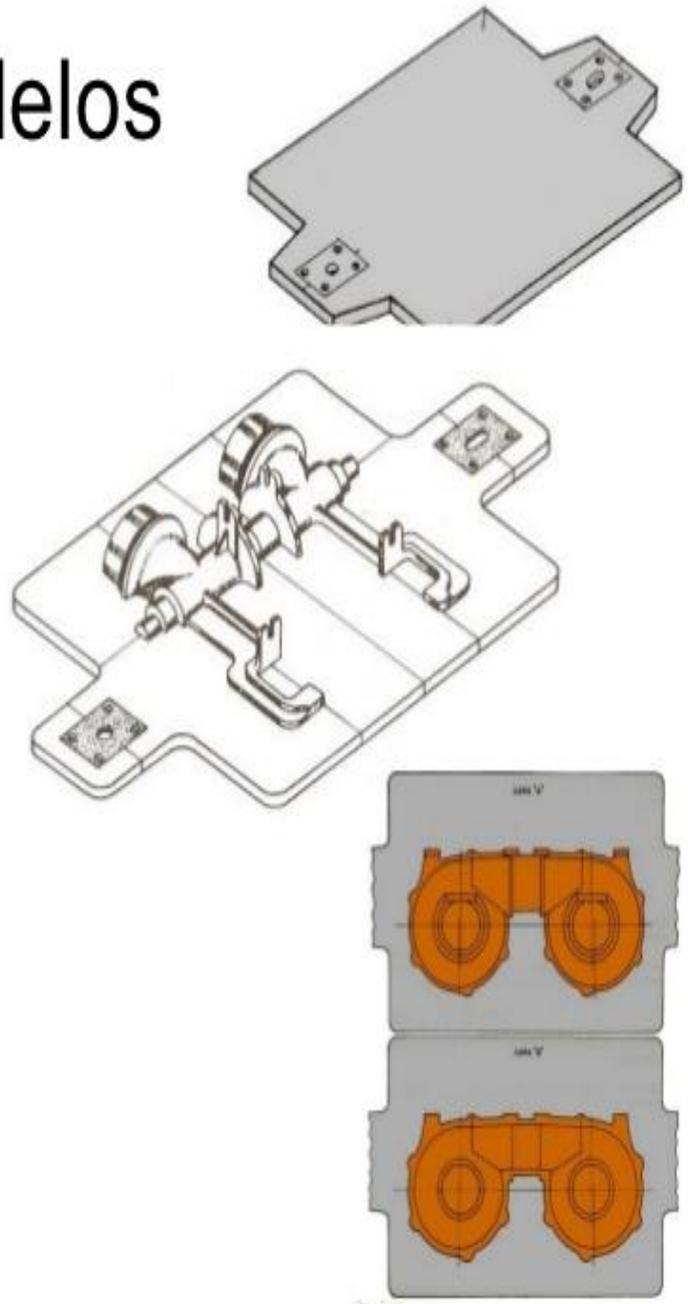
5. Teniendo listas los modelos solo queda controlar todas las medidas para corroborar que la pieza que saldrá de ese modelo para fundición sera realmente la pieza que se quiere fundir.

Los modelos para fundición se realizan para hacer muchos tipos de piezas, desde turbinas, hasta plantillas de control de autos, auto partes, repuestos de máquinas, etc.

En lo que atañe a los materiales empleados para la construcción del modelo, se puede emplear desde madera o plásticos como el uretano hasta metales como el aluminio o el hierro fundido. Usualmente se fabrican dos semimodelos correspondientes a sendas partes del molde que es necesario fabricar.

# Modelos

- Para realizar muchas fundiciones de un mismo producto se usa una placa portamodelo. Son también partidos y sus partes están fijadas permanentemente a las dos caras de una placa.
  - Se usan también en fundiciones simples.
- Este método facilita la fabricación haciéndola más sencilla y eficaz.
- Una ventaja de esta técnica es que el sistema de colada forma parte de la placa



**Fig. 1.4. Fabricación de Modelos de Fundición.**

## ➤ Tipos de Modelos

El diseño del modelo es un aspecto vital de la operación total de la fundición. El diseño debe prever la contracción del metal, la facilidad de extracción del molde de arena mediante ángulos de salida y un flujo adecuado del metal en la cavidad del molde.

Existen varios tipos de modelos los cuales se utilizan, dependiendo de los requerimientos en cuanto al tipo, tamaño y peso de la pieza a fabricar, el volumen de producción, la fundición y las facilidades de fabricación, por lo que se clasifican como:

- ✧ Removibles: La arena comprimida alrededor del modelo el cual se extrae más tarde de la arena y deja una cavidad que se alimenta con metal fundido para crear la fundición.
- Modelos de una sola pieza: se utilizan generalmente para formas simples y producción de bajo volumen.



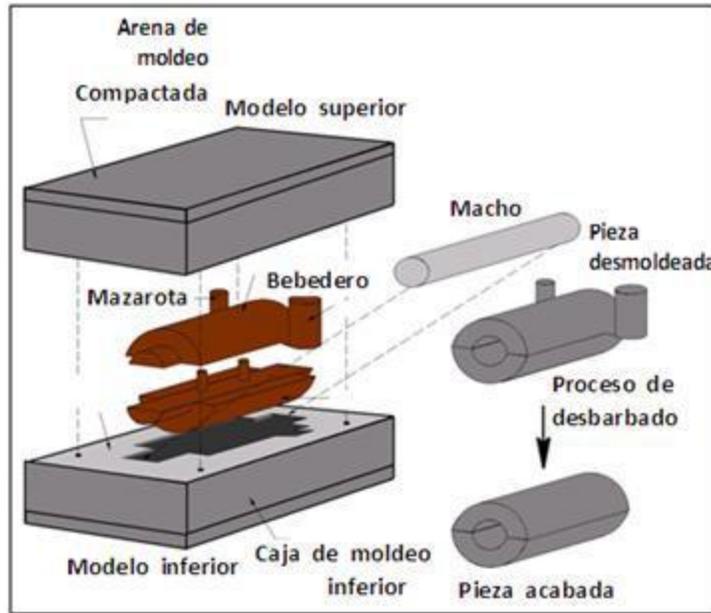
**Fig. 1.5. Ejemplo de modelos de una sola pieza.**

- Modelos sueltos: Cuando se utilizan este tipo de modelos la línea de partición del molde debe hacerse a mano, así como el sistema de coladas y alimentación también se hace a mano, finalizando con la separación del modelo y molde, aflojándolo previamente.



**Fig. 1.6. Ejemplo de modelos sueltos.**

- Modelos divididos: son de dos piezas, fabricados que cada parte forme una cavidad para la fundición y sirve para formar piezas complicadas.



**Fig. 1.7. Ejemplo de modelos divididos.**

- Modelos sueltos con sistema de colada incorporada: son una mejora de los modelos simples, ya que siendo el sistema de colada parte del modelo elimina la necesidad del trabajo a mano. con este tipo de modelos se obtiene una más rápida elaboración de moldes para pequeñas cantidades de piezas.



**Fig. 1.8. Ejemplo de modelos sueltos con sistema de colada incorporada**

- Modelos placa modelo: la producción de grandes cantidades de piezas pequeñas, requiere el uso de este tipo de modelos. las placas modelo se hacen en una sola pieza. la placa modelo generalmente se utiliza en máquinas de moldeo para obtener máxima velocidad de fabricación.



**Fig. 1.9. Ejemplo de modelos placa modelo.**

- Modelos especiales:
  - a) Para piezas muy grandes se utilizan los modelos esqueleto o linternas. se utiliza para moldes grandes hechos manualmente en su mayoría.
  - b) Otro tipo especial de moldes son las tarrajas las cuales se utilizan para fabricar moldes de piezas simétricas.
  - c) Modelos maestros: modelos generalmente de madera utilizados para hacer modelos de alta producción. se debe incorporar a cierta tolerancia como la conocida doble tracción.



**Fig. 1.10. Ejemplo de modelos especiales.**

- Modelo con caja de corazones: aunque comúnmente no son clasificados como modelos, las cajas de corazón son una parte esencial del equipo de modelos para elaborar una pieza que requiera corazones. Generalmente se construyen de madera o metal.



**Fig. 1.11. Ejemplo de modelos con caja de corazones.**

✧ Desechables: Son hechos de poliestireno y en vez de extraer el modelo de la arena, se vaporiza cuando el metal fundido es vaciado en el molde. (Moldeo a la cera perdida). Si los modelos se destruyen al elaborar la pieza, se dice que estos son desechables; y si los modelos sirven para varias funciones se dice que son removibles.

✓ Ventajas de los modelos desechables

- ⊙ Para la fabricación de moldes sin máquinas de moldeo se requiere menos tiempo.
- ⊙ No requieren de tolerancia especiales.
- ⊙ El acabado es uniforme y liso.
- ⊙ No requiere de piezas sueltas y complejas.
- ⊙ No requiere de corazones
- ⊙ El moldeo se simplifica notablemente.

✓ Desventajas de los modelos desechables

- ⊙ El modelo es destruido en el proceso de fundición.
- ⊙ Los modelos son más delicados en su manejo.
- ⊙ No se puede utilizar equipo de moldeo mecánico.
- ⊙ No se puede revisar el acabado del molde.

## ➤ MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS



**Fig. 1.12. Tipos de materiales de los Modelos.**

El número de piezas a realizarse con un modelo determinara el material a emplearse, que puede ser desde madera, yeso o plasticos como el uretano y el poliestireno expandido (EPS) hasta metales como el aluminio o el hierro fundido u otro material suficientemente fuerte para retener su forma y resistir el desgaste.

Para moldear 10 veces o más es preferente ocupar un modelo metálico, ya que es un material que resiste más al desgaste. Y se clasifican de la siguiente forma:

- ✓ Uso único. Misma pieza pero preparada (madera).
- ✓ Poco uso. Uso de materiales más fáciles de trabajar (madera), clavos, tornillos, pasta para resanar.
- ✓ Mucho uso (metálico) aluminio ideal, acero. Aunque son más caros, estos duran mucho más.

## ❖ Maderas

Se tienen 2 tipos de maderas:

- Duras: Maple, Encino y Ébano
- Blandas: Pino blanco, Cedro, Caoba y Abeto.

La utilización de cada uno de estos tipos está en función de la cantidad de piezas que se fabricaran con el modelo. Los modelos maestros generalmente son hechos de madera. La madera para modelos posee una serie de propiedades: pequeña densidad, fácil maquinabilidad, retención de barnices y pinturas, bajo costo, etc. Su desventaja es que la humedad les produce hinchamientos y provoca costosas reparaciones en las reparaciones de los modelos.



**Fig. 1.13. Modelos de Madera.**

## ❖ Metales

Los modelos de metal y las cajas de machos metálicas se utilizan en la producción en gran escala y en grandes lotes. Los juegos de modelos de metal duran más que los de madera, son precisos, y tienen una superficie lisa y no se deforman durante el almacenamiento. Los metales más usuales para la fabricación de modelos son: hierro colado, bronce, aluminio y magnesio; en ocasiones se utilizan aleaciones plomo-bismuto.

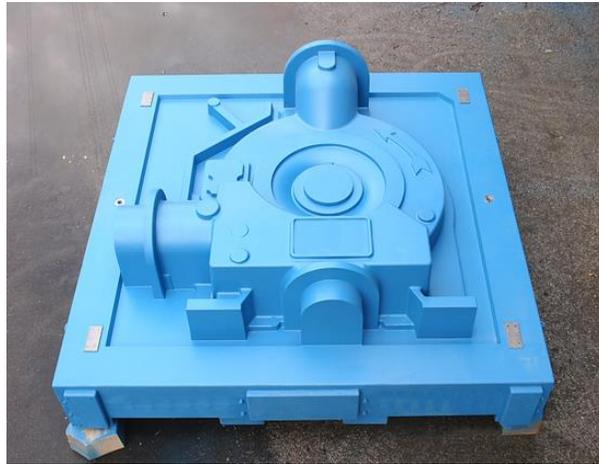


**Fig. 1.14. Modelos de Metal.**

## ❖ Plásticos

El empleo de materiales plásticos para los juegos de modelos reduce el trabajo de elaboración, permite economizar metales no ferrosos, disminuir la cantidad de máquina-herramienta en los talleres de modelos. Estos poseen alta resistencia a la corrosión, menor masa y mayor resistencia que los de madera, a ellos no se adhiere tanto la mezcla de moldeo.

Sus propiedades más usuales son la resistencia a los agentes químicos, su moldeabilidad y propiedades a la abrasión hacen de las fibra de vidrio y de las resinas epoxicas un material muy adecuado para la fabricación de modelos.



**Fig. 1.15. Modelos de Plástico.**

## ❖ Otros

Se tienen materiales como la será, el yeso, el concreto refractario, el barro y el más moderno la espuma plástica. El uso de cada uno de estos materiales es bastante específico y depende del tipo, tamaño y de la cantidad de piezas por hacerse.

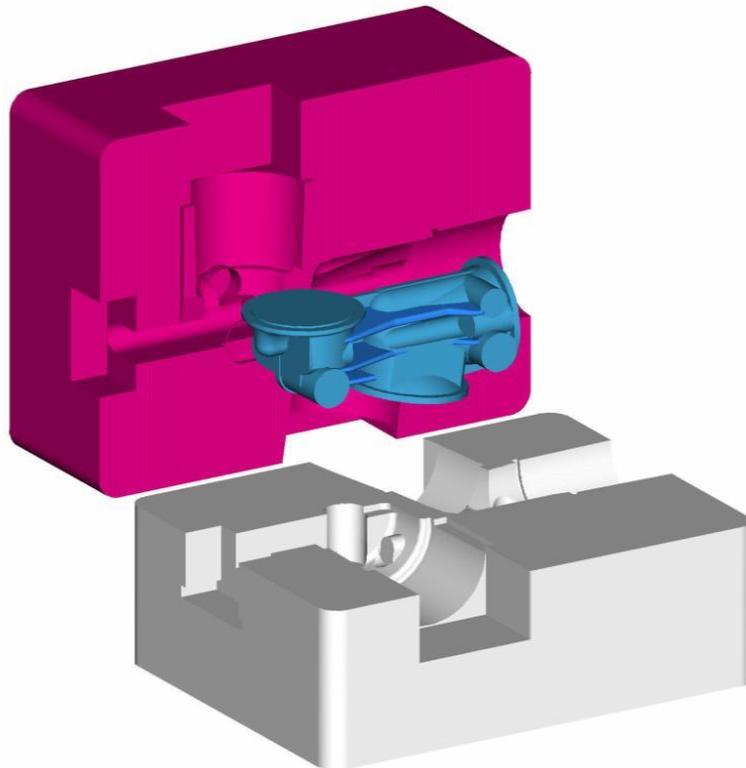
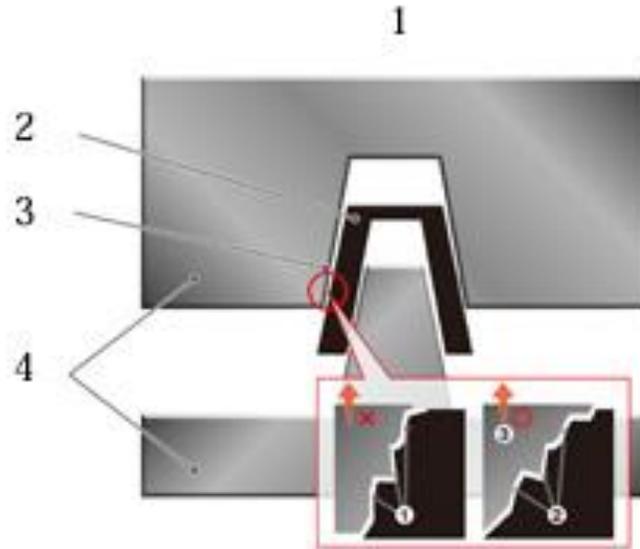


**Fig. 1.16. Modelos de otros materiales.**

✧ **Consideraciones:**

Un buen modelo de fundición debe cumplir con los siguientes requisitos:

- ✓ Ángulos de extracción.



**Fig. 1.17. Ángulos de extracción de los Modelos.**

Al tener preparado el molde es necesario abrirlo en 2 o más partes para poder extraer el modelo.

✓ Contracción metálica

Al solidificar metales o aleaciones se contraen y disminuyen su volumen, este fenómeno origina una reducción en las medidas de la pieza, por lo cual los modelos al ser proyectados, deben contener en sus dimensiones el por ciento de contracción de metal o aleación.



Fig. 1.18. Contracción metálica de los Modelos.

### FUNDICIONES DE HIERRO

- Los modelos sirven para hacer los moldes en tierra de moldeo. Los modelos mas comunes se hacen de madera. Para grandes series se eligen materiales metálicos, aluminio o alguna de sus aleaciones. Nunca los modelos tienen las medidas de las piezas terminadas, debido al fenómeno de la contracción y del sobreespesor necesario para el mecanizado de las piezas. Contracción: es el achicamiento que sufren las piezas al pasar del estado líquido al sólido. La contracción es una característica de cada material, el modelista debe preveer este fenómeno

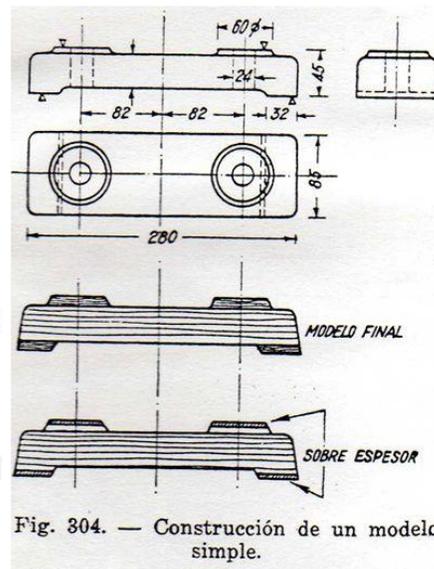


Fig. 304. — Construcción de un modelo simple.

Fig. 1.19. Consideraciones en la contracción metálica de los modelos.

## ⌘ Tolerancias en los modelos

En el diseño de los modelos que se utilizan para construir un molde es necesario tener en consideración varias tolerancias.

- **Tolerancia para la contracción:** Se debe tener en consideración que un material al enfriarse se contrae dependiendo del tipo de metal que se esté utilizando, por lo que los modelos deberán ser más grandes que las medidas finales que se esperan obtener.
- **Tolerancia para la extracción:** Cuando se tiene un modelo que se va a remover es necesario agrandar las superficies por las que se deslizará, al fabricar estas superficies se deben considerar en sus dimensiones la holgura por extracción.
- **Tolerancia por acabado:** Cuando una pieza es fabricada es necesario realizar algún trabajo de acabado o terminado de las superficies generadas, esto se logra puliendo o quitando algún material de las piezas producidas por lo que se debe considerar en el modelo esta rebaja de material.
- **Tolerancia de distorsión:** Cuando una pieza es de superficie irregular su enfriamiento también es irregular y por ello su contracción es irregular generando la distorsión de la pieza, estos efectos deberán ser tomados en consideración en el diseño de los modelos.

