



## **CAPÍTULO 21: FUNDICIÓN DE PIEZAS**

### **21.1. INTRODUCCIÓN**

Se entiende por pieza de fundición o pieza obtenida por colada a un objeto metálico cuya forma se obtuvo al verter la aleación líquida en la cavidad de un molde, en la cual se deja solidificar para que quede con la forma de ésta. Esta es la manera más rápida y muchas veces el método más económico para obtener piezas de cierta composición. Si se usan moldes de arena, estos se destruyen una vez solidificada la pieza, pero al ser del tipo molde-permanente, es solamente abierto para poder extraer la pieza.

Aún cuando la microestructura de una pieza de fundición sea con frecuencia menos satisfactoria que la de una producida en su fase final por un proceso de elaboración plástica, deben considerarse muchos otros factores, tanto técnicos como económicos, al decidir sobre el método que ha de emplearse para producir un objeto con una forma determinada. Por ejemplo, componentes de forma complicada, tanto interna como externa conviene hacerlos como piezas de fundición y como resultado de esto se reducen al mínimo o se omiten totalmente las operaciones adicionales tales como maquinado y conformado plástico. Además, puede simplificarse la construcción, colándola de una sola pieza y eliminando la necesidad de métodos mecánicos o metalúrgicos de unión. El tamaño es también un factor importante en la producción y piezas muy grandes que pesan varias toneladas, serían difíciles y costosas de producir en forma que no fuera la de fundición. Muchas aleaciones tienen características tales que sea en caliente o en frío no pueden elaborarse por deformación plástica.

Se obtienen muchas propiedades útiles en Ingeniería, con mayor facilidad en piezas de fundición. Así pues, mientras que la direccionalidad de las propiedades mecánicas existe invariablemente en un material forjado, frecuentemente no se encuentra en una pieza de fundición. La presencia en la microestructura de un precipitado en la pieza, cuya presencia puede hacerla inadecuada para el conformado plástico, con frecuencia mejora la maquinabilidad. Así pues, la fundición gris es fácilmente maquinable debido a la presencia de partículas de grafito. Una característica importante adicional del hierro fundido es su capacidad para amortiguar vibraciones, haciéndolo un material muy útil para la construcción de grandes estructuras de máquinas, así como para cubiertas.

Solía considerarse que siempre las piezas de fundición eran como una generalidad de calidad inferior y poseedores de menor confiabilidad a las forjadas. Esto ya no es así hoy en día con los modernos procedimientos de control de calidad que permiten garantizar totalmente las propiedades de este tipo de piezas. Prueba de ello es la sustitución de partes de piezas de automóvil, por ejemplo el cigüeñal de muchos de los automóviles que circulan hoy y que "tradicionalmente" es fabricada de acero forjado, es ya una pieza de fundición (específicamente de fundición nodular) y su comportamiento es absolutamente digno de confianza, como se ha venido comprobando desde ya hace muchos años.

Las industrias de la fundición se pueden clasificar según el tipo de aleaciones usadas o



según el proceso de moldeo. Así tenemos Fundiciones de hierro (fundición gris, nodular, maleable y gris aleadas), Fundiciones de Aceros (aceros al carbono y aceros aleados), Fundiciones no ferrosas (latón, bronce o aleaciones base cobre, aleaciones de magnesio y aluminio, etc.)

Los principales procesos de moldeo son: Moldeo en arena, en molde permanente, moldeo a presión, moldeo de precisión a la cera perdida, fundición centrífuga, a molde lleno (moldeo de plumavit), etc.

## 21.2. MOLDEO EN ARENA

Este proceso requiere el moldeo con arena de fundición (arena lavada de granos de  $\text{SiO}_2$ , algo de agua 4 a 8%, además de un aglutinante como ser arcilla 5 a 20%) alrededor de un modelo adecuado de la pieza, de tal manera que éste pueda retirarse dejando una cavidad en el molde. Este proceso está ilustrado para una pieza en la Figura 1, en él se usa un molde de dos partes. El vaciado interior se logra con lo que se llama “alma”, el conducto por el cual se puede verter el metal líquido para llenar la cavidad se denomina “jitio”.

El modelo nunca es idéntico a la pieza, pues aún en el caso más simple debe tomarse en cuenta la contracción que sufre el líquido al solidificar. Incluso entonces, un modelo diseñado para un metal no puede ser usado para otro, salvo que la contracción de solidificación sea idéntica. La tabla 1 muestra las contracciones para distintas aleaciones:

**Tabla 1:** Contracciones de distintas aleaciones

<b>Aleación</b>	<b>% Contracción</b>
Fierro Fundido	1
Acero	2
Latón	1.5
Aluminio	1.3
Magnesio	1.3

Además si debe maquinarse para una terminación superficial adecuada, debe también dejarse el margen necesario de metal en el modelo. Con objeto de que pueda extraerse el modelo de la arena apisonada sin causar daño al molde, también es esencial que tenga salida suficiente. Además, en piezas complicadas los modelos suelen ser de más de una pieza.

