

Obtención de Piezas de Aluminio Mediante el Proceso de Colado con Modelos de Poliestireno Expandido

Álvarez A. * Campos M. * Cárdenas V. ** Oviedo F. **
Revelo F. *

* Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica
Quito, Ecuador (e-mail: {acubo_83; marcepampitos}@hotmail.com)
** Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Materiales
Quito, Ecuador (e-mail: {victor.cardenas; fausto.oviedo}@epn.edu.ec)

Resumen: *El presente trabajo tiene por objetivo la obtención de piezas de aluminio mediante el Método de Fundición a la Espuma Perdida (Lost Foam Casting - LFC), se trata de un proceso de fabricación de modelos de poliestireno expandido con el fin de fabricar piezas de geometría intrincada, estrechas tolerancias dimensionales y buenos acabados superficiales. Se analiza los diferentes procesos de fundición por modelo perdido, la descripción general del proceso, así como también los fundamentos principales para la producción. Posteriormente se describen las pruebas realizadas, conclusiones y recomendaciones del trabajo.*

Palabras clave: *Poliestireno expandido; pellets; Pintura Refractaria; matriz; colada; aleación de aluminio.*

Abstract: *The aim of research is to obtain pieces of aluminum by the method of lost foam casting (Lost Foam Casting - LFC) it is a manufacturing process of expanded polystyrene models to produce intricate geometry, close dimensional tolerances and good surface finishes. Different process of casting by lost model are analysed, the casting process description, but also the main basis for production. Then tests which are made are described, conclusions and recommendations are included.*

Keywords: *Expanded polystyrene; pellets; refractory paint; core; wash; aluminum alloy.*

1. INTRODUCCIÓN

Ventajas del proceso

Cuando las plantas de fundición de metales de alto nivel tecnológico desean producir piezas de geometría intrincada, estrechas tolerancias dimensionales y buenos acabados superficiales, uno de los procesos preferidos hoy en día es el proceso de Fundición a la Espuma Perdida (FEP).

Solo alrededor de 32 plantas de fundición a nivel mundial tienen implementado este proceso de manera eficiente, en países como Francia, Japón, Canadá y Estados Unidos. En Cali Colombia la empresa Cobral Ltda. es una de las plantas de FEP en Latinoamérica, la cual dio una mayor relevancia a la necesidad de optimizar el proceso FEP instaurado en dicha empresa para la producción de discos y campanas de freno. En el Ecuador no existe ninguna Empresa que utilice este método de fundición. Tampoco existen investigaciones sobre el tema.

- Como en todos los procesos que utilizan modelos no permanentes, se evita el problema del almacenaje de los modelos.
- La precisión de las piezas coladas es grande, ya que la utilización de la Espuma de Poliestireno Expandible (EPS) permite tolerancias muy ajustadas.
- Sencillez en sus etapas y posibilidad de reciclado lo que supone un ahorro en algunos de sus materiales.
- Se facilita el reciclado de la arena debido a la ausencia de aglutinante.
- La cantidad de arena empleada es generalmente menor que en un método de arena en verde.
- No es necesaria la utilización de machos.
- Los modelos pueden prepararse uniendo partes más sencillas con adhesivos adecuados.
- Facilidad de automatización lo que supone una disminución de costes de operación y defectos en modelos, moldes y piezas.

- Mejores condiciones de acabado superficial que con el moldeo de arena, y ausencia de rebabas y líneas de partición en la pieza final.
- Libertad de diseño, siendo esta prácticamente ilimitada.
- Posibilidad de incorporar insertos metálicos en la pieza de fundición.

Procesos de fundición por modelo extinguido

Dentro del conjunto procesos de fundición por modelo extinguido se destaca el Método de Cera Perdida (Lost Wax Casting - LWC), Método de Espuma Perdida (Lost Foam Casting - LFC), Cáscara de Cerámica Invertida (Investment) y Fundición por Réplica (Fundición por réplica) figura 1.

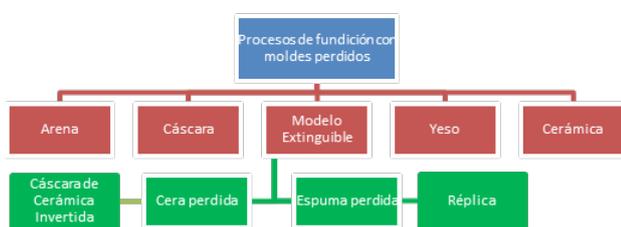


Figura 1: Diagrama general de los procesos de fundición.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1 Materiales.

Poliestireno Expandido EPS.

