

# Fundición de precisión

Ing. Héctor Mosquera M.  
Ingeniero Metalúrgico Especializado  
en Metalurgia Física y Fundición

En la fundición de precisión se busca principalmente, buena precisión dimensional, excelente acabado superficial, apariencia, copiado de fines detalles, eliminar al máximo los procesos de mecanizado y minimizar al máximo el desperdicio de metal.

Los modelos utilizados pueden ser:

1. **Modelos perdidos**, tales como cera, poliestireno expandible, mercurio y parafina mezclado con cera de abejas.
2. **Modelos reutilizables**: plástico, aluminio, yeso y siliconas. Los cuales se moldean con pasta cerámica de granulometría extremadamente fina, (150 a 200 Mesh).

La escogencia del material para el modelo; tipo y finura del recubrimiento, dependen fundamentalmente de los detalles que se deseen copiar, de lo intrincado que sea la forma de la pieza y de las tolerancias dimensionales permitidas en el diseño.

El proceso es aplicable para obtener piezas cuyo peso oscila entre 0.010 Kg. y hasta incluso 50 Kg. o más.

## VENTAJAS DEL PROCESO

1. Se adapta principalmente a la producción de formas extremadamente complejas; por lo tanto, ofrece la máxima libertad en el diseño y configuración de las piezas.
2. Permite reproducir los más finos detalles de las piezas quedando las superficies lisas, y uniformes.
3. Mediante estos procesos se puede controlar estrictamente las propiedades metalúrgicas de las aleaciones obtenidas, tales como: Tamaño y orientación de los granos, solidificación direccional, control de la segregación y del contenido de inclusiones, eliminar las microcavidades etc, lo cual resulta en un estrecho control de las propiedades mecánicas.
4. Excelente precisión dimensional, lo cual minimiza el mecanizado, y en algunos casos lo elimina; operación esta que es muy común en los procesos convencionales de fundición. lo cual lo hace adaptable para la fabricación de matrices y para la producción de aleaciones de difícil mecanizado.

Los procesos de fundición de precisión, se enmarcan dentro de las tecnologías modernas para la producción de piezas y partes de excelente acabado superficial, buena precisión dimensional y elevadas propiedades mecánicas. En este artículo se pretende dar a conocer las técnicas seguidas, los avances logrados y las ventajas de algunos métodos de fundición de precisión, tales como: "Fundición evaporativa y Procesos a la cera perdida".

Los procesos de fundición de precisión producen los mejores resultados en cuanto a propiedades mecánicas se refiere, cuando se utilizan sistemas de fusión que incluyen Horno de Inducción al vacío, por las siguientes razones metalúrgicas:

1. Se reduce considerablemente la cantidad de gases disueltos.
2. Se obtienen aleaciones de adecuada pureza al ser eliminadas las impurezas (Pb, Bi, Sn y Zn) por volatilización.
3. Reduce la contaminación del metal, debido a que el sistema de vacío hace que las presiones parciales del nitrógeno y del oxígeno (elementos comunes en la atmósfera) sean demasiado bajas, con lo cual se inhibe la formación de óxidos y Nitruros de aluminio, titanio, boro y otros metales reactivos.
4. En el proceso de afino, puede utilizarse el bióxido de carbono ( $CO_2$ ), eliminando así la práctica convencional de utilizar escorias para la refinación del metal, con lo cual se consigue disminuir considerablemente el contenido de inclusiones en las piezas.

### FUNDICION EVAPORATIVA

Es quizás el proceso de fundición de precisión más avanzado. En este proceso, tanto el modelo como el sistema de alimentación son fabricados en Poliestireno expandible; al que se le aplica un revestimiento refractario permeable el cual se deja endurecer y secar al aire; el conjunto así formado se lleva a la caja de moldeo, donde se rellena con arena seca (suelta) de alta permeabilidad; luego el metal fundido (caliente) es vertido, con lo cual se produce la evaporación del poliestireno. El vaciado del metal debe hacerse lo suficientemente rápido para evitar la combustión del poliestireno y así prevenir la presencia de inclusiones debido a productos de combustión.

A medida que el metal avanza en el molde, el poliestireno se va evaporando y los gases son impulsados a salir por el mismo empuje del metal.

Los gases producidos por la evaporación del poliestireno son evacuados a través del material de moldeo y de los respiradores o vientos hechos para tal propósito (ver figura 1).

Este proceso presenta las siguientes ventajas frente a los procesos convencionales de fundición y con relación a otros procesos de fundición de precisión:

1. Se obtienen las mejores propiedades a más bajo costo que en cualquier otro proceso de fundición de precisión.
2. El proceso requiere menos tiempo.

3. No hacen falta ángulos de salida en el modelo.
4. Consume menor cantidad de metal.
5. No se requieren machos.
6. El proceso es apto para producir piezas de espesores tan pequeñas como 0.10 pulgadas o menos.

