



162
Zepem

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**"IMPLEMENTACION DE UN PROCESO DE FUNDICION A LA
ESPUMA PERDIDA CON FINES DIDACTICOS"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO-ELETRICISTA

A R E A M E C A N I C A

P R E S E N T A:

SERGIO ROMERO HERNANDEZ



**DIRECTOR DE TESIS:
M. en I. ARMANDO ORTIZ PRADO**

MEXICO, D. F.

1995

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

GRACIAS:

A mi madre que siempre mantuvo un espíritu de trabajo y superación que fue ejemplo para todos sus hijos, en todo momento proporciono la estabilidad en el hogar que nos permitió seguir adelante, por mostrar interés en las cosas que para nosotros eran importantes y por dejarnos ser libres y con decisión, al no imponer sus ideas y forma de pensar en nosotros.

A mi padre, la persona que más admiro en este mundo, y a quien siempre he querido emular, siempre has sido un ejemplo de superación y carácter, tu magnífica guía durante nuestro crecimiento y tus altos estándares de lo que debe de ser una persona han logrado esto, te quiero Papá.

A mi hermano Omar por todos los momentos felices de la infancia que pasamos juntos , por su gran ejemplo de superación y por su apoyo inteligente y constante en todos esos momentos de flaqueza, tus consejos siempre serán muy importantes para mí.

A mi hermano Enrique y mis hermanas Cristina y Andrea por ser como son, unos magníficos hermanos gracias a los cuales tenemos una familia unida.

A mi sobrina Karla por ser la chispa de cariño e inocencia que tanta falta hace para que la vida sea grata, soy feliz al verte feliz.

A mi tía Esperanza por el incommensurable amor que siempre me ha brindado, siempre fui tu consentido y quiero seguir siéndolo.

A mi abuelita Lichita por todo su amor y enseñanzas, y su alegre presencia en todo momento.

A mis abuelos Lino y Sofía que tanto me enseñaron y quisieron durante el tiempo que tuve la fortuna de compartir con ellos, dondequiera que estén sepan que siempre los recuerdo con mucho amor.

A Paty, por todo el amor y comprensión que me has brindado en todos los momentos difíciles que he tenido, por animarme en todo momento para lograr mis metas de superación aun a pesar de nuestra relación y por la enorme cantidad de momentos felices y recuerdos gratos que nunca podré olvidar. Te amo colombina.

A todo el grupo de amigos de años con los que se que siempre puedo contar y confiar. Armando, Luis, Erick, Pedro, Arturo, Gerardo, Ricardo, Carlos, Jorge y Estela.

-A los grandes amigos que hice en la Facultad y con los que compartí alguna parte de mi carrera y otra muy importante de mi vida. René, Ricardo Moreno, Toño, Jorge Ruiz, Octavio, Ricardo Calzada, Mario, Israel, Jorge Morales, Manuel, Guillermo Pérez, Guillermo Hernández y todos los demás que compartieron tantas cosas conmigo.

A mi mejor amiga Carla por la invaluable amistad y cariño que siempre ha tenido para conmigo, por todas las cosas que hemos compartido y por siempre estar ahí donde se le necesite.

A mi amada Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, por la magnífica formación recibida.

A todos los buenos profesores con los que me encontré durante mis estudios y en especial a aquellos que saben que para lograr la formación de los estudiantes deben de encontrarse dispuestos a formarse también.

Un agradecimiento especial al profesor Armando Ortiz Prado por toda su paciencia y ayuda en la elaboración de este trabajo.

ÍNDICE:	
CAPITULO I	
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO II	
PROCESOS DE FUNDICIÓN	
<i>II.1.- GENERALIDADES</i>	6
<i>II.2.- CLASIFICACIÓN DE LAS FUNDICIONES</i>	14
<i>II.3.- DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE FUNDICIÓN</i>	16
CAPITULO III	
EL PROCESO DE FUNDICIÓN A LA ESPUMA PERDIDA	
<i>III.1.- PRINCIPIOS DE FUNDICIÓN A LA ESPUMA PERDIDA</i>	25
<i>III.2.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</i>	29
<i>III.3.- EVALUACIÓN DEL PROYECTO</i>	38
CAPITULO IV	
APLICACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN A LA ESPUMA PERDIDA A UN CASO PARTICULAR	
<i>IV.1.- VARIABLES DEL PROCESO DE FUNDICIÓN A LA ESPUMA PERDIDA</i>	42
<i>IV.2.- APLICACIÓN DEL PROCESO A UN CASO PARTICULAR</i>	48
<i>IV.3.- ELEMENTOS PARA EL PROCESO</i>	54
<i>IV.4.- ADQUISICIÓN DE LOS ELEMENTOS FALTANTES PARA LA PRÁCTICA DEL PROCESO</i>	55
<i>IV.5.- FABRICACIÓN DE DISPOSITIVOS</i>	59
CAPITULO V	
EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS	
<i>V.1.- METODOLOGÍA EMPLEADA</i>	68
<i>V.2.- RESULTADOS OBTENIDOS</i>	70
CAPITULO VI	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFÍA	90
APÉNDICE 1	92

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Desde la aparición del hombre, el mundo nunca ha vuelto a ser el mismo, la capacidad del ser humano para modificar su entorno en aquel que se amolde más a su propia conveniencia se ha visto demostrada a través de miles de años, remontándonos a la prehistoria, vemos que en algún momento lejano el ser humano descubrió que su propia capacidad física y antropomórfica no era suficiente para sus propósitos, el ser humano busco auxiliarse con las primeras herramientas que vio el mundo, las cuales fueron sin duda alguna nada más que rocas y palos. Estas primeras herramientas se usaban tal y como se encontraban, pero en un iluminado momento algún genio desconocido concibió la idea de modificar la forma de estas primeras herramientas con el fin de aumentar su funcionalidad, en ese momento nació algo que cambiaría para siempre la vida del ser humano: “el conformado de los materiales”.

Entre los primeros materiales conformados se tuvo el caso de hacer puntas con filo en largas ramas con el fin de obtener lanzas, otro material de mucho uso fueron las rocas de pedernal, para dar a estas una forma adecuada se sirvieron de uno de los más importantes principios del conformado, un material es deformado o roto al ser impactado con un material de mayor dureza y resistencia.

Las primeras herramientas fueron hechas utilizando la fuerza humana como la fuente de energía necesaria para trabajarlas, después se auxiliaron de pesadas rocas usadas a modo de martillos usando así sin saberlo, un incremento en la cantidad de movimiento con el fin de aumentar la energía suministrada durante la manufactura de las herramientas. El desarrollo humano continuo inexorablemente, el hombre descubrió la existencia de otros materiales, sus ventajas y desventajas con respecto de los que ya conocía.

En algún momento, ya haya sido por casualidad o por la experimentación, se dieron cuenta que por medio de diversos métodos, era posible “obtener” nuevos y mejores materiales a partir de otros; estos nuevos materiales, eran el producto de la separación de los diversos componentes de una roca o filones vírgenes hallados en el interior de la tierra; aparecen los metales.

La aparición de los metales en la vida del hombre, estableció un nuevo precedente, ya que hasta ese momento, el conformado de los materiales se concretaba a tomar un elemento a ser conformado e irle quitando diversas y selectas partes hasta que este tomaba la forma deseada.

Los primeros metales usados fueron aquellos que se encontraban en estados casi puros en la naturaleza, por ejemplo el cobre, el oro y la plata, posteriormente se vio que a partir de ciertas rocas en especial y utilizando diversas metodologías, se obtenían diferentes metales como fue el caso del hierro y del níquel.

Estos nuevos materiales, tenían una propiedad que no se había visto hasta entonces, eran maleables y se podían conformar sin necesidad de desperdiciarlos tanto como con los anteriores, se implementaron diversos métodos de fabricar las herramientas con ellos, la forja fue sin duda uno de estos, también se hizo otro gran descubrimiento el cual consistió en apreciar que los metales al ser severamente calentados pasaban a un estado líquido en el cual se podían combinar con otros y después vaciarlos en moldes diversos, había nacido el arte de la fundición.

Los procesos de fundición que se tuvieron inicialmente fueron muy rudimentarios, teniéndose los primeros moldes de piedra y cerámica por el año 4,000 a.c., posteriormente el desarrollo del proceso a la cera perdida en el 2,500 a.c., permitió magníficos acabados superficiales y una inmensa variedad de formas, su uso fue preponderantemente para piezas de orfebrería en metales preciosos.

En nuestros días la fundición es un proceso básico en la manufactura de piezas, en si misma, es una de las principales industrias de manufactura, la fundición debe su importancia a la gran versatilidad que tiene, ya que con ella es posible producir piezas de solamente algunos gramos de masa, hasta piezas de docenas de toneladas.

En nuestra vida diaria nos encontramos constantemente con varias piezas fundidas, como son los monoblocks de los automóviles, las tapas de las coladeras, estructuras de máquinas, etc.

Existen varios y diversos métodos de fundición con características propias de calidad de la superficie, textura de las piezas, etc; entre estos métodos podemos citar: la fundición en arena verde, fundición en arena seca, fundición en cascara, fundición por revestimiento o a la cera perdida, fundición en molde permanente, fundición al CO₂, fundición a la espuma perdida o colada evaporativa, fundición a presión, etc. Estos métodos serán explicados posteriormente con el objeto de tener un conocimiento de ellos que nos permita compararlos objetivamente.

En la Facultad de Ingeniería se tiene la enseñanza de estos procesos en la materia “Procesos de Conformado de Materiales”, sin embargo el principal contacto que tienen los alumnos con la fundición consiste en una práctica durante la cual se funden algunas piezas (ceniceros, adornos, etc) siguiendo las instrucciones del encargado del laboratorio de fundición; estas prácticas son obsoletas y mal planeadas ya que el trabajo realizado por los alumnos consiste en solamente seguir las instrucciones sin tener algún patrón de comparación, un estudio de la teoría y variables del proceso, un conocimiento de ¿qué se esta haciendo? o lo que es más importante ¿porqué se hace así?.

El objetivo del presente trabajo consiste entonces en la implementación de una nueva práctica de laboratorio en la cual se vea la naturaleza del proceso, la forma en que afecta modificar las distintas variables como pueden ser la calidad de la arena, su humedad, el uso de refractarios, la fluidez del material, etc.

La práctica se centrará en el desarrollo cabal y estudiado de un proceso de gran potencial pero de poco uso en el ámbito industrial, compararlo en calidad y en el ámbito económico con otros y su factibilidad de implementación en la industria.

CAPITULO II

PROCESOS DE FUNDICIÓN

II.1.- GENERALIDADES

Siempre que se realice una fundición en arena, se llevan a cabo diversos pasos que son generales para todos los procesos de fundición que caen en dicho marco; antes de describir estos pasos es necesario dar algunas definiciones con el objeto de facilitar la comprensión de los procesos.

Modelo.- Se le llama así a una pieza manufacturada la cual va a ser reproducida por el proceso de fundición en arena. Es muy importante saber que la calidad de la pieza fundida nunca será superior a la del modelo, por lo que si se requiere una pieza con gran tolerancia geométrica, el modelo debe realizarse con gran exactitud. los modelos pueden ser hechos de materiales muy diversos como son la madera, el metal, el plástico o resinas epóxicas, para modelos que tendrán que ser sacados del molde. Se tiene modelos de cera y de poliestireno expandido, los cuales son modelos que se “perderán” en alguna de las etapas del proceso de fundición, por lo que es necesario un modelo por cada pieza fundida terminada.

En los modelos se deben tomar en cuenta diversas tolerancias dimensionales como son un cierto ángulo de salida que nos permita retirar el modelo sin dañar las paredes del molde, una tolerancia para contrarrestar la contracción que sufrirá la pieza al pasar del estado líquido al estado sólido, en el caso del aluminio estas variaciones en la dimensión van de 1.05 a 0.7 cm/m (1/8 a 1/12 in/ft). En el caso de esquinas rectas, estas se distorsionan con el objeto de que al solidificarse la pieza, esta tenga la forma de una esquina recta.

Molde.- Se le llama así al sistema consistente en arena compactada con una cavidad, la cual tiene la forma del modelo, que va a ser llenada con el metal fundido y en la cual el metal se solidificará hasta tomar la forma de dicha cavidad.

Corazones.- También llamados machos, son piezas que se utilizan si se tiene la necesidad de piezas huecas, el modelo debe proporcionar un sustento para estos.

Los pasos que siguen los procesos de fundición son los siguientes:

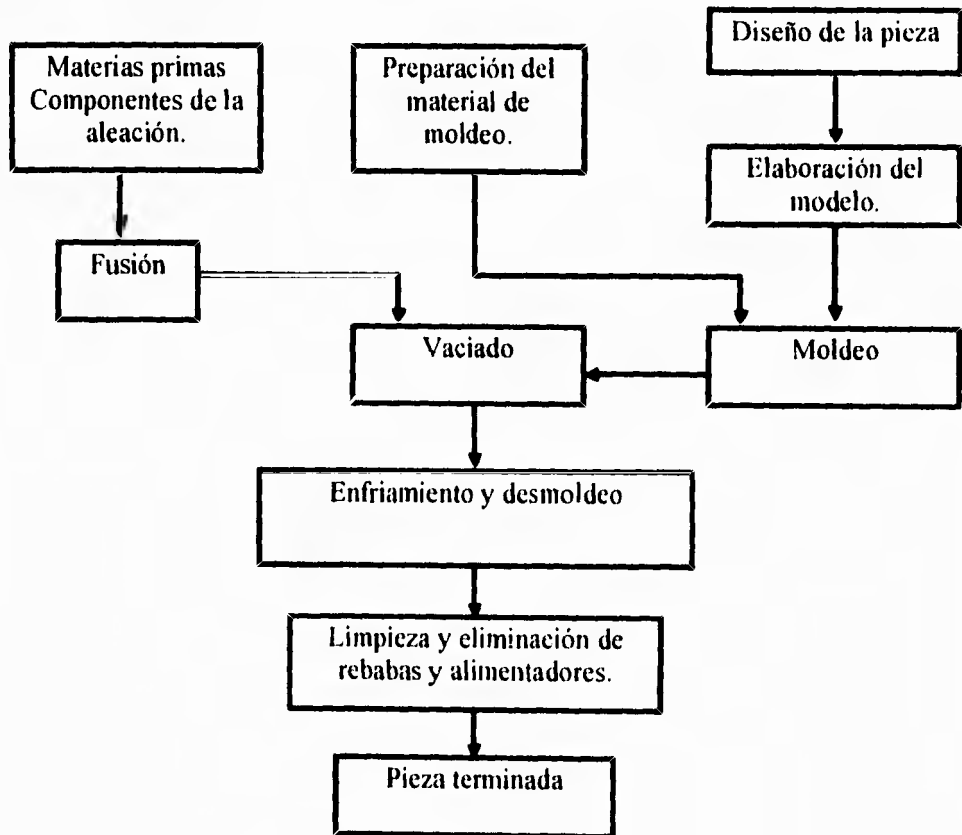
1.- Construcción de modelos.- Anteriormente se vio la necesidad de los modelos para producir los moldes, estos se forman comprimiendo arena de moldeo alrededor de los modelos. Generalmente, el molde se hace en dos partes, esto con el objeto de poder retirar el modelo. Estas dos partes son conocidas como el marco superior y el marco inferior. al retirarse el modelo, el marco superior se vuelve a colocar sobre el marco inferior dejando entre ellos la cavidad que será llenada por el metal.

