



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN  
OSCAR LUCERO MOYA

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

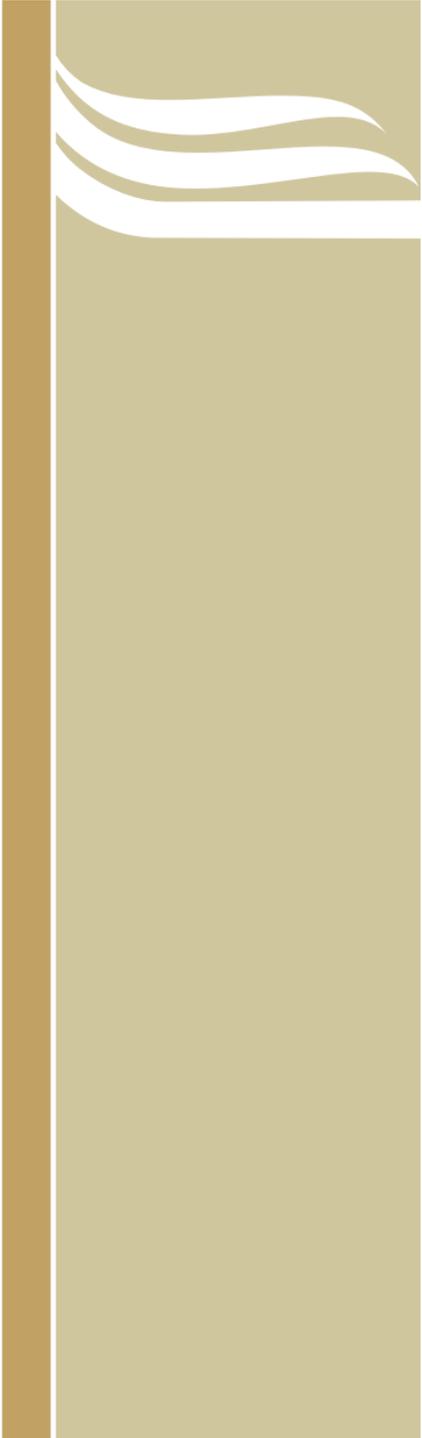
# **TRABAJO DE DIPLOMA**

**SUSTITUCIÓN DE LA MADERA POR POLIESTEROL  
EXPANDIDO EN LA PRODUCCIÓN DE ARTÍCULOS FUNDIDOS  
DE ALTA RESISTENCIA**

Autor: Manuel Amado Melendez Bernal

**HOLGUÍN**

**2014**



**UHo** UNIVERSIDAD  
DE HOLGUÍN  
OSCAR LUCERO MOYA



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN  
OSCAR LUCERO MOYA

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

# **TRABAJO DE DIPLOMA**

**SUSTITUCIÓN DE LA MADERA POR POLIESTEROL  
EXPANDIDO EN LA PRODUCCIÓN DE ARTÍCULOS FUNDIDOS  
DE ALTA RESISTENCIA**

Autor: Manuel Amado Melendez Bernal

Tutores: MSc. Rigoberto Pastor Sánchez Figueredo  
Dra.C. Ana María Quesada Estrada

**HOLGUÍN**

**2014**

## AGRADECIMIENTOS

- *A* ese Dios todo poderoso por haberme dado la oportunidad de graduarme en esta magnífica carrera de Ingeniería Mecánica.
- *A* mis dos tutores el MSc. Rigoberto Pastor Sánchez Figueredo y a la Dra.C. Ana María Quesada Estrada por todo el apoyo y dedicación en el desarrollo de esta tesis.
- *A* mi novia Anelys de la Caridad Cardosa González y a su madre, mi suegra Bárbara Lilia González Vidal que me dieron las fuerzas necesarias para salir adelante en los momentos finales de mi carrera.
- *A* los compañeros de la empresa UEBFAH “Héroes del 26 de julio” por toda su colaboración.
- *A* mi padre Manuel Antonio Melendez Rodríguez, a mis tías Noelia Melendez Rodríguez e Iraida Melendez Rodríguez por haberme ayudado durante mi vida como estudiante.
- *A* mi dos hermanos del alma Yunier García Matos y Magdiel Antonio Melendez Bernal por haberme aconsejado y ubicarme en los buenos caminos.
- *A* mi primo Marcos Bernal Pérez por todo su apoyo y preocupación durante mi carrera y en la realización de esta tesis.
- *A* la negra Chingue por no haberse separado de mi cuando mi madre no estuvo presente.
- *A* Greyci Suárez que fue la que hizo posible la realización de mis sueños.
- *A* René Limonta y Milvia Barrios por aconsejarme y darme mucho apoyo.
- *A* todos mis amigos Rosell, Daniel, Yudier y demás personas que me dieron muchos consejos para que continuara con mis estudios.

## DEDICATORIA

➤ *A* mi madre en el cielo, que el Señor la tenga siempre en la gloria, Magdeline Dominga Bernal Carreras, que fue mi inspiración durante toda mi vida como estudiante y el motor impulsor para formarme como Ingeniero.

➤ *A* mi madre en la tierra Ana Dalia Matos Velázquez por haberme dado todo el apoyo de madre en los momentos más difíciles y por saber que puedo contar con ella la vida entera.



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)

## PENSAMIENTO



*“La Magnitud de lo que logramos, no depende de lo que tengamos para hacerlo, sino de la intención y de lo que sepamos hacer con lo que tenemos.”*

*Ernesto Che Guevara*

## RESUMEN

Este trabajo investigativo se realiza en la Unidad Empresarial de Base Fundición Acero Hierro de Holguín (UEBFAH), el cual tiene como objetivo principal la sustitución de la madera por el poliésterol expandido (EPS) en la elaboración de los modelos para la obtención de fundidos de alta resistencia. Para esto fue necesario hacer una revisión bibliográfica de los materiales existentes, para la elaboración de los modelos de poliésterol expandido (EPS). Luego de analizada esta bibliografía, se puede afirmar que no existe en el país una metodología que utilice el corte de poliésterol expandido (EPS) con alambre de nicrom. Esto conllevó a la creación de un entorno tecnológico bajo las condiciones de la Unidad Empresarial de Base Fundición Acero Hierro de Holguín (UEBFAH), logrando obtener una metodología de elaboración de los modelos de poliésterol expandido en la obtención de fundidos de alta resistencia, mediante la construcción de una mesa de corte, utilizando el tratamiento “In mold” y el método de vertido vibratorio. Una vez cumplimentado el objetivo de esta investigación se concluye que los modelos de madera se sustituyen por modelos de poliésterol expandido, se establece por primera vez en la Unidad Básica Empresarial Fundición Acero Hierro (UEBFAH) “Héroes del 26 de julio” una metodología de fabricación de modelos de poliésterol expandido usando una mesa de corte con alambre de nicrom y se disminuye el costo con la sustitución de la madera, que es un material de importación y deficitario, además costoso, por el por poliésterol expandido, el cual cumple con los requerimientos para la fabricación de los modelos.

## **ABSTRACT**

This investigative work is carried out in the Managerial Unit of Base Foundry Steel Iron of Holguín (MUBFSIH), which has as main objective the substitution of the wood for the expanded polystyrene (EPS) in the elaboration of the models for the obtaining of having fused of high resistance. For this it was necessary to make a bibliographical revision of the existent materials, for the elaboration of the models of expanded polystyrene (EPS). After having analyzed this bibliography, one can affirm that it doesn't exist in the country a methodology that uses the cut of expanded polystyrene (EPS) with nicrom wire. This bore to the creation of a technological environment under the conditions of the Managerial Unit of Base Foundry Steel Iron of Holguín (MUBFSIH), being able to obtain a methodology of elaboration of the polystyrene models expanded in the obtaining of having fused of high resistance, by means of the construction of a court table, using the treatment "In mold" and the method of having poured vibratory. Once executed the objective of this investigation it's can concludes that the wooden models are substituted by models of expanded polystyrene, it's settles down for the first time in the the Managerial Unit of Base Foundry Steel Iron of Holguín (MUBFSIH) "Héroes del 26 de julio" a methodology of production of models of expanded polystyrene using a court table with nicrom wire and it's diminishes the cost with the substitution of the wood that is an import material and deficit, also expensive, for the one for expanded polystyrene, which fulfills the requirements for the production of the models.



## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	2
CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE. ....	9
1.1 Antecedentes y características del método de vertido vibratorio en la obtención de fundidos de metales ferrosos y no ferrosos.....	9
1.2 Antecedentes de la manufactura por fundición de metales ferrosos y no ferrosos. Propiedades y características.....	10
1.3 Materiales que se utilizan en la elaboración de los modelos.....	20
1.4 Clasificación de los modelos.....	23
1.5 Procesos de fundición por modelo extinguido.....	26
1.6 Propiedades y características del poliesterol expandido (EPS).....	27
1.7 Producción de modelos de poliesterol expandido (EPS).....	29
1.8 Revestimiento de cerámica y de cocción.....	30
1.9 Vertido y limpieza.....	31
1.10 Etapas para la obtención de modelos de poliesterol expandido (EPS).....	32
1.11 Preparación del modelo en poliesterol expandido (EPS) y colado en fundición de alta resistencia obtenido por el método de vertido vibratorio.....	35
1.12 Beneficios del proceso Lost Foam Casting (LFC).....	37
1.13 Equipos y materiales utilizados para el proceso de fundición a la espuma perdida (LFC) ..	39
1.13.1 Equipos.....	39
1.13.2 Materiales.....	40
1.14 Elementos que se pueden obtener mediante el proceso LFC.....	41
1.15 Procesos actuales de manufactura de modelos.....	43
1.15.1 Operaciones de fresado.....	44
1.15.2 Fresas para poliesterol.....	46
1.16 Proceso de poliesterol expandido por extrusión (XPS).....	49
1.17 Termo-formado.....	51
1.18 Función del vapor de agua sobre los materiales expandidos.....	51
1.19 Descripción del colado de piezas de fundición de alta resistencia, obtenido por el método de vertido vibratorio.....	56



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu

1.20 Espumas de poliesterol adecuadas para el corte con alambre caliente .....	56
1.21 Consideraciones generales.....	57
<b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN DE LOS MODELOS DE POLIESTEROL EXPANDIDO (EPS) EN LA OBTENCIÓN DE FUNDIDOS DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE EL TRATAMIENTO “IN MOLD”, POR EL MÉTODO DE VERTIDO VIBRATORIO.....</b>	<b>59</b>
2.1 Metodología de cálculo de los parámetros para la obtención de fundidos de alta resistencia por el método “In mold” .....	59
2.2 Diseño de la cámara de reacción.....	61
2.2.1 Cálculo del peso de la pieza .....	62
2.2.2. Porcentaje de azufre en el caldo metálico base Scmb .....	66
2.2.3 Determinación del magnesio residual deseado.....	66
2.2.4 Pérdida por fusión del magnesio.....	66
2.2.5 Porcentaje de Mg en la aleación nodulizante .....	66
2.3 Diseño del sistema de alimentación .....	74
2.4 Manufactura de modelos de poliesterol expandido utilizando una mesa de corte con alambre de nicrom caliente.....	79
2.4.1 Fabricación de la mesa.....	79
2.4.2 Propiedades, características y aplicación del alambre de nicrom.....	80
2.4.3 Realización del corte del poliesterol utilizando el alambre de nicrom .....	81
2.4.4 Construcción del modelo .....	82
2.5 Ventajas de la utilización del poliesterol expandido (EPS) .....	83
2.6 Desventajas de la utilización del poliesterol expandido (EPS).....	84
2.7 Valoración económica .....	84
2.8 Valoración ambiental .....	85
2.9 Aporte a la defensa.....	86
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>87</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>88</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>2</b>

## INTRODUCCIÓN

En la industria metalmecánica existe como tendencia mundial la sustitución de piezas de acero y hierro fundido por fundidos de alta resistencia, debido a que puede superar al acero en cuanto a sus propiedades de fundición, menor densidad y menor costo por tonelada, eso se puede observar fundamentalmente en la industria automovilística, la industria naval, la construcción de maquinarias, la industria azucarera, etc. [Sánchez, 2013]

Esta demanda mundial de fundidos de alta resistencia ha posibilitado que una gran cantidad de investigadores hayan desarrollado una variedad de métodos para satisfacer las complejas particularidades que intervienen en la esferoidización del hierro como lo son:

1. El tiempo de modificación del hierro gris en fundidos de alta resistencia debe ser el menor posible desde la aplicación del nodulizante hasta la aparición de los microcristales en el comienzo de la solidificación, para evitar la demodificación.
2. La disolución del nodulizante debe ser rápida y homogénea durante todo el proceso de modificación para obtener una esferoidización uniforme en el fundido nodular.
3. La sobresaturación de la disolución del nodulizante no debe fluir al interior de la cavidad del molde neto para evitar el rechazo de la pieza por defectos superficiales, como las escorias e inclusiones no metálicas.
4. El cálculo de la cantidad del nodulizante debe ser la tecnológicamente adecuada, si es menor se obtiene muy poca o ninguna esferoidización y si es mayor ocurrirá sobresaturación en la disolución del nodulizante provocando incrustaciones de escorias e inclusiones no metálicas, aumentando los costos de producción del proceso.
5. Las mejores propiedades mecánicas se logran cuando el porcentaje de magnesio residual deseado está en un intervalo entre 0.035 y 0.05 %, y depende de la cantidad de nodulizante, masa del fundido, composición química del nodulizante (% Mg), eficiencia del magnesio, contenido de azufre, etc.
6. Cuando el contenido de magnesio residual en el fundido es mayor, se obtiene una microestructura con concentraciones de hojuelas de grafito esferoidal y flotación de nódulos, esto provoca una mayor contracción, por lo que aumenta el rechupe en los fundidos cuando el

---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
contenido de magnesio en el caldo metálico es bajo, no se logra la modificación, obteniéndose en la microestructura grafito vermicular o mezclas de grafito esferoidal y laminar.

En la década de los años setenta del siglo pasado los investigadores [Dunks, 1976 y McCaulay, 1991], logran controlar en gran medida estas particularidades colocando una cámara de modificación anterior al molde, en la cual se realiza la reacción del nodulizante con el caldo metálico en el propio molde por lo que se le llamo cámara de reacción y esta variante tecnológica fue patentada como tratamiento "In mold" y se caracteriza por aplicar el nodulizante granulado en una cámara tecnológicamente diseñada para que cumpla con los parámetros que intervienen en la modificación permitiendo un flujo laminar y uniforme del caldo metálico que permita una velocidad constante en la disolución del nodulizante durante todo el vertido, condicionando que el nivel de la sección transversal horizontal de la cámara de reacción debe ser invariable para lograr que el área superficial del nodulizante, respecto al flujo del fundido, siempre sea la misma durante el vertido.

La granulometría del nodulizante es determinante en el tratamiento "In mold" pues aun con una composición química adecuada de nodulizante, el empleo de granos o mallas muy finas no permiten una disolución correcta del nodulizante. Investigaciones de Mannion G [Mannion, 1994], han demostrado que los mejores resultados del tratamiento en el molde se obtienen con una granulometría del nodulizante 0,056 mm.

El tratamiento "In mold" ha demostrado ser uno de los métodos de obtención de fundidos de alta resistencia más eficiente en cuanto a: [Sánchez, 2013]

- La disolución uniforme del nodulizante permite obtener fundidos de gran calidad de la estructura con grafito esferoidal.
- Como el tratamiento de modificación se realiza en el interior del molde se elimina la nocividad al entorno humano de las emisiones gaseosas, el fenómeno del piroefecto y el escoriado.
- Se pueden aplicar en un mismo vertido diferentes tecnologías y obtener varias marcas de fundiciones nodulares.
- Cuando el caldo metálico baja de la temperatura tecnológica de vertido puede regresarse al baño del fusor origen para afinarlo nuevamente, disminuyendo la pérdida metálica.

---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
A pesar de estas condiciones favorables que propicia el tratamiento “In mold”, las Empresas Fundidoras a nivel mundial no han logrado establecer una tecnología de obtención de fundidos de alta resistencia debido a que, con el aumento de la masa del fundido a obtener se hace necesaria una cámara de reacción excesivamente grande, lo que disminuye el rendimiento metálico, hecho que a su vez influye negativamente en el rendimiento tecnológico general del proceso.

El tratamiento “In mold” aún provoca rechazos frecuentes de piezas por mala calidad superficial, debido a la presencia de escorias e inclusiones no metálicas producto de la introducción al molde de los restos resultantes de la sobresaturación de las reacciones de modificación del caldo metálico con la aleación nodulizante y la escoria generada durante la disolución de esta última.

Otra particularidad del proceso es en cuanto a la elaboración de los modelos que son metálicos o de madera dura, la cual es deficitaria en estos momentos y se comercializa a precios elevados que afectan negativamente la competitividad, aumentando los costos de producción por conceptos de materias primas y materiales.

**Problema científico:** la búsqueda de materiales menos costosos para la elaboración de modelos en la obtención de fundidos de alta resistencia mediante el tratamiento “In mold”, por el método de vertido vibratorio.

**Objeto de estudio:** los materiales para modelos en la obtención de fundidos de alta resistencia mediante el tratamiento “In mold”, por el método de vertido vibratorio.

**Campo de acción:** los modelos de poliesterol expandido (EPS) para la producción de fundidos de metales ferrosos y no ferrosos.

**Hipótesis:** si se elaboran los modelos con poliesterol expandido (EPS) para la obtención de fundidos de alta resistencia mediante el tratamiento “In mold”, por el método de vertido vibratorio, se alcanzan parámetros superiores de competitividad, sostenibilidad y sustentabilidad.

**Objetivo general:** elaborar modelos con poliesterol expandido (EPS) para la obtención de fundidos de alta resistencia mediante el tratamiento “In mold”, por el método de vertido vibratorio.

### **Tareas de la investigación:**

1. Realizar una revisión bibliográfica actualizada sobre el vertido vibratorio y el tratamiento “In mold”.
2. Evaluar los materiales existentes en la elaboración de los modelos con materiales alternativos menos costosos para la obtención de fundidos de alta resistencia mediante el tratamiento “In mold”, por el método de vertido vibratorio a fin de alcanzar parámetros superiores de competitividad, sostenibilidad y sustentabilidad.
3. Construir un entorno tecnológico alternativo para la elaboración de los modelos de poliesterol expandido (EPS) para la obtención de fundidos de alta resistencia mediante el tratamiento “In mold”, por el método de vertido vibratorio, a fin de alcanzar parámetros superiores de competitividad, sostenibilidad y sustentabilidad.
4. Procesar la información.
5. Elaborar el informe final.

### **Métodos de investigación utilizados:**

#### **Métodos Teóricos**

- **Histórico-lógico:** Este se aplica para establecer el estado del arte del tema de investigación, como marco teórico referencial, permitiendo conocer que se ha investigado sobre el tema objeto de estudio y que leyes o aspectos generales se abordan en el fenómeno que se estudia.
- **Inducción-deducción:** Se aplica para la evaluación de los diferentes criterios que intervienen en la tecnología para la elaboración de los modelos de poliesterol expandido (EPS) en la obtención de fundidos de alta resistencia mediante el tratamiento “In mold”, por el método de vertido vibratorio a fin de alcanzar parámetros superiores de competitividad, sostenibilidad y sustentabilidad.
- **Análisis y síntesis:** Se utiliza para identificar los factores principales y sus características que influyen en el fenómeno que se estudia, así como su interrelación. Se aplica para identificar las etapas que intervienen en la tecnología, la elaboración de los modelos de poliesterol expandido (EPS) en la obtención de fundidos de alta resistencia mediante el tratamiento “In mold”, por el

---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
método de vertido vibratorio a fin de alcanzar parámetros superiores de competitividad, sostenibilidad y sustentabilidad.

- **Modelación:** Se crea un modelo científico como instrumento de la investigación de carácter material o teórico, el cual se utiliza para hacer una reproducción simplificada de la realidad, este cumple una función heurística, ya que permite descubrir y estudiar nuevas relaciones y cualidades del objeto de estudio. Se aplica al modelar en SolidWorks los modelos de poliesterol expandido (EPS) en la obtención de fundidos de alta resistencia mediante el tratamiento “In mold”, por el método de vertido vibratorio a fin de alcanzar parámetros superiores de competitividad, sostenibilidad y sustentabilidad.
- **Computacional:** Se utiliza durante la concepción y desarrollo de la aplicación informática para asistir en el cálculo de los parámetros que intervienen en la tecnología para la elaboración de los modelos de poliesterol expandido (EPS) en la obtención de fundidos de alta resistencia mediante el tratamiento “In mold”, por el método de vertido vibratorio a fin de alcanzar parámetros superiores de competitividad, sostenibilidad y sustentabilidad.

### **Métodos Empíricos**

- **Observación científica:** consiste en la percepción directa del objeto de investigación y constituye el instrumento universal del investigador. Se utiliza para observar el aumento de la competitividad, sostenibilidad y sustentabilidad en la elaboración de los modelos de poliesterol expandido en la obtención de fundidos de alta resistencia mediante el tratamiento “In mold”, por el método de vertido vibratorio.
- **Consulta de expertos:** se consultaron diferentes expertos de la producción y los servicios en esta rama de la ciencia, los cuales aportaron elementos valiosos para el desarrollo de esta investigación.

### **Resultados, importancia y actualidad:**

Los resultados de esta investigación consisten en la elaboración de los modelos de poliesterol expandido (EPS) en la obtención de fundidos de alta resistencia mediante el tratamiento “In mold”, por el método de vertido vibratorio, para obtener parámetros superiores de competitividad, sostenibilidad y sustentabilidad.

---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
La importancia y actualidad consiste en lograr por primera vez, en las condiciones de la industria metalúrgica cubana, la elaboración de modelos de poliésterol expandido (EPS) en la obtención de fundidos de alta resistencia mediante el tratamiento “In mold”, por el método de vertido vibratorio a fin de alcanzar parámetros superiores de competitividad, sostenibilidad y sustentabilidad.

Estos resultados han permitido la ejecución del Proyecto “Aumento del Rendimiento Tecnológico General de la Producción de fundidos de alta resistencia utilizando modelos de poliésterol expandido (EPS) y el método de vertido vibratorio” en el cual la Unidad Empresarial de Base Fundación Acero Hierro de Holguín participa como entidad receptora en la ejecución, resultado del cual serán beneficiadas las Entidades: Fábrica de Cosechadoras Cañeras “60 Aniversario de la Revolución de Octubre” y la Fábrica de Implementos Agrícolas “Héroes del 26 de Julio” al implementar una línea de producción con la utilización del poliésterol expandido (EPS) en sustitución de la madera en la elaboración de modelos y la aplicación del vertido vibratorio en la obtención de fundidos de alta resistencia, que permite aumentar el rendimiento tecnológico general, disminuir el índice de rechazo, la pérdida metálica y salir al mercado con un producto más competitivo, sostenible y sustentable.

El informe de tesis se estructura en la siguiente forma:

## **INTRODUCCIÓN**

### **CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE.**

En este capítulo se presenta un análisis de la revisión bibliográfica realizada, donde se examinan los aspectos esenciales relacionados con la tendencia actual de la elaboración de los modelos de poliésterol expandido (EPS) en la obtención de fundidos de alta resistencia mediante el tratamiento “In mold”, por el método de vertido vibratorio a fin de alcanzar parámetros superiores de competitividad, sostenibilidad y sustentabilidad.

### **CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN DE LOS MODELOS DE POLIESTEROL EXPANDIDO (EPS) EN LA OBTENCIÓN DE FUNDIDOS DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE EL TRATAMIENTO “IN MOLD”, POR EL MÉTODO DE VERTIDO VIBRATORIO.**

## **CONCLUSIONES**

Se establecen los resultados de la investigación en correspondencia con los objetivos planteados.

## **RECOMENDACIONES**

Se relacionan aquellos aspectos que permitirán cumplimentar y ampliar la investigación desarrollada.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Se enumeran todas las referencias bibliográficas consultadas.

## **ANEXOS**

Se relacionan materiales complementarios a la investigación.

## **CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE.**

### **1.1 Antecedentes y características del método de vertido vibratorio en la obtención de fundidos de metales ferrosos y no ferrosos.**

Expertos de la Universidad Técnica de Danets (UTD) en Ucrania, han aplicado de manera exitosa cargas dinámicas en el momento del vertido a los lingotes de acero para laminar, logrando la disminución del rechupe, eliminación de poros y sopladuras y aumento de la densidad de los materiales metálicos. En colaboración con el Académico Alexey Nikolaevich Smirnov, Jefe de la Cátedra de Fundición de metales ferrosos y no ferrosos de la UTD, y el profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya” (UHo) Sánchez Figueredo, R. P, han desarrollado tecnologías de vertido vibratorio en las Empresas Fundidoras de Metales del Ministerio de Sideromecánica obteniendo importantes resultados en la disminución del espesor de las cafeteras KUPRES del INPUD, en la eliminación de los poros y sopladuras en las aleaciones de cobre, en la modificación del grafito en las fundiciones; creando así una nueva vertiente dentro de la línea de investigación “Recuperación de Piezas” de la UHo, teniendo en cuenta que el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Mecánica no cuenta con los equipos y dispositivos necesarios para llevar a cabo, no sólo la continuidad de estas investigaciones, sino también la inclusión de estas técnicas en el sistema de aprendizaje de los estudiantes que se forman dentro de esta carrera. Surgió entonces la motivación de llevar a cabo la construcción de un equipo que permitiera poner en funcionamiento la realización de investigaciones futuras y la práctica de laboratorio de fundición de metales ferrosos y no ferrosos [Sánchez, 2013].

