

2.2 PROCESOS DE FUNDICIÓN DE METALES

Los procesos de fundición del metal se dividen en dos categorías de acuerdo al tipo de moldes 1) moldes desechables y 2) moldes permanentes. En las operaciones de fundición con molde desechable, éste se destruye para remover la parte fundida, como se requiere un nuevo molde por cada nueva fundición, las velocidades de producción son limitadas, ya que se requiere mas tiempo para hacer el molde que para la fundición en si, sin embargo, para ciertas partes se pueden producir moldes y fundiciones a velocidades de 400 partes por hora o mayores. En los procesos de moldeo permanente, el molde se fabrica con metal (u otro material durable) que permite usarlos en repetidas operaciones de fundición. En consecuencia, estos procesos tienen una ventaja natural para mayores velocidades de producción.

2.2.1 FUNDICIÓN EN ARENA

La fundición en arena es el proceso más utilizado, la producción por medio de este método representa la mayor parte del tonelaje total de fundición. Casi todas las aleaciones pueden fundirse en arena; de hecho, es uno de los pocos procesos que pueden usarse para metales con altas temperaturas de fusión, como son el acero, el níquel y el titanio. Su versatilidad permite fundir partes muy pequeñas o muy grandes (véase la figura 2.9) y en cantidades de producción que van de una pieza a millones de éstas.

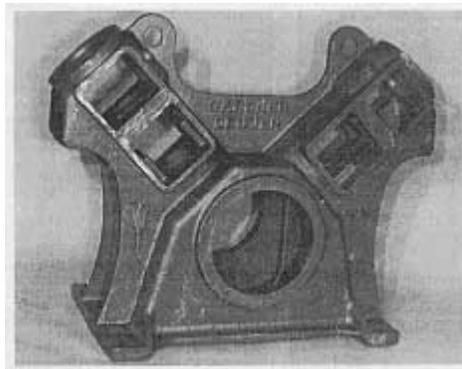


FIGURA 2.9 Fundición en arena para el cuerpo de un compresor con un peso de 680 Kg
(Cortesía de Elkhart Foundry, Foto por Paragon Inc. Elkhart Indiana).

La fundición en arena consiste en vaciar el metal fundido a un molde de arena, dejarlo solidificar y romper después el molde para remover la fundición. Posteriormente la fundición pasa por un proceso de limpieza e inspección, pero en ocasiones requiere un tratamiento térmico para mejorar sus propiedades metalúrgicas.

En esta breve descripción se puede observar que la fundición en arena no solamente incluye operaciones de fundición, sino también la fabricación de modelos y manufactura de moldes. La secuencia se muestra en la figura 2.10.

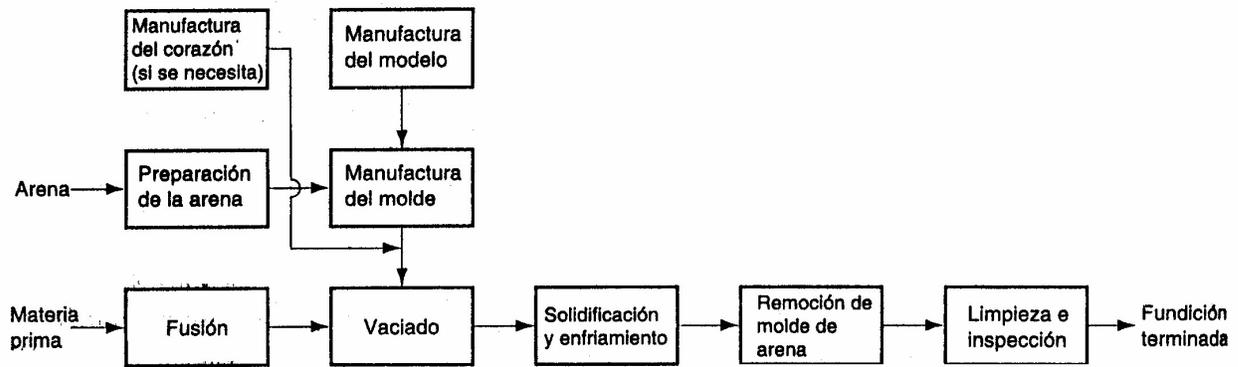


FIGURA 2.10 Pasos en la secuencia de producción de la fundición en arena. Los pasos incluyen no solamente las operaciones de fundición si no también la manufactura del modelo y del molde.