2.- En caso de que la pieza a fundir sea hueca, se utilizan los machos, los cuales se colocan en la cavidad del molde y son los que conformaran el interior de las piezas.

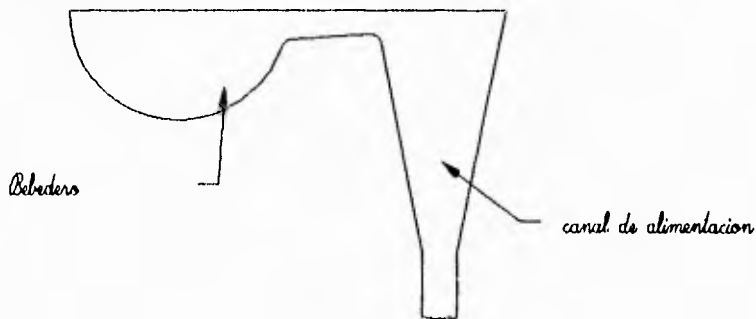
3.- La operación del moldeo consiste en preparar el molde que va a recibir el metal; apisonar la arena alrededor del modelo colocado en un soporte, sacar el modelo, colocar en su sitio los corazones, cortar los canales o conductos del sistema de alimentación por los cuales penetra el metal, si dicho sistema no se encuentra incluido en el modelo, sacar el modelo empleado para ello y finalmente cerrar el molde.

4.- La fusión del metal se realiza en distintos tipos de horno dependiendo del metal y de la cantidad que va a ser fundida, el vaciado del metal fundido en el molde se hace a una temperatura predeterminada con el fin de asegurar el correcto llenado del mismo.

5.- Una vez que la pieza se ha solidificado, se procede a romper el molde con el objeto de obtener la pieza, la limpieza de la pieza es la acción siguiente, las costras de arena quemada deben ser removidas y las mazarotas del sistema de alimentación deben ser cortadas. Después de esto sigue una inspección para ver si existen defectos, y una vez hecho esto, la pieza pasa a los procesos o trabajos complementarios. Lo anterior se puede englobar en el siguiente esquema:



Asimismo, existen varios factores más que se deben tomar en cuenta al diseñar un modelo: el sistema de alimentación debe ser diseñado de tal forma que cvite turbulencia en el flujo del metal, con el fin de eliminar burbujas y porosidades en la pieza fina, otra función es asegurar el flujo del material evitando que este se solidifique antes de llenar el molde. Un sistema de alimentación debe de tener varios elementos como son: el sistema de colada, canales de alimentación y distribución, bebederos, mazarotas. Un modelo de sistema de colada es el siguiente:



En el modelo anterior se tiene una visión general del sistema de colada, compuesto por una zona o vasija de vaciado en la cual es depositado el metal fundido, un bebedero (no mostrado) que dosifica el suministro de material a la cavidad del molde y un canal de alimentación, a través del cual el metal fundido llega a los canales de distribución y posteriormente a la cavidad del molde. .

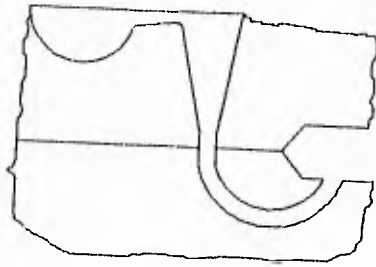
Todo lo anterior combinado debe de proporcionar un medio que reduzca la turbulencia en el flujo, evite la erosión en los conductos a causa de dicha turbulencia y finalmente, evitar la entrada de basura o escoria en la cavidad del molde de la pieza. El vaciado debe de asegurar el que los conductos se encuentren llenos todo el tiempo, así mismo los conductos deben tener cierta conicidad que promueva un gradiente de temperatura y actúe como deposito.

Las posibles variaciones que se pueden tener para el diseño de sistemas de colada , son varias, pero en un contexto general es posible clasificarlas en tres grandes grupos:

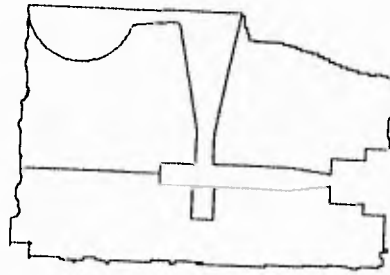
1.- Entradas en la línea de partición.- Se encuentran en la línea de partición de moldes partidos, por lo anterior son de fácil moldeo, pero pueden ser causantes de una erosión en el molde, afectando así a la pieza final.

2.- Entradas superiores.- La alimentación se hace sobre la parte superior de la pieza, esto favorece un adecuado gradiente de temperatura, pero incrementa la erosión en el molde.

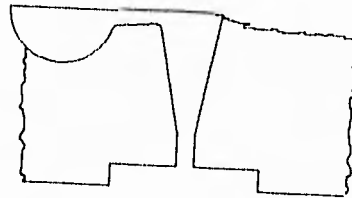
3.- Entradas inferiores.- Favorecen un flujo uniforme del material, reduce la erosión en el molde y corazones; pero se tiene un gradiente de temperatura desfavorable. Estas entradas pueden combinarse con rebosaderos, logrando así un mejor flujo del material. A continuación se presenta una figura mostrando los distintos tipos de entradas.



Alimentacion inferior



*Entrada en la linea de particion
con bebedero*



Alimentacion superior

Otro problema que se tiene es dar una vía de escape a los gases remanentes en el molde, los cuales van a ser desplazados por el material fundido. La disminución de esfuerzos remanentes en la pieza es lograda evitando cambios bruscos de sección, ya que esto provocará diferentes velocidades de enfriamiento entre una sección y otra pudiendo llegarse a dar el caso de que debido a los esfuerzos de tensión en la zona de unión, se tenga una fractura, debido a esto la pieza a fundir debe que ser cuidadosamente diseñada, en caso de que las piezas sean de pequeña sección transversal, el metal debe de encontrarse a mayor temperatura con el objeto de evitar su solidificación a mitad de las mismas. En el diseño del molde, es necesario que se planee un enfriamiento direccional desde el final del molde hasta el inicio de la alimentación y evitar grandes masas concentradas, las cuales podrían producir porosidades durante la contracción. Cuando por la naturaleza de las piezas, se tienen secciones de gran espesor, se utilizan los rebosaderos, estos no son sino cavidades verticales las cuales se encuentran sobre las secciones y cuyo propósito es servir de almacén para el metal fundido y alimentar las secciones según lo vayan requiriendo, disminuyendo de esta forma los rechupes y efectos de contracción.

II.2.- CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE FUNDICIÓN

Las fundiciones se suelen clasificar de acuerdo al material del que se encuentra hecho el molde, este material debe de ser capaz de soportar la alta temperatura del metal fundido, sin modificar substancialmente sus dimensiones, una vez que se ha solidificado la pieza es necesario que la mezcla de moldeo se pueda desprender con facilidad de esta, así como de las cajas de moldeo, en sí debe de cumplir con las siguientes propiedades:

Plasticidad.- Esto es que el material sea fácilmente conformable y que sea capaz de reproducir la geometría del modelo.

Resistencia mecánica.- Se encuentra dada por la capacidad de la mezcla para conservar la forma de la cavidad, se encuentra determinada por la cohesión de los granos que conforman la mezcla.

Poder refractario.- Es la capacidad del material que conforma la mezcla de moldeo, de soportar el contacto con el metal fundido sin llegar a ser sinterizado o quemado por este.

Permeabilidad.- Es la capacidad de la mezcla que permite que el aire contenido en la cavidad y los gases producidos durante el llenado, fluyan a través de la mezcla hacia el exterior.

Estabilidad química y física.- Se debe de asegurar que durante el vaciado, la mezcla no sufra transformaciones que afecten las dimensiones de la pieza, ni tampoco desprenda subproductos contaminantes o tóxicos.

Los moldes pueden ser metálicos (matrices o moldes permanentes), de arena sílica, de yeso, de cerámica, de hule (moldes semipermanentes) o de cualquier otro material que cumpla con las características descritas. El material más usual por cuestiones de costo es la arena, en algunos casos cuando se requiere de una mayor precisión, se emplean los yesos o arenas especiales para recubrir el modelo, y el resto de la caja se rellena con arena sílica normal. En general, la mezcla de moldeo esta compuesta por la arena, aglutinantes y materiales auxiliares.

Otra clasificación para las fundiciones consiste en el tipo de modelo que se usa: de esta forma las fundiciones se pueden clasificar como de modelo removible y de modelo desechable.

En el primer caso el modelo es de alguno de los materiales mencionados anteriormente, siendo su función la de dar su forma a la cavidad del molde, siendo retirados antes de el vaciado.

En el segundo caso, el modelo es de un material de baja densidad y bajo punto de fusión (cera o poliestireno expandido), este modelo se evapora al entrar en contacto con el metal fundido y escapa a través de la arena en forma de gases.

II.3.- DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE FUNDICIÓN:

II.3.1.- Moldeo con arena en verde

Este es el proceso más económico, aunque su precisión y acabado superficial no son tan buenos. Se le llama arena verde a la arena aglutinada con bentonita y mezclada apropiadamente con agua hasta conseguir consistencia sin calentamiento (en verde), esto es sin haberlo secado. La arena se compacta alrededor del modelo, el cual, se coloca sobre una tarima de apisonar y se rodea por el marco inferior. Compactada esta mitad, se le da vuelta y se coloca la mitad restante del modelo, a la vez se ensambla el marco superior, se pone la clavija de colada y demás elementos que conforman el sistema de alimentación. Antes de colocar la arena en el molde, se recubren las superficies con arena seca, para evitar así que se adhieran durante el compactado; es necesario que el modelo se recubra con separador (generalmente talco), se coloca entonces la arena y se procede al compactado, se debe tener cuidado de no golpear el modelo.

Una vez compactado el molde, se procede a retirar las clavijas de la colada y mazarotas, se separan los semimoldes y así, se retira el modelo, se abren coladas y se colocan los corazones en posición, en caso de que la pieza los requiera. Se continúa entonces cerrando el molde y colocando los seguros para evitar que la presión ejercida por el metal líquido separe los marcos, con el mismo fin se llegan a colocar contrapesos sobre la superficie del molde, y se procede al vaciado. Una vez que la pieza ha enfriado lo suficiente, se desbarata el molde y se recicla la arena.

El moldeo en verde se efectúa normalmente con máquina. El compactado de la arena se realiza por percusión prensado. Cuando han de fundirse grandes piezas, se forman los moldes directamente sobre el piso del taller de fundición o bien en fosos excavados en dicho piso que hacen las veces de las cajas.

Para la labor de compactado, se emplean lanzadoras de arena, que consisten en turbinas que proyectan la arena sobre el molde. El compactado del molde se hace generalmente con el auxilio de pisonetas neumáticas.

II.3.2.- Fundición en arena seca

Estos moldes se hacen con arena verde, pero se meten en un horno o estufa antes de usarlos. Generalmente se pintan sus superficies con un barniz refractario, antes de meterlos al horno, con objeto de impedir su erosión y para conseguir un mejor acabado o terminado superficial. Algo de estos mismos efectos se obtiene si se permite al molde secarse al aire, dejándolo abierto cierto tiempo antes de la colada, o si se le seca superficialmente con un soplete, lámparas infrarrojas o elementos calentadores que dirijan su calor a la cavidad del molde. A estos moldes se les puede añadir un aglutinante, hay que evitar que queden residuos de humedad que pudieran provocar turbulencias por los gases generados.

En este proceso es necesario a menudo el uso de corazones duros que le den forma a la pieza. Mediante este tipo de moldeo es posible la producción de piezas más complicadas y de paredes más delgadas que en el moldeo en verde, pero se encuentra limitado por el tamaño, ya que es impráctico trabajar con grandes cantidades de arena mezclada con aglutinante.

II.3.3.- Fundición en cascara

Este proceso es de los que presentan mejor acabado y precisión dimensional, también se le llama moldeo con arena curada. Consiste básicamente en formar una capa delgada y dura de una mezcla de arena y una resina plástica termofraguante, sobre la superficie de un modelo metálico.

La naturaleza del proceso se describe en las siguientes seis etapas:

1.- Se prepara una mezcla de arena y una resina de aldehído o fenólica, la cual será aplicada sobre un modelo metálico calentando a una temperatura de 150 a 230 °C (300 a 450° F). Se deja unos cuantos minutos para que la resina reaccione al calor y se cure, formando una capa parcialmente curada de aproximadamente 1/8 a 1/4” sobre la superficie del modelo.

2.- Posteriormente se separa la mezcla de arena y resina que no se endureció, quedando únicamente la capa de material adherido al modelo.

3.- El modelo cubierto por la capa semicurada se pasa entonces a un horno, donde la cascara formada quedara completamente fraguada.

4.- La cascara endurecida es separada del modelo.

5.- En estos momentos se tienen dos cáscaras que formarán el molde, estas son ensambladas mediante adhesivos o un medio mecánico de sujeción. Se colocan los corazones e insertos necesarios.

6.- El molde ensamblado es entonces colocado en un medio que funcione como soporte y le de consistencia durante el vaciado, generalmente arena verde. En este momento el molde se encuentra listo para ser usado.

El acabado de la pieza es mucho más terso que el acabado en moldes de arena ordinarios. El proceso es relativamente costoso, debido al tipo de resinas utilizadas y a que la arena y ninguno de los aditivos pueden ser recuperables, además el modelo metálico debe de contar con todo el sistema de alimentación y rebosaderos.

11.3.4.- Fundición por revestimiento (a la cera perdida)

Este método permite obtener piezas fundidas precisas, de aceros con alto contenido de aleación y de aleaciones no ferrosas, que no se pueden conseguir por forja y tienen dificultad para su maquinado. El procedimiento consiste en hacer una matriz metálica dentro de la cual se funden modelos de cera. Los modelos se montan sobre un bebedero y el conjunto se espolvorea, pinta con brocha o sumerge en una mezcla en que se cubren con una capa previa de grano muy fino y altamente refractario.

Alrededor de los modelos se pone un manguito metálico y se rellena con una mezcla de revestimiento que tenga el mismo coeficiente de dilatación que la capa previa. Luego se dejan reposar los moldes hasta que haya fraguado dicho revestimiento, después de lo cual se calientan en una estufa en posición invertida para que escurra la cera. Después de quitada la cera, se trasladan los moldes a un horno de precalentamiento y se cuecen. El metal es obligado a penetrar en los moldes bien sea por fuerza centrífuga o por la aplicación de presión de aire inmediatamente después de colarlo.