En 1995 el Sánchez Figueredo, R. P. aplicó el tratamiento con vibraciones en los bancos de coquillas de la Fábrica de Cafeteras del INPUD, uniendo la estructura metálica de los bancos de coquillas del vaso inferior, vaso superior y la tapa de las cafeteras KUPRES al pedestal metálico del electromotor que energiza los cilindros neumáticos para aprovechar las vibraciones que el mismo trasmite, regulando la frecuencia de vibración a 40 Hz con cuatro calzos de gomas en las patas de los bancos según el torque de los tornillos de anclaje, de esta manera se aplicó el vertido vibratorio, logrando aumentar el copiado de la cavidad interior del molde metálico,

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
disminuir el espesor de las paredes de las cafeteras aumentando la estanqueidad, disminuyendo la norma de consumo de aluminio y ahorrando los portadores energéticos durante su explotación, por permitir un calentamiento más rápido.

En 1998 Sánchez Figueredo, R. P utilizó el vertido vibratorio en la disminución del rechupe en fundidos de bronce en Planta Mecánica de Las Villas, disminuyendo el consumo de chatarra de bronce al ser menor el tamaño de las mazarotas y en la Fundición Acero Hierro de Holguín y establece una tecnología de vertido vibratorio que permite la disminución de los poros y sopladuras de los fundidos de cuproaleaciones.

Los resultados de esta investigación demuestran la efectividad del vertido vibratorio en la producción de artículos metálicos, ya que se demuestra la disminución del rechupe, la eliminación de poros y sopladuras y el mejoramiento de las propiedades mecánicas.

Con la realización de los análisis del comportamiento del porcentaje de los elementos de aleación en la altura de los fundidos obtenidos por el método de vertido vibratorio, bajo las condiciones específicas cubanas, se demuestra la influencia positiva de la variación de la composición química de los fundidos de cuproaleaciones obtenidos por el método de vertido vibratorio en la superficie de trabajo de los accesorios mecánicos antifricción que trabajan en regímenes de rozamiento. Estos estudios han permitido elaborar instrucciones tecnológicas y establecer tecnologías de fabricación, que han posibilitado la producción de fundidos auto lubricantes por el método de vertido vibratorio de manera competitiva, sostenible y sustentable, a partir de estos resultados se recomienda aplicarlos en el resto de las fundidoras de artículos antifricción del país [Sánchez, 2013].

## **1.2 Antecedentes de la manufactura por fundición de metales ferrosos y no ferrosos. Propiedades y características.**

La manufactura por fundición de metales ferrosos y no ferrosos se basa en la elaboración de moldes que pueden ser de mezclas de moldeo, cerámicas, metálicas, etc. Para los cuales se necesita un juego de modelos, que constituye el modelo propiamente dicho, las cajas de macho y el juego de modelos para el sistema de bebederos y por general son metálicos o de madera, para lo cual existen diferentes tecnologías [Abramov, 1983].

---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
Definición de modelo: Varios son los elementos que se utilizan para obtener un molde, ellos van desde los elementos que sirven para hacer el molde hasta los que se utilizan para su acabado. Se llama al conjunto de estos elementos utillaje de fundición y están constituidos por: [Abramov, 1983]

- Juego de modelos: constituye el modelo propiamente dicho, las cajas de macho y el juego de modelos para el sistema de bebederos.
- Utensilios de moldeo: consiste en los utensilios que sirven para apisonar y dar los acabados, caja de moldeo y dispositivos de sujeción del molde.
- Caja de noyos: modelo que nos sirve para construir los conglomerados de arena que da los detalles internos del molde.

Como se puede observar, el juego de modelo es un elemento fundamental para la obtención de un molde. Una definición muy exacta de modelo es la siguiente: "Modelo de una pieza es el objeto o conjunto de objetos que forman un dispositivo que permite obtener en el molde una huella o reproducción en negativo de la pieza a fundir".

Considerando que la pieza fundida se obtiene en un molde construido con un modelo, es de considerar que el modelo debe tener propiedades que proporcionen un buen acabado superficial, dimensiones y formas adecuadas para obtener una pieza con las características técnicas deseadas. Los modelos deben tener las siguientes propiedades: [Abramov, 1983]

- Facilidad de desmoldeo: Una característica importante de un modelo es que no ocasione destrozos en el molde cuando se está separando del mismo; debido a que de otra manera se tendrían deformaciones y/o incrustaciones de arena en la futura pieza fundida, así como también complicaciones en la separación de los moldes.

Esta característica tiene relación directa con la forma de la pieza a obtener, se necesita tener en cuenta dos consideraciones básicas: evitar las contrasalidas y dar al modelo un ángulo de salida.

a) Contrasalida: Para evitar las contrasalidas, se debe analizar detenidamente la pieza a obtener, definir la posición en que debe ser moldeado, de ser necesario las partes de las cuales debe estar constituido y el método de moldeo. Una vez hechas estas consideraciones, se conoce ya las partes de las que será construido el molde y los planos de división como se muestra a continuación en la figura 1.1.

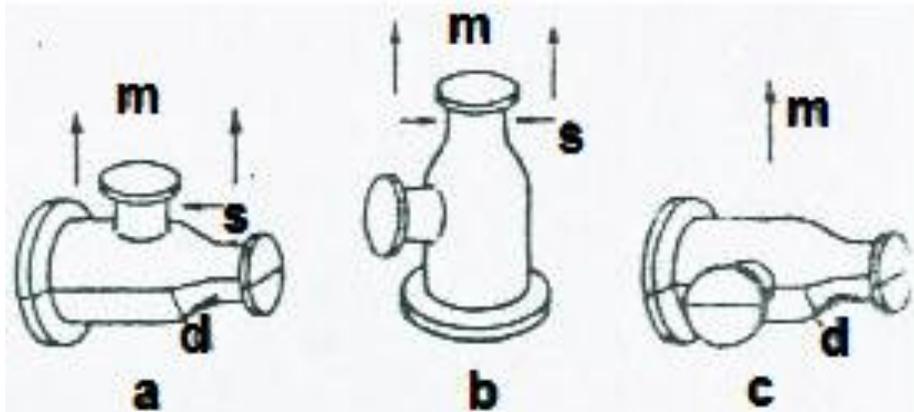


Figura 1.1 Representación de la contrasalida. [Abramov, 1983]

En el primer caso (a) la tapa lateral no permitirá salir al modelo en la dirección "m", debido al cuello indicado como "s", lo cual constituye una contrasalida. En el segundo caso (b) el modelo será extraído en la dirección "m", ahora la contrasalida se producirá en la otra tapa, tampoco esta es la solución. En el tercer caso (c) el modelo ha sido dividido en dos partes, con "d" se indica el plano de separación de las dos partes del modelo y "m" sigue siendo la dirección de extracción del modelo del molde, como se puede notar ahí ya no existirá contrasalidas, esta sería la forma correcta de construir el modelo para evitar contrasalidas.

b) Ángulo de salida: Permite que el modelo se separe fácilmente del molde, debido a la adherencia creada entre ellos. Cuando se trata de sacar al modelo se produce desmembramientos, tal como se indica en la figura 1.2. Para evitar este defecto, a todos los lados del modelo paralelos a la dirección de salida, se les inclina un pequeño ángulo " $\beta$ ", dando así una conicidad a la futura pieza a obtener, de tal manera que una pieza cilíndrica resultará un cono truncado, un cubo, un trapecoide, etc. A este ángulo " $\beta$ " se lo conoce como ángulo de salida.

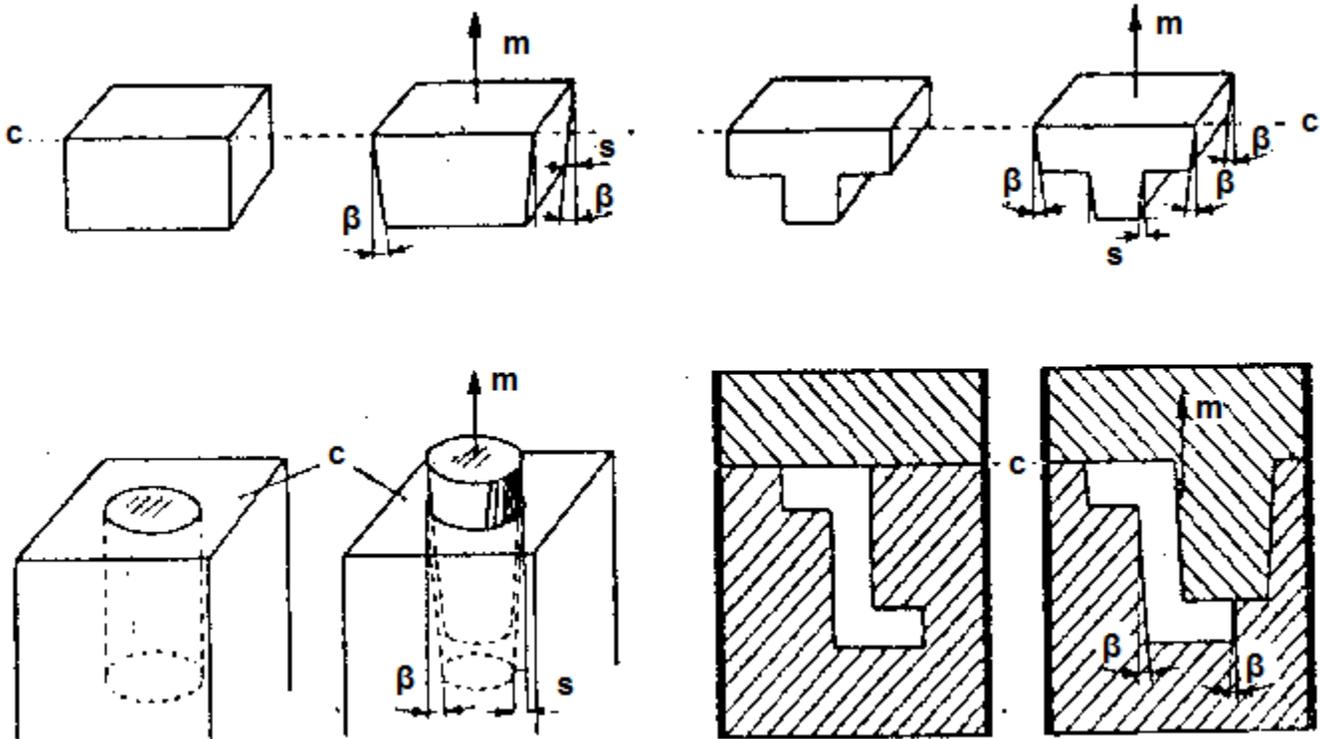


Figura 1.2 Representación del ángulo de salida. [Abramov, 1983]

El ángulo “ $\beta$ ” puede ser expresado en longitud como “s” como se muestra en la figura 1.2, que es la proporción disminuida tomando en cuenta su dimensión original. Como claramente se comprende, la introducción del ángulo de salida produce una ligera deformación de la pieza a obtener, por ello hay que introducir métodos y materiales que disminuyan lo más posible este ángulo, siendo los más conocidos:

1. Utilización de modelos metálicos: al ser más lisos que la madera (material muy usado con modelos) disminuye la adherencia así como la fricción y el consecuente desmembramiento de arena.
2. Uso de lubricantes: facilita el deslizamiento del modelo sobre la pared de arena del molde, se utiliza generalmente talco para el caso de modelos construidos de madera y petróleo derivados para modelos métricos.
3. Acabado superficial mejorado: tanto en el caso de modelos metálicos o de madera si se mejora el acabado superficial será más fácil la extracción del modelo.



Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu

4. Realizando golpes de percusión al modelo: tanto en x, en y, como en z, de tal manera que se separe el modelo del molde debido a los golpes, se produce un aumento (o disminución en algunas zonas) más uniforme de las dimensiones, por lo que hay que realizarlo con cuidado y disminuyendo al máximo este efecto.

5. Redondeamiento de las aristas, se recomienda:

$$r = ((a + b) * C) / 2 \quad C = (1/5 \text{ ó } 1/3)$$

Donde:

r: radio de redondeo.

a: espesor de la pared vertical.

b: espesor de la pared horizontal.

A continuación en la tabla 1.1 se muestran algunas características que poseen los modelos empleados para la fundición.

Tabla 1.1 Características de los modelos. [Abramov, 1983]

Altura del modelo (mm)	Salida		Ángulo $\beta$ de salida	Observaciones
	s			
	mm	%		
Hasta 40	0.5	1.25	1'30''	Para paredes o nervaduras delgadas conviene aumentar estos valores hasta duplicarlos. Para agujeros y huecos: 15-20'', y a veces más.
40-59	0.75	1.8...1.2	1'	
60-119	1	1.7...1.8	40''	
120-159	1.5	1.25...0.9	40''	
160-199	1.75	1.1...0.9	40''	
200-249	2	1...0.8	30''	
250-299	2.5	1...0.8	30''	
300-399	3	1...0.75	30''	
400-499	3.5	0.9...0.8	30''	
Más de 500	4	Menos de 0.8	30''	

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu

- Dimensionamiento exacto: Aspecto importante de la pieza obtenida para lograr las dimensiones requeridas, para lo cual hay que considerar tres factores, el primero es que los metales se contraen en el proceso de solidificación, el segundo es que hay ocasiones en que la pieza es mecanizada antes de su uso, y el tercero se refiere a deformaciones producidas en las elaboraciones del molde y en la solidificación del metal colado.

Contracción: El proceso de fundición se trabaja con el metal desde la fase líquida a temperatura de colado hasta la fase sólida, a temperatura ambiente. La contracción que aquí debe considerarse es la diferencia de volumen que hay cuando el metal está en estado sólido, en referencia al volumen y a la temperatura de estado líquido. Como se conoce todos los metales tienen un volumen inferior a temperatura ambiente en relación a la temperatura de colado.

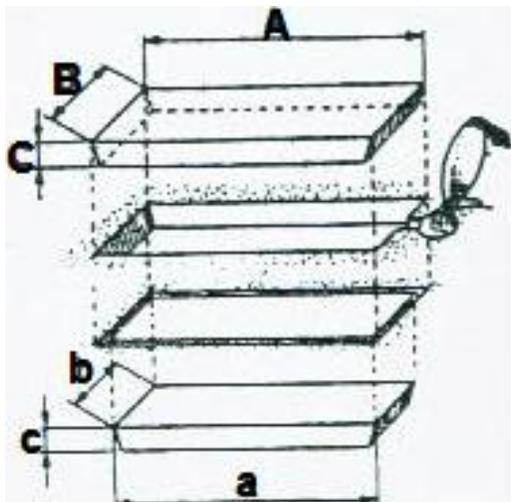


Figura 1.3 Modelo de medidas. [Abramov, 1983]

El modelo de medidas ( $A*B*C$ ) deja una huella en la arena de dichas medidas como se muestra en la figura 1.3, pero el metal luego que solidifica tiene unas medidas ( $a*b*c$ ) menores a las medidas del molde.

Por esta razón, para que la pieza tenga las medidas adecuadas, las dimensiones del espacio en el molde que recibe el metal fundido, debe tener dimensiones mayores que las que se quiere obtener en la pieza, la proporción de aumento está determinada por los niveles de contracción de los distintos metales. Cada metal tiene su índice de contracción que necesariamente debe ser tomado en cuenta si se quiere tener una pieza con medidas correctas.



Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu  
Es necesario construir un modelo que tenga las mismas dimensiones que el molde que se quiere elaborar, de tal manera que el modelo no tenga las medidas de la futura pieza, sino las modificadas de acuerdo a la contracción del metal de la pieza en producción. Para facilitar la construcción de estos modelos aumentados se utiliza metros de modelista, que no son más que metros largados en porcentaje de contracción, es decir para cada metal existe un determinado metro de modelista; si la fundición gris tiene una contracción del 1%, el metro de modelista para construir modelos deben tener una longitud de 101 cm y 1cm de este "metro" corresponde a 1,0 de 1cm normal. En la tabla 1.2 se hace referencia a las contracciones lineales medias de fundición de las aleaciones más corrientes.

Tabla 1.2 Contracciones lineales medias de fundición de las aleaciones más corrientes en % o en mm/m. [Abramov, 1983]

<b>Aleación</b>	<b>Dimensiones del modelo (Piezas macizas)(mm)</b>	<b>Piezas con machos (mm)</b>	<b>Contracción en % o en mm/m</b>
Fundición gris ordinaria...	Hasta 600 de 630-1200 más de 1200	Hasta 600 de 630-920 más de 920	10 8.5 7
Fundición gris de alta resistencia ...	Hasta 600 de 630-1200 más de 1200	Hasta 600 De 630-920 Más de 920	13 10.5 8.5
Fundición blanca colada en arena...			15.....16
Fundición blanca colada en coquilla			18



Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu  
Tabla 1.2 (Cont.)

Fundición maleable: Espesores alrededor de: 3mm 10mm 20mm			13 10 7
Acero...	Hasta 600 de 630-1800 más de 1800	Hasta 450 de 480-1200 de 1220-1675 más de 1675	90 15.5 13 11
Bronce mecánico con 10% de estaño			14
Latón con 37% de cinc			16
Latón con 40% de cinc			18
Aluminio y sus aleaciones	Piezas pequeñas Piezas medianas Piezas grandes	Pequeñas Medianas Grandes	13.....15 12.....13 11.....12
Aleaciones de magnesio			11...13...14
Metal blanco antifricción (Aleación de plomo y estaño)			2...3

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
En la práctica cuando son pocos los modelos que se construyen se debe únicamente realizar los cálculos realizando las correcciones debido a la contracción, evitando así el uso del metro del modelista.

**Maquinado:** Hay piezas que no son utilizadas directamente luego de ser obtenidas por el proceso de fundición, sino que requieren parte de sus superficies un posterior maquinado. En este caso es necesario que exista un sobredimensionamiento de esta zona a ser trabajada, este exceso en las dimensiones debe tener el modelo correspondiente.

**Pandeo:** Cuando existen piezas principalmente planas, con diferencias considerables de masa entre una zona u otra, se produce una deformación en el proceso de solidificación de la pieza como se observa en la figura 1.4, lo que produce un pandeo final; para evitar este fenómeno, se opta por producir un pandeo inverso en el modelo, de tal manera que con la deformación posterior la pieza quede recta.



Figura 1.4 Deformaciones que pueden existir en las piezas. [Abramov, 1983]

- **Facilidad de uso:** Es necesario que los modelos sean fácilmente transportables e identificables, muy grandes se tiene que construir los de estructura (de esqueleto) y para su identificación se utilizan colores diferentes, como se muestra a continuación en la tabla 1.3.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu  
 Tabla 1.3 Identificación de los modelos según su color. [Abramov, 1983]

Denominación	Piezas fundidas en				
	Hierro fundido	Acero y hierro maleable	Bronce y latón	Aleaciones ligeras	Otros metales
Superficie del modelo y de la caja de machos correspondientes a superficies grises de la pieza y eventuales superficies de partición de los modelos (indicar en negro el perfil del macho).	Rojo cinabrio (bermellón)	Azul ultramar	Anaranjado	Aluminio o gris claro	Laca incolora
Superficie del modelo y de la caja de machos correspondientes a superficies a mecanizar	Rojo con rayas amarillas	Azul con rayas amarillas	Amarillo con rayas rojas	Aluminio o gris claro con rayas amarillas	Lacado incoloro con rayas amarillas
Partes correspondientes a porciones de la pieza que se quitan (mazarotas, probetas, etc.)	Rojo con rayas negras	Azul con rayas negras	Amarillo con rayas negras	Aluminio o gris claro con rayas negras	Lacado incoloro con rayas negras

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu  
 Tabla 1.3 (Cont.)

<p>Portadas o marcas del modelo y la caja de machos, o correspondientes a piezas que van incorporadas. Superficies en el modelo y en la caja de macho, correspondientes a afloramientos de los machos</p>	<p style="text-align: center;"><b>Negro</b></p> <p>Quando el macho origina en la pieza superficies que han de ser mecanizadas, acotar señalando la portada o marca con una línea longitudinal negra.</p>
<p>Asientos de partes móviles</p>	<p>Sin barnizar, con orla negra de contorno hacia el interior de la superficie cubierta por la parte móvil.</p>
<p>Refuerzos cuyas huellas se refuerzan en el molde</p>	<p>Sin barnizar, pero con trazos de líneas entrecruzadas</p>
<p>Gargantas de media caña a realizar directamente en el molde</p>	<p>Líneas negras de trazos, que limitan la zona de media caña, y mejor añadir el valor del radio de la media caña.</p>

### 1.3 Materiales que se utilizan en la elaboración de los modelos.

Dependiendo del tipo de producción, número de piezas a producir y tipo de piezas, se utilizan diversos materiales para la construcción de modelos como son: [Abramov, 1983]

- a) Modelos de madera.
- b) Modelos de metal.
- c) Modelos de plásticos.
- d) Modelos perdidos.

a) Modelos de madera: La madera es un polímero fibroso heterogéneo que absorbiendo la humedad y expulsándola según el estado higrométrico del ambiente se hincha o se contrae.

---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)

- Propiedades de la madera:

1. Pequeña densidad (0,4-0,8) g/cm<sup>3</sup>.
2. Facilidad de elaboración (maquinado).
3. Capacidad de retención de barnices y pinturas.
4. Posibilidad de secado.

- Especies más utilizadas

Duras: guayacán, caimitillo, laurel, cunhare, caoba, caguairán.

Blandas: jíbaro, laguno, pino, ceibo amarillo, higuerón, cedro rojo o cedrín.

Consideraciones generales que hay que tener en cuenta a la hora de realizar cualquier trabajo con la madera:

- Además del secado de la madera, es necesario considerar el sentido de las fibras, ya que de acuerdo a este, se determinan las propiedades mecánicas de la madera.
- En el sentido de las fibras la madera resiste más a la compresión que al corte en el sentido transversal.

Para la construcción de un modelo de madera, generalmente no se hace de un trozo enterizo, sino que es necesario unir partes para que le den mayor solidez. Los tipos de unión de estas partes son la junta y la ensambladura. La junta une partes separadas por su anchura (vigas) y la ensambladura une por encaje.

Tipos de encaje:

1. Media madera.
2. Caja espiga.
3. Machihembrado.
4. Cola de milano.
5. Espiga.

b) Modelos de metal: Los modelos metálicos se utilizan para producción en gran escala, de ahí que los principales elementos de un juego de modelos metálicos son la placa modelo y las cajas de macho. [Abramov, 1983]

---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)

- Materiales que se utilizan en este tipo de modelos:

1. Latón.
2. Aluminio y aleaciones.
3. Fundición gris.

- Propiedades que poseen este tipo de modelos

1. Durables.
2. Precisos (no se deforman fácilmente).
3. Superficie lisa.

c) Modelos de plástico: Son muy poco utilizados actualmente, en el País no se utilizan.

- Ventajas:

1. Reduce el trabajo de elaboración y que requiere de menos maquinaria y de menos personal.
2. Buena resistencia a la corrosión.
3. Menos masa y mayor resistencia comparando con la madera.

Consideraciones para construcción de modelo plástico. Se utilizan resinas epóxicas, poliéster, polietileno, polivinilcloruro. Se los hace huecos a partir de 50 mm. El ángulo de salida es menor que en la madera. El coeficiente de contracción es de 0.4%.

d) Modelos perdidos: Son modelos para utilizar por una sola vez, existen de dos tipos:

1. Cera perdida: Se caracterizan por su alta precisión y excelente acabado superficial, se utilizan principalmente en la producción de piezas pequeñas.
2. Gasificables: Con este tipo de modelo se obtiene un buen acabado superficial. Con frecuencia son de espuma de poliesterol, no se extraen del molde, sino que se gasifica el momento que ingresa el metal fundido como se puede observar en la figura 1.5.

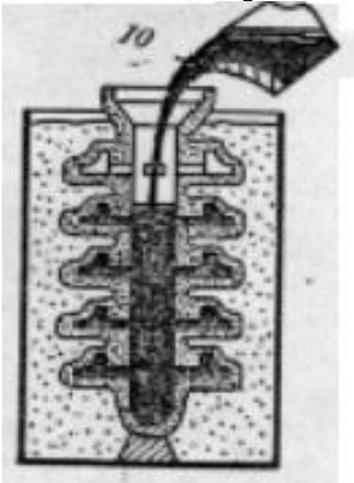


Figura 1.5 Modelo gasificable. [Genderevich, 1999]

#### 1.4 Clasificación de los modelos.

Los modelos se pueden clasificar según su utilización en:

- Modelos para exteriores: Modelos que sirven para dar la forma exterior de la moldura.
- Normales: Cuando se utiliza el moldeo a mano, son los más utilizados, requieren generalmente la utilización de cajas; son construidos principalmente de madera.
- Enteros: Modelos de una sola pieza, sirven para piezas de forma sencilla y de tamaños pequeños y medios.
- Partidos: Modelos de dos o más piezas, su despiece tiene como objetivo eliminar las contrasalidas, mientras más complicado es el modelo mayor número de piezas requeridas como se puede observar en las figuras 1.6, 1.7, 1.8 y 1.9.