2.2.1.1 Modelos y corazones

La fundición en arena requiere un *patrón* o *modelo* al tamaño de la parte, ligeramente agrandado, tomando en consideración la contracción y las tolerancias para el maquinado de la pieza final. Los materiales que se usan para hacer estos modelos incluyen la madera, los plásticos y los metales. La madera es un material común para modelos, por la facilidad de trabajarla y darle forma. Sus desventajas son la tendencia a la torsión y al desgaste por la abrasión de la arena que se compacta a su alrededor, lo cual limita el número de veces que puede usarse. Los modelos de metal son más costosos pero duran más. Los plásticos representan un término medio entre la madera y los metales. La selección del material apropiado para patrones o modelos depende en gran parte de la cantidad total de piezas a producir.

Hay varios tipos de modelos, como se ilustra en la figura 2.11. El más simple está hecho de una pieza, llamado *modelo sólido*, que tiene la misma forma de la fundición y los ajustes en tamaño por contracción y maquinado. Su manufactura es fácil, pero la complicación surge cuando se utiliza para hacer el molde de arena. Determinar la localización del plano de separación entre las dos mitades del molde e incorporar el sistema de vaciado y el vertedero de colada para un modelo sólido, puede ser un problema que se dejará al juicio y habilidad del operario del taller de fundición. Por tanto, los modelos sólidos se usan solamente en producciones de muy baja cantidad.

Los **modelos divididos** constan de dos piezas que separan la pieza a lo largo de un plano, éste coincide con el plano de separación del molde. Los modelos divididos son apropiados para partes de forma compleja y cantidades moderadas de producción. El plano de separación del molde queda predeterminado por las dos mitades del molde, más que por el juicio del operador.

Para altos volúmenes de producción se emplean los modelos con placa de acoplamiento o los modelos *de doble placa* (superior e inferior). En un modelo con placa de acoplamiento, las dos piezas del modelo dividido se adhieren a los lados opuestos de una placa de madera o metal. Los agujeros de la placa permiten una alineación precisa entre la parte superior y el fondo (*cope* y *drag*) del molde. Los modelos con *doble placa de acoplamiento* son similares a los patrones con una placa, excepto que las

mitades del patrón dividido se pegan a placas separadas, de manera que las secciones de la parte superior e inferior del molde se puedan fabricar independientemente, en lugar de usar la misma herramienta para ambas.