El modelo de EPS ha sido y probablemente seguirá siendo el material preferido para la fabricación de los modelos de espuma pérdida. Hay otros materiales de espuma en desarrollo que muestran alguna promesa, pero a la fecha su uso es bastante limitado. Hay varios grados de EPS, como se indica en la Tabla 1 Grados T y X se prefieren porque dan la pauta de espuma moldeadora con la capacidad de producir superficies más lisas y secciones más delgadas para modelos de espuma perdida.

Tabla 1: Grados de Poliéstireno Expandido.

Grado de perla	Diámetro bruto de la perla		Diámetro para 0,024 gr/cm3	Uso típico	
	mm	in		mm	in
A	0.83-2.00	0.033-0.078	2.5-5.9	0.097-0.231	Aislamiento
B	0.58-1.2	0.023-0.047	1.7-3.5	0.068-0.138	Empaque
C	0.33-0.71	0.013-0.028	1.0-3.1	0.040-0.082	Vasos (café)
T	0.25-0.51	0.010-0.020	0.74-1.5	0.029-0.058	Espuma perdida
X	0.20-0.33	0.008-0.013	0.61-1.0	0.024-0.040	

Recubrimiento Refractario.

Para la realización del recubrimiento refractario se utilizan los siguientes materiales (tabla 2):

Tabla 2: Composición final del recubrimiento refractario.

Componentes	% porcentaje	Cantidad (g)
Arcilla malla 200	26,27	262,7
Silicato de Sodio	0,13	1,3
Carbonato de Sodio	0,09	0,9
Sílice malla 200	36	360
Melaza	5	50
Agua	32,51	325,1

2.2 Métodos

El presente trabajo se divide en cuatro fases:

- (1) Diseño de la matriz para modelos de EPS
- (2) Obtención de modelos de EPS
- (3) Elaboración de Pintura refractaria y pintado de modelos EPS
- (4) Obtención de la pieza de aleación de aluminio

Diseño de la matriz para modelos de eps

El diseño de la matriz estuvo enfocado a que cumpla con las características necesarias para que la Espuma de Poliéstireno Expandido (EPS) se expanda adecuadamente dentro de la matriz. Este diseño permite intercambiar tres modelos con diferente grado de complejidad geométrica, partiendo de un modelo de fácil elaboración como una base de chumacera, otro modelo de mediana complejidad como es una brida y el último modelo de complejidad alta como es un piñón figura 2.

De acuerdo a las etapas del proceso de expansión de los pellets de EPS, tenemos que este material reacciona en un rango de temperaturas entre 80 y 110C. Se selecciona un caldero de 50 psi para suministrar la presión necesaria. Este proceso debe tener un flujo constante de vapor, para que no se alteren la temperatura y la presión mientras se realice el procedimiento.

Por otro lado se requiere que el vapor sea saturado con un grado de calidad entre 0.9-1 temperatura de 90 C y presión de 10 psi al ingreso de la matriz, para pre expandir y expandir el poliestireno. Una calidad menor a la recomendada en el vapor empeora la transmisión del calor a los pellets y el comportamiento en la expansión y la capacidad de deslizamiento del material. Por una parte, la película de agua que humedece los pellets, impide la rápida transmisión de calor deseada y además, actúa como separador entre los pellets. Ambas circunstancias empeoran la soldadura de las mismas. Otro problema que presenta una calidad baja del vapor es que al enfriarse el agua en los espacios entre los pellets y en las micro celdas, impide la corriente de los gases (vapor, aire, pentano).

Una vez generado el vapor a la presión de salida del caldero este debe regularse a 10 psi, bajando su presión se logra mejorar el aprovechamiento del calor latente de evaporación, seguidamente del regulador, una manguera

con acople rápido se comunica hacia la matriz en donde existe una cámara de vapor maquinada en entre la tapa externa e interna. En una tapa interior, una configuración circular de agujeros de 1mm de diámetro, son los que dan paso al vapor hacia la cámara interna donde se encuentra la materia prima lista para expandirse.



Figura 2: Matriz de aluminio para obtención de modelos EPS.

Obtención de modelos de EPS.

Procedimiento para la obtención de modelos de EPS: Secuencia de obtención de modelos de EPS se divide en dos partes.

