



T  
669.7  
COS

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA  
DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERIA  
MECANICA**

**“Estudio del Proceso de Fundición de Aleaciones No Ferrosas  
en Moldes de Yeso”**

**TESIS DE GRADO**

**Previo a la Obtención del Título de:**

**INGENIERO MECANICO**

**Presentado por:**

**Diego Fernando Cosíos Espinosa**

**Guayaquil-Ecuador**

**1996**

## AGRADECIMIENTO

Al Ing. Ignacio Wiesner F.  
Director de Tesis, por su  
invalorable ayuda y colaboracion  
con este trabajo.

A la ESPOL, por brindarme  
sus conocimientos.

A INTRAMET

## DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar hasta aquí

A La Virgen del Cisne

A la mujer que más quiero en esta Tierra:  
Mi Madre, este esfuerzo es todo tuyo porque  
tu sacrificio lo merece.

A mi segunda Madre: Tía Bertha, gracias por  
por quererme como un hijo más.

A toda mi Familia, que siempre me empujó  
hacia adelante.

A mis amigos de la Facultad

A toda la gente que me estima.

## DECLARACION EXPRESA

“ La responsabilidad por los hechos; ideas y doctrinas expuestas en esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL “



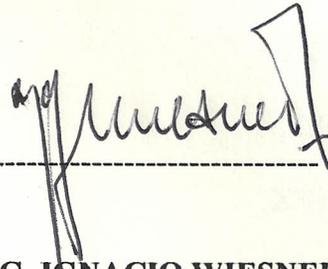
---

Diego Fernando Costos Espinosa



**ING. EDUARDO RIVADENEIRA**

**Decano de la Facultad de  
Ingeniería Mecánica**



**ING. IGNACIO WIESNER**

**Director de Tesis de Grado**



**ING. OMAR SERRANO**

**Miembro del Tribunal**



**ING. EDUARDO ORCES**

**Miembro del Tribunal**

<b>INDICE GENERAL</b>	<b>PAG.</b>
Indice de Figuras	VII
Indice de Tablas	IX
Nomenclatura	XV
Introducción	XVII
<b>CAPITULO N° 1: FUNDAMENTOS TEORICOS</b>	<b>18</b>
1.1. Química del Yeso y Obtención Industrial	18
1.2. Procesos de Fundición en Moldes de Yeso	29
1.2.1. Método Convencional	40
1.2.2. Proceso ANTIOCH	46
1.2.3. Proceso de Yeso Espumado	50
1.3. Características de los Metales a Fundirse	54
<b>CAPITULO N° 2. PROCESO EXPERIMENTAL Y METODOLOGIA</b>	<b>58</b>
2.1. Objetivo Experimental	58
2.2. Adaptación del Equipo Experimental	60
2.3. Ensayos de Mezclas y Secado de Moldes	64

CAPITULO N° 3: ANALISIS DE RESULTADOS	99
3.1. Calidad de Moldes	99
3.2. Calidad de Productos Fundidos	103
CAPITULO N° 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
BIBLIOGRAFIA	118
ANEXOS	121

## INDICE DE FIGURAS

Nº	NOMBRE	PAG.
1	Equipos de Trituración. Funciones Básicas	24
2	Flujograma de Fabricación del Yeso	30
3	Costos relativos de diversos tipos de producción, para una aleación particular de aluminio, con diversos volúmenes de producción	34
4	Obtención del Talco	38
5	Flujograma general para la obtención del Cemento	40
6	Flujograma de la Fundición en moldes de Yeso Convencionales	42
7	Cubo mezclador utilizado en el Método Convencional	43
8	Flujograma para el Proceso ANTIOCH	46
9	Flujograma para el proceso de Yeso Espumado	51

10	Conjunto Cubo- Mezclador utilizado en las experimentaciones	62
11	Horno Experimental utilizado en el secado de los moldes de Yeso	64
12	Curva típica de secado para condiciones constantes. Contenido de Humedad en función del tiempo.	71
13	Curva típica para la velocidad de secado, para condiciones constantes la velocidad de secado como función del tiempo.	71
14	Gráfica X vs t, Mezcla N° 1, T = 250 °C	94
15	Gráfica X vs t, Mezcla N° 2, T = 250 °C	95
16	Gráfica X vs t, Mezcla N° 3, T = 250 °C	96
17	Gráfica X vs t, Mezcla N° 1, T = 400 °C	97
18	Gráfica X vs t, Mezcla N° 3, T = 400 °C	98
19	Acabado en molde metálico. Fotografía	104
20	Acabado en Molde de Yeso	104

21	Acabado en molde de Arena	105
22	Fotografía de moldes fundidos en Arena y Yeso. Para comparación	109
23	Molde terminado, parte interior obtenida gracias al Yeso	110
24	Molde montado en la placa portamoldes	111
25	Molde montado en la placa portamoldes	111
26	Pieza de poliestireno, producto del molde hecho en base de yeso.	112

## INDICE DE TABLAS

N°	NOMBRE	PAG.
1	Componentes del Sulfato de Calcio Hidratado	20
2	Espesores mínimos por área que se pueden fundir en moldes de yeso.	35
3	Componentes del Talco	37
4	Composición del Cemento	39
5	Aleaciones recomendadas de Aluminio para fundir en moldes de yeso	56
6	Aleaciones de Zinc recomendadas para fundir en moldes de yeso	57
7	Ensayo A de mezclas	65
8	Ensayo B de mezclas	66

9	Ensayo C de mezclas	67
10	Mezclas a ensayarse	68
11	Mezcla N°1, Bloque N° 1, T = 250 °C	74
12	Mezcla N°1, Bloque N° 2, T = 250 °C	75
13	Mezcla N°1, Bloque N° 3, T = 250 °C	76
14	Mezcla N°1, Bloque N° 4, T = 250 °C	77
15	Mezcla N°2, Bloque N° 1, T = 250 °C	78
16	Mezcla N°2, Bloque N° 2, T = 250 °C	79
17	Mezcla N°2, Bloque N° 3, T = 250 °C	80
18	Mezcla N°2, Bloque N° 4, T = 250 °C	81
19	Mezcla N°3, Bloque N° 1, T = 250 °C	82
20	Mezcla N°3, Bloque N° 2, T = 250 °C	83

21	Mezcla N°3, Bloque N° 3, T = 250 °C	84
22	Mezcla N°3, Bloque N° 4, T = 250 °C	85
23	Mezcla N°1, Bloque N° 1, T = 400 °C	86
24	Mezcla N°1, Bloque N° 2, T = 400 °C	87
25	Mezcla N°1, Bloque N° 3, T = 400 °C	88
26	Mezcla N°1, Bloque N° 4, T = 400 °C	89
27	Mezcla N°2, Bloque N° 1, T = 400 °C	90
28	Mezcla N°2, Bloque N° 2, T = 400 °C	91
29	Mezcla N°2, Bloque N° 3, T = 400 °C	92
30	Mezcla N°2, Bloque N° 4, T = 400 °C	93
31	Periodo de secado a 250 °C para la mezcla N° 2	101
32	Periodo de secado a 400 °C para la mezcla N° 2	101

33	Dureza de moldes de Yeso, de diferentes mezclas	102
34	Rugosidades de las muestras ensayadas	103

## NOMENCLATURA

A Area

N Régimen de secado

t Tiempo

T Temperatura

X Kg de humedad/ Kg de sólido seco

## RESUMEN

Se han secado mezclas de: yeso, arena de sílice, talco y cemento portland para conseguir optimizar las propiedades de los moldes para fundición de precisión de aleaciones no ferrosas.

Durante el desarrollo del trabajo experimental se encontró la oportunidad de aplicar los resultados de la investigación en un trabajo real, la fabricación de un molde de uso industrial para el moldeo de poliestireno expandido. Los resultados conseguidos han sido altamente positivos en relación a grado de acabado y precisión dimensional.

Sumando a esto se tienen otros beneficios en la fabricación de moldes tales como: Reducción de costos de maquinado y tiempos de fabricación, factores de primordial importancia en niveles de competitividad con fabricantes extranjeros.

También se ensayó una aleación diferente a las recomendadas por ASM para este proceso, tal es el caso de la aleación UNS 713.0, que brinda buenos resultados

## INTRODUCCION

El campo de la fundición aún no es conocido en su totalidad, cada vez surgen nuevas incógnitas y de igual forma hay que experimentar, estudiar y pensar para encontrar las respuestas adecuadas. La fundición ocupa tantos materiales como variados son sus procesos..

El yeso es un material que la mayor parte de las personas lo involucra con muchas otras aplicaciones pero casi ninguna con la Fundición. Este es adecuado para el colado de metales o aleaciones no ferrosas, brindándoles excelentes propiedades en lo referente a superficies tersas de acabados finos y precisión dimensional, que son difíciles de encontrar por otros métodos en los cuales no involucren moldes metálicos o tediosos como cera perdida. Las propiedades del yeso son mejoradas con la adición de otros elementos como son arena, talco y cemento principalmente, que en conjunto con el agua forman masas semipastosas capaces de ofrecer réplicas exactas de los modelos a copiar. Posteriormente luego del secado y armado de los moldes se procede a colar el metal. El producto obtenido puede ser capaz de ser aplicado sin necesidad de maquinado, ni otras operaciones secundarias que impliquen elevaciones de costos, horas de trabajo y mano de obra, significando ahorros, especialmente si se tratan de lotes pequeños o prototipos.

# CAPITULO N° 1

## FUNDAMENTOS TEORICOS

### 1.1. QUIMICA DEL YESO Y OBTENCION INDUSTRIAL

#### Reseña Histórica

El yeso es un producto que resulta de deshidratación de las piedras de yeso por calcinación, cuyo uso comenzó desde la antigüedad, en especial por parte de los egipcios, en donde se ha llegado a verificar su utilización en la construcción de la pirámide de Cheops alrededor del año 2800 antes de Cristo. Se ha descrito por parte de muchos historiadores la aplicación de este mineral, como, Teofrasto en el siglo IV de la era cristiana y Plinio en su obra "Historia Natural", explicando la utilización que hacían los romanos en el siglo I antes de Cristo.

Luego fueron los romanos los que se encargaron de su difusión mediante sus invasiones a las diversas partes del mundo, pero que luego por las invasiones bárbaras casi su uso fue olvidado, sin embargo guardado sus secretos por parte de grupos pequeños como los monjes de Cluny y del Cister, que luego dieron paso a una gran expansión a partir del siglo XIII. En esta época el yeso tenía más aplicación en la construcción. Actualmente el yeso es utilizado a parte de la construcción entre otras cosas para artesanía, escultura,

fertilizantes y más recientemente en la fundición de precisión, para dar muy buenos acabados y buenas características dimensionales.

El yeso es un sulfato común que encuentra en depósitos de muchos lugares del mundo donde los principales países productores son: EE.UU., Canadá, Inglaterra, Francia y Rusia.

#### QUIMICA.

Es un mineral muy corriente en las rocas sedimentarias, forma algunas veces capas muy gruesas que se intercalan en calizas y pizarras o están bajo los yacimientos de sal, esto debido a que fue depositado como uno de los primeros minerales que cristalizan por la evaporación de las aguas salinas.

Puede recristalizar en venas formando el espató satinado, en masas lenticulares o en forma de cristales esparcidos en arcillas y pizarras.

Se produce a menudo por la alteración de la anhidrita, mostrando pliegues por el incremento de volumen, este incremento que puede ser del 30%, se da por la adsorción de agua a la presión atmosférica formando de a poco el yeso. Se encuentra en regiones volcánicas donde la caliza ha sido afectada por vapores sulfurosos; puede estar además como la ganga de los filones metálicos o asociado a minerales como calcita, cuarzo, pirita, etc.

El algeiz o piedra de yeso es sulfato de calcio dihidratado que puramente está dado por:

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  cuyos componentes son:

Tabla N° 1: Componentes del sulfato de calcio hidratado.

COMPUESTO	PORCENTAJE
Cal viva (CaO)	32.6 %
Anhidrido sulfurico	46.5 %
Agua	20.9%

De esta cantidad de agua que se ha dado en la tabla N° 1, el 5.2% se encuentra combinado como media molécula de agua de cristalización y el resto se encuentra como la molécula y media restante. Se hace esta aclaración debido a que en los temas que se tocarán más adelante, especialmente en lo referente al proceso de secado, se utilizarán estos datos.

Otras características importantes son:

- Material blando de poca dureza, capaz de ser rayado por la uña.
- Densidad de  $2.3 \text{ g/cm}^3$
- Soluble en agua dulce a temperatura máxima de  $38 \text{ }^\circ\text{C}$  en cantidades de 2.3 a 2.65 gr.
- Soluble en agua salada del 6% en una cantidad de 10 gr por litro.
- El yeso no puede ser atacado por los ácidos.

## CRISTALOGRAFIA

Es monoclinico  $2/m$  de hábito simple y tabular sobre  $\{010\}$ , de forma rómbica con aristas biseladas por  $\{120\}$  y  $\{111\}$ . Tiene a veces otras formas dadas por maclas frecuentes sobre  $\{100\}$ .

Como propiedades físicas principales tenemos

- Exfoliación en hojas delgadas  $\{010\}$ ; de superficie concoidea  $\{100\}$  y fractura fibrosa  $\{011\}$
- De diferentes tonalidades de acuerdo a la calidad de impurezas que tenga, pudiendo ser: incoloro, gris, blanco, amarillento, rojizo, castaño, etc.

Entre las principales variedades tenemos:

- Espato satinado, que es un yeso fibroso con brillo sedoso.
- Alabastro que es una variedad en masa de grano fino utilizado como yeso de modelar y para vaciado.
- Selenita, que produce hojas de exfoliaciones incoloras y transparentes.

En algunos casos se encuentran variedades que también son conocidas como:

- Yeso fibroso, es una clase de yeso que está cristalizado en fibras sedosas y que contiene  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .
- Yeso en flecha, que cristaliza como su nombre lo indica en forma de punta de flecha, obteniéndose un yeso excelente para el vaciado de objetos delicados.

- Yeso espejuelo, su cristalización está dada en forma de voluminosos cristales, que se exfolian en láminas delgadas y brillantes.
- Yeso sacarino, es de estructura compacta y de grano fino.
- Yeso calizo, esta variedad contiene hasta un 12% de carbonato cálcico. Su característica es que endurece mucho después del fraguado.

### OBTENCION INDUSTRIAL

Explicando la manera de obtener industrialmente al yeso para la utilización diaria, debemos remitirnos hasta lo que es la explotación en las canteras, en donde su extracción se lo hace tanto en cantera subterránea y en canteras a cielo abierto; como es lógico suponer la explotación del primer tipo de cantera es mucho más costoso, de ahí que a cielo abierto son las más apropiadas y económicas, permitiendo el empleo de todo tipo de maquinaria, con el abatimiento en grandes cantidades, con palas mecánicas, cintas transportadoras, etc.

Luego que se ha procedido a la extracción del yeso, viene en sí el proceso de fabricación industrial que cumple ciertas etapas que a continuación se describen en las cuales se dan breves rasgos de los pasos que se cumplen para entendimiento generalizado y superficial.

- Trituración o molido del material obtenido directamente de la cantera.
- Cocción
- Producto final

### **Trituración.**

Para la trituración del yeso se cuenta con diversidad de equipos normales de uso en la minería. La trituración se lleva a cabo en el algez crudo y sobre el yeso cocido, o únicamente, sobre el yeso cocido, lográndose con este paso la reducción de los grandes trozos de material, a granos más finos. Dentro de las principales máquinas con las que se cuenta están:

- Machacadora de mandíbulas
- Trituradora de cilindros
- Molino de martillos fijos u oscilantes
- Molino de muelas, etc.

Existen muchos dispositivos de trituración, pero sus funciones primarias están dadas por la Figura N°1.

### **Cocción.**

El objetivo que se persigue durante la cocción es la eliminación del agua de cristalización del sulfato de calcio hidratado  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , cuya composición química es natural del mineral de yeso o algez.

Existe un porcentaje del agua de cristalización que no está firmemente contenida, por lo tanto al elevar la temperatura del polvo de yeso, comienza en forma progresiva a perder esta agua, pero así mismo el yeso puede muy fácilmente recuperarla, si tan solo se deja

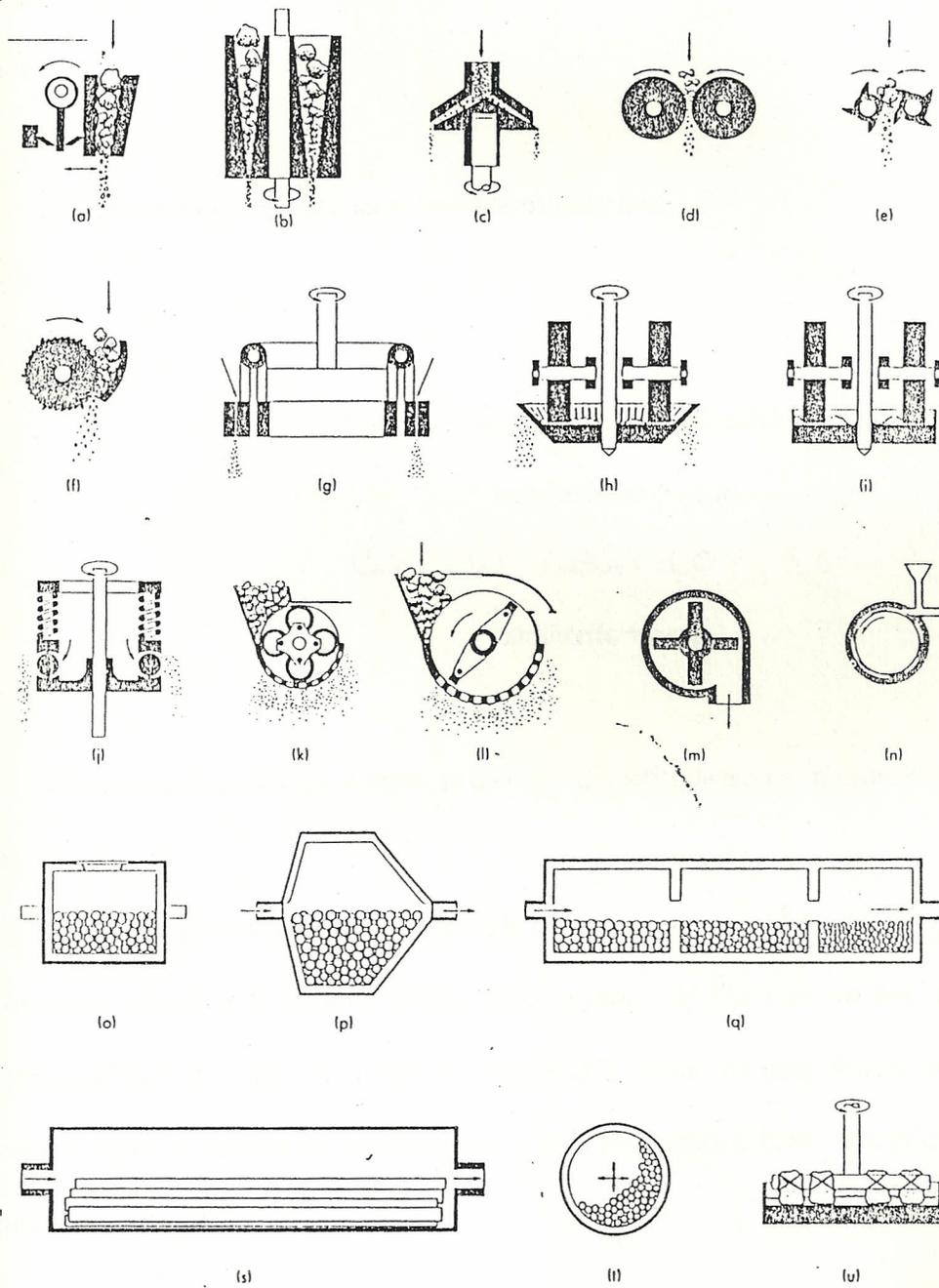


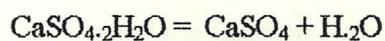
Figura No1 Equipos de trituración. Funciones básicas

al medio ambiente, debido a la humedad de los alrededores o la del propio aire que circunda al material.

Las fórmulas que explican todo esto se dan enseguida:



**hemihidrato + agua**



**anhidrita + agua**

El tener media molécula de agua, es correcto aritméticamente y es de nomenclatura usual.

La fabricación usual del yeso, demanda la eliminación parcial o total del agua de cristalización. En el caso de este trabajo, para procesos de fundición se usa un yeso denominado "Yeso de París" de fórmula  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ , de ahí que para obtener esta clase de yeso se sigue un proceso de cocción, para lo cual se pueden utilizar algunas clases de hornos, como son:

- Horno de estribo
- Horno de cuba
- Horno recto
- Horno giratorio

- Marmitas, entre otras.

De estas clases de hornos, los más comunmente usados son las marmitas y los hornos giratorios.

En el estudio de las marmitas, las rocas molidas en forma ya de polvo son calentados a temperaturas por debajo del calentamiento al rojo, en una especie de gran olla el cual posee un removedor de material. Este algez crudo que generalmente se encuentra muy húmedo, tiene la posibilidad de pasar por un proceso de presecado, mediante la utilización de los gases que se evacuan de los hornos y cuya energía se recupera.

Al tener este calentamiento previo y ya depositado este material en la marmita, el removedor comienza el agitación para dar uniformidad de temperatura a la masa. Cuando la masa llega a tener alrededor de 230 a 270 °F, por efecto de la producción de vapor, que en ese momento es alta, la masa "hierve" debido al agua que posee y en el momento que esto cesa, se deposita polvo en la parte baja de la olla, este polvo depositado es conocido como Yeso de Paris, que se encuentra en un estado de medio hidrato  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ , que es un primer compuesto que algunos fabricantes lo retiran a alrededor de 350 °F. Este yeso conocido también como yeso egipcio, el que se encuentra casi en la totalidad del mercado y cuyo nombre se deriva del uso, que los egipcios hacían de él.

Si este yeso no es sacado a la temperatura antes indicada, a alrededor de 360 °F, el yeso nuevamente empieza a hervir, debido al agua remanente que sufre evaporación ( $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ). Este producto se puede retirar a los 400 °F y se obtiene un segundo compuesto, que

es un material usado por gran cantidad de fabricantes de yeso. El que se realice este paso para obtener este segundo compuesto, depende de la cantidad de energía que se vaya a gastar.

La otra clase de hornos que se utilizan en gran cantidad son los de tipo giratorio, donde el material en la corriente marca por el pirómetro, temperaturas de alrededor de 550 °F, este tipo de horno es mucho más económico y por lo tanto aplicado en varias plantas.

Estos hornos están compuestos por cilindros de palastro, análogos a los de cemento, pero de menores dimensiones con alrededor de 10 m de largo y 1.5 m de diámetro, revestidos interiormente con ladrillo tipo refractario. Este tipo de horno tiene la ventaja de darnos un tipo de material de yeso calcinado, muy uniforme y homogéneo, pero el material no tiene que entrar en forma pulverizada, sino en forma de granos.

Para que se efectue la calcinación se tiene un hogar separado y luego los gases pasan por el interior del horno, el cual lleva el material mediante paletas.

