



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica**

**“Fundición por el Método de Espuma Perdida”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

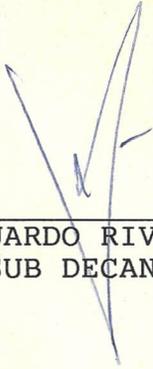
**INGENIERO MECANICO**

**Presentada por:**

**DIEGO XAVIER REVELO VITERI**

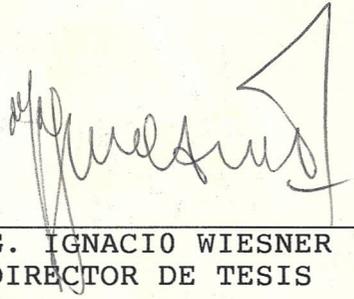
**Guayaquil - Ecuador**

**1.994**



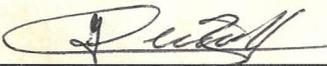
---

ING. EDUARDO RIVADENEIRA  
SUB DECANO



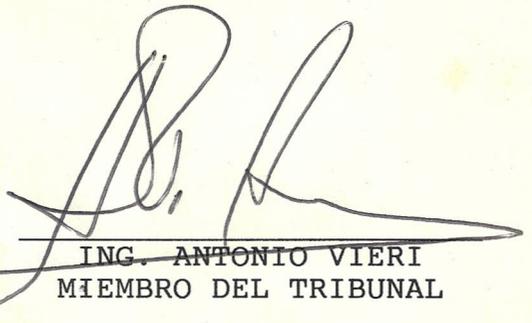
---

ING. IGNACIO WIESNER  
DIRECTOR DE TESIS



---

ING. FREDDY CEVALLOS  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



---

ING. ANTONIO VIERI  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

## AGRADECIMIENTO

Al Ingeniero Ignacio Wiesner  
Director de Tesis, a Pablo mi  
hermano y amigo por toda su  
ayuda prestada, a los  
compañeros del taller.

## DEDICATORIA

A Dios y a la Santísima Virgen  
María, mis padres celestiales.

A Pablo y Elvia mis queridos  
padres terrenales.

A Georgina y mis hermanos.

A aquella chica especial que me  
apoyó en los momentos más  
difíciles.

A mis cinco verdaderos  
compañeros y amigos .

## DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, corresponden exclusivamente a su autor, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado corresponderá a la Escuela Superior politécnica del Litoral.”

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL.)

---

Sr. Diego Xavier Revelo Viteri

## RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es demostrar la funcionabilidad del proceso de fundición por molde evaporativo. Además de la facilidad que implica su puesta en práctica, usando materiales fáciles de adquirir en el mercado nacional y con costos de proceso extremadamente bajos.

Se han realizado las primeras experiencias con el proceso de fundición con modelos de espuma perdida, usando poliestireno expandible que pose densidades que están entre  $24 \text{ kg/m}^3$  y  $29 \text{ kg/m}^3$  aproximadamente, que han sido elaborados en una fábrica local. Se desarrolló una pintura en base a grafito, bentonita, látex y agua, la cual sirvió de recubrimiento refractario para los modelos de espuma, y se hicieron moldes con arena de sílice AFS 70 compactados con una máquina vibradora. Se llenaron los moldes en forma de árbol con aluminio o aleaciones de aluminio.

Los resultados son alentadores para seguir la línea de investigación que de más información sobre este proceso debido a que si es desarrollado adecuadamente ayudará a mejorar el nivel industrial en el país.

## INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN .....	VI
INDICE GENERAL.....	VII
INDICE DE FIGURAS .....	IX
INDICE DE TABLAS .....	XI
NOMENCLATURA .....	XII
INTRODUCCION .....	XIII
CAPITULO I : FUNDAMENTO TEORICO.....	15
1 . 1 . Moldeo con aglutinantes y aglomerantes.....	15
1 . 1 . 1 . Arenas de moldeo .....	16
1 . 1 . 2 . Arenas de moldeo en verde .....	21
1 . 1 . 3 . Arenas de moldeo en seco.....	25
1 . 1 . 4 . Arenas de moldeo por corazones o machos .....	27
1 . 1 . 5 . Moldeo en piso o foso .....	29
1 . 1 . 6 . Moldeo en cáscara.....	32
1 . 2 . Innovaciones recientes.....	34
1 . 2 . 1 . Proceso de espuma perdida.....	34
1 . 2 . 2 . Proceso de moldeo magnético .....	34
1 . 2 . 3 . Proceso de moldeo en vacío .....	35
1 . 3 . Proceso de moldeo por espuma perdida .....	37
1 . 4 . Propiedades de los materiales a colar .....	44
1 . 5 . Aplicaciones del proceso de moldeo por espuma perdida.....	48
CAPITULO II : PROCESO EXPERIMENTAL.....	50

2 . 1 . Objetivo experimental.....	50
2 . 2 . Características de los materiales usados para el moldeo por.. espuma perdida.....	53
2 . 3 . Producción de modelos en poliestireno expandible .....	58
2 . 4 . Pintura refractaria.....	62
2 . 5 . Fabricación de moldes y fundición con aluminio .....	69
CAPITULO III : DISCUSION DE RESULTADOS .....	77
CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
ANEXOS .....	92
BIBLIOGRAFIA .....	93

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
fig 1 Elavoración del moldes .....	24
fig 2 Asentamiento manual de corazones .....	28
fig 3 Proceso de arenas de moldeo en seco .....	30
fig 4 Construcción de una turbina de vapor por foso de moldeo .....	31
fig 5 Pasos en los procesos de moldeado en cáscara .....	33
fig 6 Sistema de modelo de espuma perdida .....	41
fig 7 Vertido de la fundición por espuma perdida .....	42
fig 8a Vaciado de la caja, y reciclado de la arena .....	43
fig 8b Fundición lista para la limpieza .....	43
fig 9 Secuencia de operación para la producción de modelos .....	57
fig 10 Cilindro de llenado usado para alimentar el preexpendedor de material usado para la prensa de moldeo .....	60
fig 11 Muestra secuencial de la fusión .....	61
fig 12 Secuencia del ensamble de un modelo de espuma .....	73
fig 13 Reacción que se produce en la operación de veritdo .....	
en el procesode espuma perdida .....	74
fig 14 Modelos tipoque se ensamblaron .....	76
fig 15 Modelo de EPS en forma simple .....	78
fig 16 Modelo de EPS ensamblado en un árbol listo para el colado	79
fig 17 Arbol colado con piezas en forma de T con fallas .....	82
fig 18 Arbol colado con piezas en forma de esferas con fallas .....	83
fig 19 Arbol correctamente colado .....	87
fig 20 Acercamiento # 1de pieza correctamente colada .....	88

fig 21 Acercamiento # 2de pieza correctamente colada .....

## INDICE DE TABLAS

Tabla N		Pág.
1	Grados de expansion del poliestireno .....	55
2	Densidades típicas de modelos requeridos para los procesos de fundicion con espuma perdida .....	56
3	Dimensiones de modelos tipo .....	75

## NOMENCLATURA

C	Carbono
°C	Temperatura en grados centígrados
cm	Centímetros
$\rho$	Densidad
EPS	Espuma de poliestireno preexpandido
°F	Temperatura en grados fárenheids
gr	Gramos
H	Hidrógeno
Kg	Kilogramos
MEP	Moldeo por Espuma Perdida
mm	Milímetros
psi	libras/pulgadas <sup>2</sup>
%	porcentaje

## INTRODUCCION

Los procesos de fundición en los que se usan arenas de moldeo no preparadas son una alternativa viable frente a los procesos tradicionales de fundición con arenas verdes de moldeo. Este trabajo revisa uno de dichos procesos, de reciente introducción en el campo de la fundición de partes en serie.

El proceso de "espuma perdida" o MEP es un método para realizar fundiciones de metales, usando modelos de poliestireno expandible los cuales son cubiertos de arena no preparada, la cual realiza el papel de molde. El metal fundido se vierte en los modelos de poliestireno, los cuales por acción de las altas temperaturas se vaporizan y son reemplazados por el metal en estado líquido para luego solidificarse, produciendo una fundición idéntica al modelo original.

Para poder demostrar las ventajas que presenta este tipo de fundición se deben desarrollar algunos pasos tales como la técnica del proceso; los parámetros que se deben tener en cuenta como son el tipo de espuma, la forma de moldeo del patrón, los procesos para ensamblar los modelos de espuma, el tipo de recubrimiento refractario, la forma de aplicar el recubrimiento refractario, el sistema de arenas usados, el sistema de vertido de metal y el tiempo de enfriamiento del metal. Según los resultados obtenidos se podrá calificar el proceso seguido.

No todos los equipos requeridos en este trabajo se encuentran disponibles en los laboratorios de la División de Proceso de

Manufactura del C.I.T.D. , los equipos faltantes se los debe improvisar; los modelos de espuma se los manda a confeccionar en fábricas especializadas en trabajos con este tipo de material.

Todos los pasos anteriormente indicados se siguen para lograr el objetivo principal de este trabajo que es producir piezas fundidas con una tolerancia dimensional aceptable y menor tiempo de maquinado posterior .

## CAPITULO I

### FUNDAMENTO TEORICO.

#### 1.1. Moldeo con aglutinantes y aglomerantes.

El estado del arte del proceso de fundición establece la obtención de piezas sanas, sin defectos superficiales o internos. Para lograr este cometido se ha ido reemplazando los métodos tradicionales de moldeo con arena húmeda por otros que eliminan en parte o por completo la solidificación del metal bajo un medio lleno de gases de combustión y vapor de agua. En adelante se hará una revisión de los procesos que usan arena con agentes , aglomerantes y otros.

Una buena fundición no puede ser hecha fuera de un buen molde. La importancia del molde, en los procesos de fundición está siempre descrita por el material y método empleado en el moldeo.

El término proceso de moldeo se refiere al método para hacer el molde y el material usado.

El término proceso de fundición siempre incluye el proceso de moldeo, el método de introducir el metal dentro de la cavidad del molde, o todo el proceso que se usa para hacer la fundición.

La naturaleza del moldeo determina el método o forma de modelo

usado.

Los procesos de moldeo con arena más comunes están clasificados de la siguiente manera :

Arenas de moldeo en verde.

Arenas de moldeo en seco.

Arenas de moldeo para corazones o machos.

Moldeo de hoyo y piso.

Moldeo en cáscara.

#### **1.1.1. Arenas de moldeo**

Es uno de los procesos más versátiles para la fundición de metales, provee una tremenda libertad de diseño en términos de tamaño, forma y calidad de producto.

Los procesos de moldeo con arena son clasificados de acuerdo a la vía en que el arena es aglutinada .

Para el propósito de este trabajo, los procesos de moldeo con arena binen clasificado de la siguiente manera:

Procesos con resinas aglomerantes.

Proceso con moldes de arenas con aglutinantes

Procesos con moldes de arenas simples.

Procesos con resinas aglomerantes.- Este es el proceso de un sistema de uniones orgánicas que incluye un no desecado de los aglomerantes, un curado en caliente de los aglomerantes y un enfriamiento en un recipiente de los aglomerantes.

Procesos con moldes de arenas con aglutinantes.- Este sistema está basado en uniones inorgánicas e incluye algunos procesos como moldeo en verde, moldeo en seco, moldes de cubierta seca, moldes con arcillas magras, y moldes con fosfatos unidores. De acuerdo con la Sociedad Americana de Fundición (AFS), aproximadamente el 90 % de todas las fundiciones que se producen en los Estados Unidos son producidas con arenas de moldeo, esta sección revisa un número de métodos con arenas de moldeo, poniendo énfasis en las arenas de moldeo en verde, que es el más usado en un amplio rango para procesos de moldeo en pequeñas y medianas fundiciones en todos los metales.

Procesos de moldes con arenas sin ligamentos.- Con el proceso de arenas simples, el arena seca y no unida, fluye libremente y se coloca en los alrededores del modelo. Ejemplos de este caso son los procesos de espuma perdida en el cual se usan modelos de poliestireno expandido, moldeo magnético y moldeo en vacío. Los moldes de espuma perdida para grandes

fundiciones son algunas veces apoyados con un sistema unidor no calentado.

Para este trabajo se pone énfasis en las dos últimos casos los cuales se describen con sumo detalle más adelante.

### **Requerimientos para el sistema de control**

Una aproximación real para el control de arenas es observar el sistema de variables con el cual el control actual puede ser implementado y realizado. Puesto en términos más simples, se debe controlar esos parámetros del sistema que son directamente afectados por acción de la que se ha tomado de la fundición.

La arcilla y el agua son los principales aditivos del sistema de arenas.

Las funciones que se ejecutan son medidas por la determinación del contenido de arcilla y el porcentaje de compactabilidad de las arenas preparadas. Los componentes orgánicos de los sistemas de arenas son normalmente medidos por el porcentaje de volatilidad y/o por la prueba de combustión total.

La prueba de porcentaje de volatilidad, mide el contenido de volatilidad que existe en un sistema de arena a una temperatura específica, usualmente  $650^{\circ}\text{C}$  ( $1200^{\circ}\text{F}$ ).

La prueba de porcentaje de combustión total es realizada por el calcinamiento de muestras de arena del sistema a una temperatura elevada, normalmente a  $1010^{\circ}\text{C}$  ( $1850^{\circ}\text{F}$ ).

Parámetros secundarios como los esfuerzos y permeabilidad de las arenas, también deben ser controlados, estos controles son por análisis que admiten un monitoreo del parámetro que se controla.

#### **Control de propiedades de mezclados de arena.**

La estructura de los granos de arena es una característica muy importante en la selección de las arenas bases. La selección última del molde lo dicta la permeabilidad y la densidad y estos dos parámetros son críticos en la producción de funciones de alta calidad.

Cuando el metal fundido es introducido en los moldes de arena verde, gases y vapores se generan como resultado de la descomposición térmica de los aglomerantes y otros aditivos o contaminantes presentes.