### Tolerancias para modelos

Atención		Propiedades mecánicas †							
Nombre	Núm. ASTM	Composición típica, %wt	Método preferido de fundición	Líquidos (solidus), °C	Holgura de contracción ± %	TS, MPa	YS, MPa	el., 50 mm %	Dureza, § HB
<b>ferrosas:</b>									
hierro fundido	60-30 175-145	≤ 0.25C	Molde desechable		1.5-2	420	210	24	180
hierro gris	20 60	3.5C-2.4Si-0.4P-0.1S 2.7C-2.0Si-0.1P-0.1S-0.8Mn	Molde desechable Molde desechable	1 180 1 290	1 1	1 200 420	1 000 (570)	6 <1	360 300
hierro maleable	A47	2.5C-1.4Si-0.05P-0.1S-0.4Mn	Molde desechable	1 140	1	350	220	10	150
hierro dúctil	60-40-18	3.5C-2.4Si-0.1P-0.03S-0.8Mn	Molde desechable		0.8-1	420	280	18	160
cero inoxidable	CF8	0.08C-19Cr-9Ni	Molde desechable		2.5	500	240	45	
<b>on base de Cu:</b>									
bronce de estaño	C90500	10Sn-2Zn	Todos	999 (854)	1.6	320	150	30	80
oja con plomo	C83600	5Sn-5Pb-5Zn	Todos	1 010 (854)	0.8-1.8	240	110	32	62
ojinete	C93700	10Sn-10Pb	Todos	926 (760)	1-2	220	110	20	60
marilla con plomo	C85400	1Sn-3Pb-29Zn	Todos	940 (925)	0.8-1.5	230	80	37	55
<b>o ferrosas:</b>									
on base de Al	208.0 332.0 380.0 413.0	3Si-4Cu 9.5Si-3Cu-1Mg 8Si-3.5Cu 12Si	Arena Molde permanente Matriz Matriz	627 (521) 582 (520) 590 (520) 577	1.5 1 0.6	150 250 330	100 195 170	2.5 1 3	55 105
on base de Mg	AZ91D EZ33A	9Al-0.7Zn-0.2Mn 2.7Zn-0.5Zr-3 tierras raras	Todos Arena y molde permanente	596 (468) 643 (543)	1.5 (0.6 en matriz) 1.2	200 160	135 110	3 3	65 50
on base de Ti	Ti-6Al-4V	6Al-4V	Revestimiento			1 000	900	8	
on base de Ni	Inconel 718	19Cr-3Mo-5Nb-1Ti-0.5Al-18Fe	Revestimiento	1 330 (1 157)		1 200	1 150	16	
on base de Zn	AC41A ZA12	4Al-1Cu-0.04Mg 11Al-1Cu-0.025Mg	Matriz Matriz	386 (381) 432 (377)	0.3-0.6 1.3	330 430	320	10 2	82 100
on base de Pb	Babbitt	16Sb-1Sn-1As	Cojinetes	272 (248)	2.6				20
on base de Sn	B 560	7.5Sb-1Cu	Molde permanente	295 (244)	2				24

\* Datos compilados de ASM Handbook, 10a. ed., vols. 1 y 2, 1990. ASM International, Materials Park, Ohio.  
† Propiedades mínimas como sale de la fundición, excepto el hierro fundido maleable y el nodular (recocidos) y el 332.0 y EZ33A (endurecido por precipitación).  
‡ Holgura del fabricante de moldes.  
§ Carga: 3 000 kg para materiales ferrosos, 500 kg para los no ferrosos.  
¶ Resistencia a la compresión.  
NOTA: para convertir MPa en 1 000 psi, se divide entre 7.

Fig. 1.20. Tolerancias en los modelos para vaciado en arena en verde.

⌘ **Golpeteo:** En algunas ocasiones se golpean los modelos para ser extraídos de los moldes, acción que genera la modificación de las dimensiones finales de las piezas obtenidas, estas pequeñas modificaciones deben ser tomadas en consideración en la fabricación de los modelos.

## ➤ Cajas de Corazones

Aun cuando en ocasiones no se les clasifique como modelos, las cajas de corazón son una parte esencial del equipo de modelos para elaborar una pieza que requiera corazones. Las cajas de corazones se construyen de madera y de metal (hierro gris). El plástico no tiene mucha aplicación, la caja más sencilla se muestra en la figura, hecha de una sola pieza y el corazón de elaboración sencilla. Figura. 1.20 - a

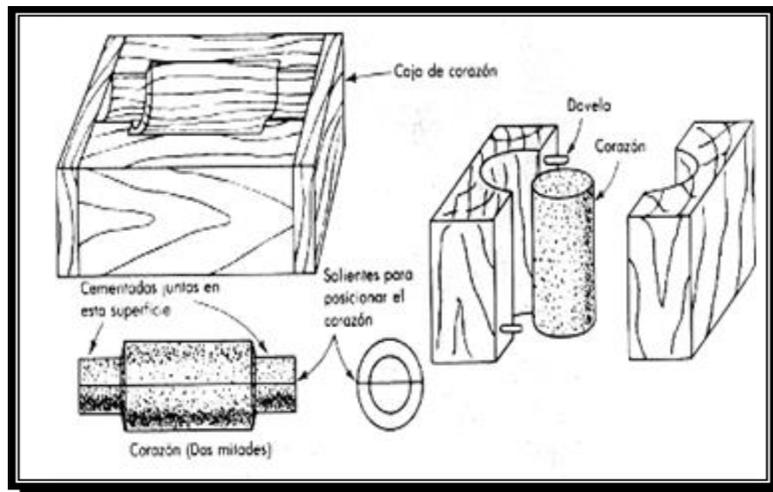
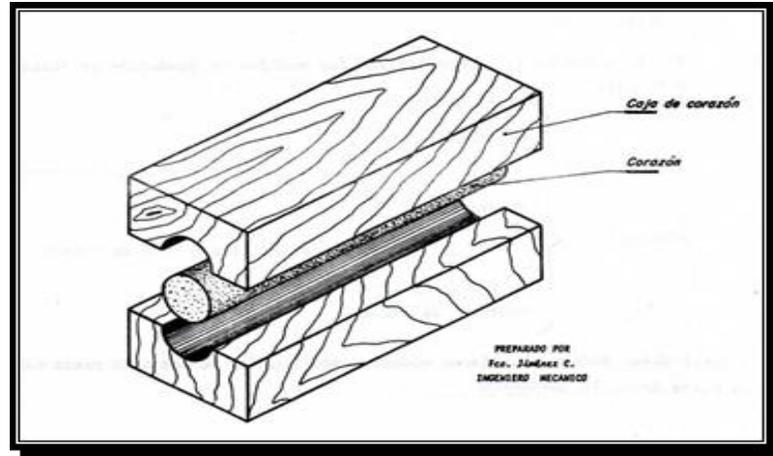


Figura 1.20 - a. Caja modelo sencillo de madera de dos piezas

Suelen hacerse cajas de corazones múltiples para alta producción y cajas complicadas con paredes móviles para corazones difíciles. Los corazones que no tienen ninguna superficie plana requieren equipo especial para su manufactura tal como los secadores que son placas usualmente metálicas que siguen la conformación del corazón y lo soportan para poder sacarlo de la caja de corazones y posteriormente someterlo al proceso de endurecimiento por cocción o curado, y así evitar su deformación.

### **Fabricación de Corazones**

El corazón o macho es toda aquella porción del molde preparada por separado y que el objeto de crear un hueco al insertarse en el molde.

El corazón es una sección costosa del molde, ya que hay que utilizar siempre una nueva arena para controlar mejor sus propiedades, tales como: resistencia al choque con el metal al ser vertido en el molde, resistencia a la abrasión, permeabilidad colapsabilidad o desmoronado, resistencia a las altas temperaturas (refractariedad) y elasticidad (para permitir la libre contracción de metal solidificante).

Los corazones van colocados en el molde sobre unas plantillas de apoyo, a fin de evitar movimientos del corazón durante el vaciado del metal líquido al interior del molde.

La fabricación de los corazones, que puede ser bajo varios procesos, es una operación importante y decisiva para la obtención de una pieza con las propiedades y características deseadas, por lo que debe controlarse muy de cerca su elaboración.

Para elaborar un corazón existen varias formas, entre las comunes, están los siguientes:

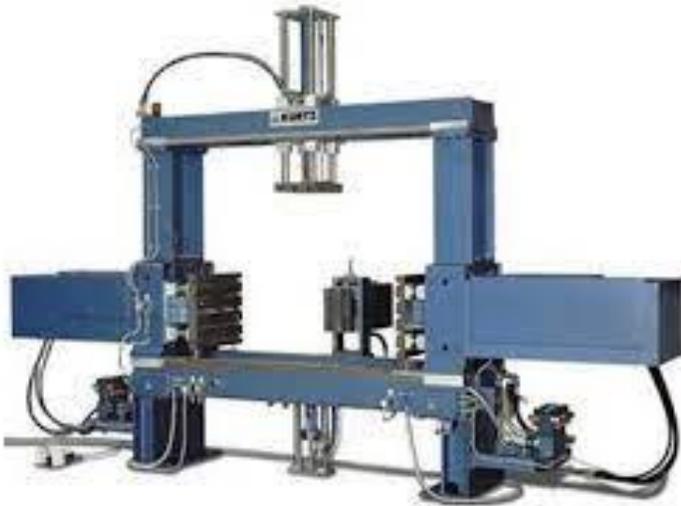
#### **a. Utilizando cajas de corazones.**

Estas cajas pueden ser de madera, metálica o de plástico, son secciones acoplables por medio de espigas de unión, en cuya parte hueca se apisona la arena, pudiéndose utilizar armaduras de refuerzos o varillas para aumentar la rigidez y resistencia del corazón. Para su extracción de este se quitan las mordazas de sujeción de las secciones que componen la caja corazón y por medio de un mecanismo vibratorio a base de ligeras percusiones sobre la caja se origina una holgura a fin de separar las dos secciones y desmoldar el corazón fabricado, colocando éste sobre una placa de secado.



### **b. Utilizando máquinas de compresión neumática o máquinas sopladoras.**

Este es un sistema rapidísimo y sirve para grandes producciones de corazones en serie; se emplea arena sílica aglomerada, la caja de corazón es generalmente metálica y cuenta con canales especiales para dar salida al aire. El relleno y la compresión de la arena se realizan en pocos segundos mediante la inyección de la arena por medio de aire comprimido en la caja de corazones, que es apretada automáticamente por medio de las mordazas accionada neumáticamente o mecánicamente, por el cabezal soplante y se inyecta la arena.



### **c. Corazones al aceite (oil core).**

Este proceso es el más común en las fundiciones pequeñas y medianas ya que además de ajustarse a todo tipo de metal por vaciar requiere poca inversión en equipo pero al mismo tiempo origina el uso de mucha mano de obra. Este proceso implica el uso de aceites (de linaza o de tipo vegetal) para la preparación de la mezcla de arena que conformará el corazón.

Todo corazón fabricado bajo este proceso requerirá estufarse a una temperatura de 400 a 500°C para que la mezcla de arena-aceite fragüe, de tal forma que adquiera las propiedades deseadas; tal operación puede llevarse a cabo en una estufa eléctrica o de gas. Este tipo de corazones no pueden ser almacenados más de una semana ya que requerirán ser secados nuevamente por el hecho de que absorben humedad del medio ambiente, por lo que se recomienda sean utilizados lo más rápido posible después de ser elaborados.



#### d. Corazones a base de silicato de sodio y bióxido carbono (proceso CO<sub>2</sub>).

Este proceso requiere del silicato de sodio o vidrio salubre. La arena que se utiliza puede ser de cualquier granulometría y la cantidad de silicato de sodio, en porcentaje con respecto al peso de la carga de arena, varía del 2 al 6%. El tiempo de mezclado del silicato de sodio y arena es aproximadamente de 5 minutos.

El corazón se obtiene colocando la mezcla de arena y silicato de sodio en la caja corazón, se apisona y se hacen unos vientos o respiraderos con un alambre o una varilla, de acuerdo al tamaño del corazón para que sea inyectado el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y reaccione con el silicato de sodio, para que se endurezca o fragüe el corazón, mediante la siguiente reacción:



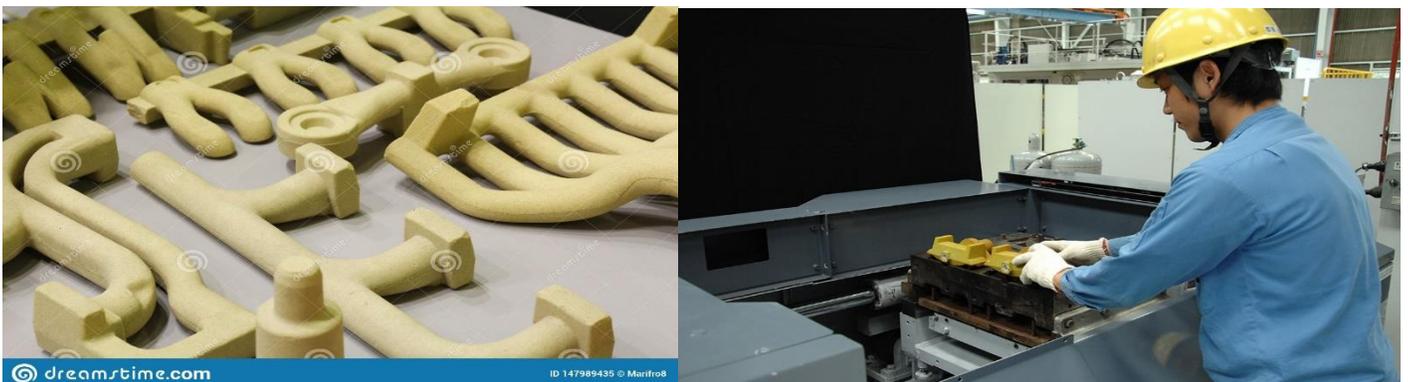
Este tipo de corazón tiene el inconveniente que absorbe aún mayor cantidad de humedad del medio ambiente que los corazones de aceite, implicando hacer uso de ellos en forma inmediata ya que de otra forma originarán defectos en la pieza por el contenido de agua absorbida durante su almacenamiento.



#### e. Corazones en cáscara (Shell-Molding).

Este proceso deriva su nombre del empleo de moldes ó corazones delgados en forma de cáscara ó concha. Comparando este proceso con los demás procedimientos, presenta las siguientes ventajas:

- Máxima libertad en la configuración de piezas.
- Gran exactitud con respecto a los demás métodos de fundición.
- Posibilidad de aplicación en casi todas las aleaciones técnicamente en material del molde y las condiciones en fundición.
- Se suprime la rebaba a lo largo de las juntas de separación entre moldes.



## 1.2. Tipos de Moldes y Moldeos

Los procesos de transformación consisten en una serie de operaciones que parten de un material en bruto y modifican su forma hasta convertirla en una pieza elaborada que tiene utilidad industrial. La forma final de una pieza, debe cumplir una serie de requisitos imprescindibles para ser considerada realmente útil:

- Quedar lista para ser montada en un conjunto
- Fiel al diseño previamente establecido
- Costo razonable de material y energía
- Superar el control de calidad que garantice su fiabilidad Para fabricar un elemento, además de realizar un diseño previo en el que se especifiquen dimensiones y materiales, es necesario elegir el procedimiento de fabricación más idóneo, con el fin de dar forma al material.

Las técnicas de fabricación más usuales, se clasifican en tres grandes grupos:

1. Procedimiento de fabricación por deformación o moldeo, también llamado procedimiento de conformación sin pérdida de material, ya que a lo largo de los procesos no se desperdicia ni se pierde parte alguna del material con el que se trabaja.
2. Procedimiento de fabricación por separación y corte, también llamado procedimiento de conformación con pérdida de material, ya que a lo largo de los procesos se desperdicia o pierde alguna parte del material con el que se trabaja.
3. Procedimiento de fabricación mediante unión de piezas

Se realiza fundiendo el material y vertiéndolos en moldes que reproduzcan la forma de la pieza. Esta técnica se conoce también como fundición o colada. Se aplica esencialmente para metales, plásticos, vidrio, cemento.

Un molde es un recipiente que presenta una cavidad en la que se introduce un material en estado de fusión que, al solidificarse, adopta la forma de la cavidad. Luego se deja enfriar el tiempo necesario hasta que se solidifique y se extrae del molde.

Los moldes, en general, constan de dos piezas, perfectamente acopladas. Por medio de este método podemos fabricar y obtener piezas de formas muy diversas, siendo ampliamente utilizado en el campo de los recipientes de productos y carcasas de máquinas.

Los pasos a seguir para realizar este método de conformado son:

1. Diseñar la pieza que se desea fabricar.
2. Construir un modelo, que suele ser de madera, metal, yeso, etc., de forma artesanal.
3. Se construye el molde. Si la pieza es hueca se fabrican también los machos, que son unas piezas que recubren los huecos interiores.
4. Se llena el molde del material fundido (a este proceso se le llama colada).
5. Se procede al desmoldeo, es decir, extracción de la pieza del molde una vez solidificada.
6. Se enfría la pieza.

Los procesos de moldeo son diferentes según la naturaleza del molde y el método de vertido. Así, según la naturaleza del molde pueden ser: de molde permanente (de hierro colado, acero o grafito) o de molde perdido (arena y arcilla); y según el método de vertido, puede ser por gravedad o por presión.

La elección de un método u otro depende de la complejidad de la pieza, grado de tolerancia respecto a las medidas establecidas, número de piezas a fabricar, coste del molde, acabado.

## TIPOS DE MOLDES

### ➤ *Moldes temporales*

Los recipientes con la forma deseada se conocen como moldes, éstos se fabrican de diferentes materiales como: arena, yeso, barro, metal, etc. Los moldes pueden servir una vez o varias. En el primer caso se les conoce como moldes temporales y los que se pueden utilizar varias veces, se les conoce como moldes permanentes.

### ➤ *Modelos desechables y removibles*

Los moldes se fabrican por medio de modelos los que pueden ser de madera, plástico, cera, yeso, arena, poliuretano, metal, etc. Si los modelos se destruyen al elaborar la pieza, se dice que éstos son desechables o si los modelos sirven para varias fundiciones se les llama removibles.