Todas las dimensiones se mantienen dentro de una tolerancia de ± 0.13 mm, con algunas dimensiones críticas dentro de ± 0.05 mm. La mayoría de las piezas fundidas por este procedimiento son pequeñas. El proceso es muy costoso sin embargo se justifica cuando las tolerancias dimensionales son muy rigurosas, cuando la pieza tiene una geometría muy complicada y cuando el material a fundir es muy difícil de ser maquinado.

II.3.5.- Proceso CO₂

En este proceso el compactado del molde se realiza en forma similar a lo descrito en moldeo en verde, pero la arena se usa aglutinada con silicato de sodio. Cuando el molde se encuentra terminado se hace pasar bióxido de carbono a través de la arena con el objeto de producir un molde muy duro, con las muchas ventajas de los moldes de arena seca, pero sin necesidad de horneado.

Con el objeto de disminuir costos, la arena con silicato de sodio se coloca solamente alrededor del modelo, el resto se rellena con arena verde normal.

El proceso ofrece una mayor precisión dimensional y acabado con respecto al moldeo en verde, su principal desventaja radica en el costo de las resinas y del reciclaje de la arena.

II.3.6.- Fundición en molde permanente

En este método, el metal líquido es vaciado a mano en moldes metálicos y en torno de núcleos metálicos sin presión externa. Las partes de los moldes se encuentran unidas con grapas en C o por un tornillo o un fijador atravesado.

Las operaciones individuales tales como el revestido del molde, la colocación de los corazones, el cerrado del molde, el vaciado, la apertura del molde y la extracción de la pieza fabricada se efectúan a medida que cada molde pasa por ciertos puntos. Los moldes son precalentados antes de vaciar la primera pieza. El procedimiento produce piezas fundidas que tienen una estructura densa, de grano fino, exenta de rechupes y sopladuras. Se consiguen mejores superficies y tolerancias más estrechas que con el método de fundición en arena.

Con el objeto de disminuir costos, la arena con silicato de sodio se coloca solamente alrededor del modelo, el resto se rellena con arena verde normal.

El proceso ofrece una mayor precisión dimensional y acabado con respecto al moldeo en verde, su principal desventaja radica en el costo de las resinas y del reciclaje de la arena.

11.3.6.- Fundición en molde permanente

En este método, el metal líquido es vaciado a mano en moldes metálicos y en torno de núcleos metálicos sin presión externa. Las partes de los moldes se encuentran unidas con grapas en C o por un tornillo o un fijador atravesado.

Las operaciones individuales tales como el revestido del molde, la colocación de los corazones, el cerrado del molde, el vaciado, la apertura del molde y la extracción de la pieza fabricada se efectúan a medida que cada molde pasa por ciertos puntos. Los moldes son precalentados antes de vaciar la primera pieza. El procedimiento produce piezas fundidas que tienen una estructura densa, de grano fino, exenta de rechupes y sopladuras. Se consiguen mejores superficies y tolerancias más estrechas que con el método de fundición en arena.

Este tipo de proceso se utiliza principalmente cuando se tienen grandes producciones que justifique el alto costo de la fabricación del molde generalmente de molibdeno sinterizado. Se suele utilizar con metales de bajo punto de fusión, también es posible vaciar hierros y aceros, pero la vida del molde se vera drásticamente disminuida.

Cuando se tienen lotes de producción de cerca de 500 piezas y el metal del que se van a hacer es un metal de bajo punto de fusión como aluminio; se hacen moldes de hule los cuales reciben el calificativo de semipermanentes.

Otros autores como por ejemplo Carl R. Loper, Jr. nos menciona que la fundición en molde semipermanente difiere de la de molde permanente en que se emplean núcleos de arena, en algunos lugares en vez de metálicos. Se pueden fundir los mismos metales por este método. Este procedimiento se usa cuando los huecos que han de formarse con los núcleos son tan irregulares, o tan rebajados, que los núcleos metálicos resultarían demasiado costosos o demasiado difíciles de manejar. La estructura del metal fundido en torno de los machos con núcleos de arena es semejante a la de la pieza fundida en arena.

II.3.7.- Fundición a presión

En este proceso se utiliza un molde metálico, y es usado cuando la geometría de las piezas es asimétrica y no permite hacerlas girar sobre su propio eje para utilizar el proceso de fundición centrífuga. Las cavidades del molde se disponen en torno a un bebedero común situado en el eje neutro del molde. Las máquinas constan de un recipiente que contiene el material fundido, un molde metálico o matriz y un dispositivo para trasladar el material del recipiente a la matriz, introduciéndolo a una cierta presión. Este dispositivo puede ser un émbolo en máquinas que fundan aleaciones de plomo, estaño y zinc que contengan aluminio. Las presiones en este proceso van desde 1 hasta 35 MPa.

CAPITULO III

EL PROCESO DE FUNDICIÓN A LA ESPUMA PERDIDA

III.1.- PRINCIPIOS DE FUNDICIÓN A LA ESPUMA PERDIDA.

El empleo de poliestireno expandido como material alterno para la producción de modelos de fundición no es reciente, ya que existen una gran cantidad de autores que lo mencionan como un proceso industrial ya en textos de los años 70's. Este proceso se había utilizado básicamente en la producción de piezas de grandes dimensiones y masas (mayores a una tonelada) en lotes unitarios. La principal ventaja obtenida al utilizar estos modelos gasificables durante el vaciado, esta dada por el notable ahorro obtenido en el costo del modelo, además de no requerir el empleo de corazones. En este proceso a diferencia del proceso de fundición a la cera perdida, el modelo nunca es sacado del molde, por lo cual es conocido como moldeo sin cavidad.

Este proceso se ha caracterizado por sus limitadas aplicaciones, además de que el aglomerado de la mezcla se efectúa por el proceso de CO_2 , lo cual limita el reciclamiento de las arenas, con los consiguientes problemas de polución y costo que esto implica.

Como una respuesta a los problemas descritos anteriormente y también debido a la necesidad de producir piezas fundidas de geometrías internas muy complejas, requeridas estas para los nuevos sistemas de inyección electrónica empleados en los motores de combustión interna, se desarrolla el método de colada evaporativa o fundición a la espuma perdida.

El proceso es conocido desde aproximadamente 30 años cuando en U.S.A. se emitió la primera patente. En los primeros años, el proceso causo cierto interés pero no fue sino hasta mediados de los 60's cuando se inicio una experimentación considerable en todo el mundo. A principios de los 80's se inicio la instalación de las primeras plantas de producción.

En 1988 se tenían cerca de 100 fundiciones alrededor del mundo haciendo y vendiendo piezas de fundición por medio del proceso de la espuma perdida. De estas fundiciones cerca del 40 % se encontraban haciendo piezas de aluminio, el resto se dedicaban a la fundición de piezas de metales ferrosos. La producción total se estima en 2,000 toneladas mensuales de aluminio y 4,000 toneladas mensuales de hierro.

Algunas de las empresas que actualmente emplean el proceso son por ejemplo:

Aluminio:

- Ford Essex (Canadá) múltiples de admisión.
- General Motors, Massena (USA) cabezas para cilindros.
- OMC (USA) componentes para motores marinos.
- Perry Barr Metal Co. (UK) múltiples de admisión.

Hierro:

- FIAT Teksid (Italia) Múltiples de escape.
- Passavant (Alemania) colectores de aceite.
- HNH Limeited (UK) componentes para válvulas.
- Auto Alloys (UK) piezas automotrices resistentes al desgaste.
- Dong Kuk (Corea) conexiones.
- Morikawa (Japón) Componentes automotrices.
- Robinson (USA) carcazas para motor.

Existen otras piezas que son de producción limitada o que se encuentran en un estado de desarrollo avanzado. Estos casos son los siguientes:

Monoblocks de hierro gris, después de varios años de desarrollo, Peugeot ha instalado una planta de producción, mientras que General Motors se encuentra ya en etapa de pruebas de una instalación similar.

Entre otras piezas producidas a la fecha por este método se encuentran:

Piezas resistentes al desgaste, componentes para granallado, pequeñas piezas de hierro maleable, discos de freno de hierro gris, calipers de hierro dúctil, bombas para agua de aluminio, soportes para motor de aluminio.

En Inglaterra se instalaron en 1988, 6 nuevas plantas piloto y en el resto de Europa se tuvo una actividad similar.

Este método se caracteriza por utilizar modelos de poliestireno expandido (unicel), un modelo es utilizado para cada pieza, los cuales son incinerados por el propio metal fundido al entrar en contacto con ellos. El proceso es sumamente sencillo ya que no se requiere ningún tipo de aglomerante para la arena, únicamente es necesario pintar la superficie del modelo con sustancias que eviten el sinterizado de la arena por el metal, el acabado de la pieza esta determinado por el acabado del modelo, este parámetro es controlable por medio de el tamaño de la perla utilizada durante la producción del modelo (espumado del poliestireno).

Únicamente es necesario hacer vibrar la arena para así conseguir la adecuada compactación de esta alrededor del modelo, lo que representa también un ahorro en espacio, tiempo y costo (inversión y operación).

Debido a que no existe ningún aglomerante, el reproceso de la arena se vuelve más sencillo, además de facilitar también la operación de desmoldeo.

III.2.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Como se vio anteriormente, el proceso de fundición a la espuma perdida es en principio relativamente sencillo, sin embargo, es de vital importancia cuidar varios parámetros del proceso para asegurar sus ventajas en calidad de acabado y demás ventajas inherentes al proceso.

Es claro que el proceso de fundición a la espuma perdida comienza con la correcta fabricación de los modelos de poliestireno expandido.

III.2.1.- Fabricación de modelos de poliestireno expandido

El uso del poliestireno expandido para la producción de modelos de fundición, obedece a diversas características del material, como son su densidad, bajo punto de fusión, resistencia y costo.

El material se encuentra constituido por un sistema celular de pequeñas esferas (perlas) expandidas y aglomeradas, las cuales al actuar como cámaras de aire independiente, lo convierten en un excelente aislante térmico y le provee de una gran capacidad para absorber impactos.

La baja densidad del poliestireno expandido es un factor que hay que controlar constantemente, ya que una mayor densidad provoca que el modelo sea más fácilmente manejable, más sin embargo también produce una mayor cantidad de gases durante el vaciado.

La composición del poliestireno expandido, a base de perlas expandidas, permite variar la calidad de la superficie del modelo. Una perla pequeña nos posibilitará a tener un mejor acabado y secciones transversales más pequeñas; pero aumenta la densidad del modelo, por lo que es necesario equilibrar el tamaño de la perla con la densidad óptima.

La producción del poliestireno expandido usa como materia prima el poliestireno expandible, el cual consiste en partículas de poliestireno conteniendo de 5 a 8 % de un líquido volátil que actúa como agente expansor, generalmente pentano.

El poliestireno expansible sufre un proceso de moldeo antes de llegar a ser una pieza de poliestireno expandido, el proceso consta de las cuatro etapas siguientes:

- 1.- Pre-expansión.
- 2.- Estabilización.
- 3.- Moldeo.
- 4.- Envejecimiento.

Es importante hacer notar que el tiempo de vida de la perla de poliestireno expansible es de dos meses, ya que después de este lapso de tiempo, el pentano de la perla se pierde, inhibiendo su expansión.

La pre-expansión de la perla se hace generalmente por vacío para la densidad que requerimos, la cual debe encontrarse entre 16 y 24 kg/m³. La pre-expansión se debe de continuar hasta que el tamaño de las perlas alcance unas 10 veces el tamaño original, después se dejan reposar en silos o mallas en los cuales se encuentra circulando libremente el aire durante una o dos horas, esto con el objeto de volatilizar el pentano remanente y así hacer factible el espumado.

El moldeo se hace en moldes de aluminio o zamak, con un ángulo de salida de ½ a 1°, el molde posee pequeñas ventanillas por las cuales se hará circular vapor de agua, el cual expandirá totalmente las perlas que hayan sido inyectadas en la cavidad, las perlas ocuparán los espacios vacíos y se fusionarán en una sola pieza.

Una vez hecho lo anterior, se procede a hacer circular agua para enfriar el modelo y extraerlo, el modelo así obtenido, contiene de 6 a 8 % de humedad interna, por lo que se deja secar a condiciones ambientales o en un horno a 60 °C para acelerar el proceso.

Los modelos obtenidos por este método sufren una contracción de aproximadamente 0.83 cm/m en un periodo de 30 días, teniendo el 75% de la contracción total durante los primeros 7 días.

Todo el proceso anterior se puede realizar en máquinas automáticas que ya existen en el mercado, estas máquinas están diseñadas para fabricar específicamente modelos para el proceso de fundición.

III.2.2.- Proceso de moldeo a la espuma perdida

Cuando las piezas a fundir son demasiado complicadas, la obtención de un modelo de una sola pieza resulta muy difícil, se procede a realizar el modelo a partir de partes modulares que se han de unir para formar así el modelo terminado. Generalmente, algunos elementos del sistema de alimentación son comunes a varias piezas producidas, en este caso su modelo se realiza en un molde aparte y se une posteriormente al resto del modelo. Esta característica de modularidad en los moldes, nos permite tener piezas de geometría más complicada sin incrementar mucho los costos.

Los adhesivos que se usen para pegar el material, no deben ser derivados de sustancias del tipo aromático (bencinas), ya que estas degradan la espuma de poliestireno. Normalmente se utilizan adhesivos en caliente o líquidos, los cuales deben de tener la característica de ser ligeros y con un muy bajo contenido de cenizas, ya que estas afectarían el acabado final.

En lo que respecta a ensambles que no requieren una precisión muy estricta y en los que una de las dos piezas a unir se puede deformar, es posible la unión, calentando una de las piezas contra una placa caliente y uniéndola inmediatamente con la otra.

Una vez que se tiene el modelo completo, se procede a recubrirlo con una pintura refractaria, el papel de esta es crucial para el proceso, ya que si se hiciera el vaciado con un modelo sin recubrir, la arena se quemaría y ocurriría una severa erosión particularmente cerca de los ataques, si no es que un total colapso del molde. Los gases producto de la vaporización del poliestireno escapan a través de la pintura hacia la arena. La velocidad con la que estos gases escapan, controlan la velocidad a la cual la pieza puede ser llenada.

Se han desarrollado pinturas especiales para el proceso, en las cuales la permeabilidad, refractabilidad y adhesión son controladas estrictamente. Las pinturas más comúnmente usadas son las de base agua. La aplicación se hace generalmente por inmersión y el secado se realiza por medio de aire a temperatura ambiente, aire caliente o en hornos a 60 °C. Cuando las piezas presentan una geometría muy compleja, también es posible el secado por medio de microondas.

Una vez que el modelo ha sido recubierto, se coloca en una caja de moldeo, generalmente rectangular de una sola pieza en donde es cubierto por arena seca a granel, a la vez que sufre una vibración provocada por una mesa vibradora.

Las cajas de moldeo están hechas de lamina de acero con refuerzos para prevenir la distorsión a causa de la vibración y del peso de la arena. La caja de moldeo debe de contar con algún sistema para la eliminación de gases, tales como respiraderos o ranuras a los lados de la caja, con una cubierta interior de malla metálica fina que impida que la arena se pierda, o la instalación de una bomba de vacío que se encuentre en la parte inferior de la caja al momento del vaciado.

