



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL



CONFORMADOS

moldeo

Dr. Jesús Antonio Álvarez Cedillo



MÉTODOS DE FUNDICIÓN O COLADA

2.1 CONCEPTOS GENERALES

En el proceso de fundición, el metal fundido fluye por gravedad u otra fuerza dentro de un molde donde se solidifica y toma la forma de la cavidad del molde (figura 2.1). El término ***fundición*** se aplica también a la parte resultante de este proceso.



MÉTODOS DE FUNDICIÓN O COLADA

Es uno de los más antiguos procesos de formado que se remonta 6 mil años atrás. El principio de la fundición es simple: se funde el metal, se vacía en un molde y se deja enfriar.

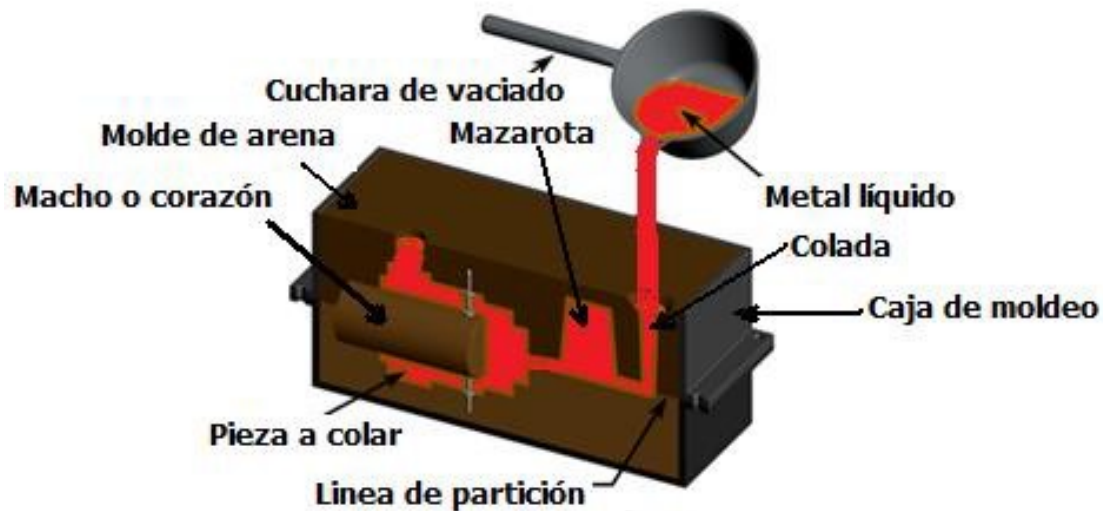


FIGURA 2.1 Descripción esquemática del proceso de colada



CAPÍTULO 2

MÉTODOS DE FUNDICIÓN O COLADA

La fundición incluye la producción de lingotes y la fundición de piezas de forma particular. El término **lingote** se asocia usualmente con las industrias de metales primarios; describe la producción de una pieza generalmente grande de forma simple, diseñada para volver a formarse en procesos subsiguientes como laminado o forjado. La producción de piezas de geometría



MÉTODOS DE FUNDICIÓN O COLADA

10K TOPS
SUBSCRIBETE



MODELADO DE PROCESOS DE MANUFACTURA

Es compleja involucra la producción de elementos que solo serán modificados, en su geometría y dimensiones, mediante procesos con arranque de viruta.

Existen diversos métodos utilizados en la producción de piezas de geometría irregular, lo cual hace de este proceso uno de los más versátiles en manufactura. Sus posibilidades y **ventajas** son las siguientes:

La fundición se puede usar para crear partes de geometría compleja (figura 2.2)

Algunos procesos de fundición pueden producir partes de forma neta que no requieren operaciones subsecuentes para llenar los requisitos geométricos y dimensionales de la pieza.

Se puede usar la fundición para producir partes muy grandes. Se han fabricado piezas fundidas que pesan más de 100 toneladas.

16

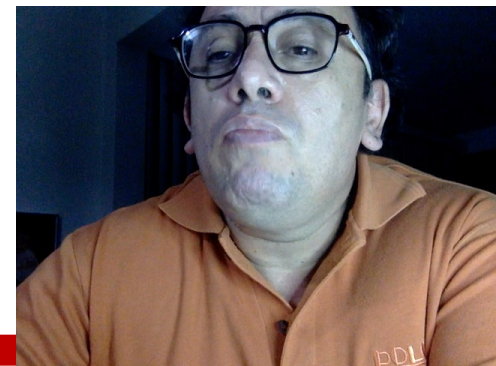


-

El proceso de fundición puede realizarse en cualquier metal o aleación que pueda calentarse y pasar al estado líquido. En este caso el proceso está limitado a materiales con temperaturas de fusión menores a los 1750 °C, por lo que los metales refractarios no son procesados mediante estas técnicas.

La factibilidad de aproximarse a la geometría y dimensiones finales vuelve a los procesos de fundición una opción muy económica en el caso de que el diseño conlleve a una geometría irregular.

No obstante, también hay **desventajas** asociadas con la fundición y sus diferentes métodos. Éstas incluyen la porosidad y las propiedades mecánicas inherentes al proceso de solidificación y enfriamiento.



Las piezas de fundición fluctúan en **tamaño**, desde pequeños componentes que pesan solamente unos cuantos gramos hasta grandes productos de más de 100 toneladas. La lista incluye coronas dentales, joyería, estatuas, estufas de hierro fundido, bloques y cabezas para motores automotrices, bases para máquinas, ruedas para ferrocarril, utensilios de cocina, carcasas para bombas. Se pueden fundir casi todas las variedades de metales ferrosos y no ferrosos.

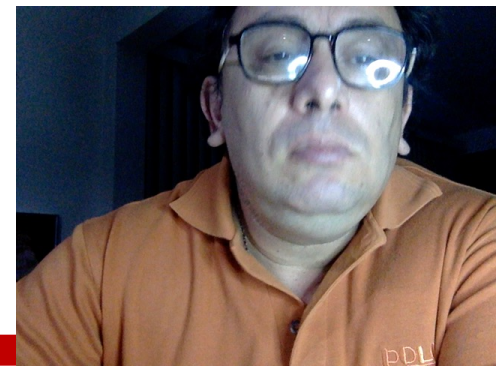




FIGURA 2.2 Algunos ejemplos de piezas obtenidas por fundición



Para llevar a cabo un proceso de fundición se requiere del metal líquido y el molde o matriz en que se depositará el metal (figura 2.3). Es por consecuencia que al analizar el proceso es necesario referirse al molde o matriz, sus materiales, duración y su producción; al metal líquido y a las técnicas de fusión utilizadas, tipo de hornos y mecanismos de preparación y desgasificación.

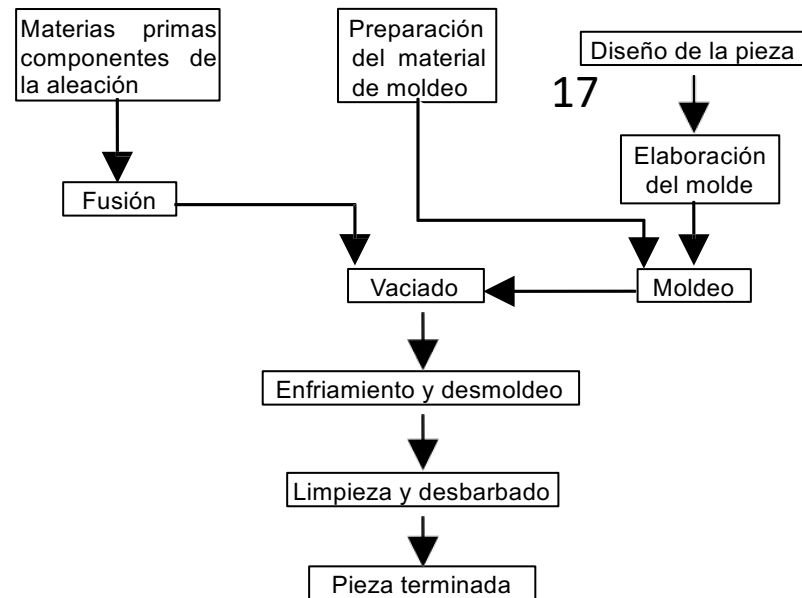
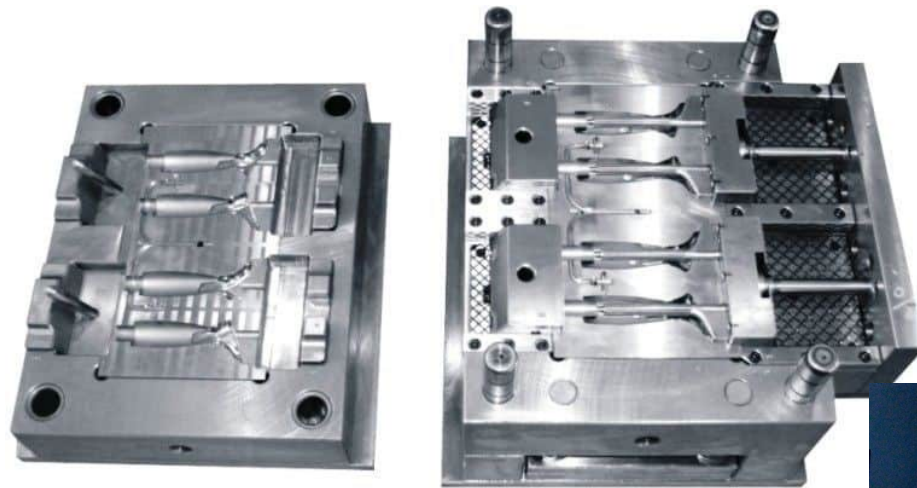


FIGURA 2.3 Etapas principales del proceso de fundición



Tipos de molde

La cavidad en donde se deposita el metal recibe el nombre de molde o matriz y está en función de su duración. Si sólo permitirá un vaciado y posteriormente se destruye se denomina como molde, mientras que el término matriz corresponde con aquel molde que permite más de una operación de vaciado. Si la duración de la matriz es de unas cuantas operaciones se considera como semipermanente, mientras que si su duración es mayor a las 1000 operaciones de vaciado se denomina como permanente.