### ➤ *Fundición en moldes de arena*

Uno de los materiales más utilizados para la fabricación de moldes temporales es la arena sílica o arena verde (por el color cuando está húmeda). El procedimiento consiste en el recubrimiento de un modelo con arena húmeda y dejar que seque hasta que adquiera dureza.

### ➤ *Fundición en moldes de capa seca*

Es un procedimiento muy parecido al de los moldes de arena verde, con excepción de que alrededor del modelo (aproximadamente 10 mm) se coloca arena con un compuesto que al secar hace más dura a la arena, este compuesto puede ser almidón, linaza, agua de melaza, etc. El material que sirve para endurecer puede ser aplicado por medio de un rociador y posteriormente secado con una antorcha.

### ➤ *Fundición en moldes con arena seca*

Estos moldes son hechos en su totalidad con arena verde común, pero se mezcla un aditivo como el que se utiliza en el moldeo anterior, el que endurece a la arena cuando se seca. Los moldes deben ser cocidos en un horno para eliminar toda la humedad y por lo regular se utilizan cajas de fundición, como las que se muestran más adelante. Estos moldes tienen mayor resistencia a los golpes y soportan bien las turbulencias del metal al colarse en el molde.

### ➤ *Fundición en moldes de arcilla*

Los moldes de arcilla se construyen al nivel de piso con ladrillos o con materiales cerámicos, son utilizados para la fundición de piezas grandes y algunas veces son reforzados con cajas de hierro. Estos moldes requieren mucho tiempo para su fabricación y no son muy utilizados.

### ➤ *Fundición en moldes furánicos*

Este proceso es bueno para la fabricación de moldes o corazones de arena. Están fabricados con arena seca de grano agudo mezclado con ácido fosfórico, el cual actúa como acelerador en el endurecimiento, al agregarse a la mezcla una resina llamada furánica. Con esta mezcla de ácido, arcilla y resina en dos horas el molde se endurece lo suficiente para recibir el metal fundido.

## ➤ *Fundición con moldes de CO2*

En este tipo de moldes la arena verde se mezcla con silicato de sodio para posteriormente ser apisonada alrededor del modelo. Una vez armado el molde se inyecta bióxido de carbono a presión con lo que reacciona el silicato de sodio aumentando la dureza del molde. Con la dureza adecuada de la arena del molde se extrae el modelo, si este fuera removible, para posteriormente ser cerrado y utilizado.

También los procesos de moldeo pueden ser clasificados por el lugar en el que se fabrican. Moldeo en banco. Este tipo de moldeo es para trabajos pequeños y se fabrican en un banco que se encuentre a la mano del trabajador.

Moldeo de piso. Para piezas grandes en las que su manejo es difícil y no pueden ser transportadas de un sitio a otro.

Moldeo en fosa. Cuando las piezas son extremadamente grandes y para su alimentación es necesario hacer una fosa bajo el nivel medio del piso.

### *Ventajas de los modelos desechables*

- ✓ Para la fabricación de moldes sin máquinas de moldeo se requiere menos tiempo.
- ✓ No requieren de tolerancia especiales.
- ✓ El acabado es uniforme y liso.
- ✓ No requiere de piezas sueltas y complejas.
- ✓ No requiere de corazones
- ✓ El moldeo se simplifica notablemente.

### *Desventajas de los modelos desechables*

- El modelo es destruido en el proceso de fundición.
- Los modelos son más delicados en su manejo.
- No se puede utilizar equipo de moldeo mecánico.
- No se puede revisar el acabado del molde.

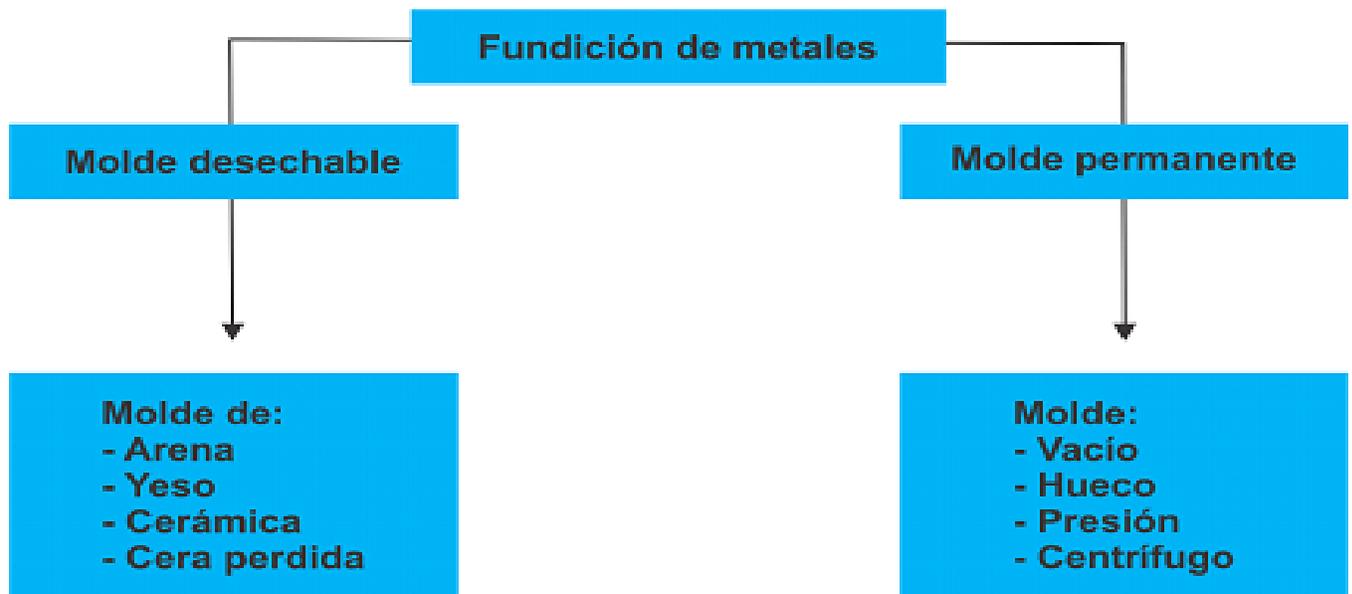
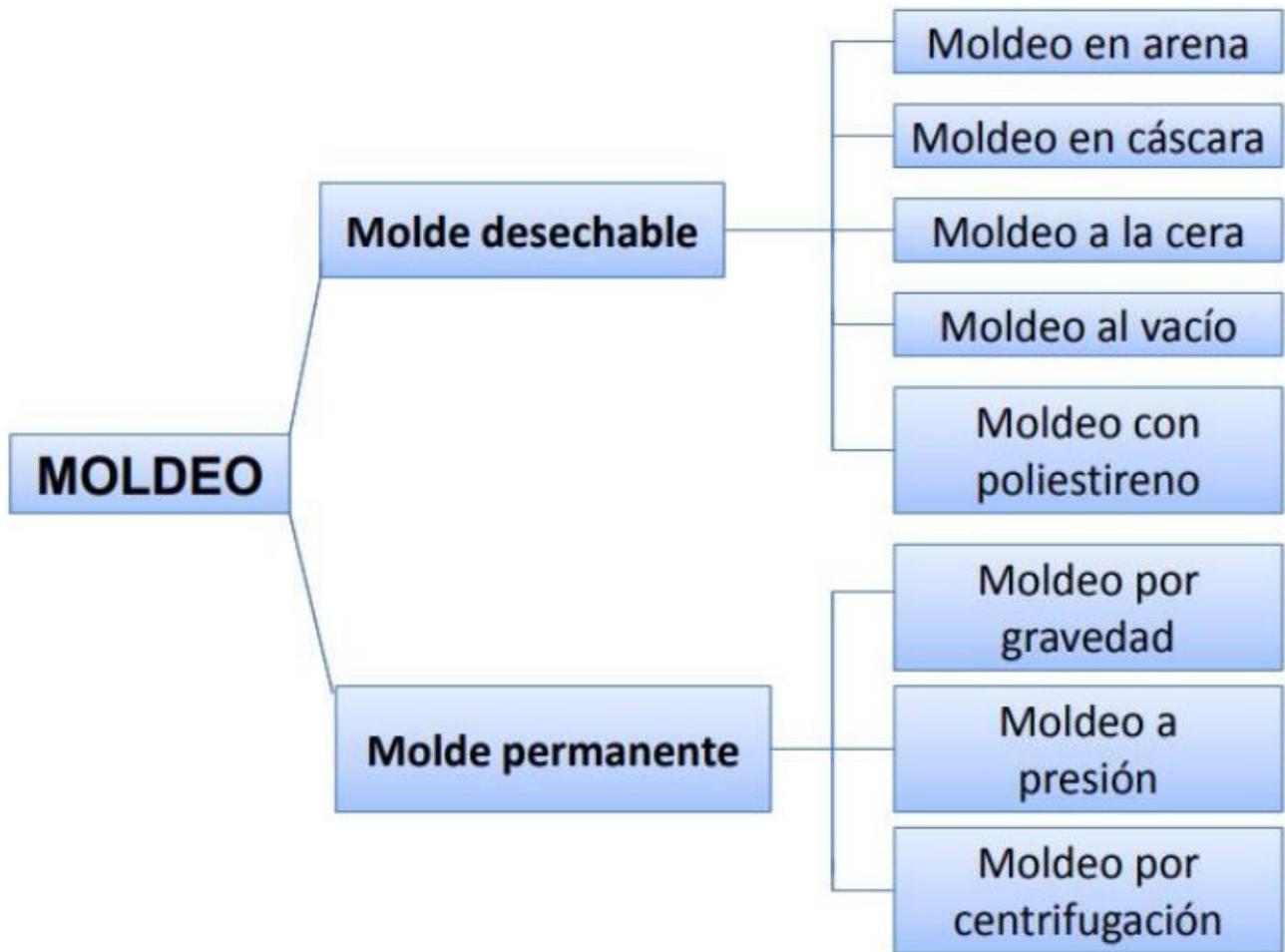


Figura 1. Clasificación general de los procesos de fundición.

## TIPOS DE MOLDEO



## Creación de la forma

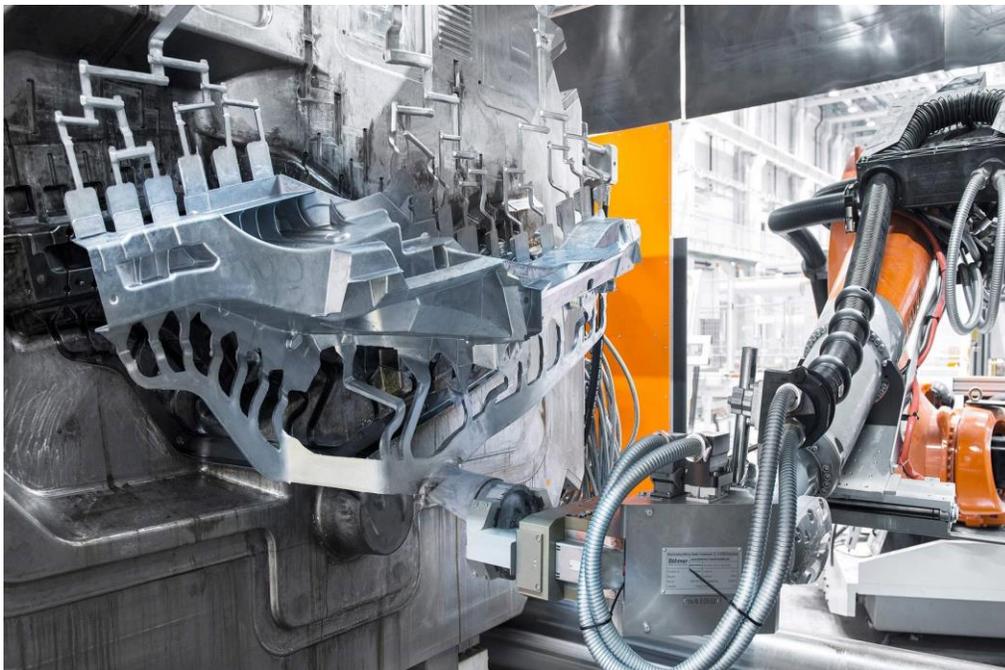


Los tipos de moldeo por el vaciado o vertido del metal se clasifican en los siguientes grupos:

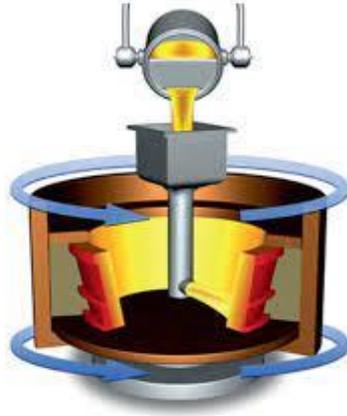
- **Moldeo por gravedad:** Se realiza vertiendo el metal fundido sobre un molde, de manera que éste se desplace por su propio peso. Se utiliza principalmente para fabricar piezas de fundición de acero, bronce, latón y distintas aleaciones de aluminio. Existen distintas técnicas: en arena, en coquilla y a la cera perdida.



- **Moldeo por presión:** Se lleva a cabo introduciendo la masa metálica fundida en el interior del molde forzando la entrada en el mismo. En este método se emplean moldes permanentes. La presión puede generarse por fuerza centrífuga o por inyección:



- **Moldeo por fuerza centrífuga:** El molde gira alrededor de un eje que puede ser horizontal o vertical, con lo que la fuerza centrífuga obliga al metal fundido a rellenar todas las cavidades del mismo. Se emplea fundamentalmente para moldear piezas de revolución, presentando además, la ventaja de que pueden obtenerse piezas de menor espesor que las que se obtienen por gravedad. Las piezas presentan menos grietas y quедades. Por el contrario, los moldes resultan caros, ya que deben ser más gruesos debido a las presiones elevadas que deben soportar.



- **Moldeo por inyección:** Es el moldeo a presión propiamente dicho. El metal se inyecta en el molde por medio de una máquina. La inyección puede hacerse por medio de un émbolo o usando aire comprimido. Los moldes son similares a las coquillas, aunque se suelen denominar matrices. Este método presenta la ventaja de que pueden fabricarse piezas de formas complicadas de una manera bastante económica y de gran precisión. Además, las piezas resultan limpias y sin defectos



- **Moldeo al vacío:** El moldeo en vacío es una técnica de moldeo en arena en la que no se emplea aglutinante, ya que la pieza queda suficientemente consistente gracias al vacío creado durante su realización en la caja de moldear. Se trata de una técnica relativamente moderna, ya que surgió en Japón a finales de la década de 1970



### 1.2.1. Moldeo a la cera perdida.

Es uno de los procesos más antiguos que se conoce, ya que era usado por egipcios y romanos. Se emplea para fabricar objetos artísticos a base de metales nobles, como Au, Ag, Pt, o de forma muy compleja y pequeña.

El principal inconveniente es que es un proceso relativamente caro, pero presenta también la ventaja de que no necesita un mecanizado posterior.

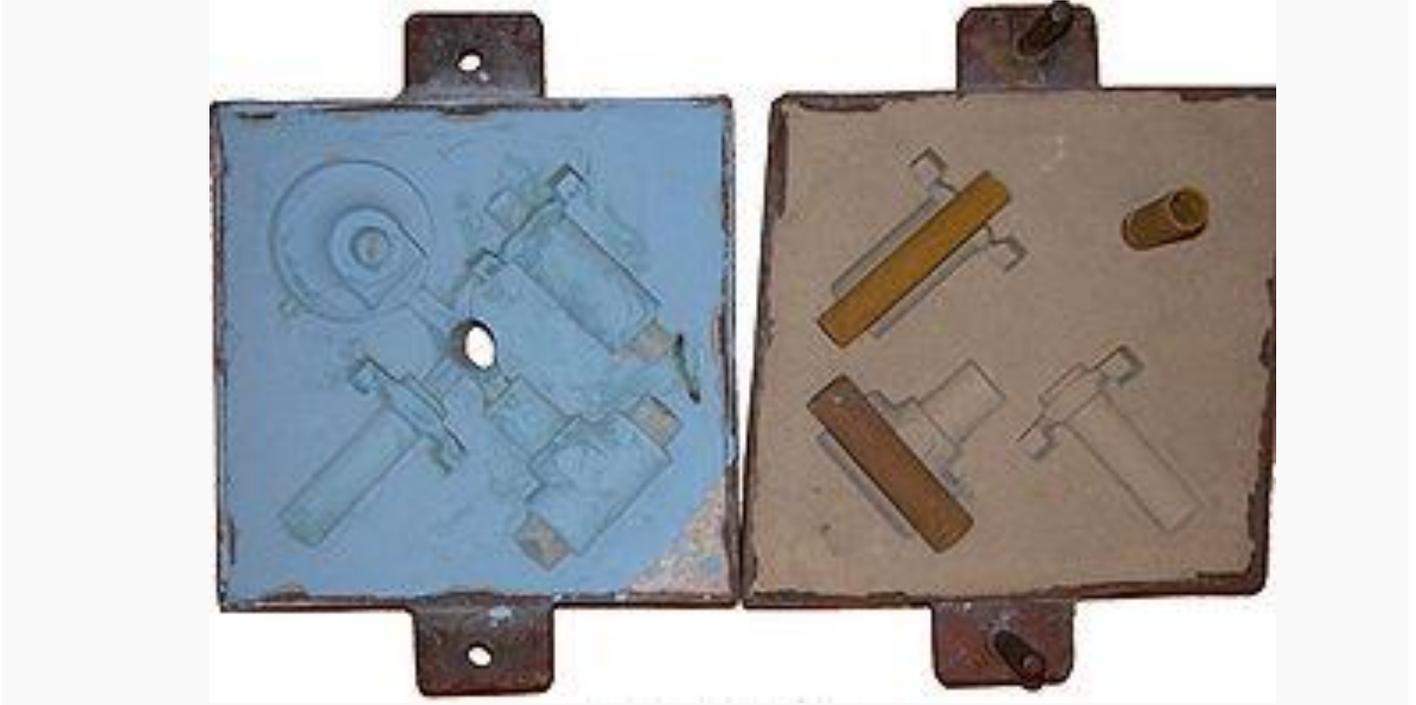
El procedimiento es el siguiente:

- Se elabora un modelo patrón de la pieza en latón
- Con ayuda del modelo se mecaniza la cavidad de la matriz o molde permanente y se divide en dos partes iguales
- Se cierra el molde y se introduce cera caliente. Se crea un modelo en cera.
- Se introduce el modelo en cera en una caja de acero inoxidable que se rellena con arena de sílice, dejando los orificios pertinentes para el llenado del metal y para la salida de los gases.
- Se introduce la caja en un horno, hasta que alcance unos 100 °C. La cera se funde y se recoge en unos canales del fondo del horno.
- Se eleva la temperatura del horno hasta unos 1000 °C.
- Se endurece la arena y se forma la cavidad correspondiente a la pieza. • El molde se extrae del horno y se vierte el metal fundido en su interior.
- Una vez solidificado, se rompe el molde y se obtiene la pieza.