Un método de moldeo que no usa modelo es el llamado “moldeado a la crapodina” (Figura 2) que es pues el método usado para hacer las campanas. Se puede vaciar la aleación en molde con o sin secado. En el primer caso se habla de moldeo en “verde”. A pesar que las arenas de fundición resisten bastante el calor (son refractarias), la temperatura del acero es lo bastante alta como para reaccionar con la arena de moldeo ordinaria, esto se evita pintando el molde o cubriéndolo con grafito pulverizado.

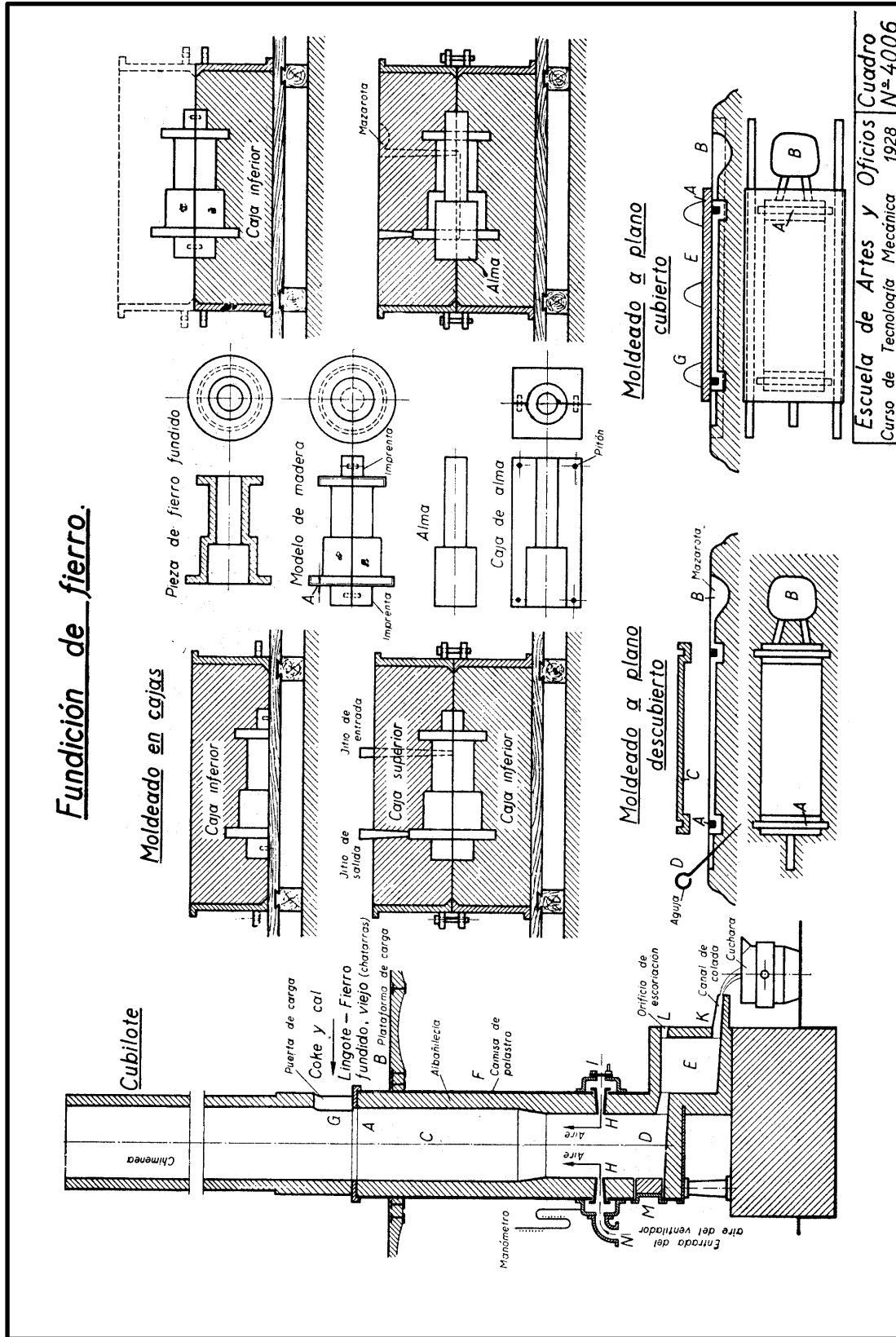


Figura 1: Fundición de fierro

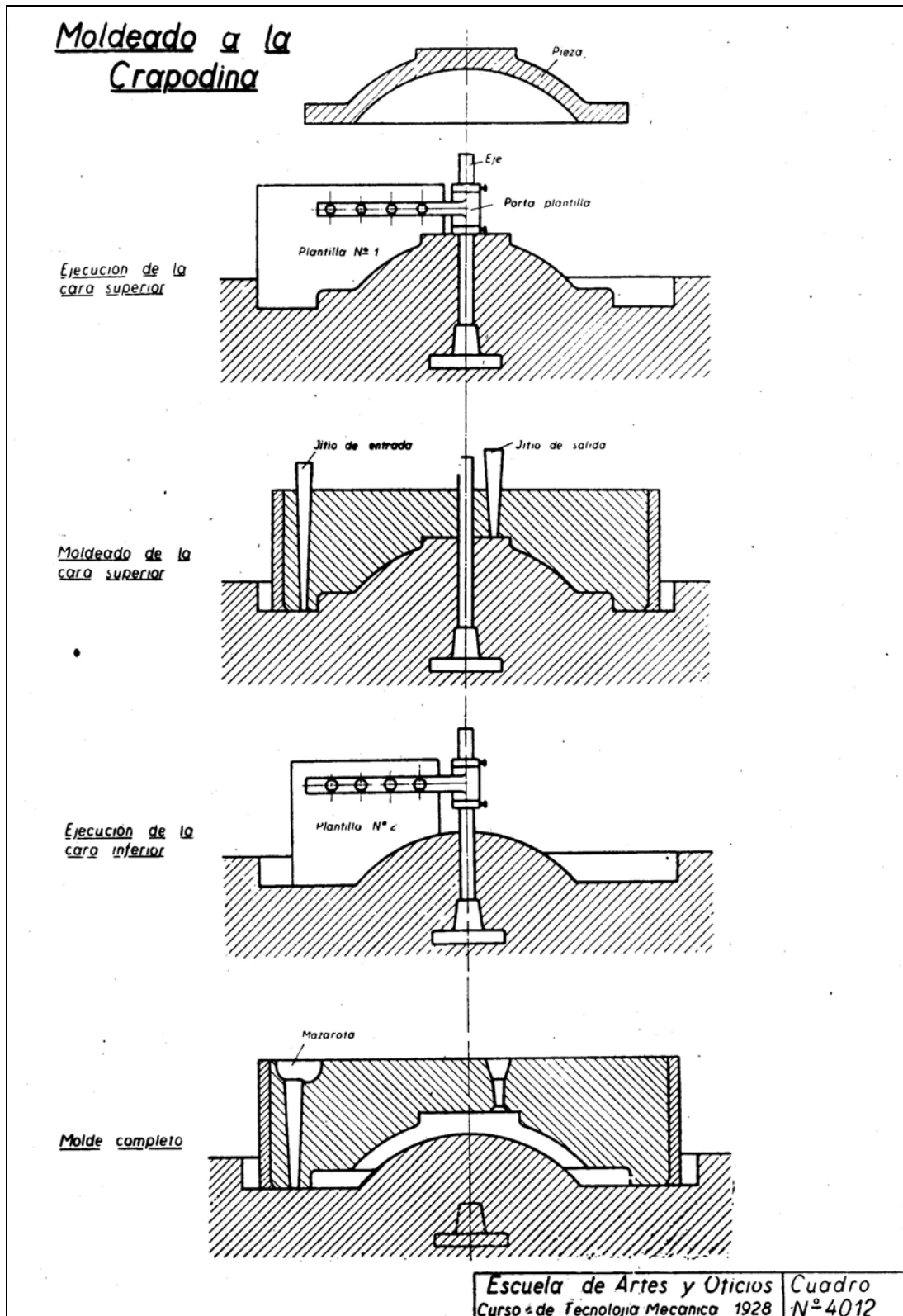
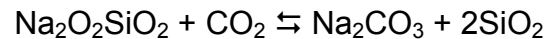


Figura 2: Moldeado a la crapodina



Para usar moldeo en seco es necesario llevar el molde a hornos, a unos 240°C, que aumenta el costo, pero es indispensable para piezas complicadas y grandes. Las almas siempre deben usarse en seco pues al estar casi totalmente rodeados por el metal, la humedad del alma no tiene por donde escapar más que por el metal produciendo defectos llamados sopladuras. Otra técnica para preparar el alma es usar arena sin agua, en este caso se usa arena de sílice con solución de silicato de sodio, de manera que los granos individuales de arena se recubran totalmente. La consistencia del alma se logra por gaseado con CO<sub>2</sub> a través de la arena apisonada. El CO<sub>2</sub> se usa para precipitar el Na del silicato. La reacción es:



El CO<sub>2</sub> reacciona con el silicato de sodio para formar un “gel” de sílice y carbonato de sodio que hacen de ligazón de los granos de arena. Esto permite endurecer el alma en la misma caja de alma.