Este proceso es ventajoso sólo para piezas cuyo peso sea inferior a 0.5 Kg aunque técnicamente se permite fundir piezas de mayor peso.

La fundición evaporativa con modelo de poliestireno puede aplicarse con éxito desde una producción de unas pocas piezas (10 unidades) hasta incluso 10.000 o 15.000 piezas.

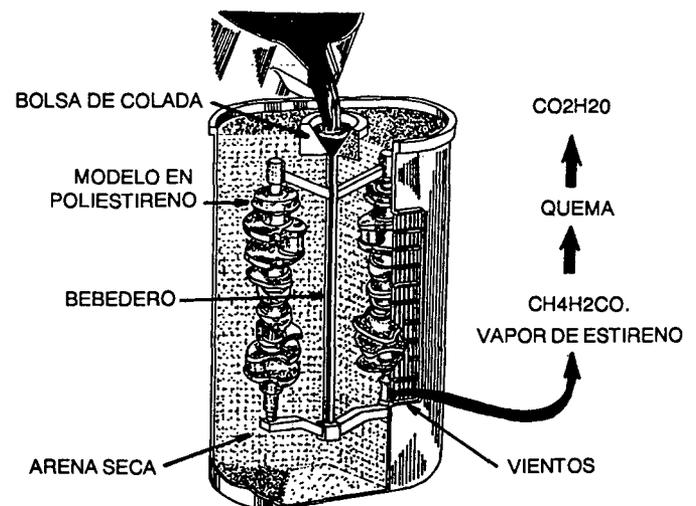


FIGURA 1: Esquematación del Proceso de Fundición Evaporativa

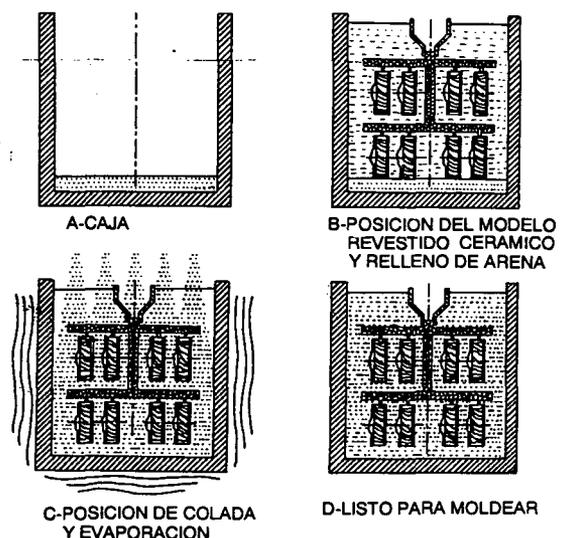


FIGURA 2: Disposición de modelos evaporativos en la caja de moldeo



### FUNDICION A LA CERA PERDIDA

Las etapas de este proceso a nivel industrial son las siguientes:

**1. Inyección de cera para obtener los modelos:**

La presión de inyección se debe mantener algunos segundos (de acuerdo al tamaño del modelo) con el propósito de compensar la contracción de la cera. (ver tablas 1 y 2).

Extraídos los modelos de la matriz, se desbarban si es necesario.

**2. Se arman los racimos (o esqueletos de modelos en cera.**

**3. Se aplica revestimiento refractario; de finura del orden de 200 a 325 mesh (grano fino); lo cual se logra por dos o tres inmersiones de los racimos en la pasta refractaria (ver fig. 4) la cual consiste en sílice (arena), aunque se pueden utilizar otros materiales refractarios tales como yeso, óxido de zirconio, magnesita, silimanita (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.SiO<sub>2</sub>); dependiendo de la temperatura del metal fundido o del propósito que se desee alcanzar.**

**4. Sobre el recubrimiento cerámico se espolvorea arena de finura del orden de los 100 mesh; lo cual proporciona una adecuada unión con el relleno posterior.**

**5. Encamisado y relleno con arena de molde gruesa, provista de aglomerante (mediante vibración). El propósito de este relleno es proporcionar estabilidad en la forma de la capa interna de grano fino, al derretir la cera y al efectuar la colada del metal.**

**6. Las camisas se llevan al horno de cocción continuo; el cual esta provisto de tres o cuatro zonas de temperatura (150 a 200, 300 a 500, 800 a 1000 y 600 a 900), así:**

**zona 1:** (se funde y escurre la cera);

**zona 2:** (se evapora la cera);

**zona3:**(se estabiliza la temperatura de molde y los residuos de cera son completamente removidos) y

**zona 4:** (colada del metal en la cavidad del molde). Estos hornos continuos van provistos de recuperadores de cera, tanto en la fase líquida como en la fase vapor.