(1) Pre expandido EPS

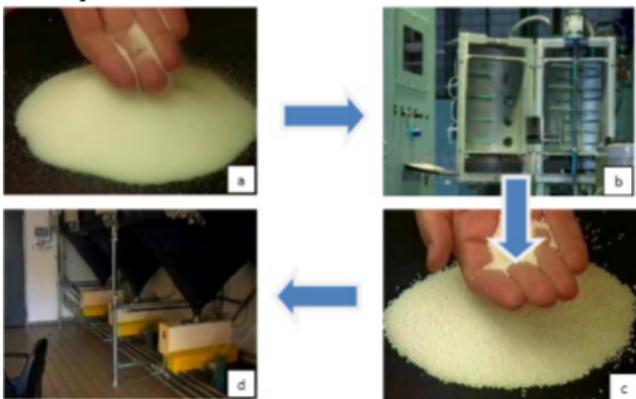


Figura 3: Resumen de principales operaciones para la obtención del poliestireno expandido. a) Pellets de poliestireno, b) Pre expansor, c) Poliestireno Pre expandido, d) Silos de almacenamiento.

Para este fin se utiliza un equipo llamado Pre-expansor, equipo en el cual el poliestireno expandible, en forma de pellets, se calienta con vapor de agua a temperaturas situadas entre 80 y 110oC aproximadamente, haciendo que el volumen aumente hasta 50

veces el volumen original. Luego de la Pre expansión, los pellets expandidos son enfriados y secados antes de que sean transportados a los silos (figura 3).

(2) Expandido final EPS

- Se enciende el caldero.
- Se limpia la matriz de cualquier tipo de suciedad y se aplica desmoldante en la superficie interna.
- Se ensambla las caras de la matriz, mediante el sistema de guías figura 4.



Figura 4: Ensamblaje de la matriz.

- Se introduce el material en la matriz de una manera homogénea, tratando de que todo el material se extienda en toda la superficie y se ajusta las caras de la matriz mediante un sistema fijación con perno figura 5.



Figura 5: Llenado de material.

- Se conecta una manguera con acople rápido a las entradas de vapor de la matriz y se verifica el sellado de las mismas.



Figura 6: Extracción de modelo.

- Se abre la válvula de salida de vapor y mediante la reguladora se controla la presión de vapor a 10 psi, por un tiempo de 6 minutos.
- Se desacopla la matriz y se enfría sumergiéndola en agua por un tiempo de 2 minutos.
- Se desajusta las caras de la matriz y se levanta una de las partes, para extraer el modelo figura 6.

Elaboración del recubrimiento refractario y pintado de modelos EPS.

Se determinará experimentalmente el recubrimiento adecuado para un mejor acabado superficial del elemento fundido, esta capa sirve para dos propósitos especializados:

- Proporciona una barrera entre la superficie lisa de la estructura y la superficie áspera de la arena.
- Proporciona permeabilidad controlada, que permite que los productos gaseosos, creados por el patrón de espuma en la vaporización puedan escapar a través del recubrimiento y de la arena lejos de la fundición de metales

Se realizaron diferentes pruebas hasta obtener la combinación ideal la cual se resume en las tablas 3 - 4 :

Tabla 3: Composición de la barbotina para el recubrimiento refractario.

Componentes	% porcentaje	Cantidad (g)
Arcilla malla 200	59,7	300
Silicato de Sodio	0,3	1,5
Carbonato de Sodio	0,2	1
Agua	39,8	200

Tabla 4: Composición del recubrimiento refractario.

Componentes	% porcentaje	Cantidad (g)
Barbotina	44	220
Sílice malla 200	36	180
Melaza	5	25
Agua	15	75

Proceso de obtención del recubrimiento :

Para la realización del recubrimiento refractario (pintura refractaria) se prosigue con los pasos tabla 5:

Tabla 5: Composición de la pintura refractaria.

Componentes	% porcentaje	Cantidad (g)
Arcilla malla 200	26,27	262,7
Silicato de Sodio	0,13	1,3
Carbonato de Sodio	0,09	0,9
Sílice malla 200	36	360
Melaza	5	50
Agua	32,51	325,1

Elaboración de la Barbotina

- Se pesa la arcilla previamente molida con tamaño de partícula ASTM 200.
- Se pesan los distintos componentes mencionados en la tabla 4.

- Se coloca mitad de agua en la mezcladora y se adiciona el carbonato de sodio y se mezcla alrededor de 2 minutos a velocidad de 281 rpm.
- Se adiciona la arcilla en porcentajes de del total, a medida que desaparecen los grumos se adiciona poco a poco el resto, se mezcla por un tiempo de 15 minutos a velocidad de 281 rpm.
- Se adiciona el silicato de sodio y se mezcla a velocidad de 281 rpm en la mezcladora por un tiempo de batido de 8 minutos.
- Se adiciona el resto de agua para darle fluidez a la mezcla durante el batido de 5 minutos a velocidad de 281 rpm.
- Se espera que la mezcla se estabilice y se procede a colocarla en un recipiente cerrado para dejar reposar 24 horas. Esto mejorara sus propiedades (adsorción, tixotropía (gelatinoso, no se fracture al secarse y en fresco se adhiera homogéneamente al modelo), plasticidad, permeabilidad, comportamiento al secado, resistencia en fresco y cochura).