La arena utilizada es generalmente arena sílica seca de 40 a 50 AFS, la cual es vaciada uniformemente alrededor del modelo y posteriormente vibrada la caja para compactarla y forzarla a fluir dentro de las cavidades del modelo.

La técnica de vibración es crítica dado que una vibración excesiva puede causar distorsión y en algunos casos la ruptura del modelo, mientras que si la compactación es incompleta, el metal puede penetrar en el modelo durante el vaciado.

A pesar de que existen en el mercado mesas vibratorias especiales capaces de producir una vibración controlada en los tres ejes, se ha visto que para la mayoría de las piezas fundidas, la vibración en un solo eje generada por dos motores vibratorios contrarrotatorios es suficiente para llenar aun el molde más complejo.

Es importante hacer notar que no es posible forzar a la arena a fluir hacia arriba por vibración, por lo que los moldes deben ser orientados de tal forma que las cavidades del molde sean llenadas en forma horizontal o hacia abajo.

La colada se puede realizar en una copa de vaciado, la cual es colocada en el bebedero del modelo de poliestireno, en el caso de piezas de aluminio se suele usar una copa permanente de acero. En el caso de metales con mayor punto de fusión, la copa de vaciado se encuentra hecha de material cerámico.

Una vez que el molde se encuentra compactado y con la copa de vaciado colocada, se transporta todo a una mesa de vaciado, la cual si el proceso lo requiere, contiene una bomba de vacío en la parte inferior para dar una correcta vía de escape a los gases.

Cuando el aluminio es vaciado en el molde, muy pocos gases aparecen y el vaciado se lleva a cabo en una forma suave y controlada. El metal fundido se vacía en la copa de alimentación, el modelo de poliestireno actúa como un colchón que libera el metal dentro del molde a una velocidad controlada por la permeabilidad de la pintura refractaria.

La temperatura de vaciado es mayor que para las piezas convencionales, debido a que se necesita una calor adicional para vaporizar el modelo de poliestireno. Algunas aleaciones de aluminio dan mejores resultados que otras, por ejemplo, aleaciones con alrededor del 6% de silicio (e.g. Al 319) dan menos defectos de fundición que las aleaciones más fluidas de alto silicio, lo anterior es una observación empírica. Es muy importante mantener una alimentación constante de metal.

Cuando lo que se vacía es hierro, debido a la alta temperatura y a la gran cantidad de calor inherente a esta, el poliestireno se vaporiza de forma más rápida que en el caso del aluminio, se producen grandes volúmenes de gas, especialmente cuando se utilizan modelos de sección grande. Cuando los gases escapan a través de la arena pueden causar movimiento o una fluidización parcial de la arena. Cuando esto sucede, el molde se puede colapsar por el movimiento de la arena ante una salida turbulenta de los gases producto del poliestireno y cualquier otro que se genere. En estos casos y con el objeto de disminuir riesgos de colapso es cuando se utiliza un sistema de vacío en la parte inferior de la caja de moldeo para dar una correcta salida a los gases. A pesar de que lo anterior aumenta los costos de la planta, varias empresas lo implementan cuando se vacían piezas de hierro con secciones de 20 mm o más.

En la fundición de hierro por este método se tiene la peculiaridad de que no es posible controlar el llenado del molde por medio del tamaño de los canales de alimentación, ya que los pequeños canales de alimentación que se necesitan para el control de flujo son demasiado frágiles para poder hacerse de poliestireno expandido. Como una consecuencia de lo anterior, los canales de ataque son generalmente grandes lo cual obliga que el hierro tenga que ser vaciado rápidamente con el objeto de mantener lleno el sistema de canales de alimentación.

En el momento que la pieza ha solidificado se vacía la caja sobre una rejilla de acero, donde la arena caerá y una vez enfriada podrá volver a ser utilizada. La pieza queda cubierta con la capa de pintura, estos residuos son removidos mediante un chorro de agua o un granallado. A causa de que la pieza obtenida es una reproducción exacta del modelo de poliestireno, se debe de tener un gran control en la calidad de estos, el pegado debe ser preciso, los modelos deben ser moldeados en forma correcta ya que de otra forma se reproducirán las marcas de las perlas de poliestireno. Si el modelo ha sido bien hecho y ensamblado, no hay necesidad de acabado o esmerilado aparte del necesario para cortar las alimentaciones.

III.3.- EVALUACIÓN DEL PROCESO

A pesar de que se conoce el proceso de fundición a la espuma perdida desde 1958 y que se han dado a conocer sus perspectivas y hay varias empresas dedicadas a él, el proceso no ha sido bien recibido por el general de la industria fundidora, debido a la renuencia y dificultad de implementar nuevas tecnologías y dispositivos para usarlo, en este punto quiero hacer mención de las ventajas y desventajas que presenta el proceso.

III.3.1.- VENTAJAS DEL PROCESO

El proceso de fundición a la espuma perdida difiere en sus características con el resto de los procesos de fundición, por lo que sus ventajas sobre los otros procesos son visibles en los productos y costos finales. Las ventajas del proceso de fundición a la espuma perdida son:

- Los costos del herramental se reducen ya que por las características del proceso los herramientas tienen una vida de 3 a 5 veces mayor que la de aquellos usados en la fundición por gravedad.
- El esmerilado de la pieza terminada se ve drásticamente reducido debido a que las rebabas son completamente eliminadas.

- A causa de la gran precisión dimensional del proceso, es posible vaciar piezas con perforaciones con lo cual una gran cantidad de maquinado puede ser eliminada.
- El peso de la pieza puede ser reducido debido a la mayor precisión dimensional, espesores de pared consistentes y la posibilidad de obtener todas las perforaciones de la pieza en el vaciado.
- Debido a que los moldes de poliestireno expandido pueden ser ensamblados con pegamento, se pueden hacer piezas muy complejas que no podrían hacerse por otro método.

Las áreas en las que los beneficios del proceso se hacen mas patentes son las siguientes:

Inversión.- El costo de una fundición por el proceso de la espuma perdida llega a ser entre un 50 y un 60% más barata que una equivalente de moldeo en verde.

Costos de limpieza.- Las piezas obtenidas por el proceso son muy limpias y solo necesitan un ligero granallado, o en algunos casos una ligera limpieza. El desgaste del herramental es prácticamente nulo y las piezas quedan libres de rebaba debido a la inexistencia de una línea de partición.

En el proceso de fundición a la espuma perdida los costos de limpieza son del 50% de aquellos requeridos para el moldeo en verde, con una reducción muy grande en los requerimientos de mano de obra.

Maquinado.- Debido a que las piezas hechas en este proceso están libres de rebabas y son dimensionalmente precisas se pueden obtener ahorros considerables en el maquinado.

Arena y aglutinantes.- Los ahorros que se obtienen con la arena se deben a que no hay arena que desechar y las adiciones de arena nueva al sistema son muy pequeñas. Los costos por aglutinantes son nulos.

Diseño de las piezas.- Es posible el vaciado de piezas que no podrían ser vaciadas por ningún otro método. La técnica de ensamblar moldes con pegamento permite hacer cavidades que serían imposibles por medio de corazones.

Productividad.- La disposición de los modelos dentro de la caja de moldeo permite una gran densidad de piezas obteniéndose así una mayor productividad de las instalaciones.

III.3.2.- DESVENTAJAS DEL PROCESO

La implementación del proceso en una línea productiva conlleva una reducción o eliminación de inversiones ya existentes. Uno de los mayores problemas para la adopción del proceso es que se tiene una muy reducida disponibilidad de tecnología y que los procesos no se encuentran bien definidos.

Los buenos resultados se obtienen de forma empírica después de varias pruebas, esto debido al escaso desarrollo teórico del proceso. El gran volumen de los gases de salida en el caso de fundiciones de hierro, puede ser causante de intoxicaciones, por lo que hay que dales una correcta salida y proteger a los trabajadores. La calidad de la pieza final se encuentra estrechamente ligada con la calidad del modelo, por lo que el ensamble en caso de modelos pegados debe ser realizado con sumo cuidado.

CAPITULO IV

APLICACIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN A LA ESPUMA PERDIDA A UN CASO PARTICULAR

IV.1.- VARIABLES DEL PROCESO DE FUNDICIÓN A LA ESPUMA PERDIDA.

El empleo de poliestireno expandido como materia prima para modelos da lugar a una gran diversidad de ventajas para la fundición de piezas, entre las varias ventajas que se obtienen están las siguientes:

- La posibilidad de fundir piezas con geometrías muy complicadas sin la necesidad de complejos sistemas de corazones.
- Se elimina la necesidad de hacer un estricto compactado de la arena ya que el modelo es el que soporta las cargas y esfuerzos propios del vaciado.
- Se facilita la elaboración de modelos de piezas complejas como son aquellas con cavidades en formas irregulares que de otra forma tendrían que ser maquinadas, ya que estos pueden ser fabricados en partes y posteriormente pegados.

•En general el área de alimentaciones es mayor ya que la pintura refractaria y el mismo modelo de poliestireno que actúa como “colchón” son los que regulan la velocidad de vaciado y no el área en los ataques.

Por otro lado se deben de tomar en cuenta dos factores muy importantes en el proceso, estos son: el pegado de los modelos y el pintado de los mismos.

Durante el proceso de fabricación de los modelos aparece la necesidad de efectuar la unión de las partes que lo componen, en piezas de geometría compleja el mismo modelo llega a estar constituido por dos o más partes, pero es en la unión del modelo de la pieza con el sistema de alimentación cuando se evidencia en mayor proporción esta necesidad.

El pegamento debe de asegurar una correcta unión entre las diversas partes del modelo, además debe de tener la característica de no dejar una gran cantidad de residuos sólidos e inconsumibles por el calor inherente al metal fundido, en algunas ocasiones a pesar de que no es recomendable se llega a usar el pegamento para rellenar ciertas partes del modelo que presenten huecos o que hayan sufrido algún daño durante el manejo de este.

Una vez que el modelo ha sido totalmente ensamblado y que el pegamento se encuentra seco, se procede al pintado del modelo y alimentaciones. Este se realiza generalmente por inmersión, aunque en algunos casos y siempre y cuando la naturaleza de la pintura lo permita también es posible hacer la aplicación por medio de pistola de aire en un proceso de aspersión e incluso con brocha.

La pintura a utilizar debe de poseer varias características, pero la más importante es una gran capacidad refractaria, esta capacidad se adquiere al usar pinturas con base circonio o base carbono por ejemplo, además la pintura debe de asegurar una adherencia consistente con la espuma de poliestireno expandido, es recomendable que las pinturas tengan como diluyente el agua ya que si se usaran pinturas con diluyentes aromáticos, surgiría el problema de una degradación química en el poliestireno expandido, otro punto importante en la pintura es la evolución de los gases generados por esta, esto es la cantidad de gases producidos por la pintura al ser quemada por el metal fundido esto se encuentra cuantificado en centímetros cúbicos por gramo de pintura a la temperatura (de vaciado) de referencia, generalmente es recomendable el uso de guantes de hule, mascarilla y lentes de seguridad durante el manejo de la pintura, el cual debe ser hecho preferentemente en lugares ventilados, lo anterior por obvias razones de seguridad.

La labor de la pintura refractaria es muy importante, ya que es esta la que regula la velocidad de llenado durante el momento de la colada. La velocidad con la que el metal fundido puede penetrar en el interior del modelo mientras lo vaporiza es determinada por la velocidad con la que los gases producto de este quemado puedan escapar a través de la arena hacia la atmósfera, es aquí donde entra en acción la pintura, ya que de no existir esta se tendría la presencia de varios problemas como son el hecho de que se generen corrientes de gases en el interior del modelo creando una turbulencia muy fuerte la cual provocaría que la pieza fundida tuviera un pésimo acabado, por otro lado ante la inexistencia de la pintura se podría presentar el colapso del molde durante el vaciado.

Es muy importante asegurar que la pintura cubra todo el modelo y las alimentaciones y que no queden huecos o pedazos sin pintar. El secado de la pintura se puede lograr por varias formas entre las que podemos citar el secado al aire libre, en hornos e incluso por microondas. Al secar la pintura, la capa que permanece sobre el modelo suele tener un espesor que se encuentra en el rango de 0.15 a 0.40 mm.

Una vez que el modelo se encuentra pintado y que la pintura ha secado se procede a la producción del molde, se coloca el modelo dentro de la caja de vaciado y se empieza a verter arena seca dentro de la caja mientras un sistema de vibración se encarga de ir realizando el compactado de esta, la arena va llenando las cavidades del molde por complejas que sean estas, con la única restricción de que no es posible hacer que la arena fluya hacia arriba para llenar cavidades. La arena a utilizar debe de encontrarse en el rango de 50 a 160 mallas AFS, con el objeto de asegurar un espacio suficiente entre los granos para que fluyan los gases hacia el exterior, por la misma razón es muy importante que la arena se encuentre seca y sin aglutinantes.

Una vez que el molde se encuentra terminado, se procede a realizar la colada, durante está el modelo de espuma de poliestireno expandido se empieza primero a quemar en la siguiente forma: las perlas expandidas que lo componen empiezan a reducir su tamaño contrayéndose y liberando el aire dentro de ellas, después el poliestireno empieza a fundirse y fluye por gravedad, finalmente este poliestireno fundido comienza a gasificarse y fluye a través de la pintura refractaria.

Al hacer la colada debe de intentarse que sea lo más uniformemente posible, con una caída continua de material procurando no hacerlo muy rápido con el objeto de evitar turbulencias en el flujo.

Ya que ha sido realizada la colada se espera a que el molde se enfríe y se lleva al sitio de desmoldeo en el cual solamente se pone de cabeza la caja para lograr la salida de arena y piezas fundidas, la arena se encuentra lista para volver a ser utilizada después de retirar los pedazos de pintura quemada que pudieran existir y permitir que se enfríe.

Por otro lado la pieza resultante termina con un muy buen acabado y solamente necesita que se le corten las alimentaciones, en ligero esmerilado y en algunos casos un maquinado menor. Es muy importante hacer notar que el vaciar con éxito una pieza por el método de fundición a la espuma perdida depende únicamente del correcto trabajo en todas sus etapas, ya que un error en cualquiera de ellas puede dar como resultado una pieza defectuosa, siempre hay que recordar que la calidad de la pieza final es la misma que la del modelo.

IV.2.- APLICACIÓN DEL PROCESO A UN CASO PARTICULAR

Con el objeto de lograr una mayor apreciación de las ventajas y alcances del proceso, se harán varios ensayos con modelos de diferentes características, entre las propiedades que se piensan estudiar se pueden citar la viabilidad de llenado de piezas de gran volumen, la factibilidad de fundir piezas cuya geometría implicaría el uso de complejos sistemas de corazones si el vaciado se hiciera por métodos tradicionales, el acabado de las piezas terminadas, etcétera.