### **21.2.1. ARENA CON RESINA**

Hoy en día el método más usado es arena con **resinas**. Estas **resinas** actúan como aglomerantes y son en la mayoría de los casos de carácter orgánico. En la práctica estas resinas se mezclan con la arena, luego, la mezcla se comprime a la forma deseada, ya sea molde o alma.

Los aglomerantes se endurecen, esto es, sufren con proceso de “curado”, ya sea por medio de reacciones químicas o térmicas. Normalmente se usan 1 a 2 partes de resina por cada 100 partes de arena.

Existe una amplia variedad de procesos en los cuales se utilizan resinas como aglomerantes de arena. Se pueden clasificar en las siguientes categorías.

- Sistemas no cocidos
- Sistemas curados térmicamente
- Sistemas de caja fría

En los sistemas no cocidos y de caja fría, el aglomerante reacciona a la temperatura ambiente. En procesos como Shell Molding, caja caliente, el curado se produce por aplicación de calor.

La selección del proceso y tipo de aglomerante depende del tamaño y número de moldes y almas, de la velocidad de producción y del equipamiento disponible.

#### **21.2.1a. PROCESO NO COCIDO**

De aglomeración con resinas “no cocido” se basa en el curado de 2 o más aglomerantes a temperatura ambiente. El curado de aglomerantes comienza



inmediatamente después que se combinan los componentes. Las resinas más utilizadas en este proceso son:

- Resinas Furánicas
- Resinas Fenólicas
- Resinas Uretánicas
- Resinas Poli-isocianato
- Resinas Alúmina-fosfato
- Resinas Aceite uretánicas

### 21.2.1b. PROCESO CAJA CALIENTE (curados térmicamente)

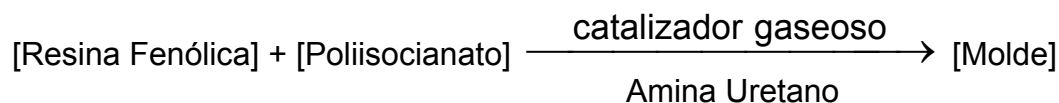
En los procesos de caja caliente se mezclan una resina aglomerante con catalizador ácido y la arena. Esta mezcla se lleva al horno. La temperatura de curado depende del proceso. Durante el calentamiento, el catalizador genera un ácido que provoca un curado rápido, cerca de 10 a 30 segundos de duración. Luego que las almas y moldes se remueven desde los modelos, el curado se completa como resultado de una reacción química exotérmica. Un mecanismo de la reacción simplificado es:



Las temperaturas usadas en este proceso varían entre 220 y 245 °C.

### 21.2.1c. PROCESOS DE CAJA FRÍA

Este proceso implica el curado del sistema arena-resina, a temperatura ambiente acelerado por un catalizador en estado de vapor o gas que difunde a través de la arena. Los catalizadores más utilizados son tritilamina, dimetil letilamina para aglomerados fenólicos-uretánicos. Dióxido de azufre para resinas furánicas y epóxidos acrílicos para resinas fenólicas. Una reacción simplificada del proceso es:



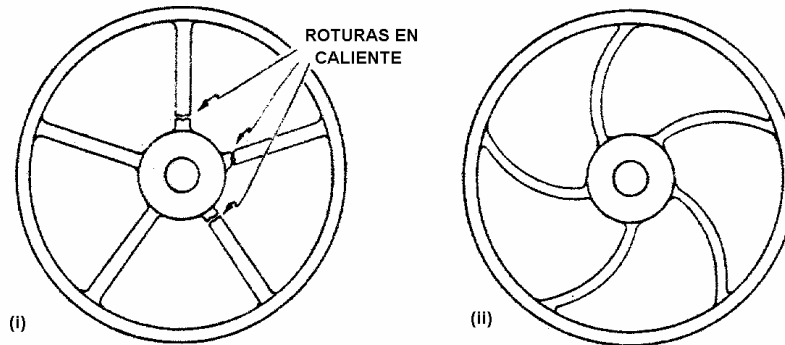
La reacción no produce agua o algún otro producto.

### 21.2.2. DEFECTOS DE PIEZAS

Además de los muchos defectos obvios de una mala confección del molde existen otros defectos como el "rechupe" ya descrito y las "sopladuras" producto de gases que no pudieron salir del molde por falta de permeabilidad de la arena de moldeo o a una pobre ventilación (falta de salida de gases). Otro defecto son las inclusiones, que son presencia de partículas de escoria u óxido en el metal fundido, procedentes del horno o de arena suelta en el molde.