Otro tipo de horno es el de Estribo, el cual es el más antiguamente usado, del tamaño parecido al de una casa, con capacidades de alrededor de 200 m<sup>3</sup> y cuya duración de cocción puede durar alrededor de 4 ó 5 días. En este tipo de horno el algeiz se coloca en el lecho del horno, el cual posee bóvedas que sirven de hogar y que son cargadas con madera seca y carbón, para luego empezar la combustión.

Luego tenemos el horno de cuba, siguiendo el orden dado anteriormente. Este horno tiene la forma de un gran cilindro de aproximadamente 5 m de altura, con revestimiento refractario en su interior. El algez se colocan en capas que se alternan con carbón para procedimientos de combustión, sin embargo esta mala combinación produce impurezas en el material obtenido finalmente.

Perfeccionando el horno descrito anteriormente, tenemos el horno recto, el cual posee la forma de un tronco de pirámide cuadrangular invertida, con dos hogares laterales en los que se quema el combustible mediante llama larga. El material entra por la parte superior y sale por la parte inferior.

#### **Cernido.**

Luego de la cocción se procede a efectuar un nuevo proceso de trituración del yeso, aunque este haya sido previamente molido antes de entrar al horno. Esto debido a que en el proceso de cocción se produce un aglomeramiento de la masa. Luego de estos pasos se sigue con el cernido, para lo cual también hay distintos tipos de máquinas cernidores como son:

- Cernido rotativo
- Cribas vibrantes, entre las más usadas.

Cernidora rotativa: Tiene la forma de un prisma hexagonal, la cual es rodeada por una tela metálica y cuyo eje se encuentra inclinado con respecto a la horizontal.

Al efectuarse la rotación, el yeso se conduce a la parte superior del prisma pasando por la malla en toda la extensión de manera que los granos finos pasen por ésta y los granos más gruesos se desalojen por la parte superior de la cernidora. Estos granos gruesos pasarán una nueva etapa de trituración, mientras que aquellas que han pasado por la tela metálica, seguirán con un proceso de homogenización y empaquetado.

Cribas vibrantes: Está formado por una serie de cuadros planos de tela metálica inclinada fijadas sobre un soporte que se encuentra montado en una serie de resortes. El material al estar en esta serie de planos, recibe un movimiento de vaivén que produce vibraciones del soporte sobre los resortes. De esta manera entonces los granos de material de yeso empiezan a pasar por las telas metálicas o tamices de acuerdo al tamaño de los orificios con los que cuenta. Al igual que en el caso anterior, los granos mucho más gruesos pasan a una nueva etapa de trituración, mientras que el polvo que ha pasado por los tamices, entra en el proceso de homogenización y empaquetado.

El proceso de obtención del yeso, se presenta en el flujograma de la figura N° 2

## 1.2. PROCESO DE FUNDICION EN MOLDES DE YESO

El campo de la fundición es tan amplio y variado como las clases de moldes que se utilizan.

Los materiales de dichos moldes también son de diferentes clases y a escogerse de acuerdo al trabajo que se desea realizar, los mismos que luego darán las características de acabado que obtendrá la pieza de fundición y que se reflejará en la cantidad de maquinado que necesitará para que se utilice en la función a la que es destinada.

Estos materiales tienen características bien definidas, que diferencian al producto final. Entre los moldes que se tienen están: arena, cáscara, cera, cerámica, metálico, cemento, etc., y en nuestro caso los moldes de yeso.

**TRITURACION**

**SEPARACION MAGNETICA**

**MOLIDO**

**TAMIZADO**

**COCCION**

**TAMIZADO**

**MEZCLADO**

**ALMACENAMIENTO**

**EMPAQUETADO**

**STOCK O VENTA**

**Figura No2 Flujoograma de fabricación del yeso**

Fundición en moldes de yeso es muy similar a la que se realiza en arena, diferenciándose en que el molde y los corazones si es que los lleva, son de una mezcla de yeso más arena y otros componentes, luego de obtenidos los moldes se procede a una etapa de secado y finalmente colado del metal por bebederos más pequeños con respecto a los usados en arena debido a la baja conductividad térmica del yeso.

En la industria ecuatoriana de la fundición, no se hace incapié en la utilización de moldes de yeso, por no existir el conocimiento suficiente sobre este material de moldeo y que más se lo atribuye a la cerámica o escultura. Este material ofrece muchas ventajas que se irán desglosando para conocimiento general.

Se ha hecho una investigación y se concluye que en muchos países del mundo, el yeso es ampliamente utilizado, no tanto como la arena, pero sí en cantidades considerables, incluso a nivel experimental con la simulación de prototipos, que darán al investigador una idea del resultado de fundición que más adelante se aplicará en otros procesos, como por ejemplo: moldes metálicos, de precisión, etc. A manera de referencia tenemos que en EEUU, luego del uso de moldes permanentes, fundición a presión y fundición en arena, el yeso es probablemente más usado en este país para productos de aluminio.

Entre las principales aplicaciones que se le da al yeso tenemos algunas a continuación:

- Equipo aeronáutico

- Impellers
- Equipo electrónico
- Partes de bombas
- Ensayos de pruebas de componentes que se luego se realizarán por otros métodos de fundición
- Moldes para inyección de poliestireno expandido, etc.

#### **Ventajas:**

- Proceso muy bueno para producción de partes que necesitan alta precisión dimensional con tolerancias de hasta 0.005 mm/mm y excelente acabado (0.8- 1.3 $\mu$ m), especialmente en lugares difíciles de maquinar, como son el interior de piezas en los cuales las herramientas no pueden llegar.
- Permite obtener paredes delgadas de hasta 0.5 mm y detalles complicados. Esto debido a la mala conductividad térmica que posee el yeso, que no permite que el metal solidifique rápido, ocupando y llenando todos esos intrincados lugares.
- El acabado que se obtiene puede competir con piezas maquinadas extensamente en fresadora, especialmente en 2 ó 3 planos

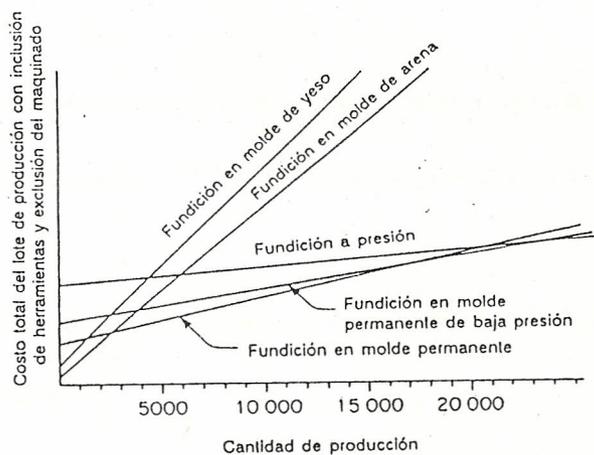
- Útil para producir superficies tersas con configuración exacta, con acabado satinado que permite pulir y abrillantar con facilidad.
- Deformación o combadura son insignificantes.

#### **Desventajas:**

- Solamente pueden fundirse metales no ferrosos, debido a que el sulfuro de la mezcla reacciona químicamente con los metales ferrosos.
- Se limita a piezas con pesos menores a 10 Kg, aunque en alguna ocasión se llegó a fundir piezas de hasta 1350 Kg.
- Tiene una pequeña tendencia hacia la porosidad interna
- Resultan superficies de mal acabado cuando el molde se deteriora a altas temperaturas
- El molde se puede utilizar una sola vez
- Costos elevados, aunque así mismo puede resultar ventajoso la producción de piezas complejas que puede ser tan solo una, pero produciéndose ahorro en la eliminación de maquinado, de ahí que se aplica en lotes pequeños y en producciones medianas.
- Ciclos muy largos de producción de moldes, lo que hace que la producción sea lenta, debido principalmente al fraguado-desmoldeo y posterior secado.

- Costos de modelos y cajas de corazones es aproximadamente 50% más alto que el equipo para fundir arena.

La figura N° 3 nos da una amplia visión sobre los costos en la producción de fundiciones con respecto al molde que se utiliza. Observamos entonces que los costos de los moldes yeso en ciertos casos es significativo si es que la piezas no requieren el acabado o precisión dimensional que brinda un molde de yeso.



**Figura N° 3 .Costos relativos de diversos tipos de producción para una aleación particular de aluminio con diversos volúmenes de producción.**

### Factores de diseño

Para la fundición en general se hacen consideraciones generales en el diseño de piezas de fundición para no tener problemas en el momento de colar el metal. Esto conlleva a tener más seguridad en el producto final, evitándose los rechupes, agujeros, deformaciones, pandeo, etc. Entre las consideraciones más generales tenemos:

- Dedicar el proceso a las piezas lo más pequeñas posibles. Para piezas pequeñas se lograrán ahorros significativos de materiales y moldes.

- Secciones lo más delgadas que se puedan lograr, pero de acuerdo a la tabla # 2

Tabla No 2 . Espesores mínimos por área que se pueden fundir en moldes de yeso

SUPERFICIE DE PARED	ESPESOR MINIMO
650 mm <sup>2</sup>	1 mm
650-1960 mm <sup>2</sup>	1.5 mm
1960-9750 mm <sup>2</sup>	2.4 mm

- De ser posible, las secciones con que cuenta la pieza a colar deberán ser lo más uniformes y si no ocurre esto, los cambios de sección serán tan graduales como lo permita el diseño.
- Para poder extraer el modelo del molde de yeso se dará salida y se evitarán rebajes que impidan esta separación.
- Ya que el yeso da un excelente acabado final, se trata de diseñar las piezas de manera que se evite al máximo operaciones secundarias o de maquinado.
- Tratar de utilizar corazones al máximo para obtener ahorros de metal evitando masas sólidas. Pero a su vez, no disponer de corazones delgados frágiles que no puedan ser soportados por el molde con facilidad.
- Como en toda clase de fundición, evitar en lo que se pueda, las esquinas, partes salientes, etc., tratando de cambiarlos por partes redondeadas o filetes.

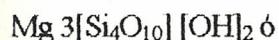
- Una parte importante del diseño de piezas esta en el tema del colado, siguiendo todas las normas aplicadas en fundición en arena, con la ventaja que los bebederos pueden ser más pequeños debido a la baja conductividad térmica del yeso. Para evitar problemas, se construye los bebederos y canales de alimentación, mientras el yeso aún está húmedo.

**Elementos que intervienen en la formación de la argamasa:**

El molde que nosotros hemos denominado de yeso, es sin embargo, una mezcla de diversos componentes que luego forman lo que se denomina argamasa. Son varios los elementos que hacen parte de la mezcla para formar los moldes y entre los principales están: Yeso, arena de sílice, talco, cemento. Se pueden colocar otros elementos que no son en la práctica muy utilizados y que su acción dentro del molde no está muy definida, pudiendo ser fibra de vidrio, limo, wollastenite, etc

La obtención industrial del yeso se la estudió anteriormente, ahora, haremos una breve recopilación de información de los elementos secundarios que intervienen en la formación de la argamasa.

**Talco:** De fórmula química:



3 MgO. 4 SiO<sub>2</sub>. H<sub>2</sub>O y cuyos componentes se dan en la Tabla N° 3

Tabla No 3. Componentes del Talco

COMPUESTO	PORCENTAJE
MgO	31.7 %
SiO <sub>2</sub>	63.5 %
H <sub>2</sub> O	4.8 %

Puede contener además Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hasta el 2 % y NiO en décimas del 1 %. Una parte de MgO suele estar sustituida por FeO.

Color: Verde pálido, blanco con matices amarillos, pardusco o verdusco a veces intenso

Brillo: Vítreo, con reflejo anacarado.

Dureza: La unidad, graso al tacto mediante el cual se lo puede diferenciar de otros materiales

Peso específico: 2.7 g/cm<sup>3</sup>

Otros: Mal conductor de la electricidad y el calor. Refractario, no se funde hasta temperaturas de 1300 a 1400 °C.

Entre otras características del talco, está que al soplete se vuelve blando, se fisiona y se funde difícilmente en los bordes. Después de muy tostado adquiere durezas de hasta 6.

Las aplicaciones que tiene el talco, son muy variadas y van desde su uso especialmente en polvo en la industria del papel y el caucho, perfumería, em la industria de colorantes refractarios resistentes a luces intensas, en la industria téxtil, para blanqueo del algodón, en la cerámica, etc.

Un flujograma general sobre su manufactura se puede ver a continuación en la figura No 4:

**TRITURACION**

**MOLIDO**

**ELIMINACION DE IMPUREZAS**

**FLOTACION**

**ESPEZAMIENTO CON PERDIDA DE AGUA**

**FILTRACION CON EXTRACCION DE AGUA**

**SECADO**

**PULVERIZADO**

**EMPAQUETADO**

**Figura No 4. Obtención del talco**

**Cemento:** Estudiaremos el cemento portland, que es un cemento hidráulico que fragua con la presencia del agua. Es uno de los materiales estructurales más importantes, tiene buena resistencia a la compresión y buena durabilidad

La composición de este cemento está dado en la Tabla N° 4 .

**Tabla N° 4. Composición del cemento.**

COMPUESTO	PORCENTAJE
Alumina	5-9 %
Oxido Ferroso	2-4 %
Limo	60-64 %
Magnesita	1-4 %
Otros	1-2 %

En la figura N° 5 se presenta un flujograma que se sigue en la obtención del cemento.

**Sílice:** Es un material refractario muy importante. Es muy común en la naturaleza (después del oxígeno, el silicio es el elemento más abundante en la corteza terrestre), presentandose la mayoría de las veces como mineral de cuarzo. Existen diferentes tipos de depósitos donde se dá como componente esencial de las rocas ácidas ígneas, tales como el granito y la riolita. Aparece también en venas, en rocas sedimentarias como la piedra pómez y cuarcitas, además de encontrarse en las orillas de los ríos y playas.

Existen variedades cristalinas de sílice tales como: cuarzo, tridimita y cristobalita, las mismas que tienen modificaciones de alta y baja temperatura. Todas las variedades se caracterizan por un retículo tridimensional de tetraedros de  $\text{SiO}_4$  y cada uno de sus vértices está compartido por los tetraedros vecinos; por lo tanto un átomo de silicio se comparte por dos oxígenos formando  $\text{SiO}_2$ , determinado esto por análisis químico. La explicación de los diferentes cambios que ocurren con la sílice, es de carácter complicado por lo que no ahondaremos en dicha explicación, por no ser del tema de estudio.

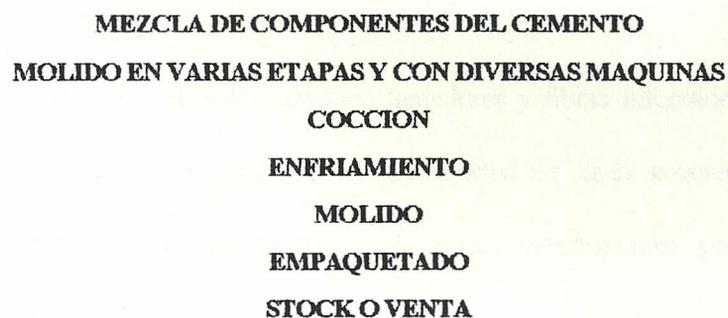


Figura N° 5. Flujograma general para obtención de cemento

### 1.2.1. METODO CONVENCIONAL

Este método utiliza moldes de yeso compuestos de una mezcla de materiales como son: arena de sílice, talco, cemento portland entre los principales y como elementos secundarios se puede utilizar arcilla, refractarios, fibra de vidrio, limo, ceniza, etc, que mezclados con agua forman lo que se denomina argamasa, que es una masa semipastosa que se vierte sobre los modelos a fin de obtener el molde para el vaciado del metal.

El yeso que se utiliza en la mezcla para preparación de moldes, es el yeso de fórmula  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  que ha pasado por un proceso de deshidratación y que comercialmente se conoce como Yeso de París  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$  cuya manera de obtenerlo ya se la ha explicado como parte de la Química del yeso y obtención industrial y que de ahora en adelante en este trabajo simplemente denominaremos yeso.

Para la fundición de metales en moldes de yeso, seguiremos el proceso que se utiliza en el método convencional y es:

- Mezclado en seco del yeso

\* Yeso + 20 a 30 % de talco + elementos llenadores y fibras reforzadoras. Al dar estos valores debemos tener en cuenta que es generalidad de cada empresa fundidora el experimentar sus propias mezclas, pero sus valores se encuentran muy parecidos a los que se han dado arriba.

- Formación de la argamasa

\* Se adiciona a los ingredientes secos alrededor del 60% a 80% de agua por peso de la mezcla seca .

-Vaciado de la argamasa sobre los patrones.

- Secado de los moldes de yeso

\* Al igual que con los porcentajes de materiales que intervienen en la mezcla, cada empresa tiene sus propias curvas de secado, a la temperatura que más les conviene.

- Ensamblado de los moldes

- Colado del metal en los moldes

- Control de calidad del producto final

Un flujograma sobre la fundición en moldes de yeso por el método convencional se presenta en la Figura N° 6.

**Mezclado en seco de los componentes que formaran la argamasa**  
**Adición de agua formando la argamasa**  
**Vaciado de la argamasa sobre los modelos**  
**Desmoldeo**  
**Secado de los moldes**  
**Ensamblado de los moldes**  
**Colado de un metal no ferroso**  
**Control de Calidad del producto fundido**

**Figura No 6. Flujograma de la fundición en moldes de Yeso Convencionales**

**Formación de la argamasa.** De los items dados anteriormente, el mezclado de la argamasa con el agua es quizá la parte crítica en el inicio del proceso de fundición en donde se debe conseguir una pasta homogénea que luego será vertida sobre el molde patrón. Para conseguir este mezclado, se debe disponer de un cubo o balde y del mezclador que puede ser una hélice.

Para mejor explicación, podemos ver la Figura N° 7 que a continuación se da, en donde la posición del mezclador es muy importante y se debe aplicar. Este mezclador puede ser de 2 a 3", con 3 hojas o paletas y con velocidades de hasta 1760 rpm, con un tiempo de mezclado de 2 a 5 minutos.

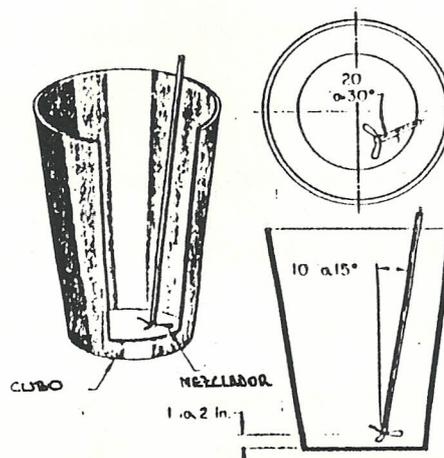


Figura N° 7. Cubo Mezclador utilizado en el Método Convencional

**Vaciado de la argamasa.** Luego de preparada la argamasa, se debe verter ésta sobre el patrón el cual a su vez puede estar hecho de diferentes materiales como son: metal, resina, madera laqueada (no muy utilizado por la tendencia de la madera a absorber agua y perder medidas por la expansión que sufre), placa patrón, etc.

Antes de verter la argamasa, se debe poner en el patrón una película separadora o un agente desmoldante, que puede ser un compuesto preparado a base de jabón, aceite o sprays separadores que se pueden encontrar en el mercado.

Al vaciar la argamasa sobre el molde patrón, que se ha ubicado en una caja como las utilizadas en la fundición en arena, se tiene que tener cuidado de que el flujo sea lo más laminar posible a fin de que la argamasa ocupe todos los detalles del patrón y la copia sea idéntica, de esta manera también se evita que se formen burbujas de aire que pueden quedar

atrapadas entre el patrón y la argamasa, dañando así al molde de yeso. Si queremos flujo laminar, entonces el vaciado de la argamasa se debe hacer lo más cerca posible al patrón.

**Fraguado y desmoldeo.** Luego del vaciado de la argamasa, se procederá a esperar que ésta frague y comience a endurecer, lo que tardará aproximadamente entre 20 y 30 minutos, tiempo que es una desventaja y que se la presentó como tal anteriormente, ya que demora al proceso y se convierte en un cuello de botella en la producción.

Una vez fraguada la argamasa se efectúa el desmoldeo del patrón, que en algunos casos aún con la adición de películas separadoras, puede presentar alguna dificultad, especialmente si el patrón no tiene la suficiente salida; en estos casos, como una solución se puede utilizar una línea de aire comprimido, la cual puede ser hecha cuando la argamasa aún está blanda, por medio de la introducción de varillas o alambres que a más de servir para inyectar el aire, nos son útiles en el momento del secado para la eliminación de gases y vapores.

**Secado.** La fase de secado, también es muy ambigua y de empresa a empresa e incluso a nivel de consulta bibliográfica varía mucho, de ahí que lo único cierto es que para secar la argamasa se debe hacer a temperaturas superiores a la de evaporación del agua en el centro del molde, lo que se dispone al menos en 105 °C. Si no se lo hace a esta temperatura, podría quedar agua remanente en el interior del molde, lo que luego en el momento de colar el metal, se transformaría en vapor y dañaría la fundición.

Ciclos de temperatura de secado, varían mucho y pueden tener rangos desde 175 a 870 °C, pero cuya opción de tomar la temperatura estaría regida por el tiempo que demora en secar un molde que puede ser desde menos de 1 hora hasta más de 24 y por la dimensión del molde. De igual forma la temperatura de secado de los moldes influirá en el equipo que puede ir desde un horno de cualquier tipo para temperaturas bajas de secado, hasta un horno similar al usado en tratamientos térmicos a temperaturas altas.

Dentro de la parte experimental se irán analizando detalles a seguir, por ejemplo para secar los moldes, éstos se deben meter al horno tan rápido como salen del fraguado, ya que si se dejan secar a la temperatura ambiente, como por ej. dejarlos de un día para otro, seguro que éstos se harán más susceptibles de rajarse o tener fisuras. Si fuera imposible meterlos al horno enseguida que han salido del fraguado, se tratará de guardarlos en una atmósfera húmeda o taparlos con un paño mojado.

**Colado.** Luego de secado y ensamblado los moldes de yeso, se inicia el colado del metal. Este colado puede ser hecho por gravedad, a presión, o en vacío. Existen empresas metalúrgicas, que hacen aplicación de cualquiera de los sistemas nombrados o con una mezcla de ellos, por ej. sistema combinado de presión y vacío; por gravedad no es el mejor sistema y de estos, de más fácil adaptación es presión.

Finalmente se harán los respectivos controles de calidad del producto fundido, aceptando o rechazando las piezas obtenidas mediante este proceso convencional de fundición en moldes de yeso.

Los procesos que explicaremos a continuación tienen sus características propias, pero en general los procesos se parecen mucho en sí y se verificará lo dicho según transcurre la información.

### 1.2.2. PROCESO ANTIOCH

Es un proceso desarrollado para eliminar los defectos que presentaba el método convencional de fundición en moldes de yeso. Lo que trata de lograr es aumentar la permeabilidad del molde, ya que se presentaban problemas por el insuficiente escape de los gases del metal colado. Existen cambios en la permeabilidad de los moldes, por ej. en el molde convencional tenemos permeabilidades menores a 2 AFS mientras que por el proceso Antioch se alcanzará permeabilidades de alrededor de 15 a 30 AFS. Sin embargo el proceso resulta más caro que el primer método, porque existen más equipos por utilizar y más tiempo empleado. Se siguen en forma los mismos pasos que se observan en la Figura N° 8.