## 1.2.2. Moldes de Arena en Verde

El **moldeo en arena verde** consiste en la elaboración de moldes partiendo de la mezcla de arena de sílice y bentonita (un derivado de la arcilla) a un 30 - 35 % con una cantidad moderada de agua.



**Fig. 1.21. Molde en arena verde:** Muestra de un molde en arena verde listo para verter la fundición.

Esta primera elaboración de la mezcla se denomina arena de contacto, tras su primera utilización esta mezcla es reutilizable como arena de relleno, la cual al añadirle agua vuelve a recuperar las condiciones para el moldeo de piezas. De esta manera, se puede crear un circuito cerrado de arenería.

Existe otro tipo de preparado de la arena, es un tipo de preparado ya comercial, consiste en una mezcla de arena de sílice con aceites vegetales y otros aditivos. Este tipo de preparado no es reutilizable, ya que tras su utilización dichos aceites se queman perdiendo así las propiedades para el moldeo.

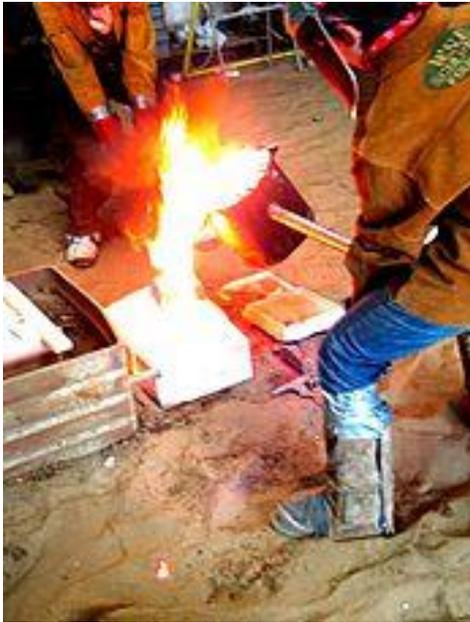
Por este motivo no es aconsejable su utilización en grandes cantidades y de forma continua en circuitos de arenería cerrados ya que su utilización provocaría el progresivo deterioro de mezcla del preparado del circuito y por lo tanto su capacidad para el moldeo. Este preparado facilita la realización del moldeo manual, ya que alarga el proceso de manipulación para realizar el modelaje.

### ⊕ **Moldeo en arena en verde.**

Consiste en la elaboración del molde con arena y arcillas, tal como la bentonita, las cuales se activan por la presencia de humedad. Es el método más empleado y económico, puede ser utilizado para casi cualquier metal o aleación sin importar mayormente las dimensiones de las piezas. No se emplea en el caso de piezas muy grandes o de geometrías complejas, ni cuando se requiera de buenos acabados superficiales o tolerancias reducidas.



**Fig. 1.22. Izquierda vaciado de aluminio en moldes de arena en verde. Derecha, compactado de la arena alrededor del modelo.**



**Fig. 1.23. Moldeo manual: Operarios realizando el vertido del metal en el molde**

Existen dos tipos de moldeo en verde: el **moldeo manual** y el **moldeo en máquina**.

- ⌘ **Moldeo manual:** Consiste en el moldeo realizado de forma manual, y por lo tanto de una manera artesanal. Este tipo de modelaje se está perdiendo en la actualidad debido a la especialización, a la desaparición progresiva de los operarios de fundición y a la utilización de las máquinas de moldeo.
- ⌘ **Moldeo en máquina:** Consiste en el moldeo realizado por medio de una máquina de moldeo. Existen en la actualidad distintos tipos de máquinas para este fin: las máquinas multifunción, máquinas multipistones y máquinas automáticas. La utilización de este tipos de máquinas ha facilitado la automatización de este proceso, aumentando notablemente las cantidades productivas.



**Data sheet**

Mold size (mm)	Length(L)xWidth(W)	450x350
	Height(H)	(Cope) 150 / (Drag) 150
Molding method	Aeration & Squeeze	
Molding speed (max)	36sec/mold 100molds/hr (without core setting) 1)	
Squeeze pressure on mold face	- 0.7 MPa (changeable in 2 steps)	
Actuating power source	Pneumatic & Hydro-Pneumatic	
Air consumption	1.0m <sup>3</sup> (normal)/mold	
Air pressure	0.56±0.04MPa	
Power supply	AC100-240V (Control circuit DC24V)	
Mold weight (max)	71kg	

1) Molding speed may vary depending on ambient temperature, compressed air source pressure and squeeze pressure.

**Options for maximizing capability of the FDNX**

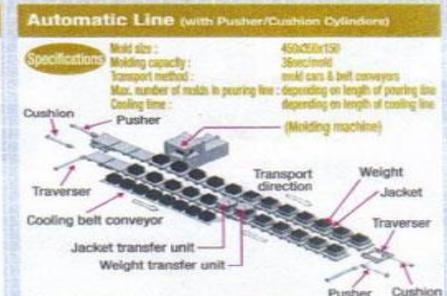
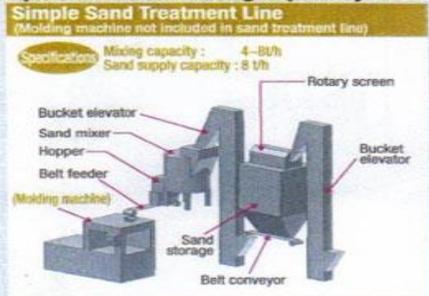


Fig. 1.24. Ejemplos de moldeo manual y en maquina.

## 🌿 Proceso de fundición de moldeo en verde

El Término "arena verde" es conocido principalmente por el contenido de humedad dentro de la arena. La arena se somete a un "moldeo / mezclado", proceso en el que varios tipos de arcilla y aditivos químicos que actúan como aglutinantes se mezclan con la arena, el resultado es un compuesto que es conveniente para el proceso de moldeo en arena.

Esta mezcla de preparado de arena se comprime alrededor del patrón (patrón de la pieza deseada) a presiones y temperaturas específicas, para garantizar que mantenga su forma durante el resto del proceso de fundición. La arena mezclada se compacta alrededor del patrón, tomando la forma del molde deseado.

A veces el diseño de la fundición implica conductos internos en la pieza. Esto se hace mediante el uso de machos de arena que están constituidos por una mezcla de arenas similares. Los núcleos están ubicados estratégicamente para formar los conductos necesarios en la fundición. Las dos mitades del molde posteriormente se cierran y el metal se vierte en la cavidad y se deja solidificar.

Después de que la solidificación haya tenido lugar, la arena se hace vibrar hasta que se libera de la fundición. El proceso de acabado puede ser completado por rectificado, mecanizado, la galvanoplastia y la pintura.

En la siguiente figura se puede observar el proceso paso a paso.

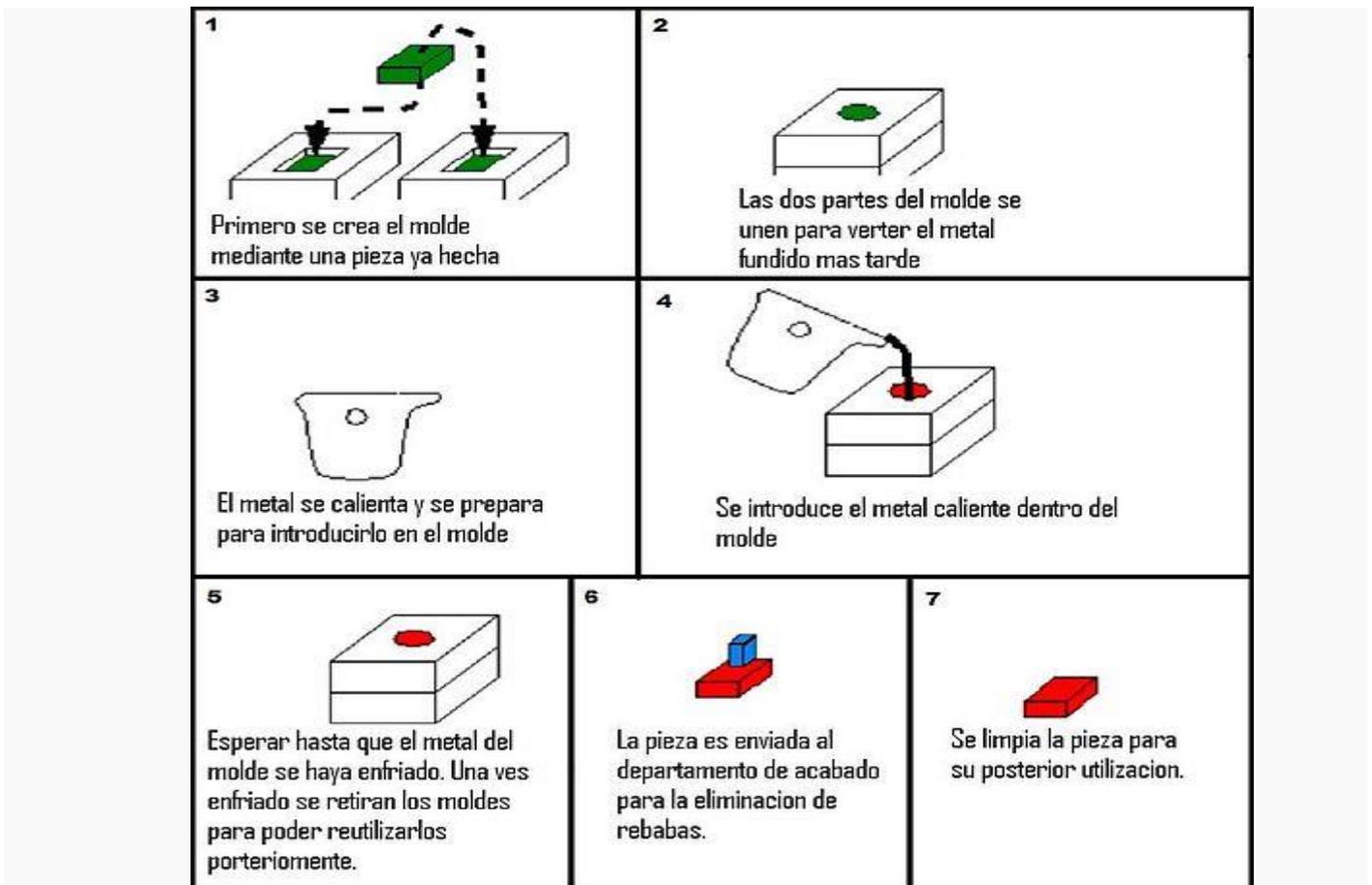


Fig. 1.25. Moldeo en arena verde: Proceso para la fabricación de piezas mediante el proceso de moldeo en verde.

## ✿ Fabricación de moldes

Para la fabricación de moldes para el moldeo en arena verde se suele utilizar una proporción típica de:

- ✓ 90% de Sílice ( $\text{SiO}_2$ )
- ✓ 7% de arcilla
- ✓ 3% de agua

También se utilizan diversos métodos de compactación, como son:

- ✓ Manual
- ✓ Presión neumática estupendo
- ✓ Sacudimiento
- ✓ Lanzamiento de arena a presión

## ✿ Ventajas y desventajas del moldeo en arena verde

### ⌘ Ventajas

- ✓ Económico: es un proceso más barato que el resto.
- ✓ Resistencia a altas temperaturas.
- ✓ Posibilidad de obtención de piezas de hasta menos de 3mm de grosor de acero.
- ✓ Posibilidad de utilización en gran cantidad de metales y aleaciones.
- ✓ Acabado uniforme y liso.
- ✓ No requiere de tolerancias especiales.
- ✓ Aproximadamente un 90% del material del molde es reciclable.
- ✓ Se trata de un proceso flexible con costos de materiales bajos.
- ✓ Piezas sin tensiones residuales.

### ⌘ Desventajas

- ✓ No se trata de un proceso recomendado para piezas de gran tamaño.
- ✓ Las tolerancias que se obtienen suelen ser bastante grandes.
- ✓ No es el proceso más adecuado para la realización de piezas de geometría compleja.
- ✓ Los acabados superficiales que se obtienen no son los mejores.
- ✓ Piezas con resistencia mecánica reducida.



Fig. 1.26. Ejemplos de Moldes en arena en verde.

### 1.2.3. Molde Shell ( Moldeo de Cascara )

Moldeo de la carcasa, también conocido como fundición cáscara-molde, es un proceso de fundición de molde fungible que utiliza una arena cubierta de resina para formar el molde. En comparación con la fundición en arena, este proceso tiene una precisión mejor tridimensional, una tasa de productividad más alta, y los requisitos de mano de obra más bajos.

Se utiliza para pequeñas y medianas piezas que requieren alta precisión. Fundiciones en molde es un proceso de fundición de metal similar a la fundición en arena, en el que el metal fundido se vierte en un molde fungible. Sin embargo, en fundiciones en molde, el molde es una cáscara de pared delgada creada a partir de la aplicación de una mezcla de arena y resina de alrededor de un patrón.

El patrón, una pieza de metal en la forma de la parte deseada, se vuelve a utilizar para formar múltiples moldes de cáscara. Un patrón reutilizable permite velocidades de producción más altas, mientras que los moldes desechables permiten geometrías complejas para ser emitidos. Shell molde de fundición requiere el uso de un patrón de metal, horno, mezcla de arena y resina, caja de descarga, y el metal fundido.

Fundiciones en molde permite el uso de metales férreos y no férreos, con mayor frecuencia el uso de hierro fundido, acero al carbono, acero de aleación, acero inoxidable, aleaciones de aluminio y aleaciones de cobre. Las piezas típicas son pequeñas o de tamaño medio y requieren una alta precisión, tales como cajas de engranajes, culatas, bielas, y los brazos de palanca.

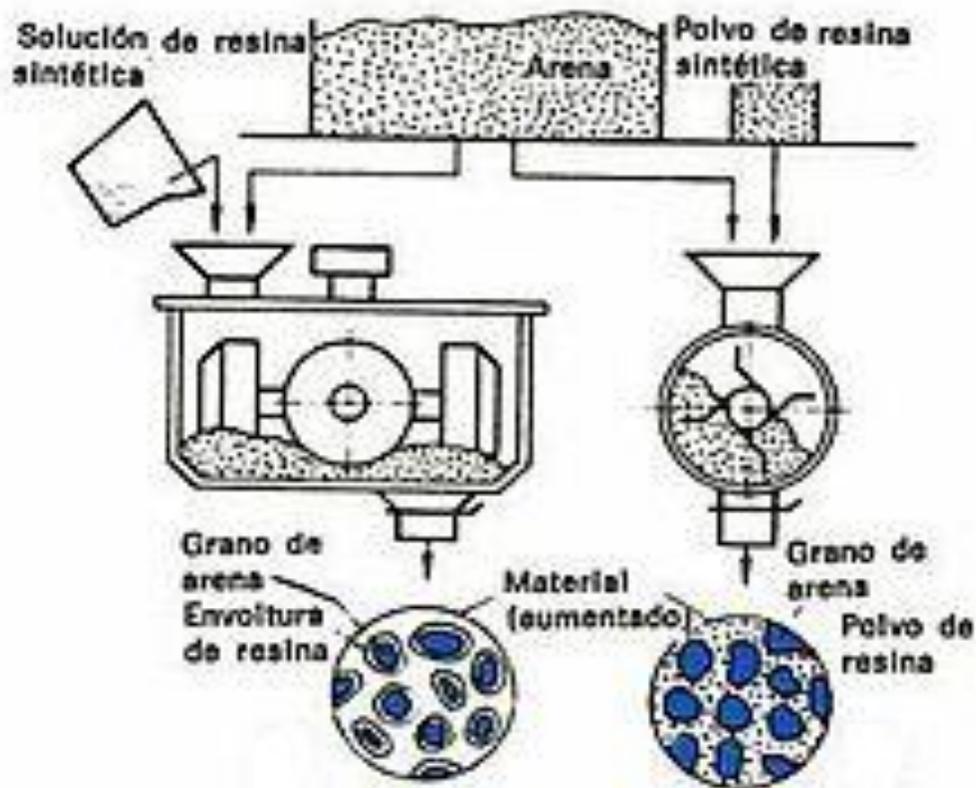


Fig. 1.27. Proceso de fabricación del moldeo en cascara.

El proceso de fundición de moldeo en cáscara se compone de los siguientes pasos:

- ⌘ **La creación del patrón** - Un patrón de metal de dos piezas se crea en la forma de la parte deseada, típicamente de hierro o de acero. Otros materiales se utilizan a veces, tal como el aluminio para la producción de volumen bajo o grafito para la fundición de materiales reactivos.
- ⌘ **Creación del molde** - En primer lugar, cada medio patrón se calienta a 175-370C y recubierto con un lubricante para facilitar la eliminación. A continuación, el modelo caliente se sujeta a una caja de descarga, que contiene una mezcla de arena y un aglutinante de resina. La caja de descarga se invierte, lo que permite esta mezcla de arena y resina para recubrir el patrón.  
  
El patrón climatizado cura parcialmente la mezcla, que ahora forma una capa alrededor del patrón. Cada medio patrón y rodea cáscara se cura hasta su finalización en un horno y a continuación, la cáscara se expulsa desde el patrón.
- ⌘ **Conjunto de molde** - Las dos mitades se unen y sujetan firmemente para formar el molde de la cáscara completa. Si se requiere algunos núcleos, que se insertan antes de cerrar el molde. El molde de cáscara se coloca a continuación en un matraz y el apoyo de un material de soporte.
- ⌘ **Verter** - El molde se fija con seguridad junta, mientras que el metal fundido se vierte desde una cuchara en el sistema de llenado y llena la cavidad del molde.
- ⌘ **De refrigeración** - Después de que el molde se ha llenado, el metal fundido se deja enfriar y solidificar en la forma de la pieza colada final.
- ⌘ **Fundición de eliminación** - Después de que el metal fundido se ha enfriado, el molde se puede romper y retirar la colada. Se requieren procesos de corte y de limpieza para eliminar cualquier exceso de metal desde el sistema de alimentación y cualquier arena del molde.

Ejemplos de artículos moldeados de concha incluyen cajas de engranajes, culatas y bielas. También se utiliza para hacer núcleos de moldeo de alta precisión.



Fig. 1.28. Ejemplos del moldeo en cascara (Shell).

## ⊕ Proceso

El proceso de creación de un molde de cáscara consta de seis pasos:

Arena de sílice fina que está cubierto de una resina fenólica termoendurecible delgado y catalizador líquido se vierte, fundido o disparado a un patrón caliente. El patrón se hace generalmente de hierro fundido y se calienta a 230-315 C. La arena se deja reposar sobre el patrón durante unos pocos minutos para permitir que la arene para curar parcialmente.