Con el objeto de poder realizar un análisis objetivo del proceso, es necesario que las piezas que serán vaciadas durante las pruebas tengan diversas características las cuales resulten en un mejor estudio del proceso. Para comprobar la viabilidad de llenado del proceso se buscara una pieza cuya relación área - volumen sea alta, otra de los elementos de estudio será el correcto vaciado de piezas con huecos, cuando se presentan bruscos cambios de área, el metal fundido tiende a enfriarse, con lo cual se puede tener un incorrecto llenado de las piezas, lo anterior también será analizado. Es necesario probar que tanto afecta el pegamento en el caso de piezas compuestas.

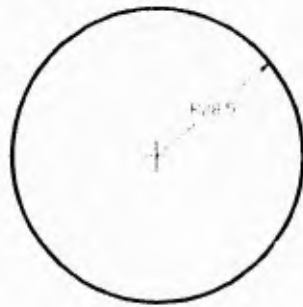
A causa de no contar con una máquina de modelos, los modelos a fundir durante la experimentación serán hechos a partir de piezas de poliestireno expandido de tipo comercial. Las piezas a realizar son las siguientes:

- Una esfera de 5.7 cm de diámetro, lo cual implica un volumen de 96.7 cm^3 , con esta pieza se pretende comprobar la capacidad de llenado del proceso así como el acabado final de la pieza (ver figura número 1).

- Esferas del mismo tamaño pero con orificios que evidencien la capacidad del proceso para lograr el vaciado de piezas con huecos sin la necesidad de corazones y como se pueden llegar a fundir piezas con huecos muy delgados lo cual genera que el maquinado posterior se vea simplificado (ver figura número 2).

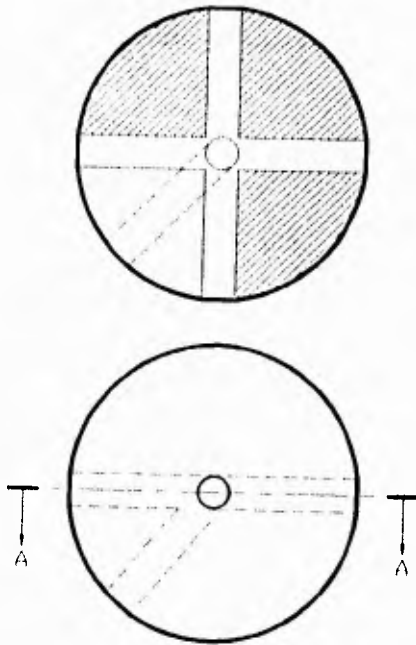
- Una media esfera hueca con unos orificios cerca de la base con el objeto de demostrar que el llenado del molde es completo a pesar de severas reducciones de área en el modelo, con esta pieza también se evidenciará como el molde de arena seca no se colapsa en situaciones de gran esfuerzo térmico (enfriamiento súbito debido al cambio de área) y mecánico (ver figura número 3).

•Una figura compuesta, esto es que tendrá la necesidad de un pegado entre las partes que componen al modelo, también presentará cambios de área y huecos a ser rellenos por la arena.



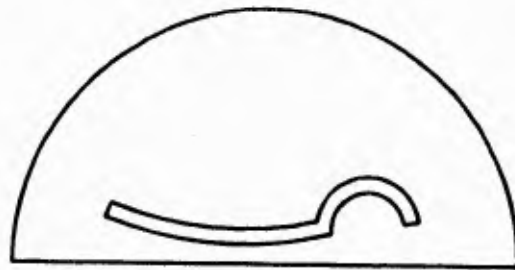
Esfera de unido
de 57 mm de diametro

F1	Modelo 1	Sergio Romero Hdez.		
		Tesis	ESC II	WDT ₁₀₀
		SEPT. 95	Fig. 1	



Esfera de unicel de 57 mm de diametro con 2 agujeros de 1/4 in atravesandola en cruz y otro que llega en diagonal desde el centro.

FI	Modelo 2	Sergio Romero Hdez.	
		Tesis	ESD: II ACDI: mm
		SEPT. 95	Fig. 2



Semiesfera hueca de 98 mm de diámetro exterior con un grosor de pared de 10 mm y una ranura no uniforme en uno de sus lados.

FI	Modelo 3	Sergio Romero Hdez.	
		Tesis	ESC: FI ACOT: mm
		SEPT. 95.	Fig. 3

IV.3.- ELEMENTOS PARA EL PROCESO.

Con el objeto de lograr una satisfactoria práctica del proceso es necesario contar con varios equipos y materiales para realizar las diversas etapas del proceso, de esta forma es necesario contar con una buena cantidad de pintura refractaria, un adecuado pegamento, arena seca de 50 a 160 malla AFS, una tina para el pintado por inmersión, una caja de moldeo con características que satisfagan la naturaleza del proceso, un vibrador para el llenado, un horno para fundir el material, así como los diversos herramientas para el vaciado como son tenazas, sacadores de escoria, etc.

En el laboratorio de fundición de la Facultad de Ingeniería se cuenta con arena sílica del orden de 160 AFS, así como con un horno de crisol con todos sus herramientas auxiliares, por lo cual estos no se volverán a ser mencionados en el presente trabajo.

El resto de los elementos no están disponibles en el laboratorio de fundición por lo cual se hará necesaria su adquisición o manufactura según sea el caso, para los equipos a fabricar se procederá a un proceso de diseño y manufactura, los elementos a adquirir se buscará que coincidan con las necesidades del proceso.

IV.4.- ADQUISICIÓN DE LOS ELEMENTOS FALTANTES PARA LA PRÁCTICA DEL PROCESO.

IV.4.1.- Pegamento.

El pegamento a utilizar debe de tener varias características como son: una baja cantidad de residuos sólidos remanentes después de que el metal fundido a llegado a él, una buena adherencia entre las distintas partes del modelo y no atacar químicamente al poliestireno expandido.

Se probó pegar los modelos con poliestireno fundido, pero la alta temperatura de este generaba una gran distorsión en los modelos, con el objeto de no generar distorsiones geométricas en los modelos se eliminó la posibilidad de usar adhesivos que se aplican en caliente, de esta forma se optó por probar pegamentos que se aplicarán a temperatura ambiente y secan al aire.

El pegamento comercial IRIS de la empresa Abaquins S.A de C.V con un costo de N\$15.00 el bote con 125 ml es un pegamento para unicel cuya base son resinas plásticas, que se vende en las tiendas dedicadas a trabajos artisticos y en grandes papelerías. Este es un adhesivo de contacto, el pegado se basa en adherencia por contacto, tiene un secado al aire y no ataca al poliestireno expandido, el secado es lento, pero al final de este, se obtiene una magnifica adherencia. Este pegamento es el que será utilizado durante los experimentos.

IV.4.2.- Pinturas.

Como ya ha sido explicado anteriormente, la pintura juega un papel muy importante en el proceso, por lo que buscando conseguir una que reuniera todas las características necesarias como son refractabilidad, buena adherencia al poliestireno expandido y una fácil aplicación, por lo anterior se procedió al análisis de alternativas comerciales dentro de lo que destacan los productos ofrecidos por FOSECO S.A de C.V. que es una de las industrias más avanzadas en el proceso de fundición a la espuma perdida, de datos proporcionados por la empresa se sabe la existencia de la pintura refractaria de la serie Stiomol la cual ha sido hecha especialmente para el proceso, pero no fue posible su adquisición por no encontrarse comercializada, por lo anterior, las investigaciones fueron centradas en dos diferentes pinturas refractarias de esta empresa las cuales son la Holcote 110B y la Rheotec 401.

La Holcote 110B es una pintura refractaria base agua cuyo principal elemento refractario es el silicato de circonio. Esta pintura ha sido diseñada para resistir la penetración del metal fundido en piezas de acero, se puede aplicar por brocha, aspersión o inmersión, después de diluirla a los grados Baume recomendados, para pintado por brocha se recomienda diluirla hasta que tenga entre 75-85 grados Baume, para un pintado por aspersión y un pintado por inmersión se recomienda diluirla hasta un rango entre 70-80 grados Baume, esta pintura se diluye con agua, y de fábrica tiene una densidad de al menos 110 grados Baume por lo que la proporción de dilución que se recomienda es de 7.5:1, el secado puede realizarse al ambiente, en horno o por microondas, la adherencia es consistente. Este recubrimiento tiene un costo de N\$9.00 por kilogramo y viene envasado en cubetas de plástico de 19 litros.

La Rheotec 401 es un recubrimiento refractario base agua cuyo principal elemento refractario es el silicato de aluminio, aunque también tiene carbono como lubricante. Ha sido diseñada para resistir la penetración del metal fundido en piezas de hierro, la aplicación es por medio de inmersión, una vez que ha sido diluida a los grados Baume recomendados, lo cual es de 26-36 grados Baume, esto se logra con una razón de dilución de 1:0.4, la pintura viene con una densidad de al menos 90 grados Baume, su adherencia es consistente, viene envasada en cubetas de plástico de 19 litros y tiene un costo de aproximadamente N\$7.00 por kilogramo.

Ambas pinturas se usaron para el pintado de los modelos por inmersión y se vio que la alta densidad de la Holcote 110B genera problemas ya que el modelo tiene que ser sometido a una gran presión para lograr su inmersión, además su alta viscosidad provocaba que la capa de pintura quedara desigual, la Rheotec 401 presento una mayor facilidad al momento de sumergir los modelos, aunque el modelo se siguió exponiendo a gran presión, su densidad más baja permite que la capa sea uniforme y consistente. Ambas pinturas fueron secadas al ambiente y con calor (50 a 60 grados Celsius), el secado al ambiente de ambas resulto muy lento (al menos 8 horas) pero al termino de este la capa de refractario quedaba bien adherida al modelo, durante el secado con calor se vio que la Holcote 110B se comportaba bien y no presentaba alteración alguna, en cambio la Rheotec 401 presentaba cuarteaduras al secarse expuesta a una fuente de calor, estas cuarteaduras se deben a que al evaporarse rápidamente el agua contenida en la pintura esta se ve sometida a esfuerzos internos que generan una contracción resultando en la fractura de la capa de pintura refractaria.

Después de la experimentación se decidirá cual es la mejor para el proyecto.

IV.4.3.- Modelos.

En este momento, la Facultad de Ingeniería no cuenta con una expansora de poliestireno para la fabricación de modelos, por lo que las piezas a fundir son hechas a partir de figuras comerciales de poliestireno, como pueden ser esferas, letras, números, cilindros y piezas de geometrías diversas que se adquieren en el mercado. Las alimentaciones son hechas cortando paralelepípedos de una placa comercial de unicel, la colada se puede hacer con una media esfera de unicel, todo lo anterior se une con el pegamento.

IV.4.4.- Vibrador.

Para el vibrado de la caja de moldeo se adquirió un vibrador neumático marca Best Inc. el cual se coloca en un costado de la caja de moldeo y se conecta al aire. La presión de trabajo puede ser en un rango de 30 a 90 psi (2.07 a 6.2 kPa).

IV.5.- FABRICACIÓN DE DISPOSITIVOS

IV.5.1.- Caja de moldeo.

La caja de moldeo represento un buen problema ya que debía de cumplir con varias características, que son:

- Tiene que resistir altas temperaturas por si llega a tener contacto con el material fundido.

- Debe de poseer un sistema que permita la salida de los gases producto del vaciado.
- Su resistencia mecánica debe ser alta ya que va a encontrarse sometida a varios movimientos y manejos bruscos.
- Debe de ser manejable con facilidad.
- Debe de ser capaz de acoplarse con el vibrador neumático Best Inc.
- Las piezas a fundir tendrán un tamaño contenido en un cubo de 200 mm por lado, más alimentaciones.

Tomando en cuenta estas necesidades y las características deseables como estética, y facilidad de reparación en caso de algún daño, se fabrico una caja con las siguientes características:

El material elegido para la caja fue lamina rolada en frio calibre 12 ya que de esta forma se tiene resistencia al calor y por el grueso de la lamina se obtiene una buena resistencia mecánica.

Las uniones de las distintas partes que componen la caja fueron soldadas por medio de arco eléctrico con corriente directa usando electrodos 6013 para garantizar la resistencia y duración del dispositivo. Una buena unión nos permite aumentar la resistencia mecánica de la caja asegurando así que no se dañara severamente a causa de caídas o golpes.

Con el objeto de dar una salida a los gases producto del vaciado y a causa de que se diseñó una caja para fundición de aluminio se le hicieron cuatro “ventanas” laterales de 100 x 50 mm, en estas ventanas se colocaron mallas metálicas del número 200 con el objeto de retener a la arena y al mismo tiempo permitir la salida de los gases, estas mallas fueron sujetadas con unos marcos de lamina cold roll calibre 12 de 20 mm de ancho y sujetadas por 4 tornillos comerciales de cabeza hexagonal de $\frac{1}{4}$ de pulgada. Lo anterior nos permite que si se llega a romper alguna de las mallas por un manejo inadecuado de la caja, estas pueden ser fácilmente reemplazadas con solo quitar los tornillos y poner el nuevo pedazo de malla.

Con el objeto de incrementar la manejabilidad de la caja se le pusieron dos agarraderas en los lados de la caja, y se vio que una sola persona puede llevarla ya que llena de arena tiene un peso aproximado de 35 kilogramos.

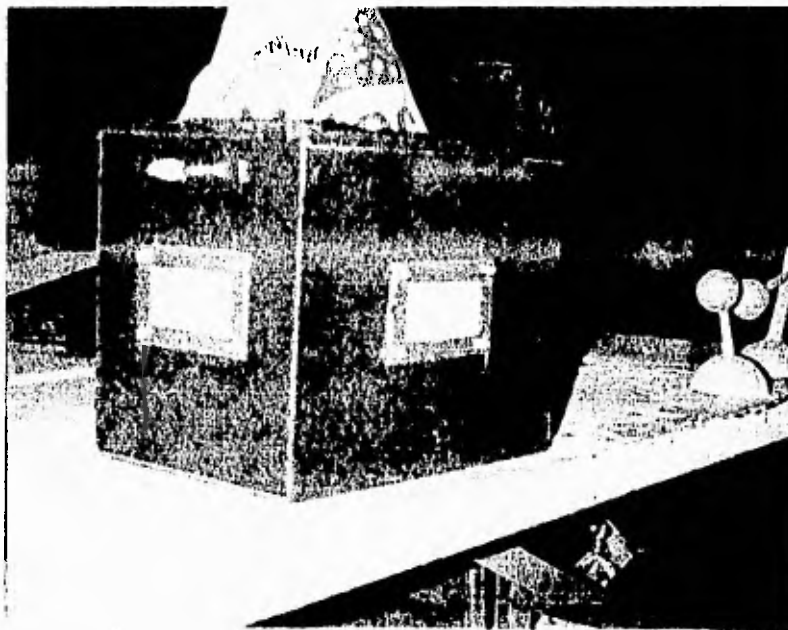
Las dimensiones de la caja fueron decididas en base a la medida máxima que podía tener una pieza fundida (un cubo de 200 mm por lado) tomando en cuenta además las diversas alimentaciones que necesitaría por lo que se determino que la caja de moldeo midiera 360 x 260 x 300 mm.