**Mezcla de materiales en seco**  
**Mezcla de materiales + agua para formar la argamasa.**  
**Vaciado de la argamasa en los patrones**  
**Fraguado y desmoldeo**  
**Deshidratación de los moldes en autoclave**  
**Rehidratación a temperatura ambiente**  
**Secado de los moldes**  
**Colado del metal**  
**Control del producto final**

**Figura N° 8. Flujoograma para el Proceso Antioch**

De este listado de pasos a seguir, el primero, es de importancia y distinto si lo comparamos con otros procesos, porque la composición de los materiales en seco varía por la mayor presencia de arena de sílice. Existen variaciones en la composición de la mezcla pero podemos dar un acercamiento de la composición que tendrá la argamasa, así:

- 45% a 50% de arena de sílice
- 40% de yeso
- otros ingredientes que pueden ser: talco, arcilla, cemento portland, terra alba, etc por el resto de porcentaje donde prevalece el talco por ser el material que impide la formación de fisuras.

#### **Formación de la argamasa.**

Igual al proceso anterior, se efectúa con la ayuda de un mezclador igual a los usados anteriormente, que combina homogéneamente a los materiales secos con el agua, formando una mezcla semipastosa. La cantidad de agua adicionada a los materiales secos puede estar en alrededor del 50%.

#### **Vaciado de la argamasa.**

Se la hace en cajas que contienen los patrones, éstos pueden estar hechos de distintos materiales como metal, resina, etc, pudiendo utilizarse además placas patrón para tratar de sacar productos en gran cantidad. El vaciado se producirá sobre patrones revestidos con agentes desmoldantes, que en el anterior proceso ya se los nombró.

**Fraguado y desmoldeo.**

Es un proceso similar al seguido en el método convencional, los tiempos de fraguado son parecidos con alrededor de 20 minutos y el desmoldeo puede ser facilitado por la salida que tenga el patrón, por el agente separador y en algunos casos por la inyección de presión de aire.

**Deshidratación de los moldes.**

Enseguida de desmoldado el molde, para evitar que se seque al medio ambiente y evitar fisuras se lo mete en un autoclave, donde la cámara es sellada y le dá al molde una presión de 150 KPa (15 psi) por tiempos entre 6 y 12 horas.

El objetivo de esta deshidratación en el autoclave es lograr una estructura porosa que permita la salida de los gases del metal que se cole. Esto se produce porque los cristales de yeso al estar deshidratados, y luego comenzar a rehidratarse al medio ambiente, permite que los cristales lentamente recristalicen dentro de granos del tamaño parecidos a los de la arena lo que le da alta permeabilidad al molde.

Una característica más es que al recristalizar los granos, no lo hace en la superficie por no existir agua presente, manteniendose de esta manera el acabado en el molde.

Una desventaja de este proceso es que reduce la resistencia en seco, es decir parecido a lo que ocurre con los metales de tamaño de grano grueso y con baja resistencia.

**Rehidratación.**

Se rehidrata el molde de yeso luego de sacado del autoclave a la temperatura ambiente por tiempo de alrededor de 14 horas, durante el cual el agua libre de la masa del molde es lentamente combinada (rehidratada) con el 1/2 hidrato, tomando más tarde la forma granular. El tener esta estructura permitirá que el molde deje enfriar en menos de la mitad del tiempo que en un molde de yeso convencional y un 20% más largo que en un molde de arena ligeramente apisonado.

**Secado.**

Las temperaturas de secado también varían según el fundidor o empresa, ya que cada una de ellas experimenta con cierta temperatura y la aplica hasta lograr dominar el proceso. Sin embargo las temperaturas tienen rangos de secado que más se utiliza está en valores de 175 a 250 °C.

**Colado.**

Se procede a colar el metal en el molde lo más pronto posible luego de que ha salido de el horno de secado. Se hace esto con el fin de evitar que el material del cual está compuesto el molde se rehidrate cambiando su composición química por la absorción de agua que sería perjudicial, en el momento de colar el metal, produciendo luego porosidad que daña la pieza fundida. Incluso como medida extra de precaución se cola el metal a la temperatura a la cual sale del molde, aunque también se lo puede hacer a la temperatura ambiente.

Luego de realizados todos estos pasos, se hace control de calidad en la pieza fundida, tomando en cuenta el acabado superficial, dimensiones, fiel copia de los detalles del modelo, la menor cantidad posible de maquinado si es que lo va a haber, etc.

### 1. 2. 3. PROCESO DE YESO ESPUMADO.

Al igual que los otros procesos, perseguimos ir mejorando las características del molde de yeso de manera que resulte más eficiente y al menor costo posible.

Lo que se hace es adicionar gran cantidad de pequeñas burbujas de aire en la argamasa, para mejorar las propiedades permeables del molde. La adición de esta cantidad apropiada de aire se lo hace por medio de un disco mezclador, eliminando el de paletas, que nos dá buena mezcla mecánica pero no inyección de aire.

Al ofrecer moldes de gran permeabilidad, superior al molde convencional, la resistencia con respecto a la obtenida por proceso Antioch es superior. La parte a cuidar es las dimensiones de las burbujas de aire que se inyectan en la argamasa, no deben muy grandes y deberán ubicarse justo debajo de la superficie que limita al modelo y argamasa misma. Este tipo de estructura permitirá que luego en el colado, todos estos espacios ocupados por las burbujas, dejen escapar los gases de la fundición. Se obtiene un molde ideal para colado por gravedad.

Los pasos a seguir son básicamente los mismos de los procesos anteriores, y se muestran en la Figura N° 9.

En cuanto al nivel de costos de este proceso, está al nivel de el proceso convencional y más barato que el proceso Antioch por el menor uso de equipos.

**Mezclado de materiales en seco**  
**Preparación de la argamasa**  
**Vaciado de la argamasa sobre los modelos**  
**Fraguado y Desmoldeo**  
**Secado**  
**Colado del metal**  
**Control de calidad**

**Figura N° 9. Flujograma para el Proceso de Yeso Espumado**

#### **Mezclado de los materiales en seco.**

Para este tipo de proceso, los porcentajes de materiales no son fijos, pero se puede acercarse a un 60 a 70% de yeso + 20 a 25% de arena de sílice y el resto en otros materiales como talco, tierra blanca, fibra de vidrio, etc. Como es notorio, el gran porcentaje de arena de sílice hace que se incremente el rango de solidificación de la fundición del metal.

#### **Preparación de la argamasa.**

Esta es la parte especial de este proceso, de aquí se darán todas las características del proceso de yeso espumado.

La idea es meter la mayor cantidad de aire en la mezcla, para ello se utiliza un mezclador en forma de disco de doble ataque con un diámetro de  $\frac{2}{3}$  del fondo del cubo de mezcla. El tener estas características el disco mezclador, formará pequeñas burbujas de aire de alrededor de 0.25mm, que hay que controlar para que no existan burbujas muy grandes que dañen la forma del molde.

Este disco girará a dos velocidades:

- 1750 rpm para la mezcla seca + agua
- 800 a 1000 rpm para introducir aire en la argamasa y obtenerla de forma cremosa con un aumento de volumen que idealmente podría ser del 50 al 100%.

El hecho de obtener esa inyección de aire en la argamasa se puede dar por dos motivos:

- Debido a la acción mecánica del disco mezclador con el vórtice creado a alrededor de 3 o 4 cm del fondo del cubo.
- Por la adición de agentes espumantes.

La cantidad de agua está en el rango de 50% a 80% por peso de mezcla seca, con agua a temperatura de 37.78 °C (100 °F) dando mejores resultados que si usamos agua fría.

Con este tipo de espumado, se pueden llegar a tener hasta 70 AFS de permeabilidad en casos muy especiales ( como tener iguales volúmenes de argamasa y espuma), aunque normalmente están estos valores entre 15 a 30 AFS.

Luego de preparada la argamasa, esta debe ser echada sobre el modelo tan pronto como se la preparó, de otra manera, esta comenzará a colapsar.

### **Fraguado y desmoldeo.**

El tiempo de fraguado está entre los 20 y 40 minutos.

Se procede al desmoldeo con mucho cuidado, ya que al tener gran cantidad de aire en la mezcla, produce cierta fragilidad del molde. Para ello se prevé que el modelo tenga un buen ángulo de salida, haya sido bañado con un agente desmoldante y si hay dificultades sacarlo con una corriente de aire comprimido que se conecte a la superficie modelo-argamasa.

### **Secado**

Temperaturas bajas de secado son preferidas, en realidad los 3 procesos prefieren temperaturas bajas de secado, eliminando de esta manera los choques térmicos que incluso pueden fisurar al molde.

Las temperaturas que se prefieren están entre los 175 y 300 °C. Se lo puede hacer en un horno sencillo, eliminando en este proceso el autoclave como se utilizó en el proceso Antioch.

En este proceso y en los otros, se puede llegar a la conclusión que el molde está seco mediante diversos métodos, así:

- Por conductividad eléctrica del molde, midiendo resistencia con un multímetro con capacidad de 2'000000 de ohmios.
- Pérdida de peso del molde, por la eliminación del agua que posee.
- Temperatura del centro del molde, recordemos que esta debe tener alrededor de 105 °C para asumir que nuestro molde está seco. Para ello podemos utilizar termocupla con cables largos .
- La experiencia del fundidor, lo más utilizado en la práctica.

#### **Colado del metal.**

La ventaja de este proceso es que es ideal para colado por gravedad, gracias a la gran permeabilidad que presenta, el listado de los metales no ferrosos que se pueden colar, se darán a continuación en el siguiente tema a tratar.

#### **Control de Calidad.**

Como en toda fundición se determinará si se ha llegado a obtener las características deseadas en cuanto a acabado, precisión dimensional, brillantez, etc.

### **1.3. CARACTERISTICAS DE LOS METALES A FUNDIRSE**

La fundición en molde de yeso, tiene la característica de que solamente es aplicable a metales no ferrosos. Los materiales ferrosos tienden a reaccionar con los materiales del

molde, especialmente con el yeso y su composición de sulfato de calcio. Además, las temperaturas de fundición de los no ferrosos, sobrepasan la temperatura máxima que pueden soportar los moldes de yeso cuya fase de transformación es a 1195 °C y funde a 1450 °C.

Analizaremos entonces los principales metales no ferrosos que se funden normalmente en yeso.

Aluminio: La mayoría de las aleaciones de aluminio se pueden fundir en moldes de yeso, tal como si se fueran a fundir en moldes de arena.

Sin embargo, las aleaciones que se escogen para fundir en yeso, tienen que poseer afinadores de grano, ya que las fundiciones hechas en estos moldes, tienen tendencia a poseer granos gruesos.

Es muy común el uso de las aleaciones de aluminio: A355, A356, A357, como las preferidas en yeso. Los datos más característicos de estas aleaciones son dados en la Tabla N° 5.

Tabla N° 5. Aleaciones recomendadas de Aluminio para fundir en moldes de yeso

METAL	ALEACION	ALEACION	ALEACION
	#355	#356	#357
Cu	1-1.5 %	max. 0.25 %	max. 0.05 %
Mg	0.4-0.6 %	0.20-0.45 %	0.45-0.60 %
Mn	max. 0.50 %	max. 0.35 %	max. 0.03 %
Si	4.5-5.5 %	6.5-7.5 %	6.5-7.5 %
Fe	max. 0.6 %	max. 0.6 %	max. 0.15 %
Cr	max. 0.25 %	-----	-----
Zn	max. 0.35 %	max. 0.35 %	max. 0.05 %
Ti	max. 0.25 %	max. 0.25 %	max. 0.20 %
otros max.	0.15 %	0.15 %	0.15 %
Resto	ALUMINIO	ALUMINIO	ALUMINIO

Aleaciones de cobre. Al igual que con el aluminio, muchas de las aleaciones de cobre que se pueden fundir en arena, se lo hace en moldes de yeso. Sin embargo se presenta restricción para aquellas fundiciones que contenga un porcentaje superior al 5% de plomo y que no son recomendadas para fundirlas en yeso, porque esta aleación reacciona con alguna composición del molde dando como resultado superficies de baja calidad..

Aleaciones de Zinc. Son aleaciones muy usadas en moldes de yeso, sin presentar gran dificultad para trabajar con ellas. Fundirlas en arena, permite también su aplicación en yeso.

Las aleaciones de zinc más usadas son: AG40A(UNS. Z33520) y AC41A(UNS. Z35530) y su composición está dada en la Tabla N° 6

Tabla N° 6. Aleaciones de Zinc recomendadas para fundir en moldes de yeso

METAL	ALEACION AG 10A	ALEACION AC 11A
Al	3.5-4.3 %	3.5-4.3 %
Mg	0.02-0.05 %	0.03-0.08 %
Cu	max 0.25 %	0.75-1.25 %
Fe	max 0.1 %	max 0.1 %
Pb	max 0.005 %	max 0.005 %
Cd	max 0.004 %	max 0.004 %
Sn	max 0.003 %	max 0.003 %
Resto	Zn	Zn

## CAPITULO #2

### PROCESO EXPERIMENTAL Y METODOLOGIA

#### 2.1. OBJETIVO EXPERIMENTAL

El objetivo experimental que se plantea en la realización de este trabajo es: *Obtener productos fundidos de excelente acabado superficial y gran precisión dimensional, usando como material para el molde mezclas a base de yeso y otros agentes llenadores. Este molde deberá resistir condiciones de colado de manera confiable con aleaciones no ferrosas apropiadas para enfriamiento lento.*

Para lograr este objetivo, se hará un seguimiento del proceso cuidando de:

- Características y propiedades del material del molde
- Secado de los moldes
- Metales escogidos para colado
- Calidad de Productos

tópicos que se irán desglosando en este capítulo con el avance del temario.

## METODOLOGIA:

El proceso de fundición en moldes de yeso, que se desea aplicar, deberá cumplir ciertas especificaciones con el fin de que el producto final obtenido sea de alta calidad.

Para obtener estas especificaciones, experimentaremos con:

- Tipos de mezclas en seco
- Contenido de agua por cantidad de material seco.
- Mezclado
- Análisis visual del molde húmedo
- Secado a diferentes temperaturas con el control de pérdida de peso vs. tiempo empleado.
- Análisis cualitativo de los moldes secos

Luego de seguir este proceso con el fin de tener el molde de las mejores características, nos concentraremos en obtener productos que nos sirvan de ejemplo de las bondades del yeso en las aplicaciones de la fundición.

Estos productos así mismo deberán pasar por ciertas pruebas a saber:

- Precisión dimensional
- Grado de acabado superficial comparado con el modelo patrón.

- Análisis de un trabajo hecho para la empresa privada

## 2.2. ADAPTACION DEL EQUIPO EXPERIMENTAL

Para la realización de este trabajo se deben contar con equipos adaptables a las condiciones del lugar de trabajo, con el objetivo de no hacer gastos innecesarios, además lo que se trata de hacer son ensayos experimentales o prototipos en pequeña escala, que luego si conviene, a nivel empresarial se puede ampliar. La descripción del equipo que se necesita básicamente está dado por:

\* *Mezclador*: Nos hemos decidido por hacerlo en forma de disco de doble ataque en vez del comúnmente usado de hélices. Esto con el fin de tratar de introducir la mayor cantidad de burbujas de aire posible, tratando de que la argamasa obtenida tenga condiciones similares a la que se puede obtener por el método del espumado del yeso. Este disco debe estar acoplado a una barra de las siguientes dimensiones:

longitud= 31 cm

diámetro= 2.54 cm

El disco de caucho tiene un diámetro de:

$d= 11.5$  cm

el cual posee doble ataque.

La barra fue torneada en sus extremos, en el superior con el fin de acoplar a un dado que se ubica en el mandril de la fresadora vertical que tiene el taller de Producción; en el extremo inferior se maquinó para roscar y con el uso de una tuerca ajustar al disco a la barra.

La adaptación que se hace a la fresadora tiene como objeto obtener altas velocidades de mezclado, que se hace en dos partes:

- a. A una velocidad de 1500 rpm durante aproximadamente 2 minutos
- b. Mezcla con una velocidad de 850 rpm durante 2 minutos.

El mezclador es mostrado en la fotografía de la Figura N° 10

\* *Cubo de mezclado*: Se cuidan las características del cubo en cuanto a sus dimensiones, las cuales son:

$$h = 29 \text{ cm}$$

$$D = 25 \text{ cm}$$

$$d = 18 \text{ cm}$$

cuidando que  $h = 3D$  y  $d = 1.5d'$

El funcionamiento del mezclador y el cubo en conjunto se dan en la fotografía de la figura N° 10



**Figura N° 10. Conjunto Cubo - Mezclador utilizado en las experimentaciones**

\* *Horno*: Este se adaptó a partir de la carcasa de una cocina doméstica colocando paredes, techo, piso y puerta de ladrillo de aislamiento, consiguiendo alta eficiencia térmica y lo más importante, fue que cumplió con el objetivo propuesto, quedando un nuevo equipo en el Laboratorio del Taller de Producción, el mismo que se está utilizando actualmente para procesos de Revenido de aceros templados.

A este horno se conectó una resistencia a más de la que poseía, aumentando más su temperatura. Esto surtió efecto y nuestro horno fue capaz de llegar a la temperatura de 500 °C con moldes de yeso, lo que fue suficiente para las pruebas experimentales de secado a 250 y 400 °C.

El horno tiene las siguientes medidas interiores:

$l = 50 \text{ cm}$

$h = 40 \text{ cm}$

$a = 45 \text{ cm}$

Un factor importante en este trabajo, es que se utilizó medios de reciclaje con el fin de abaratar los costos, tratando de igual forma que la eficacia de los mismos nos de buenos resultados.

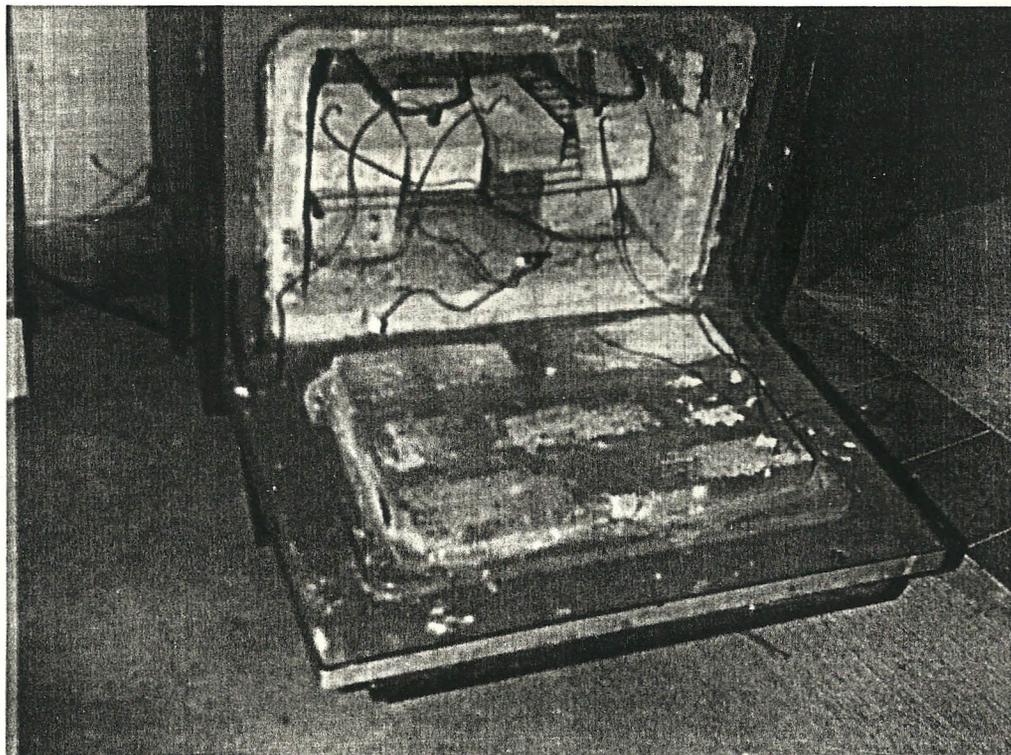
El horno experimental se presenta en la Figura N° 11.

\* Otros: Como equipo suplementario tenemos:

\*\* Balanza: Marca EDLUND modelo E80

\*\* Multímetro: HC5010-EC

\*\* Macroscopio: MGC-10



**Figura N° 11. Horno experimental utilizado en el secado de los moldes de yeso**

### **2.3. ENSAYOS DE MEZCLAS Y SECADO DE MOLDES**

En esta parte tenemos como objetivo determinar la mezcla ideal para colado de metales en los moldes de yeso y conocer el comportamiento del molde con respecto al secado.

**Ensayos de mezclas:** Partimos aleatoriamente de la mezcla presentada en la Tabla N° 7, para ir analizando los detalles que se presentan:

Tabla N° 7. ENSAYO A DE MEZCLAS

<i>NOMBRE</i>	<i>PORCENTAJE</i>
YESO	85 %
ARENA	7.5 %
TALCO	4.5 %
CEMENTO	3 %

total 100% = 3.5Kg

Arena+talco+cemento= resto

Estos ingredientes se mezclan con 50 partes en peso de agua por 100 partes en peso de mezcla seca.

\*Resultado: Fraguado acelerado, incluso durante la mezcla mecánica se produjo este inconveniente, con  $t < 1$  min.

\*Causa: Poca agua y porcentaje de cemento alto, cuya acción dentro de la argamasa acelera el fraguado. El cemento ocupa el 20% del resto en la mezcla seca.

\*Acción a tomar: Aumento de la cantidad de agua y disminución del porcentaje de cemento.

Tabla N° 8. ENSAYO B DE MEZCLAS

<i>NOMBRE</i>	<i>PORCENTAJE</i>
YESO	85 %
ARENA	8 %
TALCO	6 %
CEMENTO	1 %

total 100% = 3.5Kg

Arena+talco+cemento= resto

Se mezclaron con 65 partes de agua por 100 partes de ingredientes secos en peso.

\*Resultado: La argamasa soporta la mezcla mecánica sin fraguado evidente, recordando que esto no duró más de 150 seg.. Sin embargo al momento de vaciarlo sobre el patrón o modelo, es dificultoso porque el fraguado ya se hace presente, no permitiendo que el yeso 'copie' con exactitud los detalles del modelo, ya que no fluye fácilmente.

\*Causa: Como en el caso anterior, mucha de agua y alto el porcentaje de cemento.

\*Acción a tomar: Subir la cantidad de agua a 80 partes por cada 100 ingredientes en seco por peso. Ensayar con disminución del porcentaje de cemento a 0.5%.

Tabla N° 9 ENSAYO C DE MEZCLAS

<i>NOMBRE</i>	<i>PORCENTAJE</i>
YESO	85 %
ARENA	8 %
TALCO	6.5 %
CEMENTO	0.5 %

total 100% = 3.5Kg

Arena+talco+cemento= resto

\*Resultado: Trabajó muy bien en la mezcla mecánica y fluyó fácilmente sobre el patrón, cuidando que el flujo sea laminar en lo posible.

#### ENSAYO D

Con la misma mezcla anterior, se trató de espumar la argamasa con el espumante aryl metil sulfonato.