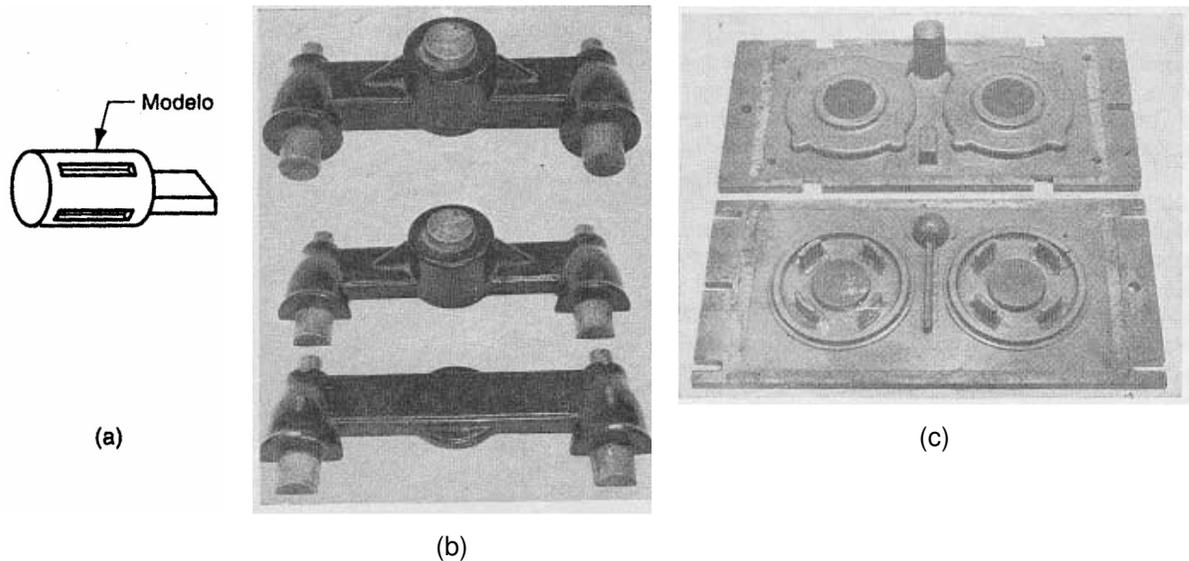


FIGURA 2.11 Tipos de patrones utilizados en la fundición en arena: a) modelo sólido, b) modelo dividido, c) modelo con placa de acoplamiento

Los patrones definen la forma externa de la fundición. Si posee superficies internas, se necesita un corazón para definir las. Un *corazón* es un modelo de tamaño natural de las superficies interiores de la parte. El corazón se inserta en la cavidad del molde antes del vaciado, para que al fluir el metal fundido, solidifique entre la cavidad del molde y el corazón, formando así las superficies externas e internas de la fundición. El corazón se hace generalmente de arena compactada. El tamaño real del corazón debe incluir las tolerancias para contracción y maquinado lo mismo que el patrón. El corazón, dependiendo de la forma, puede o no requerir soportes que lo mantengan en posición en la cavidad del molde durante el vaciado. Estos soportes, llamados *sujetadores*, se hacen de un metal cuya temperatura de fusión sea mayor que la de la pieza a fundir. Por ejemplo, para fundiciones de hierro colado se usan sujetadores de acero. Los sujetadores quedan atrapados en la fundición durante el vaciado y la solidificación. En la figura 2.12 se muestra un posible arreglo del corazón usando sujetadores. La porción de los sujetadores que sobresalen de la fundición se recortan después.