El patrón y la arena están a continuación, invierten por lo que el exceso de arena cae libre del patrón, dejando sólo el "Shell". Dependiendo del tiempo y la temperatura de la pauta el espesor de la cáscara es de 10 a 20 mm.

El patrón y la cáscara juntos se colocan en un horno para terminar el curado de la arena. La cáscara tiene ahora una resistencia a la tracción de 350 a 450 psi. La cáscara se separa a continuación, endurecido a partir del patrón.

Dos o más conchas se combinan a continuación, a través de sujeción o pegado utilizando un adhesivo termoestable, para formar un molde. Este molde terminado a continuación, se puede utilizar inmediatamente o almacenar casi indefinidamente.

Para lanzar el molde de la cáscara se coloca dentro de un frasco y rodeado de tiro, arena o grava para reforzar la cáscara. La máquina que se utiliza para este proceso se denomina una máquina de moldeo cáscara. Se calienta el patrón, se aplica la mezcla de arena y cuece la cáscara.



Fig. 1.29. Modelos para vaciado en moldes en cascara (Shell).

## ✚ Detalles

Instalación y producción de los patrones de molde en cáscara toma semanas, después de lo cual una potencia de 5 a 50 piezas/hrs-molde es alcanzable. Los materiales comunes incluyen hierro, aluminio y aleaciones de cobre fundido.

Aluminio y magnesio productos de un promedio de 13,5 kg como límite normal, pero es posible lanzar objetos en el rango de 45 a 90 kg. El extremo pequeño del límite es de 30 g. Dependiendo del material, la sección transversal más delgada-moldeable es 1,5 a 6 mm. El calado mínimo es de 0,25 a 0,5 grados.

Tolerancias típicas son 0,005 mm/mm o en/porque en el compuesto de arena está diseñado para reducir el tamaño y apenas se utiliza un patrón de metal. El acabado de la superficie es de 0,3 a 4,0 micrómetros elenco porque se utiliza una arena fina. La resina también ayuda en la formación de una superficie muy lisa. El proceso, en general, produce piezas fundidas muy consistentes de un lanzamiento a otro.



Fig. 1.30. Máquinas para la fabricación de moldes en cáscara (Shell).

La mezcla de arena-resina puede ser reciclada por la quema de la resina a temperaturas elevadas.

## ✚ **Ventajas y desventajas**

### Ventajas

- ✓ Una de las mayores ventajas de este proceso es que puede ser completamente automatizado para la producción en masa.
- ✓ La alta productividad, bajos costos de mano de obra, buenos acabados de superficie y precisión del proceso puede más que pagar por sí mismo si reduce los costes de mecanizado.
- ✓ También hay algunos problemas debido a los gases, debido a la ausencia de humedad en la cáscara, y el poco gas que todavía está presente se escapa fácilmente a través de la cáscara delgada.
- ✓ Cuando se vierte el metal algunos del aglutinante de resina se funde en la superficie de la cáscara, lo que hace sacudiendo fácil.
- ✓ Buen acabado superficial, eliminando así, casi por completo, los defectos superficiales.
- ✓ Tolerancias de 0.5% frente al 1.5% en el moldeo ordinario.
- ✓ Moldes estables, adecuados para la fabricación en serie.
- ✓ Se evita la mecanización de piezas, debido a la gran precisión obtenida en los resultados.
- ✓ Se pueden producir formas más complejas con menos mano de obra.
- ✓ Automatización del proceso con relativa facilidad.
- ✓ Menor necesidad de arena para producir los moldes, lo cual reduce costes en producciones de amplios lotes.

### Desventajas

- ✓ Una desventaja es que el sistema de llenado debe ser parte del patrón, porque todo el molde se forma a partir del patrón, que puede ser costoso.
- ✓ Otra es la resina de la arena es caro, sin embargo, no se requiere mucho porque se está formando sólo una cáscara.
- ✓ Alto coste de la mala resistencia del material de los equipos, de alta porosidad posible,
- ✓ Mal acabado superficial y la tolerancia, el mecanizado secundaria a menudo se requiere, l
- ✓ La tasa de producción baja, aplicaciones de alto coste laboral culatas, bielas bloques y los colectores del motor, bases de máquinas, engranajes, poleas.
- ✓ Coste elevado en la producción de pequeños lotes de piezas.
- ✓ Las piezas no pueden ser muy voluminosas; las mayores obtenidas son de unos 100 kg.
- ✓ Las placas modelo tienen que ser siempre metálicas y con elevada precisión dimensional; por ello resultan caras.
- ✓ Las arenas y las resinas son mucho más caras que los materiales empleados en el moldeo ordinario.
- ✓ Menor permeabilidad de los moldes.
- ✓ El molde produce gases por la descomposición del aglutinante.

## ✚ **Productos elaborados con moldeo en cáscara**

- ✓ Piezas para los sectores del ferrocarril, automoción, camión, maquinaria agrícola, etc.
- ✓ Piezas en materiales refractarios para centrales térmicas, plantas siderúrgicas, plantas incineradoras, hornos de tratamiento, etc.
- ✓ Piezas para motores y compresores, de alta calidad superficial y final paredes.
- ✓ Eslabones de cadena y otras piezas sometidas a altas exigencias mecánicas.

## 1.2.4. Colados Centrífugos

### Antecedentes

Ya al principio del siglo XIX nació la idea de emplear la fuerza centrífuga para fundir los objetos de metal; perteneció a Antonio Eckhardt (patente en el año 1809), pero la insuficiencia técnica de las máquinas frenaba su aplicación práctica por la imposibilidad de conseguir el número necesario de revoluciones que dieran la fuerza centrífuga necesaria.

En el año 1848 fue otorgada la primera patente en los Estados Unidos a T.G. Lovegrove, de Baltimore. Poco después de progresar la técnica Fernando Arens, en colaboración con Sensaud de De Lavaud, en Brasil, lograron por fin, en 1914, aplicar la fuerza centrífuga en la fundición de metales a escala industrial.

Desde el año 1915 se fabrican en Argentina, en los talleres Tamet, tubos centrifugados con una máquina de tipo Arens y De Lavaud. En 1867 Joseph Monier puso en circulación los tubos de hormigón. En 1913 los italianos Diego Matteo y Adolfo Mazza ofrecieron otra variedad de tubos de cemento. Últimamente, la técnica de la construcción se enriqueció con muestras de vidrio termoaislante como material básico en la fabricación.

Bloques de vidrio huecos, placas de revestimiento y paneles decorativos hicieron su aparición. En 1941 N. P. Waganoff fabricó tubos de vidrio por el método de centrifugación, que, por la sencillez de la fabricación y por el bajo coste de la misma, supuso una revolución en los métodos de fundición. En la actualidad este tipo de fundición está muy desarrollada y extendida, pudiéndose encontrar una gran variedad de productos realizados con este método.

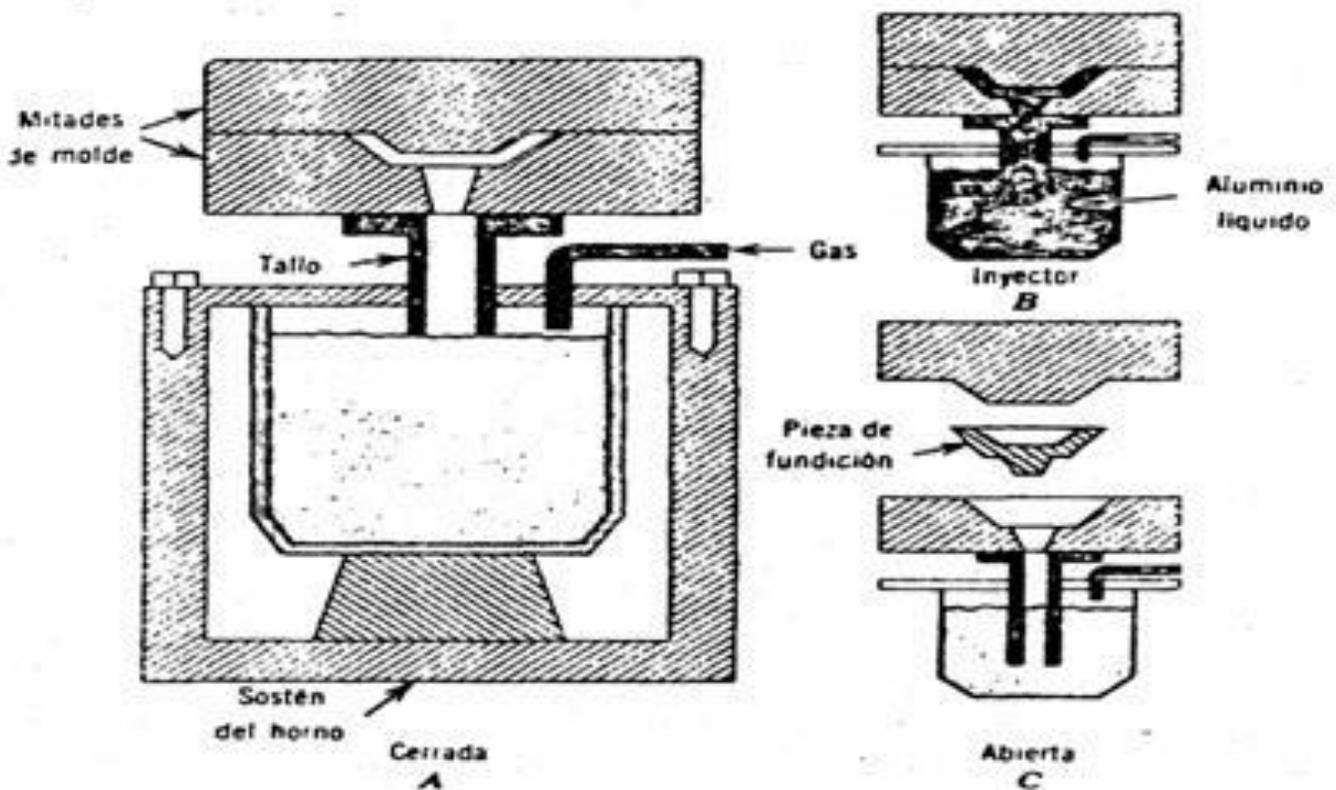


Fig. 1.31. Primeras máquinas para vaciado centrífugo.

Los procesos de fundición se clasifican de acuerdo a los diferentes tipos de moldes. .  
**Proceso de fundición y colado:**

Se calienta primero el metal a una temperatura lo suficientemente alta para transformarlo completamente al estado líquido, después se vierte directamente en la cavidad del molde. En un molde abierto el metal líquido se vacía simplemente hasta llenar la cavidad abierta. En un molde cerrado existe una vía de paso llamada sistema de vaciado que permite el flujo del metal fundido desde afuera del molde hasta la cavidad, este es el más importante en operaciones de fundición.

Cuando el material fundido en el molde empieza a enfriarse hasta la temperatura suficiente para el punto de congelación de un metal puro, empieza la solidificación que involucra un cambio de fase del metal. Se requiere tiempo para completar este cambio de fase porque es necesario disipar una considerable cantidad de calor.

El metal adopta la forma de cavidad del molde y se establecen muchas de las propiedades y características de la fundición. Al enfriarse la fundición se remueve del molde; para ello pueden necesitarse procesamientos posteriores dependiendo del método de fundición y del metal que se usa. Fundición y colado al alto vacío consiste en la colación de un tallo sobre un crisol sellado, al inyectar presión. El molde pre presión consiste en inyectar el metal líquido en una matriz. Las piezas logradas con este procedimiento son de gran calidad.

### Fundición Centrífuga

La fundición centrífuga es el proceso de hacer girar el molde mientras se solidifica el metal, utilizando así la fuerza centrífuga para acomodar el metal en el molde. Se obtienen mayores detalles sobre la superficie de la pieza y la estructura densa del metal adquiere propiedades físicas superiores. Las piezas de forma simétricas se prestan particularmente para este método, aun cuando se pueden producir otros muchos tipos de piezas fundidas.

Por fundición centrífuga se obtienen piezas más económicas que por otros métodos. Las piezas tienen una estructura de metal densa con todo y las impurezas que van de la parte posterior al centro de la pieza pero que frecuentemente se maquinan.



Fig. 1.32. Máquinas modernas para vaciado centrífugo.

## ☛ Fundición, Colado Al Alto Vacío, Centrifuga y Precisión.

La principal diferencia entre acero y hierro colado, es que el primero es plástico y forjable, mientras que el segundo no es lo suficientemente plástico para forjarlo a cualquier temperatura. El hierro colado o fundición, fundamentalmente es una aleación a base de: hierro, silicio y carbono. El contenido de carbono es más elevado que en los aceros que varían desde 2.5 a 4.0%.

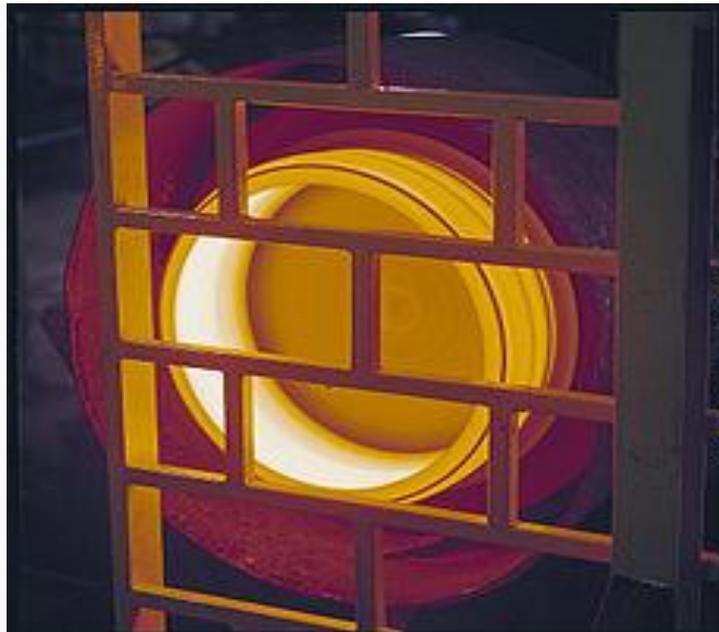
Existen dos tipos de hierro colado o fundición: la fundición gris y la fundición blanca, cuyo nombre lo recibe por el color característico en la fractura de una pieza colada.

### ✓ Fundición gris

Es excelente para obtener piezas complicadas de maquinaria, pues es muy fluido cuando se halla fundido y llega con bastante facilidad a todas las partes de un molde, además de ser maquinable es duro y frágil.

### ✓ Fundición blanca

- ⊙ Es más frágil que la fundición gris se emplea principalmente para obtener el hierro maleable, el cual se obtiene recociendo la fundición blanca y convertirla en un hierro más dúctil y tenaz.
- ⊙ El hierro maleable, se emplea principalmente en piezas automotrices, arados, tractores, debido a su tenacidad y resistencia al choque.
- ⊙ El acero y la fundición gris, son los dos materiales a los que se les exige el mayor número de propiedades.
- ⊙ El herrero exige propiedades excelentes de forja y soldadura, el mecánico necesita un acero fácil de trabajar, el ajustador de herramientas exige un acero que temple bien y que tenga una gran resistencia de corte, por último el fundidor exige una fundición gris que pueda moldear con facilidad.



**Fig. 1.33. Horno centrífugo industrial para metal.**

El proceso de **fundición centrífuga** o centrífuga, consiste en depositar una capa de fundición líquida en un molde de revolución girando a gran velocidad y solidificar rápidamente el metal mediante un enfriamiento continuo del molde o coquilla. Las aplicaciones de este tipo de fundición son muy variadas, yendo desde la fabricación de telescopios o partes de joyería hasta las tuberías, este procedimiento frecuentemente utilizado para la fabricación de tubos sin costura, camisas y demás objetos simétricos.

El metal se vierte caliente y fluido en una espiral que se transforma inmediatamente en una capa regular y continua del metal líquido, mantenida en forma cilíndrica por las fuerzas de inercia centrífugas creadas por la rotación de la coquilla. Esta fuerza centrífuga que se desarrolla lanza el metal líquido contra las paredes del molde y aumenta su presión, facilitando el llenado de los huecos y la solidificación en este estado.

Simultáneamente se refrigera la coquilla por su exterior para absorber el calor y bajar la temperatura de la fundición hasta la temperatura de solidificación. En el curso de su enfriamiento, el metal líquido sufre una contracción térmica progresiva. El enfriamiento que sigue tiene como efecto una contracción térmica suplementaria del elemento sólido, que se despega de la coquilla y puede entonces extraerse. Tiene una mayor fiabilidad que piezas de fundición estática.

Son relativamente libre de la porosidad del gas y la contracción. Muchas veces, los tratamientos de superficie, como carburación, temple y nitruración tiene que ser utilizado cuando un desgaste superficie resistente debe combinarse con una superficie dura y resistente exterior. Una de estas aplicaciones es la tubería bimetálica compuesta por dos concéntricos separados, capas de diferentes aleaciones y metales unidos entre sí.

Estos tubos pueden ser económicamente utilizados en muchas aplicaciones y puede ser producido por el proceso de fundición centrífuga. Las características de la fundición dependen de varios parámetros que deben controlarse para tener una producción uniforme. Estos factores son, principalmente:

- ✓ La temperatura de colada
- ✓ La composición del material a utilizar

Las instalaciones suelen ser muy costosas y sólo se amortizan fabricando grandes series. Este método de conformación por moldeo tiene su génesis en el desarrollo de las tuberías para saneamiento. La colada centrífuga es adecuada para la fabricación de cuerpos de revolución huecos, por ejemplo tubos, cilindros, y también casquillos de cojinete. El proceso es adecuado para la producción de estructuras de gran diámetro - tubos de petróleo, instalaciones de la industria química y suministro de agua, etc



Fig. 1.34. Hornos centrífugos para metal.