Tipos

En el caso de colada en molde desechable el proceso de fundición se inicia con la producción de un molde, para lo cual se requiere de un modelo de la forma y dimensiones de la pieza a producir. Usualmente el molde contiene una o varias cavidades cuya forma geométrica determina la forma de la parte a fundir.

La cavidad debe ser ligeramente sobredimensionada, esto permitirá compensar la contracción del metal durante la solidificación y enfriamiento; asimismo, se deberán considerar sobreesesores para el maquinado de aquellas superficies que así lo demanden. Los moldes se producen de varios materiales que incluyen arena, yeso y cerámica. Los procesos de fundición se clasifican frecuentemente de acuerdo con los diferentes tipos de moldes.



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

Debe ser ligeramente más grande que la pieza final, ya que se debe tener en cuenta la contracción de la misma una vez se haya enfriado a temperatura ambiente. El porcentaje de contracción estará asociado con el material a vaciar en el molde. Como ya ha sido mencionado, a esta dimensión se debe dar una sobre medida en los casos en el que se dé un proceso adicional de maquinado o acabado por arranque de viruta.



1



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*, que generalmente es del orden de 0.5° a 2° . En el caso de que el modelo se extraiga de la cavidad en forma líquida (fundición a la cera perdida) o gaseosa (lost foam casting o colada sin cavidad) no se requerirá de ángulos de salida.



Para permitir que el metal llene la cavidad del molde será necesario contar con canales de alimentación (coladas) y elementos que garanticen que la solidificación termina en zonas externas a la pieza (mazarotas). Asimismo, el molde contendrá cavidades para la colocación de los machos o corazones (los cuales permiten generar cavidades complejas en la pieza fundida).



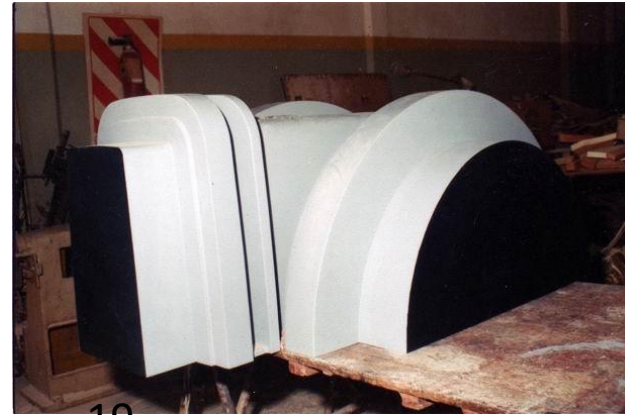
Producción del modelo

Los modelos deben de ser resistentes a la compresión, humedad o temperatura (esto de acuerdo con el proceso de moldeo seleccionado), en ocasiones pueden servir para la producción de una sola pieza (modelos desechables) como es el caso de las técnicas de colada sin cavidad (lost foam casting) o a la cera perdida (precisión casting); en los que son producidos de poliestireno expandido o una mezcla de parafina con polietileno, respectivamente. Lo más usual es que el modelo sirva para varias operaciones de moldeo; en este caso se puede emplear desde madera o plásticos, como el uretano hasta metales como el aluminio o el hierro fundido.





(a)



(b)



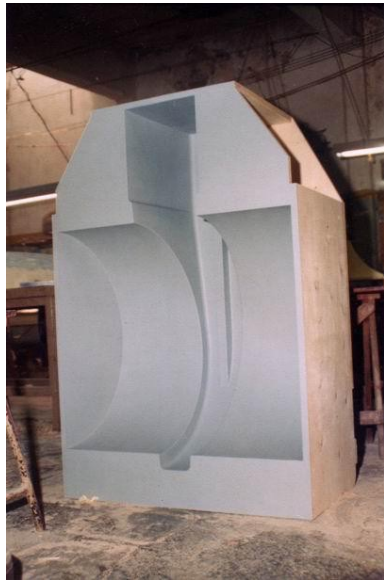
(c)



(d)

FIGURA 2.4 Modelos para fundición: (a) Impulsor, (b, c) Válvula de compuerta de 36" d, Caja de





(e)



(f)



(g)



(h)

FIGURA 2.5 Moldes e) Caja de machos o corazón para la válvula de exclusiva, (f) Modelo de espuma de poliestireno motor de 4 cilindros, (g) Placa modelo para proceso Shell, (h) Modelo de aluminio



Usualmente se fabrican dos semimodelos correspondientes a sendas partes del molde que es necesario fabricar.

Existen métodos de fundición en los que el molde es permanente, dándosele la denominación de matriz, tal es el caso de los procesos de fundición a presión (pressure casting), colada por gravedad en matriz (die casting) y colada a baja presión (low pressure die casting). En el caso de que los moldes sean desechables (arena, cáscara cerámica o yeso), normalmente el llenado será por acción de la gravedad.





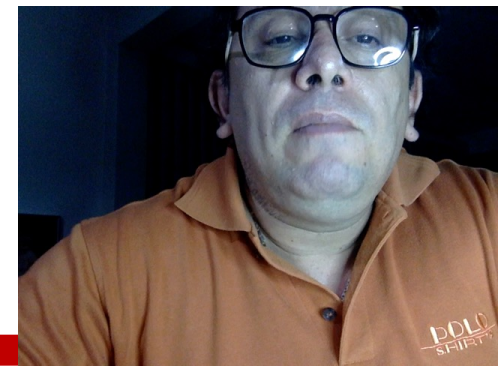
(a)



(b)

21

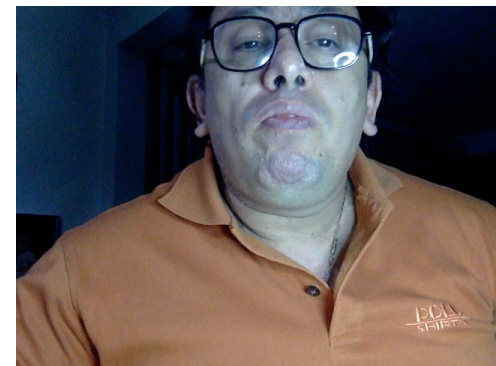
FIGURA 2.5 Matrices, (a) Colada por gravedad, (b) Inyección



En general, los procesos de fundición con molde no permanente requieren en primera instancia de la generación del molde lo cual consiste de:

- a. Compactación de la arena alrededor del modelo. Operación que puede ser manual o mecánica (generalmente por medios automáticos mediante sistemas neumáticos).

- b. Si la pieza que se quiere fabricar es hueca, será necesario disponer machos o corazones que eviten que el metal fundido rellene dichas cavidades. Para la fabricación del corazón se emplean técnicas (cáscara, caja caliente, CO₂) de aglomerado que garanticen una mayor resistencia (dadas las dimensiones de éstos), una vez formados y endurecidos se procederá a su colocación, para el posterior cerrado del molde.



