

NOMBRE DEL LECTOR	
FECHA DE DEVOLUCION	

Rubén Carrero
6/3/03

674.3
ORT

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA



BIBLIOTEC

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de

INGENIERO MECANICO

“Arenas Nacionales para la Elaboración de Moldes
por el Proceso de Cáscara (SHELL)”

Por



D-15727

Homero Ortiz Arízaga

Septiembre 1979

GUAYAQUIL - ECUADOR




BIBLIOTEC

"ARENAS NACIONALES PARA LA ELABORACION DE
MOLDES PARA EL PROCESO DE CASCARA
(SHELL)"

DIRECTOR DE TESIS


ING. IGNACIO WIESNER F.

A U T O R


HOMERO ORTIZ ARIZAGA

DECLARACION EXPRESA:

DECLARO QUE: Hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis son de mi exclusiva responsabilidad, y que el patrimonio intelectual de la misma corresponde a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

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

A MIS PADRES



BIBLIOTECA

RECONOCIMIENTO

A la ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL

Al ING. IGNACIO WIESNER S., Di
rector de tesis, por su acertad
da guía y ayuda para la elabo-
ración de este trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
CAPITULO 1	
INTRODUCCION	1
CAPITULO 2	
ANALISIS	4
2.1. Estudio de la situación Actual en la Industria Nacional de la Fundición.	4
2.2. Procesos para la elaboración de Mol- des para la Industria Nacional de la Fundición.	8
2.3. Arenas Nacionales para Fundición	15
2.4. Procesos SHELL para la Elaboración de Moldes.	18
2.4.1. Generalidades y Ventajas del proceso.	18
2.4.2. Arenas Utilizadas	18
2.4.3. Tipo de Resinas	24
2.4.4. Clases de Mezclas	34
2.4.5. Variables en el Proceso de Cu- rado.	42
2.4.6. Control del Proceso	61
2.4.6.1. De laboratorio	62
2.4.6.2. De campo	63
2.4.7. Consideraciones Generales para la elaboración del Modelo para Moldes.	63
CAPITULO 3	
TRABAJO EXPERIMENTAL	70
3.1. Introducción	70
3.2. Control de calidad de las Arenas a usar se en el proceso	71

	Pág.
3.2.1. Forma de Grano	73
3.2.2. Grado de Fineza	77
3.2.3. Contenido de arcilla	90
3.2.4. Punto de Sinterización	93
3.2.5. Selección	94
3.3. Optimización de Variables	96
3.3.1. Mezcla de arena, aglutinante y catalizador.	97
3.3.2. Curado	98
3.3.3. Ensayos de Laboratorio	121
3.4. Ensayos de campo	146
3.4.1. Colado	146
3.4.2. Control de acabado superficial	154
3.4.3. Tolerancias dimensionales	157
CAPITULO 4	
DISCUSION DE RESULTADOS	160
CAPITULO 5	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	168
CAPITULO 6	
TABLAS, DIAGRAMAS Y ANEXOS	169
BIBLIOGRAFIA	174

CAPITULO 1
INTRODUCCION .

Las circunstancias actuales y futuras de la actividad de la fundición en nuestro país deben aceptar y aplicar en el menor tiempo posible tecnologías que conlleven la transformación del estado artesanal en que se encuentre a la categoría de una actividad industrial en pleno crecimiento, de manera que pueda afrontar el compromiso que tiene frente al desarrollo integral a nivel nacional y subregional. -

Es por este motivo que el presente trabajo experimental persigue aportar una respuesta a una técnica que acarrea claros beneficios cuando se trata de producir piezas fundidas en gran escala a un costo no elevado y que posean características de buen acabado superficial, precisión dimensional y con buen rendimiento de piezas sanas.

Los problemas que ha tenido que sobrellevar este sector de la producción han sido siempre relacionados con las limitaciones de mercado para sus productos. Las únicas fuentes de trabajo importantes han sido las Juntas Cantonales de Agua Potable, el Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias, que son entidades encargadas de hacer obras de infraestructura en beneficio de la colectividad.

Sumados al problema de comercialización, han existido siempre deficiencias técnicas en cuanto a usar materias primas y procesos adecuados.

La dificultad mayor ha sido la arena de fundición y la falta de mecanización de los procesos.

Centrándonos en la problemática de la arena de fundición, es de mencionar que la mayoría de nuestras fundiciones utilizan arenas de moldeo naturales (procedentes de Posorja), que si bien es cierto, poseen buenas propiedades para fundición de piezas hechas en materiales no ferrosos, fracasa rotundamente cuando se la utiliza en el colado de hierro gris.