## Fundición centrífuga

La fundición centrífuga es un método en el que aprovecha la fuerza centrífuga que se puede generar al hacer girar el metal en torno de un eje. Existen tres tipos de fundición centrífuga:

- Fundición centrífuga real
- Fundición semicentrífuga
- Centrifugado

### a) Fundición centrífuga real

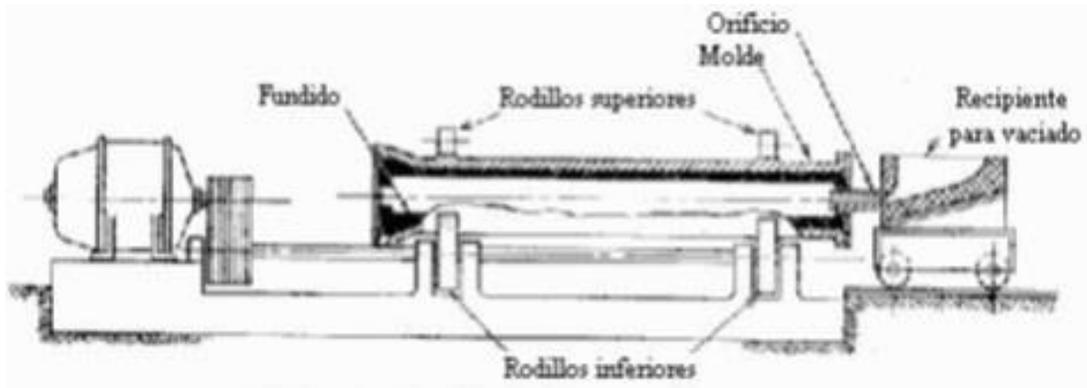


Fig. 1.35. Máquina de fundición centrífuga para fundición de acero.

Es el procedimiento utilizado para la fabricación de tubos sin costura, camisas y objetos simétricos, los moldes se llenan del material fundido de manera uniforme y se hace girar al molde sobre su eje de rotación.

### b) Fundición semicentrífuga

Es un método en el que el material fundido se hace llegar a los extremos de los moldes por la fuerza centrífuga que genera hacer girar a los moldes, los extremos se llenan del material fundido, con buena densidad y uniformidad. El centro tiene poco material o de poca densidad. Por lo regular el centro en este tipo de sistemas de fundición es maquinado posteriormente.

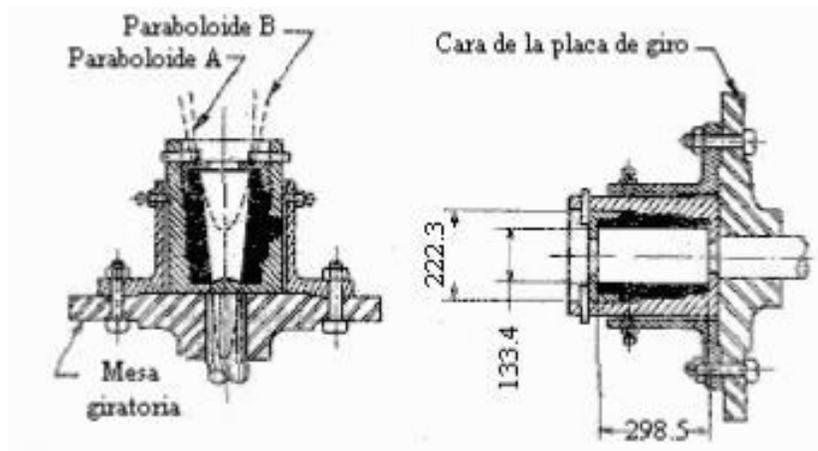
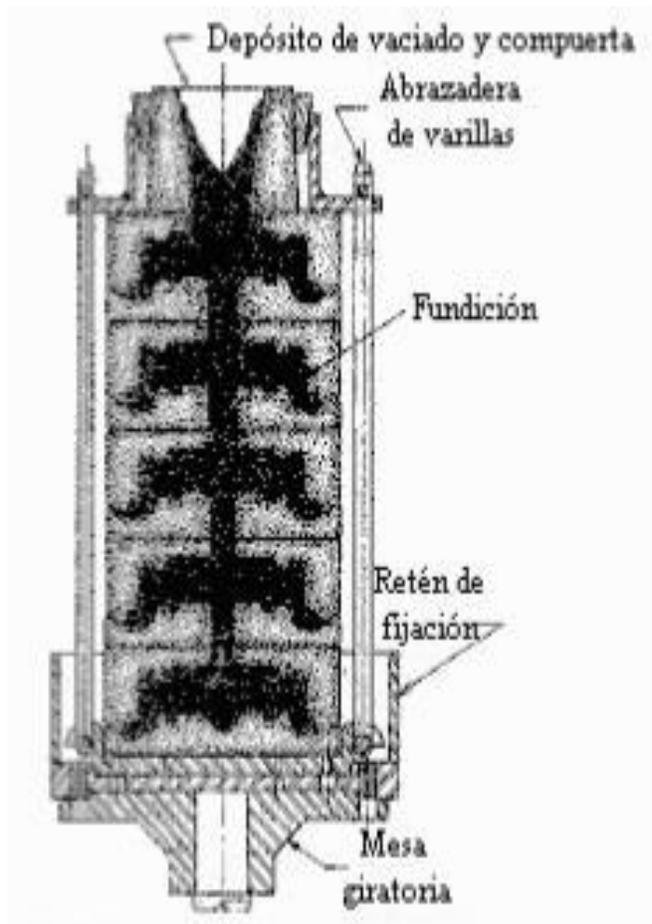


Fig. 1.18. Método de fundición centrífuga real para cilindros.

### c) Centrifugado

Es un sistema donde por medio de un tallo se hace llegar metal fundido a racimos de piezas colocadas simétricamente en la periferia. Al poner a girar el sistema se genera fuerza centrífuga la que es utilizada para aumentar la uniformidad del metal que llena las cavidades de los moldes.



## Fundición centrífuga

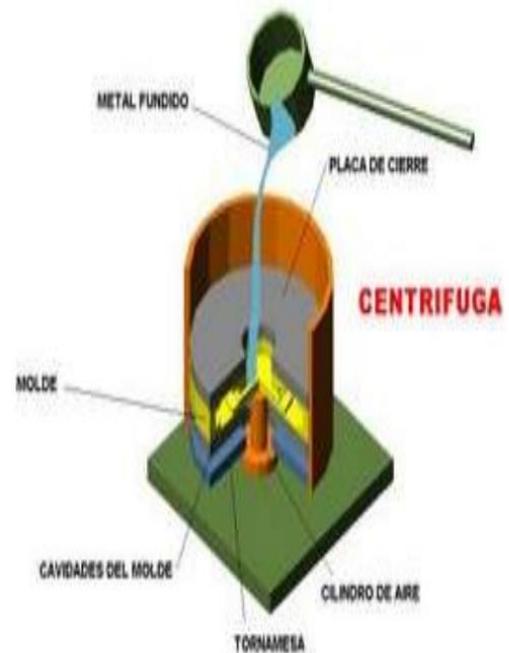


Fig. 1.36. Moldeo centrífugo.

### ⊕ Ventajas y Desventajas

#### ⌘ Ventajas

- ✓ Uniformidad con las propiedades del metal a utilizar.
- ✓ Se utiliza menos material que con otros procesos.
- ✓ No hay necesidad de montante.
- ✓ Se logran las dimensiones requeridas en el exterior de la fundición.
- ✓ Se producen menos desechos.

#### ⌘ Desventajas

- ✓ Es necesaria la utilización de un equipo extra para lograr la rotación del molde.
- ✓ El interior de las piezas suele contener impurezas.

## 1.2.5. Moldeo con CO2

Proceso de producción de piezas metálicas a través del vertido de metal fundido sobre un molde hueco, por lo general hecho de arena. El principio de fundición es simple: se funde el metal, se vacía en un molde y se deja enfriar, existen todavía muchos factores y variables que se deben considerar para lograr una operación exitosa de fundición.

La fundición es un antiguo arte que todavía se emplea en la actualidad, aunque ha sido sustituido en cierta medida por otros métodos como el fundido a presión (método para producir piezas fundidas de metal no ferroso, en el que el metal fundido se inyecta a presión en un molde o troquel de acero), la forja (proceso de deformación en el cual se comprime el material de trabajo entre dos dados usando impacto o presión para formar la parte), la extrusión (es un proceso de formado por compresión en el cual el metal de trabajo es forzado a fluir a través de la abertura de un dado para darle forma a su sección transversal), el mecanizado y el laminado (es un proceso de deformación en el cual el espesor del material de trabajo se reduce mediante fuerzas de compresión ejercidas por dos rodillos opuestos).

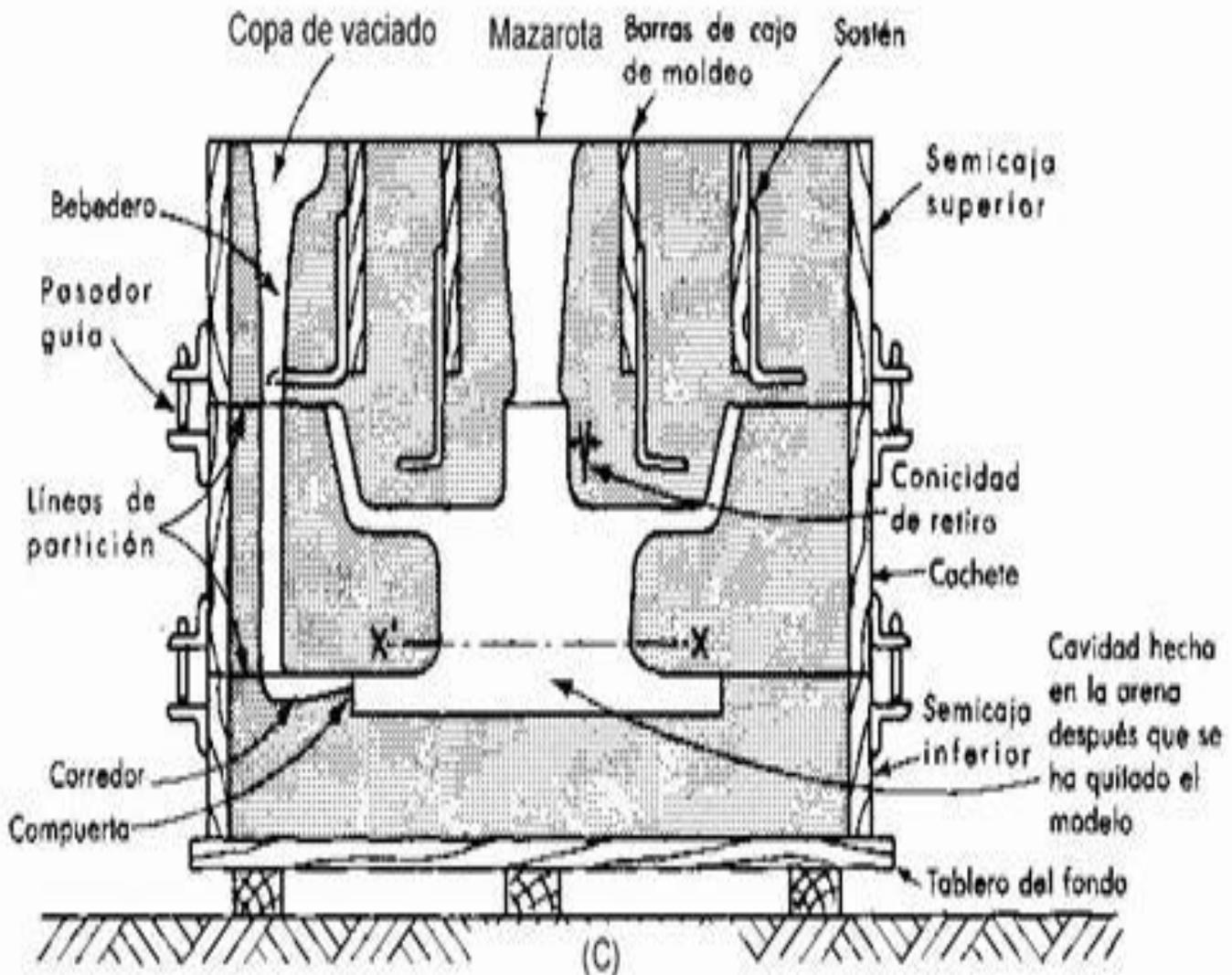


Fig. 1.37. Moldeo con CO2.

## ⊕ Procesos de Fundición

Los procesos de fundición comienzan con la fusión del metal para verterlo en los moldes. Para fundir el metal se utilizan hornos de manga, eléctricos, de arco, de inducción, de solera (de reverberación) y de crisol. El horno de manga (patentado en 1749) es el tipo de horno más antiguo usado en la industria de la fundición y todavía se usa para producir hierro fundido. Es un horno de cuba cilíndrica fija, en el cual se cargan por la parte superior capas alternadas de chatarra y ferroaleaciones, junto con coque y piedra caliza o dolomita.

El metal es fundido mediante contacto directo con un flujo a contracorriente de gases calientes provenientes de la combustión del coque. El metal fundido se acumula en el pozo donde es descargado mediante recolecciones intermitentes o mediante un flujo continuo. Los hornos de manga convencionales están revestidos con material refractario para proteger a la cáscara de la abrasión, el calor y la oxidación. El espesor del revestimiento va de 4.5 a 12 pulgadas.

El revestimiento usado más comúnmente es arcilla, ladrillos o bloques refractarios. A medida que el calor aumenta, el revestimiento refractario en la zona de fusión se fluidifica por la alta temperatura y la atmósfera oxidante y se convierte en parte de la escoria del horno.



Instituto Universitario Pedagógico  
"Santiago Mariño"

# Procesos de Fundición

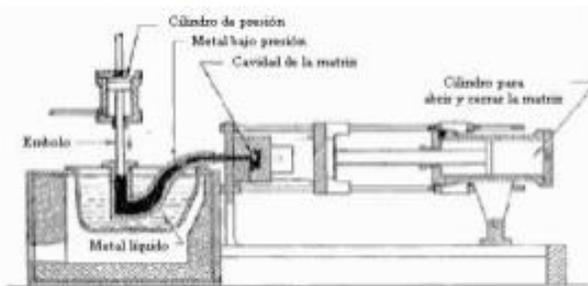
## 5. Fundición con moldes de CO<sub>2</sub>

En este tipo de moldes la arena verde se mezcla con silicato de sodio para posteriormente ser apisonada alrededor del modelo:

### a). Fundición en matrices

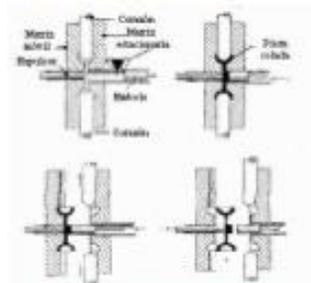
En este proceso el metal líquido se inyecta a presión en un molde metálico (matriz), la inyección se hace a una presión entre 10 y 14 Mpa. Se pueden utilizar dos tipos de sistema de inyección en la fundición en matrices:

#### a.1) Cámara caliente



Máquina de cámara caliente para fundición en matriz actuada mediante un émbolo.

#### a.2) Cámara fría



Fundición en matrices de latón, aluminio o magnesio, en una cámara fría y émbolo horizontal.

Fig. 1.38. Procesos de fundición en moldes con CO<sub>2</sub>.

El horno de manga generalmente está equipado con un sistema de control de emisiones . Los dos tipos más comunes de recolección de emisiones son los lavadores húmedos de gas de alta energía y la cámara de bolsas seca. Como combustible se utiliza coque de alta calidad para fundición. La cantidad de coque en la carga generalmente está dentro del rango de 8 a 16% de la carga de metal. La combustión del coque se intensifica suministrando aire enriquecido con oxígeno a través de toberas.

Los hornos eléctricos son usados principalmente por grandes fundiciones y plantas siderúrgicas. Se suministra calor mediante un arco eléctrico formado en base a tres electrodos de carbón o grafito. El horno es revestido con refractarios que se deterioran durante el proceso de fusión, lo que genera escoria. Se forman capas de escoria protectora en el horno mediante la adición intencional de sílice y cal. Puede añadirse fundentes como fluoruro de calcio para hacer que la escoria sea más fluida y más fácil de retirar. La escoria protege al metal derretido del aire y extrae ciertas impurezas. La escoria retirada puede ser peligrosa, dependiendo de las aleaciones que se han fundido.

Se añaden a la carga del horno residuos de metal, devoluciones de los talleres (como tubos verticales, puertas y escoria de fundición), escoria rica en carbono y cal o piedra caliza. El equipo de recolección de polvo y humos controla las emisiones al aire del horno de arco eléctrico.

Los hornos de inducción se han convertido gradualmente en los hornos más usados para la fundición de hierro y, crecientemente, para aleaciones no ferrosas. Estos hornos tienen un excelente control metalúrgico y están relativamente libres de contaminación. Los hornos de inducción están disponibles en capacidades que van desde unas cuantas libras hasta 75 toneladas. Los hornos de inducción sin núcleo tienen una capacidad típica de 5 toneladas a 10 toneladas. En un horno sin núcleo, el crisol está completamente rodeado por una bobina de cobre refrigerada con agua. En los hornos de canal, la bobina rodea a un inductor. Algunas unidades de canal grandes tienen capacidades por encima de las 200 toneladas. Los hornos de inducción de canal se usan comúnmente como hornos de conservación.

Los hornos de inducción son hornos eléctricos de corriente alterna. El conductor principal es una bobina, que genera una corriente secundaria mediante inducción electromagnética. La sílice ( $\text{SiO}_2$ ), que está clasificada como un ácido, la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), clasificada como neutra y la magnesia ( $\text{MgO}$ ), clasificada como material básico, se usan generalmente como refractarios. La sílice se usa frecuentemente en la fundición de hierro debido a su bajo costo y porque no reacciona fácilmente con la escoria ácida producida cuando se funde hierro con alto contenido de silicio.

Los hornos de reverbero y de crisol son usados ampliamente para la fundición en lotes de metales no ferrosos como aluminio, cobre, zinc y magnesio. En un horno de crisol, el metal fundido es mantenido en una estructura con forma de marmita (crisol). Los calentadores eléctricos o a combustible fuera de esta estructura generan el calor que pasa a través de ella hasta el metal fundido. En muchas operaciones de fundición de metal, se acumula escoria en el revestimiento de la superficie metálica, mientras que en el fondo se acumulan lodo pesado no fundido. Ambos reducen la vida útil del crisol y deben ser retirados para ser reciclados o tratados como residuos.

La realización empieza lógicamente con el molde. La cavidad de este debe diseñarse de forma y tamaño ligeramente sobredimensionado, esto permitirá la contracción del metal durante la solidificación y enfriamiento. Cada metal sufre diferente porcentaje de contracción, por lo tanto si la presión dimensional es crítica la cavidad debe diseñarse para el metal particular que se va a fundir. Los moldes se hacen de varios materiales que incluyen arena, yeso, cerámica y metal. Los procesos de fundición se clasifican de acuerdo a los diferentes tipos de moldes.

## ☛ Proceso:

Se calienta primero el metal a una temperatura lo suficientemente alta para transformarlo completamente al estado líquido, después se vierte directamente en la cavidad del molde. En un molde abierto, el metal líquido se vacía simplemente hasta llenar la cavidad abierta. En un molde cerrado existe una vía de paso llamada sistema de vaciado que permite el flujo del metal fundido desde afuera del molde hasta la cavidad, este es el más importante en operaciones de fundición.