### 21.2.3. ROTURAS EN CALIENTE

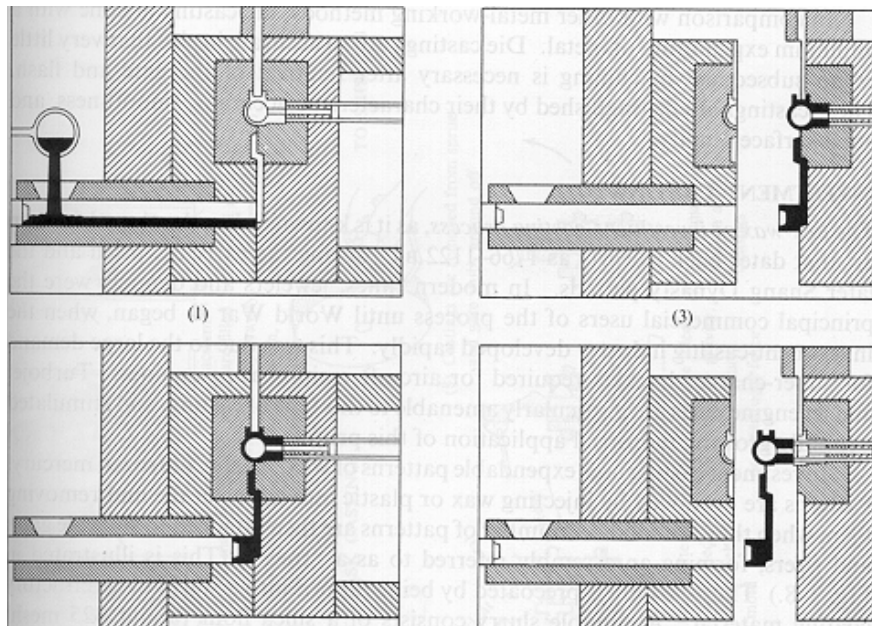
Son grietas que se forman por los esfuerzos de contracción en la pieza en el momento que termina la solidificación, especialmente si las distintas partes solidifican a tiempos distintos (Ver Figura 3)



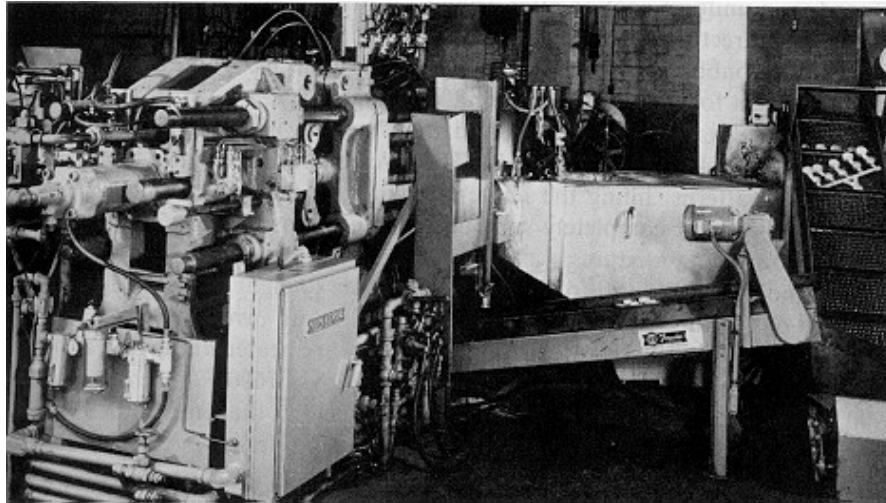
**Figura 3:** Roturas en caliente

### 21.3. FUNDICIÓN EN MOLDEO PERMANENTE A PRESIÓN O POR INYECCIÓN

Las principales ventajas que se obtienen por uso de la presión en el proceso de colada es la rapidez de transferencia del metal fundido desde el baño al molde, que resulta en poca pérdida de calor pudiendo colarse piezas de sección delgada y en segundo lugar, ya que se mantiene la presión durante la solidificación, los efectos de rechufe se eliminan en gran parte.