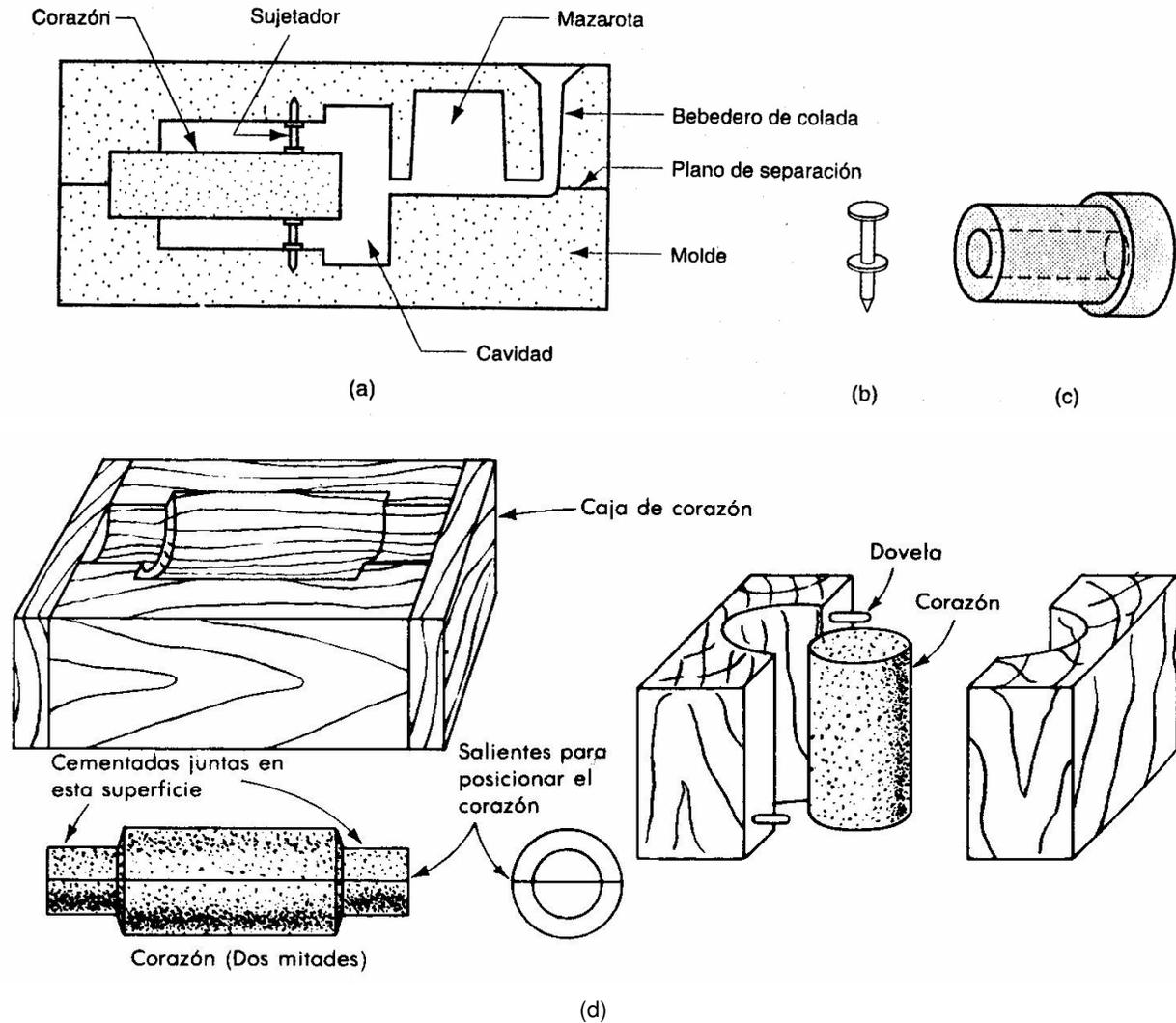


FIGURA 2.12 (a) corazón mantenido en su lugar dentro de la cavidad del molde por los sujetadores (b) Diseño posible del sujetador (c) Fundición con cavidad interna (d) manufactura del corazón

2.2.1.2 Moldes y fabricación de moldes

El molde es una cavidad que tiene la forma geométrica de la pieza que se va fundir. La arena de fundición es sílice (SiO_2) o sílice mezclada con otros minerales. Esta arena debe tener buenas propiedades refractarias, expresadas como la capacidad de resistir altas temperaturas sin fundirse o degradarse. Otras características importantes son: el tamaño del grano, la distribución de tamaños del grano en la mezcla y la forma de los granos. Los granos pequeños proporcionan mejor acabado superficial en la fundición, pero los granos grandes son más permeables, para que los gases escapen durante el vaciado. Los moldes hechos de granos irregulares tienden a ser más fuertes que los moldes de granos redondos debido al entrelazado de los granos, pero esto tiende a restringir la permeabilidad.

En la fabricación del molde, los granos de arena se aglutinan por medio de una mezcla de agua y arcilla. La proporción típica (en volumen) es 90% de arena, 3% de agua y 7% de arcilla. Se pueden usar

otros agentes aglutinantes en lugar de la arcilla, como resinas orgánicas (por ejemplo resinas fenólicas) y aglutinantes inorgánicos (por ejemplo, silicato y fosfato de sodio). Algunas veces se añaden a la mezcla de arena y aglutinante ciertos aditivos para mejorar las propiedades del molde como la resistencia y permeabilidad.

En el método tradicional para formar la cavidad del molde se compacta la arena alrededor del modelo en la parte superior e inferior de un recipiente llamado *caja de moldeo*. El proceso de empaque se realiza por varios métodos. El más simple es el apisonado a mano realizado manualmente por un operario. Además, se han desarrollado varias máquinas para mecanizar el procedimiento de empaquetado, las cuales operan por medio de los siguientes mecanismos: 1) compactación de la arena alrededor del patrón o modelo mediante presión neumática; 2) acción de sacudimiento, dejando caer repetidamente la arena contenida en la caja junto al modelo, a fin de compactarla en su lugar; y 3) lanzamiento, haciendo que los granos de arena se impacten contra el patrón a alta velocidad.