\*Resultado: La argamasa formada no tenía el grado apropiado de fluidez diferenciándose esto de lo que es el fraguado, ya que lo hizo después.

El exceso de espuma tampoco permitió que el yeso copie los detalles como se requiere y el molde presentaba mucha fragilidad con exceso en el tiempo para que frague totalmente, de ahí que se optó por introducir burbujas de aire pero por mezclado mecánico por alrededor de 4 min.

Luego de estos 4 primeros ensayos, teniendo ya una idea de la cantidad de agua a introducir, formamos 3 mezclas que se dan a continuación para los experimentos de secado, que nos resulte en la mejor argamasa con las mejores características finales.

TABLA N° 10. MEZCLAS A ENSAYARSE

	MEZCLA #1	MEZCLA #2	MEZCLA
YESO	85 %	65 %	55 %
ARENA	8 %	18 %	34 %
TALCO	6.5 %	16.16 %	10 %
CEMENTO	0.5 %	0.4 %	1 %

Con estos 3 tipos de mezclas, se harán moldes de 4 tamaños diferentes de paralelepípedos, luego de lo cual se procede al secado.

**Ensayos de secado:** Debemos entender como secado de un molde de yeso, a la extracción de humedad de él. El estudio del secado debe tomar en cuenta a áreas de química, mecánica de fluidos, estructura de sólidos, transferencia de calor, para el caso en que se desean diseñar secadores. Sin embargo estos procesos complicados aún no están del todo entendidos por lo que un análisis cuantitativo es dificultoso y no sabemos a las claras como funciona el proceso de extracción de humedad.

La mejor solución para el caso de secado de moldes de yeso en particular u otra sustancia, es la aplicación de métodos empíricos, que nos permitan llegar a conocer como son los regimenes de extracción de agua para piezas con peso y área determinadas.

Esta es la manera como muchas empresas fundidoras llegan a dominar el secado. Si lo hacen repetidamente, es lógico suponer que si no cambian los parámetros principales, siempre se llegará a tener la misma respuesta del proceso, formando así un patrón de comportamiento, pero, el mecanismo del movimiento del líquido en el interior de la estructura aún es dudoso. Debemos entender como dato extra que al calentarse a la presión atmosférica el yeso, según se conoce por termogramas, comienza a perder agua de 80 a 90 °C y de 120 a 140 °C se transforma totalmente en semihidrato o llamado yeso de moldear.

Al secar un sólido mediante temperatura y humedad fijas, siempre aparece ese patrón que deseamos encontrar, así:

- Al poner la muestra en el horno secador, inmediatamente la temperatura del sólido se ajusta hasta alcanzar estabilización, este es un periodo de ajuste.

- Periodo de secado a velocidad constante.

- Luego que el periodo de secado a la velocidad constante ha terminado, es decir, el sólido ha alcanzado un contenido crítico de humedad, la velocidad de secado disminuye rápidamente y la temperatura de la superficie aumenta.

Este tiempo puede ser mucho más largo que el tiempo tomado en el periodo de velocidad constante aunque el contenido de humedad sea menor.

- Esta velocidad se aproxima a cero para un contenido de humedad en equilibrio, que es la humedad ambiental que rodea inmediatamente al sólido, bajo la cual no es posible sacar más humedad del cuerpo, a no ser que se seque el aire que rodea al cuerpo por otros medios.

Se presentan a continuación 2 gráficas típicas con la cual se representan los datos experimentales de secado. La figura N° 12 representa a los puntos recogidos durante la experimentación, mientras que la figura N° 13 muestra el proceso más eficazmente, pero, hay que recordar que esta última gráfica se obtiene diferenciando los datos de la forma de la figura N° 12 por lo que esta gráfica se sujeta a una disgregación considerable de datos, dando incertidumbre en lo realizado.

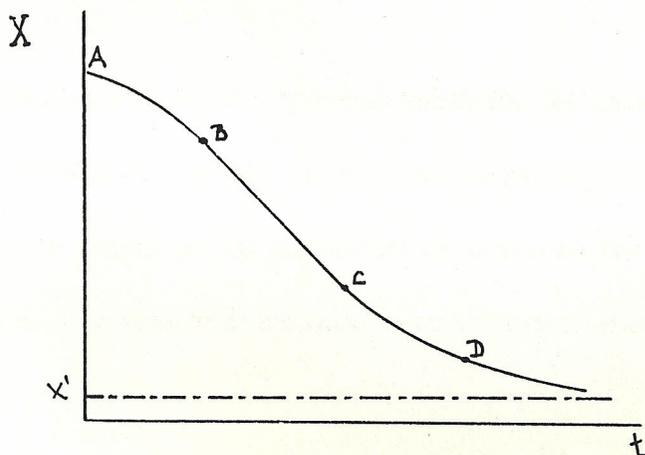


Figura N° 12 . Curva típica de secado para condiciones constantes, contenido de humedad en función del tiempo

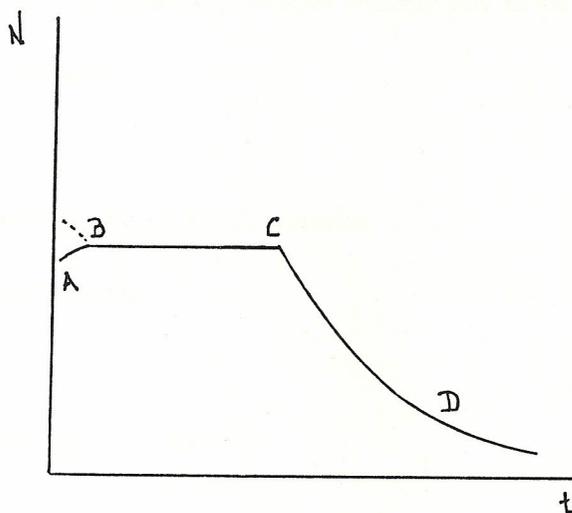


Figura N° 13. Curva típica para la velocidad del secado para condiciones constantes, la velocidad de secado como una función del tiempo

Otro punto por recordar es que como estamos tratando de secar un sólido granular, el movimiento de la humedad por los intersticios o poros, se debe a la acción de fuerzas capilares, tensión superficial y gravitación.

El tener que secar moldes de yeso, que están hidratados, las condiciones de secado afectan al producto al transformar el hidrato, que es lo que se desea en este caso, pero por otro lado los materiales no se afectan por las condiciones de secado en una gama amplia de temperaturas y humedad. El contenido de humedad en equilibrio para estas sustancias están muy próximas a cero.

#### Definiciones:

**\*\* Contenido de humedad, base húmeda:** contenido de humedad en un sólido en función del porcentaje en peso de la humedad

$$\text{Kg humedad} / \text{Kg de sólido seco} + \text{Kg de humedad}$$

**\*\* Contenido de humedad, base seca**

$$\text{Kg humedad} / \text{Kg sólido seco}$$

**\*\* Régimen de secado**

$$N = - G \cdot dx / (A \cdot dt)$$

$G$  = peso del sólido seco

$dx/dt$  = contenido de humedad en un periodo de tiempo

$A$  = superficie sobre la cual se lleva a cabo la evaporación.

Durante la parte experimental, se realizaron experiencias para obtener curvas de secado, con las 3 mezclas que previamente se han elegido, para lo cual se tomaron 2 temperaturas de referencia como son 250 y 400 °C.

A 250 °C, porque es una temperatura que se encuentra en el rango más utilizado de secado y que presenta menos inconvenientes para el molde.

A 400 °C, para analizar los cambios que sufre los moldes a temperaturas más elevadas y que nos muestre si existen daños, deterioro de la superficie, descomposición, etc.

Para hacer las pruebas, nos ayudamos de 4 moldes plásticos flexibles, que nos daban paralelepípedos de yeso, con diferentes medidas y espesores. Las experiencias se pueden tabular como sigue:

Tabla N° 11

Mezcla #1

Bloque #1

Temperatura de secado: 250 °C

Dimensiones (m): 0.2044\*0.1034\*0.1029

$t$ (h)	$G$ (Kg)	$AE$ (Kg)	$X$	$-dx/dt$	$N$ (Kg/m <sup>2</sup> h)
0	3.257	0	0.875	0	0
0.33	3.119	0.138	0.794	0.245	39.28
0.75	2.945	0.312	0.692	0.243	38.96
1.17	2.790	0.467	0.601	0.217	34.79
1.67	2.614	0.643	0.498	0.206	33.03
2.17	2.395	0.862	0.370	0.256	41.05
2.67	2.087	1.170	0.189	0.362	58.04
3.08	1.998	1.259	0.137	0.127	20.36
3.67	1.923	1.334	0.093	0.075	12.03
4.67	1.867	1.390	0.060	0.033	5.29
5.67	1.822	1.435	0.034	0.026	4.17
6.67	1.780	1.477	0.009	0.025	4.01
7.17	1.765	1.492	6E-04	0.008	1.35

$X$  está dado por Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco

$-dx/dt$  está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

Tabla N° 12

Mezcla # 1

Bloque #2

Temperatura de secado: 250 °C

Dimensiones (m): 0.1969\*0.1384\*0.0717

$t$ (h)	$G$ (Kg)	$A.E.$ (Kg)	$X$	$-dx/dt$	$N$
0	2.846	0	0.908	0	0
0.33	2.670	0.176	0.79	0.358	53.81
0.75	2.439	0.407	0.635	0.369	55.21
1.17	2.224	0.622	0.492	0.340	51.10
1.67	1.951	0.895	0.309	0.366	55.01
2.17	1.858	0.988	0.246	0.126	18.94
2.67	1.650	1.196	0.107	0.278	41.78
3.08	1.594	1.252	0.069	0.092	13.83
3.67	1.553	1.293	0.042	0.046	6.91
4.67	1.521	1.325	0.020	0.022	3.31
5.67	1.500	1.346	0.006	0.014	2.10
6.67	1.492	1.354	3.4E-04	5.7E-03	0.85
7.17	1.491	1.355	0	3.4E-04	0.05

$X$  está dado por Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco

$-dx/dt$  está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

Tabla N° 13

Mezcla # 1

Bloque #3

Temperatura de secado: 250 °C

Dimensiones (m): 0.1877\*0.0913\*0.055

$t$ (h)	$G$ (Kg)	$A.E.$ (Kg)	$X$	$-dx/dt$	$N$
0	1.420	0	0.909	0	0
0.33	1.286	0.134	0.728	0.548	81.22
0.75	1.106	0.314	0.487	0.574	85.07
1.17	0.971	0.449	0.305	0.433	64.17
1.67	0.907	0.513	0.219	0.172	25.49
2.17	0.830	0.590	0.116	0.206	30.53
2.67	0.764	0.656	0.027	0.178	26.38
3.08	0.750	0.670	0.008	0.046	6.82
3.67	0.745	0.675	0.001	0.012	1.78
4.67	0.745	0.675	0.001	0	0
5.67	0.745	0.675	6E-04	4E-04	0

$X$  está dado por Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco

$-dx/dt$  está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

Tabla N° 14

Mezcla # 1

Bloque #4

Temperatura de secado: 250 °C

Dimensiones (m): 0.1625\*0.10\*0.0452

$t$ (h)	$G$ (Kg)	$A.E.$	$X$	$-dx/dt$	$N$
0	1.059	0	0.894	0	0
0.33	0.938	0.121	0.678	0.655	81.01
0.75	0.906	0.153	0.621	0.136	16.82
1.17	0.707	0.352	0.265	0.848	104.87
1.67	0.667	0.392	0.193	0.144	17.81
2.17	0.608	0.452	0.087	0.212	26.22
2.67	0.565	0.494	0.011	0.152	18.80
3.08	0.560	0.499	0.002	0.022	2.72
3.67	0.559	0.500	0	3.4E-04	0.042

$X$  está dado por Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco

$-dx/dt$  está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

Tabla N° 15

Mezcla # 2

Bloque #1

Temperatura de secado: 250 °C

Dimensiones (m): 0.1458\*0.1045\*0.1033

$t$ (h)	$G$ (Kg)	$A.E.$ (Kg)	$X$	$-dx/dt$	$N$
0	2.338	0	0.835	0	0
0.5	2.181	0.157	0.707	0.256	29.04
1	2.047	0.2915	0.598	0.218	24.73
1.5	1.794	0.545	0.391	0.414	46.96
2	1.584	0.754	0.220	0.342	38.80
2.5	1.495	0.843	0.147	0.146	16.56
3	1.451	0.887	0.111	0.072	8.17
3.5	1.397	0.941	0.067	0.088	9.98
4	1.357	0.982	0.034	0.066	7.49
4.78	1.315	1.024	0	0.043	4.88

$X$  está dado por Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco

$-dx/dt$  está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

Tabla Nº 16

Mezcla # 2

Bloque #2

Temperatura de secado: 250 °C

Dimensiones (m): 0.1972\*0.1388\*0.0677

<i>t</i> (h)	<i>G</i> (Kg)	<i>A.E.</i> (Kg)	<i>X</i>	<i>-dx/dt</i>	<i>N</i>
0	2.717	0	0.866	0	0
0.5	2.426	0.291	0.662	0.408	61.81
1	2.163	0.554	0.478	0.368	55.75
1.5	1.902	0.815	0.294	0.368	55.75
2	1.724	0.993	0.169	0.250	37.87
2.5	1.643	1.074	0.112	0.114	17.27
3	1.605	1.112	0.086	0.052	7.88
3.5	1.556	1.161	0.052	0.068	10.30
4	1.519	1.199	0.025	0.054	8.18
4.78	1.483	1.234	0	0.032	4.85

*X* está dado por Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco

*-dx/dt* está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

Tabla N° 17

Mezcla # 2

Bloque #3

Temperatura de secado: 250 °C

Dimensiones (m): 0.1872\*0.0922\*0.0428

<i>t</i> (h)	<i>G</i> (Kg)	<i>A.E.</i> (Kg)	<i>X</i>	<i>-dx/dt</i>	<i>N</i>
0	1.064	0	0.861	0	0
0.5	0.8725	0.192	0.518	0.686	97.00
1	0.720	0.344	0.244	0.548	77.49
1.5	0.664	0.400	0.143	0.202	28.56
2	0.622	0.442	0.069	0.148	20.93
2.5	0.605	0.450	0.037	0.064	9.05
3	0.597	0.468	0.023	0.028	3.96
3.5	0.588	0.476	0.008	0.030	4.24
4	0.584	0.480	6E-04	0.015	2.09
4.78	0.584	0.481	0	8E-04	0.11

*X* está dado por Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco

*-dx/dt* está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

Tabla N° 18

Mezcla # 2

Bloque #4

Temperatura de secado: 250 °C

Dimensiones (m): 0.1617\*0.090\*0.0414

$t$ (h)	$G$ (Kg)	$A.E.$ (Kg)	$X$	$-dx/dt$	$N$
0	0.907	0	0.875	0	0
0.5	0.695	0.212	0.429	0.892	103.38
1	0.602	0.305	0.233	0.392	45.43
1.5	0.547	0.360	0.118	0.230	26.66
2	0.514	0.394	0.047	0.142	16.46
2.5	0.501	0.406	0.021	0.052	6.03
3	0.495	0.412	0.008	0.026	3.01
3.5	0.494	0.414	0.005	0.006	0.70
4	0.493	0.415	0.003	0.004	0.46
4.78	0.491	0.416	3E-04	3.4e-04	0.39

$X$  está dado por Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco

$-dx/dt$  está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

Tabla N° 19

Mezcla # 3

Bloque # 1

Temperatura de secado: 250 °C

Dimensiones (m): 0.2029\*0.1063\*0.1043

<i>t</i> (h)	<i>G</i> (Kg)	<i>A.E.</i> (Kg)	<i>X</i>	$-dx/dt$	<i>N</i>
0	3.230	0	0.865	0	0
0.5	3.024	0.206	0.743	0.244	37.22
1.17	2.638	0.593	0.515	0.340	51.86
1.67	2.310	0.920	0.321	0.388	59.18
2.58	1.995	1.235	0.135	0.204	31.11
3.5	1.883	1.347	0.069	0.072	10.98
4.5	1.799	1.431	0.020	0.049	7.47
5.08	1.776	1.454	0.006	0.024	3.67

X está dado por Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco

-dx/dt está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

Tabla N°20

Mezcla # 3

Bloque # 2

Temperatura de secado: 250 °C

Dimensiones (m): 0.197\*0.1381\*0.0693

$t$ (h)	$G$ (Kg)	$A.E.$ (Kg)	$X$	$-dx/dt$	$N$
0	2.716	0	0.888	0	0
0.5	2.530	0.186	0.757	0.262	38.93
1.17	2.191	0.525	0.518	0.357	53.04
1.67	1.897	0.819	0.312	0.412	61.22
2.58	1.639	1.077	0.130	0.199	29.57
3.5	1.551	1.165	0.068	0.068	10.10
4.5	1.470	1.246	0.012	0.056	8.33
5.08	1.453	1.263	5E-04	0.022	3.27

$X$  está dado por Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco

$-dx/dt$  está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

Tabla N° 21

Mezcla # 3

Bloque # 3

Temperatura de secado: 250 °C

Dimensiones (m): 0.189\*0.09280.0585

$t$ (h)	$G$ (Kg)	$A.E.$ (Kg)	$X$	$-dx/dt$	$N$
0	1.512	0	0.871	0	0
0.5	1.403	0.109	0.734	0.274	40.32
1.17	1.205	0.307	0.484	0.373	54.89
1.67	1.039	0.473	0.275	0.418	61.51
2.58	0.914	0.598	0.117	0.174	25.61
3.5	0.869	0.643	0.060	0.062	9.12
4.5	0.828	0.684	0.008	0.052	7.65
5.08	0.821	0.691	0	0.016	2.35

$X$  está dado por Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco

$-dx/dt$  está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

Tabla Nº 22

Mezcla # 3

Bloque # 4

Temperatura de secado: 250 °C

Dimensiones (m): 0.163\*0.1029\*0.0534

$t$ (h)	$G$ (Kg)	$A.E.$ (Kg)	$X$	$-dx/dt$	$N$
0	1.247	0	0.855	0	0
0.5	1.150	0.097	0.706	0.298	35.41
1.17	0.965	0.282	0.423	0.422	50.15
1.67	0.821	0.426	0.203	0.440	52.29
2.58	0.730	0.517	0.063	0.154	18.30
3.5	0.700	0.547	0.018	0.049	5.82
4.5	0.688	0.559	0	0.018	0.19
5.08	0.688	0.559	0	0	0

$X$  está dado por Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco

$-dx/dt$  está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

Luego de experimentar el secado de los bloques de yeso a 250 °C, analizamos lo que sucede también con los moldes al secarlos a 400 °C. Hay que tomar en cuenta que por problemas que se presentaron con la mezcla #3, se hizo la nueva experimentación con las mezclas 1 y 2 preferentemente. Estos detalles luego se irán explicando en los respectivos análisis de resultados.

Tabla N° 23

Mezcla # 1

Bloque # 1

Temperatura de secado: 400 °C

Dimensiones (m): 0.1954\*0.1039\*0.1038

$t$ (h)	$G$ (Kg)	$A.E.$ (Kg)	$X$	$-dx/dt$	$N$
0	3.105	0	0.920	0	0
0.417	2.599	0.507	0.550	0.890	134.08
0.917	2.189	0.916	0.300	0.500	75.32
1.417	1.909	1.197	0.130	0.340	51.22
1.917	1.778	1.327	0.048	0.164	24.71
2.5	1.701	1.405	1.8E-04	0.082	12.35

$X$  está dado por Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco

$-dx/dt$  está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

Tabla N°24

Mezcla # 1

Bloque # 2

Temperatura de secado: 400 °C

Dimensiones (m): 0.197\*0.1386\*0.071

$t$ (h)	$G$ (Kg)	$A.E.$ (Kg)	$X$	$-dx/dt$	$N$
0	2.940	0	0.890	0	0
0.417	2.420	0.52	0.550	0.815	127.54
0.917	2.050	0.890	0.310	0.480	75.12
1.417	1.766	1.170	0.120	0.380	59.47
1.917	1.660	1.280	0.056	0.128	20.03
2.5	1.574	1.370	7.8E-04	0.095	14.87

$X$  está dado por Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco

$-dx/dt$  está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

Tabla N° 25

Mezcla # 1

Bloque # 3

Temperatura de secado: 400 °C

Dimensiones (m): 0.1877\*0.0924\*0.0576

$t$ (h)	$G$ (Kg)	$A.E.$ (Kg)	$X$	$-dx/dt$	$N$
0	1.458	0	0.907	0	0
0.417	1.165	0.290	0.524	0.918	131.78
0.917	0.971	0.490	0.270	0.508	72.92
1.417	0.837	0.620	0.095	0.350	50.24
1.917	0.790	0.670	0.033	0.124	17.80
2.5	0.765	0.690	3.1E-04	0.056	8.04

$X$  está dado por Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco

$-dx/dt$  está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

Tabla N° 26

Mezcla # 1

Bloque # 4

Temperatura de secado: 400 °C

Dimensiones (m): 0.1657\*0.1034\*0.054

$t$ (h)	$G$ (Kg)	$A.E.$ (Kg)	$X$	$-dx/dt$	$N$
0	1.229	0	0.912	0	0
0.417	0.984	0.245	0.532	0.911	104.83
0.917	0.785	0.445	0.222	0.620	71.34
1.417	0.684	0.545	0.065	0.314	36.13
1.917	0.649	0.580	0.010	0.110	12.66
2.5	0.643	0.586	0	0.017	1.96

$X$  está dado por Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco

$-dx/dt$  está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

Tabla N° 27

Mezcla # 2

Bloque # 1

Temperatura de secado: 400 °C

Dimensiones (m): 0.198\*0.1039\*0.1026

$t$ (h)	$G$ (Kg)	$A.E.$ (Kg)	$X$	$-dx/dt$	$N$
0	3.076	0	0.862	0	0
0.5	2.350	0.726	0.412	0.900	136.10
1	1.969	1.107	0.175	0.474	71.68
1.5	1.783	1.293	0.060	0.230	34.78
2.17	1.714	1.362	0.017	0.064	9.68
2.5	1.687	1.389	2.2E-04	0.051	7.71

$X$  está dado por Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco

$-dx/dt$  está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

Tabla N° 28

Mezcla # 2

Bloque # 2

Temperatura de secado: 400 °C

Dimensiones (m): 0.197\*0.1376\*0.0717

<i>t</i> (h)	<i>G</i> (Kg)	<i>A.E.</i> (Kg)	<i>X</i>	<i>-dx/dt</i>	<i>N</i>
0	2.773	0	0.879	0	0
0.5	2.079	0.694	0.401	0.956	140.79
1	1.726	1.047	0.159	0.484	23.42
1.5	1.565	1.208	0.048	0.222	7.07
2.17	1.514	1.259	0.013	0.052	1.91
2.5	1.495	1.278	0	0.040	0

*X* está dado por Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco

*-dx/dt* está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

Tabla N° 29

Mezcla # 2

Bloque # 3

Temperatura de secado: 400 °C

Dimensiones (m): 0.1875\*0.0924\*0.061

<i>t</i> (h)	<i>G</i> (Kg)	<i>A.E.</i> (Kg)	<i>X</i>	<i>-dx/dt</i>	<i>N</i>
0	1.536	0	0.890	0	0
0.5	1.140	0.397	0.397	0.986	140.82
1	0.943	0.593	0.152	0.490	69.98
1.5	0.854	0.682	0.042	0.220	31.42
2.17	0.830	0.707	0.011	0.046	6.57
2.5	0.821	0.716	2.5E-04	0.033	4.71