Si no es suficiente la permeabilidad de los moldes, como permitir el escape de los gases generados por las altas temperaturas, la presión de los moldes se incrementará impidiendo el flujo del metal fundido, o aún peor que el metal se enfríe prematuramente en el molde. Así la selección de la arena base debe ser adecuada porque la porosidad de los moldes es muy importante.

La resistencia del flujo de gas se incrementa con la disminución del tamaño de los poros entre los granos de arena, la mínima porosidad requerida, es determinada por el volumen de gas generada dentro de las cavidades del molde.

La permeabilidad es controlada por la cantidad y tamaño de los espacios vacíos de los granos de arena.

### **Sistemas de arenas.**

Tipos de arenas.- Las arenas para moldeo por arena verde están compuestas de varios ingredientes, cada una con un propósito específico. El ingrediente principal es la arena misma, a la cual se le llama arena base.

El tipo de arena base predominante es la arena silícica.

Esta es clasificada en dos categorías, unidas naturalmente y arena sintética.

Las arenas unidas naturalmente, tienen como ingredientes arcillas y contaminantes. Estas , naturalmente se encuentran en las arcillas que son resultado de la sedimentación que se produce en los depósitos de donde se recoge la arena.

El uso de este tipo de arena como una arena verde, es determinada por el tipo de metal que se va a fundir, economía, calidad de la fundición y el grado de consistencia demandado por el producto final.

Las arenas sintéticas tienen como base granos de arena con varios tipos de distribuciones. Agentes unidores son adheridos a estas arenas bases, para lograr las características deseadas en el moldeo. La arena base que más se usa es la silícica, sin embargo, zirconio, olivinilo y cromita son usadas para algunos tipos de aplicaciones especiales.

### **1 . 1 . 2 . Arenas de moldeo en verde**

La frase "Arenas de moldeo en verde" se refiere al porcentaje de agua que se usa en la producción de los moldes, porque de esta cantidad depende la actividad

o reacción de las arcillas que existan en la arena.

El control del proceso de arenas de moldeado en verde requiere un entendimiento de la interacción de varios parámetros normalmente medidos en un sistema de arenas.

Los pasos básicos en el proceso de arenas de moldeado en verde son:

- Preparación del molde. (Figura 1)
- Confección del molde.
- Asentamiento del recubrimiento.
- Cerrado y pesado.

Las arenas verdes poseen ventajas y limitaciones.

Las ventajas son:

Gran flexibilidad en el proceso de producción, es decir el equipo mecánico puede ser usado para moldear en casi todas las operaciones, además las arenas verdes pueden ser vueltas a usar reacondicionandolas con agua, arcilla y otros materiales.

Usualmente la ruta más directa del molde al modelo es por arenas de moldeado en verde, es decir es un proceso

rápido y repetitivo..

Es un método muy económico para fundir.

Las limitaciones o desventajas en el uso de las arenas de moldeo en verde son:

Algunos diseños de fundición requieren el uso de otros procesos de fundición.

Ciertos metales y algunas fundiciones desarrollan defectos al vaciar en los moldes el metal fundido, pues contienen humedad.

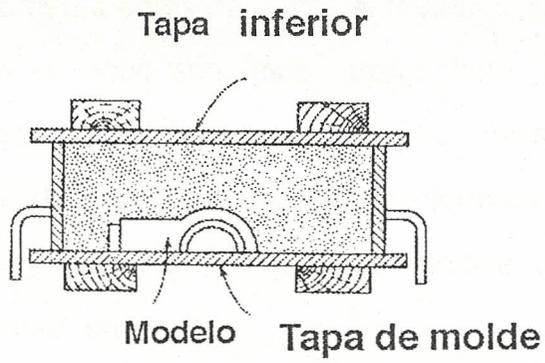
Fundiciones muy complejas con relación a tamaño y peso no pueden ser hechas con este proceso por tener muy bajas propiedades el molde, y se requiere la ayuda de otros procesos de fundición.

La dimensión exacta y superficie final de las fundiciones por arenas verdes puede no ser adecuado. La variación dimensional es aproximadamente +/- 1/64 en fundiciones pequeñas y +/- 1/16 a 1/32 en fundiciones consideradas grandes.

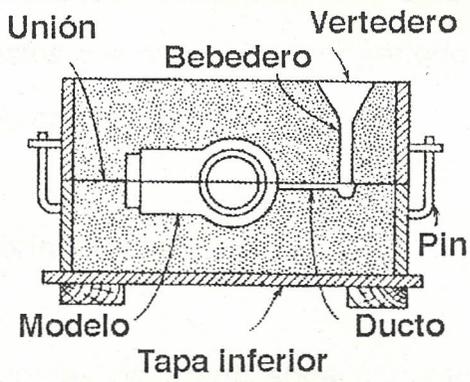
Fundiciones grandes requieren grandes fuerzas en los moldes y gran resistencia a la erosión.

Fig 1 Elaboración de moldes  
 a. Mitad inferior del molde  
 b. Molde completo

a.



b.



### 1.1.3. Arenas de moldeo en seco.

La diferencia esencial entre los procesos de arenas de moldeo en seco y arenas de moldeo en verde es que la humedad en los moldes de arena es removida primeramente antes de verter el metal. Las arenas de moldeo en seco son más aplicables en medianas y grandes fundiciones que en pequeñas fundiciones. Los moldes de las arenas de moldeo en seco son más fuertes y más rígidos que los moldes de las arenas de moldeo en verde.

Estos pueden manejarse mejor por ser más resistentes a la presión estática en los moldes de metal, lo cual puede causar en los moldes de las arenas de moldeo e verde deformación o hinchazón. En adición estos pueden ser expuestos a la atmósfera por períodos de largo tiempo sin efectos nocivos para ellos.

#### **Recubrimiento del molde.**

Los moldes de arena seca son recubiertos con baños refractarios. Agua y, o solventes conducen el grafito, silicio o zirconio que son los refractarios más usados para este tipo de trabajos. Esto es comúnmente aplicable en cubiertas severas.

El equipo que se utiliza para el desarrollo de el moldeo en arena seca debe de cumplir algunos requisitos como rigidez y fortaleza.

Las cajas moldeadoras son equipadas con una barra atravesada que normalmente se extiende unas pulgadas dentro del modelo. El molde de arena es reforzado con unos ganchos y unas barras que se usan para mantener en su lugar al molde, estos son usualmente recubiertos con arcillas o barros especiales.

La ventilación en los modelos y en los núcleos son muy importantes, se taladran huecos en las paredes de las cajas de moldeo para facilitar la ventilación. Las cajas grandes de moldeo y los fosos de moldeo pueden ser firmemente asegurados para evitar que se caiga esto es para evitar situaciones extremadamente peligrosas y que por causa de esto se pierda o malogre la fundición parcial o totalmente.

### **Enfriamiento de la fundición**

Las fundiciones grandes deben ser enfriadas lentamente para prevenir esfuerzos internos y/o fracturas en la función. Es posible tener moldes rígidos y fuertes pero con la fundición caliente se rasgan o se fracturan. Se usan llenadores de material inerte que ayudan a prevenir de este

tipo de problemas, haciendo que los moldes queden libres de rasgaduras o fracturas.

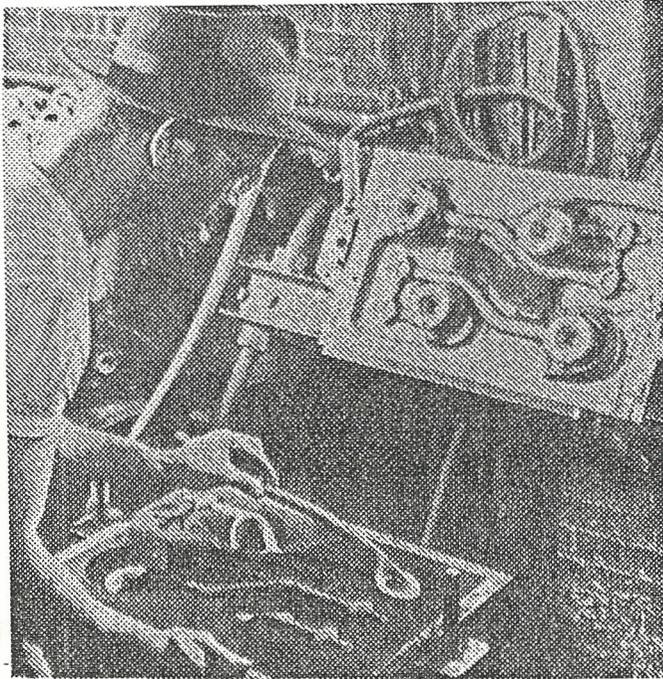
#### 1.1.4 Arenas de moldeo por corazones o machos

Algunos moldes son hechos del ensamblaje de corazones. En lugar de modelo, cajas de corazones son usados para hacer todas las partes del molde. Los corazones son unidos por hacer el molde y se coloca los corazones de tal manera que se logra dar la forma de los relieves y depresiones de cualquier pieza que se desee fundir.

Los corazones de moldeo usualmente consisten en mezclas de granos de arena y unidores orgánicos los cuales desarrollan gran robustez después del cocimiento a temperaturas entre 250 ° F y 650 ° F.

El proceso de arenas de moldeo para corazones es trabajado algunas veces como arena secas de moldeo o arenas con cementos aglutinantes, donde sus gran robustez y resistencia al calor sea requerida como en el caso de grandes fundiciones. Las arenas de moldeo por corazones o machos, pierden sus propiedades luego de que se han sometido a cocción, por tal motivo se hace más dificultoso volver a reusar el arena y hace que sea un proceso muy costoso. Este costo es justificado cuando se realizan fundiciones muy dificultosas. (Figura. 2)

**Fig. 2 Asentamiento manual de corazones**



### 1.1.5. Moldeo en piso o foso.

Este método de moldeo se usa en grandes cajas de moldeo, generalmente se requiere de los servicios de una grúa. Los moldes son hechos normalmente por la combinación de equipos mecánicos, masos manuales y equipos neumáticos de operación manual.

La arena es colocada en la caja de moldeo en forma de capas, se coloca con cuidado el modelo y se vierte arena haciendo que se entretengan las capas y se adhieran para que la mezcla sea uniforme. (figura 3)

Moldeo en foso.- Este método de moldeo se usa para fundiciones muy grandes donde las cajas de moldeo son inadecuadas para ser usadas. Los fosos son contruidos generalmente con paredes de concreto ya que algunas veces el piso debe resistir grandes presiones durante el vertido del metal líquido. Como se arrastran impurezas sobre los fosos, el arena bajo los modelos debe ser apisonada, o el fondo debe ser contruido con alma de arena seca. El procedimiento de moldeo es el mismo que el de moldeo en el piso. (figura 4)

Fig. 3 Proceso de arenas de moldeo en seco listo para cerrar

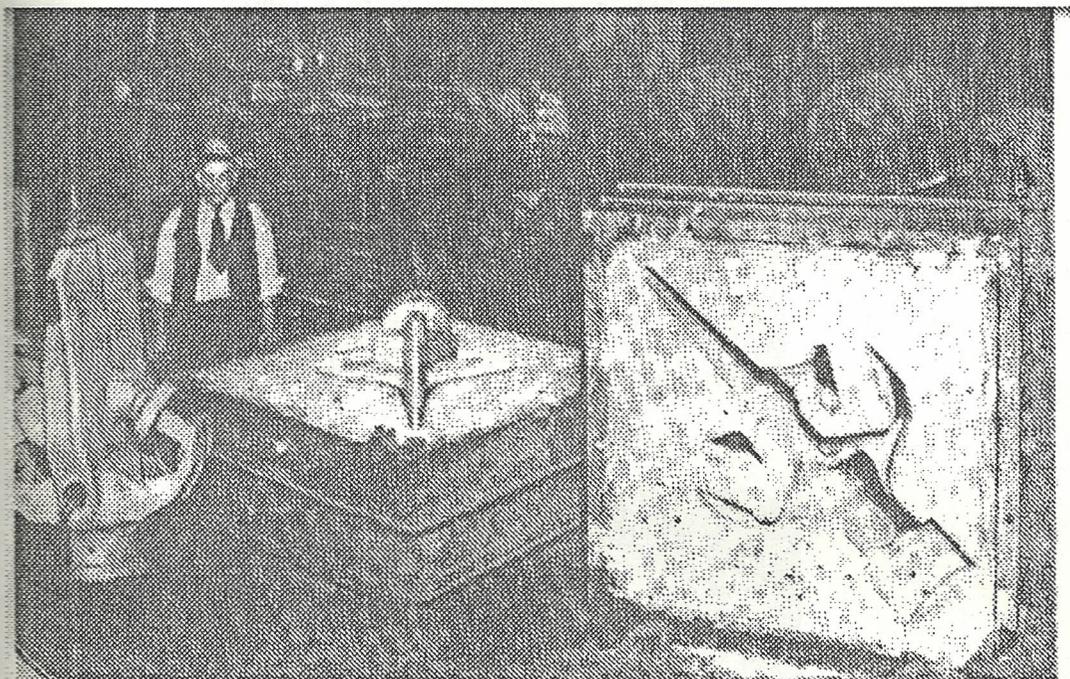
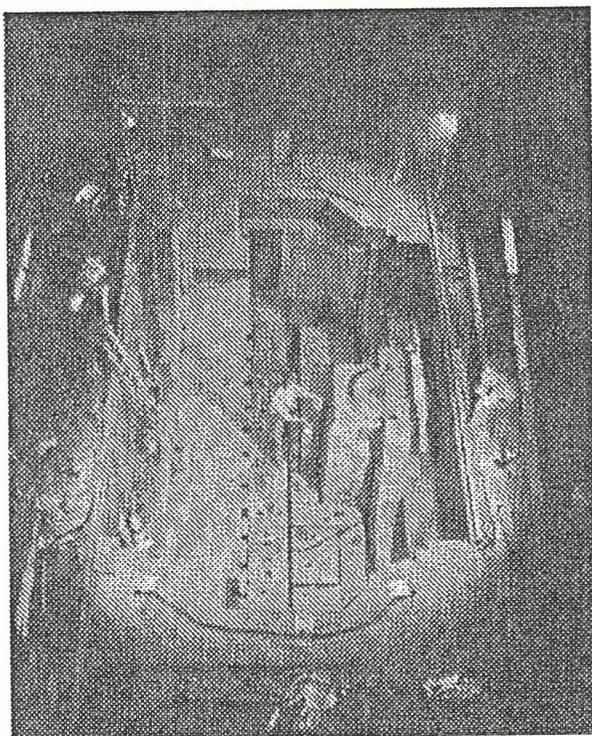
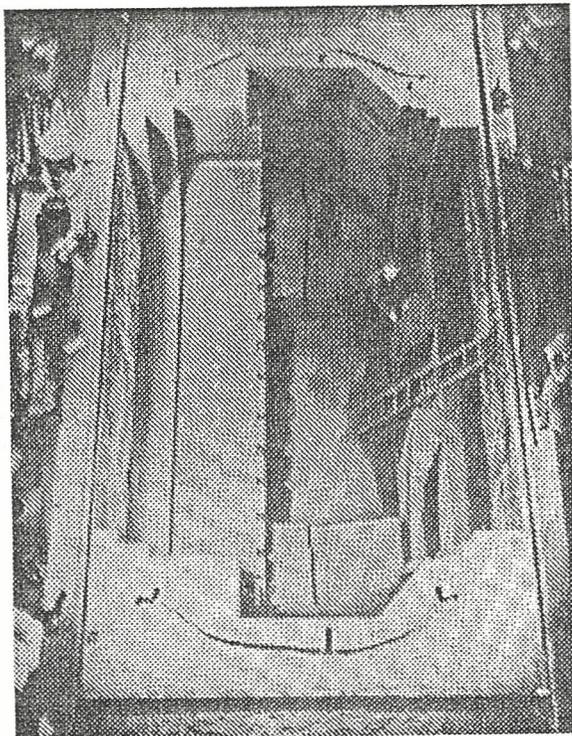