**Figura 4:** Esquema de moldeo por inyección

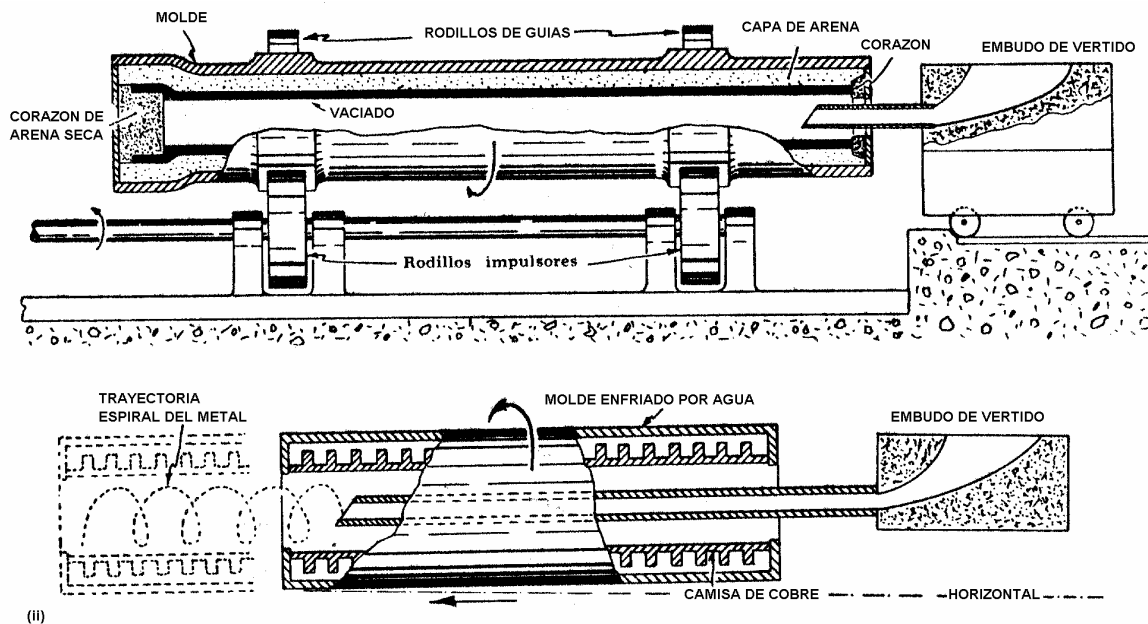


**Figura 5:** Equipo para moldeo por inyección

Este proceso sólo es económicamente factible si se requiere un gran número de piezas debido al alto costo inicial del molde. Otras ventajas de este proceso es su buen acabado superficial y grano extremadamente fino por la alta velocidad de enfriamiento. Los moldes permanentes son de acero especial que soportan la alta temperatura y presión de las aleaciones de cinc, latón y aluminio.

#### 21.4. FUNDICIÓN CENTRÍFUGA

Este proceso se emplea en la manufactura de productos cilíndricos huecos. Se han confeccionado cañones, tubos, ejes huecos de hélices de barco, etc.



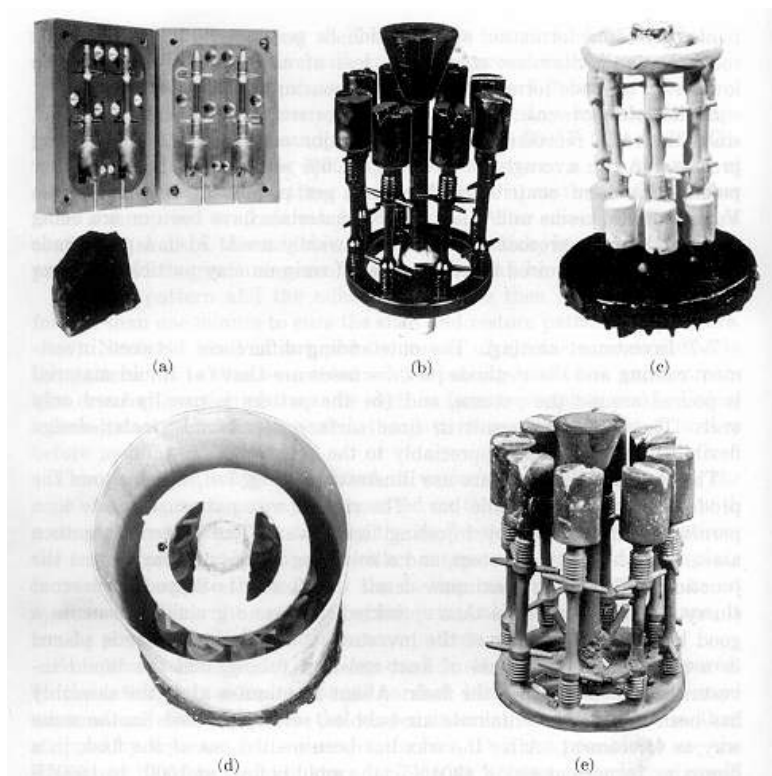
**Figura 6:** Fundición centrífuga



## 21.5. MOLDEO DE PRECISIÓN A LA CERA PERDIDA

En un proceso conocido ya hace varios miles de años (1800 A.C. en Egipto y China). Hoy en día se usa mucho por joyeros y dentistas. Consiste en confeccionar los modelos de cera, plástico o mercurio solidificado por inyección a una matriz. Estos modelos son cubiertos por material refractario para hacer el molde. Este molde con los modelos de cera en su interior es calentado a una temperatura adecuada para que la cera pueda escurrir y dejar al molde en condiciones de ser llenado por la aleación líquida correspondiente. Las principales ventajas de este método son:

- Excelente suavidad de la superficie
- Gran precisión en las dimensiones en la condición de colada
- Maquinado mínimo para terminar la pieza
- Posibilidad de producir formas complicadas.