*X* está dado por Kg H<sub>2</sub>O /Kg material seco

*-dx/dt* está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

Tabla N° 30

Mezcla # 2

Bloque # 4

Temperatura de secado: 400 °C

Dimensiones (m): 0.1631\*0.090\*0.0512

$t$ (h)	$G$ (Kg)	$A.E.$ (Kg)	$X$	$-dx/dt$	$N$
0	1.151	0	0.900	0	0
0.5	0.817	0.330	0.348	1.104	131.33
1	0.679	0.470	0.119	0.458	54.49
1.5	0.620	0.531	0.020	0.198	23.55
2.17	0.608	0.543	0.001	0.028	3.33
2.5	0.607	0.542	0	0.004	0.48

$X$  está dado por Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco

$-dx/dt$  está dado por (Kg H<sub>2</sub>O/Kg material seco)/h

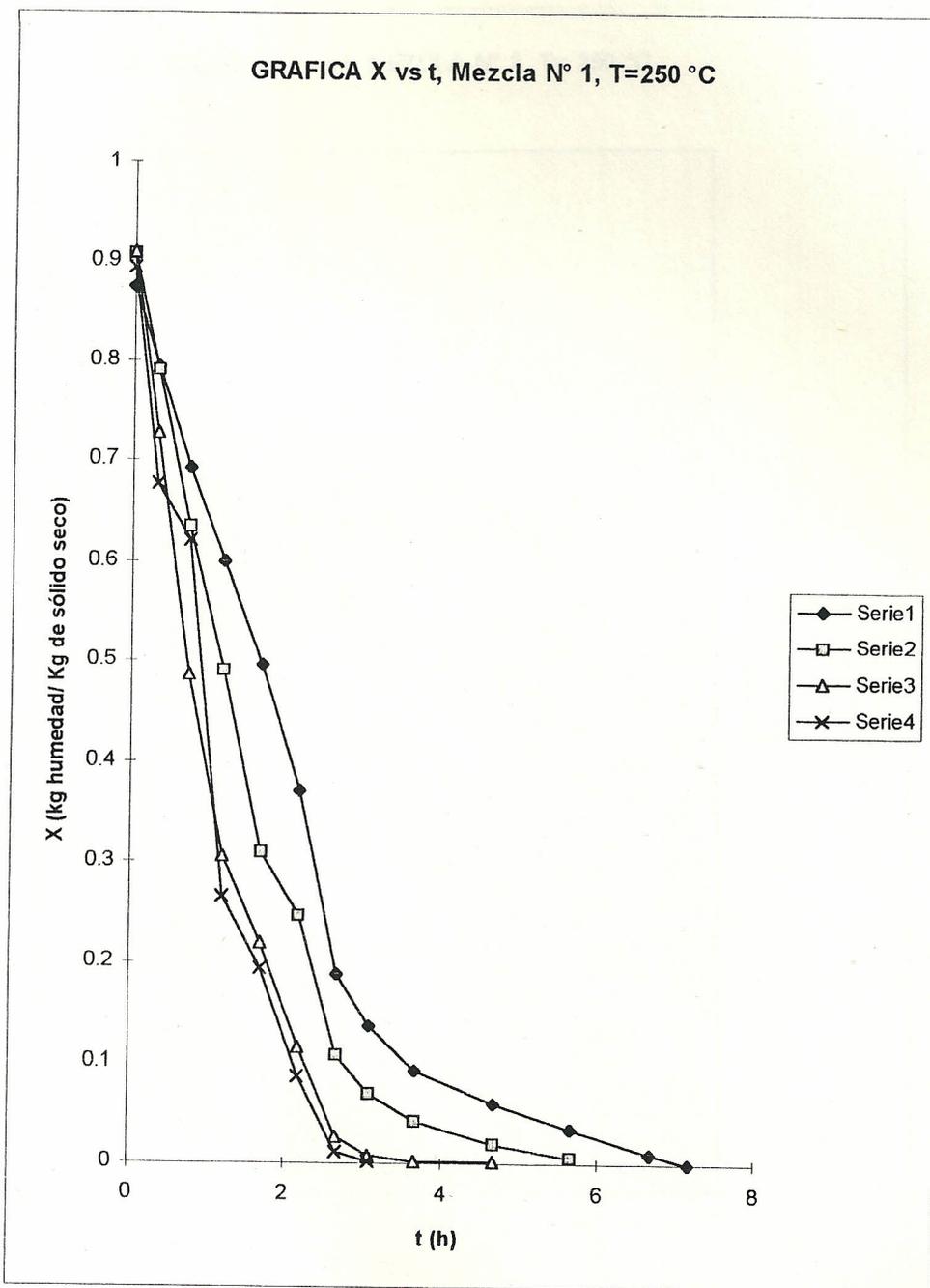


Figura N° 14, Gráfica X vs t, Mezcla N° 1, T= 250 °C: Serie = Bloque

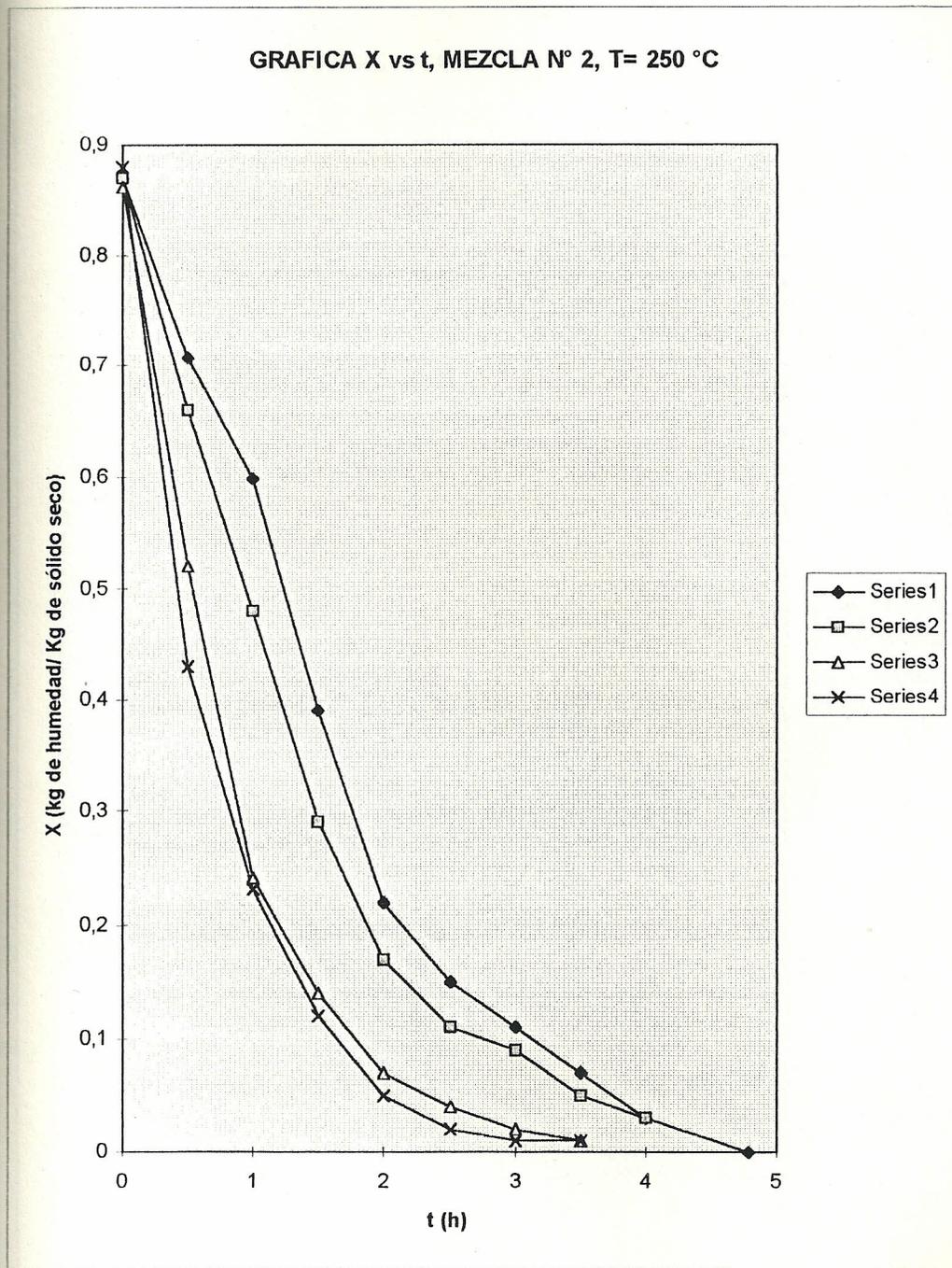


Figura N° 15, Gráfica X vs t, Mezcla N° 2, T=250 °C : Serie=Bloque

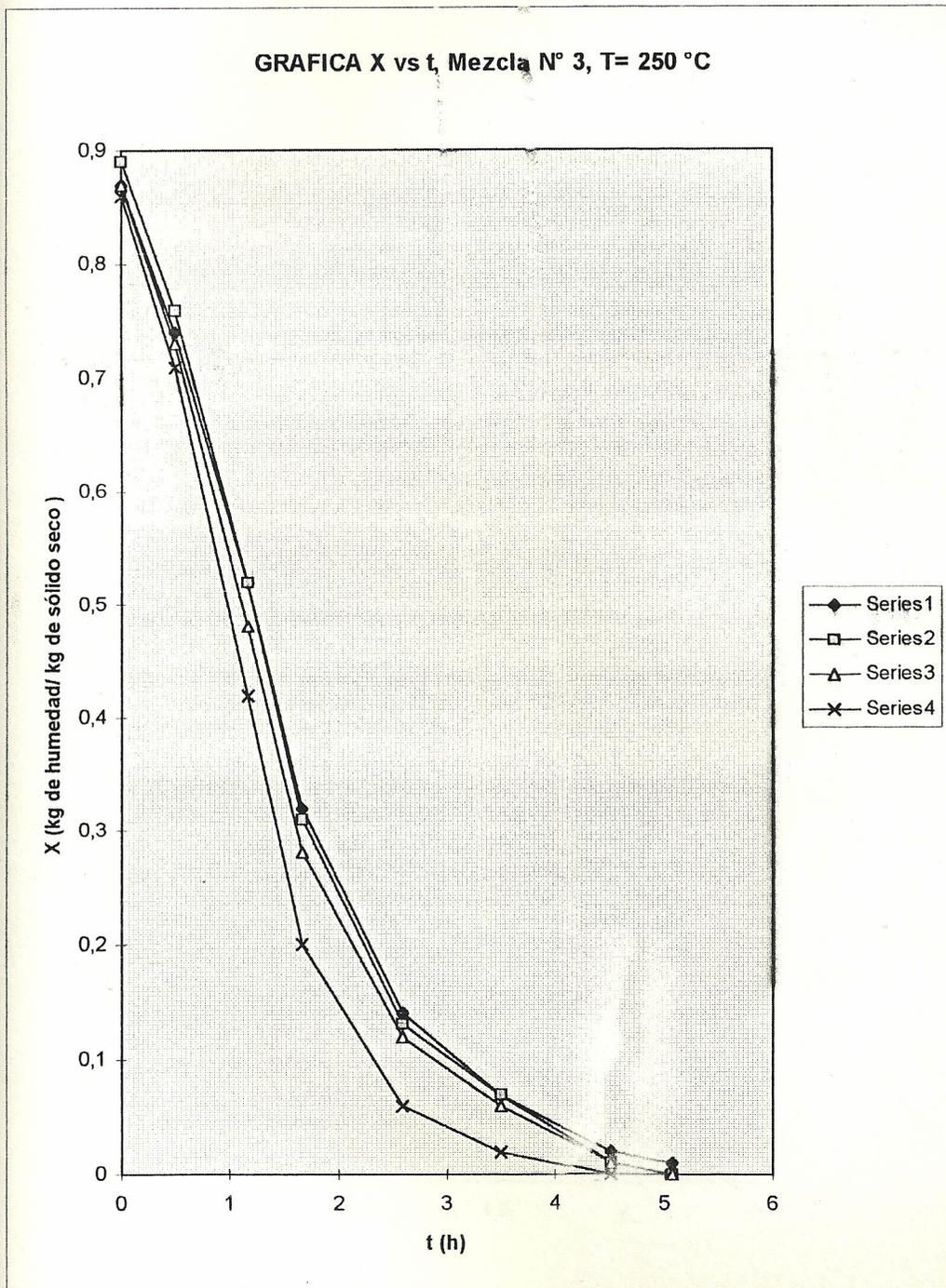


Figura N° 16, Gráfica X vs t, Mezcla N° 3, T=250 °C: Serie = Bloque

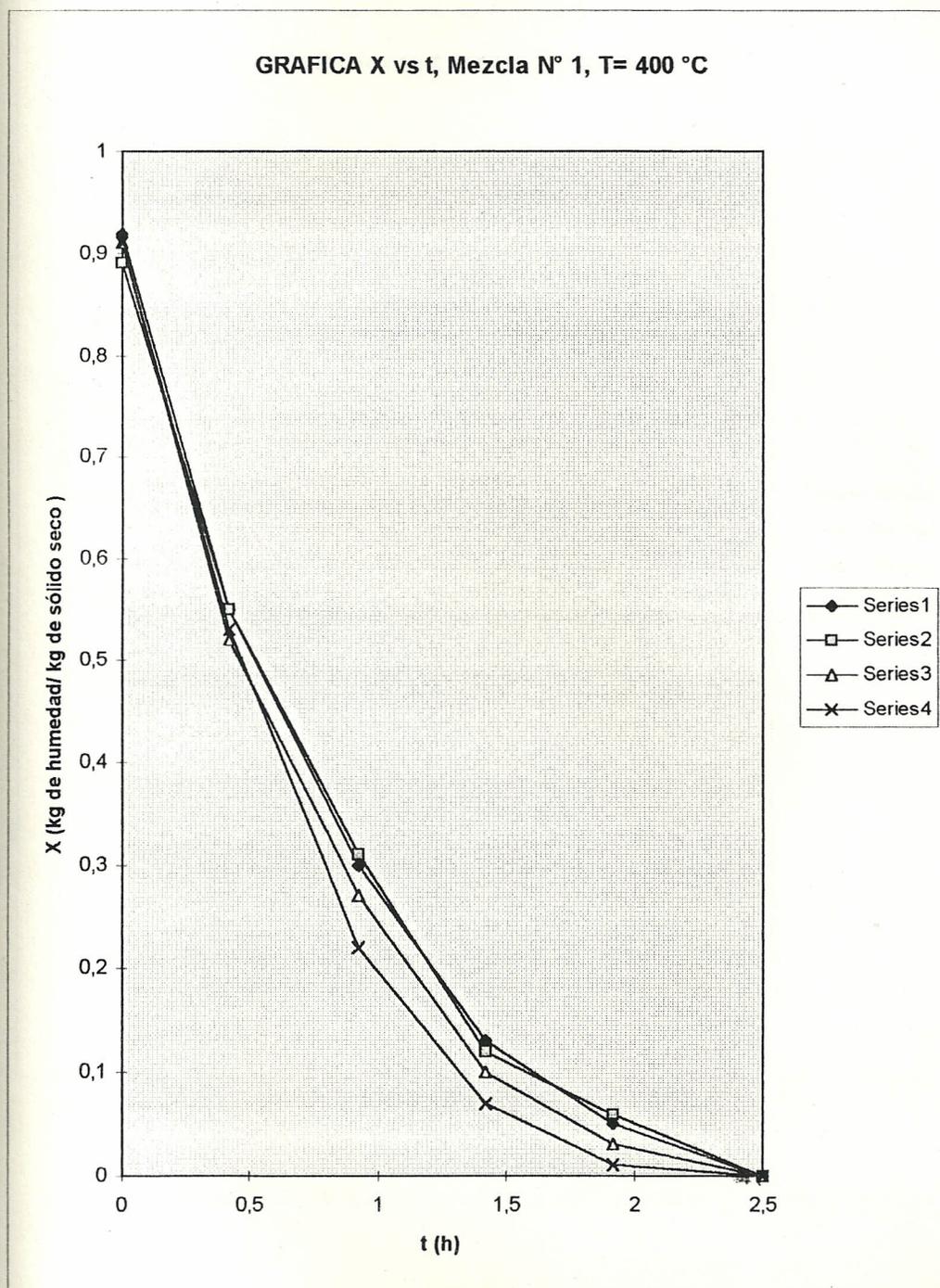


Figura N° 17, Gráfica X vs t, Mezcla N°1, T=400 °C: Serie = Bloque

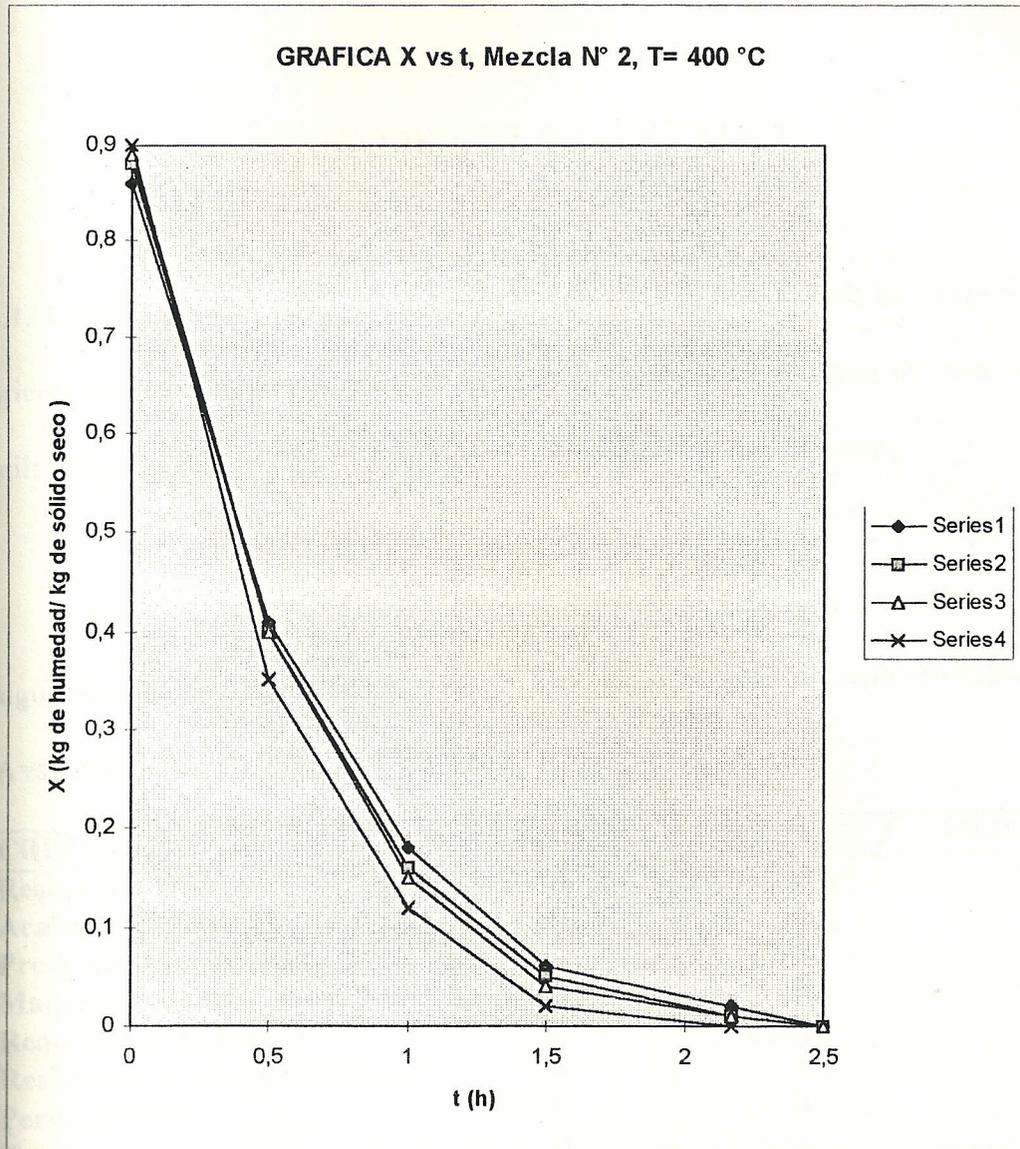


Figura N° 18, Gráfica X vs t, Mezcla N° 2, T = 400 °C: Series = Bloque

## CAPITULO N° 3

### ANALISIS DE RESULTADOS

**3.1. CALIDAD DE LOS MOLDES.** El objetivo de la presente investigación está orientado a encontrar una mezcla de cuatro componentes en base de yeso que sea utilizable para fabricar moldes de fundición para aleaciones no ferrosas.

Los criterios de aceptación del material seco se describen a continuación en la siguiente matriz de decisión, estos han sido evaluados cualitativamente con A=sobresaliente, B= bueno y C= regular.

CRITERIOS	MEZCLA N° 1	MEZCLA N° 2	MEZCLA N° 3
Resistencia Mecánica	A	B	C
Acabado Superficial	A	A	B
Precisión Dimensional	A	A	A
Manejo de moldes	B	B	C
Reactividad de moldes	B	B	B
Resistencia al choque térmico	B	B	C
Permeabilidad	C	B	A
Total	B	A	C

De acuerdo a esta matriz de decisión las mezclas 1 y 2 presentan buenas características para trabajar con ellas, haciendo moldes mediante el método de trabajo empleado y en ellas el acabado superficial es la parte primordial para sus aplicaciones

La mezcla N° 3, tiene acabado superficial aceptable, pero su desventaja es que se presenta dificultad para su manejo, se vuelven tan delicados luego del secado que fácilmente se fisuran si son tratados con un poco de brusquedad. Posee baja resistencia al choque térmico fracturándose profundamente, de ahí que la eliminamos para experimentar con la temperatura de 400 °C.

La mezcla con las mejores características cualitativas por lo tanto es la N° 2, con los siguientes porcentajes:

Yeso 65%

Arena 18%

Talco 16.16%

Cemento 0.4%

El yeso es un material que naturalmente tiene agua de composición química, en nuestro caso para fundir metales no ferrosos en moldes de yeso, es necesario el secado de estos hasta tener humedades tan bajas como 0%, para no tener ningún problema con la presencia de vapor de agua que dañe el metal con porosidades. De ahí que se hicieron experimentaciones de secado a 250 y 400 °C, obteniéndose curvas con pérdida de humedad vs tiempo. De acuerdo al análisis para la mezcla N° 2, que fue la que presentó las mejores características podemos observar de las figuras N° 15 y N° 18, los periodos de ajuste, velocidad constante y periodo de velocidad decreciente para los cuatro bloques ensayados a 250 °C y 400 °C respectivamente. Estos datos se presentaron en las tablas N° 31 y N° 32.