Fig. 4 Construcción de una turbina de vapor por foso de moldeo



### 1.1.6. Moldeo en cáscara.

Las arenas usadas para el proceso de moldeo en cáscara, consisten de una mezcla de los siguientes elementos:

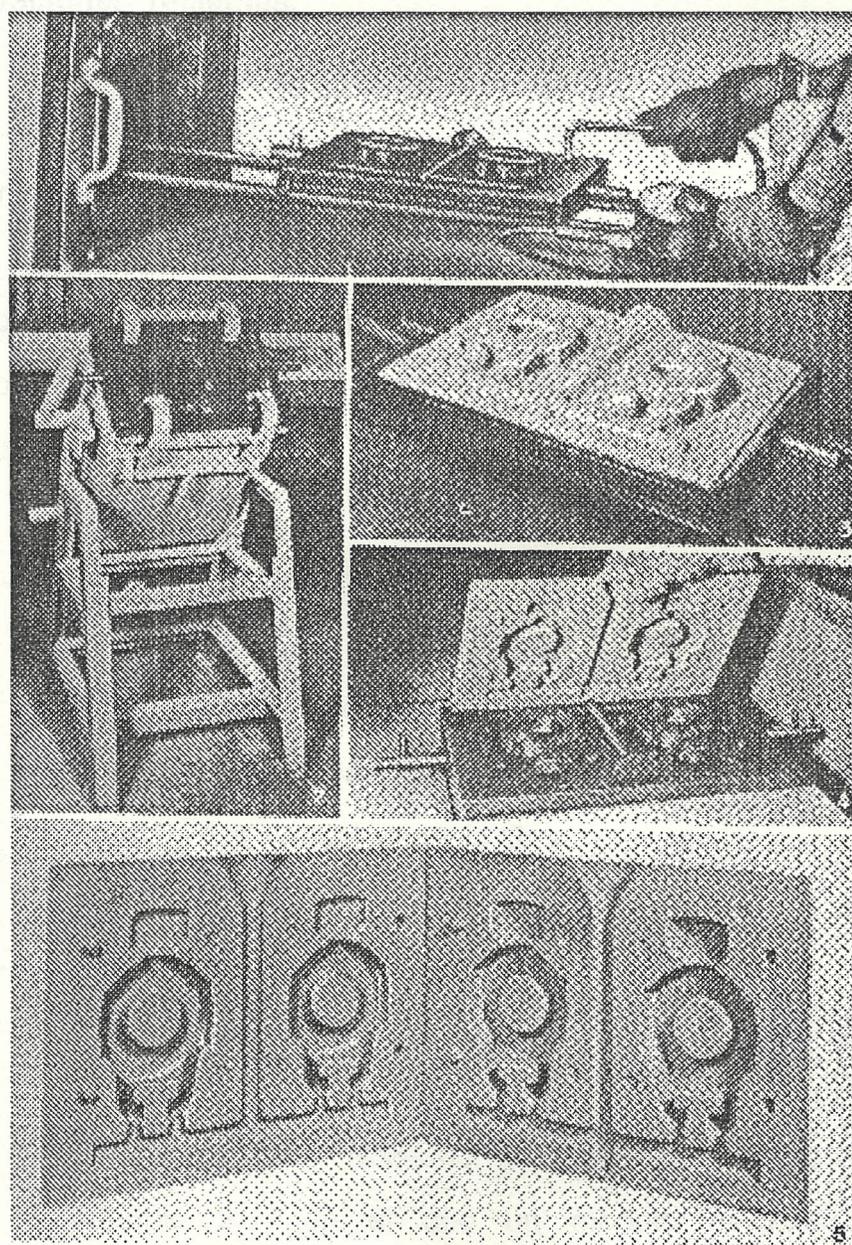
Granos de arena seca AFS con una fineza de 60 a 140. Resinas sintéticas aglutinantes del 3% al 10% en peso. Las resinas que pueden ser usadas son fenolformaldeidas, plásticos termofijadores son usados como polvos en mezclas secas, también pueden ser usadas como líquidos para luego ser secados.

Los pasos en el moldeo en cáscara están ilustrados en la (figura 5).

Primero el modelo es calentado a temperaturas entre  $350^{\circ}\text{F}$  -  $700^{\circ}\text{F}$ , luego se coloca el modelo en una caja de vaciado, entonces el modelo recibe la mezcla de arena con resinas plásticas termofijadoras, se deja secar esta mezcla sobre el modelo y luego se procede a quitar el modelo y queda la cáscara, la cual posee un grosor entre  $1/4$  a  $1/2$  de pulgada, de esta manera se obtiene los moldes para fundición por el método de moldeo en cáscara. El moldeo en cáscara es más usado para hacer corazones que moldes.

Fig. 5 Pasos en los procesos de moldeado en cascara.

1. Equipo para calentar y medir la temperatura del mole
2. Caja de vaciado
3. Modelo de cascara
4. Levantamiento de la cascara del modelo
5. Moldes de cascara



Las ventajas de este proceso son que se obtienen piezas con un buen acabado superficial y exactitud dimensional, menor costo por limpieza y se logra la eliminación de algunos procesos de maquinado.

## **1.2. Innovaciones recientes.**

Los siguientes son procesos de moldeo que se pueden considerar recientes en nuestro medio:

- Moldeo con espuma evaporativa.
- Moldeo magnético.
- Moldeo al vacío.

### **1.2.1 Proceso de espuma perdida.**

Este proceso de moldeo para fundición será analizado de una manera muy detallada en la sección 1.3 y en el capítulo 2.

### **1.2.2. Proceso de moldeo magnético.**

El moldeo con proceso magnético es similar al proceso de moldeo con espuma perdida ( se explica en el capítulo 2 ) en el que un modelo de poliestireno expandido es usado. Sin embargo el arena que se usa como asiento del modelo en el proceso de

espuma perdida, es reemplazado por hierro magnético o acero, el cual se compacta por medio de propiedades magnéticas, dichas partículas deben medir entre 0.1 mm y 0.5 mm de diámetro, entonces cuando ya están magnetizadas las partículas, se procede a verter el metal en el modelo de espuma, mientras que los gases producto de la combustión de la espuma escapan através de la caja de moldeo.

El incremento del calor por la conductividad en el material moldeado produce una estructura que posee un grano fino, por tal motivo después que se ha fundido y secado, este no necesita mecanizado.

Este proceso es aconsejable para cuando se trabaja con fundiciones de hierro, carbón aleaciones bajas de acero, y aleaciones con base de cobre. Investigaciones realizadas llevan a determinar que la exactitud de las fundiciones que son producto de este proceso depende en gran parte del tiempo de vibración, y de la fuerza de unión magnética que se produce en tre las partículas magnéticas.

### **1 . 2 . 3 . Proceso de moldeo en vacío.**

El proceso de moldeo al vacío o proceso "V" es un proceso de arenas de moldeo en el cual no son

usados materiales unidores. En su lugar el arena es posicionada entre dos superficies de plástico y es sellada para la aplicación del vacío.

Originalmente dicho proceso fue desarrollado en Japón para fundiciones con rangos altos de superficie-volumen, el proceso ahora a sido adecuado para una gama amplia de trabajo y es usado para llenados sucesivos para fundir toda clase de metales que antes eran fundidos normalmente por los métodos convencionales de moldeo por arenas verdes.

Los modelos son contruidos de materiales especiales, los cuales contienen unos pequeños agujeros de ventilación. Una delgada película plástica es entonces calentada y colocada sobre el modelo y es pegada.

Las películas plásticas usadas para moldear en vacío son composiciones termoplásticas, se usa este tipo de composiciones porque producen un mejor sellado para cuando se produce el vacío.

Este tipo de moldeo no necesita máquinas moldeadoras, el arena que se usa es arena verde. Los modelos usados son idénticos a los usados por molde en arena verde, excepto que posee agujeros de ventilación que deben ser hechos cuidadosamente

alrededor del modelo para la adhesión de la película plástica.

Después de que se ha vertido el metal y la fundición se ha enfriado, el vacío es liberado en la caja de moldeo, y la fundición y el arena son removidas. La fundición es separada fácilmente de la arena, la cual sólo necesita enfriarse y limpiarse para ser re usada.

Después del vertido, el plástico que cubre las porciones de las cavidades de los moldes, deben quedar normalmente abiertos a la atmósfera, esto asegura que se mantiene una presión diferencial entre el molde y la cavidad del molde.

El proceso de moldeo en vacío o en "V" tiene un rango de producción de 60 a 100 moldes por hora. El moldeo en vacío es usado siempre en moldeo en piso o para modelos relativamente grandes placas de (750 x 750 mm) para estos casos el rango de producción es de 5 a 10 moldes por hora.

### **1.3. Proceso de moldeo por espuma perdida.**

El proceso de espuma perdida fue originado en 1958 cuando H. F. Shroyer obtuvo la patente de este sistema de fundición de cavidades perdidas, usando un modelo de espuma de

poliestireno, sumergido en arena verde tradicional la cual no se removía antes de verter el metal. El modelo de espuma de poliestireno dejado en el molde de arena se descompone por acción del metal fundido, el cual reemplaza al molde de espuma y duplica exactamente todas las características del modelo. Anteriormente se usaba una clase de modelo el cual estaba limitado a obtener fundiciones rugosas, porque el material de espuma de poliestireno usado tenía un acabado tosco pues era tallado a mano, además porque el modelo recubierto de arena verde no permitía que los gases del mismo modelo de espuma en descomposición escaparan rápidamente del molde (también los gases atrapados usualmente eran el resultado de los metales fundidos que se vertían).

En los años 60 y 70 los estudios de fundiciones por espuma de poliestireno, se lo realizó en laboratorios de compañías automotrices, pocas fundiciones se realizaron en ese tiempo, sin embargo el proceso de fundición por espuma perdida, se ha ido incrementando rápidamente desde que se dio la patente. Actualmente muchas fundiciones en otros países están dedicadas a fundición por modelos de espuma de poliestireno

### **Técnica del Proceso.**

Debido a que la fundición es una representación exacta del modelo de poliestireno, el paso crítico en el proceso es producir un modelo de espuma de alta calidad. Como será descrito más

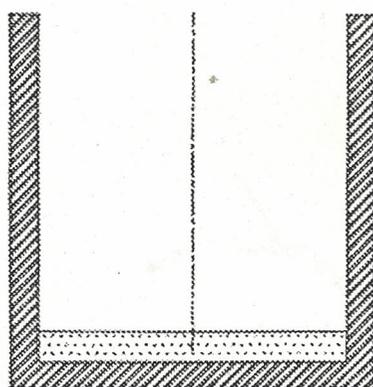
adelante calidad de superficie, fusión, estabilidad dimensional y densidad del modelo de espuma son áreas claves de control.

El patrón de espuma es preparado para la fundición adjuntándole un sistema de bebedero ( muchas veces moldeados como parte del modelo ) del mismo materia del modelo. El sistema patrón con compuertas es entonces recubierto por dentro y por fuera con un recubrimiento refractario permeable. Cuando el recubrimiento está seco, el sistema patrón está listo para ser introducido en una caja para moldeo. La introducción del patrón se alcanza posicionando el sistema patrón en la caja de moldeo, previamente se coloca arena en el fondo de la caja y una vez que el sistema patrón está propiamente posicionado, se introduce arena no compactada en la caja y se la pone alrededor del sistema patrón hasta taparlo casi en su totalidad. (Fig . 6). La caja es sometida a vibración de alta frecuencia y baja amplitud, permitiendo que se compacte la arena al rededor de todo el sistema patrón y se pierda lo que no se necesita.