**Figura 7:** Ejemplos de moldeo de precisión a la cera perdida

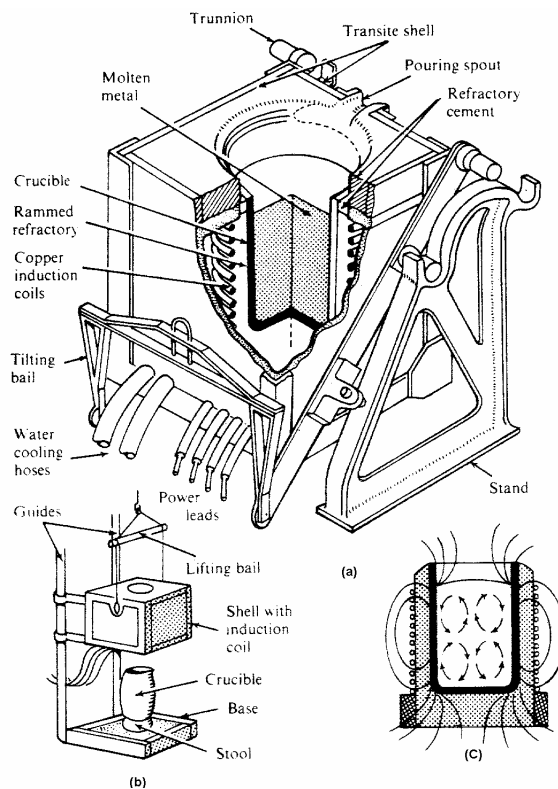
## 21.6. HORNOS PARA FUNDICIÓN

Aunque existe una gran variedad de hornos disponibles para fundir la aleación que difieren en su forma y en el tipo de combustible empleado, realmente sólo basta con considerar algunos factores para hacer una aleación adecuada de ellos. Estos factores son:

- a) Composición química de la aleación: control de los elementos, tamaño, forma y composición de los materiales a constituir la carga son importantes.

- b) Temperatura de fusión de la aleación: para piezas delgadas o complicadas la aleación debe colarse a temperatura bastante por encima de su punto de fusión.
- c) Capacidad de fusión: son importante la cantidad y si es una producción continua o intermitente de aleación
- d) Costo de fusión: es un balance entre el costo de la inversión y el costo de la operación.

En las siguientes figuras se muestran varios tipos de hornos de fusión. Todos los hornos de marcha intermitente tienen un baño calentado ya sea por petróleo, gas o electricidad. El más antiguo es el de tipo crisol y el más usado en aleaciones no ferrosas (cobre, aluminio, etc.). El crisol más corriente para los no ferrosos es el de grafito o también de carburo de silicio, este crisol provee una atmósfera levemente reductora del carbono que se oxida pero que afortunadamente no es disuelto por las aleaciones no ferrosas. No podría usarse crisoles de grafito para fundir acero, pues este disolverá carbono terminando más bien con una fundición al final de la fusión. El crisol es calentado por una llama y por radiación de las paredes laterales. Este método ya no se usa para los aceros, el horno de inducción eléctrica es el sustituto moderno usando crisol de magnesita ( $MgO$ ) o circonita ( $ZrO_2$ ) que son materiales refractarios de alto punto de fusión y relativamente baratos.

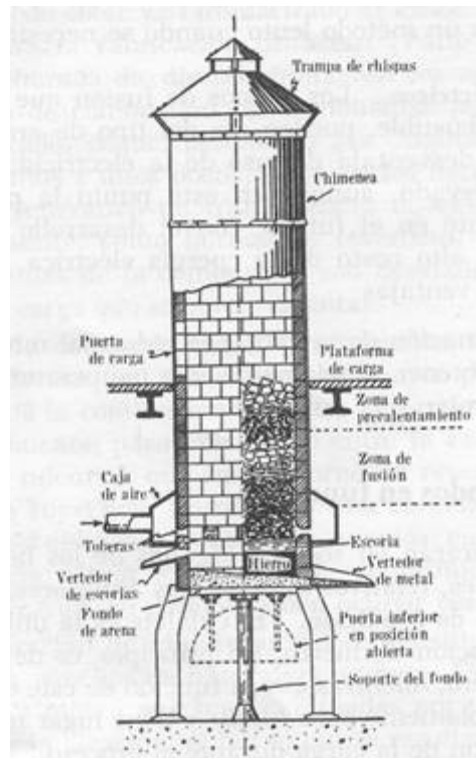


**Figura 8:** Horno de crisol

Los hornos de arco también permiten alcanzar alta temperatura rápidamente, el de arco indirecto el calor irradia desde las paredes que son osciladas en vaivén debajo del baño.