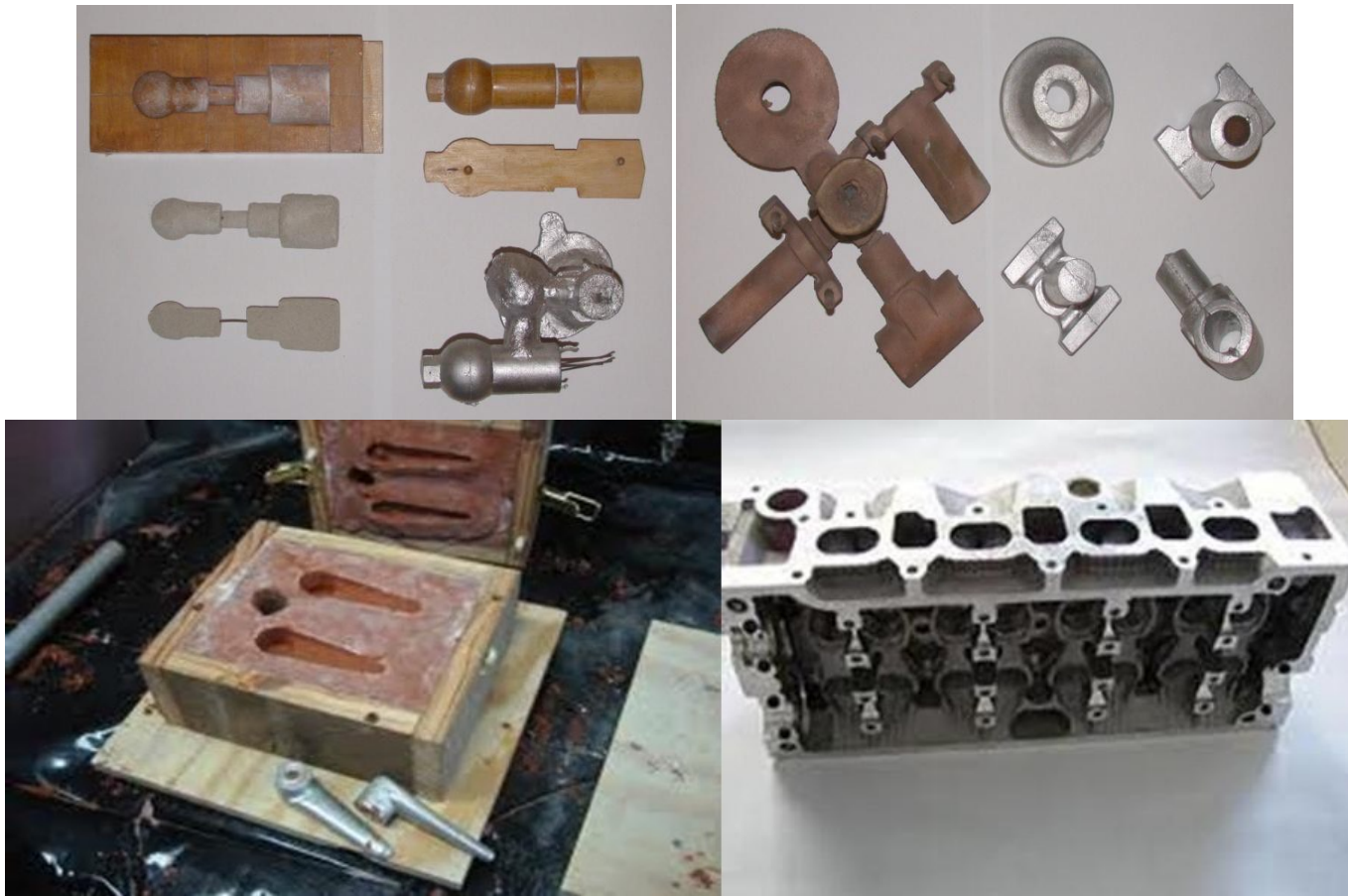
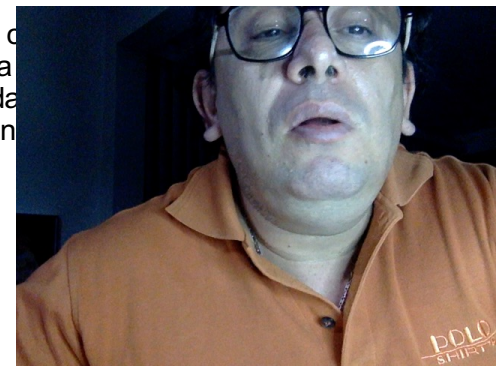
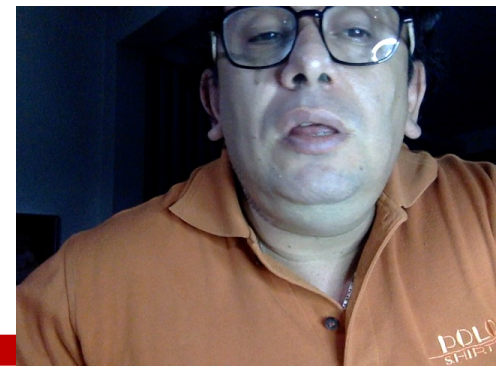


FIGURA 2.6 En la imagen superior de la izquierda se puede observar el modelo, su c pieza ya vaciada todavía con sistema de alimentación. Por su parte a observa un conjunto ya vaciado, así como diversas piezas una vez retirada a la izquierda se observa un molde de arena con las piezas que obtienen inferior derecha observa una cabeza de un motor diesel.



Una vez terminado el molde e instalados los machos (corazones) se produce, el colado del metal líquido, para que una vez que éste se ha solidificado y enfriado hasta una temperatura en que se pueda manipular sin mayor inconveniente, se proceda al desmoldeo, limpieza y corte de coladas y mazarotas. La etapa de enfriamiento y solidificación es crítica en todo el proceso, ya que un enfriamiento excesivamente rápido puede provocar tensiones mecánicas en la pieza, e incluso la aparición de grietas, mientras que si es demasiado lento disminuye la productividad.



El desmoldeo implica la destrucción del molde y la extracción de la pieza. En el desmoldeo también debe retirarse la arena del macho. Toda esta arena es comúnmente reciclada (esto dependerá de la técnica de aglomerado utilizada) para la producción de nuevos moldes. El desbarbado consiste en la eliminación de los conductos de alimentación, mazarota y rebabas procedentes de la línea de partición y de las regiones de acoplamiento de los corazones. Durante el acabado y limpieza se eliminan los restos de arena adheridos. Posteriormente, la pieza puede ser maquinada o sufrir algún tipo de tratamiento térmico que garantice las propiedades requeridas.

22



2.2 MOLDEO EN ARENA

La fundición en arena es, con mucho, el proceso de moldeo más importante. Para describir las características básicas del molde se usará un molde de fundición en arena. Muchas de estas características y términos se aplican también a los modelos de otros procesos de fundición. El molde consiste en dos mitades: la tapa o semicaja o semimolde superior y la semicaja o semimolde inferior. Ambas están contenidas en la caja de moldeo, que también se divide en dos partes: una para cada parte del molde; las dos mitades del molde están separadas por el plano de separación (figuras 2.7, 2.15)

29



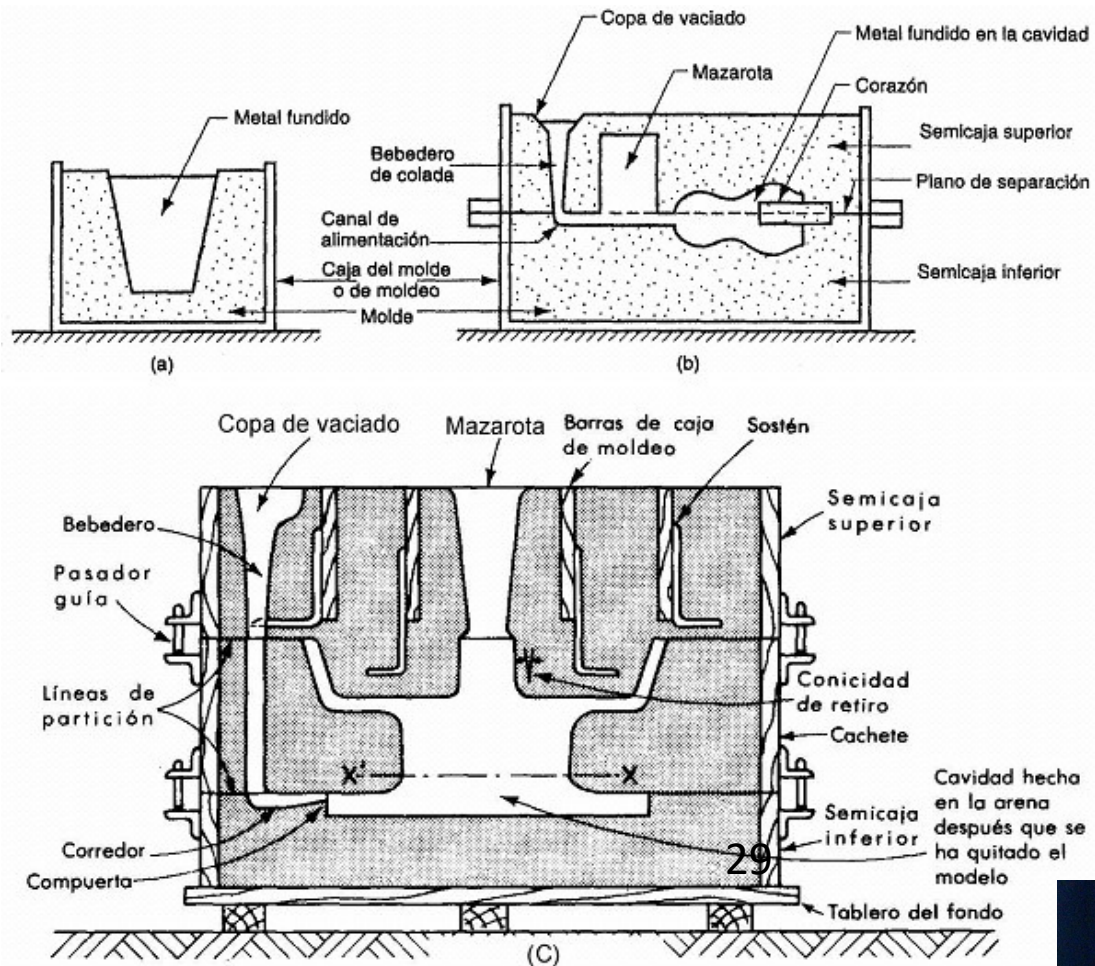


FIGURA 2.15 Molde de fundición en arena. En la imagen (a) se representa un molde al
 (b) se presenta un molde con un macho o corazón y una mazarota
 parte, en (c) se muestra la sección transversal del molde listo para e
 que se tiene una mazarota abierta sobre la pieza



MODELADO DE PROCESOS DE MANUFACTURA

En la fundición en molde de arena (y otros procesos de molde desechable) la cavidad del molde se forma mediante un modelo de madera, metal, plástico u otro material (figura 2.4), que tiene la forma de la pieza que será fundida. La cavidad se forma al recubrir el modelo de ambas cajas con arena en partes iguales, de manera que al remover el modelo quede una cavidad que tenga la forma deseada de la pieza. El modelo se sobredimensiona para compensar la contracción del metal cuando éste se solidifica y enfría. La arena húmeda del molde contiene un aglomerante para mantener su forma.