Una alternativa a las cajas tradicionales para moldes de arena es el moldeo sin caja, que consiste en el uso de una caja maestra en un sistema mecanizado de producción de moldes. Cada molde de arena se produce usando la misma caja maestra. Se estima que la producción por este método automatizado puede ascender hasta seiscientos moldes por hora.

Se usan varios indicadores para determinar la calidad de la arena para el molde: 1) *resistencia*, capacidad del molde para mantener su forma y soportar la erosión causada por el flujo del metal líquido, depende del tamaño del grano, las cualidades adhesivas del aglutinante y otros factores; 2) *permeabilidad*, capacidad del molde para permitir que el aire caliente y los gases de fundición pasen a través de los poros de la arena; 3) *estabilidad térmica*, capacidad de la arena en la superficie de la cavidad del molde para resistir el agrietamiento y encorvamiento en contacto con el metal fundido; 4) *retractibilidad*, capacidad del molde para dejar que la fundición se contraiga sin agrietarse; también se refiere a la capacidad de remover la arena de la fundición durante su limpieza; y 5) *reutilización*, ¿puede reciclarse la arena del molde roto para hacer otros moldes?. Estas medidas son algunas veces incompatibles, por ejemplo, un molde con una gran resistencia tiene menos capacidad de contracción. Los moldes de arena se clasifican frecuentemente como arena verde, arena seca o de capa seca.

Los **moldes de arena verde** se hacen de una mezcla de arena, arcilla y agua, el término "verde" se refiere al hecho de que el molde contiene humedad al momento del vaciado. Los moldes de arena verde tienen suficiente resistencia en la mayoría de sus aplicaciones, así como buena retractibilidad, permeabilidad y reutilización, también son los menos costosos. Por consiguiente, son los más ampliamente usados, aunque también tienen sus desventajas. La humedad en la arena puede causar defectos en algunas fundiciones, dependiendo del metal y de la forma geométrica de la pieza.

Un **molde de arena seca** se fabrica con aglomerantes orgánicos en lugar de arcilla. El molde se cuece en una estufa grande a temperaturas que fluctúan entre 204 °C y 316 °C. El cocido en estufa refuerza el molde y endurece la superficie de la cavidad. El molde de arena seca proporciona un mejor control dimensional en la fundición que los moldes de arena verde. Sin embargo, el molde de arena seca

es más costoso y la velocidad de producción es reducida debido al tiempo de secado. Sus aplicaciones se limitan generalmente a fundiciones de tamaño medio y grande y en velocidades de producción bajas.

En los moldes de capa seca, la superficie de la cavidad de un molde de arena verde se seca a una profundidad entre 10 mm y 25 mm, usando sopletes, lámparas de calentamiento u otros medios, aprovechando parcialmente las ventajas del molde de arena seca. Se pueden añadir materiales adhesivos especiales a la mezcla de arena para reforzar la superficie de la cavidad.

La clasificación precedente de moldes se refiere al uso de aglutinantes convencionales, ya sea agua, arcilla u otros que requieren del calentamiento para curar. Se han desarrollado también moldes aglutinados, químicamente diferentes de cualquiera de los aglutinantes tradicionales. Algunos de estos materiales aglutinantes, utilizados en sistemas que no requieren cocimiento, incluyen las resinas furánicas (que consisten en alcohol furfural, urea y formaldehído), las fenólicas y los aceites alquídicos. La popularidad de los moldes que no requieren cocimiento está creciendo debido a su buen control dimensional en aplicaciones de alta producción.

A continuación se muestra una serie de fotografías que describen el proceso de fundición en molde de arena

Se fabrica una amplia variedad de tipos de vaciado. Abajo se muestra una fábrica que produce vaciados en molde de arena maquinados hechos de hierro dúctil.

		
Lingotes de hierro dúctil	Llenando un molde con arena	Cerniendo y Comprimiendo Arena
		
Medio molde de arena	Corazón de arena en medio molde	Medio molde con corazón en su lugar
		
Ensamblando las mitades del molde	Vaciando acero fundido	Vaciado laminar