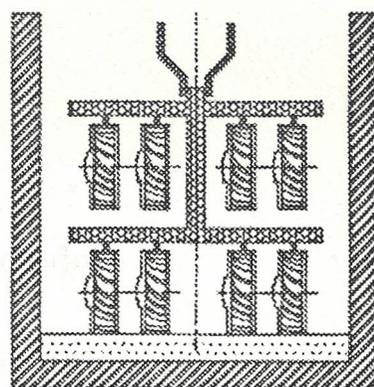
Un recipiente para verter el arena es colocado usualmente alrededor de la parte del modelo que queda expuesta al aire y cuando la compactación está terminada la caja de moldeo se la lleva al área de vertimiento y el metal derretido es colocado en el recipiente de vertido. El metal evapora el patrón de espuma duplicando precisamente todas las características del sistema patrón. (Fig. 7 ). La fundición entonces permite

enfriarse por aproximadamente el mismo tiempo que con la arena verde. La caja de moldeo es generalmente inclinada, permitiendo que la arena caiga fuera desde la fundición. (Fig. 8. a) . La arena es recogida para reutilizarse y la fundición está lista para la limpieza la cual se puede realizar mediante aire comprimido. (Fig. 8. b) .

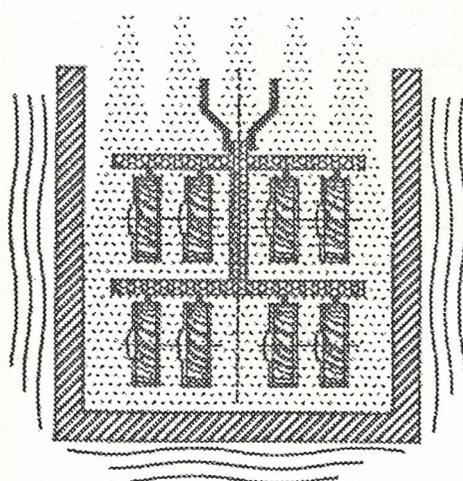
Fig. 6 Sistema modelo de espuma perdida



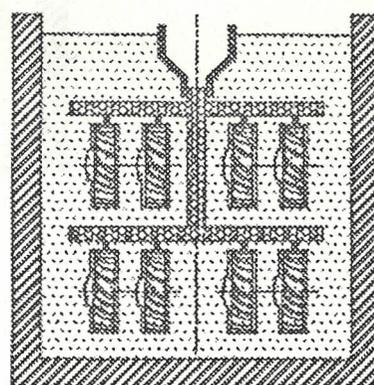
(a) Caja metálica con arena base



(b) Posicionamiento del modelo



(c) Llenado y compactado



(d) Compactado final, listo para el vertido

Fig. 7 Vertido de la fundición por espuma perdida

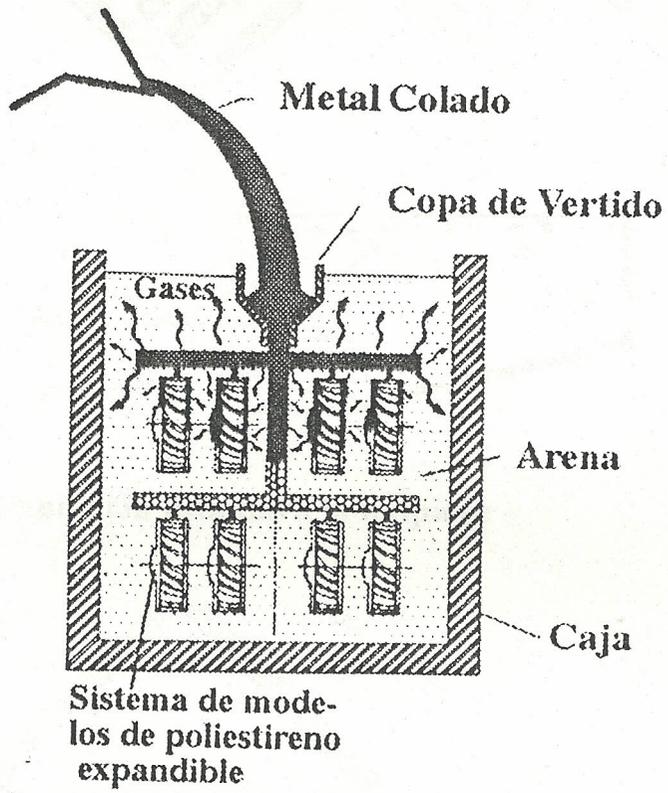


Fig. 8.a Vaciado de la caja, y reciclado de la arena

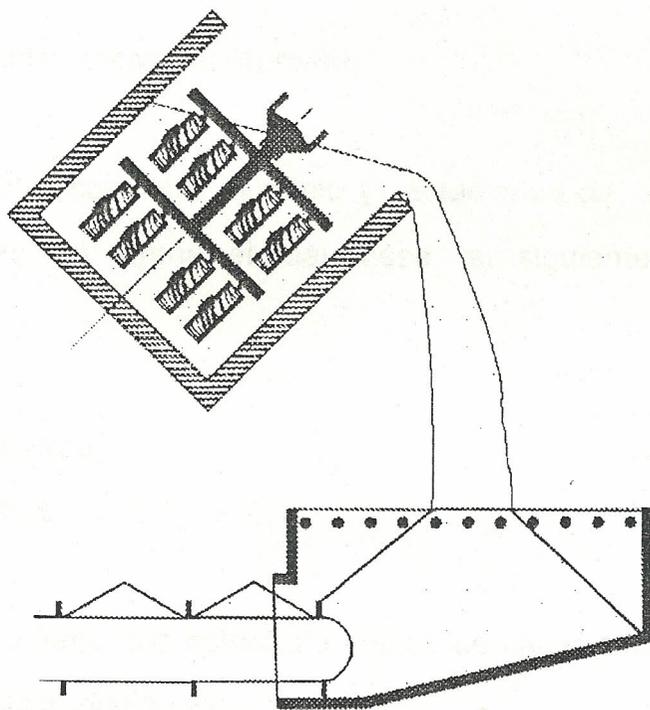
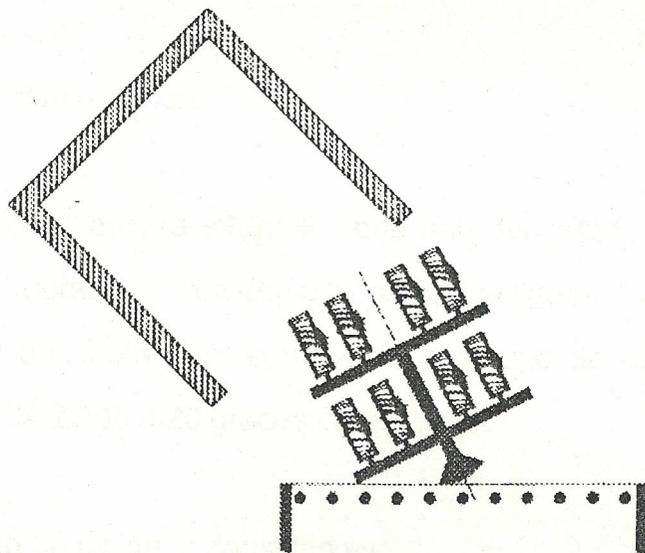


Fig. 8.b Fundición lista para la limpieza



#### 1.4. Propiedades de los materiales a colar.

##### Propiedades físicas del aluminio

El material a colar es aluminio y aleaciones de aluminio para fundiciones en arena, el cual posee las siguientes propiedades físicas:

Número atómico	13
Masa atómica	26,974

El aluminio tiene una estructura cúbica de caras centradas con las características siguientes:

Constante de la red	4,0413 A
Radio atómico	1,42186 A
Distancia entre átomos	2,858 A

El aluminio de pureza 99,99 % tiene una densidad de 2,699 a 20 grados centígrados. La densidad aumenta ligeramente cuando baja la pureza del metal; por ejemplo la densidad de un Aluminio de 99,5% es de 2,705 a 20 grados centígrados.

En el punto de fusión la densidad es:

$\rho$ del aluminio sólido a 660 °C	= 2,55
$\rho$ del aluminio líquido a 660 °C	= 2,382

Que corresponde a una contracción volumétrica del 6,6 % durante la solidificación.

Punto de fusión : 660,24 ° C para el Al de 99,996

Calor de fusión: 92 cal/g aproximadamente.

Los valores dados por distintos autores son muy divergentes.

El aluminio debe la mayoría de sus aplicaciones a su ligereza y a la resistencia relativamente elevada de sus aleaciones, aunque otros usos dependen de su resistencia a la corrosión, que es relativamente buena, de sus buenas propiedades para ser trabajado o de sus propiedades eléctricas o térmicas de conductibilidad y reflectibilidad.

### **Propiedades mecánicas del aluminio.**

Las propiedades mecánicas intrínseca del aluminio son las siguientes:

Módulo de elasticidad	6700 kg/mm <sup>2</sup>
Módulo de torsión	2700 kg/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.34

El aluminio comercial es un metal blando y dúctil y se usa para muchas aplicaciones en las que no se desea una resistencia muy alta. Se consigue en formas producidas por extrusión o

por laminado y puede endurecerse o templarse por trabajo en frío, pero no por tratamiento térmico.

Las aleaciones de aluminio poseen mejores características para ser fundidas y maquinadas y mejores propiedades mecánicas, y, por, tanto, se emplean en mayor extensión que el metal puro.

### **Aleaciones de aluminio para fundición en arena.**

En el anexo N° 1 aparecen las composiciones y propiedades típicas de las aleaciones de aluminio usadas para trabajos de fundición. La mayor parte de éstas están basadas en sistemas de aluminio-cobre o de aluminio-silicio con adiciones para mejorar las características de fundición o de servicio. Entre las aleaciones de base aluminio-cobre, la que contiene 8 % de cobre ha sido usada por mucho tiempo como la aleación para fines generales aunque las adiciones de silicio y hierro a ésta mejoran las características de la fundición particularmente porque la hacen menos quebradiza en caliente. Las adiciones de zinc a esta aleación, ASM 213.0, se hacen con el fin de mejorar su maquinabilidad. Las aleaciones con 4 % no tienen tan buenas propiedades para el vaciado o fundido como las que contienen 8 % de cobre.

las aleaciones con 12 % de cobre son ligeramente más resistentes que las de 8 %, pero considerablemente menos tenaces. Estas deben su empleo al hecho de que es fácil

producir piezas fundidas exentas de poros con esta aleación, aunque en la actualidad han sido reemplazadas en gran parte por aleaciones de aluminio al silicio.

La aleación ASM 222.0 tiene un contenido pequeño de magnesio, retiene un gran porcentaje de su resistencia y dureza hasta temperaturas relativamente elevadas. Esta aleación se endurece por envejecimiento espontáneamente después de fundida y se puede producir un endurecimiento posterior por un tratamiento térmico de precipitación a una temperatura moderada, particularmente si éste sigue a un tratamiento térmico de solución.

#### **La aleación de aluminio-silicio.**

Han venido a ser de gran aplicación por sus excelentes cualidades para fundirse y su resistencia a la corrosión. Las aleaciones no son quebradizas en caliente y es fácil obtener con ellas fundiciones sanas en secciones gruesas o delgadas. Son más bien difíciles de maquinar. La aleación de aluminio-silicio más comúnmente usada es la que contiene 5% de silicio, ASM B443.0 se solidifica normalmente con una gruesa estructura hiperutética pero ésta es modificada antes de fundirse por la adición de una pequeña cantidad de sodio para darle una estructura fina eutéctica de mayor resistencia y tenacidad. En todas las aleaciones que contienen cantidades importantes de silicio, el contenido de hierro debe ser bajo para evitar la

fragilidad.

### **Las aleaciones de aluminio-magnesio**

Son superiores a casi todas las otras aleaciones de fundición de aluminio, en lo que respecta a la resistencia a la corrosión y a la maquinabilidad. Además, dichas aleaciones muestran combinaciones de resistencia mecánica y ductilidad desde buena a excepcional. Sin embargo, en general, es difícil fundir con estas aleaciones piezas intrincadas que sean herméticas a presión y se necesitan minuciosas prácticas controladas de fundición para reducir al mínimo la marcada tendencia a la oxidación de estas aleaciones cuando están fundidas.

#### **1.5. Aplicaciones del proceso de moldeo por espuma perdida.**

El uso de los métodos tradicionales de fundición implican elevados gastos cuando se desea obtener piezas con un buen acabado superficial, o de dimensiones complicadas, lo que imposibilita una adecuada competencia frente a los productos importados.

Con la aplicación del proceso de fundición con modelo evaporativo se puede solucionar estos problemas, pues es un método muy sencillo de fundición el cual no necesita de un adiestramiento especial por parte de la persona encargada de realizar la fundición, los costos de producción son sumamente

bajos comparados con otros procesos de fundición, y por sus resultados es considerado como un proceso de fundición de precisión.

La aplicación de esta técnica de fundición permite diversificar el tipo de productos en la industria nacional, es posible la fabricación de rotores de bombas, carcazas; en la industria automotriz, que es en la que se usa más ampliamente este proceso, se pueden producir por ejemplo cigüeñales, bielas, etc, esto permite la creación de nuevas fuentes de trabajo y además permite abaratar los precios de los productos fabricados a nivel nacional frente a los productos de importación, produciéndose de esta manera un desarrollo en la industria nacional.

## CAPITULO II

### PROCESO EXPERIMENTAL.

#### 2.1. Objetivo Experimental.

El objetivo principal de este trabajo es demostrar la funcionabilidad del proceso de fundición por molde evaporativo. Además de la facilidad que implica su puesta en práctica, usando materiales fáciles de adquirir en el mercado nacional y con costos de proceso extremadamente bajos.

#### Equipo experimental.

Los materiales usados son los siguientes:

Modelos de espuma de poliestireno (densidad : 20 -30. Kg / m<sup>3</sup>)

Arena de sílice tamaño de grano AFS 70

Copa de grafito. para usarlo como tasa de vertido de metal.

Recubrimiento refractario para los modelos de espuma:

Grafito.

Bentonita pasante por una malla de 300..

Blancola.

Agua.

Detergente.

Aluminio.