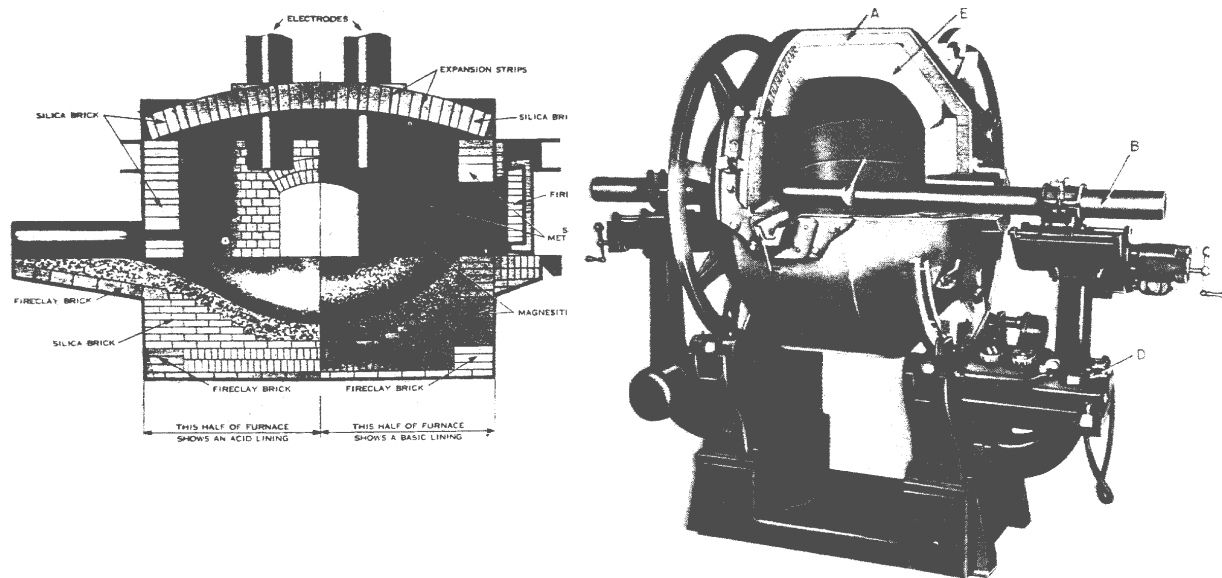
El cubilote es un horno de marcha continua que no tiene prácticamente baño. Tal como lo muestra la figura el metal cargado (arrabio sólido) es fundido por los gases calientes provenientes de la camada de coque, y las gotas de metal reciben calor adicional a medida que caen entre el coque incandescente.

El coque consumido durante la fusión es reemplazado por adición de nuevo coque entre carga y carga. La escoria que se forma encima del metal proviene de la caliza y ceniza del coque. Se usa principalmente para hierro fundido pero también de usa para latón y bronce. Su capacidad es de 100 kg por minuto por metro cuadrado de sección.



**Figura 9:** Horno de cubilote

El horno más versátil disponible para una fundición es el horno de arco directo con revestimiento refractario de carácter básico. Este es el horno ya descrito en la sección correspondiente a la fabricación de aceros aleados. Este horno se presta para fundir cualquier carga y más importante para obtener acero de óptima calidad por el proceso de doble escoria, ya descrito, que permite eliminar tanto fósforo como azufre del baño.



**Figura 10:** Hornos de arco

## 21.7. PLANTA DE UNA FUNDICIÓN

El esquema presentado en la figura 11 muestra un diagrama de flujo de una fundición con sus distintos departamentos y operaciones.

Así tenemos dos materiales básicos de entrada la arena de fundición y el metal. El primero termina con la confección del molde, mientras que el metal pasa por la fusión antes de juntarse éste con el molde, donde es vaciado. La arena vuelve al punto de partida una vez acondicionada. La arena vuelve al punto de partida una vez acondicionado mientras que la pieza pasa a sección limpieza, etc. hasta inspección y despacho tal como lo indica el gráfico.

El horno más versátil disponible para una fundición dispone una fundición es el horno de arco directo con revestimiento refractario de carácter básico. Este es el horno ya descrito en la sección correspondiente a la fabricación de aceros aleados. Este horno se presta para fundir cualquier carga y más importante para obtener acero de óptima calidad por el proceso de doble escoria, ya descrito, que permite eliminar tanto fósforo como azufre del baño.