0

2



La cavidad del molde proporciona las superficies externas de la fundición, pero además puede tener superficies internas, que se definen por medio de un corazón, el cual es una forma colocada en el interior de la cavidad del molde para formar la geometría interior de la pieza. En la fundición en arena, los corazones se hacen generalmente de arena, aunque pueden usarse otros materiales como metales y cerámicos.



El sistema de vaciado (figura 2.16) en un molde de fundición es el canal o red de canales por donde fluye el metal fundido hacia la cavidad desde el exterior del molde. El sistema de vaciado consiste típicamente de un bebedero de colada (también llamado simplemente bebedero) a través del cual entra el metal a un canal de alimentación que conduce a la cavidad principal. En la parte superior del bebedero existe frecuentemente una copa de vaciado para minimizar las salpicaduras y la turbulencia del metal que fluye en el bebedero.

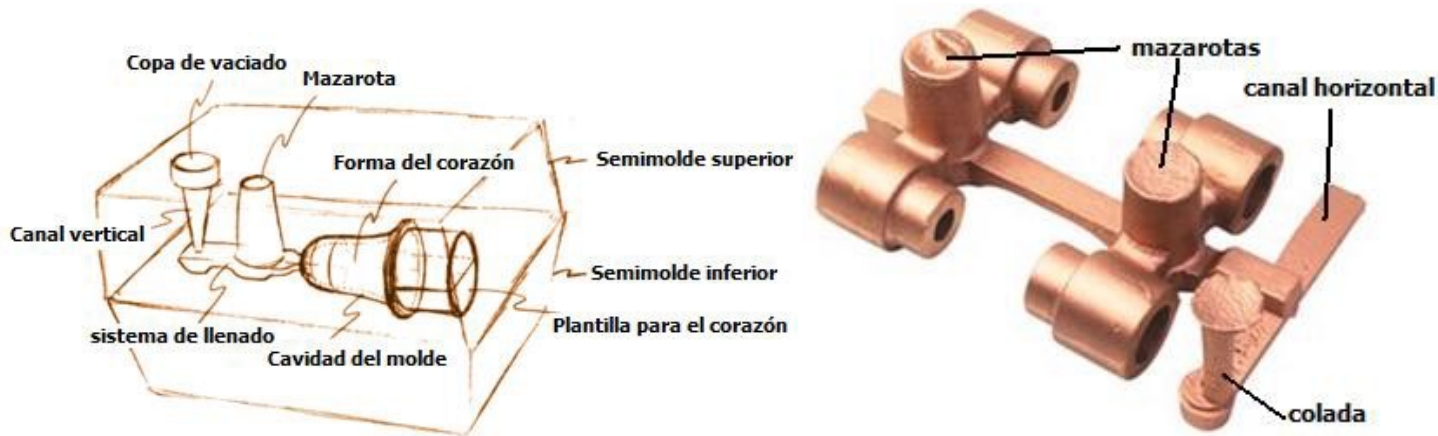


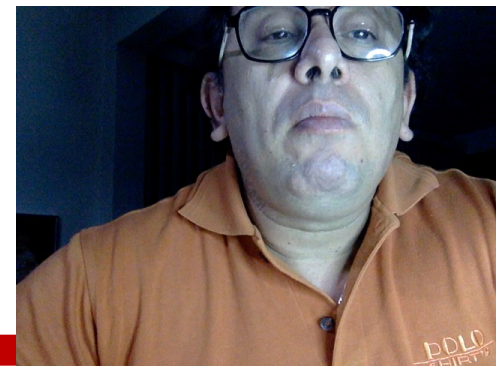
FIGURA 2.16 Sistema de llenado colada y alimentadores y mazarotas

En cualquier fundición cuya contracción sea significativa se requiere, además vaciado, una mazarota conectada a la cavidad principal. La mazarota es una rese que sirve como fuente de metal líquido para compensar la contracción de la fundic



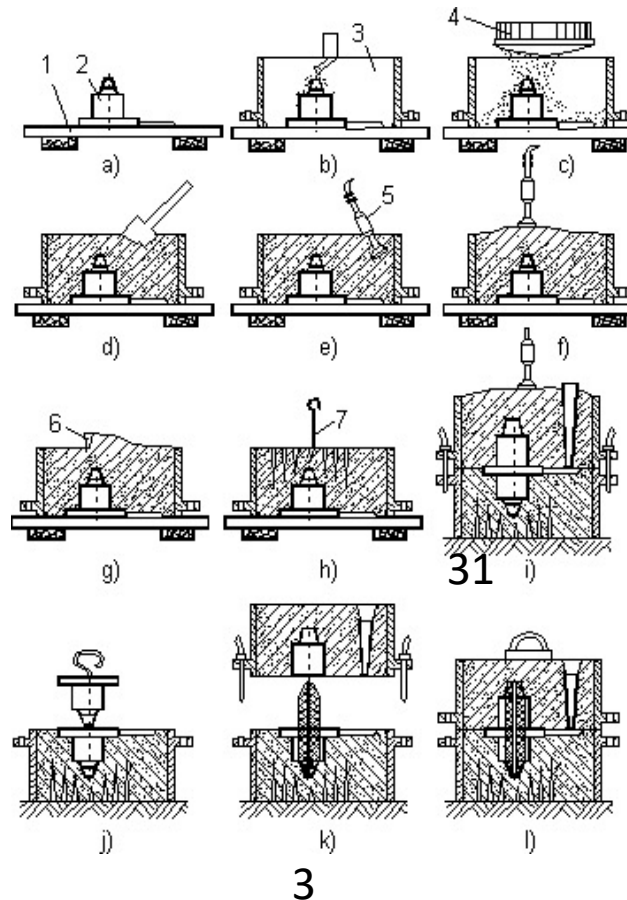
A fin de que la mazarota cumpla adecuadamente con su función, debe diseñarse de tal forma que solidifique después de la fundición principal.

A medida que el metal fluye dentro del molde, tanto el aire que ocupaba previamente la cavidad, como los gases calientes formados por la reacción del metal fundido deben evacuarse para que el metal llene completamente el espacio vacío. En la fundición en arena, la porosidad natural del molde permite que el aire y los gases escapen a través de las paredes de la cavidad. En los moldes permanentes se taladran pequeños agujeros de ventilación dentro del molde o se maquinan en el plano de separación para permitir la salida del aire y los gases.



Moldeo con arena en verde

En la figura 2.17 se muestra el procedimiento manual de moldeo en verde, el cual emplea una mezcla de moldeo cuyos constituyentes principales son: arena, bentonita y humedad. Este proceso se caracteriza por ser el más económico, aunque su precisión y acabado superficial no son tan perfectos.



El proceso consiste en compactar la arena alrededor del modelo, el cual, a su vez, se coloca sobre una tarima o tablero de apisonar, se rodea por la semicaja inferior. Compactada esta mitad se le da vuelta y se enfoca la mitad restante del modelo, a la vez se ensambla la semicaja superior; asimismo, se ponen en posición la clavija de colada y demás elementos que forman el sistema de alimentación. Antes de colocar la arena en el molde, se recubren las superficies con arena seca, para evitar así que se adhieran durante el compactado; es necesario que el modelo se recubra o revista con separador, se coloca entonces la arena y se procede al compactado.



Una vez compactado el molde se procede a retirar las clavijas de la colada y las mazarotas, se separan los semimoldes y así, se retira el modelo. Se abren las coladas y se colocan los corazones en posición, en caso de que la pieza los requiera. Se procede entonces a cerrar el molde y se colocan los seguros para evitar que el metal líquido separe los semimoldes, con el mismo fin se llegan a colocar contrapesos sobre la superficie del molde, y se procede al vaciado. Una vez que la pieza se ha enfriado lo suficiente, se destruye el molde reiniciado el ciclo.



FIGURA 2.18 Moldeo en verde con moldeadoras neumáticas

El moldeo en verde se efectúa normalmente con máquina. El compactado de la arena se efectúa por percusión-prensado. En la figura 2.18 se pueden observar una máquina moldeadora típica. En

éstas solo se pueden emplear modelos placa; es común que una moldeadora produzca el semimolde superior y otra el inferior, haciendo el ensamble de los semimoldes ya en el carrusel.

Cuando las piezas son muy grandes, el moldeo se efectúa en foso y es evidente que el compactado no se puede hacer en una moldeadora, para esto se emplean las lanzadoras de arena (figura 2.19), que consisten en una turbina que proyecta la arena sobre el molde. Varios de estos equipos llevan a efecto una acción de mezclado previa, pudiendo así ser empleados para otros procesos de moldeo como el de caja fría. Es usual el uso de pisonadores neumáticos para terminar el compactado del molde.