Se usa el mismo equipo usado en otras tesis de grado o sea:

Horno de fusión a gas de 10 kg. de capacidad de crisol.

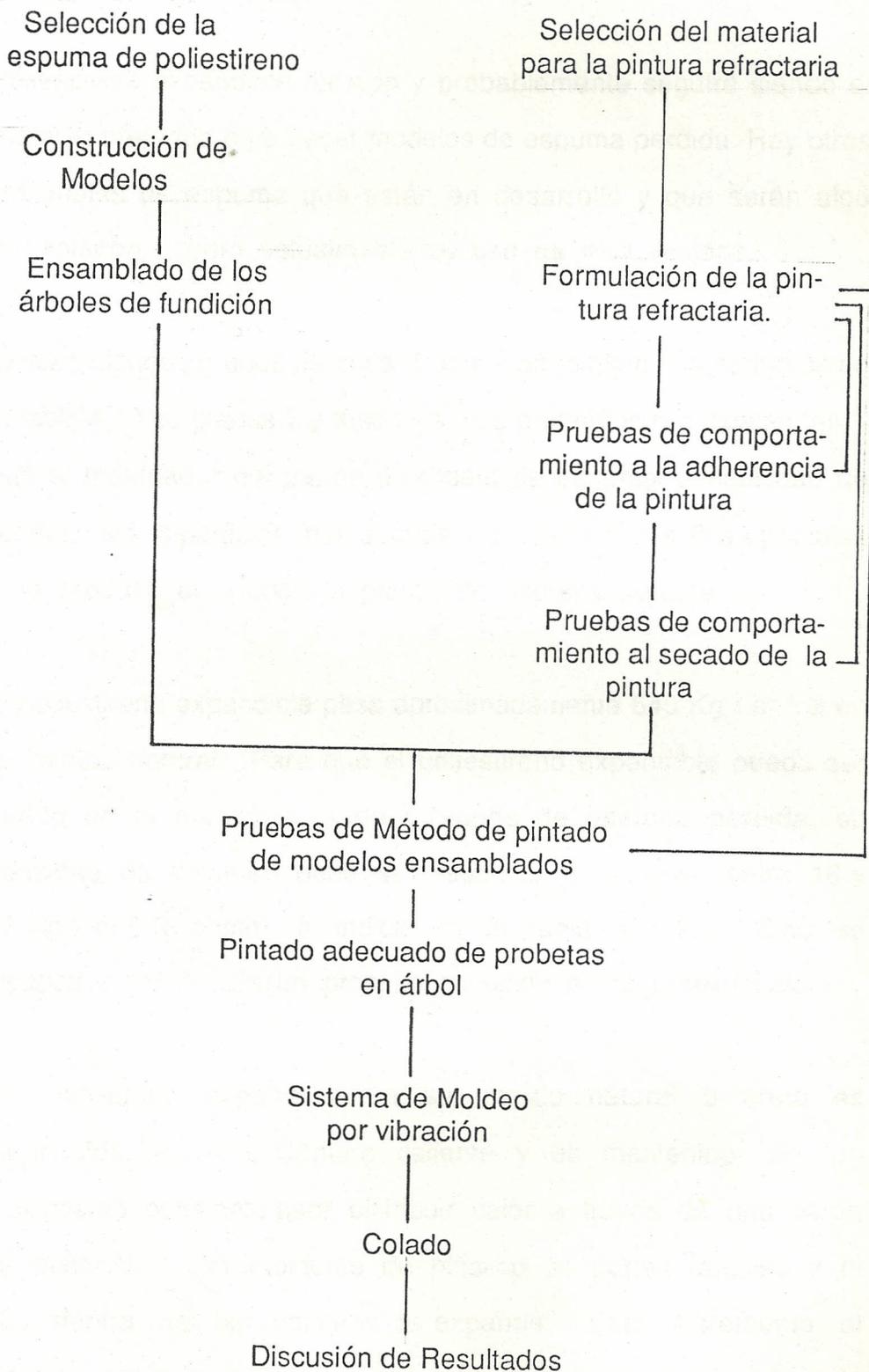
Tamiz vibrador con malla N ° 300

Molde improvisado en embase de 30 galones de capacidad

### **Metodología.**

A continuación se indica esquemáticamente de en un diagrama de bloques la técnica operativa a seguir para la ejecución de dicho trabajo .

## METODOLOGIA



## 2.2. Características de los materiales usados para el moldeo por espuma perdida.

Poliestireno expandible ha sido y probablemente seguirá siendo el material preferido para hacer modelos de espuma perdida. Hay otros materiales de espuma que están en desarrollo y que serán algo prometedores, pero actualmente su uso es muy limitado.

Existen algunos grados de poliestireno expandible como se indica en la tabla # 1. Los grados T y X son los más preferidos por, cuanto ellos dan al moldeador del patrón o modelo de espuma la habilidad de producir las superficies más suaves y secciones más finas posibles para producir el modelo o patrón de espuma perdida.

El poliestireno expandible pesa aproximadamente  $640 \text{ Kg} / \text{m}^3$  en su estado natural. Para que el poliestireno expandible pueda ser usado en la manufactura de patrones de espuma perdida, su densidad de volumen debe ser reducido a un nivel entre 16 y  $27 \text{ Kg} / \text{m}^3$  como se indica en la tabla # 2. Esto se alcanza a través de un proceso conocido como preexpansión.

El poliestireno expandible en su estado natural o bruto es introducido en una Cámara caliente y es mantenido en un movimiento constante para distribuir calor a través de una carga de material. Las molduras de plástico se ponen suaves y el gas dentro de las molduras se expande. Esto incrementa el diámetro de cada moldura y así reduce la densidad de volumen.

La relación de volumen en una densidad de  $16 \text{ Kg} / \text{m}^3$  está en una proporción de 40 a 1. Después de un período de tiempo en el preexpansionador, el material es descargado y pesado para chequear la densidad. La densidad del patrón de espuma es un punto crítico para un producto determinado de fundición. Para resultados de fundiciones consistentes, la densidad del poliestireno expandible, debe ser controlada con un  $\pm 2\%$  de la densidad que se tiene por objetivo. Esto es alcanzado monitoreando y ajustando el tiempo y temperatura en el preexpansionador. Una vez que el poliestireno expandible preexpansionado es descargado desde el preexpansionador es colocado en una bodega intermedia para enfriar y estabilizar. Después de que el proceso de estabilización es completado (de 6 a 12 horas dependiendo del recipiente utilizado), el poliestireno preexpansionado es llevado a una tolva adjunta a una pieza de moldeo. Este resultado está esquematizadamente ilustrado en la figura 9

TABLA N. 1

# GRADOS DE EXPANSION DEL POLIESTIRENO

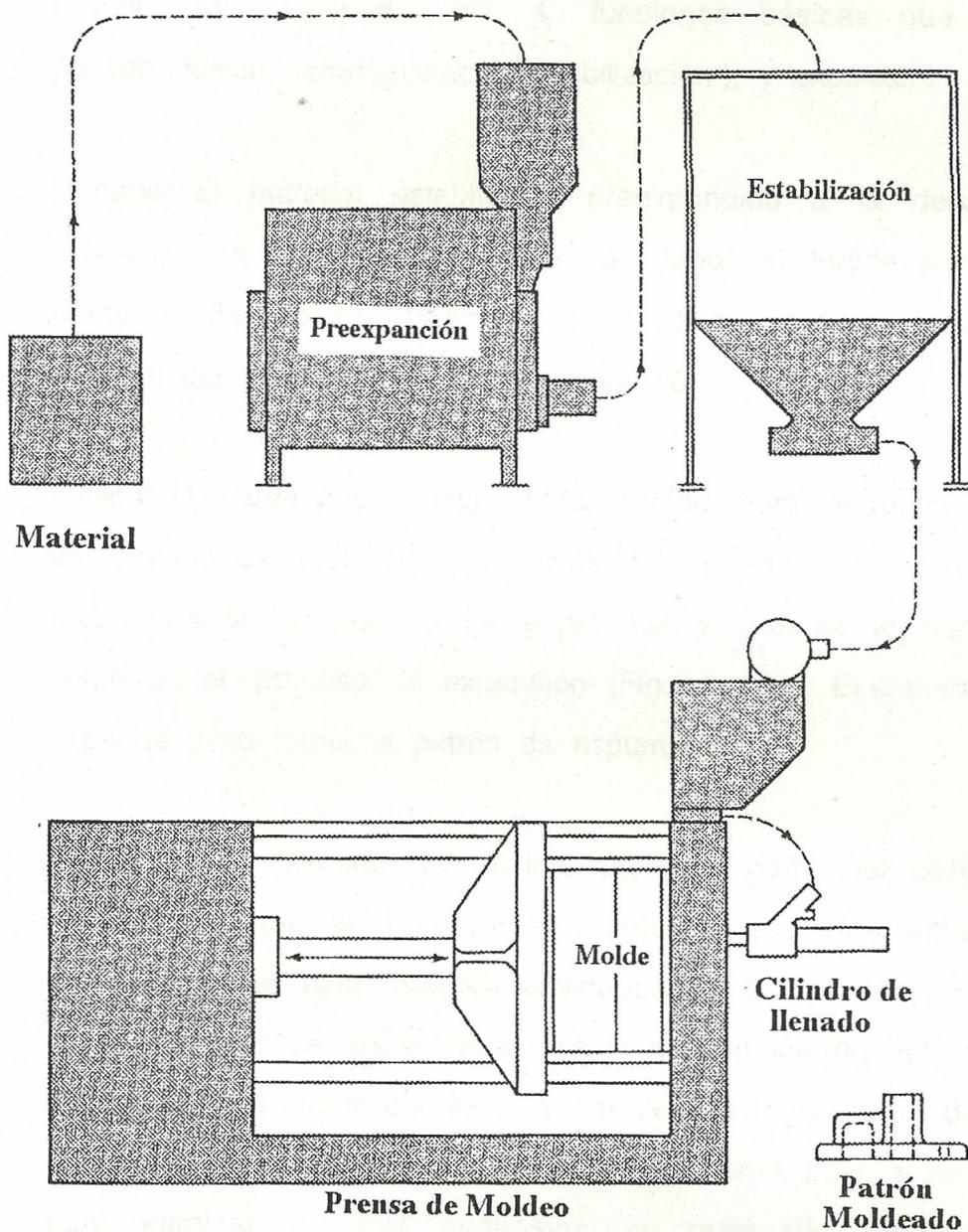
Grados	Rango de diametros		Diametros a 24 Kg/m <sup>3</sup>	
	mm	in	mm	in
A	0.83 - 2.0	0.033-0.078	2.5 - 5.9	0.097-0.231
B	0.58 - 1.2	0.023-0.047	1.7 - 3.5	0.068-0.138
C	0.33 - 0.71	0.013-0.028	1.0 - 2.1	0.049-0.082
T	0.25 - 0.51	0.010-0.020	0.74 - 1.5	0.029-0.058
X	0.20 - 0.33	0.008-0.013	0.61 - 1.0	0.024-0.040

TABLA N. 2

DENSIDADES TIPICAS DE MODELOS REQUERIDOS PARA  
LOS PROCESOS DE FUNDICION CON ESPUMA PERDIDA

METAL	Temperatura de vertido del metal		Densidad de los mod de EPS	
	° C	° F	Kg/m <sup>3</sup>	lb/pie <sup>3</sup>
ALUMINIO	705-790	1300-1450	24 - 27	1.5 - 1.7
BRONCE	1040-1260	1900-2300	20-21.6	1.25-1.35
HIERRO GRIS	1370-1455	2500-2650	≤20	≤1.25
ACERO	1595-1650	2900-3000	≤17.6	≤1.10

Fig.9 Secuencia de operación para la producción de modelos



### 2.3. Producción de modelos en poliestireno expandible.

Puede ser agrupado en 4 funciones básicas que son: llenado, fusión, enfriamiento (estabilización), y expulsión.

Llenado: El material estabilizado preexpandido a la densidad deseada es alimentada desde el tubo al molde por un ducto de llenado con barreno que es usado para alimentar de material como se muestra en la figura 10.

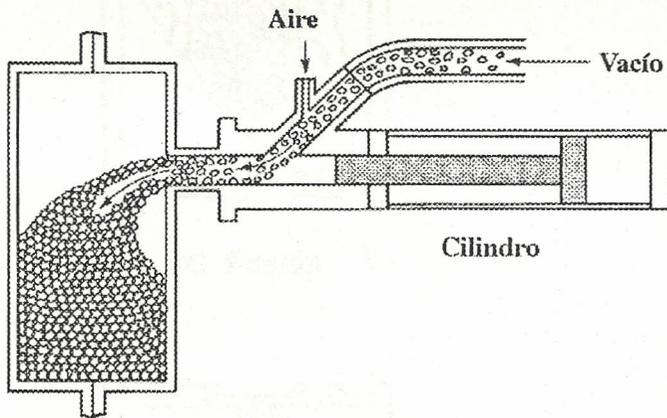
Fusión: Después que la cavidad del molde está lleno, el calor es añadido pasando vapor a través del material en la cavidad; esto reinicia el proceso de expansión y suaviza el material como en el proceso de expansión (Fig. 11 . a). El material se expande y se forma el patrón de espuma.