Tabla N° 31. Periodo de secado a 250 °C, para la mezcla N° 2

<i>BLOQUE</i>	<i>TIEMPO ESTIMADO PARA PERIODO DE AJUSTE</i>	<i>TIEMPO ESTIMADO PARA PERIODO DE VELOCIDAD CONSTANTE</i>	<i>TIEMPO ESTIMADO PARA PERIODO DE VELOCIDAD DECRECIENTE</i>
N° 1	1 hora	1.5 horas	3.8 horas
N° 2	0.6 horas	2.2 horas	2.4 horas
N° 3	0.5 horas	1.5 horas	2 horas
N° 4	0.3 horas	1.4 horas	1.8 horas

Tabla N° 32. Periodos de secado a 400 °C, para la mezcla N° 2

<i>BLOQUE</i>	<i>TIEMPO ESTIMADO PARA PERIODO DE AJUSTE</i>	<i>TIEMPO ESTIMADO PARA PERIODO DE VELOCIDAD CONSTANTE</i>	<i>TIEMPO ESTIMADO PARA PERIODO DE VELOCIDAD DECRECIENTE</i>
N° 1	< 10 minutos	1.5 horas	1.1 horas
N° 2	< 10 minutos	1.4 horas	0.9 horas
N° 3	< 10 minutos	1.2 horas	0.8 horas
N° 4	< 10 minutos	1 hora	0.7 horas

Es de notar además que mientras menos sección tienen los moldes, los periodos de velocidad constante disminuyen con respecto al tiempo empezando luego los periodos de velocidad decreciente, que por supuesto también son más cortos.

Mientras más bajas las temperaturas de secado, las curvas se suavizan rigiéndose a las curvas standrats de secado notoriamente.

Las gráficas producto de las tablas para cada mezcla, bloque y temperatura, nos dan una idea de los tiempos que demora en secarse una futura aplicación en yeso, pudiendo ser esta un molde o corazón. Las características de la velocidad de secado y extracción de humedad para tiempo determinado se presentan en la forma típica de las curvas de secado. Debido a que es un proceso aplicable especialmente a fundición de piezas pequeñas, los moldes por ende no serán de gran tamaño y creemos que los datos obtenidos ofrecerán al futuro aplicador de esta técnica una idea base que lo guiará a alcanzar la experiencia de secado y comportamiento de cada molde o corazón que utilizará.

Otro punto, es la dureza que adquieren los moldes secos, para ello tomamos dureza con un durómetro de corazones, lo que nos presenta los siguientes resultados expuestos en la Tabla N° 33.

**Tabla N 33 Dureza de moldes de yeso, con diferentes mezclas**

<i>MEZCLAS</i>	<i>DUREZA</i>
MEZCLA N° 1	79.5, 80, 79, 79, 79, 79, 79 = PROM. 79
MEZCLA N° 2	74, 70, 73, 70, 75 = PROM. 73
MEZCLA N° 3	67, 65, 60, 65, 66, 60, 65, PROM. 64

Tomado del medidor dureza de corazones de Harry W Dietert Co..Laboratorio de Metalurgia, sin unidades

La tabla anterior nos da una idea de la resistencia mecánica del molde, y efectivamente así es, porque, mientras más arena tiene el molde, menos resistente es.

**3.2. CALIDAD DE PRODUCTOS FUNDIDOS.** Hacemos un análisis de las fundiciones hechas tanto en molde metálico, arena y yeso. Hecha la fundición para lo cual utilizamos la aleación 713.0 en estos 3 materiales, tomamos fotografías que permiten ver la diferencia en el acabado. Estas fotografías se presentan en las figuras N° 19, 20 y 21. Hay que tomar en cuenta que se utilizó la 713.0 porque es la aleación que necesitamos conocer para hacer el trabajo de la empresa privada.

Se cimienta esto con la toma de rugosidad para las 3 muestras metálicas dadas en la Tabla N° 34.

**Tabla N°34. Rugosidades de las muestras ensayadas**

<i>MUESTRA</i>	<i>RUGOSIDAD</i>
ACABADO EN MOLDE METALICO	0.4 um tomado de molde N5 fresado
ACABADO EN MOLDE DE YESO	0.9 um, moldeado en vidrio N3
ACABADO EN MOLDE DE ARENA	3.2 um generalmente

Se utilizó Comparador Standart de rugosidad. Código N° 52-720-000.

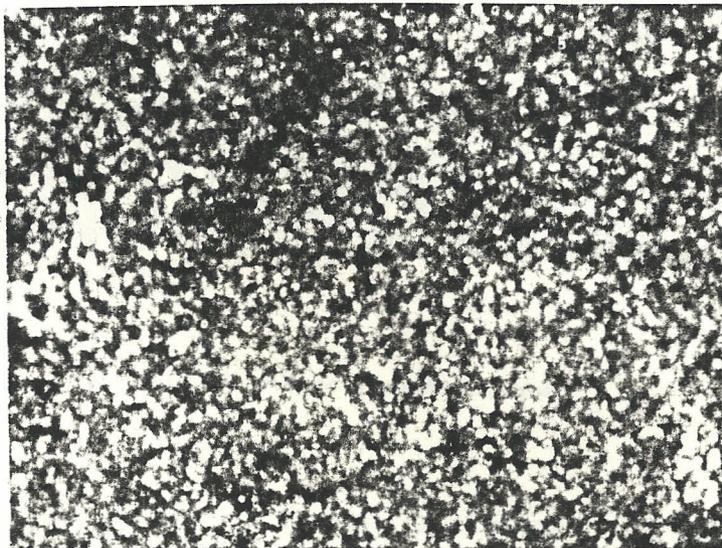
Marca Fowler. Laboratorio de Metrología

Las muestras ensayadas, nos muestran como en el acabado de yeso se obtiene gran calidad parecida a la obtenida si se funde en molde metálico que sería el acabado ideal asumiendo que los moldes también tienen acabado ideal, de ahí que en muchos casos se utiliza yeso para hacer prototipos que luego se usarán en moldes metálicos.

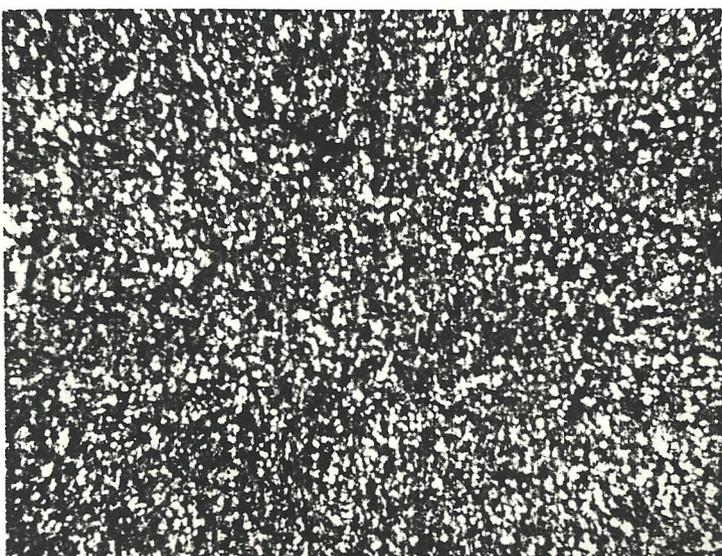
Una observación más que se pudo hacer, es que el tamaño de grano para aleaciones fundidas en moldes de yeso, tiende a aumentar, lo comprobamos al fundir probetas de bronce al aluminio y de aleación de aluminio 713.0. Por ello es aconsejable

aconsejable, que se escojan aleaciones apropiadas para enfriamiento lento, como las dadas anteriormente en el capítulo N° 2

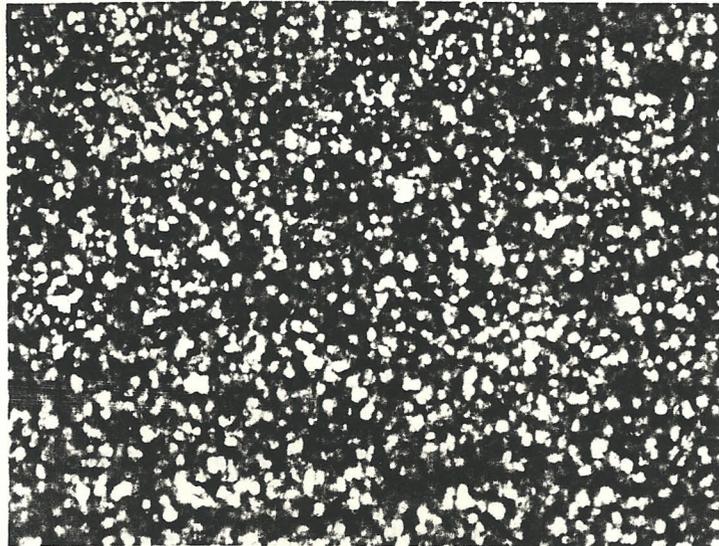
En cuanto a espesores de pared mínimos logramos fundir el espesor de 0.6 mm, haciendol el molde de un vaso de acero inoxidable de espesor de pared de 0.5 mm. Con respecto a la precisión dimensional en el caso de aplicación se analizará, de la mejor manera..



**Figura N° 19. Acabado en molde metálico**



**Figura N° 20. Acabado en molde de yeso**



**Figura N° 21. Acabado en molde de arena**

**Aplicacion de fundición en moldes de Yeso en el campo real.** Se presentó la oportunidad de aplicar el proceso de fundición en moldes de yeso en un caso real. El objetivo era hacer moldes para poliestireno expandido que servirían para la producción de esquineros de refrigeradoras por parte de la empresa PLUMAVIT.

Se ofreció este nuevo servicio, por lo cual PLUMAVIT nos envió los planos de lo que sería la pieza terminada de poliestireno y que sería su producto para la venta a otra empresa productora de refrigeradoras denominada INDURAMA. Los planos se presentan en los anexos como Plano N° 1 y Plano N° 2.

En primer lugar se tomaron las exigencias de la empresa contratante, es decir ellos necesitaban 2 placas portamoldes, las cuales llevarían 16 moldes para obtener espumas, 8 del tamaño mostrado en el plano N° 1 y 8 mostrados en el plano N° 2. Estos moldes son de la aleación de aluminio UNS 713.0, la cual si observamos el listado de las aleaciones recomendadas para este metal, no consta, por lo tanto también debíamos experimentar con esta para ver como rendía en moldes de yeso.

Nos concentraremos en el proceso de obtención de los 16 moldes, porque se aplica lo que nos encontramos desarrollando, para ello se ideó la construcción de 2 machos ( que de ahora en adelante llamaremos machos N° 1 o matrices) del molde que queríamos obtener, los cuales fueron hechos de aluminio y finalmente corregidas sus fallas con masilla. Luego fueron maquinados para obtener precisión de medidas de acuerdo a los planos. Finalmente con una pistola de aire comprimido se pasaron algunas algunas manos de un compuesto de masilla con diluyente a manera de pintura. Al tener los machos pintados, se pulió con lija muy fina y agua hasta obtener un acabado excelente e ideal de acuerdo a las exigencias de los moldes para poliestireno que de ahora en adelante llamaremos simplemente el producto final..

Una vez obtenido los machos matrices, se hizo una prueba para obtener un negativo de los matrices haciendolos de arena muy fina y tamizada y con la ayuda de cajas de madera en forma paralelepípeda de medidas interiores de 100\*100 y 200 mm de altura. Se colocaron los negativos en una caja de arena con orificio de forma paralelepípeda también cuyas paredes nos darían la parte exterior del producto final,

pasando a ser estos negativos en machos del molde de la caja de arena, a los que denominaremos machos finales. Se fundió sobre ellos en la caja de arena ofreciéndonos un acabado muy malo, que nos obligaría a maquinar el producto final interiormente, lo cual es muy difícil y complicado.

Una vez demostrado que la arena no servía para este producto final, pasamos a aplicar el moldeo en yeso, para lo cual se siguió el mismo procedimiento, aplicando luego la fundición en un molde de arena con macho final de yeso, lo que dió como resultado un buen acabado interior ideal al exigido por el cliente. Sin embargo se presentó el problema de que la aleación no era la adecuada para enfriamiento lento, presentando rechupes en algunos sectores y crecimiento de grano, notándose a simple vista las dendritas.

Se solucionó este problema con el uso de un enfriador metálico, tal y como se lo ve en las fotografías. Este enfriador tenía la forma de un tubo, el cual se rellenó de granalla.

Se solucionó el problema eliminando los rechupes, obteniendo muy buen acabado interior gracias al yeso.

Para evitar no tener estética en el producto final en su parte exterior y evitar su maquinado, se construyeron cajas de plancha de acero de 4 mm de espesor de 101\*101\*200, funcionando como moldes metálicos con macho de yeso, cosa que no

afectó al producto e incluso mejoró sus características. 1 mm más para compezar la pequeñísima pérdida de medida, que en el mayor de los casos fue de 0.6 mm por cada 10 cm.

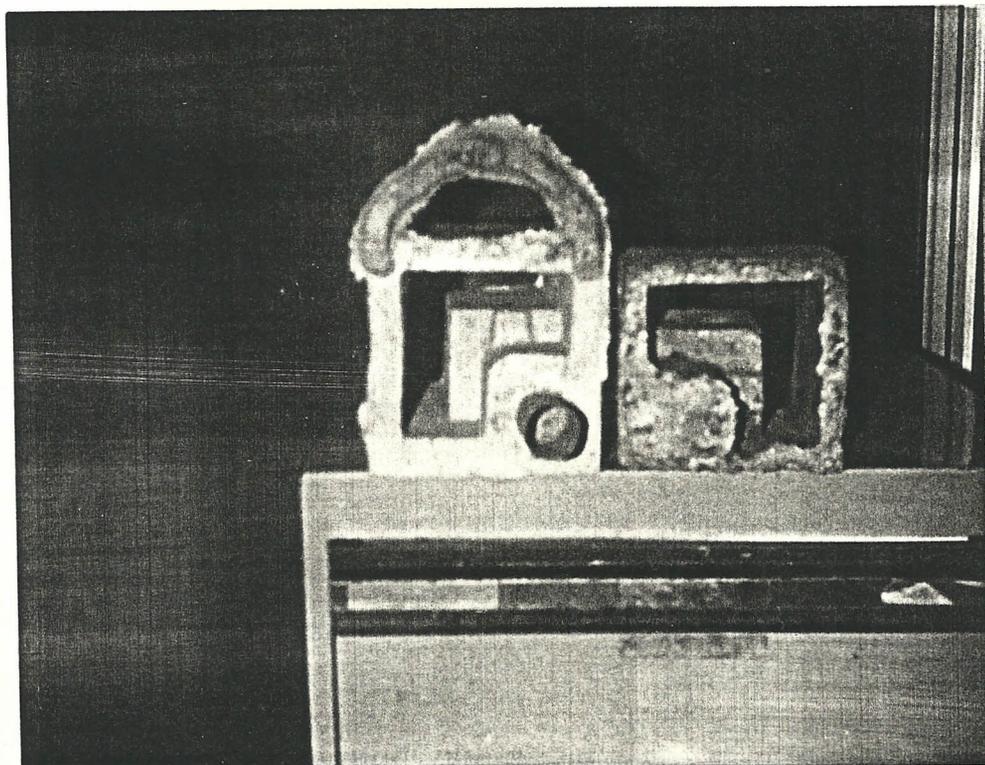
Para entenderlo mejor se presentá 2 moldes para poliestireno expandido o espuma fundidos en yeso y arena que se presenta en la figura N° 22 y que permite apreciar las notorias diferencias.

El tiempo estimado para hacer estos 16 moldes para poliestireno o producto final solamente fundidos y sin maquinar puede ser de 4 días, aunque para nosotros que experimentamos con el proceso nuevo, fue necesario alrededor de 1 mes, para lo cual hicimos 5 fundiciones hasta obtener lo que se deseaba, porque según avanzabamos, se presentaban problemas como rechupes, grano grueso, estética exterior, etc.

Finalmente se obtuvieron las siguientes características:

Rugosidad	Tolerancia
1 um	0.005-0.006 mm/mm

Una vez obtenidos los moldes se los maquinó para darles la medida de 175 y 125 mm respectivamente para los 2 tipos de moldes, para ello se utilizó un torno para disminuir tiempos de trabajo y no utilizar la fresadora que era muy lenta para este caso, tiempo estimado de trabajo: 2 días.



**Figura N° 22. Fotografía de los moldes fundidos en arena y yeso para comparación.**

Los moldes tienen difusores de bronce, los cuales permiten que en el momento de ser inyectados de espuma de poliestireno granular + vapor + agua= cocción del poliestireno y obtención de los esquineros, despegarlos por inyección de aire a altas presiones. Para introducir estos difusores, se taladraron huecos y se metieron en ellos los difusores a presión para evitar que saqlgan disparados al soplarse aire por ellos en el momento de su funcionamiento. Tiempo estimado: 10 días.

Se fundieron además 2 placas que servirían de portamoldes, fueron coladas en arena debido a la extensa magnitud de ellas, teniendo que maquinar para daarle las

medidas finales, lo cual fue un trabajo extenso, mucho más del invertido en los 16 molde, lo que nos dá parámetros de las ventajas del yeso, ya que los moldes en su interior nunca fueron maquinados y se entregaron a la empresa contratante tal y como salieron de fundición. Tiempo estimado para la preparación en arena del molde, fundido y maquinado: 25 días.

Maquinado para inyectores, pistas, difusores en las pistas, etc, tiempo estimado: 1.5 semanas.

Los moldes terminados se pueden apreciar en su interior en la figuras N° 23, 24 y 25.

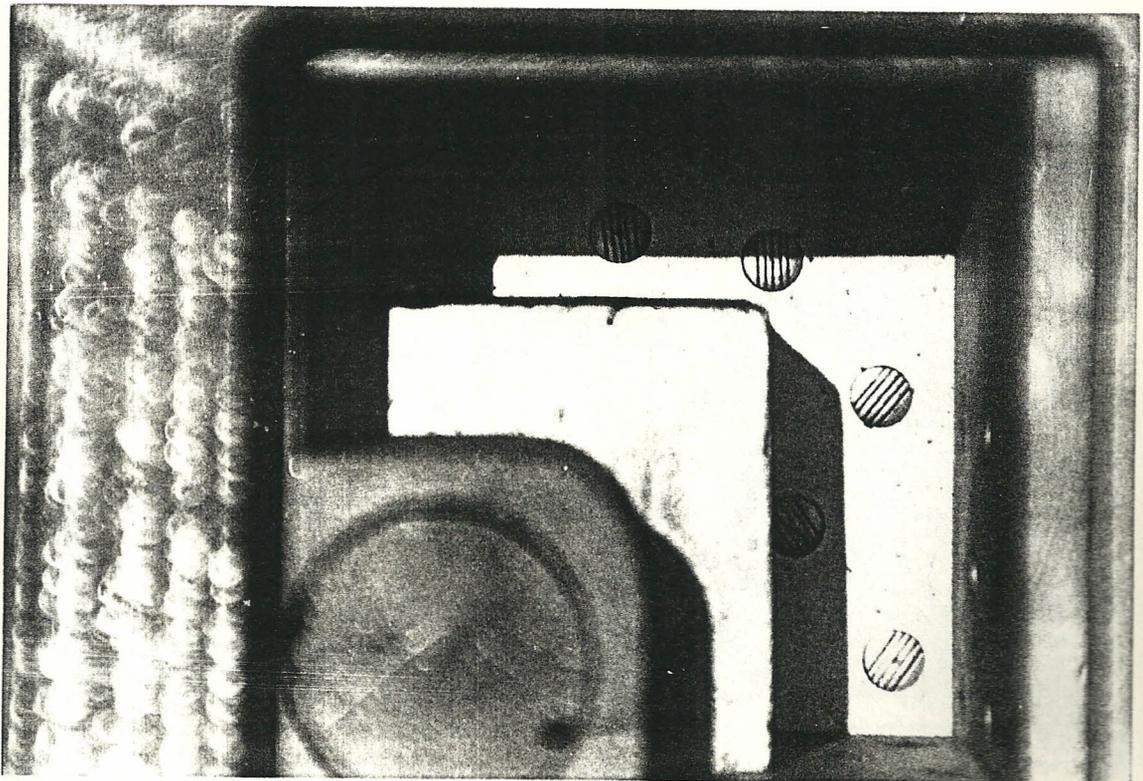


Figura N° 23. Moldes terminado, parte interior

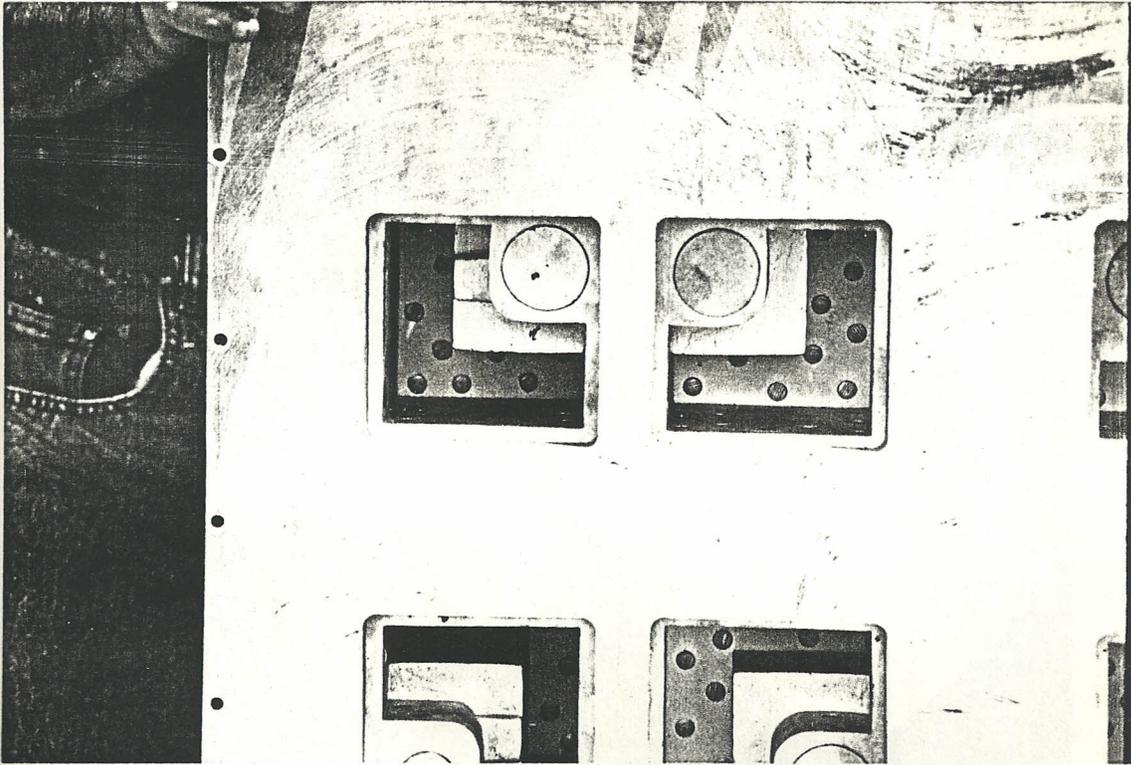


Figura N° 24 Moldes montado en placa portamoldes.