Preparación del recubrimiento refractario

- Pasado las 24 horas se adiciona a la barbotina una cantidad de sílice.
Barbotina 100% en peso
Sílice 80% en peso
(Con relación al peso de la Barbotina).
- Se agita durante 5 minutos a velocidad de 281 rpm, hasta que la pintura no presente grumos.
- Se adiciona la melaza y se mezcla durante 5 minutos a velocidad de 281 rpm.
- Se añade el agua en la mezcladora y se bate por alrededor de 5 minutos a velocidad 281 rpm.
- Se espera que la pintura se estabilice y se procede al pintado del modelo y secado.

Procedimiento de pintado

Se observa en la figura 7:

- Inicialmente se somete al modelo a total limpieza de polvo y grasa, para permitir adherencia total de pintura.
- Se pinta el modelo por inmersión en la pintura, hasta que la capa sea homogénea y cubra todo el modelo.
- Se espera que seque la pintura hasta que en los filos del modelo la coloración de la pintura cambie, aproximadamente 30 min a una temperatura de secado de 60 °C.
- Se coloca una segunda capa de pintura por inmersión, para evitar fallas iniciales presentes en la primera capa y se seca aproximadamente 20 min a temperatura 60 °C.
- Se coloca la tercera capa de pintura por inmersión con la siguiente formulación:

- 10% de mezcla preparada
- 10% de arena sílice malla ASTM 40
- 2% de agua

Permitiendo que el recubrimiento sea duro y no presente fisuras, por donde podría salir el metal fundido y dañar la forma del modelo.



Figura 7: Aplicación de pintura refractaria y secado de modelos.

- Se espera que el recubrimiento se seque por completo 24h a una temperatura de 50 °C, para el proceso de fundición.



Figura 10: Colado de metal.

Cuando el material se enfríe, se procede a desensamblar el modelo terminado figura 11

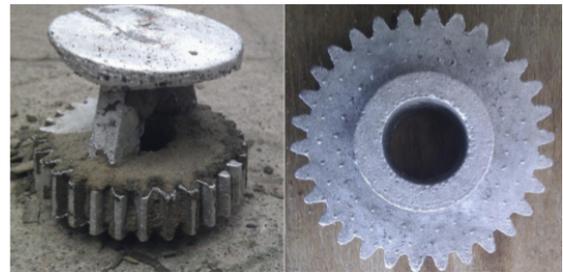


Figura 11: Pieza fundida.

2.3 Obtención de la pieza de aleación de aluminio

Una vez secado el modelo se procede a ensamblarlos en arena seca sin aglutinante figura 8.



Figura 8: Ensamblaje de modelos en arena.

Verificación de la temperatura del aluminio líquido a colar 730 - 750 °C figura 9.



Figura 9: Verificación de temperatura de colado.

Una vez verificada la temperatura se procede al colado del metal figura 10.

3. CONCLUSIONES

La densidad del material pre expandido depende directamente del tiempo de exposición al vapor durante la etapa inicial de pre expansión.

En la etapa de pre expansión, el vapor de agua se difunde en el interior de la estructura celular del EPS cuando entre ambos lados del material se establece un gradiente de presiones y temperaturas, pero no así el agua, que por la impermeabilidad del material no ingresa en la estructura celular del EPS, por lo que al tener contacto con los pellets evita la pre expansión.

A mayor tiempo de exposición del material pre expandido dentro del molde patrón va a existir una mayor expansión y por ende un mejor acabado superficial. Teniendo en cuenta que si se sobrepasa el tiempo de exposición va a incurrir defectos en el modelo como quemaduras provocando deformaciones.

Durante la etapa de fusión dentro del ciclo de moldeo, si a la pieza moldeada no se la enfría para disminuir la presión interna, esta seguirá creciendo después de la expulsión y provocara deformaciones en el modelo.

La presión adecuada para el proceso de obtención de modelos en poliestireno expandido es de 10 psi y el tiempo es de 6 minutos, comprobados en los ensayos del presente proyecto.

En función del tipo de modelo y complejidad, el tiempo de exposición debe ser mayor, para así asegurar una adecuada expansión y por lo tanto un buen acabado superficial.

La rugosidad final del modelo en poliestireno va a depender de la rugosidad del molde patrón, por lo que el grabado debe ser obtenido mediante procesos de maquinado fino o electroerosión.