Enfriamiento: Durante la fusión hay una parte del ciclo de moldeo, donde el molde está sujeto a presiones externas produciendo de esta manera cavidades en las paredes, si en esas partes no se enfria, entonces la presión interna del molde se reduce y el molde continua expandiendose después de la inyección. Esta condición es conocida como post expansión para eliminar la post expansión es necesario enfriar las cavidades de los moldes, esto hace que se reduzca la presión interna hasta un punto que pueda ser expulsado y todavía mantener su integridad dimensional. El enfriamiento es generalmente complementado rociando agua de tras de la pared

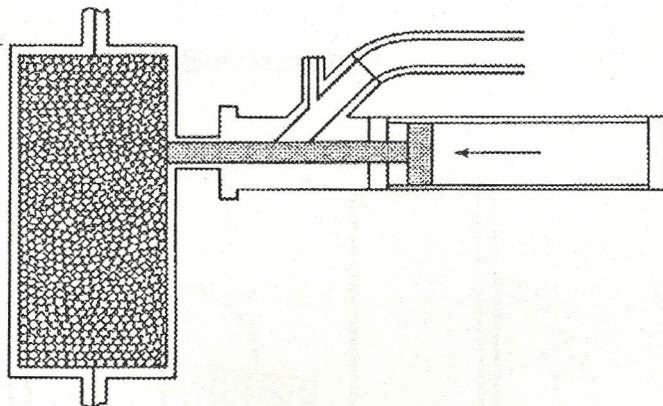
del molde de la cavidad (Fig. 11 . b) .

Expulsión: Una vez que ha sido enfriado, la prensa puede ser abierta y la parte expulsada (Fig. 11 . c) .

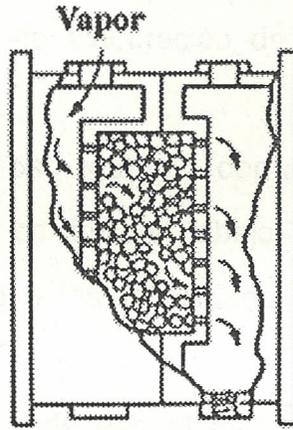
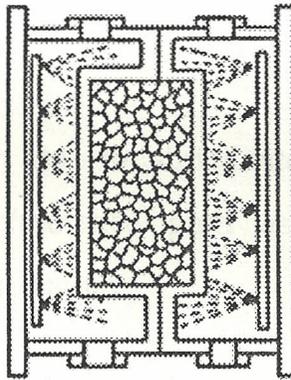
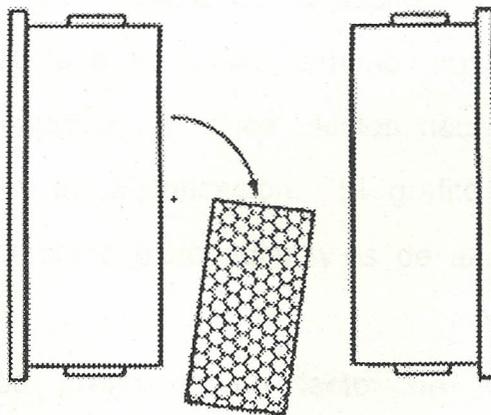
**Fig10 Cilindro de llenado usado para alimentar el preexpandedor de material usado para la prensa de moldeo**



(a) Cilindro abierto para transporte por aire / vacío



(b) Cilindro cerrado para fusión

**Fig.11 Muestra secuencial de la fusión****(a) Fusión****(b) Enfriamiento****(c) Eyección**

#### 2.4. Pintura Refractaria.

Para el desarrollo de la pintura refractaria se han usado los conceptos básicos de elaboración de pinturas a saber.

Los recubrimientos están constituidos por los cuatro componentes que se indican abajo, también se pueden añadir aditivos de acuerdo a las necesidades que se tengan.

Agente refractario inerte con el metal a fundir.

Agente de suspensión.

Agente unidor.

Solvente.

Agente refractario: Un recubrimiento puede contener uno o algunos agentes refractarios para este caso se usa el grafito como agente de la pintura.

El grafito puede ser más o menos carbón impuro, los que se encuentran en el comercio varían desde un 40 % hacia arriba, dependiendo de la pureza del depósito. El grafito usualmente contiene de 50 % a 60 % de carbono, cuando se encuentra el grafito con impurezas, produce efectos nocivos tales como bajar la temperatura de sinterización. El grafito usado es conocido comercialmente como plumbagina y es de alta pureza.

El tamaño de grano es un factor de gran importancia, el

tamaño no puede ser muy grande porque luego no puede penetrar en las paredes del modelo; esta penetración asegura un buen anclaje, pero tampoco puede ser un grano muy fino porque luego hay una tendencia a la fractura después de que se ha secado. El tamaño aconsejable del llenador debe ser del 2 % al 5 % del tamaño del grano de arena que se use.

Agente de suspensión: Se usa un agente de suspensión para retardar la sedimentación, para este caso se usa arcilla con tendencia a la hinchazón, la arcilla tiene una desventaja y es que hace que el recubrimiento se agriete y por lo tanto se fracture.

Agente unidor: El agente unidor más aconsejable para este caso es el silicato de sodio, pero en este caso reacciona con la bentonita cálcica que es la que se usa en este trabajo, por lo tanto se usa como agente unidor látex. El látex previene la oxidación y es de baja resistencia al calor y da una gran capacidad de unión y adherencia.

Solvente: El solvente que se usa en esta tesis es agua y está en mayor proporción, por lo tanto el agua es el medio de transporte de la pintura refractaria. El agua que se usa puede ser agua común

### **Composición del recubrimiento refractario.**

El recubrimiento refractario está compuesto de los siguientes elementos, los cuales se encuentran en porcentaje por peso.

Grafito	30 % - 40 %
Bentonita	12 % - 14 %
Látex	5 % - 10 %
Agua	35 % - 55 %
Aditivos	1 % - 2 %

Aditivos: Se usan aditivos para mejorar alguna característica de la pintura de acuerdo a los requerimientos del proceso.

La penetración de la pintura en las paredes del modelo de espuma y el espesor del recubrimiento dependen de la viscosidad y del tamaño de grano de los poros en las paredes de los modelos. Cuando la pintura es altamente viscosa y los poros de las paredes del modelo de espuma son pequeños, entonces esta no fluye y descansa sobre las paredes del modelo, mientras esta fluye a lo largo de las paredes de los modelos cuando la situación es lo contrario, por lo tanto se necesita obtener un equilibrio en estas dos características para obtener una composición adecuada.

### **Selección del material para la fabricación del recubrimiento refractario.**

Para la selección de los materiales a usarse en el recubrimiento

refractario se tomaron en cuenta 2 parámetros muy importantes los cuales son la permeabilidad que está íntimamente relacionada con la forma del grano y el tamaño de grano para el caso de las arenas de forma subangular el cual es nuestro caso, pues para el aluminio se recomienda recubrimientos con baja permeabilidad y se necesita un tamaño de grano adecuado para lograr un acabado superficial adecuado.

El recubrimiento refractario que se usa es de tipo permeable, el cual a nivel comercial se lo conoce como Styrocast 250, pero para este trabajo no se usó este refractario, en vez de esto se desarrolló una fórmula propia la cual posee ciertas propiedades como ya se indicó en la sección que se refiere a la composición de materiales .

Para lograr este recubrimiento se hicieron varios ensayos , se revistieron algunos modelos de poliestireno, cuyas dimensiones pueden observarse en la fig. 14 .

Para la elaboración de la pintura refractaria el material que se usó fue grafito en polvo, bentonita cálcica la cual debe ser pasante por una malla 300, Silicato de sodio, Látex, detergente, agua y arena blanca.

Los ensayos que se realizaron para la elaboración de la pintura refractaria fueron:

## ENSAYO # 1

Grafito	35 %
Bentonita Cálcica	10 %
Arena Blanca	5 %
Silicato de Sodio	3 %
Agua	47 %

## OBSERVACIONES:

Luego de que se mezclaron todos los elementos, la suspensión no fue estable, era necesario estar agitando constantemente la mezcla, hay grumos y se formó espuma, se moja toda la superficie, pero en el momento del secado, la pintura se resquebraja y se cae la pintura, observada al macroscopio, presenta fisuras inadecuadas.

## ENSAYO # 2

Grafito	40 %
Bentonita Cálcica	7 %
Silicato de Sodio	6 %
Agua	47 %

## OBSERVACIONES:

Se mantienen los elementos en suspensión por un tiempo

adecuado, persisten los grumos y también se formó espuma, luego de dejar en reposo por algunas horas, desaparece la espuma pero los grumos persisten, además la pintura toma una consistencia gelatinosa, la pintura no moja de una manera adecuada la superficie del molde al ser aplicada sobre este, lo que moja, no posee una buena adherencia, demora en secar, observado el recubrimiento refractario en un macroscopio, esta presenta fisuras, el tamaño de grano es aceptable, el principal inconveniente es su falta de adherencia y el tiempo que demora en estar lista para su uso, se llegó a la conclusión de que estaba reaccionando la Bentonita cálcica con el silicato de sodio.

### ENSAYO # 3

Grafito	40 %
Bentonita Cálcica	10 %
Látex ( Blancola )	10 %
Agua	40 %

### OBSERVACIONES:

Se logra que los elementos se mantengan en suspensión por un tiempo adecuado, luego hay que agitarlo para que permanezcan todos los elementos en suspensión, cuando se la aplica sobre el modelo de poliestireno, esta no moja de una manera adecuada, cuando la pintura se secó se realizó varios

repintados. Observada al macroscopio presenta pequeñas fisuras, imperceptibles a simple vista, las cuales se consideran aceptables, pues también colaboran a que exista escape de los gases producto de la combustión del modelo de poliestireno, el tamaño de grano que se observa es considerado adecuado; la pintura seca rápidamente. Tiene casi todas las características para ser considerada como una pintura aceptable, el único inconveniente que presenta es que no moja adecuadamente cuando se coloca sobre la superficie del modelo de poliestireno.

#### ENSAYO # 4

Grafito	30 %
Bentonita Cálcica	12 %
Látex ( Blancola )	5 %
Agua	52 %
detergente	1 %

#### OBSERVACIONES

Este último ensayo presenta las mismas características que el ensayo # 3, a excepción de que en este ensayo, se logra que la pintura moje de una manera adecuada, esto se logra al aumentar detergente a la fórmula, el cual influye en la tensión superficial. Por esta razón, este es el recubrimiento o pintura refractaria que se usó en este trabajo.

## 2.5. Fabricación de moldes y fundición con aluminio.

### Selección de los modelos de poliestireno.

La selección de los modelos de poliestireno, depende del material que se desea fundir, de acuerdo a esto se selecciona la densidad que va a poseer el modelo de poliestireno, esto se puede ver en la tabla 2. Otro factor que se debe tener en cuenta para la selección del poliestireno, son los grados de expansión que dicho material pueda poseer, esto se encuentra indicado en la tabla 1.

Para este trabajo se usa poliestireno de grado X, pues este tipo de poliestireno permite que cuando el poliestireno se a transformado en modelo, este pueda ser fácilmente moldeado y manipulado, además de que posea una superficie lisa y de ser necesario se puede hacer secciones extremadamente delgadas.

La densidad del poliestireno para el proceso de fundición por espuma perdida, está en el rango de 16 a 27 Kg / m<sup>3</sup>, este rango depende del metal que se desee fundir, En el presente trabajo, el material a fundirse es aluminio y la densidad proporcionada por el fabricante de la espuma es de 26 Kg / m<sup>3</sup> la cual está dentro de los límites de las densidades permitidas para trabajar con aluminio según la tabla 1.

Para este trabajo se elaboraron y ensamblaron diez tipos diferentes de modelos, en la figura 12 se indica la secuencia de ensamble de un modelo, todos ellos son figuras geométricas regulares, los cuales fueron montados en arboles de fundición, ocho de ellos constan de ocho piezas y dos de ellos de catorce piezas, además fueron recubiertos con una pintura refractaria la cual se elaboró en los laboratorios de fundición, se empezó fundiendo los árboles más sencillos y se concluyó con el árbol que constaba de catorce piezas, el cual resultaba ser el más complicado tanto de elaborar como de fundir.

Las dimensiones de todos los modelos se encuentran detallados a continuación en la tabla 3.

Seguidamente se presentan esquemas en los que se muestra la forma y dimensiones de una manera individual de todas las piezas que se desean fundir. (figura N° 14)

Los pasos que se siguen para el desarrollo del proceso de espuma perdida son los siguiente:

Armar el modelo de espuma de poliestireno.

Diseñar y cortar un bebedero en el modelo de espuma para la entrada del metal fundido .

Recubrir el modelo de espuma de poliestireno con pintura refractaria,

es importante que se deje sin recubrir con pintura en el bebedero a una pulgada de la superficie .

Permitir que el recubrimiento de pintura refractaria seque lentamente, preferible que el secado sea por la noche.

Colocar en un recipiente arena hasta completar aproximadamente 3 pulgadas desde la parte inferior del recipiente.

Colocar el modelo de espuma en el recipiente, este debe quedar colocado sobre la superficie de la arena.

Vierta arena gradualmente sobre el modelo de espuma hasta que el modelo de espuma quede completamente por el arena, tomando la precaución de dejar 3 pulgadas del bebedero sin cubrir.

Conectar el vibrador de alta frecuencia en el recipiente .

Colocar la copa de grafito alrededor del bebedero en su extremo superior .

Calentar el metal cerca de  $28^{\circ}\text{C}$  arriba de la temperatura de fundición que se requeriría si se usara arena verde para fundición; por ejemplo, para el aluminio con arena verde se funde a  $748^{\circ}\text{C}$ , con espuma , el aluminio se debe calentar a  $776^{\circ}\text{C}$ .

Verter el meta líquido en la copa de grafito para que este entre al

bebedero y se llene el molde, el metal fluirá lentamente al principio y luego este fluirá muy rápido.