FIGURA 2.19 Moldeo con arena en verde de piezas de grandes dimensiones



Mezcla de moldeo. Para efectuar la operación de moldeo se necesita una mezcla con la cual se recubra el modelo, y se pueda producir así una cavidad con la geometría y dimensiones de la pieza que se va a producir. El material de moldeo debe resistir el contacto con el metal líquido sin fundirse y sin modificar sus dimensiones apreciablemente; asimismo, es necesario que permita la salida del aire que ocupa la cavidad del molde, así como la de los gases producidos durante el vaciado. Una vez solidificada la pieza, se requiere que la mezcla se desprenda con facilidad de ésta, así como de las cajas de moldeo. Por ello, una mezcla de moldeo debe presentar: *plasticidad* (facilidad para reproducir la geometría del modelo), *resistencia mecánica*



MODELADO DE PROCESOS DE MANUFACTURA

(capacidad de la arena para conservar la forma de la cavidad y producir una pieza con la geometría requerida), *poder refractario* (capacidad para soportar el contacto con el metal fundido sin ser sinterizado por éste), *permeabilidad* (capacidad para permitir la salida del aire y los gases producidos durante el llenado de la pieza), *estabilidad química y física* (la mezcla no deberá sufrir transformaciones que afecten las dimensiones de la pieza)

En general, para las operaciones de moldeo la arena sílica (SiO_2) es la más común, sin embargo, se pueden llegar a utilizar arenas de zirconio (ZrSiO_4), olivinita (Mg_2SiO_4) y cromita ($\text{FeO} - \text{Cr}_2\text{O}_3$). La *arena sílica* es la de empleo general por su costo. Las arenas de zirconio presentan mayor conductividad térmica y no se adhieren a la superficie de la pieza, lo que da como resultado su aplicación como pinturas y revestimientos en moldes grandes. La olivinita y magnesita se emplean en el vaciado de piezas de acero al manganeso, y se obtiene un buen acabado superficial.



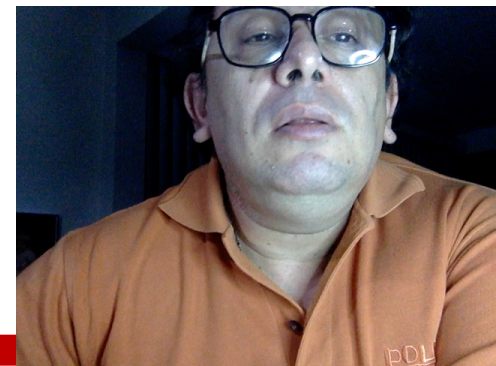
Composición	Arena sintética %	Arena natural %
SiO ₂	97.91	78.2
Al ₂ O ₃	1.13	
Fe ₂ O ₃	0.5	10.12
TiO ₂	0.04	
CaO	0.11	2.4
MgO	0.02	1.8
K ₂ O	0.65	2.1
Na ₂ O	0.07	0.2
Pérdidas por combustión	0.21	4.1



Para el moldeo en verde se emplean como aglomerantes las arcillas, éstas se caracterizan por ser regenerables ya que su fuerza de adhesión se obtiene mediante la adición de agua a diferencia de otros aglomerantes, en los que la cohesión se obtiene por reacción química y, por lo tanto, su acción es irreversible. De acuerdo con su composición, las arcillas se pueden clasificar como caoliníticas ($\text{Al}_2\text{O}_3 - 2\text{SiO}_2 - 2\text{H}_2\text{O}$), montmorilloníticas ($\text{Al}_2\text{O}_3 - 4\text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O} - n\text{H}_2\text{O}$), hidromicáceas y poliminerales. Por sus características, las más utilizadas son las montmorilloníticas, también conocidas como bentonitas. Estas arcillas se utilizan tanto para el moldeo en verde como en seco. En virtud de que algunos de los iones Al^{3+} son sustituidos por Mg^{2+} , esto permite que la molienda absorba cationes de intercambio Na^+ y Ca^{2+} , a lo que las propiedades de la arcilla son particularmente sensibles. La máxima capacidad de hinchado de la bentonita sódica la hacen idónea para moldeo en seco, mientras que la cálcica promueve máxima resistencia en verde.



Al calentarse la arcilla pierde humedad y se produce un encogimiento de la molécula, con lo que se mantiene y aún incrementa la resistencia de la unión; sin embargo, la permanencia a altas temperaturas elimina el agua combinada químicamente y causa la pérdida permanente de la capacidad de adhesión, esto se presenta entre los 400 y 700 °C. A mayores temperaturas se producen cambios cristalinos drásticos. Por tanto, es necesario que después de cada operación de vaciado se adicione de 1 a 4% de bentonita para reponer la que ha sufrido transformaciones irreversibles, así como la humedad necesaria.



En la figura 2.20 se muestra el efecto de la humedad y el contenido de arcilla en la resistencia de las mezclas de moldeo.

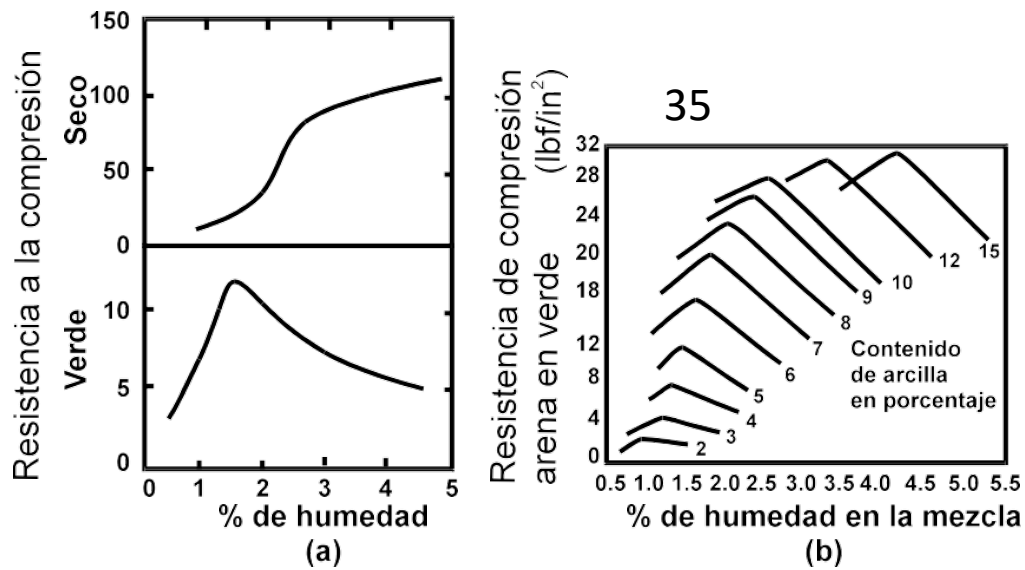
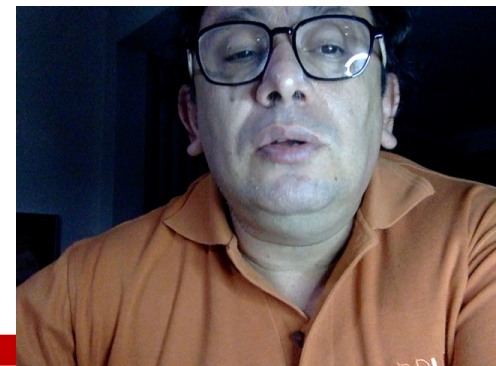


FIGURA 2.20 a) Efecto de la humedad en la resistencia en verde y en seco, b) Influencia de la humedad y del contenido de arcillas en la resistencia en verde



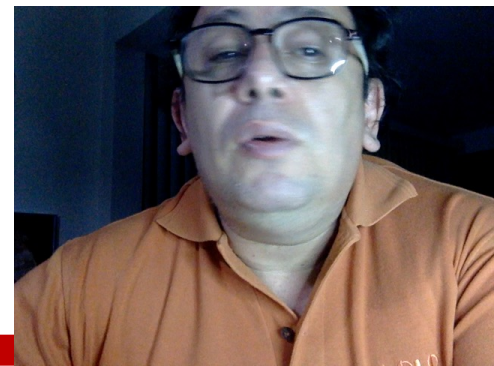
Moldeo en arena empleando aglutinante inorgánico (Proceso CO₂). En este proceso, el compactado del molde se realiza en forma similar a lo descrito para moldeo en verde, con la arena, lo que permite entonces su endurecimiento. De las resinas de origen inorgánico, la más usual es el silicato de sodio (Na₂SiO₃.nH₂O). La viscosidad de la mezcla está en función de la relación de Na₂O a SiO₂, donde son usuales las relaciones de 1.5 a 3.1. El endurecimiento se logra por el paso de CO₂ a través de la mezcla o por calor, lo cual provoca una serie de reacciones químicas complejas que dan lugar a la formación de un gel sílice que actúa como puente entre los granos de arena. La reacción general se representa por:

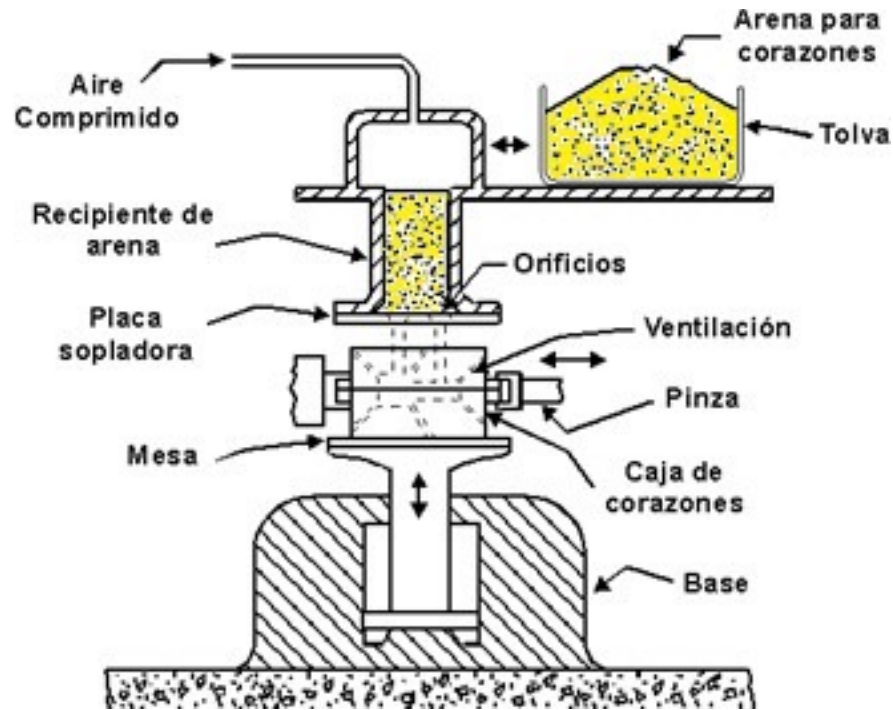


La resistencia de la mezcla depende del flujo de gas y tiempo de envejecimiento, es del orden de 2.45 a 2.94 MPa contra 5.8 a 7.92 MPa del proceso en cáscara, y 1.7 a 2 para resinas autofraguantes.