Para el acoplamiento del vibrador neumático Best Inc. se usaron dos pedazos de solera de 1 ½ x 1/8 pulgada de 15 cm de largo, en cada extremo poseen un agujero de ¼ de pulgada por los cuales pasan tornillos hexagonales de ¼ de pulgada, uno sujeta el vibrador con las soleras y el otro sujeta todo lo anterior con la caja que también posee un agujero de ¼ de pulgada en uno de sus costados. Los tornillos son sujetados con tuercas de seguridad para evitar que la vibración los afloje y asegurar que esta sea transmitida a la arena contenida en la caja. Este sistema nos permite poder colocar o retirar el vibrador con facilidad, evitando la pérdida de este costoso elemento.

Con el objeto de darle un aspecto estético y de proteger la lámina de la caja, esta fue pintada primero con primario preparakote de Dupont y posteriormente se le aplicaron dos capas de esmalte Centari de Dupont de color verde mate, con esto se logra una protección contra la formación de óxido a causa del ambiente así como un agradable aspecto.

Se ha procurado hacer uso de la mayor cantidad de piezas comerciales con el objeto de facilitar su reemplazo en el caso de una perdida sin implicar un gasto excesivo.

A continuación se presenta una foto de la caja terminada mientras que el plano de está puede verse en la figura 1



IV.5.2.- Tina de inmersión.

Para lograr un correcto pintado se hace necesaria la existencia de una tina que reúna las siguientes características:

- Debe de ser de un material resistente a la corrosión química que se puede dar a causa de la pintura.
- No debe de contaminar la pintura.
- Debe de ser capaz de contener y pintar piezas del máximo tamaño mencionado, incluyendo sus alimentaciones.
- Facilidad de manejo.

Tomando en cuenta las necesidades anteriores se diseñó una tina de inmersión que las satisficiera; la tina tiene las siguientes características:

Se decidió fabricarla en lamina de acero inoxidable calibre 16, ya que de esta forma se asegura su resistencia a la corrosión y a la vez se satisface la necesidad de mantener la pintura libre de cualquier contaminación producto de la tina.

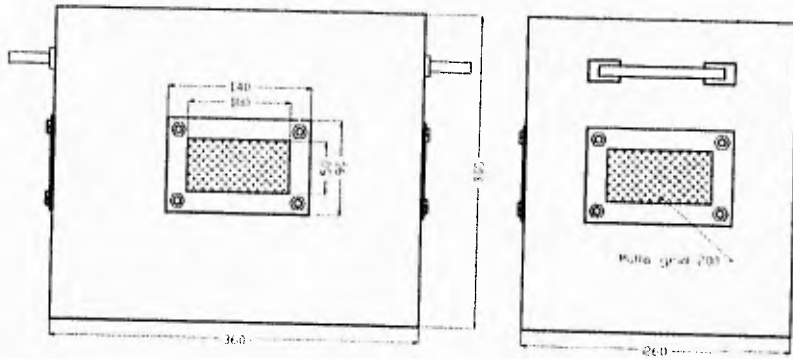
La unión de las distintas partes que la componen se realizo mediante soldadura eléctrica con electrodos especiales para acero inoxidable, teniendo especial cuidado en que por ninguno de los intersticios existentes entre las partes de la tina, exista algún agujero que resultaría en la perdida de pintura.

La tina posee unas laminas dobladas que actúan como asas en dos de sus extremos, con lo cual se logra una excelente manejabilidad de la tina de inmersión, aun llena de pintura.

Se ha comprobado su hermeticidad mediante un llenado con agua hasta su límite, sin presentar ninguna fuga.

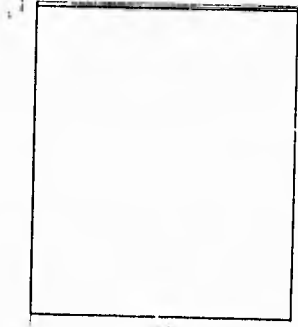
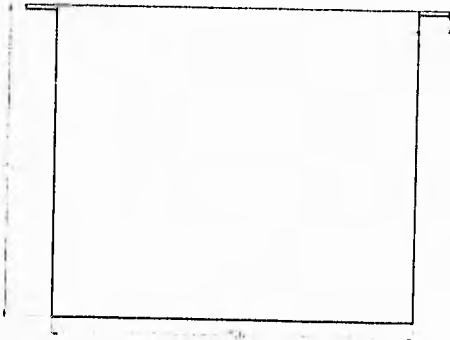
Las dimensiones de la tina de inmersión fueron determinadas a partir del tamaño máximo que puede tener un modelo con sus alimentaciones, por lo que son 350 x 250 x 300 mm.

El plano de esta tina de inmersión aparece en la figura 2.



Fabricado en lamina de acero rotada en frio
calibre 12

FI	Caja de moldeo	Sergio Romero Hdez.	
		Tesis	ESC-12 ALBT <small>INTM</small>
		SEPT. 95	Fig 1



Labels for the components are given in the
table below.

FI	Fig. 4 Group 104	Group 104 Table 1 FI 104
----	---------------------	--------------------------------

CAPITULO V

EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

V.1.- METODOLOGÍA EMPLEADA.

Primeramente se hicieron la modificaciones necesarias en los modelos comerciales para que representarán fielmente las ventajas del proceso. Estas modificaciones fueron principalmente el barrenado de algunas de las piezas. Después se procedió al pegado de los modelos con sus alimentaciones las cuales fueron hechas a partir de lamina de unigel de 10 mm de grosor, hecho esto se pego la alimentación a la colada que fue una media esfera de unigel.

Una vez que los modelos se encontraban completados y que el pegamento había secado, se prepararon las dos pinturas a prueba diluyéndolos hasta las densidades recomendadas, algunos modelos fueron pintados con Holcote 110B y otros con Rheotec 401, el pintado se realizo por inmersión en un recipiente distinto a la tina de inmersión a causa de no contar con suficiente pintura para usarla.

Una vez pintados algunos modelos se dejaron secando al ambiente mientras otros fueron secados con el auxilio de calor. El secado al ambiente fue muy lento pero uniforme mientras que el secado con calor fue mucho más rápido pero provoco que la capa de Rheotec 401 se cuarteara en algunas partes.

Una vez que había secado la pintura de los modelos se procedió a colocarlos en la caja de moldeo y rellenarla con arena sílica nueva que se encontraba en el laboratorio. El compactado de la arena se hizo a mano en los primeros vaciados por no contarse todavía con el vibrador Best Inc.

Una vez compactada la arena y finalizado el molde se procedió al vaciado, con el objeto de lograr un correcto vaciado, el aluminio fue sobrecalentado dejándolo por un espacio de 15 minutos en el horno después de que se había fundido.

Durante el vaciado se presentó el quemado de la media esfera que fungía como alimentación de la colada generando una flama sobre la caja, esta flama no presentaba ningún peligro ya que las personas encargadas del vaciado se encuentran retiradas sosteniendo el maneral de colado.

Una vez que las piezas han solidificado se traslada la caja hasta el lugar de desmoldeo, en este caso fue una de las mesas metálicas con las que cuenta el laboratorio de fundición, ahí se voltea la caja y caen la arena y las piezas ya fundidas, las cuales se pueden dejar enfriando al aire o meterse en una tina con agua.

Una vez que la arena ha sido enfriada, se repite el procedimiento con otros modelos.

V.2.- RESULTADOS OBTENIDOS

Las primeras piezas fundidas fueron dos esferas sólidas, cada una con su propio sistema de alimentación, una fue pintada con Holcote 110B y la otra con Rheotec 401 ambas presentaron un magnifico acabado superficial, con la excepción de algunas pequeñas burbujas en su superficie hay que hacer notar que a pesar de que se rompió una de las uniones entre esfera y canal de alimentación como resultado de un brusco manejo durante el moldeo, la pieza salió completa.

Después se hizo el vaciado de otras dos esferas sólidas, solo que en esta ocasión compartieron el mismo sistema de alimentación el cual fue en forma de cruceta con un rebosadero y alimentaciones laterales. Este modelo fue pintado con Rheotec 401 y secado al medio ambiente, las piezas fundidas resultantes presentan una fiel reproducción del modelo aunque poseen unas pequeñas protuberancias en su superficie, las alimentaciones también fueron fielmente reproducidas por el aluminio.

El siguiente modelo a fundir fue la media esfera hueca con un canal en uno de sus lados. La pintura utilizada fue Rheotec 401 secada con calor. La alimentación fue superior y la pieza terminada presenta varias burbujas en su superficie incluyendo una de considerable tamaño. El canal fue reproducido con mucha fidelidad y el interior presenta una superficie rugosa producto de un mal llenado, en la superficie interior también se tiene la presencia de burbujas. En esta pieza es visible como la calidad del modelo es la principal afectante de la calidad de la pieza terminada, ya que en algunas zonas la expansión de la perla no fue completa y esto se vio reflejado en la pieza fundida final.

La siguiente pieza fue una esfera con varios orificios de $\frac{1}{4}$ de pulgada y algunos de $\frac{5}{32}$ de pulgada. Se utilizó pintura Rheotec 401 secada al calor. En esta pieza se aprecia la necesidad del vibrador para lograr un correcto compactado y llenado de las cavidades, el agujero de $\frac{1}{4}$ resultó bien vaciado mientras que los de $\frac{5}{32}$ no fueron bien rellenados por la arena por lo que el molde se colapso en estos sitios provocando que el aluminio también llegara al interior de dichas cavidades. Este modelo se había quemado parcialmente durante el secado en uno de sus lados, por lo que se presentan unas superficies irregulares de pequeñas perlas en una parte de la superficie.

El último vaciado fue de dos piezas distintas con sistemas de alimentación independientes. Una fue una esfera con dos agujeros de $\frac{1}{4}$ de pulgada en forma de cruz que la atravesaban diametralmente y un agujero también de $\frac{1}{4}$ que llegaba diagonalmente desde la parte baja del modelo en forma radial. Este modelo se pintó con Rheotec 401 secado con calor. El llenado de las cavidades no fue el óptimo, por lo cual el aluminio penetró parcialmente en estas, el modelo presenta una burbuja de respetables dimensiones en su superficie, así como una cuarteadura entre las entradas de los barrenos.

El otro modelo colado fue una letra "P" la cual presentaba varios cambios de área y un orificio al centro. El modelo fue pintado con Holcote 110B y secado con calor, la pintura resistió sin cuartearse, pero su manejo fue muy complicado debido a su alta densidad. En este modelo se usó el pegamento para rellenar un hueco en el modelo original, el acabado superficial de la pieza terminada es muy bueno y la interfase de pegamento fue bien reproducida sin causar problemas.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Haciendo un análisis objetivo de los resultados obtenidos y analizándolos uno a uno vemos que:

El pegamento elegido no presenta interferencia con el acabado final de las piezas fundidas y que la cantidad de residuos sólidos que contenga no es redundante en el proceso, ya que incluso se uso como relleno y la pieza salió muy satisfactoriamente. (ver fotografías 1,2 y 3)

La pintura recomendada es la Rheotec 401 ya que su facilidad de aplicación y gran capacidad refractaria permiten un buen vaciado y redundan en un magnifico acabado superficial. Es muy importante que no queden el modelo huecos de pintura, los cuales se pueden provocar por manipularlos mientras la pintura no se ha secado. La pintura refractaria Holcote 110B presenta una mayor capacidad refractaria pero su secado es más lento y al pintar los modelos, estos se rompen muchas veces al quedar atrapados dentro de la pintura. Se recomienda que el secado se realice al medio ambiente, con el objeto de asegurar la uniformidad de este así como su completo secado dejándolo al menos un día.(ver fotografía 4)

Las burbujas presentes en algunas de las piezas terminadas pueden tener varios orígenes, una causa puede ser el hecho de que la arena no se haya encontrado completamente seca, un exceso de pintura refractaria en esa zona producto de un mal secado, lo cual retardo la salida de los gases en esa zona provocando la burbuja otra posible causa radica en el hecho de que la pintura no se encontrara completamente seca en esa área.(ver fotografías 5,6,7,8 y 9)

Las pequeñas protuberancias presentes en las esferas de la cruzeta son el resultado de una capa insuficiente de pintura, esta fue generada al manipular el modelo con la pintura sin secar completamente, la pintura queda pegada en los dedos y el modelo no puede ser reproducido fielmente.(ver fotografías 10,11 y 12)

La media esfera se considera un éxito, ya que a pesar de que presenta varios cambios de área y una superficie irregular, se obtuvo un buen vaciado y la reproducción del canal fue magnífica evidenciando así una de las mayores ventajas del proceso, la nula necesidad de corazones aún para huecos complejos. (ver fotografía 13).

Las piezas sólidas muestran que el proceso es capaz de llenar grandes volúmenes conservando una gran reproducibilidad y un magnifico acabado superficial. (ver fotografías 14,15 y 16).

Las burbujas que aparecen en la esfera de varios orificios son resultado de la distorsión del modelo, el cual se empezó a quemar formando pequeñas perlas, estas perlas son parte del proceso de quemado del poliestireno, se concluye que la distorsión del modelo se dio durante el proceso de secado de la pintura, al resultar este último demasiado severo. (ver fotografías 17,18,19 y 20).

Se llega a la conclusión de que la cuarteadura existente en la esfera con agujeros en cruz es producto del choque térmico al ser enfriada por inmersión en agua fría, este choque genera una repentina contracción del material lo cual acarrea esfuerzos internos que resultan en la falla de la pieza (ver fotografías 21,22 y 23).

Se recomienda el uso de aleaciones con un alto grado de fluidez como es por ejemplo el aluminio 319.

Como se ha visto el desarrollo de una práctica para los estudiantes en la cual empleen el método de fundición a la espuma perdida es muy viable y con el presente trabajo se dejan los elementos y equipos mínimos indispensables para realizarla. Se recomienda que la práctica se realice en dos sesiones, en la primera se daría una teoría acerca del proceso y su comparación con otros métodos de fundición para posteriormente pasar a la manufactura y pintado de los modelos, dejándolos secar, en la siguiente sesión se construirían los moldes para posteriormente realizar los vaciados.

Es recomendable que un mismo grupo haga varios modelos con diferentes características y errores provocados como son falta o exceso de pintura, mal pegado, modelos mal diseñados, etc. Todo lo anterior con fines didácticos. En el apéndice I se puede ver la propuesta de práctica estructurada que propongo.

El proceso de fundición a la espuma perdida todavía se encuentra en desarrollo pero después del presente trabajo estoy convencido que es aplicable a la industria, sus grandiosas características de magnífico acabado superficial, los ahorros que se tienen en arenas, aglutinantes corazonos, etc, son buenas razones para usarlo; por otro lado el desconocimiento del proceso, la gran cantidad de variables que intervienen y la falta de tecnología disponible son las causas de que aun no haya entrado en la industria con fuerza.

Como el principal inconveniente para la implementación del proceso es la elaboración de modelos, se propone la compra de una maquina pre-expansora profesional como las distribuidas por KG systems, combinada con una moldeadora de la misma marca. En caso de que el precio de estos equipos sea restrictivo, existe la posibilidad de habilitar a un equipo de estudiantes de la Facultad para que basados en estas máquinas desarrollen las suyas propias.