La información técnica indica en forma general que el uso de una arena aglutinada naturalmente no es adecuado para producciones fabriles ya que no es posible controlar eficientemente sus propiedades y por ello recomienda hacer uso de arenas sintéticas, término que denomina a una arena que siendo de alta pureza, es decir que sus granos sean de la misma naturaleza, se aglutinan o adquieren capacidad para moldearse y estabilizarse a través de elementos tales como bentonitas y resinas.

El motivo primordial de la experimentación es el de encontrar

la compatibilidad de las arenas silíceas nacionales que existen en abundancia en diferentes zonas del país, con el proceso de moldeo en cáscara.

Es una técnica que fue desarrollada por Johannes Croning, en la década del 40, mediante la cual mezcla arena con una resina proveniente de ciertos derivados del petróleo y que ante un aumento de temperatura (alrededor de 200°C) cubre los granos de la arena formando una cáscara delgada pero de gran resistencia.

La aplicación del proceso a una arena determinada implica hacer ensayos sobre la misma para determinar características que hagan factible su uso.

Concretamente, se han ensayado arenas de la provincia de Zamora-Chinchipe y del Guayas y a través de los análisis aquí efectuados se demuestra que son factibles de utilizarse en este proceso, produciendo piezas de excelente acabado superficial, de una precisión ajustada a tolerancias muy estrechas y con una confiabilidad en los resultados adquiridos en función del ensayo de moldes a nivel industrial.



CAPITULO 2

ANALISIS

2.1. ESTUDIO DE LA SITUACION ACTUAL DE LA INDUSTRIA NACIONAL DE LA FUNDICION

Después de haber realizado investigaciones del sector a través de entrevistas con productores, profesores de la ESPOL, y funcionarios de CENDES, se van a mencionar a continuación los resultados que se han extraído de dicho trabajo.

La industria nacional de la fundición se ha mantenido siempre dentro del campo meramente artesanal debido a que no existe entre las fundiciones ninguna que trabaje con una sistematización o racionalización de los procesos tecnológicos inherentes a la fundición. Como consecuencia directa de una falta de mercado para la producción de dichas plantas industriales.

Las únicas fuentes de trabajo más o menos importantes para la industria nacional de la fundición, son las Juntas Cantonales de Agua Potable y el Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS), que son las entidades encargadas de los trabajos de instalación de redes de agua potable, alcantarillado y canalización, que en definitiva son los que re-

quieren de los productos de fundición de mayor consumo.

Cabe aclarar que éste tipo de trabajos han proliferado a mayor escala desde que comenzó la era petrolera en el país, lo cual trajo consigo una mayor inversión en infraestructura, pues este tipo de obras se pueden considerar como muy caras.

Este tipo de trabajos son tomados en su gran mayoría por las industrias de fundición más grandes, lo cual deja en manos de los pequeños fundidores la ejecución de trabajos menores, tales como la fabricación de piezas de máquinas que aminoran las pérdidas de los industriales que tendrían que esperar a traer sus repuestos del exterior.

Inclusive, hoy en día, este problema de los industriales ha disminuído debido al buen servicio de transporte aéreo que se ha desarrollado desde hace pocos años para importación de carga.

A más del problema de demanda de piezas fundidas, son de a notar otras dificultades técnicas inherentes al proceso de moldeo, tal es el caso del uso de las arenas de fundición.

Se ha detectado que, en general, las fundiciones trabajan con arenas naturales llamadas comunmente tierras de moldeo

que se consiguen muy fácilmente en la Península de Sta. Elena.

La Fundición más grande de nuestro medio no siempre trabaja con arenas silíceas, y otra trabaja con arena del Río Babahoyo, que es la arena utilizada comunmente en construcción civil (contiene 66% de SiO_2).

El uso de arena natural en forma indiscriminada para fundición de ferrosos y no ferrosos trae como consecuencia un alto porcentaje de piezas con defectos superficiales debido a que el alto contenido de arcilla reacciona en la interfase molde-metal que es lo que provoca el mal aspecto superficial de las piezas.

Es de hacer notar que la tierra de moldeo provee de excelentes resultados de moldeo y colado para piezas fundidas en metales de punto de fusión mas bajo que el hierro gris, por ejemplo; bronce, aluminio, zinc, y no existen reacciones químicas entre la arena y el material colado.

El motivo primordial del presente trabajo experimental es el de encontrar la compatibilidad de arenas silíceas nacionales con el proceso de moldeo en cáscara, el cual, a más de exigir ciertas cualidades de la arena, requiere de una inversión inicial más o menos considerable para un fundidor

local.