En el caso de moldeo se puede tan solo utilizar una capa que recubra al modelo y el resto se rellena con arena en verde, con lo que se logra una sensible economía al no requerir tanta arena con silicato de sodio que es de un mayor costo.

36





El proceso CO_2 más que para moldeo se emplea en la producción de corazones, para lo que se emplean las máquinas sopladoras. En las figuras 2.21 y 2.22 se muestra el funcionamiento de uno de estos equipos.



La ventaja que ofrece este método sobre el moldeo en verde es su mayor precisión dimensional, así como su mejor acabado; además de que se obtiene geometría o detalles más complejos. Su principal desventaja radica en el costo de las resinas y en el reciclaje de la arena.



FIGURA 2.22 Máquina sopladora de corazones de caja caliente





FIGURA 2.23 Corazones producidos por diferentes técnicas durante su ensamble

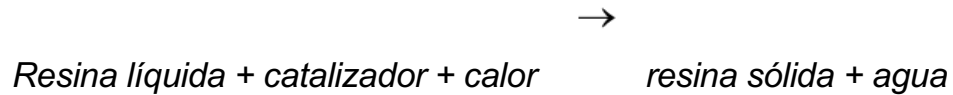


MODELADO DE PROCESOS DE MANUFACTURA

Proceso de caja caliente. Los aglutinantes resinosos fueron introducidos en la industria de la fundición en 1929 por Hooker Chemical Corporation. Esta tecnología desde entonces ha permitido operaciones más simples y rápidas, y piezas más precisas. En el caso particular del método de caja caliente, se trata de un proceso húmedo a diferencia del moldeo en cáscara, en el que se utiliza una mezcla seca. Se emplea en la producción de corazones y su principal ventaja sobre el de cáscara reside en la mayor velocidad de producción. En éste se aplican resinas líquidas sintéticas, que al reaccionar con un catalizador a la temperatura adecuada, produce una cáscara de resistencia suficiente para que resista el peso del corazón, permitiendo así su maniobra sin que se rompa. El macho continúa su curado después de haber sido extraído de la caja de corazones, quedando completamente endurecido antes de llegar a temperatura ambiente. En la figura 2.22 se muestra el equipo y en la figura 2.23 un ejemplo de aplicación.



La reacción que se produce para lograr el endurecimiento es



La resina puede ser de tipo fenólico o furánico con modificaciones de urea para lograr un curado rápido. Se pueden clasificar entonces como producto de reacción fenol-urea-formaldehído (aglutinantes fenólicos).

Alcohol furfural-urea-formaldehído (resinas furánicas).

En ambos casos, el aglutinante produce un porcentaje de carbono proporcional al fenol o alcohol furfural presente, el cual actúa como agente ligante a los granos de arena, manteniendo ese carácter hasta que exista oxígeno libre disponible, quemándose y desprendiendo CO y CO₂.

38



En general, también se pueden clasificar como AF/UF/FF, AF/UF, AF/FF, FF/UF (libre de alcohol furfural) en las que se va variando el nivel de nitrógeno libre, por esta razón la resina estará en función del producto a vaciar.

Los catalizadores están constituidos principalmente por agua y sales inorgánicas, las que se descomponen por el calor y permiten al ácido ejercer su acción catalítica.

Para asegurar buenos resultados se requiere emplear arena limpia y seca, ya que a temperatura ambiente se mezcla con la resina y el catalizador. También ha de tenerse cuidado con el tiempo de vida de la mezcla de moldeo.



Constituyente	Composición Química
Fenol	C_6H_5OH
Formaldehído	$CH_2=O$
Urea	$O=C(NH)_2$
Alcohol furfural	

39

AF - alcohol furfural, FF - fenol formaldehído, UF - urea - formaldehído

p



Métodos más comunes

Moldeo en arena en verde. Consiste en la elaboración del molde (figuras 2.6 y 2.7) 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.





FIGURA 2.7 Izquierda vaciado de aluminio en moldes de arena en verde. Derecha, compactado de la arena alrededor del modelo





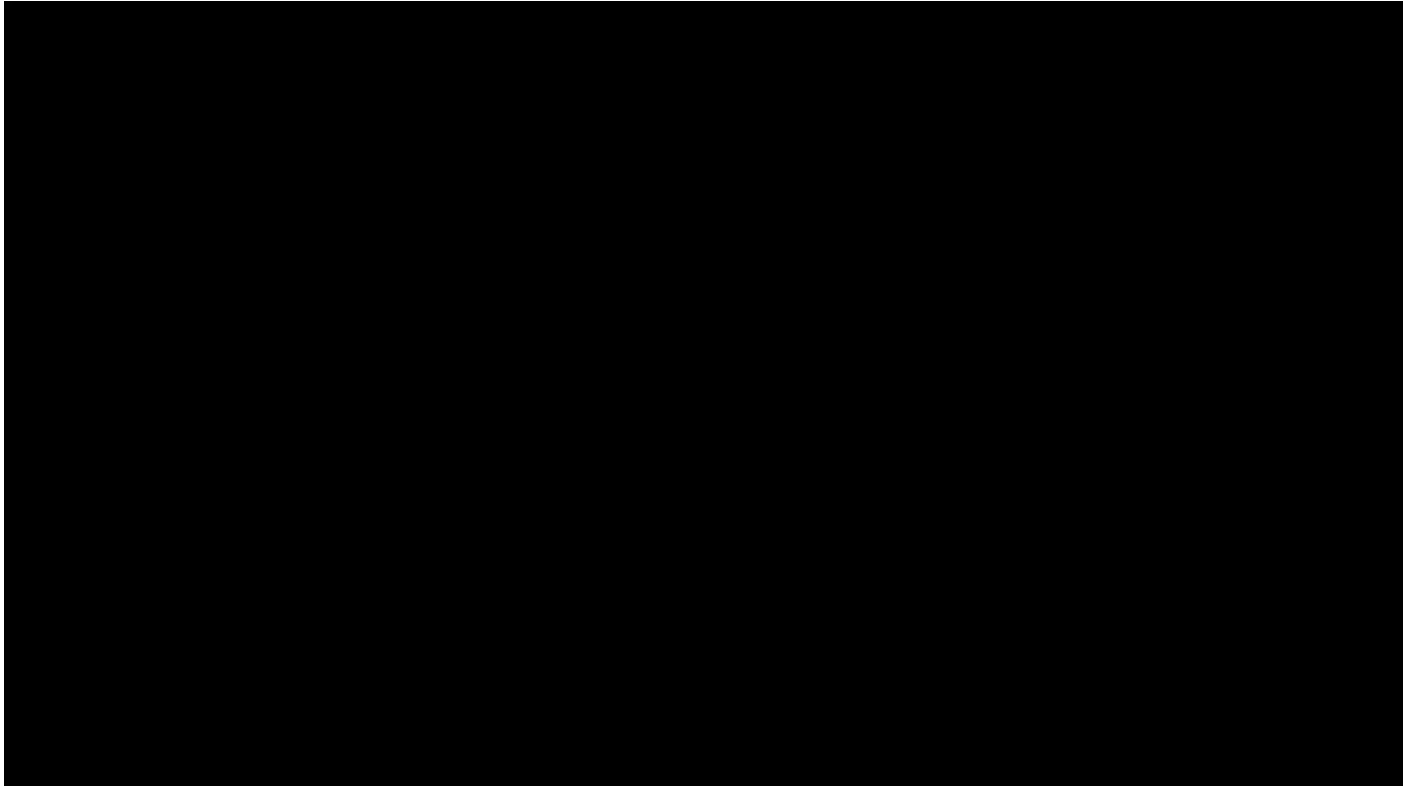


Moldeo en arena seca. En este tipo de proceso antes de la colada, el molde se seca. De este modo se incrementa la rigidez del molde, lo que permite fundir piezas de mayor tamaño, sin inconvenientes debidos a la presencia de humedad durante el vaciado (en este caso se emplean arcillas como la bentonita sódica).

Moldeo en cáscara (Shell molding). En ocasiones se utilizan mezclas secas de arena con resinas fenólicas, que se polimerizan (se endurecen) a temperaturas entre 200 y 300°C incrementando sensiblemente su rigidez, lo cual permite la producción de moldes (cáscaras) que solamente conllevan el contorno de la pieza, y facilitan la producción de piezas pequeñas y medianas con una alta precisión y un excelente acabado (figura 2.8).