Cuando el material fundido en el molde empieza a enfriarse hasta la temperatura suficiente para el punto de congelación de un metal puro, empieza la solidificación que involucra un cambio de fase del metal. Se requiere tiempo para completar este cambio de fase porque es necesario disipar una considerable cantidad de calor. El metal adopta la forma de cavidad del molde y se establecen muchas de las propiedades y características de la fundición. Al enfriarse la fundición se remueve del molde; para ello pueden necesitarse procesamientos posteriores dependiendo del método de fundición y del metal que se usa. Entre ellos tenemos:

El desbaste del metal excedente de la fundición.

La limpieza de la superficie.

Tratamiento térmico para mejorar sus propiedades.

Pueden requerir maquinado para lograr tolerancias estrechas en ciertas partes de la pieza y para remover la superficie fundida y la microestructura metalúrgica asociada.

## ☛ Moldeo silicato CO<sub>2</sub>

Es un moldeo que trata de endurecer moldes y corazones (machos) sin necesidad de aportes de calor. Se emplean arenas sílices, siendo el aglomerante el silicato sódico hidratado ( $\text{Na}_2\text{OSiO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$ ). El molde se hace pasar a través de una corriente de  $\text{CO}_2$ , reaccionando este con el silicato sódico y el agua. Esta reacción da como resultado un carbonato de sodio y un gel de sílice, que es el elemento fundamental como aglutinante de la arena. Los modelos y las cajas utilizadas pueden ser los mismos que para el moldeo en arena en verde.



### • Fundición con moldes de $\text{CO}_2$

En este tipo de moldes la arena verde se mezcla con silicato de sodio para posteriormente ser apisonada alrededor del modelo.



Fig. 1.39. Ejemplos de moldes Silicato con  $\text{CO}_2$ .

## 1.2.6. Colados en moldes metálicos permanentes

### ✚ Moldeado

Los lingotes se forman por moldeado o molde vertiendo el metal líquido en unos moldes hechos de metal o de arena, según los casos. Tanto el metal como la arena tienen la ventaja de su porosidad el cual permite la salida de los gases. Moldear es producir un cuerpo rígido a partir de material sin forma. A los métodos de moldeo de materiales metálicos corresponden, entre otros, el moldeo y la pulvimetalurgia.

### ✚ El colado

La colada o vaciado es el proceso que da forma a un objeto al hacer entrar material líquido en un agujero o cavidad que se llama molde y se deja solidificar el líquido. Cuando el material se solidifica en la cavidad retiene la forma deseada. Después, se retira el molde y queda el objeto sólido conformado. El proceso de colado permite obtener piezas con formas diversas y complejas en todo tipo de materiales.

### ✚ Sistemas de colada

Los sistemas de coladas son dispositivos necesarios para conducir el metal líquido a la cavidad del molde. Los elementos básicos del sistema de colada, pueden apreciarse en el siguiente esquema donde se destaca:

- ✓ **Colada o Bebedero:** Conductor vertical a través del cual el metal entra en el canal.
- ✓ **Pozo de Colada:** Sección usualmente redondeada al final del bebedero, utilizado para ayudar a controlar el flujo de metal que entra en canal.
- ✓ **Canal:** Sección comúnmente horizontal a través de la cual el metal fluye o es distribuido mediante entradas a la cavidad del molde.
- ✓ **Portadas o Entradas:** Canales secundarios variables en número de acuerdo al diseño de la pieza a través de las cuales el metal deja el canal para penetrar en la cavidad del molde.
- ✓ **Cavidad de Colada:** Sección colocada en muchas ocasiones en la parte superior del bebedero de manera de darle facilidad al operador para mantener el metal dentro y permitir el flujo continuo, así mismo minimiza o evita la turbulencia y promueve la entrada al bebedero solo de metal limpio para ello usualmente emplean filtros.
- ✓ **Filtros:** Pequeños dispositivos empleados en la cavidad de colada en coacciones en el pozo de colada, de manera de separar la escoria del metal y de esta forma permitir un flujo de metal limpio.



Fig. 1.40. Ejemplos de moldes de metal.

## ☛ Moldeo por colada

Este procedimiento de fabricación se aplica para producir piezas (moldeadas por colada). Para el moldeo por colada se usa un molde que corresponda a la configuración de la pieza deseada. Según el tipo de los materiales utilizados para el moldeo por colada, están los siguientes:

- ✓ Fundición de hierro, moldeo por colada de fundición gris y de fundición maleable.
- ✓ Fundición de acero, moldeo por colada del acero.
- ✓ Fundición de metales, moldeo por colada de metales no féreos.

Los moldes para la colada pueden ser: moldes permanentes y moldes no permanentes. Un molde permanente está elaborado en metal, como el acero, o hierro colado; se emplean sobre todo para la fabricación en serie. Un molde no permanente o transitorio está hecho de materiales moldeables o refractarios como la arena; éstos se usan para una sola colada y se destruyen al extraer la pieza moldeada.

## ☛ Limpieza de las piezas moldeadas

En este procedimiento se incluye la separación de las mazarotas, bebederos y demás partes del sistema de alimentación, el cual está formado por los cargadores y su utilización tiene como finalidad prevenir no sólo la formación de cavidades o rechupes, debido a la contracción del metal durante la solidificación sino también evitar diseños con exceso de metal y altos costos de limpieza. Así como las rebabas, se eliminan las incrustaciones de arena y la retirada de los machos de moldeo.

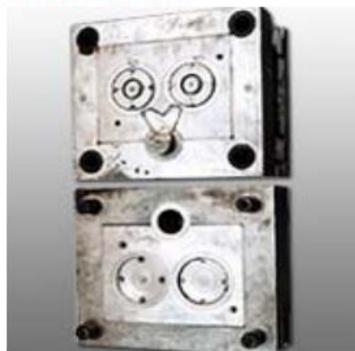
Los pequeños bebederos y mazarotas, cuando la pieza moldeada no es muy delicada y poco tenaz, se quitan golpeándolos y para los de mayor tamaño se usan herramientas de corte. Las rebabas se suprimen con corta frío o por amolado. Para la limpieza de la superficie (pieza moldeada) se utiliza el chorreado con arena. Para la limpieza de los machos de moldeo sin producir polvo se utiliza chorro de agua.

### FUNDICIÓN EN MOLDE PERMANENTE:

- **Utilización de MOLDES METÁLICOS REUTILIZABLES.**
- **CARACTERÍSTICAS:**
  - **Largas tiradas para amortizar el elevado coste de los útiles (obtenidos por mecanizado).**
  - **Tiempos y costes unitarios (por pieza) bajos.**
  - **Alta precisión: detalles, tolerancias y rugosidad.**
  - **Materiales de BAJO PUNTO DE FUSIÓN: Al, Zn, ...**
- **TIPOS:**
  - **Fundición por gravedad.**
  - **Inyección.**
  - **Inyección a baja presión.**



*Colada por gravedad de Aluminio en molde metálico*



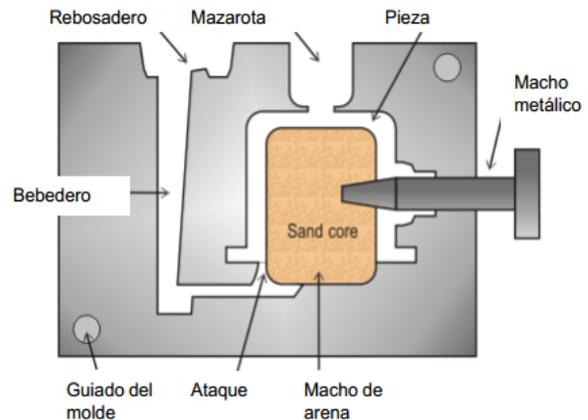
*Molde metálico para la inyección de Aluminio*

Fig. 1.41. Fundición en molde permanente.

### Colada sin presión en molde METÁLICO

- **CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO:**

- Aleaciones de bajo punto de fusión, sobre todo Al.
- Características de las piezas:
  - Tamaño pequeño-medio
  - Precisión y buen acabado superficial.
  - Muy buenas propiedades mecánicas y metalúrgicas (mejores que la fundición en arena).



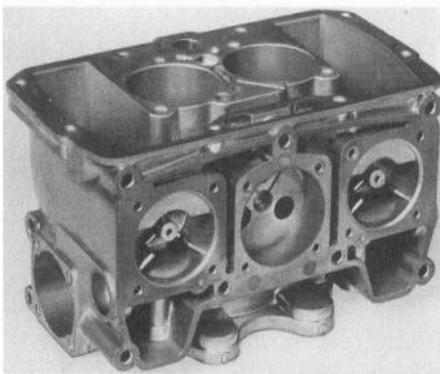
- **MOLDES:**

- Acero aleado de alta calidad, mecanizado a la forma final (2 mitades).
- Solidificación promovida mediante sistema de refrigeración mecanizado en el molde.
- Elementos similares a los de un molde de arena:
  - Bebedero y sistema de alimentación.
  - Mazarotas.
  - Machos

### Inyección del material a alta velocidad en molde METÁLICO y solidificación bajo presión

- **CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO:**

- Gran producción de aleaciones de Al y Zn.
- Características de las piezas:
  - Muy alta precisión y excelente rugosidad.
  - Geometría compleja.
  - Cientos-miles de piezas por hora.
  - Las propiedades mecánicas e integridad superficial de las piezas no están aseguradas.



Carburador de vehículo pesado inyectado en aleación de Zn



Ventilador para vehículo militar inyectado en aleación de Aluminio

Fig. 1.42. Fundición en molde permanente por gravedad y por inyección.

## ☛ Modelos

El modelo es un dispositivo que representa la parte exterior de la pieza y que permite obtener la geometría de la pieza en molde. Los modelos de los procesos (piezas de trabajo) se pueden usar para explorar la influencia de los parámetros del proceso; dos aproximaciones son posibles:

- ✓ En el modelado físico el proceso se conduce en una escala reducida o se usan materiales de simulación.
- ✓ En el modelado matemático se establecen ecuaciones que expresan la respuesta del proceso a cambios en sus parámetros.
- ✓ Con el uso de computadoras y técnicas se ha hecho posible el modelado en línea, o sea, en tiempo real.

### ⌘ Modelos desechables y removibles

Los moldes se fabrican por medio de modelos los que pueden ser de madera, plástico, cera, yeso, arena, poliuretano, metal, etc. Si los modelos se destruyen al elaborar la pieza, se dice que éstos son desechables o desechables y si los modelos sirven para varias fundiciones se les llama removibles

#### ⌘ Clasificación general

- ✓ Según la forma que reproducen: externos e internos. (Caja para machos).
- ✓ Forma del modelo: Al natural, enteros o divididos en dos o más partes.
- ✓ Material: Madera, metálico, resinas
- ✓ Diseño de modelos para fundición



Fig. 1.43. Ejemplos de modelos de metal.



## ☛ Fundición en Molde Permanente

La desventaja económica de cualquiera de los procesos con molde desechable es la necesidad de un nuevo molde para cada fundición. En la fundición con molde permanente, el molde se reutiliza muchas veces. En esta sección analizaremos la fundición en molde permanente, tratándola como un proceso básico del grupo de procesos que utilizan moldes reutilizables.

La fundición en molde permanente usa un molde metálico construido en dos secciones que están diseñadas para cerrar y abrir con precisión y facilidad. Los moldes se hacen comúnmente de acero o hierro fundido. La cavidad junto con el sistema de vaciado se forma por maquinado en las dos mitades del molde a fin de lograr una alta precisión dimensional y un buen acabado superficial.

Los metales que se funden comúnmente en molde permanente son: aluminio, magnesio, aleaciones de cobre y hierro fundido. Sin embargo, el hierro fundido requiere una alta temperatura de vaciado, 1250 °C a 1500 °C, lo cual acorta significativamente la vida del molde. Las temperaturas más altas de vaciado para el acero, hacen inapropiado el uso de moldes permanentes para este metal, a menos que se hagan en moldes de material refractario.

En este proceso es posible usar corazones para formar las superficies interiores del producto de fundición. Los corazones pueden ser metálicos, pero su forma debe permitir la remoción de la fundición, o deben ser mecánicamente desmontables para permitir esta operación. Si la remoción del corazón metálico es difícil o imposible se pueden usar corazones de arena, en este caso el proceso de fundición es frecuentemente llamado fundición en molde semipermanente.

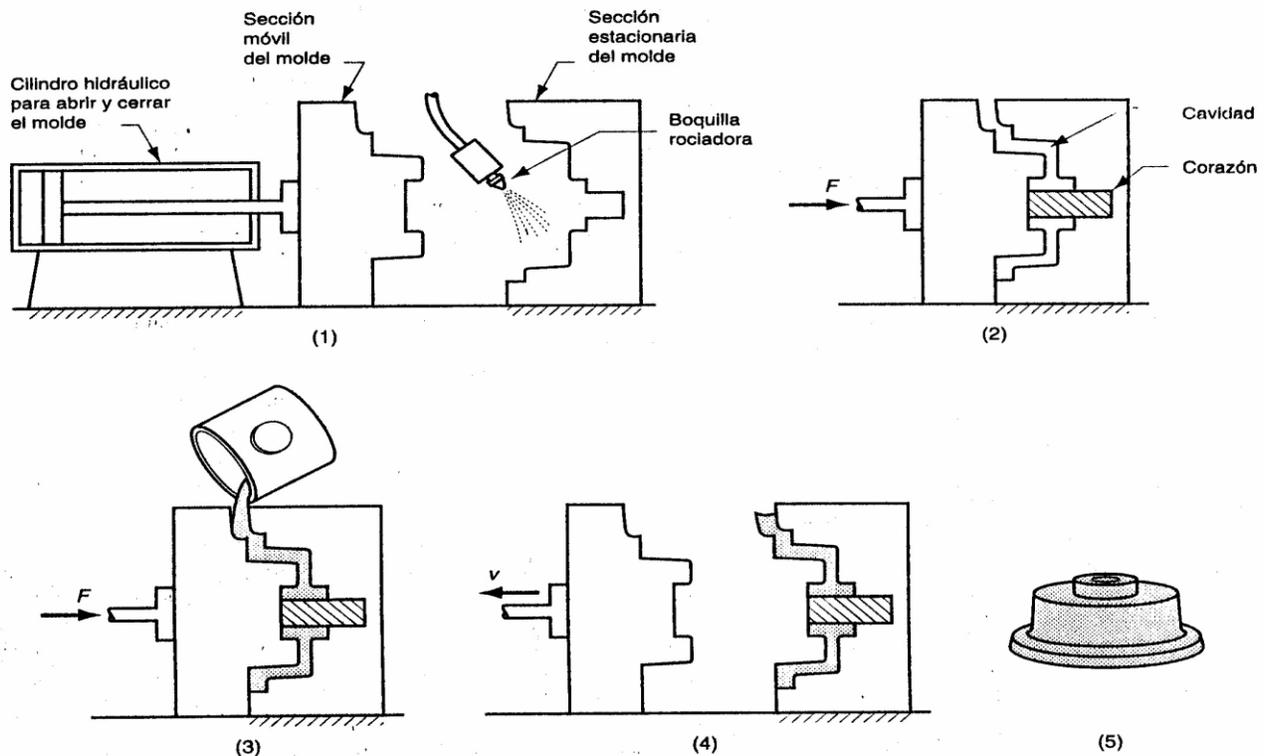


Fig. 1.45. Pasos en la fundición en molde permanente: (1) el molde se precalienta y se recubre; (2) se insertan los corazones (en su caso) y se cierra el molde; (3) el metal fundido se vacía en el molde y (4) el molde se abre. La parte terminada se muestra en (5).

Los pasos en el proceso de fundición con molde permanente se describen en la figura 1.28. Los moldes se precalientan primero para prepararlos, y se rocía la cavidad con uno o más recubrimientos. El precalentamiento facilita el flujo del metal a través del sistema de vaciado y de la cavidad. Los recubrimientos ayudan a disipar el calor y a lubricar la superficie del molde para separar fácilmente la fundición.

Tan pronto como solidifica el metal, el molde se abre y se remueve la fundición. A diferencia de, los moldes desechables, los moldes permanentes no se retraen, así que deben abrirse antes de que ocurra la contracción por enfriamiento a fin de prevenir el desarrollo de grietas en la fundición.

Las ventajas de la fundición en molde permanente incluyen buen acabado de la superficie y control dimensional estrecho, como ya se mencionó. Además, la solidificación más rápida causada por el molde metálico genera una estructura de grano más fino, de esta forma pueden producirse fundiciones más resistentes.

El proceso está limitado generalmente a metales de bajo punto de fusión. La manufactura de formas geométricas más simples que las fundidas en molde de arena (debido a la necesidad de abrir el molde) constituye otra limitación, además del costo.

Debido al costo sustancial del molde, el proceso se adapta mejor a producciones de alto volumen que pueden automatizarse. Las partes típicas que se producen con proceso de molde permanente incluyen pistones automotrices, cuerpos de bombas y ciertas fundiciones para aviones y proyectiles.

### **Fundición hueca**

La fundición hueca es un proceso de molde permanente en el cual se forma un hueco al invertir el molde, después que el metal ha solidificado Parcialmente en la superficie del molde, drenando así el metal líquido del centro. La solidificación empieza en las paredes relativamente frías del molde y progresa con el tiempo hacia la parte media de la fundición.