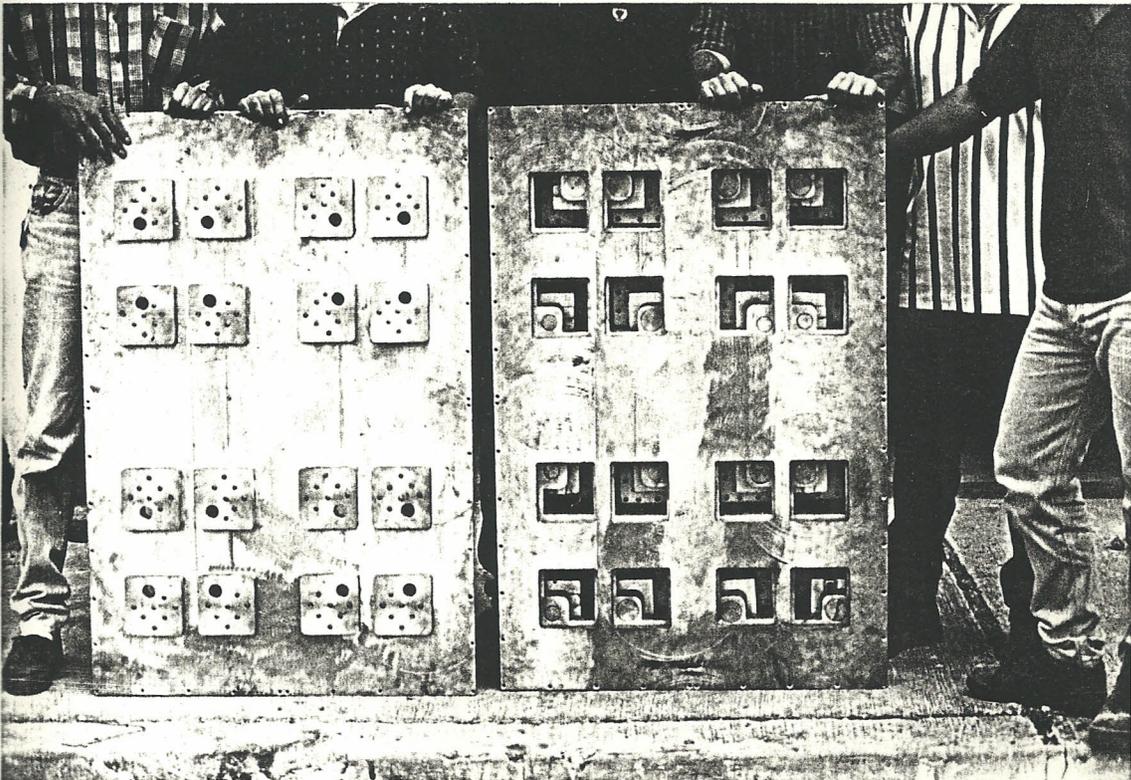
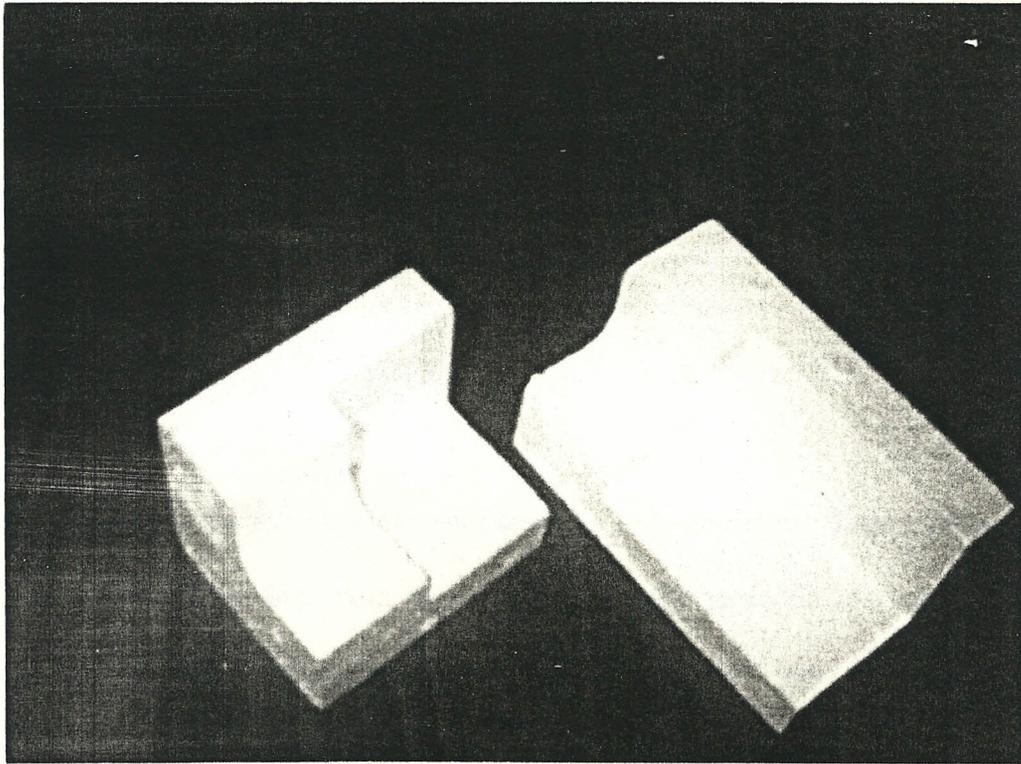


Figura N° 25. Moldes montados en las placas portamoldes



**Figura N° 26. Espuma de poliestireno, resultado del molde hecho en base del proceso de fundición en yeso**

## CAPITULO N° 4

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES.

En vista de las experimentaciones hechas a lo largo de esta Tesis y debido a la aplicación real que se hizo para una empresa Privada aplicando los conocimientos adquiridos, podemos decir que los resultados obtenidos son alentadores para conocimiento de la Comunidad Politécnica y de los Empresarios en general, a fin de obtener un proceso económico y competitivo con fabricantes extranjeros de fundiciones de precisión de aleaciones no ferrosas.

- Trabajar en moldes de yeso en el campo de la fundición permite obtener un gran acabado superficial y precisión dimensional, lo que es aplicable a trabajos de formas intrincadas o interiores difíciles cuyo maquinado tiene costos muy altos.

- Los moldes de yeso pueden llegar a sustituir a otros tipos de moldes, como por ej. los metálicos o de precisión de cera perdida, de ahí que se los utiliza para hacer prototipos de futuras aplicaciones de fundición.

- Exactitud dimensional excelente, no existe pérdidas notorias, lo que satisfacen las exigencias de los consumidores, tal como ocurrió con la empresa a la que se brindó servicio.
  
- Trabajar con moldes de yeso no exige personal altamente calificado, por lo cual al aplicarse a una industria que ocupe este proceso, fomentará nuevas fuentes de trabajo que ayuden a la economía nacional.
  
- Pequeñas industrias, se pueden formar obteniendo productos de precisión que compitan con los industriales extranjeros, cuyas fundiciones son de costo elevado.
  
- El trabajo de aplicación fue un éxito, por el nuevo proceso, relacionar a la ESPOL con la empresa privada y compartir tecnología con éstas.

## RECOMENDACIONES

- El yeso permite obtener buenos acabados y precisión dimensional, sin embargo hay que cuidar la realización de modelos, con configuraciones lo más sencillas posibles y salidas suficientes. Que no sea de materiales con defectos superficiales ya que el yeso tiende a pegarse a estas superficies.
  
- Modelos en lo posible deben ser flexibles o de materiales livianos, como el aluminio y no de hierro o acero, que presentan problemas en el desmoldeo, por adherencia y peso.
  
- Utilizar convenientes agentes desmoldantes hechos a base de jabón y diesel o los que se expenden comunmente en el mercado. No utilizar aceite, ya que este se mezcla con el yeso semipastoso y por lo tanto no funciona,
  
- Hacer un estudio previo de los moldes, de manera que se encuentren las posiciones exactas para bebederos y mazarotas, así como para los orificios por los cuales se inyectan flujos de aire a presión que facilitará el desmoldeo. Estos pasos necesitan una experimentación por parte del fundidor.
  
- Utilización de enfriadores en aleaciones que tengan problemas de enfriamiento lento, tal como ocurrió con el ejemplo de aplicación.

- Para trabajos a la empresa, no solamente fijarse en el producto a obtener por yeso, sino en el conjunto total, para que los diseños sean eficaces.
  
- Realizar estos trabajos necesitan de:
  - Análisis del material del molde
  - Grado de acabado que éste exige
  - Configuración del artículo a obtenerse
  - Número de piezas
  - Espesores mínimos.

*La fundición no es un campo grandemente explotado en nuestro país, parte del desarrollo está en las manos de fundidores, basta con solo mirar a las grandes naciones, que han empezado a ser poderosas por el dominio de los metales. Es hora de parar nuestro subdesarrollo, comenzando a producir nuestros propios equipos, es decir a dominar los procesos de manufactura con calidad para tratar de competir internacionalmente, de a poco, pero muy firme.*

*La ESPOL debe ser una luz que ilumine y de ejemplo, que de las pautas para ese tan ansiado desarrollo, que brinde nuevas ideas, empezando con lo que tenemos, reciclemos todo hasta nuestro propio pensamiento pesimista, lo económico no debe ser de gran importancia, si sabemos producir con lo que tenemos y luego invertir en*

*cosas mejores; fe, estudio, conocimiento, reciclaje, ganas de competir, ganas de sacar productos cada vez mejores, serán estas las claves que buscamos?*

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Willis B.A., " TECNOLOGIA DEL PROCESAMIENTO DE MINERALES ", Editorial LIMUSA, 1º Edición, México 1987.
- 2.- Betejtin A., " CURSO DE MINERALOGIA ", Editorial MIR, 2º Edición, Moscú 1970
- 3.- Phillips W.J. and Phillips N., " FUNDAMENTOS DE MINERALOGIA PARA GEOLOGOS ", Editorial LIMUSA, 1º Edición, México 1986.
- 4.- Costes J., " MANUAL DEL YESERO Y EL ESTUCADOR ", Editores Técnicos Asociados S.A., 1º Edición, Barcelona 1966.
- 5.- Lade K. and Winkler A., " YESERIA Y ESTUCO ", Editorial Gustavo Gili S.A., 1960
- 6.- Norton F.H., " ELEMENTS OF CERAMIC "
- 7.- Yankee N., " MANUFACTURING PROCESSES ", Editorial Practice-Hall, New Yersey, 1979

8.- Doyle Lawrence, " MANUFACTURING PROCESSES AND MATERIALS FOR ENGINEERS ", Editorial Practice-Hall, 3° Edición, New Yersey.

9. Begeman M. And Amstead B.H., " PROCESOS DE FABRICACION ", Compañía Editorial Continental, 2° Edición, México 1970.

10. Bralla James G., " MANUAL DE DISEÑO DE PRODUCTOS PARA MANUFACTURA", McGraw-Hill, Tomo II, México 1973.

11.- Le Breton H., " DEFECTOS DE LAS PIEZAS DE FUNDICION ", Editorial URMO S.A., España 1975.

12.- Capello Eduardo, " TECNOLOGIA DE LA FUNDICION "

13.- Nicolet A. and Brodbeck J., " MANUAL DEL MODELISTA ", Editorial Gustavo Gili S.A., 3° Edición, Barcelona 1972.

14.- Propered under direction of the ASM International, Handbook Comitte, " METALS HANDBOOK ", V.15 Casting, 9° Edición.

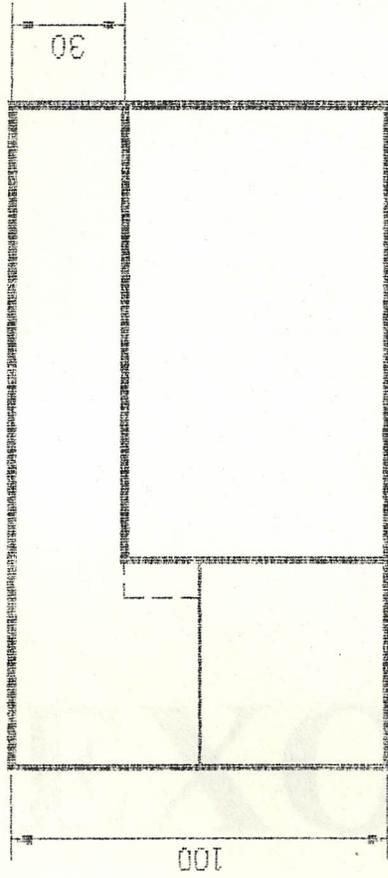
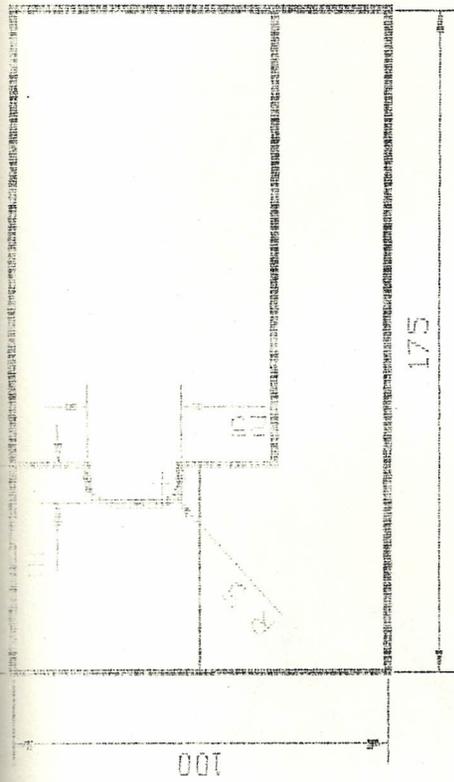
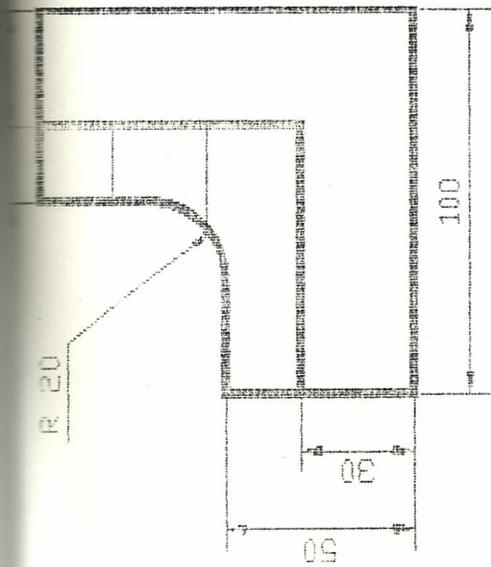
15. Echeverría Sixter, " TECNOLOGIA DEL SECADO CON ENERGÍA SOLAR ",  
Tesis de Grado de la FIM-ESPOL.
  
- 16.- Fierro Manuel, " DISEÑO TERMICO DE UN SECADOR DE CACAO TIPO  
PLATAFORMA ", Proyecto de Grado de la FIM-ESPOL.
  
- 17.- Lydersen Askel, " MASS TRANSFER IN ENGINEERING PRACTICE",  
Editorial John Wiley & Sons, Norwich.
  
18. Treybal Robert, " OPERACIONES CON TRANSFERENCIA DE MASA ",  
Editorial Hispanoamericano S.A., Buenos Aires.
  
19. Incropera Frank and de Witt David, " FUNDAMENTALS OF HEAT AND MASS  
TRANSFER "., 3° Edición.

# **ANEXO 1**

**PLANOS**

**PLUMAVIT**





FECHA: 27-2-50		NOMBRE: F. COSSIOS	
DIB.:		REV. WIESNER	
APR.:		WIESNER	
PLANO No.:		2	
SUSTITUYE a:		TOMARAFICA	
OBRAS:		ESQUINEROS PARA REFRIGERADORAS	
CONTIENE:		VISTAS	
MATERIALES:		POLIESTIRENO	
ESCALA:		1:2	
			

# **ANEXO 2**

## **PROGRAMA**

Para la realización de este programa, se hace uso del conocimiento que nos presta la Transferencia de Calor aplicado en el Estado Transitorio. Es decir en la conducción del calor de un cuerpo, hasta que alcance la estabilidad, debe transcurrir un determinado tiempo; esta idea es la base principal del programa, así intentamos encontrar el tiempo en que el punto central de un cuerpo de Yeso alcance una temperatura estable que nos permita o de a entender que toda el agua dentro del molde se ha evaporado.

Para esto analizaremos entonces analizaremos los cambios de temperatura con respecto al tiempo de distintos puntos del bloque, simulando esto mediante el uso del método de diferencias finitas por el método explícito, en forma bidimensional, con propiedades constantes y sin generación interna de energía, en un medio con aire quieto, tal como es el horno que se utilizó en las experimentaciones de este trabajo.

La ecuación que rige esto es:

$$(1) \quad \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \rightarrow \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{m+1,n} + T_{m-1,n} - 2T_{m,n}}{(\Delta x)^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{T_{m,n+1} + T_{m,n-1} - 2T_{m,n}}{(\Delta y)^2} \quad (3)$$

donde m y n sirven para la localización de los puntos nodales. También debemos discretizar el tiempo, con un contador p que nos ayudará a conocer el cambio de la temperatura en el nodo luego de un intervalo de tiempo t, así:

$$t = p \cdot \Delta t$$

expresando  $\frac{\partial T}{\partial t}$ , así:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{m,n} \approx \frac{T_m^{p+1} - T_m^p}{\Delta t} \quad (4)$$

De esta forma podemos conocer la temperatura del nodo en el tiempo (p+1), usando las temperaturas pasadas del tiempo (p).

Reemplazando (2), (3), (4) en (1), tendremos la ecuación de diferencias finitas usando la forma explícita así:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{T_{m,n}^{p+1} - T_{m,n}^p}{\Delta t} = \frac{T_{m+1,n}^p + T_{m-1,n}^p - 2T_{m,n}^p}{(\Delta x)^2} + \frac{T_{m,n+1}^p + T_{m,n-1}^p - 2T_{m,n}^p}{(\Delta y)^2}$$

para el nodo interior m,n.

Si asumimos  $\Delta x = \Delta y$ , la temperatura nodal en el tiempo (p+1), tenemos:

$$T_{m,n}^{p+1} = Fo(T_{m-1,n}^p + T_{m,n+1}^p + T_{m,n-1}^p) + (1-4Fo)T_{m,n}^p \quad (6)$$

recordando que:

$$Fo = \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2} \quad (7)$$

Observando la ecuación (6), nos da claramente la idea de su funcionamiento y definición del método explícito, porque al desconocer la temperatura nodal en un nuevo tiempo se la conoce por conocimiento de la temperatura en el tiempo previo

El realizar estos cálculos a mano sería largo y dificultoso, de ahí que se prefiere una computadora para que los haga. Al hablar de tiempo también debemos decir que esos  $t$ , se pueden incrementar cuando disminuimos los valores de  $x$  y  $t$ , dándonos más puntos nodales y conocimiento de su temperatura.

Este tiempo tampoco puede ser tomado al azar ya que se puede caer en inestabilidad de resultados teniendo tiempos negativos que físicamente no existen.

Por lo tanto  $t$  debe ser mantenido en cierto límite con dependencia de  $x$  y otros parámetros del sistema, es decir que el coeficiente asociado con el nodo de interés debe ser mayor o igual a 0, ej. en (6)

$$1-4Fo > 0$$

$Fo < 1/4$ ; con  $\alpha x$  y  $\alpha$ , determinamos el límite de  $\Delta t$ .

Estos cálculos se han hecho para un nodo interior, para otra clase de nodos, como son exterior, que este contra paredes adiabáticas, etc, se hace un balance de energía para determinar las ecuaciones nodales.

Al hacer estos balances de energía muy presumiblemente aparecerá Biot, que físicamente lo podemos entender como el cociente de una resistencia interna a la conducción de calor entre una resistencia externa a la convección.

$$Bi = h\alpha/k$$

Concentrándonos en los 50 nodos que tomamos para hacer el programa, tenemos la siguiente configuración con un cuarto de la sección de un paralelepípedo ideal,; dividimos al eje X en 10 secciones y al eje Y en 5, el programa realizará por si solo, el cálculo para determinar las distancias  $x$  y  $y$ .

Comenzamos a realizar los balances de energía de los nodos representativos, así:

$$\text{NODO 1 } T_1^{P+1} = (1 - 2F_{ox} - 2F_{oy} - 2B_{ix}F_{ox} - 2B_{iy}F_{oy})T_1^P + 2F_{ox}T_2^P + 2F_{oy}T_{11}^P + 2B_{ix}F_{ox}Th_1 + 2B_{iy}F_{oy}Th_1$$

$$\text{NODO 2 } T_2^{p+1} = (1-2F_{ox}-2F_{oy}-2B_{iy}F_{oy})T_2^p + F_{ox}T_1^p + F_{ox}T_3^p + 2F_{oy}T_{12}^p + \\ 2B_{iy}F_{oy}Th_1$$

$$\text{NODO 10 } T_{10}^{p+1} = (1-2F_{ox}-2F_{oy}-2B_{iy}F_{oy})T_{10}^p + 2F_{ox}T_9^p + 2F_{oy}T_{20}^p + \\ 2F_{oy}B_{iy}Th_1$$

$$\text{NODO 20 } T_{20}^{p+1} = (1-2F_{ox}-2F_{oy})T_{20}^p + 2F_{ox}T_{19}^p + F_{oy}T_{10}^p + F_{oy}T_{30}^p$$

$$\text{NODO 50 } T_{50}^{p+1} = (1-2F_{ox}-2F_{oy})T_{50}^p + 2F_{ox}T_{49}^p + 2F_{oy}T_{40}^p$$

A partir de estas ecuaciones representativas, se hace el sistema de 50 ecuaciones que se presenta en el programa.

Se dan algunas condiciones para no obtener tiempos negativos a partir de:

$$1-2F_{ox}-2F_{oy}-2F_{oxBix}-2F_{oyBiy} > 0$$

$$1-2F_{ox}-2F_{oy}-2F_{oyBiy} > 0$$

$$1-2F_{ox}-2F_{oy}-2F_{oyBix} > 0$$

$$1-2F_{ox}-2F_{oy} > 0$$

Con estos datos se procede a realizar el programa con las siguientes restricciones:

- Asumimos aire quieto en el interior del horno
- Temperatura ambiente 30 °C
- Temperatura a la que debe llegar el Nodo 50 para que de esa forma el programa de por terminado sus cálculos 159 °C, lo que se ha determinado por la siguiente suposición:

\* Calculamos la el calor que se invierte en evaporar la cantidad de agua que contiene un molde de yeso y luego este calor lo igualamos de manera que nos de el diferencial de temperatura que un bloque de yeso seco como masa  $m$  logra. Para ello simplemente usamos  $Q=mC_p (T-T_i)$ . Este diferencial siempre será 129 °C, y por lo tanto, el nodo 50 deberá llegar a 159 °C para asumir que toda el agua se ha evaporado.

El método aplicado no es exacto, ya que si lo quisieramos hacer tedriamos que tomar en cuenta la pérdida de agua por cierto tiempo como se puede ver el las figuras

Nº 12 y Nº13, lo cual dificulta mucho el trabajo y se sale del objetivo de esta Tesis, que es la de estudiar la Fundición en moldes de Yeso.