Moldeo en cáscara (Shell molding). En ocasiones se utilizan mezclas secas de arena con resinas fenólicas, que se polimerizan (se endurecen) a temperaturas entre 200 y 300°C incrementando sensiblemente su rigidez, lo cual permite la producción de moldes (cáscaras) que solamente conllevan el contorno de la pieza, y facilitan la producción de piezas pequeñas y medianas con una alta precisión y un excelente acabado (figura 2.8).



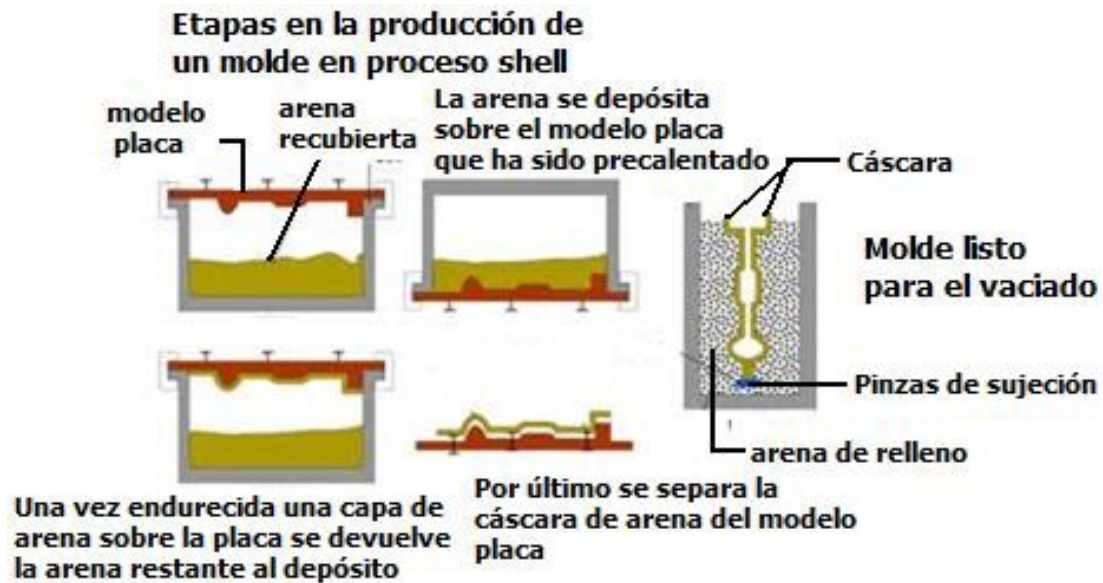


FIGURA 2.8a Moldeo en cáscara (Shell)

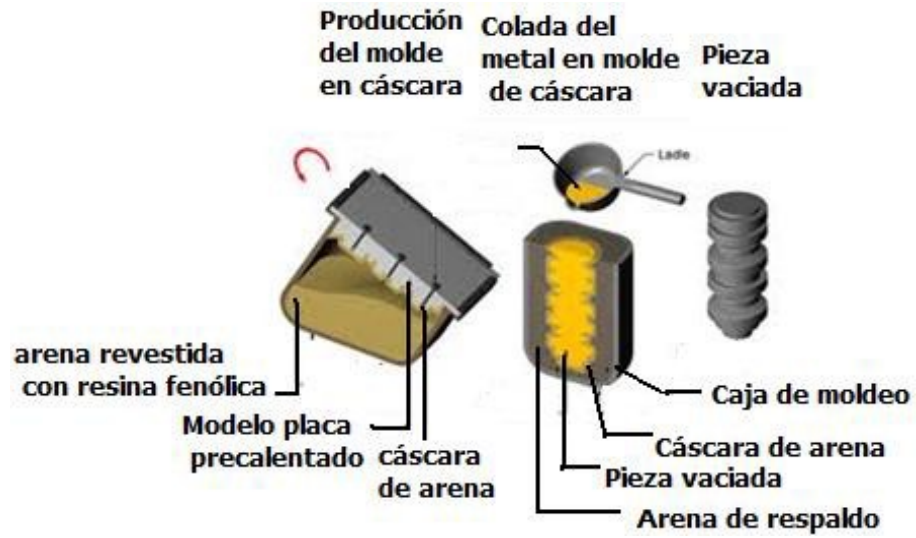


FIGURA 2.8a Moldeo en cáscara (Shell)

MODELADO DE PROCESOS DE MANUFACTURA

El empleo de yeso de ceramista (plaster mold casting) (figura 2.9) es usual en aplicaciones odontológicas o artísticas empleando para tal fin procesos a la cera perdida (lost wax casting) o microfusión. En este caso, el modelo se fabrica en cera o plástico. Una vez que se ha completado el molde, se calienta para endurecer el recubrimiento y derretir la cera o el plástico para extraerla del molde en el que se verterá posteriormente el metal fundido. Este método tiene dos ventajas principales, la ausencia de machos y de líneas de partición, con lo que se logran fieles reproducciones del modelo original sin defectos superficiales (líneas de junta y rebabas), todo esto aunado a una excelente precisión. Para estos métodos también se emplean cáscaras cerámicas denominándose en este caso como fundición de alta precisión (investment casting). Estos procesos se destinan sobre todo a la producción de piezas pequeñas y medianas en metales ferrosos o de alto punto de fusión con orientación industrial. En estos casos, el modelo se recubre de una serie de capas (formando una cáscara cerámica), que garanticen un buen acabado superficial y rigidez al conjunto.

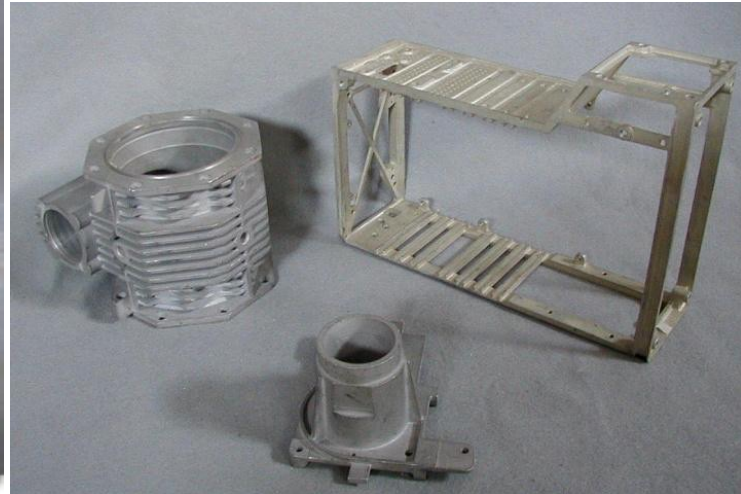
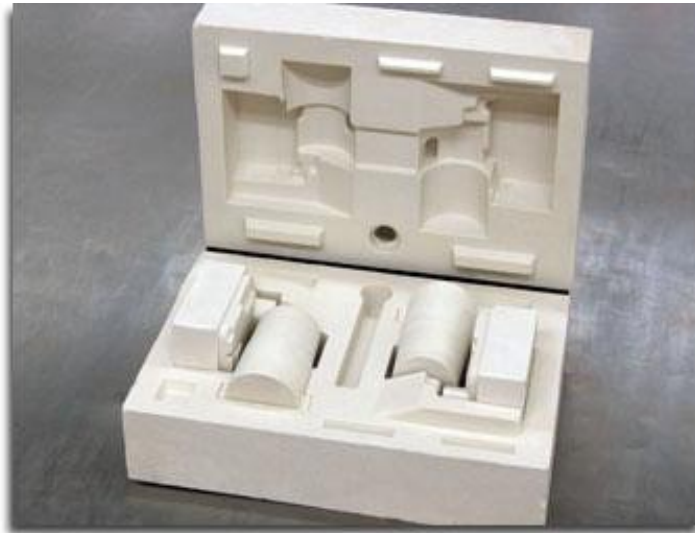


FIGURA 2.9 Molde en yeso ya terminado y ejemplo de piezas en aluminio producidas por este método



La **colada en matriz** o **fundición en coquilla** (figura 2.10), se caracteriza por el empleo de moldes metálicos (matrices) producidos en hierro gris o acero. Este tipo de proceso se emplea para lotes grandes de producción de piezas medianas cuya geometría permite su llenado por acción exclusiva de las fuerzas de gravedad (por ejemplo pistones automotrices).