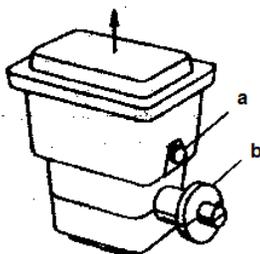


Figura 1.6 Modelo desmontable: La flecha indica la dirección de la extracción. La platina (a) y el muñón (b) en contrasalida son desmontables. [Abramov, 1983]

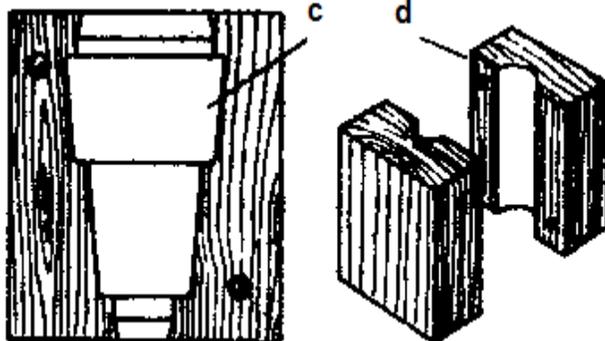


Figura 1.7 Caja de machos para el modelo: (c) corresponde al cuerpo principal, (d) a la junta de platina. [Abramov, 1983]

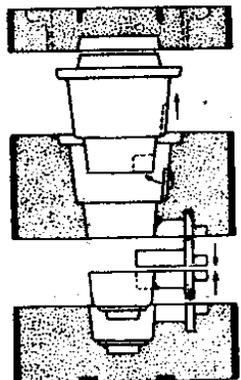


Figura 1.8 Moldeo en tres cajas (inferior, del medio y superior) y extracción del modelo de la caja. Las flechas indican la dirección de salida de las diversas partes. [Abramov, 1983]

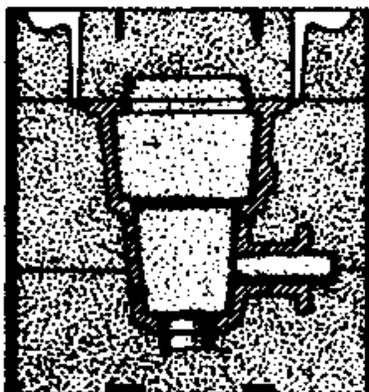


Figura 1.9 Molde retocado, dispuesto y listo para la colada. [Abramov, 1983]

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu

- Placa modelo: Son construidos de metal y sirven para la producción en serie, principalmente se utilizan placas modelo para moldeo con cajas. Las placas tienen orificios en toda su superficie para facilitar el cambio y ensamblaje de diferentes modelos y conformar varios conjuntos de placa modelo. Otro aspecto importante es el correcto ensamble de la placa a placas con la caja. Existen tres tipos de placa modelo: De una cara, cuando el detalle del molde está a un solo lado de la placa; de dos caras, cuando una parte está en la segunda cara y, de dos placas cuando se utilizan dos placas ensambladas y con los detalles del molde en uno de sus lados.
- De esqueleto: Cuando los modelos son de dimensiones considerablemente grandes, se hace necesario construir modelos con estructura interna, de tal manera que no alcance pesos mayores, es decir se evita que el modelo sea macizo. Para dar el acabado superficial se forra el modelo ya sea con madera o placas metálicas, respetando las dimensiones y formas prefijadas como se puede observar a continuación en la figura 1.10.

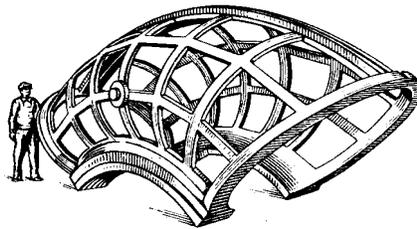


Figura 1.10 Modelo de esqueleto. [Abramov, 1983]

- Modelos para interiores: Son todo tipo de cajas de machos, tanto los que sirven para construir hoyos o corazones para interiores, como los hoyos que se utilizan para ciertos detalles exteriores que se acostumbra a realizar cuando la pieza es muy complicada. Existen dos tipos de cajas de machos: de una pieza cuando la forma del macho es simple y de baja altura es posible construirlo con una sola caja, simplificando así su producción y de dos o más piezas. A medida que se complica la forma del hoyo o macho y aumenta su altura, es necesario disponer de cajas divididas en dos piezas y si fuera necesario en más de dos piezas [Genderevich, 1999].
- Modelos perdidos: Como se indicó anteriormente, existen dos tipos de modelos perdidos: de cera perdida y gasificables.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu

Los modelos de cera perdida: Se utilizan para construir un molde entero, ya que la cera puede ser fundida, quemada o disuelta, quedando la cavidad en el molde, con lo que se asegura una alta precisión geométrica de la moldura. Estos modelos se utilizan cuando se tiene piezas de configuración complicada con pequeños espesores de pared, principalmente de aleaciones que se trabajan con dificultad.

Los modelos gasificables: No se extraen del molde, sino que durante el vaciado se evapora y se gasifica bajo la acción del calor de la masa fundida. El modelo gasificable tiene exactamente la forma de la pieza a obtener, considerando la contracción y las sobremedidas. Esto hace que no sea necesaria la utilización de machos, simplificando así la construcción. Además se evita el desmolde del modelo [Genderevich, 1999].

### 1.5 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. Ver figura 1.11.

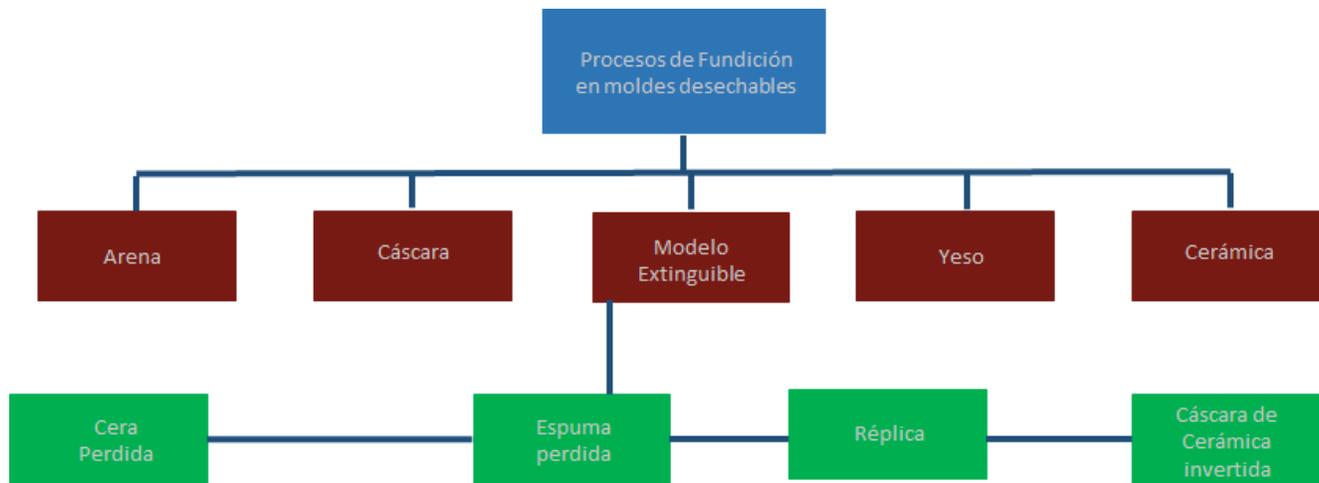


Figura 1.11 Diagrama general de los procesos de fundición. [Campos; Álvarez, 2006]

En la figura 1.11 se puede observar que dentro del conjunto procesos de fundición por modelo extinguido se destaca el de espuma perdida. A continuación se presentan las propiedades y características del poliésterol expandido como uno de los materiales que pueden ser utilizados en la fabricación de estos modelos.

## 1.6 Propiedades y características del poliesterol expandido (EPS).

El poliesterol expandido (EPS) se define técnicamente como:

"Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre-expandidas de poliesterol expandido o uno de sus co-polímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire". La abreviatura EPS deriva del inglés Expanded PolyStyrene. Este material es conocido también como Telgopor o Corcho Blanco. Ver figura 1.12.

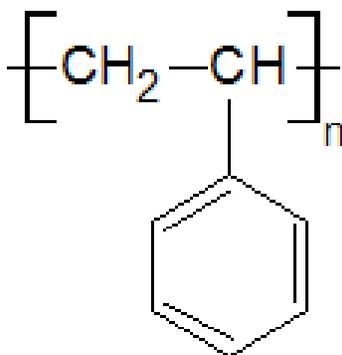


Figura 1.12 Representación química del poliesterol expandido.

[\[http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliesterol/propiedades\]](http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliesterol/propiedades)

- Densidad

Los productos y artículos terminados en poliesterol expandido se caracterizan por ser extraordinariamente ligeros aunque resistentes. En función de la aplicación, las densidades se sitúan en el intervalo que va desde los 10 kg/m<sup>3</sup> hasta los 35 kg/m<sup>3</sup>.

- Color

El color natural de poliesterol expandido es blanco, esto se debe a la refracción de la luz.

- Resistencia mecánica

La densidad del material guarda una estrecha relación con las propiedades de resistencia mecánica. Aunque ligeros, los productos de poliesterol expandido tienen una alta capacidad de resistencia mecánica, siendo esto importante para determinadas aplicaciones donde se exija esta

---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu) característica (por ejemplo: aislamiento de cubiertas bajo carga, suelos bajo pavimento, etc.).

[\[http://www.profesorenlinea.cl/mediosocial/Plumavit.htm\]](http://www.profesorenlinea.cl/mediosocial/Plumavit.htm)

- Aislamiento térmico:

Los productos y materiales de poliésterol expandido presentan una excelente capacidad de aislamiento térmico. De hecho, muchas de sus aplicaciones están directamente relacionadas con esta propiedad: por ejemplo cuando se utiliza como material aislante de los diferentes cerramientos de los edificios o en el campo del envase y embalaje de alimentos frescos y perecederos como por ejemplo las cajas de pescado. Esta buena capacidad de aislamiento térmico se debe a la propia estructura del material que esencialmente consiste en aire ocluido dentro de una estructura celular conformada por el poliésterol. Aproximadamente un 98 % del volumen del material es aire y únicamente un 2 % de materia sólida (poliésterol), siendo el aire en reposo un excelente aislante térmico. La capacidad de aislamiento térmico de un material está definida por su coeficiente de conductividad térmica que en el caso de los productos de poliésterol expandido (EPS) varía, al igual que las propiedades mecánicas, con la densidad aparente.

- Comportamiento frente al agua y vapor de agua:

El poliésterol expandido (EPS) no es higroscópico, a diferencia de lo que sucede con otros materiales del sector del aislamiento y embalaje. Incluso sumergiendo el material completamente en agua los niveles de absorción son mínimos con valores oscilando entre 1 % y 3 % en volumen (ensayo por inmersión después de 28 días). Al contrario de lo que sucede con el agua en estado líquido, el vapor de agua sí puede difundirse en el interior de la estructura celular del poliésterol expandido (EPS) cuando entre ambos lados del material se establece un gradiente de presiones y temperaturas.

- Estabilidad dimensional:

Los productos de poliésterol expandido (EPS), como todos los materiales, están sometidos a variaciones dimensionales debidas a la influencia térmica. Estas variaciones se evalúan a través del coeficiente de dilatación térmica que, para los productos de poliésterol expandido (EPS), es independiente de la densidad y se sitúa en los valores que oscilan en el intervalo entre 0,05 y 0,07mm.



---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
A modo de ejemplo una plancha de aislamiento térmico de poliesterol expandido (EPS) de dos metros de longitud y sometida a un salto térmico de 20 ° C experimentará una variación en su longitud de 2 a 2,8mm.

- Estabilidad térmica:

Además de los fenómenos de cambios dimensionales por efecto de la variación de temperatura descritos anteriormente el poliesterol expandido (EPS) puede sufrir variaciones o alteraciones por efecto de la acción térmica. El rango de temperaturas en el que este material puede utilizarse con total seguridad sin que sus propiedades se vean afectadas, no tiene limitación alguna por el extremo inferior (excepto las variaciones dimensionales por contracción); con respecto al extremo superior el límite de temperaturas de uso se sitúa alrededor de los 100 °C para acciones de corta duración, y alrededor de los 80 °C para acciones continuadas y con el material sometido a una carga de 20 kPa.

- Comportamiento frente a factores atmosféricos:

La radiación ultravioleta es prácticamente el único factor que reviste importancia. Bajo la acción prolongada de la luz ultravioleta, la superficie del poliesterol expandido (EPS) se torna amarillenta y se vuelve frágil, de manera que la lluvia y el viento logran erosionarla. Dichos efectos pueden evitarse con medidas sencillas, en las aplicaciones de construcción con pinturas, revestimientos y recubrimientos.

### **1.7 Producción de modelos de poliesterol expandido (EPS).**

Los modelos son producidos a partir de poliesterol de alta densidad y de cualquier tamaño. Las perlas son pre-expandidas a vapor, posteriormente se pasan a las matrices de aluminio, y se expanden nuevamente. El poliesterol expandido (EPS) es de alta densidad para el proceso de fundición por réplica ya que produce un acabado de superficie mejor que el material de baja densidad utilizado para los patrones de espuma perdida.

El acabado del modelo de poliesterol expandido (EPS) tiene una densidad de 10,75 a 12,90 g/cm<sup>3</sup> (2,5 a 3,0 lb/ft<sup>3</sup>) y una superficie lisa y dura. La contracción del modelo es mínima y se produce con el tiempo; el recubrimiento del modelo con cerámica se realiza inmediatamente después de su fabricación sin producir ningún efecto perjudicial.

### 1.8 Revestimiento de cerámica y de cocción.

El siguiente paso en el proceso de fundición por réplica (ver figuras 1.13, 1.14 y 1.15) es la formación de un depósito de cerámica fina sobre el conjunto del modelo de poliesterol expandido (EPS), esto se hace mediante el uso de técnicas similares a las que se encuentran en proceso de cáscara de cerámica invertida. El conjunto del modelo se sumerge en una mezcla de cerámica con un granulado refractario en un lecho fluidizado. La cáscara se deja secar al aire durante un mínimo de una hora. Este proceso se repite hasta que el espesor sea el deseado. El espesor varía según el tamaño del producto, la forma y el espesor de la sección, pueden ser de 3,2 a 4,8 mm (de 1/8 a 3/16 pulgadas).

Las cáscaras completadas son entonces expuestas a temperaturas entre 925 a 1 000 ° C (1 700 a 1 830 ° F) para eliminar el material del modelo de poliesterol expandido (EPS) por completo y para endurecer la cerámica. La cáscara se incrusta en un molde de arena sin aglutinante para apoyar la cáscara de cerámica fina y para evitar roturas.

Esto permite el uso de conchas más finas que las empleadas para la fundición. [ASM Metals Handbook, Volume 15 “Casting”, PDF, página 580]

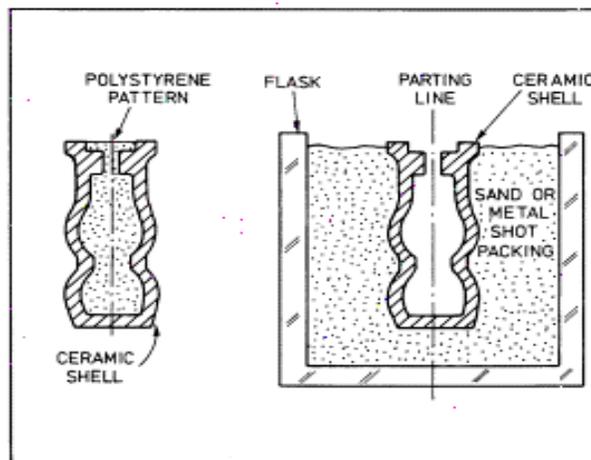


Figura 1.13 Proceso de fundición por réplica.

[\[http://www.iprod.auc.dk/mantech/metcast/replica/intro/intrtext.htm\]](http://www.iprod.auc.dk/mantech/metcast/replica/intro/intrtext.htm)

### 1.9 Vertido y limpieza.

Las cáscaras de cerámica completas son transportadas a la fundición, donde varios proyectiles se colocan en un frasco. El matraz incorpora una cámara de distribución a través de la cual el aire puede ser extraído para crear un vacío. El mismo se llena con arena suelta sin adherentes y se hace vibrar para lograr densidad máxima. Se aplica un vacío en el matraz de forma inmediata antes del vertido. El vacío se puede desconectar unos minutos después de verter.

Después del enfriamiento las piezas de fundición son sacudidas y trasladadas a una zona de limpieza. La cáscara de cerámica fácilmente puede sufrir frágil fracturas y tiende a romperse. Después la limpieza final se dará mediante un chorro abrasivo. [ASM Metals Handbook, Volume 15 “Casting”, PDF, página 580]



Figura 1.124 Modelo completo de EPS ensamblados listos para el revestimiento de cerámica.

[ASM Metals Handbook, Volume 15 “Casting”, PDF, página 580]



Figura 1.135 Elementos obtenidos mediante el proceso de Fundición por replica.

[\[http://www.castingsdev.com/public/documents/Replicast%20Article.pdf\]](http://www.castingsdev.com/public/documents/Replicast%20Article.pdf)

### **1.10 Etapas para la obtención de modelos de poliesterol expandido (EPS).**

- Primera etapa. Pre-expansión:

El poliesterol expandido (EPS), en forma de granos, se calienta en pre-expansores con vapor de agua a temperaturas situadas entre 80°C y 110°C aproximadamente, haciendo que el volumen aumente hasta 50 veces el volumen original. Durante esta etapa los granos son agitados continuamente.

En esta etapa es donde la densidad final del poliesterol expandido (EPS) es determinada. En función de la temperatura y del tiempo de exposición la densidad aparente del material disminuye de unos 630 kg/m<sup>3</sup> a densidades que oscilan entre los 10 - 30 kg/m<sup>3</sup>.

Luego del pre-expansión, los granos expandidos son enfriados y secados antes de que sean transportados a los silos.

- Segunda etapa. Reposo intermedio y estabilización:

Durante la segunda etapa del proceso, los granos pre-expandidos, conteniendo 90% de aire, son estabilizados durante 24 horas. Al enfriarse las partículas recién expandidas, en la primera etapa, se crea un vacío interior que es preciso compensar con la penetración de aire por difusión. De este modo las perlas alcanzan una mayor estabilidad mecánica y mejoran su capacidad de expansión, lo que resulta ventajoso para la siguiente etapa de transformación. Este proceso se desarrolla durante el reposo intermedio del material pre-expandido en silos ventilados. Al mismo tiempo se secan las perlas.

- Tercera etapa. Expansión y moldeo final:

En esta etapa las perlas pre-expandidas y estabilizadas se transportan a unos moldes donde nuevamente se les añade vapor de agua y las perlas se sueldan entre sí.

En esta operación, las perlas pre-expandidas se cargan en un molde poroso en el fondo, la parte superior y los laterales, con el fin de que pueda circular el vapor. Las perlas se ablandan, el pentano se volatiliza y el vapor entra de nuevo en las cavidades. Como consecuencia, las perlas se expanden y, como están comprimidas en el interior del volumen fijo del molde, se empaquetan formando un bloque sólido, cuya densidad viene determinada en gran parte por el alcance de la expansión en la etapa inicial de pre-expansión. Durante la operación se aplican ciclos de calentamiento y enfriamiento, cuidadosamente seleccionados para el mejor equilibrio económico

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu) de la operación y para conseguir una densidad homogénea a través del bloque así como una buena consolidación de los gránulos, buena apariencia externa del bloque y ausencia de combaduras [<http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliesterol/usos>], ver figura 1.16.

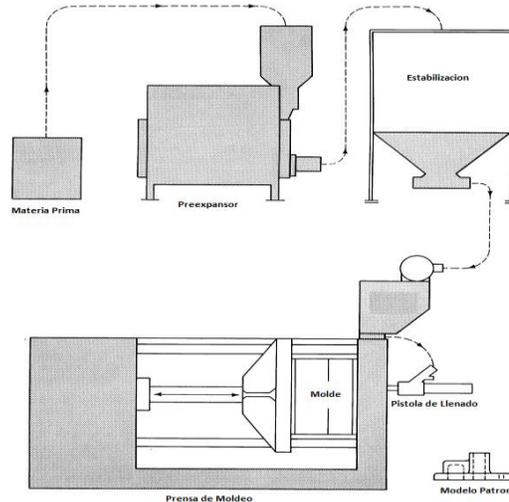


Figura 1.16 Secuencia de operaciones para la producción de un patrón de espuma de poliésterol expandido (EPS). [ASM Metals Handbook, Volume 15 “Casting”, PDF, página 504]

- Cuarta etapa. Llenado del material pre-expandido:

El material pre-expandido y estabilizado en la densidad deseada se alimenta mediante una tolva a la prensa en el moldeo. Una pistola de llenar con vacío sirve para alimentar el material, como se ilustra en la figura 1.17.

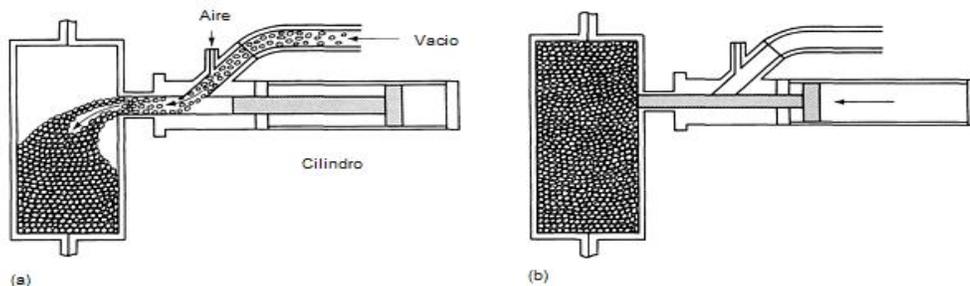


Figura 1.17 Pistola de llenado utilizada para la alimentación de material estabilizado pre-expandido hacia la prensa de moldeo. (a) Cilindro abierto con el material transportados por el aire vacío. (b) Cilindro cerrado antes de la fusión. [ASM Metals Handbook, Volume 15 “Casting”, PDF, página 505]

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)

- Quinta etapa. Fusión del material pre-expandido:

Después del llenado se añade calor al pasar de vapor a través del material, lo que reinicia el proceso de expansión y suaviza el material como en el proceso de pre-expansión. El material se expande de nuevo, llenando las burbujas de aire entre las perlas individuales de poliesterol expandido (EPS) y la fusión de las perlas conforman una masa sólida para formar el patrón de espuma deseada, ver figura 1.18.

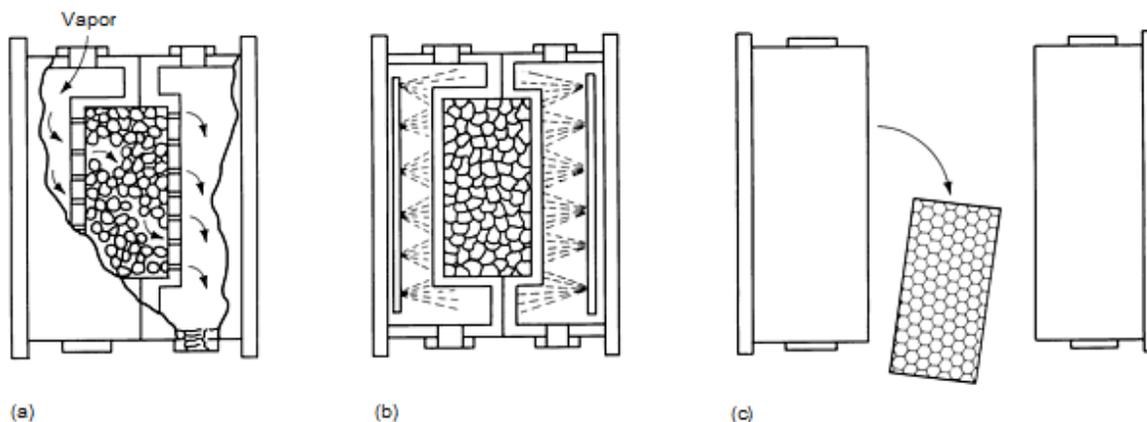


Figura 1.148 Esquema que muestra la fusión (a) Enfriamiento (b), y la expulsión (c) del patrón del material. [ASM Metals Handbook, Volume 15 “Casting”, PDF, página 505]

- Sexta etapa. Enfriamiento del modelo:

Durante la etapa de fusión de un ciclo de moldeo, la pieza moldeada ejerce presión contra las paredes de la cavidad. Si la pieza no ha sido enfriada para reducir la presión interna de la pieza moldeada, la pieza seguirá creciendo después de la expulsión. Esta condición se conoce como post expansión. Para eliminar post expansión, es necesario enfriar la cavidad del molde, lo que reduce la presión interna de la pieza moldeada a un punto en el que se puede expulsar y seguir manteniendo su dimensión. La refrigeración se realiza normalmente mediante pulverización de agua en la parte posterior de la cavidad de la pared del molde como se puede observar en la figura 1.18 (b).