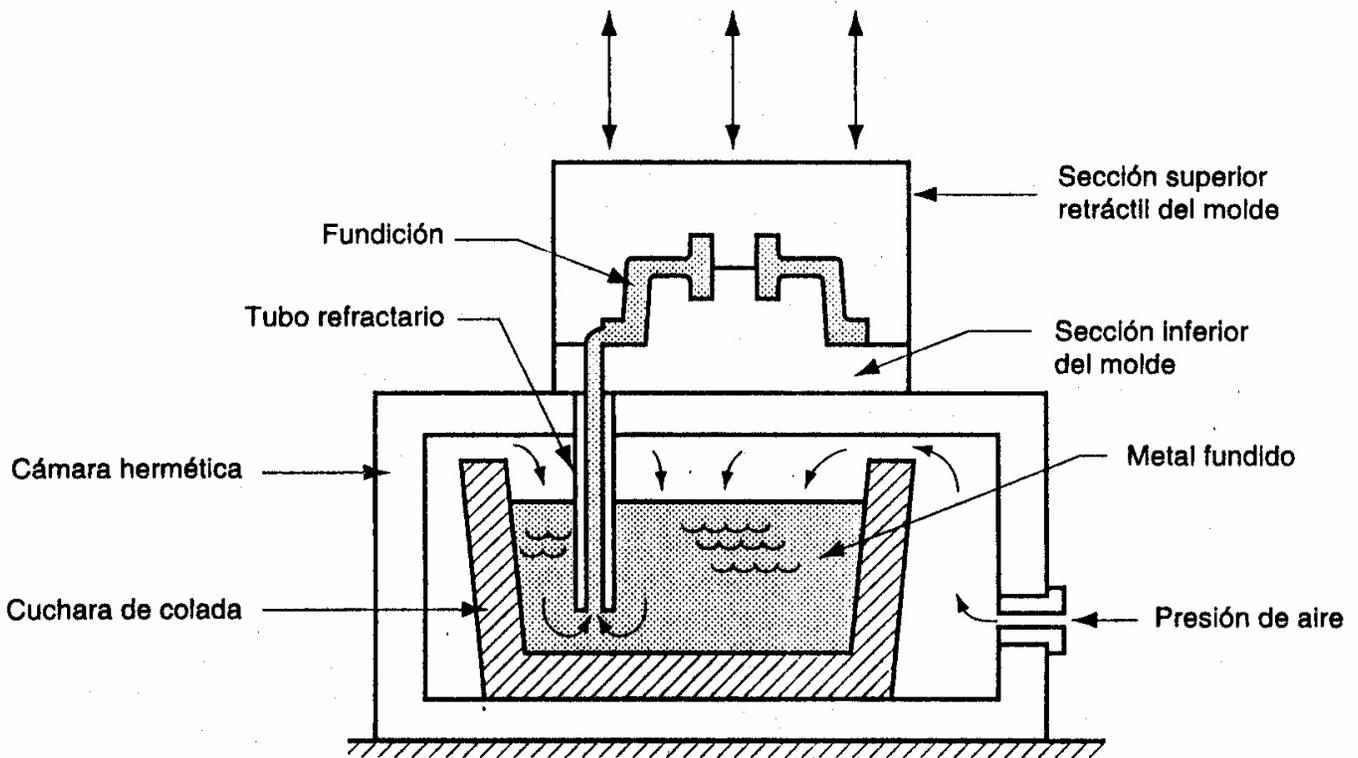
El espesor del casco se controla por el tiempo que transcurre antes de drenar. La fundición hueca se usa para hacer estatuas, pedestales de lámparas y juguetes a partir de metales de bajo punto de fusión como plomo, zinc y estaño. En estos artículos lo importante es la apariencia exterior, pero la resistencia y la geometría interior de la fundición no son relevantes.

La fundición a presión es un proceso que necesariamente utiliza moldes permanentes y se puede clasificar en: fundición a baja presión, fundición con molde permanente al vacío y fundición en dados.

### **Fundición a baja presión**

En el proceso de fundición con molde permanente básico y en la fundición hueca, el flujo de metal en la cavidad del molde es causado por la gravedad. En la fundición a baja presión, el metal líquido se introduce dentro de la cavidad a una presión aproximada de 0.1 MPa, aplicada desde abajo, de manera que el metal fluye hacia arriba como sé, ilustra en la figura 1.28.

La ventaja de este método sobre el vaciado tradicional es que se introduce en el molde un metal limpio desde el centro del crisol, en lugar de un metal que ha sido expuesto al aire. Lo anterior reduce la porosidad producida por el gas y los defectos generados por la oxidación, y se mejoran las propiedades mecánicas.



**Fig. 1.46. Fundición a baja presión.** El diagrama muestra cómo se usa la presión del aire para forzar el metal fundido, dentro de la cuchara de colada, hacia la cavidad molde. La presión se mantiene hasta que solidifica la fundición.

### **Fundición con molde permanente al vacío**

La fundición con molde permanente al vacío es una variante de la fundición a baja presión en la cual se usa vacío para introducir el metal fundido en la cavidad del molde. La configuración general del proceso es similar a la operación de fundición a baja presión.

La diferencia es que se usa la presión reducida del vacío en el molde para atraer el metal líquido a la cavidad, en lugar de forzarlo por una presión positiva de aire desde abajo. Los beneficios de la técnica al vacío, en relación con la fundición a baja presión, son que se reduce la porosidad del aire y los efectos relacionados, obteniendo una mayor resistencia del producto de fundición.

La fundición en dados es un proceso de fundición en molde permanente en el cual se inyecta el metal fundido en la cavidad del molde a alta presión. Las presiones típicas son de 7 a 350 MPa. La presión se mantiene durante la solidificación; posteriormente, el molde se abre para remover la pieza.

Los moldes en la operación de fundición se llaman dados, de aquí el nombre de fundición en dados. El uso de alta presión para forzar al metal dentro de la cavidad del dado es la característica más notable que distingue a este proceso de otros en la categoría de molde permanente.

Las operaciones de fundición en dados se llevan a cabo en máquinas especiales. Las máquinas modernas de fundición en dados están diseñadas para mantener un cierre preciso de las dos mitades del molde y mantenerlas cerradas, mientras el metal fundido permanece a presión dentro de la cavidad. La configuración general se muestra en la figura 1.29.

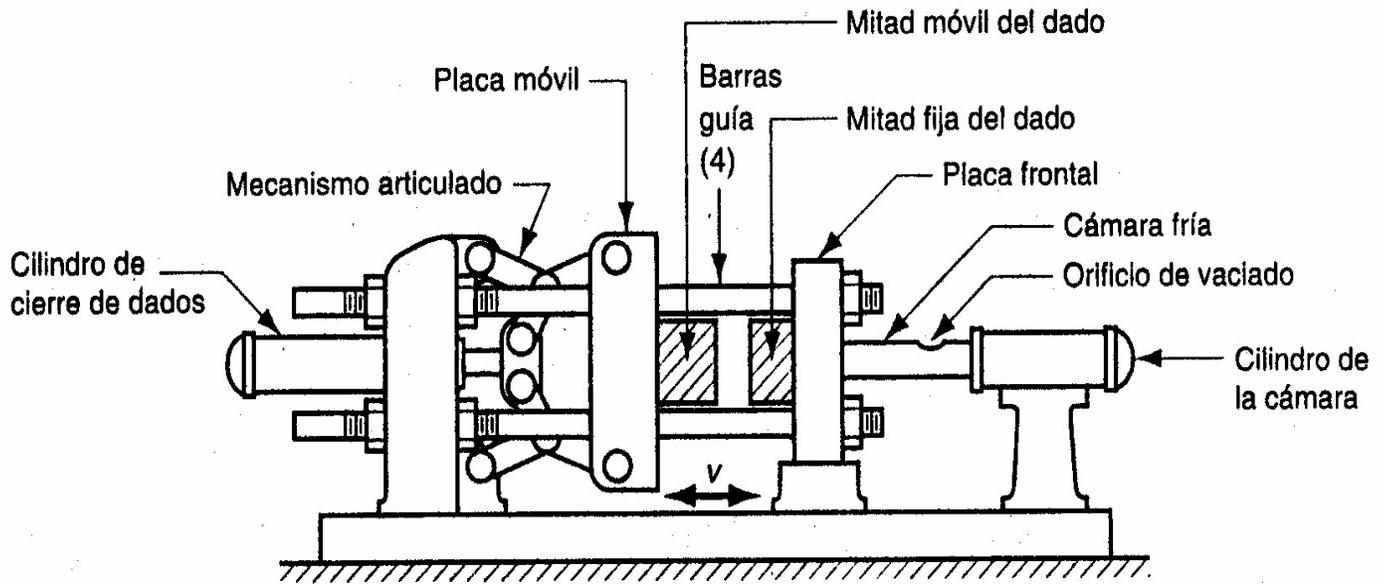


Fig. 1.47. Configuración general de una máquina de fundición en dados (cámara fría).

Existen dos tipos principales de máquinas de fundición en dados: 1) de cámara caliente y 2) de cámara fría; sus diferencias radican en la forma en que se inyecta el metal a la cavidad.

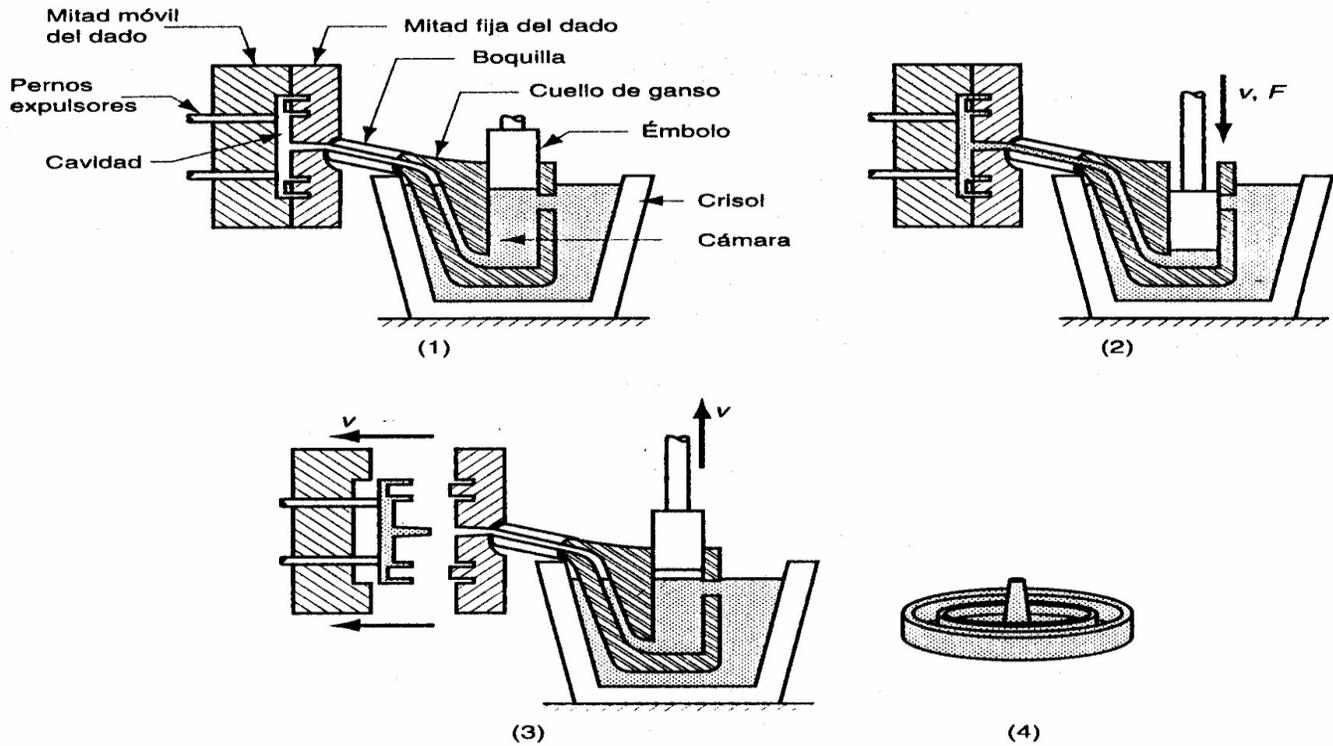
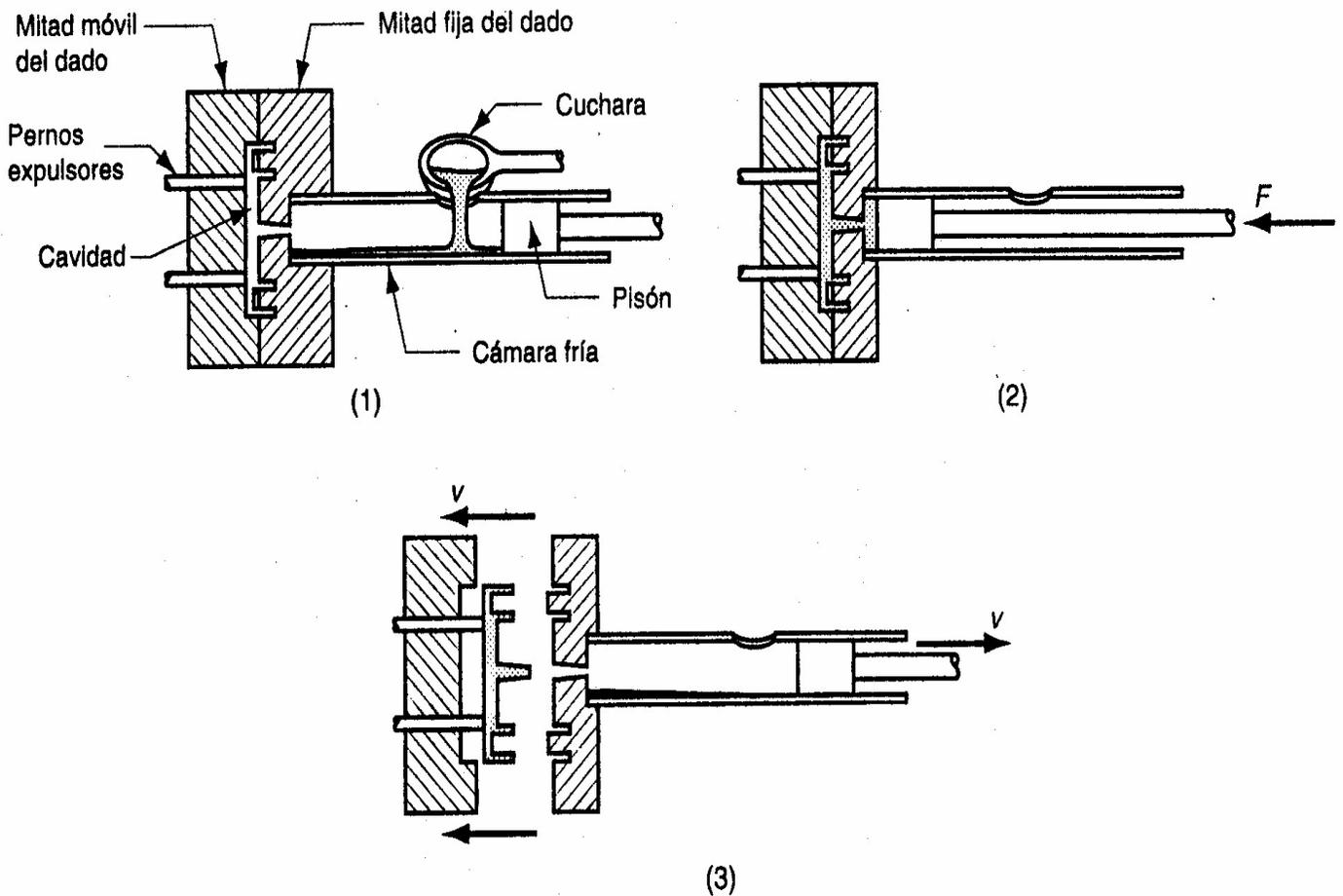


Fig. 1.48. Ciclo de la fundición en cámara caliente: (1) el metal fluye en la cámara con el dado cerrado y el émbolo levantado; (2) el émbolo fuerza al metal de la cámara a fluir hacia el dado, manteniendo la presión durante el enfriamiento y la solidificación, y (3) se levanta el émbolo, se abre el dado y se expulsa la parte solidificada. La parte terminada se muestra en (4).

*En las máquinas de cámara caliente*, el metal se funde en un recipiente adherido a la máquina y se inyecta en el dado usando un pistón de alta presión. Las presiones típicas de inyección son de (7 a 35 MPa). La fundición se resume en la figura 1.31. Son velocidades características de producción de hasta 500 partes por hora. La fundición en dados con cámara caliente impone una dificultad especial en el sistema de inyección, porque gran parte de dicho sistema queda sumergido en el metal fundido. Por esa causa, las aplicaciones del proceso quedan limitadas a metales de bajo punto de fusión que no atacan químicamente al pistón y a otros componentes mecánicos. Estos metales incluyen al zinc, al estaño, al plomo y algunas veces al magnesio.

*En las máquinas de fundición en dados con cámara fría*, el metal fundido procedente de un contenedor externo para colar, se vacía en una cámara sin calentar y se usa un pistón para inyectar el metal a alta presión en la cavidad del dado. Las presiones de inyección usadas en estas máquinas van típicamente (14 a 140 MPa). El ciclo de producción se explica en la figura 1.31. La velocidad de ciclo no es tan rápida con respecto a las máquinas de cámara caliente, debido a que es necesaria una cuchara de colada para vaciar el metal líquido desde una fuente externa en la cámara. Sin embargo, este proceso de fundición es una operación de alta producción. Las máquinas de cámara fría se usan típicamente para fundiciones de aluminio, latón y aleaciones de magnesio. Las aleaciones de bajo punto de fusión (zinc, estaño, plomo) pueden también fundirse en máquinas de cámara.



**Fig. 1.49.** Ciclo de la fundición en cámara fría: (1) se vacía el metal en la cámara con el dado cerrado y el pistón retraído; (2) el pistón fuerza al metal a fluir en el dado, manteniendo la presión durante el enfriamiento y la solidificación; y (3) se retrae el pistón, se abre el dado y se expulsa la fundición. El sistema de vaciado está simplificado.

Los moldes que se usan en operaciones de fundición en dados se hacen generalmente con acero de herramienta y acero para moldes refractarios. El tungsteno y el molibdeno con buenas cualidades refractarias también se utilizan, especialmente en los intentos para fundir el acero y el hierro en dados.

Los dados pueden tener una cavidad única o múltiple. Los dados de cavidad única se muestran en las figuras 2.21 y 2.22. Se requieren pernos expulsores para remover la parte del dado cuando éste se abre, como se muestra en los diagramas. Estos pernos empujan la parte de manera que puedan removerse de la superficie del dado. También es necesario rociar lubricantes en las cavidades para prevenir el pegado.

Como los materiales del dado no tienen porosidad natural y el metal fundido fluye rápidamente en el dado durante la inyección, se deben construir barrenos o vías de paso en el plano de separación de los dados para evacuar el aire y los gases de la cavidad. Aun cuando los orificios son bastante pequeños, se llenan con el metal durante la inyección, pero éste debe quitarse después.

También es común la formación de rebabas en lugares donde el metal líquido a alta presión penetra entre los pequeños espacios del plano de separación o en los claros alrededor de los corazones y de los pernos expulsores. La rebaba debe recortarse de la fundición junto con el bebedero y el sistema de vaciado.

Las ventajas de la fundición en dados incluyen:

- 1) Altas velocidades de producción;
- 2) Son económicas para volúmenes grandes de producción;
- 3) Son posibles tolerancias estrechas, del orden de  $\pm 0.076$  mm en partes pequeñas;
- 4) Buen acabado de la superficie;
- 5) Son posibles secciones delgadas hasta cerca de 0.05 mm.
- 6) El enfriamiento rápido proporciona a la fundición granos de tamaño pequeño y buena resistencia.

Las limitaciones de este proceso, además de los metales que maneja, son la restricción en la forma de las piezas. La geometría de la parte debe ser tal que pueda removerse de la cavidad del dado.



**Fig. 1.50. Tipos de Colados en Moldes de Metal.**