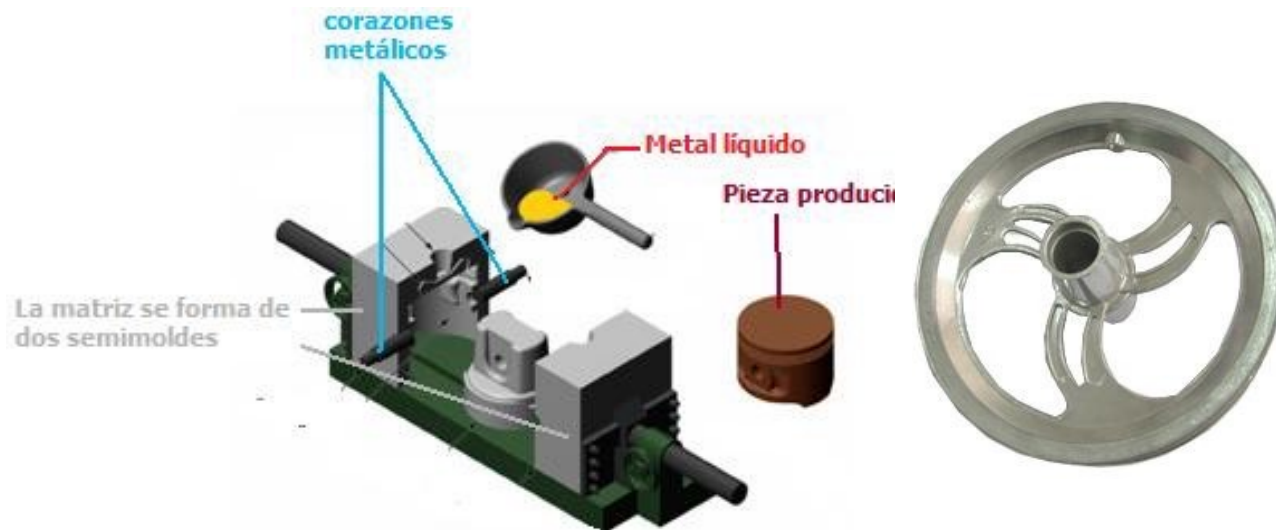
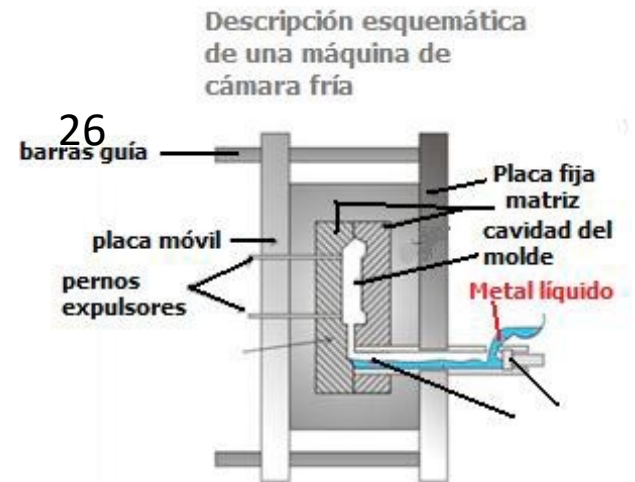


FIGURA 2.10 Colada en matriz

La **fundición a presión o inyección de metales** (figura 2.11) se emplea para piezas medianas y pequeñas (desde unos gramos hasta unos 50 kg) en metales y aleaciones de bajo punto de fusión (generalmente menor a 650 °C; aleaciones de aluminio y de zinc), de geometrías complejas y espesores pequeños (del orden de unos cuantos mm), en lotes de producción muy grandes (mínimo del orden de unas 10,000 piezas). Se caracteriza por su reducido costo de operación, aunado a excelentes acabados y tolerancias cerradas.



(a)



(b)

La técnica de **fundición prensada (squeeze casting)** fue desarrollada ya en la segunda mitad del siglo XX (hacia 1960) e involucra la solidificación del metal bajo alta presión; con esto se pretende combinar la forja con la colada, afinar la microestructura y obtener mejores propiedades mecánicas.

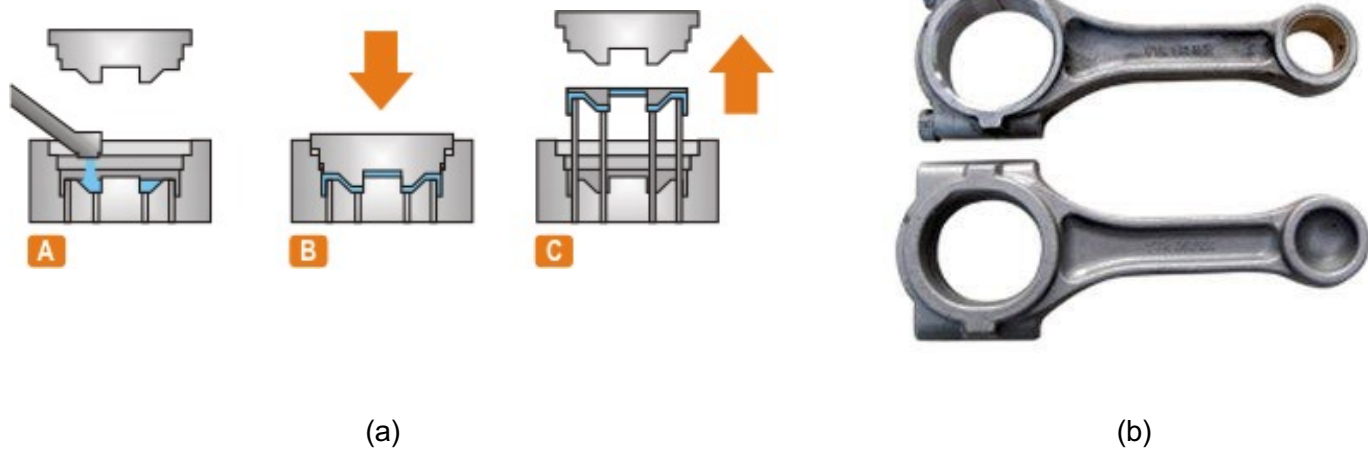


FIGURA 2.12 (a) Descripción esquemática del proceso de fundición prensada
(b) Ejemplo de piezas producidas por squeeze casting

Fundición a baja presión (low pressure casting). En este caso se emplean moldes de grafito o también matrices metálicas. El proceso se caracteriza en que el llenado es en flujo laminar por la parte inferior del molde (figura 2.13), la presión necesaria para que el metal ascienda y llene el molde se aplica a través de un gas inerte. El molde, colocado encima del recipiente con el metal líquido, cuenta con un sistema de enfriamiento que garantiza la transferencia de calor que permita la solidificación secuencial, iniciando en la parte superior y dirigida hacia abajo de tal forma que una vez totalmente solidificada la pieza, se elimina la presión descendiendo el metal líquido de nueva cuenta al crisol. Con esto se garantiza la eliminación de defectos producto de la solidificación, a la vez de eliminar los costos asociados a la presencia de coladas y mazarotas. La microestructura obtenida garantiza excelentes propiedades mecánicas. Este proceso se puede emplear tanto para los blocks de motor como para las ruedas.

MODELADO DE PROCESOS DE MANUFACTURA

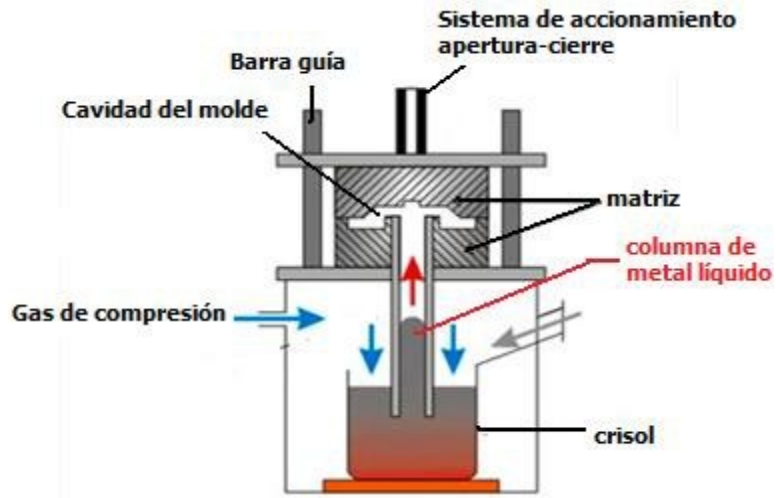
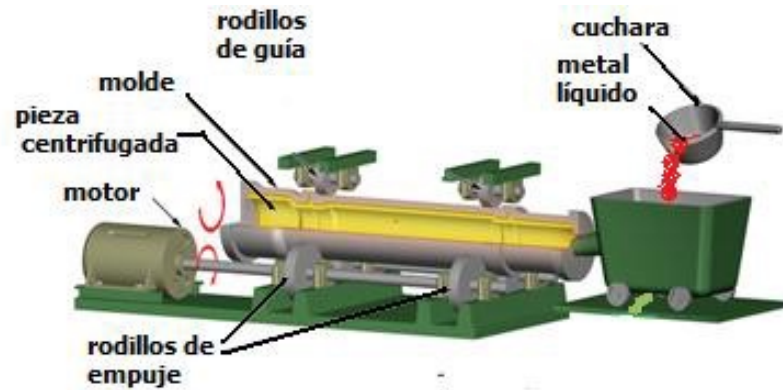


FIGURA 2.13 Fundición a baja presión (low pressure casting) y ejemplo de aplicación del proceso (ruedas de aleación de aluminio)

Las operaciones de **centrifugado y semicentrifugado** (figura 2.14) se caracterizan por llevar a efecto el llenado del molde por la acción de las fuerzas generadas por la rotación de éste. Estos métodos permiten la obtención de piezas sanas (eliminación de defectos) y la disminución o, en su caso, la eliminación de conductos de llenado y mazarotas.



(a) (b)
FIGURA 2.14 Centrifugado. (a) Descripción esquemática para centrifugado en eje horizontal
(b) Máquina para centrifugado vertical

Como ya ha sido mencionado, en el proceso de fundición 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 (producción de contrapesos). En un molde cerrado, una vía de paso llamada sistema de vaciado o colada permite el flujo del material fundido desde fuera del molde hasta la cavidad. Es por demás evidente que molde cerrado es la forma más importante de producción en operaciones de fundición.

Tan pronto como el material fundido en el molde empieza a enfriarse, y conforme desciende la temperatura lo suficiente, 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. Durante este proceso, el metal adopta la forma de la cavidad del molde y se establecen muchas de las propiedades y características de la fundición.