- Séptima etapa. Eyección del modelo:

Una vez que el modelo se ha enfriado, la prensa puede ser abierta y el modelo ser expulsado como se muestra en la figura 1.18 (c). Esto se puede hacer de manera neumático o mecánico.

[\[http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliesterol-expandido\]](http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliesterol-expandido)

### 1.11 Preparación del modelo en poliesterol expandido (EPS) y colado en fundición de alta resistencia obtenido por el método de vertido vibratorio.

Una vez que el poliesterol expandido (EPS) es transformado, se prepara para su anexión a un sistema de racimos de materiales del mismo tipo y la misma densidad. El sistema patrón con racimos se recubre por dentro y por fuera con un revestimiento refractario permeable. Una vez que la capa está seca, el sistema patrón está listo para la inversión en un recipiente de arena.

La inversión del sistema de patrón se realiza en un recipiente, que tiene de 25 a 75 mm (uno a tres pulgadas), con una cama de arena en el fondo del recipiente.

Una vez que el sistema patrón se coloca correctamente, la arena suelta sin aglutinante se introduce en él como se puede observar en la figura 1.19.

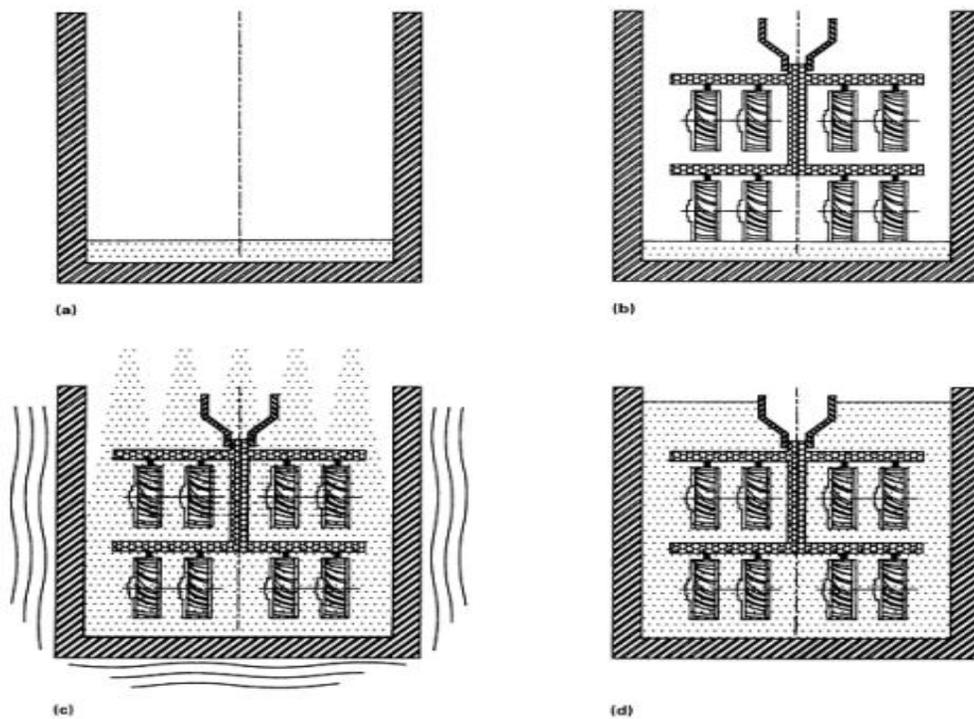


Figura 1.19 Sistema de patrón de espuma perdida. (a) Recipiente que contiene de 25 a 75mm (uno a tres pulgadas) de base de arena. (b) Colocación del patrón. (c) Recipiente lleno de arena, que posteriormente es compactado por vibración. d) Compactado final listo para el vertido. [ASM Metals Handbook, Volume 15 “Casting”, PDF, página 500]

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
 El recipiente se hace vibrar para que la arena suelta fluya y se compacte alrededor de todas las áreas del patrón. Finalizado este proceso el recipiente es llevado al área de vertido y el metal fundido se vierte en la cuenca de vertido. El metal vaporiza el patrón de espuma, ocupando toda la cavidad en el molde como se muestra a continuación en la figura 1.20.

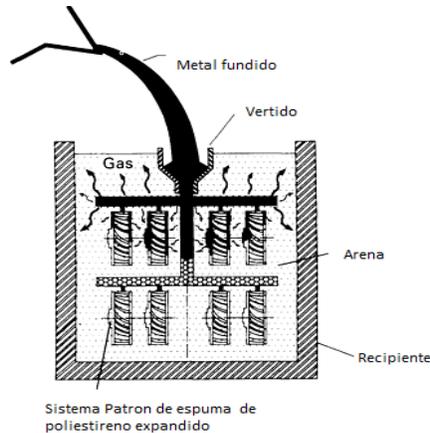


Figura 1.20 Vertido de Metal en un patrón de Espuma Perdida de poliesterol expandido (EPS).  
 [ASM Metals Handbook, Volume 15 “Casting”, PDF, página 501]

La fundición se deja enfriar por aproximadamente la misma cantidad de tiempo que con arena verde. El recipiente por lo general tiene un sistema de volteo, lo que permite a la arena suelta ser apartada de la colada. Esta arena se recoge para su reutilización y la fundición está lista para su limpieza, ver figura 1.21.

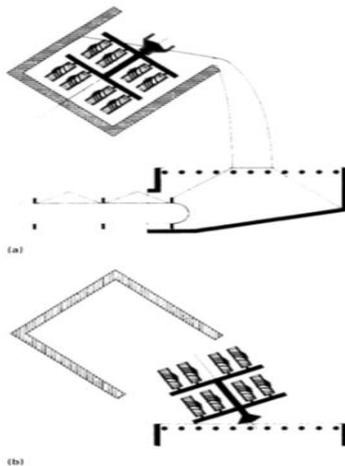


Figura 1.21 Procesamiento final de fundición. (a) El recipiente se inclina, y la arena se recicla. (b) Fundición lista para la limpieza. [ASM Metals Handbook, Volume 15 “Casting”, PDF, página 502]

### **1.12 Beneficios del proceso Lost Foam Casting (LFC).**

El proceso Lost Foam Casting (LFC) es utilizado mundialmente para la fabricación de piezas con requerimientos dimensionales y geométricos especiales, con gran versatilidad en cuanto al diseño dado, ya que pueden fundirse piezas complejas que no podrían ser obtenidas mediante otras técnicas de fundición. Las piezas fundidas por la técnica de LFC, resultan con un buen acabado superficial y tolerancias dimensionales muy estrechas, logrando una calidad insuperable por otras técnicas de fundición.

Con los beneficios que presenta la técnica LFC, es fácil ver que en el futuro la mayor parte de las piezas fundidas serán fabricadas por LFC. Dentro de las ventajas están:

- Se consigue alta precisión dimensional.
- .Permite tener diseños más complejos, elimina particiones de molde y defectos por mezcla de arena con el metal.
- El maquinado es eliminado al máximo y en algunos casos no es necesario, lo cual genera mayores ahorros en mano de obra y en herramientas. Sin embargo son necesarias limpiezas con chorro de arena o martillado con perdigones.
- La mayor parte de la arena es reutilizable, ya que no es necesaria la adición de aglutinantes y se utiliza una arena seca.
- Es un proceso limpio para el medio ambiente porque es posible implementar un sistema de recirculación de arena. Aunque hay que retirar restos de arena que quedaron mezclados con los productos de la combustión del modelo de espuma.
- La cantidad de arena remplazada es, generalmente, menor que en un método tradicional.
- Hay posibilidad de automatizar e implementar sistemas de control de producción lo que supone una disminución de costes de operación y defectos en modelos, moldes y piezas.
- Como en todos los procesos que utilizan modelos no permanentes, se evita el problema del almacenaje de los moldes.
- No es necesaria la intervención del personal especializado en la producción de piezas.
- Posibilidad de incorporar insertos metálicos en la pieza de fundición.
- Se pueden fundir metales ferrosos y no ferrosos en cualquier tamaño.



Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)

- Mano de obra reducida en comparación a otras técnicas de fundición y el bajo costo del material del modelo hacen que la fundición a la espuma perdida sea una alternativa económica viable para muchas empresas que trabajan la fundición en arena tradicional.
- El proceso LFC es un proceso de moldeo limpio (los residuos finales del proceso son menores que en los procesos de fundición tradicional donde la contaminación de agua y los residuos de arena son mayores) que logra muy buenas tolerancias.

Con el proceso se pueden lograr fundiciones de excelente acabado superficial y extremada precisión dimensional, lográndose fundir piezas de tan solo una fracción de kilogramo hasta piezas de toneladas. Las tolerancias alcanzadas dependen del tamaño, complejidad y geometría de la parte a fundir. La tabla 1.4 hace una comparación entre los valores de tolerancias y rugosidad característicos para el proceso LFC y los valores característicos para otras técnicas de fundición.

Tabla 1.4 Tolerancias estimadas en un proceso de fundición a la espuma perdida comparadas con tolerancias alcanzadas con otros procesos de fundición. [ASM Metals Handbook, Volume 15 “Casting”, PDF, página 502]

Técnica de fundición	Dimensión (in)	Tolerancia
LFC	<1	+/- .007 in
	1 a 5	+/- 0.012 in
	3 a 5	+/- 0.012 in
	5 a 10	+/- 0.017 in
	Rugosidad estimada	< 7 in. 0.0015 in > 7 in. 0.003 in
Fundición en arena	5 a 7 (Hierro)	+/-0.060 in
	5 a 7 (Aluminio)	+/-0.030 in
	Rugosidad estimada	1000-3000 µin
Molde permanente	<1	+/- 0.030
	Rugosidad estimada	125 µin

En la tabla 1.4 se pueden observar las tolerancias alcanzadas para determinados tamaños de fundiciones por el proceso LFC. Comparando estos valores con fundiciones tradicionales se puede ver que la técnica LFC es mucho más precisa que otras técnicas, además se ve que se puede alcanzar acabados superficiales excelentes a un coste menor que en técnicas como la de fundición con molde permanente. Por los acabados y tolerancias logrados con el proceso LFC, se minimizar el maquinado y hasta se puede eliminar por completo. [Groover, 2007. <http://www.shitec.net/tp/lost-foam.htm>]

### 1.13 Equipos y materiales utilizados para el proceso de fundición a la espuma perdida (LFC).

#### 1.13.1 Equipos.

- Pre-expansor. Equipo en el cual el poliesterol expandido (EPS), en forma de granos, se calienta con vapor de agua a temperaturas situadas entre 80 y 110°C aproximadamente, haciendo que el volumen aumente hasta 50 veces el volumen original.

Luego de la pre-expansión, los granos expandidos son enfriados y secados antes de que sean transportados a los silos, ver figura 1.22.

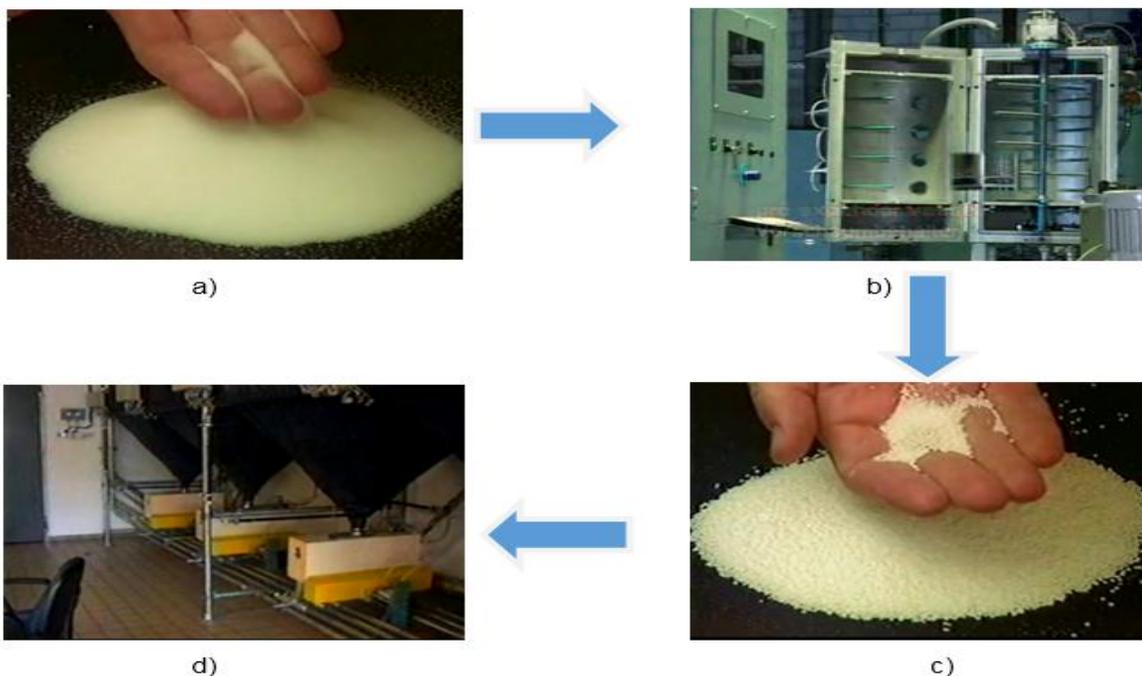


Figura 1.152 Resumen de principales operaciones para la obtención del poliesterol expandido. a) Poliesterol virgen, b) Pre-expansor, c) Poliesterol Pre-expandido, d) Silos de almacenamiento.

[\[http://www.lostfoam.com/content/learning\\_center/video\\_downloads-lostfoam\\_process.php\]](http://www.lostfoam.com/content/learning_center/video_downloads-lostfoam_process.php)

- Matriz para modelado de poliesterol:

Antes de la expansión final es necesario contar con una matriz de aluminio con las tolerancias cerradas y acabado superficial maquinado (torneado - N8 (3,2µm)) [Vargas, 2007], en la cual se van a colocar las perlas de poliesterol pre-expandido para producir el modelo. Estas matrices se

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu) pueden fabricar directamente por maquinado, por electroerosión o fundiendo una aleación de bajo punto de fusión alrededor de un modelo maestro. Deben preverse las tolerancias debidas en el modelo maestro para compensar los diferentes efectos de compresión durante la solidificación del metal. Siempre deben insertarse clavijas y hacerse los agujeros correspondientes en las superficies coincidentes de las dos mitades para asegurarlas con la alineación debida entre ellas [Bawa, 2007], como se muestra a continuación en la figura 1.23.

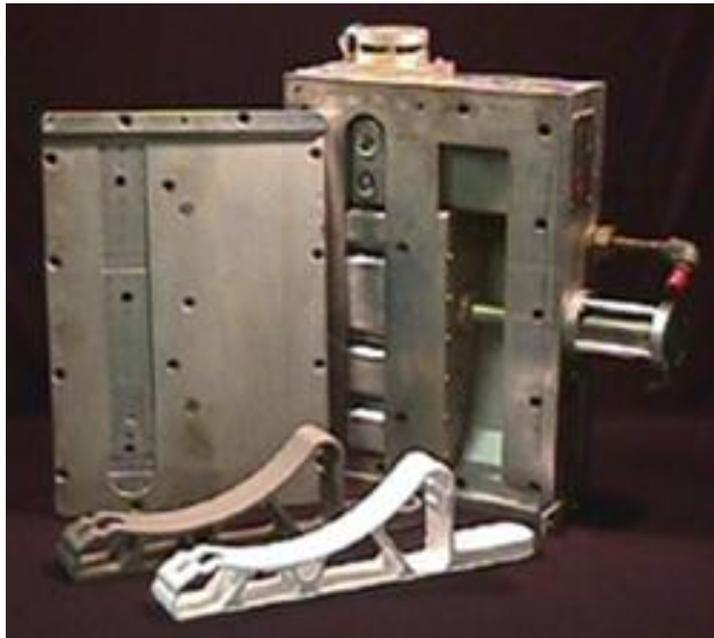


Figura 1.23 Matriz para modelado en poliesterol expandido.

[http://www.lostfoam.com/content/services/prototype\\_casting.php](http://www.lostfoam.com/content/services/prototype_casting.php)

### 1.13.2 Materiales.

- Poliesterol expandido:

El modelo de espuma de poliesterol expandido (EPS) ha sido y probablemente seguirá siendo el material preferido para la fabricación de los modelos de espuma perdida. Hay otros materiales de espuma en desarrollo que muestran alguna promesa, pero hasta la fecha su uso es bastante limitado. Hay varios grados de poliesterol expandido (EPS), como se indica en la tabla 1.5. 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.



Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
 Tabla 1.5 Grados de poliesterol expandido (EPS). [ASM Metals Handbook, Volume 15 "Casting", PDF, página 503]

Grado de perla	Diámetro bruto de la perla		Diámetro para 24 kg/m <sup>3</sup>		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	

El poliesterol expandido (EPS) pesa aproximadamente 640 kg/m<sup>3</sup> (40 lb/ft<sup>3</sup>) en su estado crudo. Para que el EPS sea útil en la fabricación de los modelos de espuma perdida, su densidad aparente debe ser reducida a un nivel entre 16 y 27 kg/m<sup>3</sup> (1,0 y 1,7 lb/ft<sup>3</sup>), como se indica en la tabla 1.6.

Tabla 1.6 Requisitos de densidad para modelo de fundición de espuma perdida.

[[http://www.electroonstructora.com/index.php?option=com\\_adsmanager&page=show\\_ad&adid=6&catid=11&Itemid=38](http://www.electroonstructora.com/index.php?option=com_adsmanager&page=show_ad&adid=6&catid=11&Itemid=38)]

Metal	Temperatura de la colada		Densidad del modelo de EPS	
	°C	°F	kg/m <sup>3</sup>	lb/ft <sup>3</sup>
Aluminio	705-790	1300-1450	24-27	1.5-1.7
Latón/Bronce	1040-1260	1900-2300	20-21.6	1.25-1.35
Hierro Gris	1370-1455	2500-2650	≤20	≤ 1.25

#### 1.14 Elementos que se pueden obtener mediante el proceso LFC.

El proceso Lost Foam Casting (LFC) generalmente es utilizado para la producción de piezas que requieren buenos acabados y tolerancias muy estrechas, también es usado cuando se quiere implementar una producción en línea dentro de una empresa de fundición porque trae grandes

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
beneficios para tirajes de producción largos, donde se producen las mismas piezas o de similares cualidades.

Así por ejemplo se puede fabricar elementos para la industria automotriz como block de un motor, cigüeñales, levas, bielas, pistones, etc., ver figuras 1.24 y 1.25.

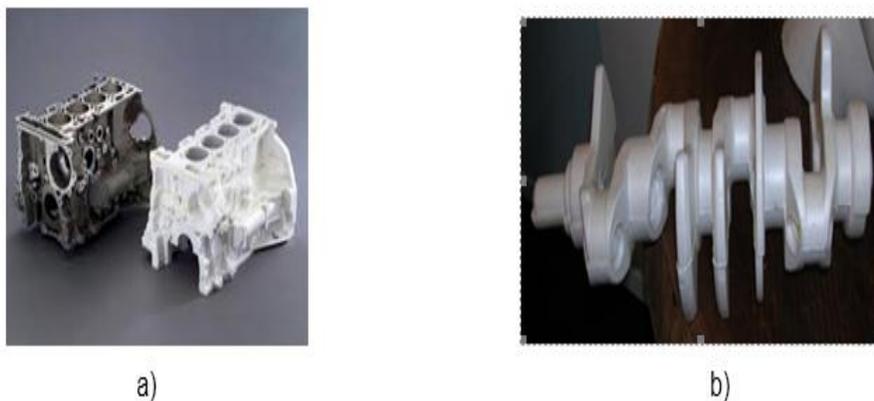


Figura 1.16 Piezas para la industria automotriz: a) Block de motor, b) Cigüeñal.  
[\[http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliesterol-expandido\]](http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliesterol-expandido)

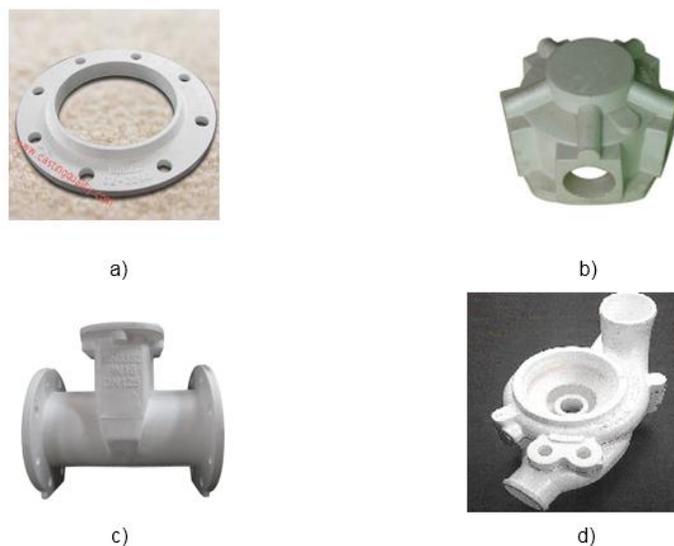


Figura 1.17 Elementos y accesorios para tuberías: a) Brida, b) Caja de distribución hidráulica, c) Te hidráulica, d) Carcasa bomba centrífuga.

[\[http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliesterol-expandido\]](http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliesterol-expandido)

### 1.15 Procesos actuales de manufactura de modelos.

Existe en la actualidad varias formas de manufactura de elementos con el poliesterol expandido (EPS), sean estos procesos mecánicos o artesanales, entre los que se encuentran: corte, maquinado, extruido, termo-conformado, etc.

- Maquinado: Los modelos en poliesterol expandido se pueden manufacturar mediante los procesos de maquinado con máquinas herramientas, como el torno y la fresadora.
- Fresado: El fresado consiste principalmente en el corte del material que se realiza con una herramienta rotativa de varios filos, que se llaman dientes, labios o plaquitas de metal duro, que ejecuta movimientos de avance programados de la mesa de trabajo en casi cualquier dirección de los tres ejes posibles, en los que se puede desplazar la mesa donde va fijada la pieza que se elabora.

Con el uso creciente de las fresadoras de control numérico están aumentando las operaciones de fresado que se pueden realizar con este tipo de máquinas, siendo así que el fresado se ha convertido en un método polivalente de maquinado. El desarrollo de las herramientas ha contribuido también a crear nuevas posibilidades de fresado además de incrementar de forma considerable la productividad, la calidad y exactitud de las operaciones realizadas, ver figuras 1.26 y 1.27. [[http://www.foamlinx.com/foamlinx\\_cnc\\_router\\_tables.htm](http://www.foamlinx.com/foamlinx_cnc_router_tables.htm)]



Figura 1.18 Fresadora de control numérico para poliesterol y fresadora común. [[http://www.foamlinx.com/foamlinx\\_cnc\\_router\\_tables.html](http://www.foamlinx.com/foamlinx_cnc_router_tables.html), Freire, 2008]



Figura 1.19 Fresadora de control numérico para poliesterol ejecutando cortes.

[\[http://www.foamlinx.com/foamlinx\\_cnc\\_router\\_tables.html\]](http://www.foamlinx.com/foamlinx_cnc_router_tables.html)

### 1.15.1 Operaciones de fresado.

En las fresadoras universales utilizando los accesorios adecuados o en las fresadoras de control numérico se puede realizar la siguiente relación de fresados:

- Planeado: Tiene como objetivo conseguir superficies planas. Existiendo una gama muy variada de diámetros de estas fresas.
- Fresado en escuadra: Es una variante del planeado que consiste en dejar escalones perpendiculares en la pieza que se elabora.
- Corte: Una de las operaciones iniciales de maquinado que hay que realizar, consiste muchas veces en cortar las piezas a la longitud determinada partiendo de barras y perfiles comerciales de una longitud mayor.
- Ranurado recto: Para el fresado de ranuras rectas se utilizan generalmente fresas cilíndricas con la anchura de la ranura.
- Ranurado de forma: Se utilizan fresas de la forma adecuada a la ranura, que puede ser en forma de T, de cola de milano, etc.