**7. Colado del metal, enfriamiento, desmoldado, desbarbado y limpieza.**

Para mayor comprensión del proceso de fundición a la cera perdida, ver figura 3.

Las ceras utilizadas en este proceso tienen una manifiesta ventaja sobre los materiales ordinarios de fundición ya que dan lugar a piezas fundidas que tienen extrema-

Características Físicas	Cera Tipo 1	Cera Tipo 2
Punto de fusión, ASTM D. 127, (en °C)	83 a 88	75 a 80
Punto de solidificación, ASTM D. 938, (en °C)	68 - 73	60 - 65
Penetración a 25oC, ASTM D. 1321	1/3	2/5
Viscosidad Brookfield (en C Ps) a 100 oC	150 - 200	30 - 50
90 °C	200 - 300	45 - 70
80 °C	300 - 500	80 - 100
Contenido de Cenizas, ASTM D. 482	0.15 max.	01 max.
Contracción volumétrica (entre 80oC y 25°C)	Rojo oscuro	Rojo
Contracción lineal	7.2% max.	7.8% max.
Peso específico a 25°C	1.0 max.	
ESPECIFICACIONES		
Temperatura de inyección (en oC)	65 - 70	56 - 60
Período de endurecimiento (Gradiente de plasticidad)	bajo/medio	bajo

Estas ceras para microfusión no deben contener materiales de relleno y su recuperación debe ser del 100%.

Características Físicas	Cera Tipo 1	Cera Tipo 2
Punto de fusión, ASTM D. 127 (en °C)	63 a 67	64 a 80
Punto de solidificación, ASTM D-566-42 (en °C)	2/3.5	58.62
Penetración a 25oC, ASTM D. 1321-61 T		4a8
Viscosidad Brookfield en C Ps a 110°C	15 a 25	40 a 50
100°C		50 a 60
90°C		70 a 90
Contracción volumétrica entre 80°C y 30°C	6%	6%
Color	Verde y amarillo	rojo

\* Cortesía de IBERCERAS

Tabla 2. Características de las ceras para microfusión utilizadas en joyería.

Características	Valor típico		
	Parafina Liviana	Parafina media	Parafina microcristalina
Aceite, %masa	0,97	1,03	1,11
color, ASTM			1,0
Color Saybolt	+ 26	+26	
Densidad relativa 15,6 °C / 15,6 °C	0,8118	0,8203	0,8428
Penetración a 25°C, mm / 10	12	12	12
Penetración a 37,8 °C mm / 10	43	20	23
Punto de Fusión, °C	54,6	60,9	79,8

Las ceras Parafínicas o sencillamente Parafínicas, son una mezcla de hidrocarburos saturados de cadena recta, cuyo peso molecular oscila entre 320 y 560, que presentan consistencia sólida a temperatura ambiente. Su obtención se efectúa mediante procesos de extracción con solvente a partir de las fracciones de crudos parafínicos con rango de destilación entre 350 a 650°C.

\* Cortesía de ECOPETROL

Tabla 3. Propiedades de las ceras parafínicas.

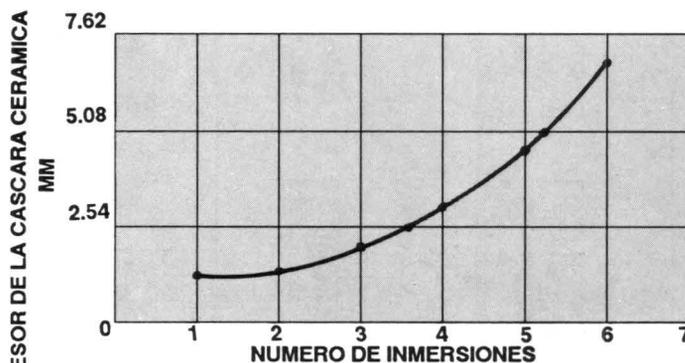


Figura 4. Efecto del número de inmersiones en el espesor del recubrimiento cerámico.

damente buenas características superficiales, aristas definidas y estabilidad dimensional. También poseen un bajo coeficiente de expansión, tienen viscosidad media en estado líquido y son fácilmente extraídas de las matrices, son 100% recuperables (ver tabla 1 y 2).

□ Entre sus características principales y comportamiento que deben tener las ceras se destacan:

**1. Adecuada resistencia.**

**2. Tenacidad y elasticidad.**

Los perfiles de las piezas y su exactitud dimensional son propiedades recuperables después de cualquier modificación temporal.

**3. Moldeabilidad.**

Posee una superficie tersa y reduce al mínimo al acabado mecánico.

**4. Adecuado comportamiento de solidificación.**

El material semifundido solidifica lo suficientemente rápido como para facilitar la producción, pero reteniendo otras características vitales de enfriamiento, como reducida contracción y buena fluidez.