En resumen este programa debe ser tomado como un artificio para tratar de conocer el tiempo en el cual se seca cierto molde de Yeso, pero éste debe estar sujeto a experimentación y verificación, aunque los datos se acercan mucho a los experimentales, especialmente en aquellos en los cuales interviene más cantidad de yeso, resaltando que a mayor cantidad de arena- menos tiempo de secado por la conductividad térmica de la arena de sílice. Se hace luego del programa, una tabla de datos para saber el tiempo de secado para ciertas secciones de moldes. Luego la correspondiente gráfica.

**PROGRAMA PARA CALCULAR EL TIEMPO DE SECADO  
PARA UN MOLDE CON COMPOSICION MAYOR AL 80% DE  
YESO**

```
DIM A(50), t(50), At(4)
PRINT TAB(15); "ingrese las dimensiones del bloque en metros"
LPRINT TAB(15); "ingrese las dimensiones del bloque en metros"
PRINT : PRINT : PRINT
LPRINT : LPRINT : LPRINT
INPUT "Longitud en X"; Lx
LPRINT "Longitud en X"; Lx
PRINT
LPRINT
INPUT "Longitud en Y"; Ly
LPRINT "Longitud en Y"; Ly
PRINT
LPRINT
INPUT "Temperatura a la cual quiere secar"; Th1
LPRINT "Temperatura a la cual quiere secar"; Th1
PRINT
LPRINT
h = 2: Th1 = Th1 + 273
K = .22
cp = 1085
Lx = Lx / 2
Ax = Lx / 10
Ay = Ly / 10
Alfa = 1.1E-07
PRINT TAB(30); "Constantes utilizadas"
PRINT : PRINT
LPRINT : LPRINT
PRINT TAB(20); "Conductividad térmica"; TAB(55); K; TAB(70); "SI"
LPRINT TAB(20); "Conductividad térmica"; TAB(55); K; TAB(70); "SI"
PRINT TAB(20); "Coeficiente convectivo"; TAB(55); h; TAB(70); "SI"
LPRINT TAB(20); "Coeficiente convectivo"; TAB(55); h; TAB(70); "SI"
PRINT TAB(20); "Calor específico"; TAB(55); cp; TAB(70); "SI"
LPRINT TAB(20); "Calor específico"; TAB(55); cp; TAB(70); "SI"
PRINT : PRINT
LPRINT : LPRINT
INPUT "Presione enter para continuar y espere un momento"; y$
LPRINT "Presiones enter para continuar y espere un momento"; y$
```

```

may = 1E+09
At(1) = 2 / (Alfa * ((2 + Biy) / Ay ^ 2 + (1 + 2 * Bix) / Ax ^ 2))
At(2) = 1 / (2 * Alfa * (1 / Ay ^ 2 + (1 + Bix) / Ax ^ 2))
At(3) = 1 / (2 * Alfa * (1 / Ax ^ 2 + (1 + Biy) / Ay ^ 2))
At(4) = 1 / (2 * Alfa * (1 + Ay ^ 2 / Ax ^ 2))
FOR i = 1 TO 4
IF At(i) < may THEN GOTO 1 ELSE GOTO 2
1  may = At(i)
2  NEXT i
At = may - .3
Fox = Alfa * At / Ax ^ 2
Foy = Alfa * At / Ay ^ 2
B = (1 - 2 * Fox - 2 * Foy - 2 * Fox * Bix - 2 * Foy * Biy)
c = 1 - 2 * Fox - 2 * Foy - 2 * Foy * Biy
D = 1 - 2 * Fox - 2 * Foy - 2 * Fox * Bix
E = 1 - 2 * Fox - 2 * Foy
FOR i = 1 TO 50
t(i) = 303
NEXT i
PRINT
C1 = 0: c2 = 0
10  A(1) = B * t(1) + 2 * Fox * (t(2) + Bix * Th1) + 2 * Foy * (t(11) + Biy * Th1)
A(2) = c * t(2) + Fox * (t(1) + t(3)) + 2 * Foy * (t(12) + Biy * Th1)
A(3) = c * t(3) + Fox * (t(2) + t(4)) + 2 * Foy * (t(13) + Biy * Th1)
A(4) = c * t(4) + Fox * (t(3) + t(5)) + 2 * Foy * (t(14) + Biy * Th1)
A(5) = c * t(5) + Fox * (t(4) + t(6)) + 2 * Foy * (t(15) + Biy * Th1)
A(6) = c * t(6) + Fox * (t(5) + t(7)) + 2 * Foy * (t(16) + Biy * Th1)
A(7) = c * t(7) + Fox * (t(6) + t(7)) + 2 * Foy * (t(17) + Biy * Th1)
A(8) = c * t(8) + Fox * (t(7) + t(8)) + 2 * Foy * (t(18) + Biy * Th1)
A(9) = c * t(9) + Fox * (t(8) + t(10)) + 2 * Foy * (t(19) + Biy * Th1)
A(10) = c * t(10) + 2 * Fox * t(9) + 2 * Foy * (t(20) + Biy * Th1)
A(11) = D * t(11) + 2 * Fox * (t(12) + Bix * Th1) + Foy * (t(1) + t(21))
A(12) = E * t(12) + Fox * (t(11) + t(13)) + Foy * (t(2) + t(22))
A(13) = E * t(13) + Fox * (t(12) + t(14)) + Foy * (t(3) + t(23))
A(14) = E * t(14) + Fox * (t(13) + t(15)) + Foy * (t(4) + t(24))
A(15) = E * t(15) + Fox * (t(14) + t(16)) + Foy * (t(5) + t(25))
A(16) = E * t(16) + Fox * (t(15) + t(17)) + Foy * (t(6) + t(26))
A(17) = E * t(17) + Fox * (t(16) + t(18)) + Foy * (t(7) + t(27))
A(18) = E * t(18) + Fox * (t(17) + t(19)) + Foy * (t(8) + t(28))
A(19) = E * t(19) + Fox * (t(18) + t(20)) + Foy * (t(9) + t(29))
A(20) = E * t(20) + 2 * Fox * t(19) + Foy * (t(10) + t(30))
A(21) = D * t(21) + 2 * Fox * (t(22) + Bix * Th1) + Foy * (t(11) + t(31))
A(22) = E * t(22) + Fox * (t(21) + t(23)) + Foy * (t(12) + t(32))

```

$A(23) = E * t(23) + \text{Fox} * (t(22) + t(24)) + \text{Foy} * (t(13) + t(33))$   
 $A(24) = E * t(24) + \text{Fox} * (t(23) + t(25)) + \text{Foy} * (t(14) + t(34))$   
 $A(25) = E * t(25) + \text{Fox} * (t(24) + t(26)) + \text{Foy} * (t(15) + t(35))$   
 $A(26) = E * t(26) + \text{Fox} * (t(25) + t(27)) + \text{Foy} * (t(16) + t(36))$   
 $A(27) = E * t(27) + \text{Fox} * (t(26) + t(28)) + \text{Foy} * (t(17) + t(37))$   
 $A(28) = E * t(28) + \text{Fox} * (t(27) + t(29)) + \text{Foy} * (t(18) + t(38))$   
 $A(29) = E * t(29) + \text{Fox} * (t(28) + t(30)) + \text{Foy} * (t(19) + t(39))$   
 $A(30) = E * t(30) + 2 * \text{Fox} * t(29) + \text{Foy} * (t(20) + t(40))$   
 $A(31) = D * t(31) + 2 * \text{Fox} * (t(32) + \text{Bix} * \text{Th1}) + \text{Foy} * (t(21) + t(41))$   
 $A(32) = E * t(32) + \text{Fox} * (t(31) + t(33)) + \text{Foy} * (t(22) + t(42))$   
 $A(33) = E * t(33) + \text{Fox} * (t(32) + t(34)) + \text{Foy} * (t(23) + t(43))$   
 $A(34) = E * t(34) + \text{Fox} * (t(33) + t(35)) + \text{Foy} * (t(24) + t(44))$   
 $A(35) = E * t(35) + \text{Fox} * (t(34) + t(36)) + \text{Foy} * (t(25) + t(45))$   
 $A(36) = E * t(36) + \text{Fox} * (t(35) + t(37)) + \text{Foy} * (t(26) + t(46))$   
 $A(37) = E * t(37) + \text{Fox} * (t(36) + t(38)) + \text{Foy} * (t(27) + t(47))$   
 $A(38) = E * t(38) + \text{Fox} * (t(37) + t(39)) + \text{Foy} * (t(28) + t(48))$   
 $A(39) = E * t(39) + \text{Fox} * (t(38) + t(40)) + \text{Foy} * (t(29) + t(49))$   
 $A(40) = E * t(40) + 2 * \text{Fox} * t(39) + \text{Foy} * (t(30) + t(50))$   
 $A(41) = D * t(41) + 2 * \text{Fox} * (t(42) + \text{Bix} * \text{Th1}) + 2 * \text{Foy} * t(31)$   
 $A(42) = E * t(42) + \text{Fox} * (t(41) + t(43)) + 2 * \text{Foy} * t(32)$   
 $A(43) = E * t(43) + \text{Fox} * (t(42) + t(44)) + 2 * \text{Foy} * t(33)$   
 $A(44) = E * t(44) + \text{Fox} * (t(43) + t(45)) + 2 * \text{Foy} * t(34)$   
 $A(45) = E * t(45) + \text{Fox} * (t(44) + t(46)) + 2 * \text{Foy} * t(35)$   
 $A(46) = E * t(46) + \text{Fox} * (t(45) + t(47)) + 2 * \text{Foy} * t(36)$   
 $A(47) = E * t(47) + \text{Fox} * (t(46) + t(48)) + 2 * \text{Foy} * t(37)$   
 $A(48) = E * t(48) + \text{Fox} * (t(47) + t(49)) + 2 * \text{Foy} * t(38)$   
 $A(49) = E * t(49) + \text{Fox} * (t(48) + t(50)) + 2 * \text{Foy} * t(39)$   
 $A(50) = E * t(50) + 2 * \text{Fox} * t(49) + 2 * \text{Foy} * t(40)$

$C1 = C1 + 1$

$c2 = c2 + 1$

```

14  G = ABS(A(50) - 273)
    IF G > 159 THEN GOTO 20 ELSE GOTO 18
18  FOR i = 1 TO 50
    t(i) = A(i)
    NEXT i
    GOTO 10
20  c = 1: BEEP: PRINT : PRINT : y = 4
    FOR j = 1 TO 5
    FOR i = c TO j * 10
    Ka = A(i) - 273
    PRINT TAB(y * 3); USING "####.#"; Ka;
    y = y + 2
    NEXT i

```

```
PRINT : PRINT
c = j * 10 + 1: y = 4
NEXT j
PRINT : PRINT
LPRINT : LPRINT
PRINT TAB(25); "Tiempo requerido para el secado en horas"
LPRINT TAB(25); "Tiempo requerido para el secado en horas"
PRINT : PRINT
LPRINT : LPRINT
PRINT TAB(40); USING "##.##"; C1 * At / 3600
LPRINT TAB(40); USING "##.##"; C1 * At / 3600
END
```

Ingrese las dimensiones del bloque en metros

Longitud en X 0.1

Longitud en Y 0.1

Temperatura a la cual quiere secar 250

Conductividad termica	0.22	SI
Coefficiente convectivo	2	SI
Calor especifico	1085	SI

Presione enter para continuar y espere un momento

Tiempo requerido para el secado en horas

6.46

Ingrese las dimensiones del bloque en metros

Longitud en X 0.2

Longitud en Y 0.2

Temperatura a la cual quiere secar 250

Conductividad termica	0.22	SI
Coefficiente convectivo	2	SI
Calor especifico	1085	SI

Presione enter para continuar y espere un momento

Tiempo requerido para el secado en horas

15.71

Ingrese las dimensiones del bloque en metros

Longitud en X 0.1

Longitud en Y 0.1

Temperatura a la cual quiere secar 400

Conductividad térmica 0.22 SI

Coefficiente convectivo 2 SI

Calor específico 1085 SI

Presione enter para continuar y espere un momento

Tiempo requerido para el secado en horas

3.55

Ingrese las dimensiones del bloque en metros

Longitud en X 0.2

Longitud en Y 0.2

Temperatura a la cual quiere secar 400

Conductividad térmica 0.22 SI

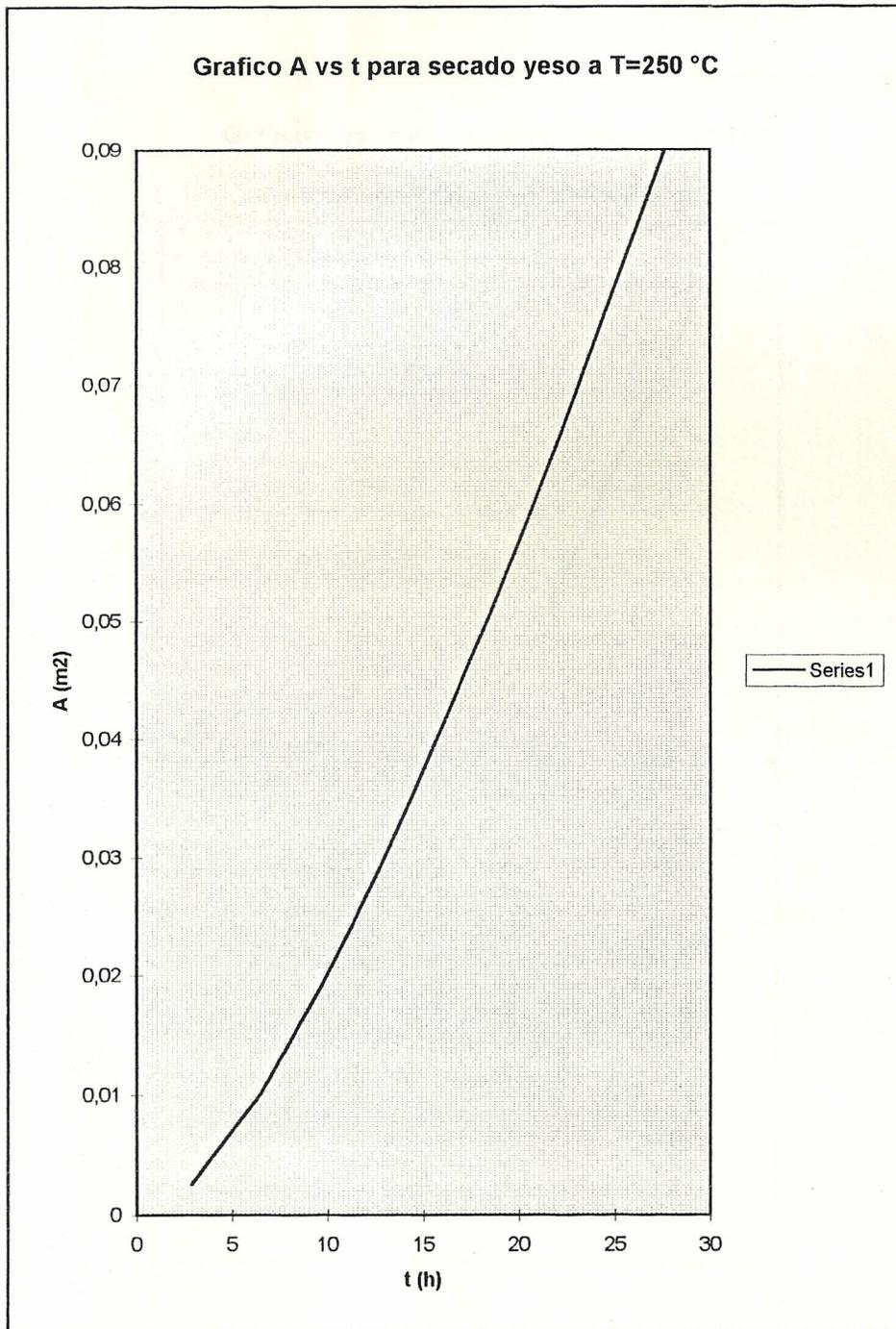
Coefficiente convectivo 2 SI

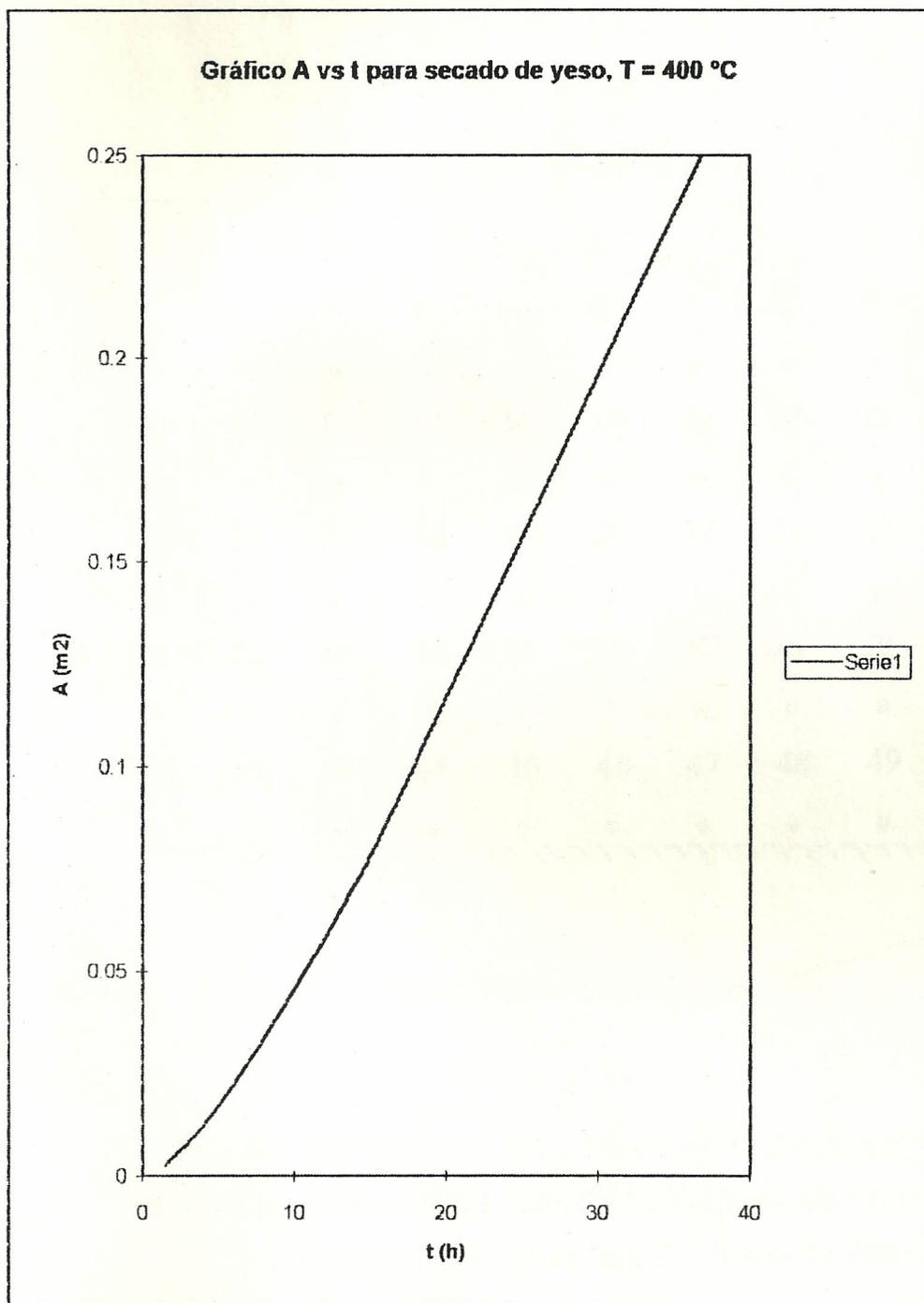
Calor específico 1085 SI

Presione enter para continuar y espere un momento

Tiempo requerido para el secado en horas

9.13





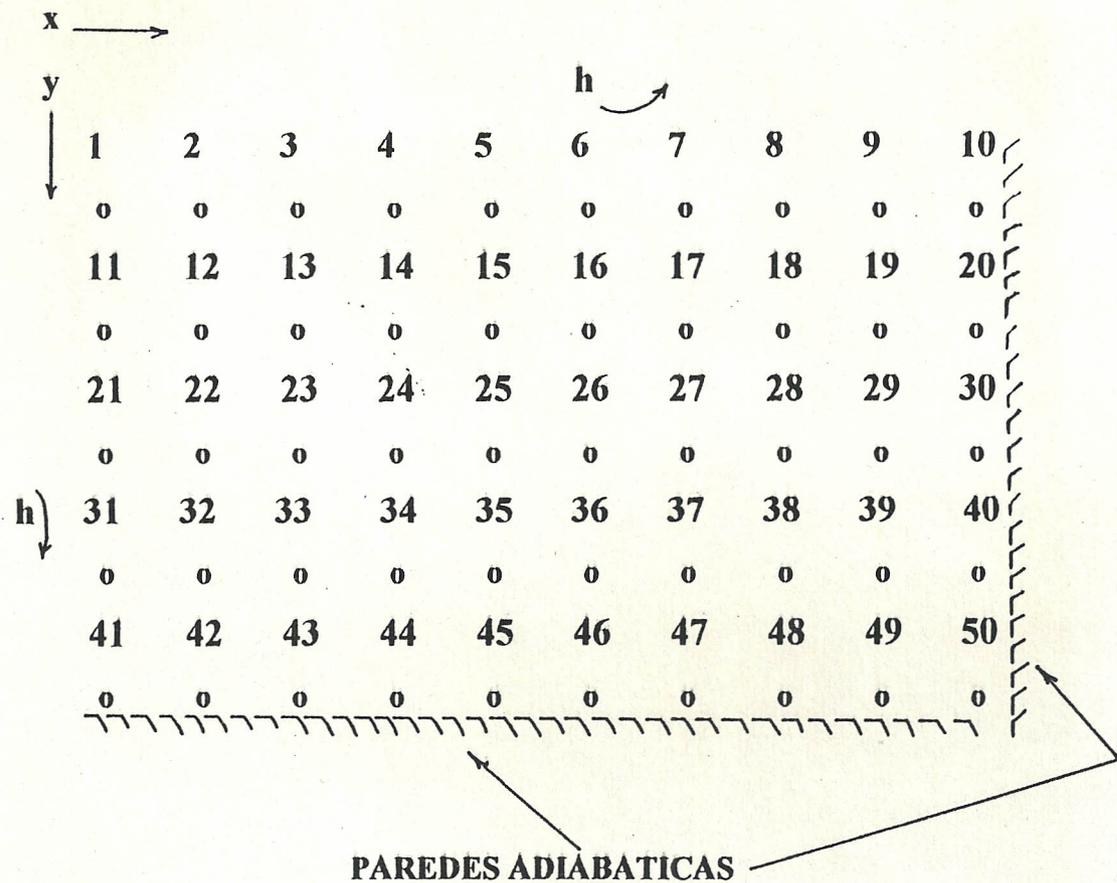


FIGURA REPRESENTATIVA DE 1/4 DE BLOQUE DE YESO  
 DIVIDIDO EN 50 NODOS, LOS CUALES INDICAN DONDE EL  
 PROGRAMA CALCULA LAS TEMPERATURAS