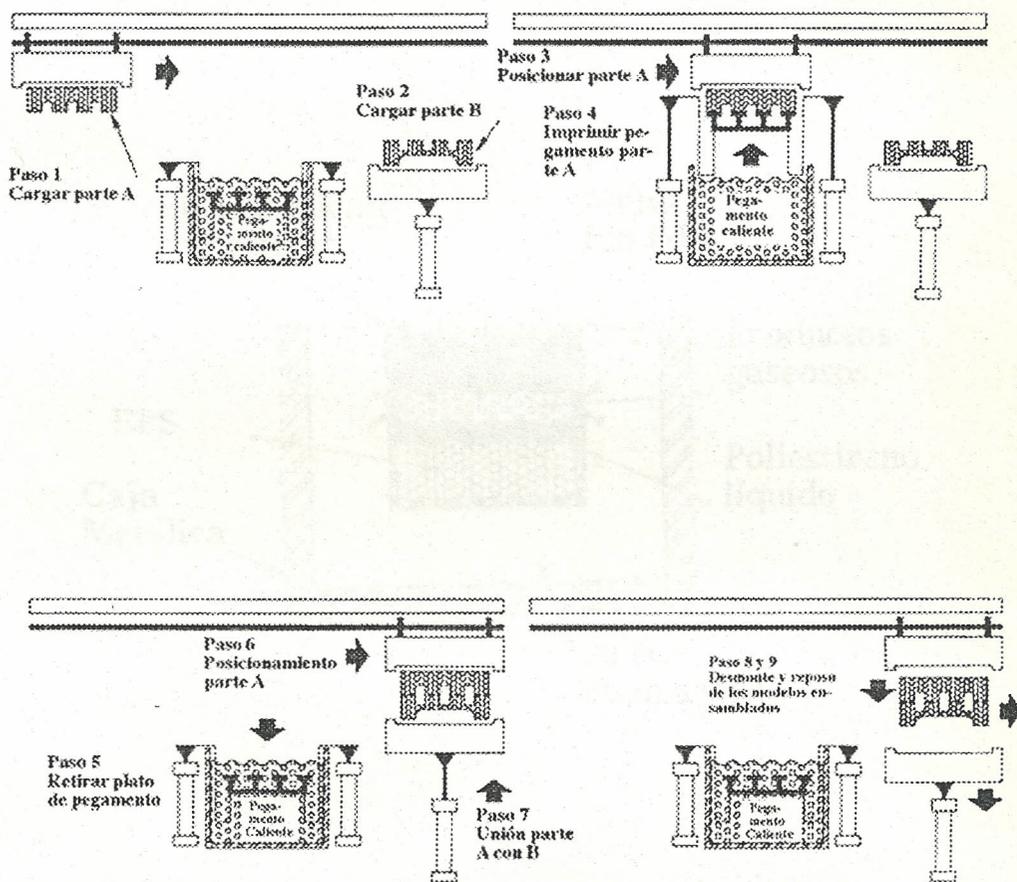
Dejar que se enfrie el metal y se solidifique.

Sacar el metal solidificado del recipiente con arena.

Quitar la cubierta refractaria con aire a presión o un cepillo de metal.

Repetir este proceso para cada fundición que se desee realizar. Se debe señalar que antes de realizar la fundición con los árboles ensamblados, se realizaron fundiciones a manera de pruebas, con una sola pieza de cada tipo de árbol que se fundió, esto se realizó además para lograr cierta habilidad en este proceso de fundición.

Fig.12 Secuencia del ensamble de un modelo de espuma



**Fig.13** Reacción que se produce en la operación de vertido en el proceso de espuma perdida

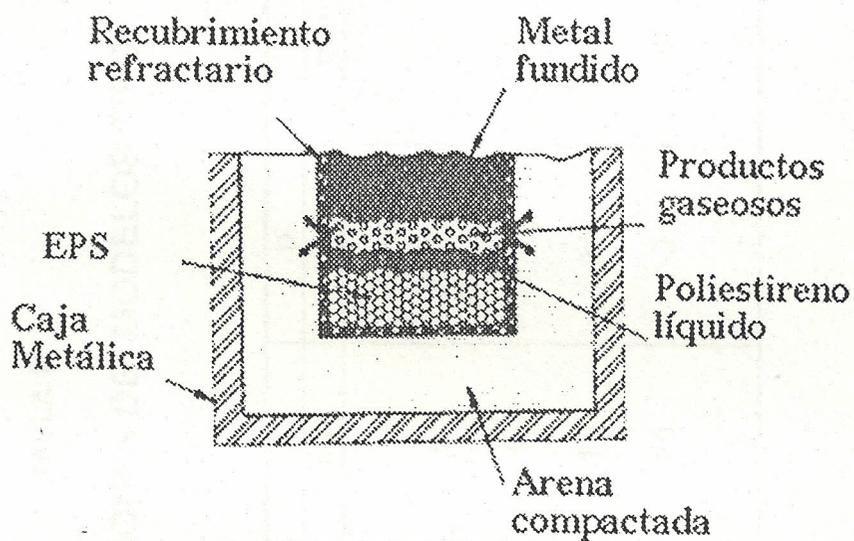


TABLA N. 3

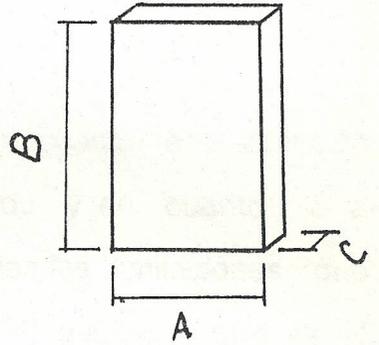
DIMENSIONES DE MODELOS TIPO

TIPO #	A mm	B mm	C mm	D mm	E mm	F mm
1	40	100	5	0	0	0
2	0	100	0	0	0	0
3	40	50	10	10	50	50
4	70	100	20	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0

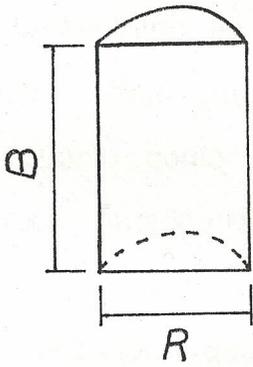
fir 14 Modelos tipo que se ensamblaron

Tipo

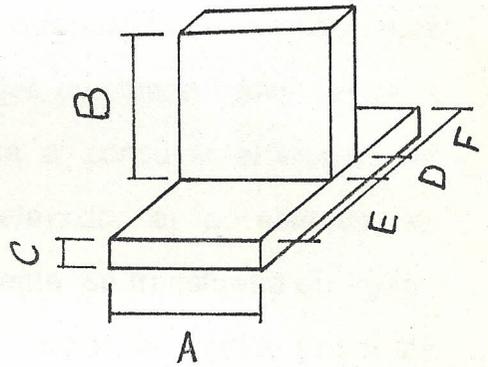
1



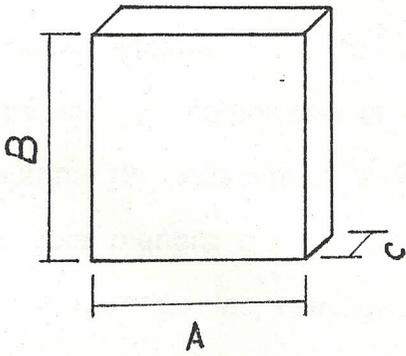
2



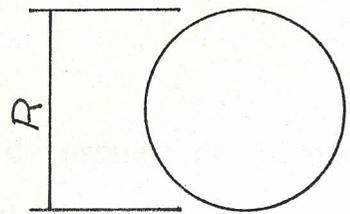
3



4



5



## CAPITULO III

### DISCUSION DE RESULTADOS

La discusión de este trabajo se encamina en cuanto a la reacción que se produce en la operación de vertido y en cuanto a la calificación del proceso, tomando en cuenta todas las limitaciones que se presentaron en el momento de su realización; debido a que es el primer trabajo que se realiza sobre el desarrollo de este proceso, se ha puesto como prioridad principal, obtener piezas que tengan un correcto llenado y un acabado superficial aceptable.

La reacción que se produce en la operación de vertido está ilustrada en la figura N ° 13, el metal fundido en estado líquido entra al molde y a medida que este avanza empieza a consumir el modelo de espuma, por acción de la temperatura elevada, el poliestireno en estado sólido se hace líquido y posteriormente se transforma en gas , el cual escapa hacia la superficie por el ducto de vertido y por las paredes que conforman el molde de arena , el metal consume toda la espuma de poliestireno y se va depositando en el fondo, logrando así de esta manera que el molde se llene de abajo hacia arriba y ocupe el metal todas las ramificaciones que componen el árbol de espuma de poliestireno.

El prime paso fue obtener modelos simples de espuma de poliestireno con características adecuadas para poder fundir aluminio y sus aleaciones .

fig. 15 Modelo de EPS en forma simple

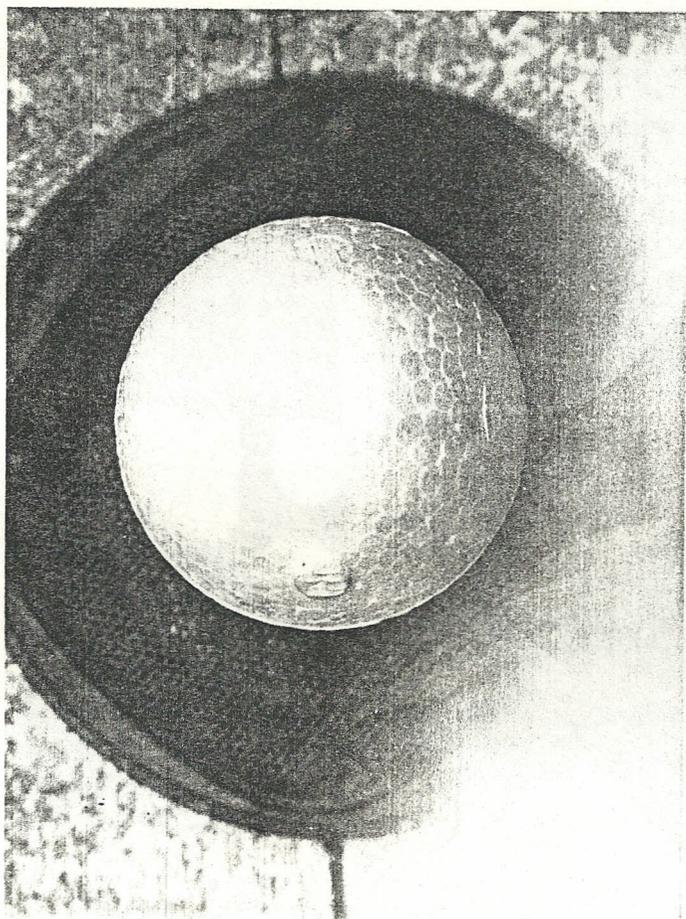
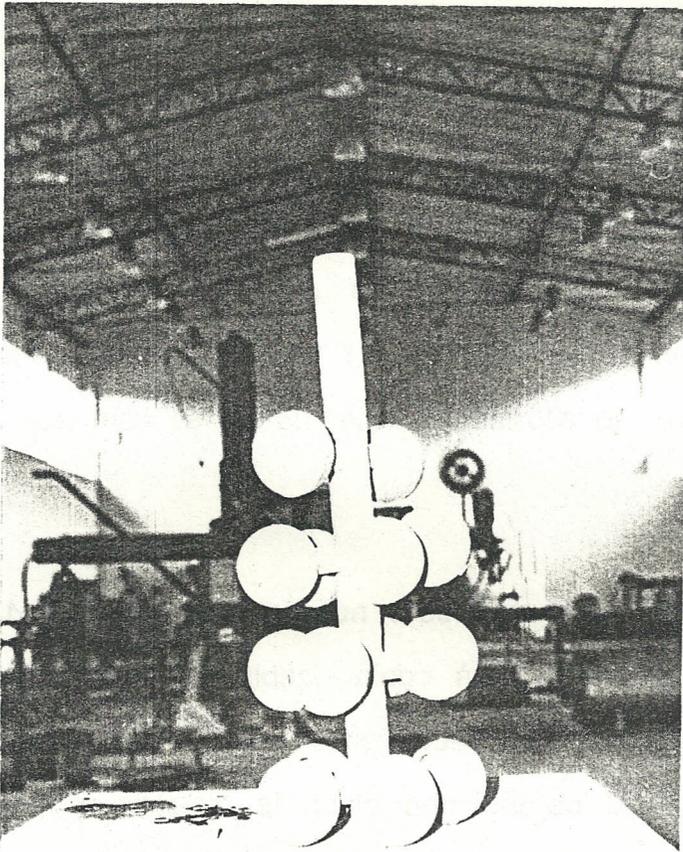


fig. 16 Modelo de EPS en un árbol listo para el colado



En la figura N ° 15 se presenta un modelo de espuma en su forma más simple, el cual no ha sido todavía ensamblado, posee un diámetro  $\varnothing = 70$  mm. y una densidad  $\varrho = 27$  kg / m <sup>3</sup>, luego este modelo se ensambla y se forman árboles para el colado de varias de estas piezas simples figura N ° 16 .

Antes de obtener resultados satisfactorios, se produjeron varias fallas en las piezas fundidas, las cuales por las características que presentaban, nos obligaron a tomar medidas correctivas para poder evitarlas para que no se repitan en las pruebas que se realizaron posteriormente, en las figuras N ° 17 y N ° 18 se presentan dos casos con las fallas que más se dieron en el desarrollo de este proceso de fundición.

En la figura N ° 17 se presenta un árbol que está conformado de 8 piezas en forma de T invertidas, dicho árbol presenta 5 piezas que se han llenado de una forma satisfactoria, una pieza que se llenó inadecuadamente y se unió al ducto principal de llenado, mientras 2 piezas correspondientes a uno de los 4 ramales no se llenaron. Se observa que los ramales superiores son los que presentan defectos, el ramal superior izquierdo presenta un llenado inconcluso a causa de la proximidad de este con la superficie lo que hace que el metal se enfríe más rápidamente, puesto que el arena actúa también como aislante térmico, y se solidifique dejando esta parte del molde a medio llenar. La pieza que se une al ducto de llenado es producto de la mala compactación del arena lo que permite que el metal se filtre por esta y se una a las piezas más próximas. La falla que

presenta el ramal superior izquierdo se da por el taponamiento del ducto por donde circula el metal en estado líquido, este taponamiento es causado por el golpe térmico que se dá al no haber sido precalentada la copa de grafito que se usa para llenar el molde, al no haberse llenado con metal líquido los ramales y evaporarse la espuma de poliestireno por efecto de las altas temperaturas, las paredes en esta parte del molde se desmoronan y no permiten que fluya el metal líquido.