---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)

- Ranurado de chaveteros: Se utilizan fresas cilíndricas con mango, que pueden cortar tanto en dirección perpendicular a su eje como paralela a este.
- Copiado: Para el fresado en copiado se utilizan fresas con el perfil de plaquita redondo a fin de poder realizar operaciones de maquinado y perfiles de caras cambiantes. Existen dos tipos de fresas de copiar, las de perfil de media bola y las de canto redondo o tóricas.
- Torno-fresado: Utiliza la interpolación circular en fresadoras de control numérico y sirve tanto para el torneado de agujeros de precisión como para el torneado exterior. El proceso combina la rotación de la pieza y de la herramienta de fresar siendo posible conseguir una superficie cilíndrica. Esta superficie puede ser concéntrica respecto a la línea central de rotación de la pieza, o puede ser excéntrica si se desplaza el fresado hacia arriba o hacia abajo. Con el desplazamiento axial es posible alcanzar la longitud requerida.
- Fresado de roscas: El fresado de roscas requiere una fresadora capaz de realizar interpolación helicoidal simultánea en dos grados de libertad: la rotación de la pieza respecto al eje de la hélice de la rosca y la traslación de la pieza en la dirección de dicho eje.
- Fresado frontal: Consiste en el fresado que se realiza con fresas helicoidales que atacan frontalmente la operación de fresado.
- Fresado de engranajes: El fresado de engranajes apenas se realiza ya en fresadoras universales mediante el plato divisor, sino que se hacen en máquinas especiales llamadas talladoras de engranajes y con el uso de fresas especiales del módulo de diente adecuado.
- Taladrado, barrenado y mandrinado: Estas operaciones se realizan habitualmente en las fresadoras de control numérico dotadas de un almacén de herramientas y utilizando las herramientas adecuadas para cada caso.
- Mortajado: Consiste en elaborar chaveteros en los agujeros, para lo cual se utilizan mortajadoras o bien un accesorio especial que se acopla al cabezal de las fresadoras universales y transforma el movimiento de rotación en un movimiento vertical alternativo.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)

- Fresado en rampa: Es un tipo de fresado habitual en la elaboración de moldes que se realiza bien con fresadoras copiadoras o bien con fresas de control numérico, ver figura 1.28.

[<http://es.wikipedia.org/wiki/Fresado>]

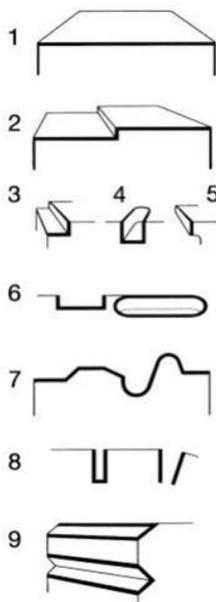


Figura 1.20 Resumen de principales operaciones de fresado, 1) Planeado, 2) Planeado en escuadra, 3) Escuadrado, 4) Ranurado, 5) Canteado, 6) Vaciados, 7) Copiados, 8) Ranuras y cortes, 9) Chaflanes. [[http://isa.umh.es/asignaturas/tftm/mecanizado\(3\).pdf](http://isa.umh.es/asignaturas/tftm/mecanizado(3).pdf)]

### 1.15.2 Fresas para poliésterol.

Las fresas para poliésterol se fabrican monolíticas de acero, con punta fija o con punta intercambiable. Así se podrá ejecutar maquinados que precisen formas distintas en la punta de la herramienta sin necesidad de adquirir las herramientas por separado. Simplemente se enrosca la punta adecuada para el trabajo a realizar. Existen cuatro tipos más comunes de fresas para poliésterol como se muestra en la figura 1.29:

- Esférica.
- Tórica.
- Plana.
- Achaflanada.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
 Todas estas formas están disponibles también en las puntas intercambiables.

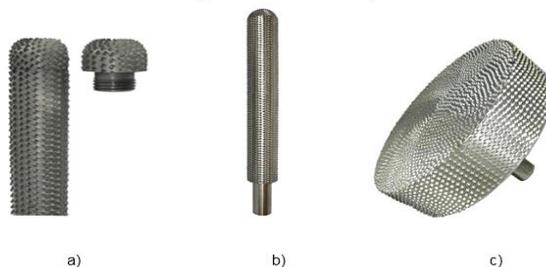


Figura 1.21 a) Fresa Tórica con cabeza intercambiable, b) Fresa esférica monolítica, c) Fresa plana. [<http://www.fresadoras-cnc.com/home.html>]

Este tipo de fresas parten de un diámetro de 6mm y llegan hasta 60mm prestando especial atención a que la relación entre diámetro y longitud. Ver tabla 1.7.

Tabla 1.7 Fresas de vástago para corte en poliésterol. [<http://www.fresadoras-cnc.com/home.html>]

Longitud de Vástago (mm)	FRESA DE VÁSTAGO PARA POLIESTEROL EXPANDIDO (EPS)									
	Diámetro (mm)									
	6	8	10	15	20	25	30	40	50	60
50	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
60	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
80	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
100		x	x	x	x	x	x	x	x	x
120		x	x	x	x	x	x	x	x	x
150			x	x	x	x	x	x	x	x
180				x	x	x	x	x	x	x
200					x	x	x	x	x	x
230					x	x	x	x	x	x
250					x	x	x	x	x	x
300						x	x	x	x	x
350							x	x	x	x

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)

- **Fresas elaboradas para corte de poliesterol expandido (EPS):**

La figura 1.30 muestra fresas de acero endurecido para el maquinado de espuma de poliesterol, espuma suave y duro y materiales similares; especialmente indicadas para el maquinado de grandes volúmenes de espuma de poliesterol expandido (EPS) y en máquinas fresadoras CNC.



Figura 1.22 a) Cabezal de fresa mecanizada esférica intercambiable, b) Fresa mecanizada armada. [<http://www.fresadoras-cnc.com/home.html>]

Los cabezales son intercambiables y permite la sustitución rápida en caso de desgaste o leve accidente. En la figura 1.31 se pueden observar varios ejemplos.



Figura 1.23 Cabezales de Fresas Mecanizadas. [<http://www.fresadoras-cnc.com/home.html>]

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
 Este tipo de fresas parten de un diámetro de 6mm y llegan hasta 60mm, prestando especial atención a que la relación entre diámetro y longitud. Ver tabla 1.8.

Tabla 1.8 Fresas elaboradas para corte en poliésterol. [<http://www.fresadoras-cnc.com/home.html>]

Longitud de vástago (mm)	Fresa mecanizada para poliésterol expandido (EPS)								
	Diámetro (mm)								
	15	20	25	30	35	40	45	50	60
100	x	x	x	x	x	x	x	x	x
150	x	x	x	x	x	x	x	x	x
200	x	x	x	x	x	x	x	x	x
250		x	x	x	x	x	x	x	x
300		x	x	x	x	x	x	x	x
350				x	x	x	x	x	x
400				x	x	x	x	x	x
450						x	x	x	x
500						x	x	x	x
550									x
600									x

### 1.16 Proceso de poliésterol expandido por extrusión (XPS).

Existe un proceso distinto llamado poliésterol expandido por extrusión (XPS), que se usa solamente para producir productos como bandejas para alimentos, cajas para hamburguesas y algunos platos, vasos y tazones desechables [Campos; Álvarez, 2006], ver figuras 1.32 y 1.33. En el pasado al fabricar ciertos productos de XPS se usaron productos químicos que liberaban gases que contribuyeron al agrandamiento del agujero de la capa de ozono. Hoy en día, al crearse conciencia sobre este problema se han implementado exitosamente en todo el mundo procesos alternativos de producción de estas bandejas y productos similares, sustituyendo las sustancias dañinas a la atmósfera.



Figura 1.24 Elementos que se fabrican por XPS. [De monroy, 2006.

<http://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/14+Moldeo2.pdf>]

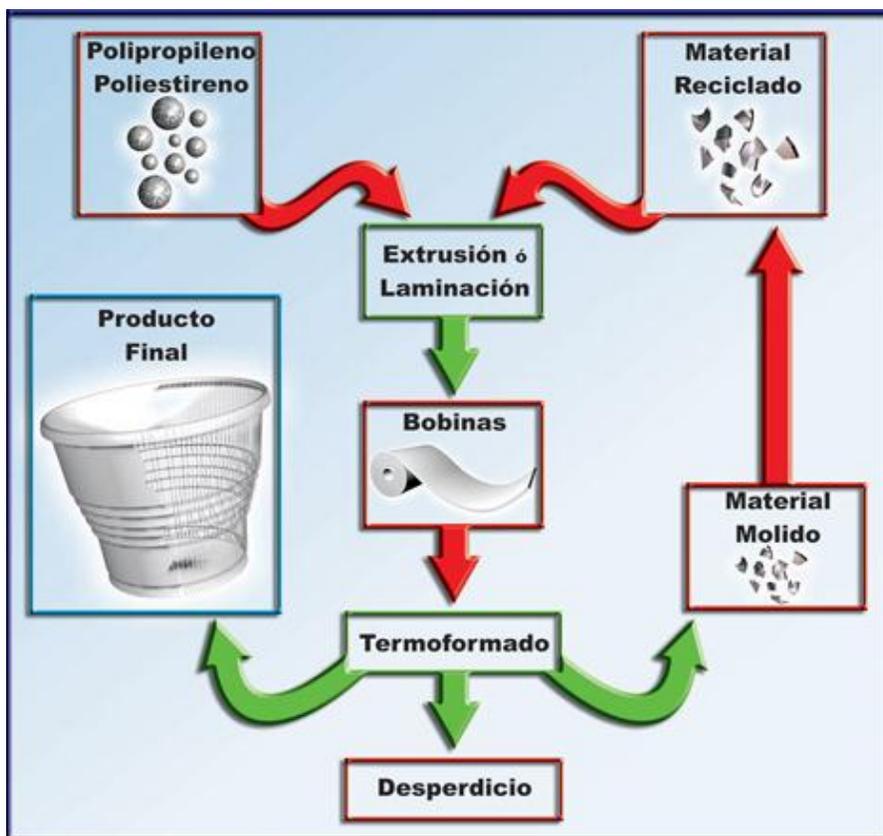


Figura 1.25 Esquema de producción del poliestireno por medio de extrusión y laminado.

[\[http://www.zupla.com.ve/portal/tecnologia.php\]](http://www.zupla.com.ve/portal/tecnologia.php)

### **1.17 Termo-formado.**

El termo-formado es un proceso de transformación de plástico que involucra una lámina de plástico que es calentada y que toma la forma del molde sobre el que se coloca. El termo-formado puede llevarse a cabo por medio de vacío, presión y temperatura.

Las ventajas del termo-formado es la utilización de pocas herramientas, costo de ingeniería baja y menos tiempo, lo que hace que el termo-formado sea ideal para el desarrollo de prototipos y un bajo volumen de producción. Las aplicaciones de los productos plásticos por termo-formado incluyen: interiores automotrices, contenedores para empaque y transporte, equipo deportivo y recreacional, equipo médico, y más.

Los materiales que se utilizan en el termo-formado son numerosos y van a depender de la aplicación y las propiedades que se requieran. [<http://www.quiminet.com/articulos/que-es-el-termoformado-32016.htm>]

### **1.18 Función del vapor de agua sobre los materiales expandidos.**

- Entrada de vapor:

La fuente de energía más importante en la transformación de materiales expandidos es el vapor de agua. El estado en que se encuentra este vapor de agua es de gran importancia para la transformación del poliésterol y para la calidad de los materiales expandidos fabricados. Son muchas las dificultades de la transformación, que se deben a defectos en la instalación de vapor [BASF, 1990].

- Características del vapor a utilizarse:

Una sustancia que tiene una composición química fija se llama sustancia pura. Existen varias situaciones prácticas en que dos fases de una sustancia pura coexisten en equilibrio. El agua existe como una mezcla de líquido y vapor en la caldera y el condensador en una central eléctrica. La figura 1.34 muestra la transición del agua de la fase líquida a la fase gaseosa y el significado de los conceptos de vapor húmedo, vapor saturado y vapor sobrecalentado.

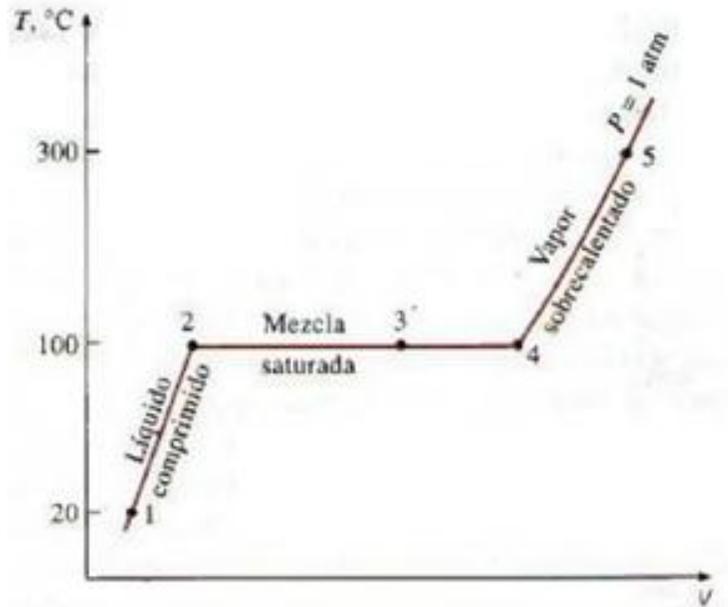


Figura 1.26 Diagrama T-V para el proceso de calentamiento de agua a presión constante. [Cengel & Boles, 2002]

El vapor para el proceso de expansión va a ser suministrado por un caldero de cuatro BHP de potencia, con presión de saturación de 50 libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi) y temperatura correspondiente a esa presión de saturación 138 °C.

En la zona de vapor húmedo la temperatura de ebullición o de vapor saturado corresponde a la presión de saturación correspondiente. Por consiguiente, los valores de presión y temperatura no son suficientes para determinar el estado del vapor (excepto para el valor sobrecalentado), ya que con la misma presión todas las mezclas de vapor y agua tienen la misma temperatura.

El vapor de agua sobrecalentado es un gas incoloro, lo que comúnmente se denomina “vapor visible” que son las gotas de agua en finísima dispersión y, por tanto, una mezcla de vapor, agua y aire.

Para la transformación del poliésterol en materiales expandidos, la mejor opción es el vapor saturado. Pero desde el punto de vista termo vibratorio, se trata de un estado teórico que sólo se produce en un punto de la curva, y por tanto de forma inestable, y que en la práctica, es un estado de transición de vapor húmedo a vapor sobrecalentado o viceversa.

---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
Se requiere que el vapor sea húmedo de una calidad alta para pre-expandir y expandir el poliésterol pero que tenga un grado de humedad menor, ya que la humedad que llega al pre-expansor con el vapor empeora la transmisión del calor a las perlas y por tanto, el comportamiento en la expansión y la capacidad de deslizamiento del material. La humedad presenta mayores inconvenientes en la expansión posterior en moldes cerrados. Por una parte, la película de agua que humedece las perlas, impide la rápida transmisión de calor deseada y además, actúa como separador entre las perlas. Ambas circunstancias empeoran la soldadura de las mismas.

Por otra parte, al enfriarse el agua en los espacios entre las partículas y en las microceldas, impide la corriente de los gases (vapor, aire, pentano). A ello hay que añadir que también hay que eliminar el calor del agua encerrada en el material expandido y esto prolonga naturalmente el tiempo del ciclo.

- Distribución del vapor:

Una buena instalación de las tuberías es de gran importancia. Por esta razón, se deben aislar todas las partes de la instalación por las que circule el vapor [Cengel & Boles, 2002].

Una instalación de vapor fría debe calentarse lentamente, entre 5 y 20 minutos. Pues de lo contrario, en las partes de las tuberías de paredes gruesas, como en las griferías y bridas, se producen fuertes tensiones que a menudo originan permeabilidad en las juntas y, en situaciones críticas, daños serios.

El diámetro de las tuberías depende de la presión del vapor, de la pérdida de presión tolerada y del caudal de vapor requerido. El vapor puede alcanzar velocidades de hasta 50 m/s, por lo tanto se debe procurar que mediante la instalación correspondiente el condensado se elimine rápidamente y de ser posible completamente en las pausas, pues con estas velocidades de corriente el condensado residual puede entrar en turbulencia y ser arrastrado provocando golpe de ariete que puede producir localmente presiones muy elevadas, somete a grandes esfuerzos los dispositivos de regulación y la red de tuberías, especialmente los codos sufren una fuerte erosión. Además, por motivos técnicos, se deben tomar todas las medidas posibles para conseguir un vapor saturado libre de condensado.

Una vez generado el vapor a la presión de salida del caldero este debe regularse bajando su presión para un mejor aprovechamiento del calor latente de evaporación, seguidamente del

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu) regulador, una manguera con acople rápido se comunica hacia la matriz en donde existe una cámara de vapor maquinada 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 como se observa en la figura 1.35.

Para evitar que las perlas de poliesterol escapen hacia la cámara de vapor, disminuir rebabas en el modelo final y facilidad de adquirir la herramienta en el mercado nacional, se escoge una broca de diámetro un mm.

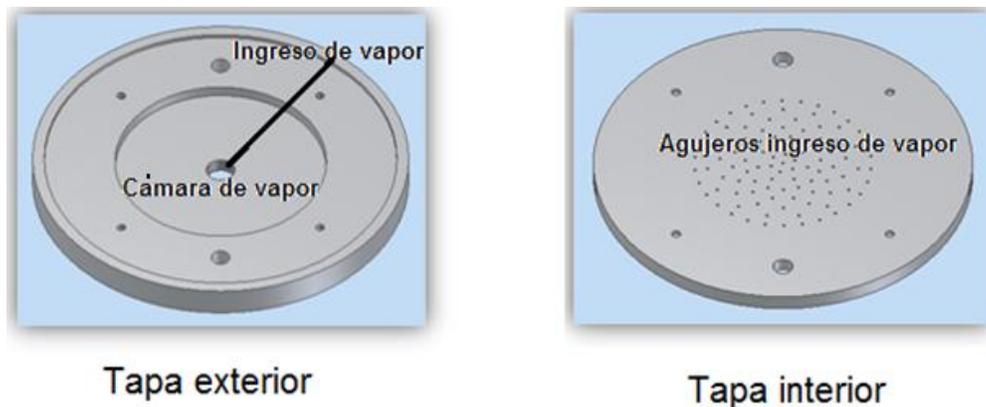


Figura 1.27. Tapas de matriz. [SolidWorks, 2013]

- Llenado de material en la matriz:

La matriz en la cual se va a introducir la materia prima debe estar limpia y armada. Seguidamente se pesa el poliesterol de acuerdo al modelo que se va a fabricar en una balanza electrónica. El proceso de llenado del material se realiza de manera manual con la ayuda de un dosificador plástico graduado [Cengel & Boles, 2002].

- Refrigeración del proceso:

Una vez armada la matriz, el vapor ingresa y empieza a ceder su calor hacia las perlas lo cual permite que el pentano se volatilice, las perlas se expanden y el vapor entre a las micro celdas, y como están comprimidas en el interior de la matriz, se empaquetan formando un bloque sólido. Todo este proceso genera un rechazo de calor hacia el exterior por lo que es necesario refrigerar para evitar que las paredes de la matriz quemen al poliesterol y evitar también el proceso de post-expansión [Cengel & Boles, 2002].

---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
Durante la operación se aplican ciclos de calentamiento y enfriamiento, cuidadosamente seleccionados para el mejor equilibrio económico de la operación y para conseguir una densidad homogénea a través del bloque así como una buena consolidación de los gránulos, buena apariencia externa del bloque y ausencia de combaduras.

Por otro lado en la etapa de fusión del ciclo de moldeo, la pieza moldeada ejerce presión contra las paredes de la cavidad. Si la pieza no ha sido enfriada para reducir la presión interna de la pieza moldeada, la pieza seguirá creciendo después de la expulsión. Esta condición se conoce como post-expansión. Para eliminar la post-expansión, es necesario enfriar la cavidad del molde, lo que reduce la presión interna de la pieza moldeada a un punto en el que se puede expulsar y seguir manteniendo su dimensión.

La refrigeración se realiza normalmente mediante pulverización de agua en la parte posterior de la cavidad de la pared del molde.

Debido al tamaño pequeño de la matriz, un sistema de refrigeración interno no es viable, por no existir espacio en la misma para realizar estas adecuaciones, por otro lado implementar un sistema de pulverización de agua no es conveniente por el costo que conlleva en referencia al tamaño, por lo que para la refrigeración de la misma se va a proceder a refrigerar mediante inmersión, de esta manera el rechazo de calor generado por el proceso de expansión se libera de mejor manera por esta vía.

- Desacople rápido del sistema:

El sistema de desacople rápido implementado es con el fin de agilizar los pasos entre expansión y expulsión del modelo, así como facilitar el traslado de la matriz para su refrigeración, con esto lo que se logra es disminuir el tiempo de operación [Cengel & Boles, 2002].

### 1.19 Descripción del colado de piezas de fundición de alta resistencia, obtenido por el método de vertido vibratorio.

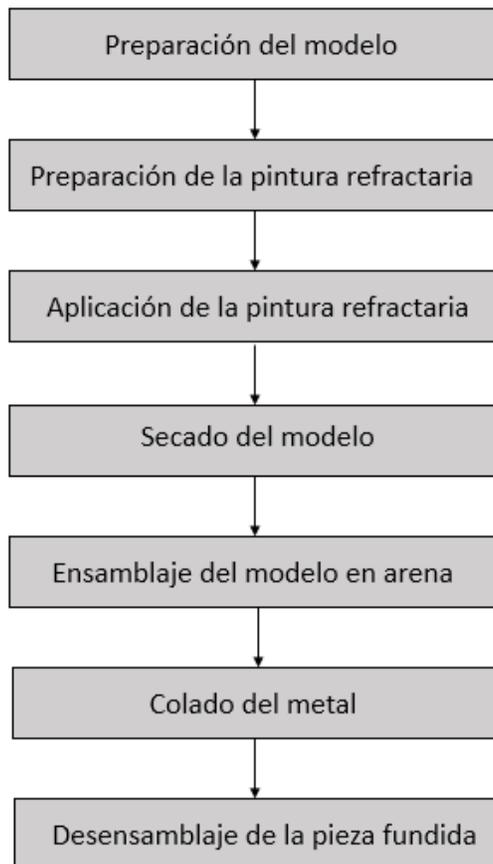


Figura 1.28 Diagrama de flujo del proceso de fundición por el método de espuma perdida. [Freire, 2008]

### 1.20 Espumas de poliésterol adecuadas para el corte con alambre caliente.

- El Poliésterol expandido (bloques).
- Poliésterol extruido (en azul, verde, placas de color gris, liso de color rosa o morado, dependiendo del fabricante).
- Espuma rígida de Polymethacrylimide de baja densidad (Rohacell), excelentes propiedades mecánicas, pero muy caro.

---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)

- Espuma de Polipropileno Flexible, ideal para la protección contra golpes.
- Espuma de Polietileno, flexible y resistente a la rotura.
- Materiales personalizados, como las espumas utilizadas en los tanques de combustible flexible para reducir los riesgos de explosión [Campos; Álvarez, 2006].

### **1.21 Consideraciones generales.**

- 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 poliésterol expandido (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 poliésterol expandido (EPS), por lo que al tener contacto con las perlas evita la pre-expansión.
- A mayor tiempo de exposición del material pre-expandido dentro de la matriz va a existir una mayor expansión y por ende una 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, la pieza moldeada ejerce presión contra las paredes de la matriz. Si la pieza no ha sido enfriada para reducir la presión interna de la pieza moldeada, la pieza seguirá creciendo después de la expulsión, por lo tanto provocaría deformaciones en el modelo.
- La presión adecuada para el proceso de obtención de modelos en poliésterol expandido (EPS) es de 10 psi y el tiempo es de seis minutos.
- 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 poliésterol expandido (EPS) va a depender de la rugosidad de la matriz, por lo que el grabado debe ser obtenido mediante procesos de maquinado fino o electroerosión.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)

- La temperatura ideal de pre-expansión está en un rango de 60 a 101°C, mientras que la temperatura a la cual se está expandiendo dentro de la matriz se encuentra a un rango entre 80 a 90 °C, logrando un excelente acabado superficial de los modelos en poliesterol expandido (EPS).
- El tamaño de grano y el nivel de compactación de la arena modifican excesivamente el coeficiente de transferencia de calor, la conductividad térmica y la salida de gases.
- Las piezas obtenidas mediante el proceso de fundición a la espuma perdida se pueden utilizar directamente, con ello se ahorra tiempo y dinero al no tener la necesidad de maquinar la pieza final.
- La utilización de aluminio para la fabricación de matrices, que normalmente se elaboran de 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.
- Una de las condiciones del poliesterol expandido (EPS) es el contenido de pentano dado por norma en un 5 % mínimo, el poliesterol expandido (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.

## **CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN DE LOS MODELOS DE POLIESTEROL EXPANDIDO (EPS) EN LA OBTENCIÓN DE FUNDIDOS DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE EL TRATAMIENTO “IN MOLD”, POR EL MÉTODO DE VERTIDO VIBRATORIO.**

### **2.1 Metodología de cálculo de los parámetros para la obtención de fundidos de alta resistencia por el método “In mold”.**

La metodología de cálculo de los parámetros para la obtención de fundidos de alta resistencia por el método “In mold” constituye un aspecto importante para la Unidad Empresarial de Base Fundición Acero Hierro de Holguín (UEBFAH), debido a que permite el cálculo y análisis. Esta metodología facilita la determinación de un conjunto de variables que inciden directamente en el proceso productivo y define la calidad del producto final.

A continuación se describe de manera exhaustiva los diferentes elementos y variables que componen esta metodología, aplicada en el proceso tecnológico de obtención de fundidos de alta resistencia por el método “In mold” en la Unidad Empresarial de Base Fundición Acero Hierro de Holguín (UEBFAH).