La aceptación del proceso implica una aventura ya que no se tienen técnicas bien definidas y los buenos resultados son producto de un estudio empírico. Con la presente tesis queda abierto el camino para adentrarse más en el estudio teórico y práctico del proceso de fundición a la espuma perdida.

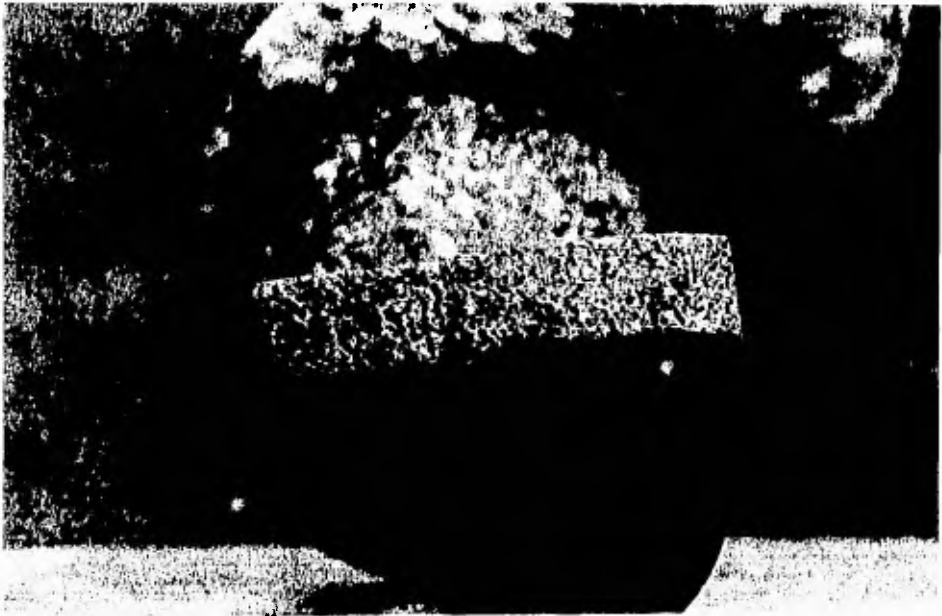
Finalmente se ha visto que el éxito al aplicar el proceso de fundición a la espuma perdida depende del correcto cuidado de todas las variables del proceso, ya que alguna falla en cualquiera de ellas seguramente conllevará a un mal vaciado. El proceso puede ser uno de los mejores para la fundición industrial, por lo que es importante seguir desarrollándolo y compartir los resultados, ya que desde mi punto de vista, la poca tecnología existente es producto de la falta de comunicación.