**5. Reducida Contracción**

**6. Uniformidad.**

**7. Buenas características de envejecimiento.**

**8. Amplio intervalo de fusión.**

Lo que elimina los inconvenientes debido a una solidificación excesivamente rápida.

**9. Buena estabilidad al calor.**

**10. Contenido reducido de cenizas.**

**11. Desmoldeo excepcionalmente bueno.**

Ningún componente de la cera se separa durante el proceso de calentamiento y reciclado.

## PARTE EXPERIMENTAL

Ante la necesidad de reemplazar el silicato de etilo, por su elevado costo y difícil consecución (materia prima importada), se desarrolló en el Laboratorio de Fundición de la Universidad Nacional - Bogotá, el método para la fabricación de silicato de potasio, el cual constituye una alternativa importante como agente ligante en la fabricación de las cáscaras cerámicas.

Para la fabricación y estudio de las cáscaras cerámicas, se utilizó: Sílice lavada y calcinada (de finuras 50, 100 y

200 mesh), Óxido de Magnesio Coloidal y Silicato de Potasio.

Los modelos se fabricaron con materia prima totalmente nacional: Parafina liviana mezclada con cera de abejas (ver tabla 3 sobre las características de la parafina utilizada). Se colaron en matriz de yeso.

Para producir las cáscaras se procedió así:

En la primera y segunda inmersión del modelo se utilizó la siguiente mezcla: Sílice de 200 mesh 90%, óxido de magnesio, 10% Silicato de Potasio.

En la tercera y cuarta inmersión la mezcla fué;

Sílice de 100 mesh 95%, óxido de magnesio 5% y Silicato de Potasio.

La quinta inmersión se preparó con: Sílice de 50 mesh 100% y Silicato de Potasio.

Una vez eliminado el modelo por calentamiento lento hasta alcanzar los 250°C, las cáscaras se llevaron a 700°C para que el silicato de potasio reaccionara con la Silicen y formara el Ortosilicato de Potasio. Luego las cáscaras se colocaron en cajas de moldeo y se atracaron con arena de moldeo; el conjunto así formado se calentó a 600°C y acto seguido se procedió a colar el metal: Hierro fundido y aluminio; los modelos fueron probetas para ensayo de tensión.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se logró obtener un silicato de la siguiente composición:

69% de agua y 31% de Silicato de potasio, aunque lo recomendado es 65% de agua y 35% de Silicato de Potasio.

Durante la colada tanto del hierro como el aluminio, las cáscaras cerámicas presentaron buena refractariedad.

En la tabla 4 se observan las variaciones dimensionales y el acabado superficial de las probetas coladas.

El lavado y calcinación del Sílice son importantes para eliminar totalmente la arcilla y los volátiles respectivamente, con lo cual se aumentó la refractariedad de las cáscaras.

En un ensayo que se realizó con Silicato de Sodio colando aluminio se observa buen acabado superficial, por lo tanto se recomienda continuar con la investigación utilizando Silicato de Sodio que es más barato que el Silicato de potasio y de más fácil consecución en nuestro medio.

Se comprobó que técnicamente es posible sustituir el Silicato de etilo como aglutinante por silicato de potasio.

Es indispensable que los moldes estén calientes ( $600^{\circ}\text{C}$  -  $800^{\circ}\text{C}$ ) en el momento de la colada.

Identificación	Longitud		Diámetros		Rugosidad micropulgada (pulg)	Observación
Modelo	60.0	20.0	10.50	19.90		No se determ.
Aluminio No. de ensayo						
1	59.20	19.50	10.10	19.05	30	
2	59.25	19.55	10.15	19.10	30	
3	59.15	19.45	10.05	19.00	30	
Fundición de Hierro Gris No. de Ensayos						
1	59.30	19.60	10.30	19.15	55	
2	59.40	19.65	10.35	19.30	50	
3	-	-	-	-	-	No lleno

**Tabla 4.**  
Precisión dimensional y acabado superficial.

## BIBLIOGRAFIA

### Libros

- TITOV, ND.D. y STEPASNOV, Y.A.  
Tecnología de los Procesos de Fundición.
- A.S.M. Metals Hand Book Vol. 5 B. Casting.
- A.S.M. y A.F.S.- P.J. MIKELONIS.  
Foundry Technology.
- U. SCHARER, J.A. RICO, J. CRUZ.  
Ingeniería de Manufactura
- B.H. AMSTED; P.F. OSTWALD y M.L. BEGEMAN. Procesos de Manufactura.
- P.R. BEELEY. Foundry Technology.

### REVISTAS

1. Modern Casting. Junio 1978 pág. 68 y 69.
2. Metal Progress. Diciembre 1982 págs. 21 a 26.
3. Modern Casting. Septiembre 1965 págs. 65 a 77.
4. Ingeniería e investigación. Vol 2 N° 2 - 1983 págs. 18 a 27.