Como todo proceso productivo en la Unidad Empresarial de Base Fundición Acero Hierro de Holguín (UEBFAH), se inicia por la identificación de los requerimientos del cliente, relativos a la pieza o piezas que desea. Ver figura 2.1. Generalmente existen dos situaciones típicas con el cliente. En unos casos, el cliente sólo dispone de una muestra física de la pieza, acompañado de requerimientos adicionales, por lo que es necesario el diseño en 3D de la misma. En otros casos, el cliente proporciona el modelo en 3D de la pieza (o piezas) con sus respectivos requerimientos. En ambas situaciones, el equipo de Ingeniería de la Unidad Empresarial de Base Fundición Acero Hierro de Holguín (UEBFAH) realiza una revisión de los datos aportados por el cliente.

Una vez que se tiene consenso con los datos, se pasa al cálculo de diferentes parámetros tecnológicos y a la elaboración de la tecnología correspondiente. Al igual que en el paso anterior, se realiza un chequeo en equipo de los resultados obtenidos. Este paso da lugar a la fabricación del herramental tecnológico necesario para producir la pieza (o piezas) en cuestión, con su respectiva comprobación.

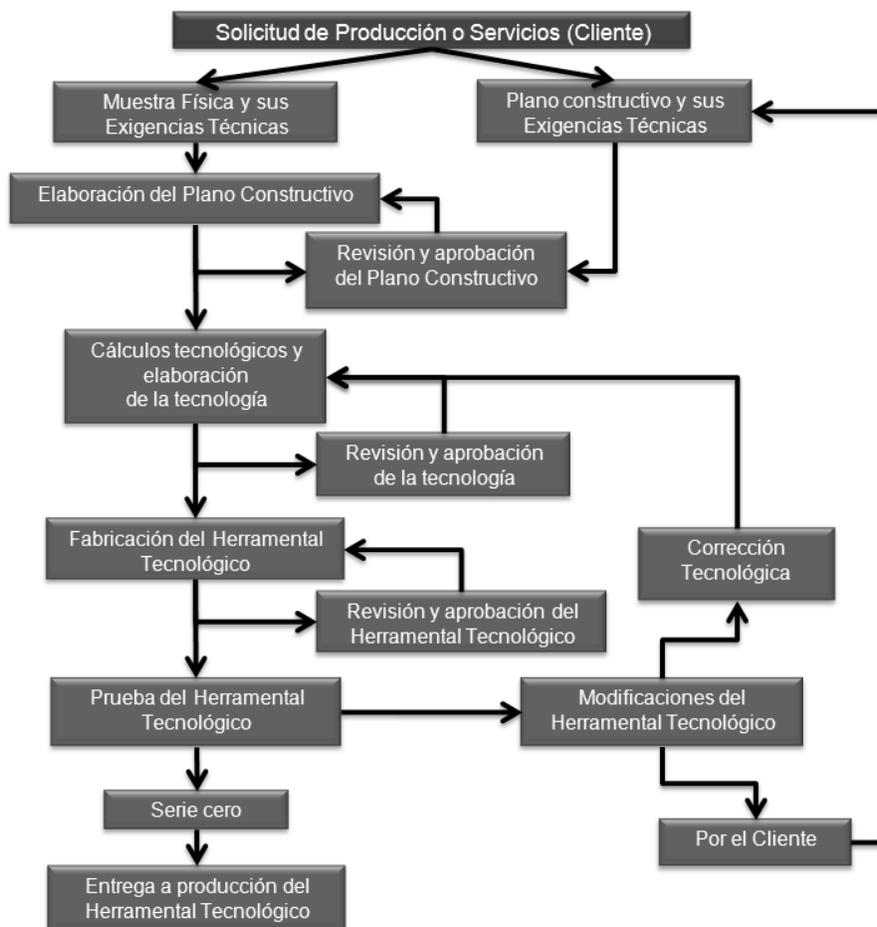


Figura 2.1 Diagrama de flujo de la Unidad Empresarial de Base Fundición Acero Hierro de Holguín (UEBFAH).

La prueba del herramental tecnológico constituye un paso importante en este flujo, pues es el que garantizará las exigencias técnicas del cliente. Las modificaciones a este herramental pueden provenir desde el cliente, hasta las correcciones tecnológicas necesarias, que implican diferentes decisiones. Luego se produce la serie cero y si es satisfactoria, se entrega al Departamento de Producción el herramental tecnológico obtenido.

Como se observa, el proceso productivo pasa por diferentes etapas o procesos dentro del flujo productivo. En cada caso, existen diferentes variables que inciden en la toma de decisiones

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu) relacionadas con la Ingeniería para la obtención de fundidos de alta resistencia por el método “In mold”.

Desde el punto de vista tecnológico, la metodología para el cálculo de los parámetros para la obtención de fundidos de alta resistencia por el método “In mold” se puede expresar en cuatro etapas o momentos como se muestra en la figura 2.2.

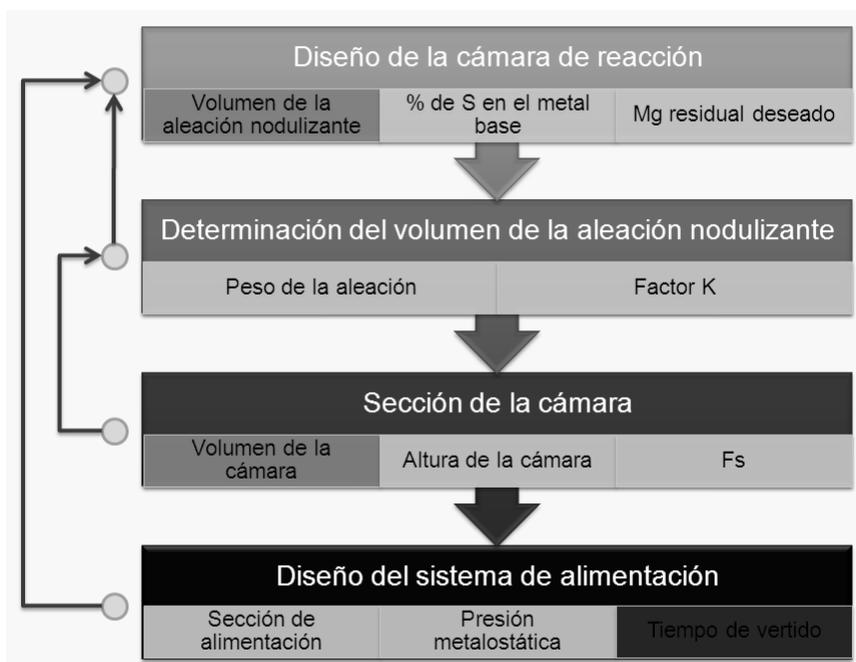


Figura 2.2 Etapas fundamentales en la metodología para el método “In mold”. Determinación de la frecuencia. [Sánchez, 2013]

A continuación se describen los aspectos fundamentales que forman parte de cada paso o etapa de la metodología expresada en la figura 2.2.

### 2.2 Diseño de la cámara de reacción.

Del diseño adecuado de la cámara de reacción dependen otros parámetros que definen la formación del grafito esferoidal durante la modificación, como lo son la velocidad de disolución de la aleación, el factor solución, peso total de la colada, etc.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu  
 El primer paso a seguir para la construcción de la cámara de reacción es conocer la masa de la de la aleación nodulizante que se obtiene según la expresión 1. [Sánchez, 2013]

$$M_{an} = \frac{M_{fm} * K * [(\%Scmb * 0,76) + M_{grd}] * 100}{(100 - PfMg) * \%Mga} \quad (1)$$

Donde:

Man: Masa de la aleación nodulizante en kg.

Mfm: Masa del fundido a modificar en kg.

K: Coeficiente de pérdidas en el sistema de alimentación y la cámara de reacción, mostrado en la tabla 2.

%Scmb: Porcentaje de azufre en el caldo metálico base en %.

Mgrd: Magnesio residual deseado en %.

PfMg: Pérdida por fusión del Mg en %.

%Mga: Porcentaje de Mg en la aleación nodulizante.

### 2.2.1 Cálculo del peso de la pieza.

Para calcular el peso de una pieza se comienza por dividir el plano de la pieza fundida en figuras geométricas a las cuales se les calcula el volumen, para lo cual se utilizan las fórmulas incorporada en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Fórmula determinar superficies, volumen y espesor equivalente de los cuerpos. [Sánchez, 2013]

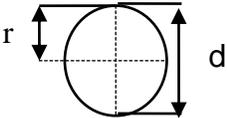
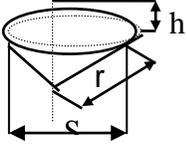
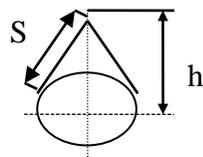
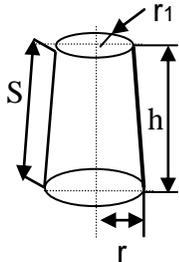
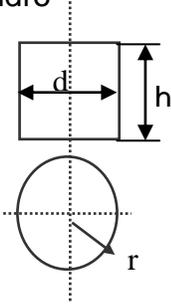
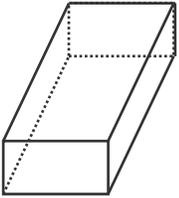
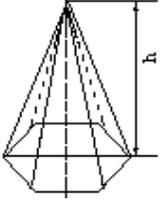
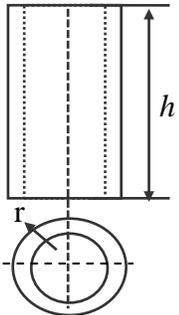
Formas del cuerpo	Superficie: superficies laterales externas: M	Volumen :V	Espesor equivalente: R
Esfera 	$F = \pi r^2$	$V = \frac{\pi d^3}{6}$	$R = \frac{d}{6}$

Tabla 2.1 (Cont.)

<p>Sector esfera</p> 	$F = \frac{\pi r}{2}(4h + S)$	$V = \frac{2}{3\pi r^2 h}$	$R = \frac{4rh}{3(4h + S)}$
<p>Cono</p> 	$F = \pi x$ $x = \sqrt{(r^2 + h^2) + r}$	$V = \frac{\pi r^2 h}{3}$	$R = \frac{rh}{3\sqrt{r^2 + h^2} + r}$
<p>Cono truncado</p> 	$M = \pi S(r + r_1)$ $F = \pi[S(r + r_1) + r + r_1]$	$V = (r^2 + r_1^2 + r r_1) \frac{\pi h}{3}$	$R = \frac{h[(r^2 - r_1^2) + r r_1]}{3[S(r + r_1) + r + r_1]}$
<p>Cilindro</p> 	$M = 2\pi r h = \pi d h$ $F = 2\pi r(h + r)$	$V = \frac{\pi d^2 h}{4}$	$R = \frac{rh}{2(h + r)}$

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu  
 Tabla 2.1 (Cont.)

<p>Prisma</p> 	$F = 2(ah + bh + ab)$	$V = abh$	$R = \frac{abh}{2(ah + bh + ab)}$
<p>Pirámide</p> 	$F = \frac{ahn + arn}{2}$	$V = \frac{hna}{6}$	$R = \frac{hr}{3(h+r)}$
<p>Cilindro hueco</p> 	$M = 2\pi h(r + r_1)$ $F = \pi[2h(r - r_1)(r^2 - r_1^2)]$	$V = \pi h(r^2 - r_1^2)$	$R = \frac{h}{2} \times \frac{r - r_1}{h + r + r_1}$

Una vez calculado el volumen de las figuras geométricas en que fue dividida la pieza se suman obteniéndose el volumen total de la pieza.

A partir del volumen obtenido, se determina la masa de la pieza de acuerdo a la relación expresada por la expresión 2. [Sánchez, 2013]

$$M_{fm} = V_{fm} * \delta$$

(2)

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu  
 Donde:

Mfm: Masa del fundido a modificar en kg.

Vfm: Volumen del fundido en  $\text{cm}^3$ .

pe: Densidad de la fundición de alta resistencia que es de  $7.1-7.6 \text{ g/cm}^3$ , la investigación considera una marca con una densidad de  $7,35 \text{ g/cm}^3$ .

En la actualidad con el diseño asistido por computadoras se obtiene la masa de la pieza a partir de las propiedades físicas, que para el caso de la presente investigación es 6,2 kg.

Observaciones:

El peso específico de la fundición aumenta con la disminución del contenido de grafito, con la disminución del contenido de silicio y aluminio y con la disminución de la porosidad. Con el aumento de la temperatura, el peso específico de la fundición disminuye acorde con el coeficiente de dilatación térmica.

El peso de la pieza en bruto a modificar nos permite el cálculo de la cantidad de nodulizante requerido, ya que si es insuficiente no se obtiene una nodularidad satisfactoria en la pieza o ninguna. Por el contrario, si es excesiva se producen problemas de disolución incompleta del nodulizante, inclusiones de escorias y se reduce la eficiencia del proceso, por lo que utiliza la expresión 3 en su cálculo.

Cuando se realiza la tecnología asistida por computadora, una vez diseñada la (Mfm) se busca el valor de la masa en las propiedades mecánicas.

El coeficiente K que incluye la pérdida del metal en el sistema de alimentación y la cámara de reacción, se determina por la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Coeficiente de pérdidas del sistema de alimentación y mazarotas (K). [Sánchez, 2013]

Fundición Gris	Fundición Esferoidal		Acero
	Modificación en cazuela	Modificación en "In mold"	
1.21	1.21	1.95	1.4

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu  
 De la tabla 2.2 se selecciona el  $K = 1,95$  para la modificación "In mold".

### 2.2.2. Porcentaje de azufre en el caldo metálico base Scmb.

La composición química del caldo metálico base es C-3,26%; Si-2,4%; Mn-0,51%; P-0,12%; S-0,03%, de donde  $\% Scmb = 0,03\%$ .

### 2.2.3 Determinación del magnesio residual deseado.

Para la aplicación del proceso "In mold" es indispensable el conocimiento del nivel del magnesio residual deseado que debe quedar entre 0.035 y 0.05% para garantizar que todo el grafito sea esferoidal. Para este caso de investigación se toma 0,04% por dos motivos: es una cifra promedio y es el porcentaje contenido en las coladas tradicionalmente.

### 2.2.4 Pérdida por fusión del magnesio.

Las investigaciones [Davis, 1990], han demostrado que en el proceso "In mold" la eficiencia del magnesio es igual o mayor al 80 % y precisa que la pérdida por fusión en el proceso "In mold" es de 20%, por lo que se asume que  $PfMg$  es 20%.

### 2.2.5 Porcentaje de Mg en la aleación nodulizante.

Esta investigación emplea como aleación nodulizante el nodulante II (Mg 5 %, Si 45 %, Ca 2 %, Al 3%, Fe 40 % y M.T.R. el resto). De donde el porcentaje de Mg es 5 %.

Sustituyendo los valores en la expresión 1 se obtiene las expresiones 3 y 4

$$Man = \frac{6,2 * 1,95 * [(0,003 * 0,76) + 0,04] * 100}{(100 - 20) * 25} \quad (3)$$

$$Man = \frac{75,9252}{400} \approx 0,189813kg \quad (4)$$

Conociendo de la expresión 4 la masa de la aleación nodulizante y la densidad de la aleación, se determina el volumen de la aleación nodulizante conforme a la expresión 5. [Sánchez, 2013]

$$V_a = \frac{M_{an}}{\rho} \quad (5)$$

Donde:

$V_a$ : Volumen de la aleación en  $\text{cm}^3$ .

$M_a$ : Masa de la aleación nodulizante en g.

$\rho$ : Densidad de la aleación nodulizante en  $\text{g/cm}^3$ .

Desarrollando la expresión 6 se determina la masa de la aleación nodulizante en gramos.

$$M_{an} = 0,189813 * 1000 \approx 189,98g \quad (6)$$

La aleación nodulizante usada es el nodulante II con una densidad de  $3,25 \text{ g/cm}^3$  para la granulometría de 2,5mm.

Sustituyendo en la expresión 5 se obtiene la expresión 7

$$V_a = \frac{189,98g}{3,25g / \text{cm}^3} \approx 58,45\text{cm}^3 \quad (7)$$

Luego se determina el volumen de la cámara. El volumen de la cámara de reacción debe ser el óptimo y para su cálculo se tiene en cuenta el volumen de la aleación nodulizante y el parámetro de la cámara de nodulización (K: 0.6 – 0.8). Bajo las condiciones de la Unidad Empresarial de Base Fundición Acero Hierro de Holguín (UEBFAH), K es de 0.7.

Conociendo que el volumen de la aleación nodulizante es de  $58.45 \text{ cm}^3$  se determina el volumen de la cámara ( $V_c$ ) según la expresión 8

$$V_c = \frac{V_a}{K} \quad (8)$$

Donde:

$V_c$ : Volumen de la cámara.

$K = \frac{V_a}{V_c}$  : Parámetro de la cámara bajo las condiciones de la UEBFAH es 0,7.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu  
Sustituyendo en la expresión 8 se obtiene en la expresión 9

$$V_c = \frac{58,45}{0,7} \approx 83,5 \text{ cm}^3 \quad (9)$$

A continuación se realiza el cálculo de la masa de la cámara utilizando la expresión 10. [Sánchez, 2013]

$$M_c = V_c * \rho_e \quad (10)$$

Donde:

$M_c$ : Masa de la cámara de reacción.

$V_c$ : Volumen de la cámara en  $\text{cm}^3$ .

$\rho_e$ : Densidad del fundidos de alta resistencia igual a  $7,35 \text{ g/cm}^3$ .

Sustituyendo en la expresión 10 se obtiene en la expresión 11

$$M_c = 83,5 * 7,35 \approx 613,73 \text{ g} \approx 0,61 \text{ kg} \quad (11)$$

El siguiente paso consiste en encontrar el área de solución de la cámara de reacción que es otro factor importante en la nodulización de acuerdo a la expresión 12

$$A_s = \frac{V_v}{F_s} \quad (12)$$

Donde:

$A_s$ : Área de solución de la cámara de reacción en  $\text{cm}^2$ .

$V_v$ : Velocidad de vertido en  $\text{kg/s}$ .

$F_s$ : Factor Solución. Resultante de las investigaciones de [Dunks, 1976], se recomienda tomar como factor solución  $0,069 \text{ kg/ s} * \text{cm}^2$ .

La velocidad de vertido se determina de acuerdo a la expresión 13

$$V_v = \frac{M_p * K}{T_v} \quad (13)$$

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu  
 El tiempo de vertido ( $T_v$ ) se considera uno de los problemas más complejos, para su cálculo en piezas de fundición gris, se utiliza la expresión 14

$$T_v = S * \sqrt{M_p * K} \quad (14)$$

Donde:

S: Coeficiente que se obtiene por la tabla 2.3.

K: Coeficiente que incluye la pérdida del metal en sistema de alimentación y mazarotas y se determina por la tabla 2.2.

Tabla 2.3 Magnitud del coeficiente S para fundición gris. [Sánchez, 2013]

<b>Espesor medio de la pared(mm)</b>	≤10	10 - 20	20 - 40	≥40
<b>Valor del Coeficiente S</b>	1,0	1,3	1,5	1,7

El espesor medio de la pared ( $\delta$ ) se calcula sumando todos los espesores de pared y dividiéndolo entre la cantidad de espesores de pared como indica expresión 15

$$\delta = \frac{1 + 2 + 3 \dots n}{n} \quad (15)$$

La investigación usa probetas de fundición según la norma internacional ASTM A 536 – 84 (Reaprobada 1999), donde los espesores son 25mm y 54mm, utilizando estos valores en 15 se obtiene el valor del espesor medio de la pared en la expresión 16

$$\delta = \frac{25 + 54}{2} \cong 39,5mm \quad (16)$$

Entonces con un valor medio de pared de 39.5mm, la magnitud del coeficiente S indicado en la tabla 2.3 es de 1,5.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
 Sustituyendo estos valores en la expresión 14 se determina el  $T_v$  en la expresión 17

$$T_v = 1,5 * \sqrt{6,2 * 1,95} \approx 5,22s \quad (17)$$

Sustituyendo en la expresión 13 se obtienen las expresiones 18 y 19

$$V_v = \frac{6,2 * 1,95}{5,22} \quad (18)$$

$$V_v \approx 2,42kg/s \quad (19)$$

Sustituyendo en la expresión 12 se determina el área de solución la cámara de reacción en la expresión 20 [Sánchez, 2013]

$$A_s = \frac{2,42}{0,069} \approx 35,07cm^2 \quad (20)$$

Debido a la forma geométrica cilíndrica seleccionada para la cámara de reacción se determina el diámetro de la cámara de reacción por la expresión 21 [Sánchez, 2013]

$$D_{cr} = 2 * \sqrt{\frac{A_s}{\pi}} \quad (21)$$

Donde:

$D_{cr}$ : Diámetro de la cámara de reacción en cm.

$A_s$ : Área de solución la cámara de reacción en  $cm^2$  y se determina en la expresión 22.

$$D_{cr} = 2 * \sqrt{\frac{35,07}{3,1416}} = 2 * 11,163 \approx 6,68cm \approx 66,8mm \quad (22)$$

Una vez determinado el volumen de la aleación nodulizante y el área de solución de la cámara de reacción, se calcula la altura de la aleación en la cámara ( $H_a$ ) por la expresión 23 [Sánchez, 2013]

$$H_a = \frac{V_a}{A_s} \quad (23)$$

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu  
Donde:

Ha: Altura de ocupada por la aleación nodulizante en la cámara de reacción en cm.

As: Área de solución de la cámara de reacción en  $cm^2$ .

Va: Volumen de la aleación nodulizante en  $cm^3$ .

Sustituyendo en la expresión 23 se determina (Ha) en la expresión 24

$$Ha = \frac{58,45cm^3}{35,07cm^2} \approx 1,67cm \quad (24)$$

La altura de la cámara de reacción (Hc) define la esferoidización del grafito y se calcula según la expresión 25 [Sánchez, 2013]

$$Hc = Ha + (1 - 2) \quad (25)$$

Donde:

Hc: altura de la cámara de reacción en cm.

Ha: Altura ocupada por la aleación nodulizante en la cámara de reacción en cm.

Se sustituye el valor de (Ha), además se toma como promedio 1,5 cm en la expresión 25 y en la expresión 26 queda determinada la altura de la cámara. Ver Anexo 1 donde en el plano se muestra el diseño de la cámara para esta dimensión.

$$Hc = 1,67 + 1,5 \approx 3,17cm \quad (26)$$

Se selecciona la variable masa de la aleación nodulizante disminuida en 10% y 20% de su valor tecnológico. [Sánchez, 2013]

Se calcula para 10% menos del valor tecnológico en la expresión 27

Donde:

Man<sub>(-10%)</sub>: Masa de la aleación nodulizante menos 10% en gramos.

$$Ma_{(-10\%)} = 189,98 - 18,99 \approx 170,99g \quad (27)$$

Sustituyendo en la expresión 5 se obtiene en la expresión 28 el volumen de la aleación nodulizante con un 10% menor a su valor tecnológico (Va)

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu

$$Va_{(-10\%)} = \frac{170,99g}{3,25g/cm^3} \approx 52,61cm^3 \quad (28)$$

Luego con la expresión 28 se calcula el volumen de la cámara para 10% menor del valor tecnológico en la expresión 29

$$Vc_{(-10\%)} = \frac{52,61}{0,7} \approx 75,16cm^3 \quad (29)$$

A continuación se realiza el cálculo de la masa de la cámara para 10% menos del valor tecnológico con la expresión 30 [Sánchez, 2013]

$$Mc_{(-10\%)} = Vc * \rho_e \quad (30)$$

Donde:

$Mc_{(-10\%)}$ : Masa de la cámara de reacción.

$Vc_{(-10\%)}$ : Volumen de la cámara para menos 10% m en  $cm^3$ .

$\rho_e$ : Densidad del fundidos de alta resistencia igual a  $7,35 g/cm^3$ .

Luego en la expresión 31 se obtiene

$$Mc_{(-10\%)} = 75,16 * 7,35 \approx 552,43g \approx 0,55kg \quad (31)$$

El área de solución de la cámara de reacción se mantiene constante y de la expresión 23 se calcula la altura de la aleación en la cámara para 10% menor de su valor tecnológico por la expresión 32

$$Ha_{(-10\%)} = \frac{52,61}{35,07} \approx 1,5cm \quad (32)$$

La altura de la cámara de reacción para el 10% menor del valor tecnológico se determina, sustituyendo el valor de  $Ha_{(-10\%)}$  obtenido en la expresión 32 y en la expresión 33 queda determinada  $Hc_{(10\%)}$ . Ver Anexo 2 donde en el plano se muestra el diseño de la cámara para esta dimensión.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu

$$Hc_{(-10\%)} = 1,5 + 1,5 \approx 3cm \quad (33)$$

Acto seguido se calcula para 20% menos del valor tecnológico en la expresión 34

$$Ma_{(-20\%)} = 189,98 - 37,99 \approx 151,99g \quad (34)$$

Donde:

$Ma_{(-20\%)}$ : Masa de la aleación nodulizante meno 20% en gramos.