La figura N° 18 corresponde a un modelo de esferas de diámetro  $\varnothing = 70$  mm el cual está compuesto por 14 piezas, presenta serias fallas en cuanto al llenado, se llenaron sólo 3 piezas, de las cuales una no se llenó satisfactoriamente. La falla principal de este modelo se presentó en el momento del recubrimiento con la pintura refractaria, pues se observa que en las uniones se ha dado una obstrucción en el flujo de metal líquido provocando que este se solidifique y no permita un correcto llenado del molde, otra falla que se observa en esta figura es que el ducto principal de llenado presenta una solidificación en forma de hojuelas, esto se dá en la parte superior del ducto, es causado por el desmoronamiento de las paredes del molde de arena producto del debilitamiento del recubrimiento refractario que se ha colocado al modelo de espuma, el metal líquido fluye por el ducto y va erosionando el recubrimiento hasta debilitarlo y provocar el desmoronamiento del molde y el posterior arrastre de arena, este defecto se presentó en la mayoría de las coladas.

fig. 17 Arbol coladao con piezas en forma de T con fallas

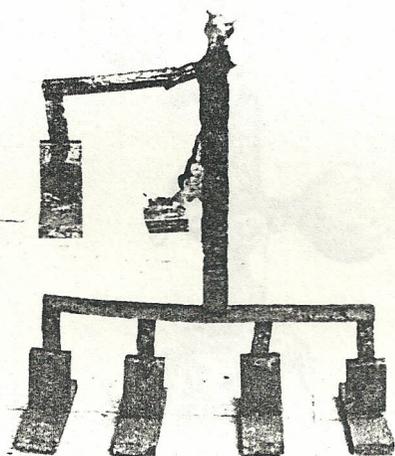
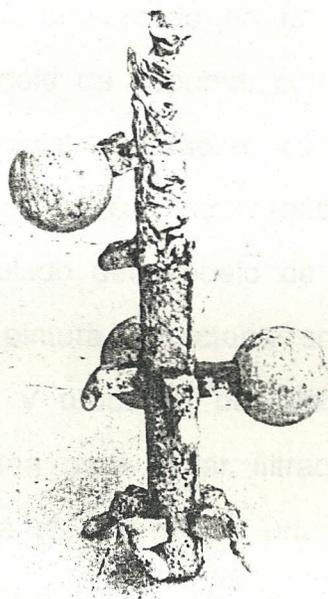


fig. 18 Arbol colado con piezas en forma de esferas con presencia de fallas



Para evitar las situaciones antes indicadas, se alargó el ducto principal del bebedero una distancia aproximada de 4 pulgadas para que estas fallas se de en lugares donde no causen problemas.

En base a los errores indicados anteriormente, se determinaron las cuasas que los provocaron para poder dar soluciones adecuadas y lograr piezas con un llenado satisfactorio como los que se muestran en la figura N ° 19 , el cual corresponde a un árbol fundido similar al modelo de espuma presentado en la figura N ° 16, este es una copia exacta del modelo de espuma, con características dimensionales y de acabado superficial aceptables con respecto a su modelo de espuma. Para lograr estos resultados se tomó precaución en el momento del ensamblado del modelo de espuma para que al realizar el recubrimiento de pintura refractaria sobre el modelo, esta no se filtre por las uniones y produzca obstrucciones; se realizó una mejor compactación del arena para evitar filtraciones del metal y lograr de esta manera que las piezas no se unan entre sí; se precalentó la copa de vertido para que no se produzcan diferenciales de temperatura que hagan que exista un enfriamiento brusco del metal y no se solidifique a la entrada.

Las figuras N ° 20 y N ° 21 presentan acercamientos de piezas obtenidas por medio de este proceso; comparando con los métodos tradicionales, establece una clara diferencia en cuanto al acabado superficial, pues la pintura refractaria actúa como una capa protectora entre el modelo y el arena, evitando de esta manera que el arena se pegue a las superficies de la pieza fundida, es decir que permite la

omisión de ciertos procesos de maquinado lo cual abarataría el costo de producción de piezas realizadas por medio de este proceso.

En sí se observa que el proceso presenta sus ventajas y desventajas.

Algunas de las ventajas son las siguientes: no requiere que las arenas posean agentes unidores ni aditivos, es decir no necesitan seguir ninguna secuencia para preparar la arena que se usará, no hay que desmontar el modelo del molde por lo cual el arena no tiene que ser alizada como en los casos en los cuales se debe retirar los modelos, no se debe sacudir ni golpear la pieza fundida para que este salga del molde, al ser como los modelos recubiertos por la pintura refractaria esta sirve como protección a la pieza una vez que el metal líquido se solidifica evitando que el arena se pegue a las paredes de la pieza fundida; este proceso es limpio y seguro, el arena es reusable después de enfriarse; paredes de espesores pequeños son fáciles de obtener; la necesidad de destreza para este proceso es reducida.

Entre las desventajas que se presentan en los proceso de espuma perdida se pueden anotar los siguientes:

La elaboración de la pintura refractaria, el posterior recubrimiento del modelo y secado incluyen tiempo de consumo en este proceso; los modelos de espuma presentan gran fragilidad; el rango de vertido es muy crítico; los modelos de espuma de poliestireno al quemarse emiten gases peligroso para la salud; los modelos de poliestireno se

contraen aproximadamente 0.1 pulgadas por pie arriba de un período de 30 días para luego empezar a estabilizarse.

fig.19 Arbol correctamente colado



fig 20 Acercamiento # 1 de pieza correctamente colado

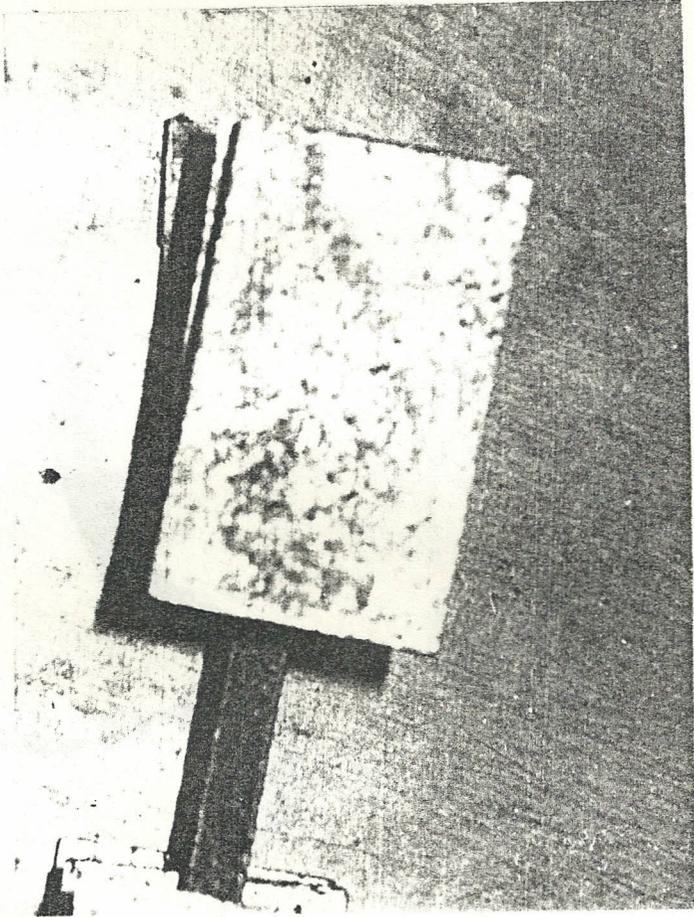


fig. 21 Acercamiento # 2 de pieza correctamente colado



## **CAPITULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **Conclusiones.**

- 1 .- Con todo lo expuesto anteriormente podemos decir que este proceso en realidad resulta económico y sencillo de realizar, comprendiéndose que es un proceso adecuado para la fundición de piezas.
- 2 .- El acabado superficial que se obtiene depende en gran parte de la calidad del modelo de espuma de poliestireno que se use, si el modelo tiene imperfecciones, estos se copian en la pieza fundida.
- 3 .- Es posible desarrollar el proceso de fundición con espuma perdida usando en su totalidad materia prima nacional que cusarían un beneficio económico para el país.

#### **Recomendaciones.**

- 1 .- Debe investigarse más el comportamiento de la espuma de poliestireno fabricada en el Ecuador para determinar las contracciones que esta sufre con el tiempo.
- 2 .- Se debe mejorar la calidad de los modelos de espuma de

poliestireno en cuanto a densidad, aspecto superficial, etc. para que el acabado superficial de las piezas fundidas por este proceso mejoren.

- 3.- Se debe seguir investigando el uso de diferentes tipos de resinas para la elaboración de modelos de espuma que puedan ser usados para la fundición de diferentes tipos de metales y sus aleaciones para posteriores trabajos sobre este proceso de fundición

CONDENSATION OF ALUMINUM FLUORIDE

Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Mass of Condensate (g)	Mass of Aluminum Fluoride (g)
10	70	0.15	0.10
12	75	0.10	0.08
15	80	0.25	0.15
18	85	0.45	0.25
20	90	0.65	0.35
22	95	0.85	0.45
25	100	1.10	0.55
28	100	1.40	0.70
30	100	1.70	0.85
32	100	2.00	1.00
35	100	2.30	1.15
38	100	2.60	1.30
40	100	2.90	1.45
42	100	3.20	1.60
45	100	3.50	1.75
48	100	3.80	1.90
50	100	4.10	2.05
52	100	4.40	2.20
55	100	4.70	2.35
58	100	5.00	2.50
60	100	5.30	2.65
62	100	5.60	2.80
65	100	5.90	2.95
68	100	6.20	3.10
70	100	6.50	3.25
72	100	6.80	3.40
75	100	7.10	3.55
78	100	7.40	3.70
80	100	7.70	3.85
82	100	8.00	4.00
85	100	8.30	4.15
88	100	8.60	4.30
90	100	8.90	4.45
92	100	9.20	4.60
95	100	9.50	4.75
98	100	9.80	4.90
100	100	10.10	5.05

A N E X O S

## COMPOSICION DE ALEACIONES DE ALUMINIO FUNDIDO

Nº. AA	Silicio	Hierro	Cobre	Manganeso	Magnesio	Cromo	Níquel	Zinc	Estanol
208	2,5-3,5	1,2	3,5-4,5	0,50	0,10		0,35	1,00	
213	1,0-3,0	1,2	6,0-8,0	0,60	0,10		0,35	2,50	
222	2,0	1,5	9,2-10,7	0,50	0,15-0,35		0,50	0,80	
242	0,7	1,0	3,5-4,5	0,35	1,2-1,8	0,25	1,7-2,3	0,35	
295	0,7-1,5	1,0	4,0-5,0	0,35	0,03			0,35	
B295	2,0-3,0	1,2	4,0-5,0	0,35	0,05		0,35	0,50	
308	5,0-6,0	1,0	4,0-5,0	0,50	0,10			1,00	
319	5,5-6,5	1,0	3,0-4,0	0,50	0,10		0,35	1,00	
328	7,5-6,0	1,0	1,0-2,0	0,20-1,6	0,20-0,6	0,35	0,25	1,50	
A332	11,0-13,0	1,2	0,5-1,5	0,35	0,7-1,3		2,0-3,0	0,35	
F332	8,5-10,5	1,2	2,0-4,0	0,50	0,50-1,5		0,50	1,00	
333	8,0-10,0	1,0	3,0-4,0	0,50	0,05-0,50		0,50	1,00	
355	4,5-5,5	0,6	1,0-1,5	0,50	0,40-0,6	0,25		0,35	
C355	4,5-5,5	0,20	1,0-1,5	0,10	0,40-0,6			0,10	
356	6,5-7,5	0,6	0,25	0,35	0,20-0,40			0,35	
A356	6,5-7,5	0,20	0,2	0,10	0,20-0,04			0,10	
357	6,5-7,5	0,15	0,05	0,03	0,45-0,6			0,05	
360	9,0-10,0	2,0	0,6	0,35	0,40-0,6		0,50	0,50	0,15
A360	9,0-10,0	1,3	0,6	0,35	0,40-0,6		0,50	0,50	0,15
380	7,5-9,5	2,0	3,0-4,0	0,50	0,10		0,50	3,00	0,35
A380	7,5-9,5	1,3	3,0-4,0	0,50	0,10		0,50	3,00	0,35
383	9,5-11,5	1,3	2,0-3,0	0,50	0,10		0,50	3,00	0,15
A384	10,5-12,0	1,3	3,0-4,5	0,50	0,10		0,50	1,00	0,35
413	11,0-13,0	2,0	1,0	0,35	0,10		0,50	0,50	0,15

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- T. BAUMEISTER, E. AVALLONE, T. BAUMEISTER III, MARKS MANUAL DEL INGENIERO MECANICO, VOLUMEN 2 ( OCTAVA EDICION , MCGRAW - HILL, MEXICO ) , CAPITULO 6 pp 75 - 82.
- 2.- JAMES P LA RUE, BASIC METAL CASTING ( NEW YORK - USA, INTEXT EDUCATIONAL PUBLISHER 1981 ), pp 201 - 226 .
- 3.- HEINE LOPER ROSENTHAL, PRINCIPLES OF METAL CASTING, ( SECOND EDITION MIDLAND USA ), pp 23 - 41.
- 4.- A. KESSON AND A. LORENZONI G., COATING OF CORES AND MOULDS ( USA ), pp 10 - 43
- 5.- STEVEN A. WEINER, EVAPORATIVE CASTING OF AUTO PARTS, ( THE BRITISH FOUNDRYMAN, VOL 19 , 1980 ), pp 61 - 64.
- 6.- MICHAEL G., EMISION CHARACTERISTICS OF THE EVAPORATIVE PATTERN CASTING PROCESS, ( CINCINNATI USA), PP 21 - 28.