La temperatura ideal de pre expansión esta en un rango de 60 a 101C, mientras que la temperatura a la cual se está expandiendo dentro del molde patrón en el proceso ensayado en el presente proyecto corresponde a un rango entre 80 a 90 C, logrando un excelente acabado superficial de los modelos en poliestireno.

El tamaño de grano y el nivel de compactación de la arena modifican de sobremanera el coeficiente de transferencia de calor, la conductividad térmica y la salida de gases.

La materia prima con la que se estuvo trabajando en el proyecto es poliestireno de grabo B, material adecuado para empaques, cuando lo ideal es trabajar con poliestireno de grado T o X, sin embargo no se encuentra en el mercado nacional fácilmente.

Las piezas obtenidas mediante el proceso de fundición a la espuma perdida se desarrollaron de tal manera que se puedan utilizar directamente, con ello se ahorra tiempo y dinero al no tener la necesidad de maquinar la pieza final.

La contracción volumétrica del sólido en procesos comunes de fundición de aluminio es un factor crítico, llegando a valores de 5.6%, con este proceso la contracción volumétrica del sólido tiene un máximo de 1.4%, comprobado en los ensayos.

La utilización de Aluminio para la fabricación de matrices, que normalmente se las haría en aceros especiales, es de suma importancia ya que se reduce considerablemente el peso y por ende disminuye el costo de transporte en el caso de matrices de grandes dimensiones.

4. RECOMENDACIONES

El EPS debe ser almacenado en un lugar fresco y en recipientes cerrados, a temperaturas inferiores a 25°C, ya que el pentano tiende a evaporarse. Se estableció que el tiempo máximo que deben permanecer los pellets en inventario es de 3 meses de acuerdo a datos del fabricante.

Para facilitar la extracción del modelo de poliestireno del molde patrón se recomienda aplicar una capa de desmoldante.

En modelos de geometría complicada, para aumentar la fluidez del aluminio en el colado, se recomienda que los niveles de silicio sean por lo menos del 15 %.

Una vez pintado el modelo es recomendable reforzar los bordes y áreas donde haya agujeros para evitar desmoronamientos y rebabas excesivas en la pieza terminada.

El secado de los modelos debe hacerse en un ambiente controlado a una temperatura de 60 °C por 4 horas, verificando el cambio de coloración en la superficie de los modelos.

Para evitar juntas frías, la velocidad de colado debe ser lo más rápida posible y la temperatura de colado debe estar oscilando en un rango de 730-750°C.

REFERENCIAS

- [1] CRISTÓBAL DE MONROY; Conformación por Moldeo II; Tecnología Industrial; IES.
- [2] ASM Metals Handbook, Volume 15 "Casting", PDF.
- [3] DUQUE, A.F; Simulación del proceso lost foam casting para la predicción de defectos y aumentos de eficiencias de moldeo; Universidad Pontificia Bolivariana; Medellín; 2010.
- [4] BOADA, RODRIGUEZ; Diseño y construcción de un equipo para laboratorio para colado centrifugo vertical; Escuela Politécnica Nacional; Quito; 2009.
- [5] ANDRÉS FELIPE DUQUE MESA , Simulación del proceso lost foam casting para la predicción de defectos y aumentos de eficiencias de moldeo, Trabajo de grado, Escuela de Ingenierías, Maestría en Ingeniería Énfasis en Nuevos Materiales, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín , 2010.
- [6] Extruded Polystyrene Foam Association (2008); Manufacturing Process for XPS Insulation.
- [7] Environmental Protection Agency (USA) (1995); Protection of Stratospheric Ozone; Acceptable Substitutes for the Significant New Alternatives Policy (SNAP) Program.
- [8] FREIRE, Mario; Estudio de las Pinturas Refractarias en el Proceso de Fundición por el Método de Espuma Perdida en Aleaciones No Ferrosas; Escuela Superior Politécnica del Litoral; Guayaquil; 2008.
- [9] BASF; Styropor; El vapor de agua como fuente energética en la transformación de materiales expandidos; Informaciones Técnicas; agosto 1990.
- [10] VARGAS, Jaime; Fundamentos y ejercicios del dibujo mecánico; Folleto; 2007.
- [11] JUTZ, Hermann, et all; Tablas para la industria metalúrgica; GTZ; Ed. Reverté; Barcelona; 1984.
- [12] GARRIDO, SANCHEZ; Determinación de la metodología para la obtención de aleaciones de aluminio de fundición maquinable sin porosidades; Escuela Politécnica Nacional; Quito; 2011.