Sustituyendo en 5 se obtiene en la expresión 35 el volumen de la aleación nodulizante con un 20% menor a su valor tecnológico  $Va_{(-20\%)}$

$$Va_{(-20\%)} = \frac{151,99g}{3,25g/cm^3} \approx 46,76cm^3 \quad (35)$$

Luego con la expresión 35 se calcula el volumen de la cámara para  $Va_{(-20\%)}$  para 20% del valor tecnológico como se observa en la expresión 36

$$Vc_{(-20\%)} = \frac{46,76}{0,7} \approx 66,8cm^3 \quad (36)$$

A continuación se realiza el cálculo de la masa de la cámara para 20% menos del valor tecnológico en la expresión 37 [Sánchez, 2013]

$$Mc_{(-20\%)} = Vc_{(-20\%)} * \rho_e \quad (37)$$

Donde:

$Mc_{(-20\%)}$ : Masa de la cámara de reacción.

$Vc_{(-20\%)}$ : Volumen de la cámara para menos 20% en  $cm^3$ .

$\rho_e$ : Densidad del fundido de alta resistencia igual a  $7,35g/cm^3$ .

Luego en la expresión 38 se obtiene

$$Mc_{(-20\%)} = 66,8cm^3 * 7,35g/cm^3 \approx 490,98g \approx 0,49kg \quad (38)$$

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu  
 El área de solución de la cámara de reacción se mantiene constante y de la expresión 23 se calcula la altura de la aleación en la cámara para 20% menor de su valor tecnológico por la expresión 39

$$Ha_{(-20\%)} = \frac{46,76}{35,07} \approx 1,33cm \quad (39)$$

La altura de la cámara de reacción para el 20% menor del valor tecnológico, se sustituye el valor de  $(Ha_{(-20\%)})$  obtenido en la expresión 39 y en la expresión 40 queda determinada. Ver Anexo 3 donde en el plano se muestra el diseño de la cámara para esta dimensión.

$$Hc_{(-20\%)} = 1,33 + 1,5 \approx 2,83cm \quad (40)$$

### 2.3 Diseño del sistema de alimentación.

El diseño del sistema de alimentación para la obtención de artículos fundidos de alta resistencia debe ser el adecuado, porque influye en la velocidad de disolución de la aleación nodulizante, el factor solución, el diseño de la cámara de reacción, el peso total de la colada, etc. Se inicia con el cálculo del área mínima del sistema de alimentación utilizando la ecuación 41, recomendada por [Goyos, 1991].

$$\sum Fa_{\text{alimentadores}} = \frac{K * Mp}{\mu * Tv * 0.31 * \sqrt{Hm}} \quad (41)$$

Donde:

K: Coeficiente que incluye la pérdida del metal en el sistema de alimentación y mazarotas, se determina por la tabla 2.2 y es igual a 1,95.

Mp: Masa de la pieza en kg ya calculada en (2) igual a 6,2 kg.

$\mu$ : Coeficiente que incluye la resistencia del sistema de alimentación al paso de metal y se determina por la tabla 2.4.

Tv: Tiempo de vertido en segundos que determinado en la expresión 17 es igual a 5,22s.

Hm: Presión metalostática media.

La tabla 2.4 relaciona el valor del coeficiente que incluye la resistencia del sistema de alimentación al paso de metal ( $\mu$ ).

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu  
 Tabla 2.4 Coeficiente de resistencia del sistema de alimentación al paso de metal ( $\mu$ ). [Sánchez, 2013]

Carácter del molde	Alto	Medio	Bajo
Húmedo	0,25	0,32	0,42
Seco	0,30	0,38	0,50

De la tabla 2.4 se obtiene que ( $\mu$ ) para el caso es 0,32.

La presión metalostática se calcula teniendo en cuenta los parámetros mostrados en la figura 2.3.

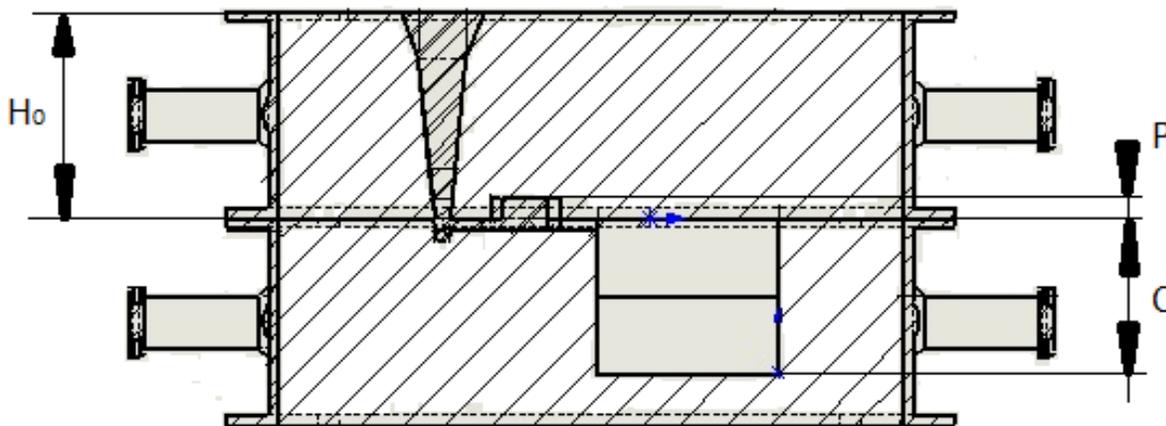


Figura 2.3 Valores de Ho, P y C.

La presión metalostática ( $H_m$ ) se determina por la expresión 42, cuando el vertido es por encima  $P = 0$  y  $H_m = H_0$  [Sánchez, 2013]

$$H_m = H_0 - \frac{P^2}{2C} \quad (42)$$

Para el caso con vertido por sifón la presión metalostática se determina por la expresión 43 [Sánchez, 2013]

$$H_m = H_o - \frac{C}{2} \quad (43)$$

Donde:

H<sub>m</sub>: Presión metaloestática.

H<sub>o</sub>: Altura de la caja superior.

C: Altura total de la colada según la elección del plano divisor.

P: altura de la colada por encima del plano divisorio.

Para el caso de la investigación la altura de la caja superior es 200mm y la pieza se obtiene en la caja inferior por eso H<sub>m</sub>= H<sub>o</sub>=200 mm.

La investigación utiliza la norma internacional ASTM A 536 – 84 (Reaprobada 1999). Para el modelo de las probetas de fundición, que se muestra en la figura 2.4.

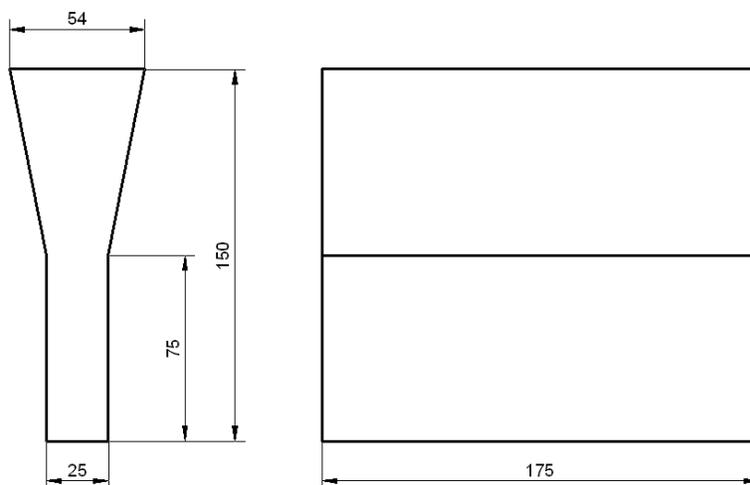


Figura 2.4 Bloque en Y según norma ASTM A537-84 (Reaprobada 1999). Para extracción de muestra para ensayos mecánicos.

Sustituyendo en la expresión 41 se determina área mínima del sistema de alimentación en la expresión 44

$$\sum Fa_{limitadores} = \frac{1,95 * 6,2}{0,32 * 5,22 * 0,31 * \sqrt{200}} \approx 1,65 cm^2 \quad (44)$$

Para evitar la introducción de escoria e inclusiones a la pieza, se establece una relación de los componentes del sistema de alimentación que cada elemento siguiente es 12% mayor que el anterior.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu  
De esta forma se logra que en cada elemento siguiente tenga mayor altura que el anterior, durante el flujo de metal queden atrapadas las suciedades en la parte superior de la sección, evitando así su paso a la parte posterior y así sucesivamente va sirviendo de trampa hasta lograr una pieza limpia en la expresión 45.

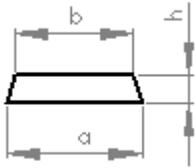
$\Sigma$  F alimentador de la pieza: F alimentador de la cámara: F tragadero.

$$1:1,12:1,134:1,36 \quad (45)$$

Sustituyendo se obtiene en la expresión 46

$$1,65: 1,85:1,871 \quad (46)$$

Tabla 2.5 Dimensiones de los alimentadores (mm). [Sánchez, 2013]

Área de sección (cm <sup>2</sup> )										
	3		5		8		12		16	
	a	B	a	b	a	b	a	b	a	b
0.3	11	9	7	5	-	-	-	-	-	-
0.5	18	16	11	9	8	5	-	-	-	-
0.7	25	22	16	12	10	8	-	-	-	-
0.9	31	29	19	17	12	10	-	-	-	-
1.0	35	32	21	19	13	10	-	-	-	-
1.2	41	39	25	22	15	12	-	-	-	-
1.4	48	45	29	26	18	15	12	9	-	-
1.8	61	59	37	34	22	19	15	12	12	9
2.2	75	72	45	42	31	25	19	16	15	12
2.5	85	82	51	49	31	28	21	18	16	13
3.0	95	92	57	54	39	36	25	22	19	16

En la tabla 2.6 se incorporan las dimensiones de los elementos de alimentación.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu  
 Tabla 2.6 Dimensiones de los elementos de alimentación.

No	Elementos del sistema de Alimentación	Dimensiones		
		a	b	h
1	F alimentador de la pieza	16	11. 5	1 2
2	F alimentador de la cámara	17. 5	13. 5	1 2

El área del tragadero regula la efectividad del llenado de los moldes y el resultado de la obtención de la estructura esferoidal y calcula el diámetro (Dtr) según la expresión 47 [Sánchez, 2013].

$$Dtr = 2 * \sqrt{\frac{Ft}{\pi}} \quad (47)$$

Donde:

Dtr: Diámetro del tragadero en cm<sup>2</sup>.

Ft: sección del tragadero cm<sup>2</sup>.

Se sustituye en la expresión 47 el área del tragadero determinada en 46 y en la expresión 48 se obtiene Dtr

$$Dtr = 2 * \sqrt{\frac{1,871}{3,1416}} = 2 * 0,772 \approx 1,54cm \approx 15,4mm \quad (48)$$

La taza de vertido garantiza el llenado continuo del tragadero y se obtiene por la expresión 49 y la expresión 50

$$Db = 3 * Dtr \quad (49)$$

Donde:

Db: Diámetro superior de la taza de vertido.

El valor de la expresión 48 se sustituye en la expresión 49 y se calcula Db en la expresión 50

---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu  
 $Db = 3 * 15,4 \approx 46,2mm$

(50)

La altura de la taza (Hb) es igual al diámetro de la taza, lo que implica que es igual a 46,2 mm.

## **2.4 Manufactura de modelos de poliesterol expandido utilizando una mesa de corte con alambre de nicrom caliente.**

Para la elaboración de los modelos de poliesterol expandido se fabrica una mesa manual cortadora de espuma de alambre caliente, creando una herramienta utilizada para cortar el poliesterol y otros materiales similares. El dispositivo consiste en un alambre delgado y tenso de metal, a menudo de nicrom o de acero inoxidable, o un alambre más grueso preformado en la forma deseada, que se calienta a través de la resistencia eléctrica. A medida que el cable pasa a través del material a cortar, el calor del alambre vaporiza el material justo antes de ponerse en contacto. La profundidad del corte sólo está limitada por la longitud del cable. Los tipos de cable que se utiliza con mayor frecuencia son:

- 1) Preformados, manualmente o con pinzas.
- 2) Tensionados.

### **2.4.1 Fabricación de la mesa.**

La mesa de alambre caliente de corte de espuma, se puede utilizar con un cable vertical u horizontal. La de posición vertical es utilizada principalmente para cortar formas pequeñas y complejas, como letras y elementos prismáticos y la horizontal es muy usada en la construcción y el embalaje.

La mesa que se utiliza en esta investigación tiene un alambre de nicrom en posición vertical. El alambre de corte, se fija al brazo tensor y al dispositivo eléctrico, los movimientos hacia arriba y hacia abajo se realiza según el tamaño que tenga el poliesterol apoyados en la guía vertical, así de esta manera se realizan cortes muy precisos como se muestra en la.

Para la elaboración de la mesa que se muestra en la figura 2.5, fue necesario primero hacer un análisis de las condiciones existentes y luego pasar a realizar el diseño utilizando el software SolidWorks de las partes fundamentales que la componen como son el brazo tensor, alambre de

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
nicrom, guía para realizar los cortes lo más preciso posible, el área de trabajo, la base metálica, los dispositivos eléctricos (cables eléctricos, interruptor de corriente, etc.) y la guía vertical.

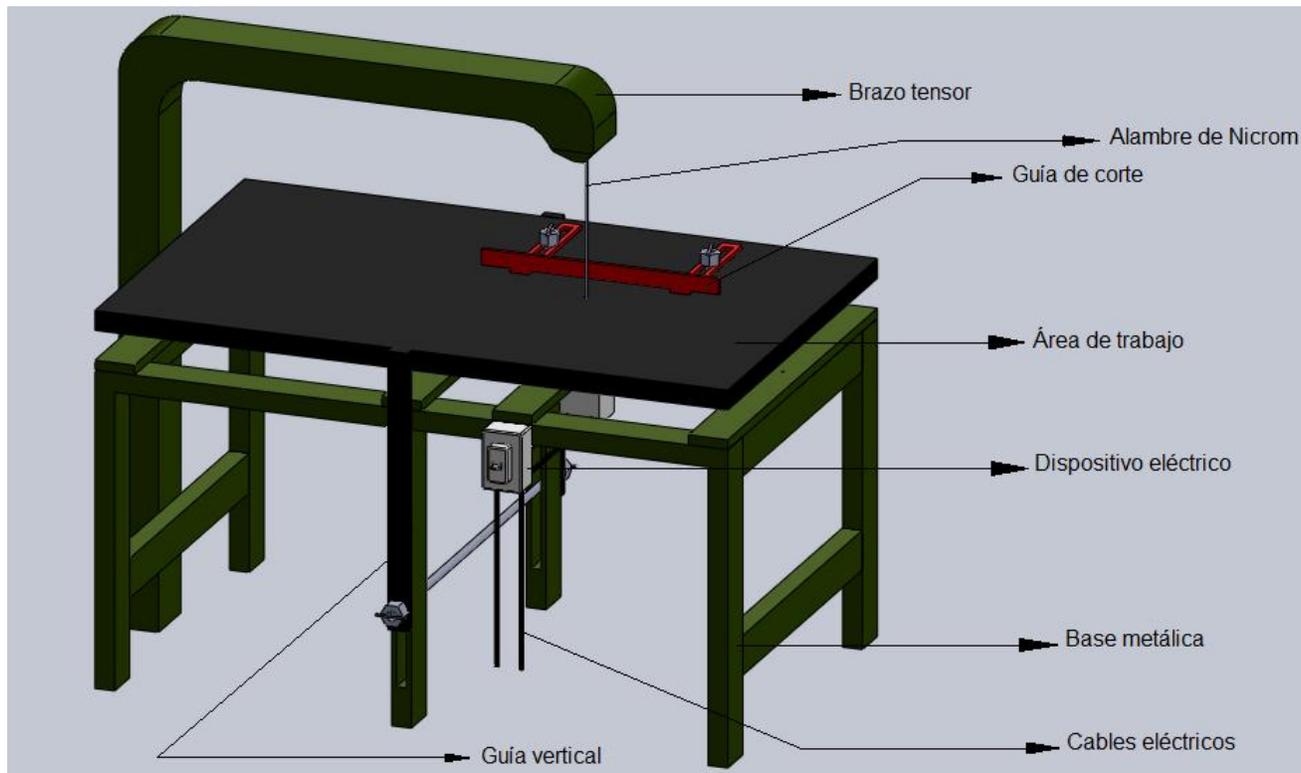


Figura 2.5. Mesa de corte manual de poliésterol.

#### 2.4.2 Propiedades, características y aplicación del alambre de nicrom.

El alambre de nicrom que se utiliza es una aleación de Ni-Cr, 80-20, a temperaturas de operación de hasta 1 200°C. Su composición química brinda una buena resistencia a la oxidación, especialmente en condiciones de conmutación frecuente o de amplias fluctuaciones de temperatura. Algunas propiedades del alambre de nicrom se muestran en la tabla 2.7.

Puede ser utilizado en, elementos calefactores en artefactos domésticos e industriales, y resistores de control [<http://www.alloywire.com/spanish/index.html>]; ejemplo, en la industria de los explosivos y los fuegos artificiales como puente para el sistema de ignición eléctrica, en la industria cerámica como estructura interna para ayudar a que ciertos elementos mantengan su forma, para electrodomésticos que requieran producir calor rápidamente como secadores,

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
 planchas, tostadoras, calentadores y hornos eléctricos y en la industria de los hornos y del embalaje como sellante de plástico por calor.

Tabla 2.7 Propiedades del alambre de nicrom [<http://www.alloywire.com/spanish/index.html>].

<b>Aleación</b>	<b>Composición química %</b>	<b>Densidad</b>	<b>Resistividad eléctrica a 20 ° C</b>	<b>Temperatura de operación máxima</b>	<b>Punto de fusión</b>
Ni-Cr	80-20	8.31 g/cm <sup>3</sup>	108 microhms * cm	1200 ° C	1400° C

El alambre de nicrom posee varias características como son: resistentes, flexibles y soporta, elevadas temperaturas. Gran conductor eléctrico. Se calienta rápidamente al aplicar electricidad, pero también se enfría con rapidez cuando se desconecta de la fuente de calor. Es de color gris plateado. Resistente a la corrosión. Tiene un punto de fusión alto. Posee elevada resistencia eléctrica y a la oxidación a altas temperaturas.

[<http://www.mwmaterialsworld.com/media/catalog/product/cache/1/image/c5c4539fc0bd95c1c7c8b24e1a279541/h/i/hilo-nicrom.jpg>].

#### **2.4.3 Realización del corte del poliesterol utilizando el alambre de nicrom.**

El corte consiste en hacer pasar una sección de poliesterol por el alambre de nicrom, al cual se le suministra una intensidad de corriente, siendo el poliesterol cortado por la alta temperatura que tiene el alambre. En algunos casos la sección de poliesterol tiene un movimiento relativo respecto al hilo incandescente, en otros casos el hilo de resistencia eléctrica tendrá un movimiento relativo respecto a la sección del poliesterol, en este trabajo se realiza como se explica en el primer caso. Para obtener un corte óptimo se debe tomar algunos parámetros como son:

- La densidad del material.
- La velocidad de corte.
- El tipo de alambre a utilizarse: Aleación Ni-Cr (80-20).
- La intensidad de corriente suministrada.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
Estos parámetros se relacionan entre sí, por ejemplo con el aumento de la densidad del material la velocidad de corte disminuye, así mismo si se emplea un alambre de corte de mayor diámetro, con este se logra incrementar la velocidad de corte por cuanto la temperatura del hilo es mayor, debido a que a mayor diámetro del hilo la resistencia es menor. Esto se justifica con la ecuación siguiente:

$$R = \frac{\rho * l}{A}$$

Donde:

R: Resistencia del hilo de corte  $\Omega/m$ .

$\rho$ : Densidad del material(Ni-Cr).

$l$ : Longitud del hilo de corte m.

A: Área de la sección transversal del hilo de corte  $m^2$ .

Para este proyecto se dispone de una fuente de alimentación de corriente alterna (AC) que suministra de 3 a 12 Voltios y un amperaje de 1 700 mili Ampere, el  $\emptyset$  hilo es 0.25 mm, la resistencia es  $11.83\Omega$  y la velocidad de corte es de 2mm/s.

#### 2.4.4 Construcción del modelo.

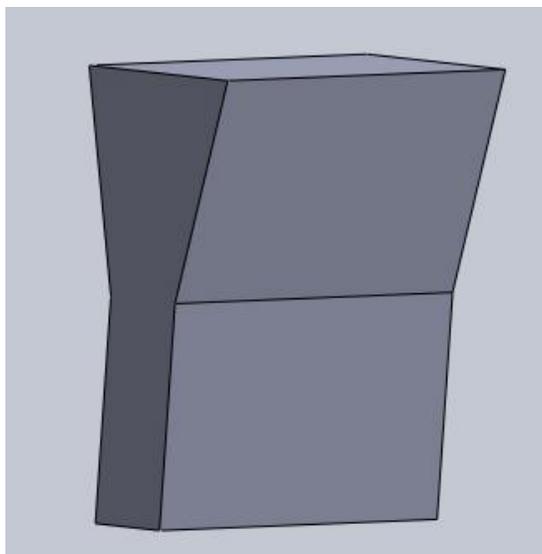


Figura 2.6. Modelo probeta para la obtención de fundiciones de alta resistencia.

---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
Para la construcción del modelo o de la serie cero, hay que seguir los siguientes pasos que se muestran a continuación:

- Se diseña el modelo a replicarse en computadora, en este caso usando el software SolidWorks (figura 2.6).
- Se imprime el diseño en una cartulina gruesa fácil de recortar.
- Se recorta el diseño dejando las comunicaciones por donde fluirá el metal fundido.
- Se coloca el diseño encima del poliesterol expandido (EPS) y se procede a cortar con el alambre de nicrom en la mesa de elaboración de modelos antes señalada.
- Se lija el modelo de poliesterol expandido (EPS) con lija de grano N° 400 obteniendo el modelo listo para iniciar el proceso de fundición.
- Se elabora el sistema de alimentación con el mismo proceso de corte y se lo pega al modelo con silicona líquida, obteniendo el modelo listo para el recubrimiento de pintura refractaria, moldeo en arena y colado del metal.

### **2.5 Ventajas de la utilización del poliesterol expandido (EPS).**

- Como en todos los procesos que utilizan modelos perdidos, se evita el problema del almacenaje de los modelos.
- La precisión de las piezas coladas es grande, ya que la utilización del poliesterol expandido (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 empleadas es, generalmente, menor que en un método tradicional.
- No es necesaria la utilización de machos y la intervención del personal especializado en su producción.
- 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.

---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)

- Mejores condiciones de acabado superficial que con el moldeo de arena superficial, 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.

## **2.6 Desventajas de la utilización del poliesterol expandido (EPS).**

Se requiere sumo cuidado en los parámetros iniciales del proceso.

- Hay que controlar variables presentes en el colado (gases).
- El modelo es destruido en el proceso de fundición.
- Los modelos son más delicados en su manejo.
- No se puede utilizar equipo de moldeo mecánico.
- No se puede revisar el acabado del molde.
- Se necesita un nuevo patrón para cada fundición.

## **2.7 Valoración económica.**

La madera es uno de los materiales utilizados en la fabricación de los modelos. La tabla 2.8 muestra los precios de la madera según su clasificación. La sustitución de la misma por poliesterol expandido (EPS), material no reciclable en nuestro país y de bajo costo, por lo que uso del mismo representa un ahorro importante a la economía de las empresas fundidoras del país ya que las panchas de poliesterol expandido (EPS) de espesores de 1cm, 3cm, 4cm tienen un equivalente de 1.20€ y las de 2cm, 3cm, 4cm tienen un equivalente de 3.47€.

[\[http://www.lacasadelaconstruccion.es/materiales-construccion.php?producto=19302\]](http://www.lacasadelaconstruccion.es/materiales-construccion.php?producto=19302)

Los modelos construidos de poliesterol expandido son muy ligeros y contribuyen a disminuir el coste del transporte con respecto al ahorro del combustible. Los productos de poliesterol expandido (EPS) tienen un alto potencial calorífico, convirtiéndose estos en un material idóneo para la recuperación energética. Un kilogramo de poliesterol expandido (EPS) equivale a 1.3 litros de combustible líquido. El proceso de transformación consume poca energía y apenas genera residuos, además es un material de aislamiento térmico eficiente y efectivo.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu  
 Tabla 2.8 Lista de precio de la madera obtenido de la Empresa Forestal Integral.  
 Municipio Mayarí.