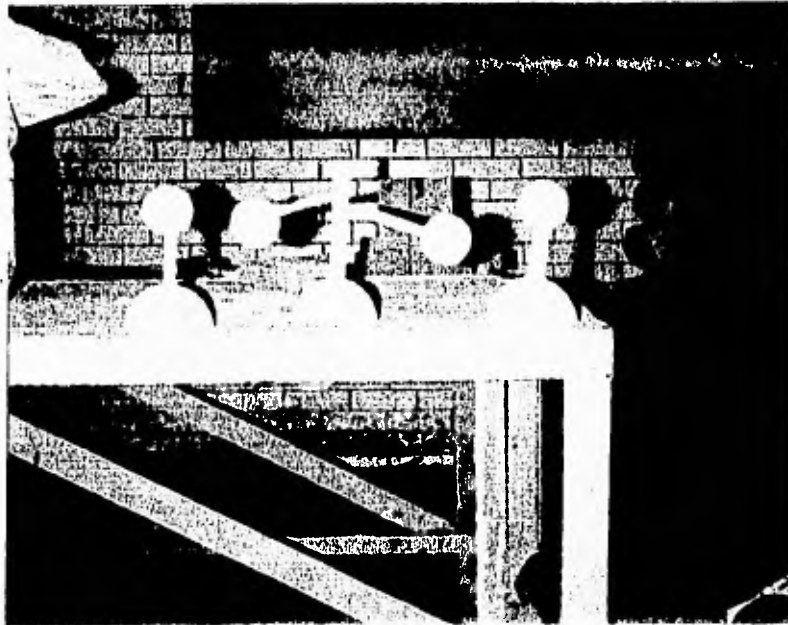
1



2



3



4

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA 79



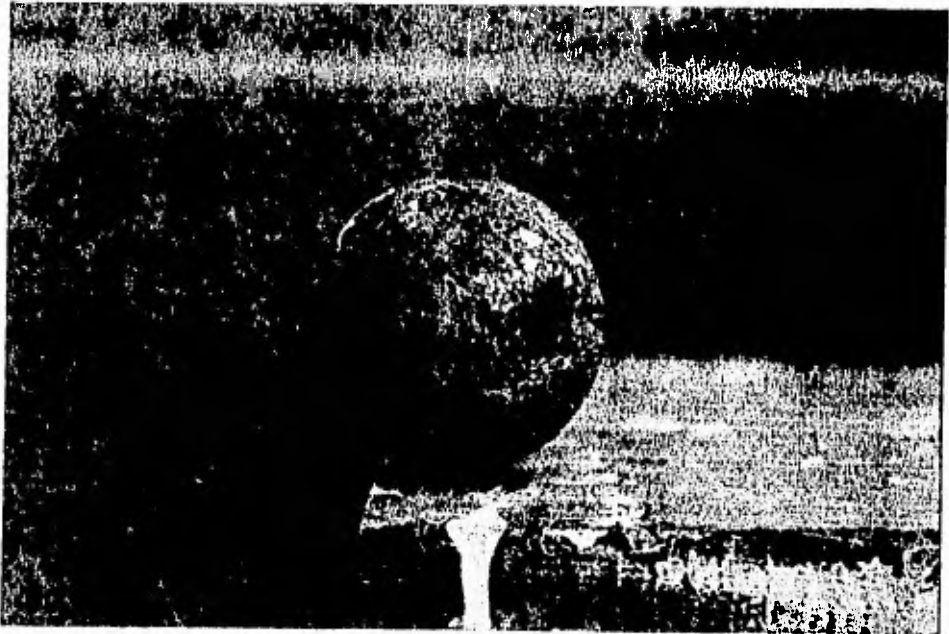
5



6



7



8



9



10



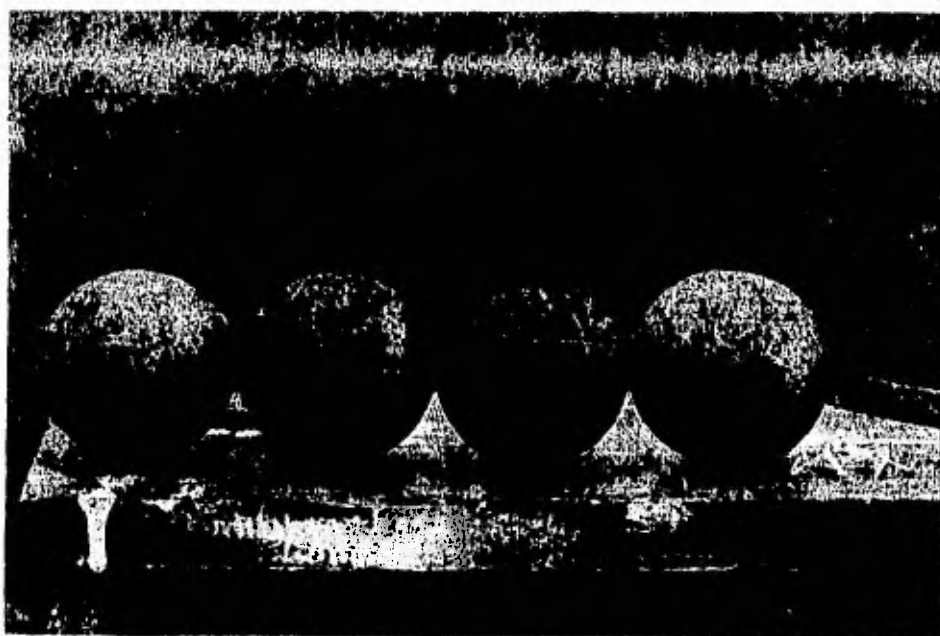
11



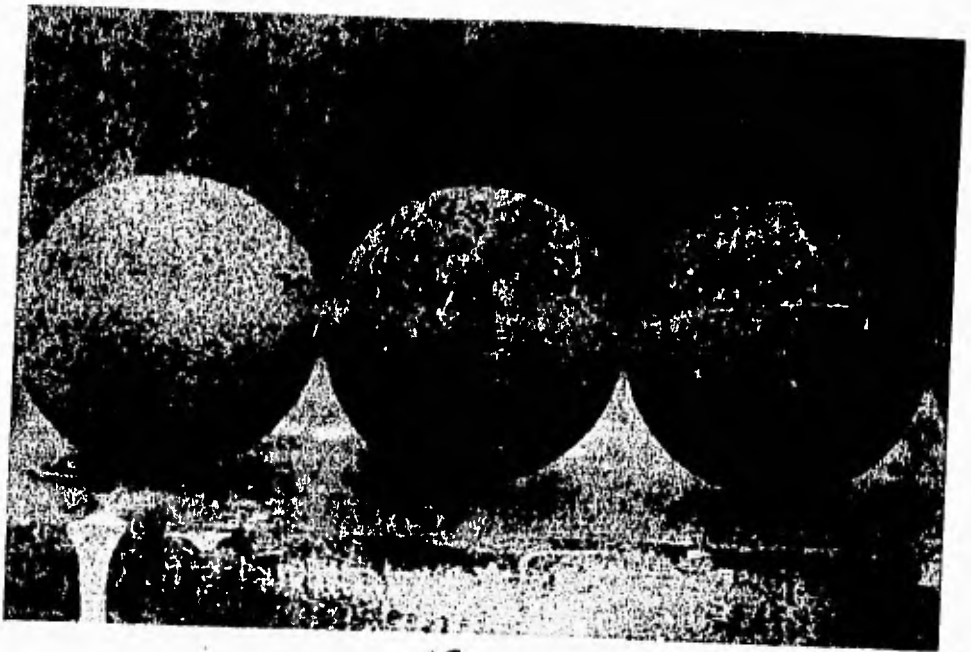
12



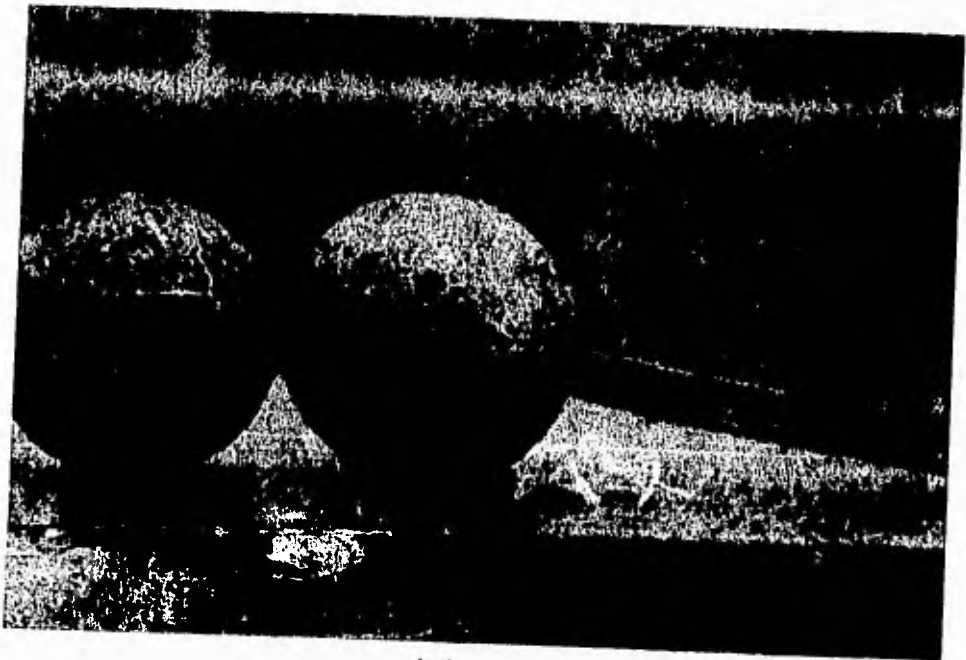
13



14



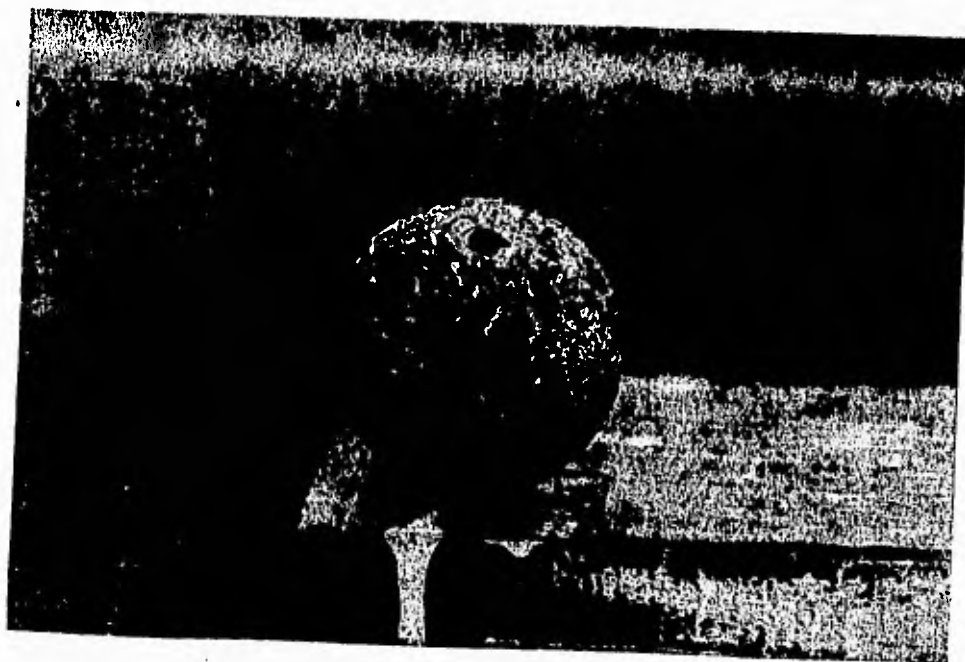
15



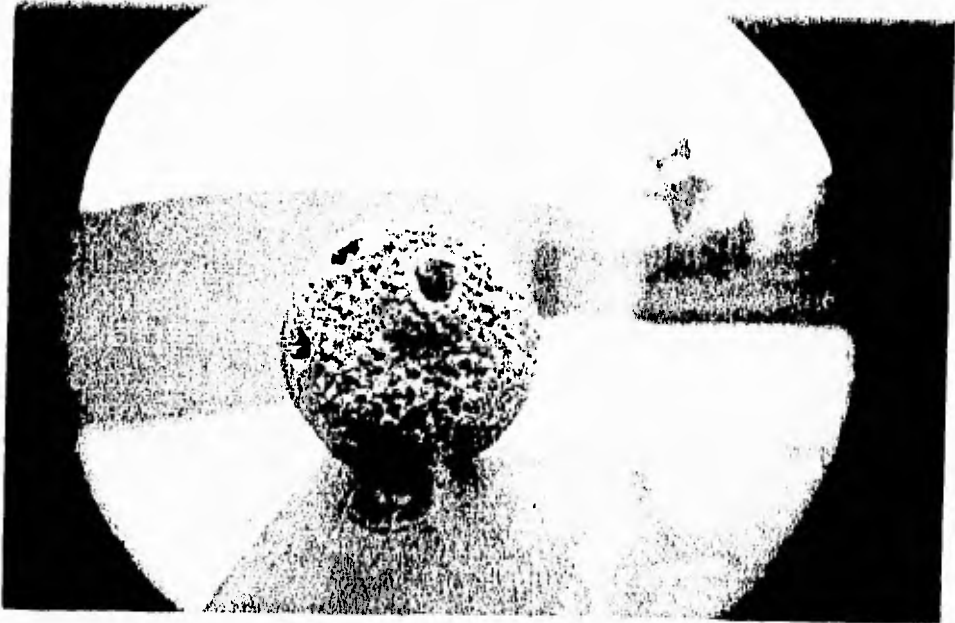
16



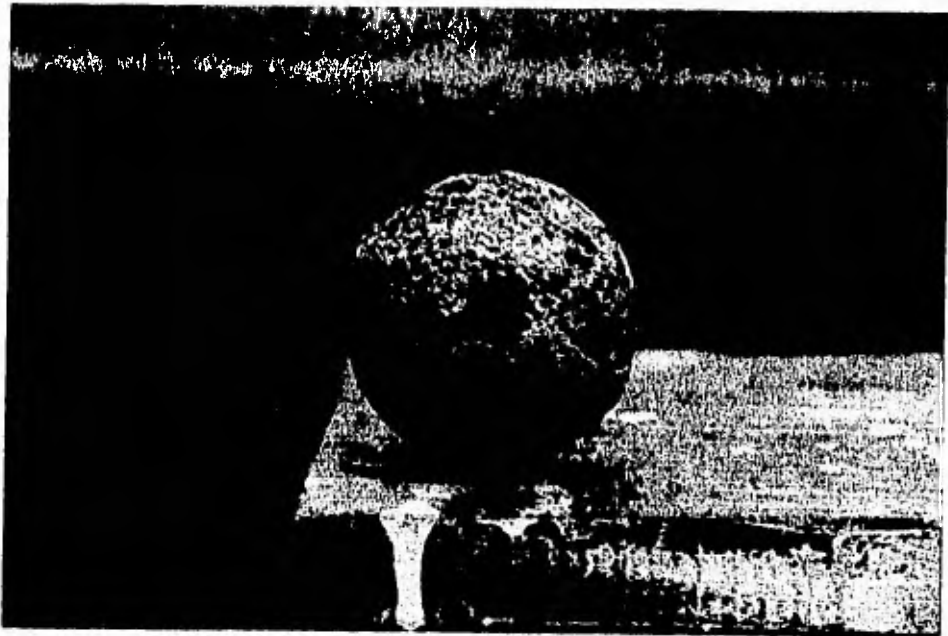
17



18



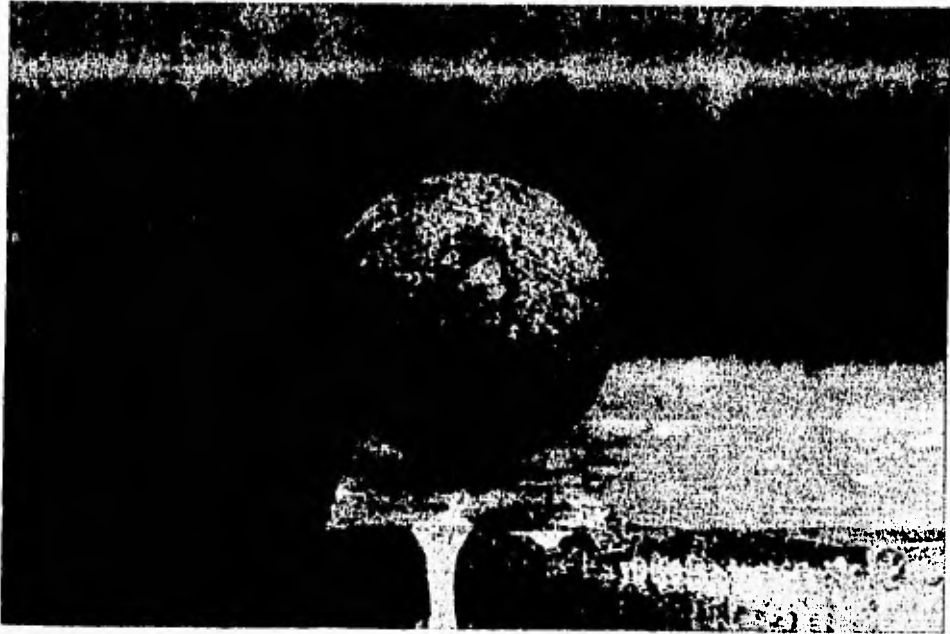
19



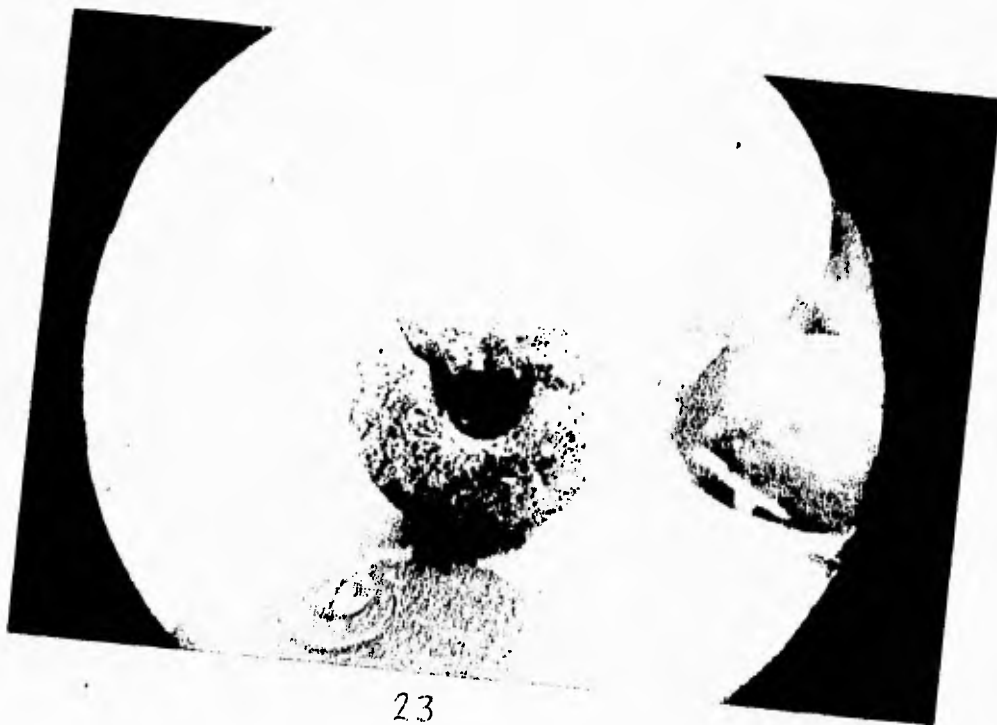
20



21



22



23

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

BIBLIOGRAFÍA

- Theodore Baumeister, Eugene A. Avallone, Theodore Baumeister III. MARKS Manual del Ingeniero Mecánico. octava edición, volumen 1, editorial Mc. Graw Hill. 1990. México.
- José L. Cevallos. Proceso de molde evaporativo. Reporte interno de FOSECO S.A. de C.V. Febrero 13 de 1989.
- Ricardo Moreno Ríos, Sergio Romero Hernández, Jorge Ruiz Chávez, René Santa Rita Ortiz. Fluabilidad del aluminio 319, reporte de trabajo de la asignatura Procesos de Conformado de Materiales. 1994 , México.
- José Felipe Ayala Chávez. Estudio para la implementación de un proceso de fabricación alterno por colada evaporativa para el cuerpo de la granada de 120 mm en el taller de fundición de la fábrica de proyectiles y morteros. Tesis profesional. Escuela Militar de Ingenieros. 1990 , México.
- Armando Ortiz Prado. Apuntes de la asignatura Procesos de Conformado de Materiales. UNAM Facultad de Ingeniería.
- EPS en la Industria. Reporte Técnico. México.

- Robert C. Rodgers. Robinson Foundry Automates Lost Foam Iron Casting. artículo publicado en la revista Foundry management & technology. Penton Publication. Abril 1988. USA.
- Peter G. Kohler. Lost foam process offers jobbing opportunity. Foundry management & technology. Penton Publication. Octubre 1984. USA.
- Murray Patz. Unique casting applications with foam patterns. Modern Casting. Octubre 1989. USA.
- Hojas técnicas de FOSECO S.A. de C.V., KG Systems y EPS.

APÉNDICE 1

PRÁCTICA DE FUNDICIÓN A LA ESPUMA PERDIDA

OBJETIVO GENERAL:

Conocer y analizar el proceso de fundición a la espuma perdida y compararlo con los procesos de moldeo tradicionales.

INVESTIGACIÓN PREVIA:

El estudiante deberá investigar los siguientes temas, abarcándolos en una forma amplia y precisa.

- ¿Cómo se hace la expansión de la espuma de poliestireno?
- ¿Qué son las pinturas refractarias, para que sirven y de que están hechas?
- ¿Cómo se hacen los corazones y cuales son sus restricciones en los procesos de moldeo?

SESIÓN 1

OBJETIVO PARTICULAR:

Realizar la fabricación de modelos de espuma de poliestireno, así como su pegado y correcto secado.

INTRODUCCIÓN:

A pesar de que el proceso de fundición a la espuma perdida fue patentado desde 1958 en los Estados Unidos, su desarrollo ha sido muy irregular y hoy en día no se aprovecha en toda su capacidad por la industria fundidora. El proceso consiste básicamente en el vaciado del metal fundido sobre un modelo de espuma de poliestireno expandido, el metal fundido provoca la evaporación del poliestireno el cual escapa en forma de gases a través de la arena. El metal toma la forma de la cavidad dejada por el poliestireno y empieza a solidificar.

Este proceso presenta varias ventajas contra los métodos tradicionales de fundición, entre las cuales se pueden citar un mejor acabado superficial, una reducción en los costos por herramental, una menor necesidad de maquinados posteriores, un uso más eficiente de la arena. Por otro lado el proceso presenta algunas desventajas como son: una falta de tecnología publicada, la inexistencia de técnicas y metodologías probadas, por lo que los buenos resultados se obtienen en forma empírica.

La fabricación de los modelos de poliestireno es una de las partes más importantes del proceso, ya que la calidad de la pieza terminada nunca será mejor a la calidad del modelo que se funde. El pegado de las diferentes partes que componen el modelo es muy importante, ya que su correcta unión resultará en un modelo bien hecho. Una vez que los modelos han sido pegados, se procede al pintado, el cual se hace con una pintura refractaria de base agua y que tiene como elemento refractario el silicato de aluminio, el pintado se realiza por inmersión, y es muy importante que una vez que el modelo se encuentra pintado, no se toque con los dedos, ya que se alteraría la capa de pintura. Para el secado de los modelos, existen entre otras posibilidades: el secado al medio ambiente, el secado por medio de una fuente de calor a una temperatura de 50 grados Celsius y un secado por microondas.

MATERIAL:

- Modelos de poliestireno expandido.
- Placa de poliestireno expandido de 1 cm de grosor.
- Pegamento para poliestireno.
- Pintura refractaria Rheotec 401.
- Segueta.

- Cortador de alambre caliente (en caso de estar disponible)

- Tina de inmersión.

DESARROLLO:

Se procederá al ensamblado de los modelos por medio del pegamento, las alimentaciones serán hechas a partir de placas de espuma de poliestireno expandido de 1 cm de grosor.

Los modelos deberán reflejar diferentes características como son la capacidad de llenado, la interferencia del pegamento en las interfaces, la importancia de una correcta aplicación de la pintura refractaria, la última característica se demostrará pintando muy ligeramente un modelo, pintando bien otro y pintando en exceso uno más.

Cuando se ha logrado el ensamble de los modelos, se procede al pintado por inmersión con la ayuda de la tina de inmersión. Una vez hecho esto, se dejan los modelos secando al aire durante al menos un día.

SESIÓN 2

OBJETIVO PARTICULAR:

El estudiante realizará el moldeo y vaciado de sus modelos, para después hacer un análisis del proceso y compararlo con otros.

INTRODUCCIÓN:

El proceso de moldeo es una de las partes fundamentales del proceso, ya que un moldeo incorrecto puede resultar en la ruptura del modelo o por el otro lado en un compactado deficiente de la arena. El compactado de la arena se hace por medio de vibración proporcionada por un vibrador neumático, la arena se vierte seca y sin aglutinantes de ningún tipo. Una vez que las piezas han solidificado, se transporta la caja de moldeo a una mesa de desmoldeo sobre la cual se voltea cayendo arena y piezas fundidas.

MATERIAL:

- Caja de moldeo

- Modelos hechos en la anterior sesión.

- Arena sílica seca.

- Vibrador neumático.

- Aluminio.

DESARROLLO:

Se coloca el vibrador neumático en su sitio en la caja de moldeo y se conecta a la alimentación de aire, con una presión de trabajo de 30 a 90 psi. Posteriormente se coloca el modelo dentro de la caja la cual ya contiene un poco de arena, se procede al vaciado de la arena teniendo cuidado en que está no caiga sobre el modelo, ya que este tiende a ser frágil, durante toda la anterior operación, el vibrador se encuentra trabajando. Cuando los modelos han sido totalmente cubiertos por la arena y se aprecia que a pesar del vibrado el nivel de la arena ya no desciende más, se suspende el vibrado cortando el suministro de aire.

Una vez completado el molde, se retira el vibrador de la caja de moldeo y se le da al encargado. En estos momentos se realiza el vaciado con un aluminio de alto grado de fluidez, el cual se encuentra con un sobrecalentamiento producto de dejar el crisol calentándose en el horno durante 10 o 15 minutos después de que el aluminio ha fundido.

Una vez hecho el vaciado se aprecia la calidad de las piezas terminadas, su buen o mal acabado, las posibles fallas en el proceso, el reflejo de las variables del proceso en el producto final, se le solicita al alumno un reporte que incluya los siguientes puntos:

Descripción del proceso.

Análisis de las variables del proceso.

Análisis de las piezas terminadas, explicando las causas de los posibles defectos.

Estudio económico y análisis de costos para una producción de 10,000 piezas producidas por el proceso.

Estudio económico y análisis de costos para una producción de 10,000 piezas fundidas por arena en verde.

Comparación entre las dos anteriores.