Productos (1 m <sup>3</sup> )	MN	CUC
Tablas Pino A	488.77	221.51
Vigas Pino A	440.33	199.56
Bloques Pino A	400.30	181.42
Bases	340.05	154.11
Tablas Pino B	314.80	142.87
Vigas Semi-Dura A	448.41	188.49
Bloques Semi-Dura A	407.84	181.35
Tablas Semi-Dura B	320.57	142.62
Vigas Semi-Dura B	302.12	135.83
Cedro en bloques	754.99	377.34
Tablas Dura A	858.83	328.98
Vigas Dura A	581.74	298.37
Bloques Dura A	537.95	289.43
Tablas Dura B	423.05	211.88
Vigas Dura B	402.90	201.78

## 2.8 Valoración ambiental.

La sustitución de los modelos de madera por modelos de poliesterol expandido contribuyen de una forma u otra a la protección del medio ambiente, debido a que se disminuye la tala indiscriminada de los bosques para la obtención de los modelos de maderas que son utilizados en la producción de fundido; disminuye la no reforestación de los bosques y la emisión de desechos sólidos como son el serrín y otras en la confección de estos modelos. El ruido de las máquinas utilizadas en este proceso, que también contribuye a la contaminación ambiental, son eliminadas y por lo tanto es menos monóxido de carbono que emiten las centrales termoeléctricas de nuestro

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu) país; además el poliesterol expandido no daña la capa de ozono porque no utiliza Clorofluorocarbono(CFCs) ni Hidroclorofluorocarbono(HCFCs) durante el proceso de producción, no emite sustancias hidrosolubles que puedan contaminar las aguas subterráneas y su fabricación y utilización no genera ningún riesgo para la salud ni para el medio ambiente.

### **2.9 Aporte a la defensa.**

Los fundidos de alta resistencia obtenidos con modelos de poliesterol expandido utilizando la mesa de corte con alambre de nicrom, tratadas “In mold” y el método de vertido vibratorio, se utilizan en la reparación de la técnica militar en la Empresa de Cosechadoras Cañeras “60 Aniversario de la Revolución de Octubre”.

## CONCLUSIONES

1. El estudio bibliográfico realizado permitió conocer que los productos y artículos fabricados con poliésterol expandido (EPS) se caracterizan por ser extraordinariamente ligeros aunque resistentes. La densidad del material guarda una estrecha relación con las propiedades de resistencia mecánica, siendo esto importante para determinadas aplicaciones donde se exija esta.
2. Por ser la madera uno de los materiales utilizado en la fabricación de los modelos, el cual es deficitario y de alto costo, se hace una propuesta de sustituir la misma por modelos de poliésterol expandido (EPS) en la obtención de fundidos de alta resistencia por el tratamiento “In mold” y el método de vertido vibratorio de una manera más competitiva, sostenible y sustentable.
3. Esta investigación establece por primera vez en la UEBFAH “Héroes del 26 de julio” una metodología de fabricación de modelos de poliésterol expandido (EPS) usando una mesa de corte con alambre de nicrom, en la producción de artículos fundidos de alta resistencia utilizando el método de vertido vibratorio.
4. Los modelos construidos de poliésterol expandido (EPS) son muy ligeros y contribuyen a disminuir el coste del transporte con respecto al ahorro del combustible.
5. Los resultados de esta investigación han permitido la ejecución del Proyecto “Aumento del Rendimiento Tecnológico General de la Producción de fundidos de alta resistencia utilizando modelos de poliésterol expandido (EPS) y el método de vertido vibratorio” en el cual la Unidad Empresarial de Base Fundición Acero Hierro de Holguín (UEBFAH) participa como entidad receptora en la ejecución.
6. Serán beneficiadas con estos resultados la Fábrica de Cosechadoras Cañeras “60 Aniversario de la Revolución de Octubre” y la Fábrica de Implementos Agrícolas “Héroes del 26 de Julio” al implementar una línea de producción con la utilización del poliésterol expandido (EPS) en sustitución de la madera en la elaboración de modelos y la aplicación del vertido vibratorio en la obtención de fundidos de alta resistencia, que permite aumentar el rendimiento tecnológico general, disminuir el índice de rechazo, la pérdida metálica y salir al mercado con un producto más competitivo, sostenible y sustentable.

## **RECOMENDACIONES**

1. Reforzar los bordes y áreas donde haya agujeros, una vez pintado el modelo o los modelos para evitar desmoronamientos y rebabas excesivas en la pieza terminada.
2. Secar los modelos en un ambiente controlado a una temperatura de 60 °C por cuatro horas, verificando el cambio de coloración en la superficie de los modelos.
3. Evitar juntas frías, siendo la velocidad de colado de 2,42 kg/s, lo más rápida posible y la temperatura de colado debe estar oscilando en un rango de 1425 a 1450°C.
4. Generalizar esta aplicación en los modelos para la obtención de artículos de otros metales y aleaciones.
5. Reciclar la mayor cantidad posible de poliesterol expandido (EPS) para la elaboración de los modelos.
6. Generalizar esta metodología en todas las empresas fundidoras del País.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Abramov, A. "Manual del joven fundidor". Editorial Alta Escuela. Moscú. 1983. 203 p.
2. ASM Metals Handbook, Volume 15 "Casting", PDF, página 500, 501, 502, 503, 504, 505, 580.
3. Basf, S. "El vapor de agua como fuente energética en la transformación de materiales expandidos". Informaciones Técnicas. 1990. 390p.
4. Bawa, H.S. "Procesos de Manufactura", Editorial McGraw-Hill, Nueva Delhi, India, 2007 pág 341.
5. Campos, M; Álvarez, A. "Modelos gasificables en la obtención de piezas de metales ferrosos y no ferrosos". Escuela Superior Politécnica del Litoral; Guayaquil; 2008. 385p.
6. Cengel & Boles, "Termodinámica", Editorial, McgrawHill, 4ta edición, México, 2002, pág 67.
7. Davis, K. G. "Dissolution of MgFeSi Alloy During Indmold Treatment". British Foundryman. 1990. 457p.
8. De Monroy, C. "Conformación por Moldeo II"; "Tecnología Industrial". 2006 IES; página 5, Internet, <http://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/14+Moldeo2.pdf>. 14/03/14.
9. Dunks, C.M. "Mold Nodulizing and Continuous Stream Treatment Techniques as Operated in Europe". Foundry Trade Journal. 1976. 234p.
10. Freire, M. "Estudio de las Pinturas Refractarias en el Proceso de Fundición por el Método de Espuma Pérdida en Aleaciones No Ferrosas". Escuela Superior Politécnica del Litoral; Guayaquil; 2008; pág 110.
11. Freire, M. "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; pág 47.
12. Genderevich, N. A. "Elección del modificador para la obtención de piezas de hierro de alta resistencia modificado en el molde". Liteinoe Proistbostba. N. 2. 1999. pág16-17.
13. Goyos Pérez, L.; Martínez Reina, Elio. "Tecnología de fundición II". Editorial ISPJAE. Ciudad de la Habana. 1991. 243 p.
14. Groover, Mikell P. "Fundamentos de manufactura moderna". <http://www.shitec.net/tp/lost-foam.htm>. 24/03/14.



---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 www.uho.edu.cu

15. <http://es.wikipedia.org/wiki/Fresado>. 30/03/14.
16. [http://isa.umh.es/asignaturas/tftm/mecanizado\(3\).pdf](http://isa.umh.es/asignaturas/tftm/mecanizado(3).pdf). 30/03/14.
17. <http://www.alloywire.com/spanish/index.html> 17/06/14.
18. <http://www.castingsdev.com/public/documents/Replicast%20Article.pdf>. 15/03/14.
19. [http://www.electroconstructora.com/index.php?option=com\\_adsmanager&page=show\\_ad&adid=6&catid=11&Itemid=38](http://www.electroconstructora.com/index.php?option=com_adsmanager&page=show_ad&adid=6&catid=11&Itemid=38) . 25/03/14.
20. [http://www.foamlinx.com/foamlinx\\_cnc\\_router\\_tables.html](http://www.foamlinx.com/foamlinx_cnc_router_tables.html). 29/03/14.
21. [http://www.foamlinx.com/foamlinx\\_cnc\\_router\\_tables.html](http://www.foamlinx.com/foamlinx_cnc_router_tables.html). 30/03/14.
22. <http://www.fresadoras-cnc.com/home.html>. 01/04/14.
23. <http://www.fresadoras-cnc.com/home.html>. 01/04/14.
24. <http://www.fresadoras-cnc.com/home.html>. 30/03/14.
25. <http://www.iprod.auc.dk/mantech/metcast/replica/intro/intrtext.htm>. 15/03/14.
26. <http://www.lacasadelaconstruccion.es/materiales-construccion.php?producto=19302> 17/06/14.
27. [http://www.lostfoam.com/content/learning\\_center/video\\_downloads-lostfoam\\_process.php](http://www.lostfoam.com/content/learning_center/video_downloads-lostfoam_process.php). 24/03/14.
28. [http://www.lostfoam.com/content/services/prototype\\_casting.php](http://www.lostfoam.com/content/services/prototype_casting.php) 25/03/14.
29. <http://www.mwmaterialsworld.com/media/catalog/product/cache/1/image/c5c4539fc0bd95c1c7c8b24e1a279541/h/i/hilo-nicrom.jpg> 17/06/14.
30. <http://www.profesorenlinea.cl/mediosocial/Plumavit.htm>. 27/03/14.
31. <http://www.quiminet.com/articulos/que-es-el-termoformado-32016.htm>. 01/04/14.
32. <http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliesterol/propiedades>. 27/03/14.
33. <http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliesterol/usos>. 17/03/14.
34. <http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliesterol-expandido>. 20/03/14.
35. <http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliesterol-expandido>. 27/03/14.
36. <http://www.zupla.com.ve/portal/tecnologia.php>. 01/04/14.
37. Jutz, H. "Tablas para la industria metalúrgica"; GTZ; Ed. Reverté; Barcelona; 1984; pág 16.
38. Mannion, G. "Experiencias with the production of mechanize Nodular iron casting whith the in mold process". Foundry Trade Journal. Vol 137. 1994. pág. 139-147.



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

- 
- Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)
39. McCaulay, J. M. "Production of nodular graphite iron Casting In the In-mold Process". Foundry Trade Journal. Vol. 130. 1991. pág. 327-335.
40. Sánchez Figueredo, R.P. "Tecnología para la obtención de fundidos de cuproaleaciones sanos de poros y sopladuras". UPADI 2012. XXXIII. Convención Panamericana de Ingenierías. VI Conferencia Internacional de las Ingenierías Mecánicas, Eléctricas e Industrial. 2012. Editorial Obras. CD-ROOM-ISBN 978-959-247-094-1.
41. Sánchez Figueredo, R.P. "Tecnologías alternativas sostenibles y sustentables en procesos de fundición de metales ferrosos y no ferrosos". UPADI 2012. XXXIII. Convención Panamericana de Ingenierías. Congreso medioambiente y desarrollo Humano. MADEHUMAN 2012. 2012. Editorial Obras. CD-ROOM-ISBN 978-959-247-094-1.
42. Sánchez Figueredo R.P. "Tecnología de impacto medioambiental en procesos de fundición de metales". 2010. CD – ROOM-ISBN: 1607-6281.
43. Sánchez Figueredo, R.P. "Cálculo del costo y precio de los fundidos a través del Rendimiento Tecnológico General". VI conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín. Ingeniería y Desarrollo. 2013. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-2138-2.
44. Sánchez Figueredo, R.P. "Disminución de nodulizante en la obtención de fundidos de hierro con grafito esferoidal por el método de vertido dinámico". VI conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín. Ingeniería y Desarrollo. 2013. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-2138-2.
45. Sánchez Figueredo, R.P. "El comportamiento de la composición química en los fundidos metálicos por el método de vertido dinámico". VI conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín. Ingeniería y Desarrollo. 2013. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-2138-2.
46. Sánchez Figueredo, R.P. "Estudio de las propiedades mecánicas a la tracción de los fundidos metálicos obtenidos por el método de vertido dinámico". VI conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín. Ingeniería y Desarrollo. 2013. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-2138-2.
47. Sánchez Figueredo, R.P. "Influencia de la velocidad de vertido y el porcentaje de nodulizante en el número de nódulos y la dureza del fundidos nodular". VI conferencia Científica Internacional de



---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)  
la Universidad de Holguín. Ingeniería y Desarrollo. 2013. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-2138-2.

48. Sánchez Figueredo, R.P. “Influencia del por ciento de cola en la composición química del fundidos nodular”. VI conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín. Ingeniería y Desarrollo. 2013. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-2138-2.

49. Sánchez Figueredo, R.P. “Influencia en el comportamiento de la estructura metalográfica de los fundidos de metales obtenidos por el método de vertido dinámico”. VI conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín. Ingeniería y Desarrollo. 2013. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-2138-2.

50. Sánchez Figueredo, R.P. “Obtención de fundidos de hierro con grafito esferoidal por el método de vertido dinámico”. VI conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín. Ingeniería y Desarrollo. 2013. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-2138-2.

51. Sánchez Figueredo, R.P. “Obtención de fundidos metálicos por el método de vertido dinámico”. VI conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín. Ingeniería y Desarrollo. 2013. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-2138-2.

52. Sánchez Figueredo, R.P. “Recuperación y adaptación de vibrador electromagnético en rampa dinámica, para la obtención de fundidos de metales ferrosos y no ferrosos”. VI conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín. Ingeniería y Desarrollo. 2013. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-2138-2.

53. Sánchez Figueredo, R.P. “Reducción de las mazarotas en las piezas de acero por el método de vertido dinámico”. VI conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín. Ingeniería y Desarrollo. 2013. Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-2138-2.

54. Software, SolidWorks, 2013.

55. Vargas, J. “Fundamentos y ejercicios del dibujo mecánico”; Folleto; 2007; pág D61.



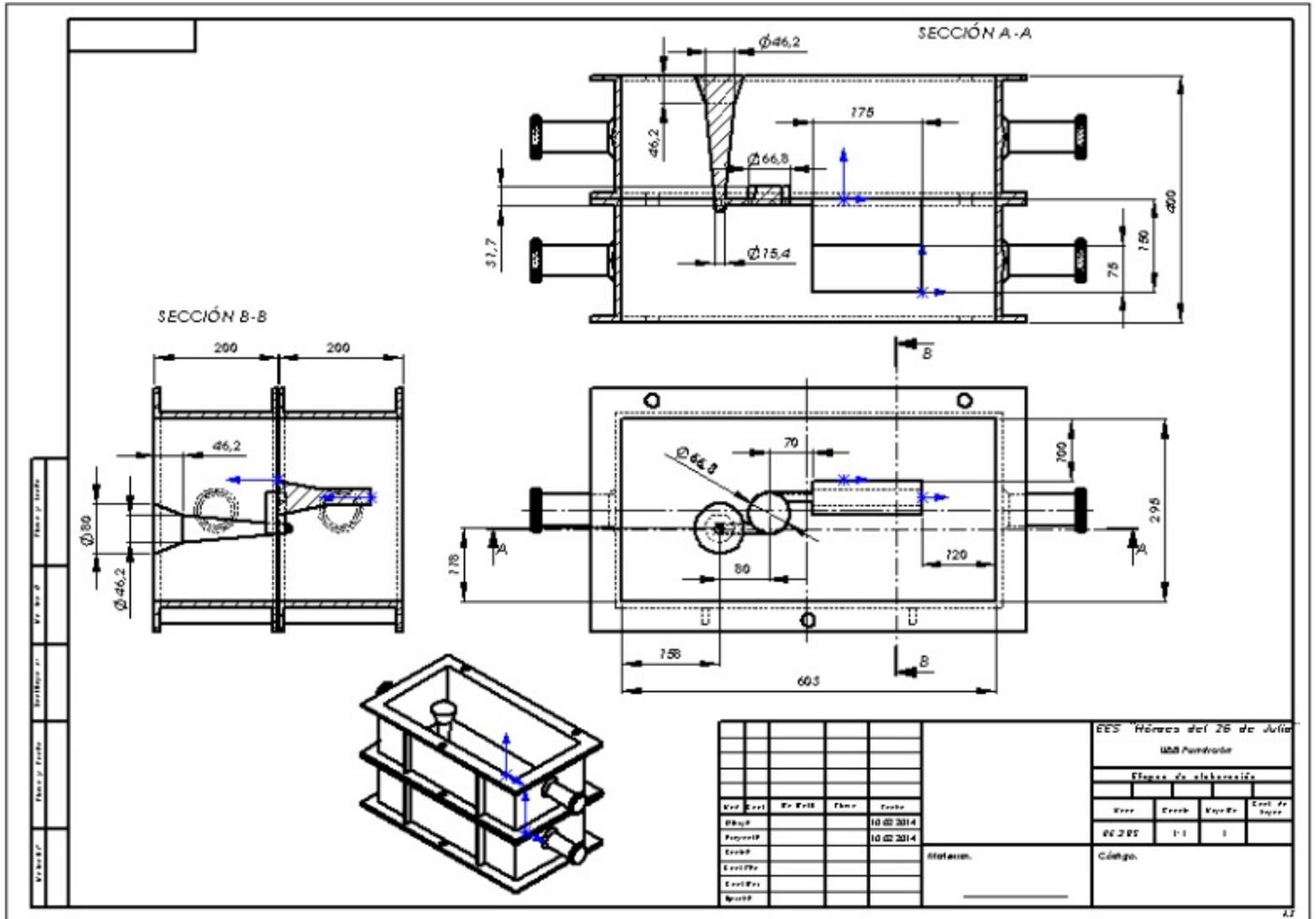
UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

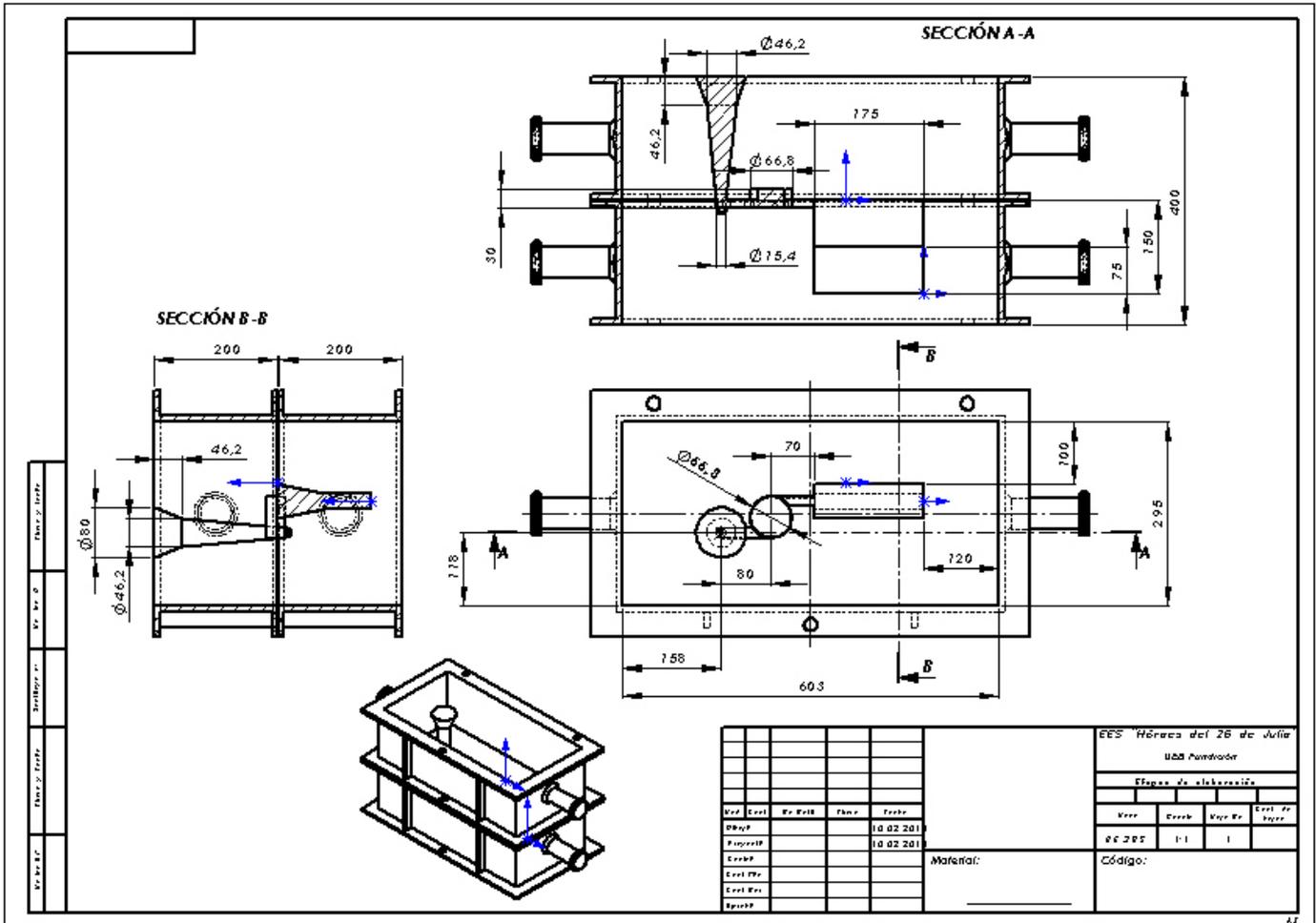
---

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380 [www.uho.edu.cu](http://www.uho.edu.cu)

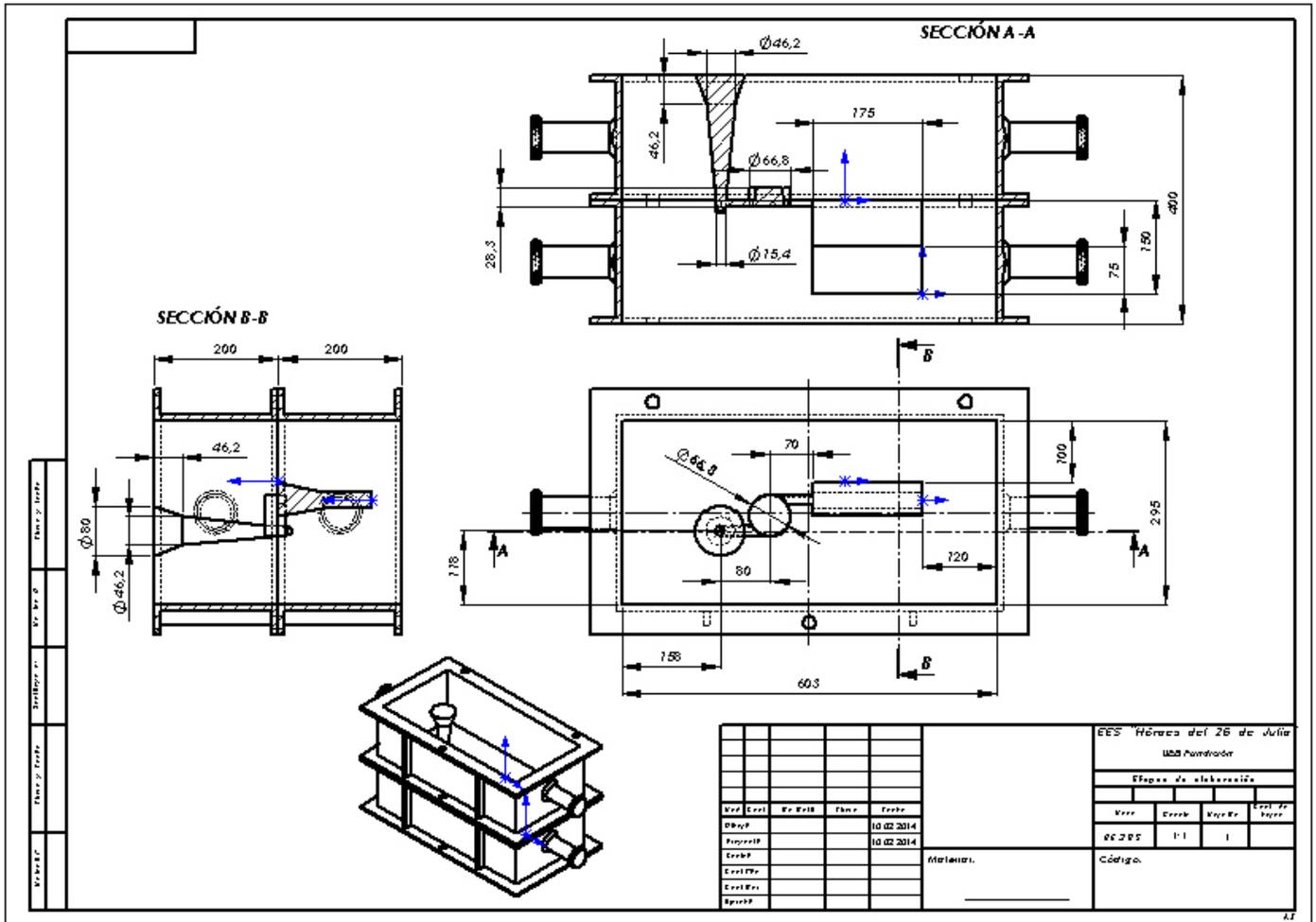
## **ANEXOS**



Anexo 1. Modelo de probeta elaborado de poliesterol expandido (EPS) ubicado en la caja de moldeo y listo para realizar el proceso de fundición, con un diámetro de la cámara de 66.8mm y una altura de 31.7mm.



Anexo 2. Modelo de probeta elaborado de poliesterol expandido (EPS) ubicado en la caja de moldeo y listo para realizar el proceso de fundición, con un diámetro de la cámara de 66.8mm y una altura de 30mm. Un 10% menor que el valor normal.



Anexo 3. Modelo de probeta elaborado de poliesterol expandido (EPS) ubicado en la caja de moldeo y listo para realizar el proceso de fundición, con un diámetro de la cámara de 66.8mm y una altura de 28.3mm. Un 20% menor que el valor normal.