El problema radical que dificulta la utilización del proceso de moldeo en cáscara entre nuestros fundidores es precisamente el desconocimiento de la técnica y el aprovisionamiento de materias primas (arenas silíceas y resinas termoestables), parámetros del proceso que por medio de esta investigación se van a dar a conocer.

En nuestro medio, el costo de las piezas fundidas es muy elevado en comparación con las fundiciones extranjeras; lo cual se debe al bajo volumen de producción de nuestras fundiciones. Esto es, como un fundidor no produce material fundido todos los días, sus costos se incrementan y el precio de las piezas que tiene oportunidad de fabricar debe ser elevado para tener la posibilidad de percibir utilidades.

Desde el punto de vista de la fundición misma, la rentabilidad del proceso de moldeo en cáscara radica en la obtención de una mayor producción de piezas sanas con un menor esfuerzo.

Con el proceso de moldeo convencional con arenas naturales o sintéticas también se podrían obtener los mismos resultados, pero es necesario hacer uso de pinturas refractarias que inhiban el contacto del metal caliente con la arena de

moldeo.

La diferencia en el uso de los dos métodos radica en la capacidad de producción en igualdad de condiciones de inversión en maquinaria y equipo.

En definitiva, no está muy lejano el día en que los fundidores nacionales deban utilizar procesos de moldeo para producir en serie, y en este sentido, el proceso shell es una respuesta muy adecuada para piezas pequeñas (con pesos no mayores a 10 Kg) de forma fácil o complicada y con tolerancias dimensionales de copiado del modelo muy ajustadas.

Pero es necesario mencionar finalmente, que las perspectivas que existen para la utilización del proceso en la industria automotriz nacional, pronta a instalarse en el país, propiciará el desarrollo de un gran número de industrias de varios sectores, como se ha podido observar en Brasil, Argentina, México, Venezuela y Colombia, países en los cuales el fenómeno ya ha ocurrido.

2.2. PROCESOS PARA LA ELABORACION DE MOLDES EN LA INDUSTRIA NACIONAL DE LA FUNDICION (6,10,11)

Por los problemas expuestos en el artículo anterior, la industria de la fundición en nuestro medio ha utilizado siem

pre los procesos de moldeo más baratos cuyos resultados dejan mucho que desear en cuanto al acabado superficial de la pieza colada.

Se establece de aquí en adelante, que los comentarios que se hacen sobre la calidad de las piezas terminadas, solo se circunscriben a las producidas en hierro gris.

Los defectos mas comunes que se han detectado en las piezas fundidas de hierro gris, de producción local, se deben fundamentalmente al uso de la arena natural para la elaboración de moldes a la cual se le pueden destacar los siguientes inconvenientes y desventajas:

1. Exceso de arcilla en la tierra de moldeo, lo cual conlleva problemas de acabado de las piezas debido al bajo punto de fusión del silicato de alúmina hidratado, que es el componente primario de la arcilla, llega muchas veces al 25%, el cual al ponerse en contacto con el metal caliente, se funde y se adhiere a él, produciendo piezas con un acabado superficial que dejan mucho que desear. Además, debido a este fenómeno, el desmoldeo se dificulta enormemente, haciéndose necesario intertir tiempo adicional en la limpieza de las piezas caladas.
2. Exceso de impurezas (carbonatos, micas, etc.) presentes

en la tierra de moldeo, las cuales afectan negativamente al resultado de la fundición debido a que por tener puntos de fusión bajos, se funden inmediatamente al contacto con el metal fundido que entra al molde, provocando serios defectos de acabado superficial en las piezas coladas, es decir, las piezas coladas presentan un aspecto rugoso en su superficie.

3. Permeabilidad baja

Este problema, muy común en la tierra de moldeo y que está asociado al tamaño de grano fino y al contenido de arcilla, provoca defectos no solo de acabado superficial sino de solidez de las piezas coladas, debido a que cuando tenemos moldes con permeabilidad baja, sus paredes no permiten el paso libre de los gases producidos durante la solidificación, lo cual puede provocar deformaciones de los moldes, deteriorando el acabado superficial de las piezas coladas y además, los gases generalmente quedan atrapados dentro del metal formando porosidades externas o internas que atentan contra la solidez de la fundición.

4. Bajo punto de sinterización

Suele suceder que la arena silícea y la gran cantidad de impurezas presentes en la tierra de moldeo presentan

en conjunto, bajo punto de sinterización (fusión), lo cual determina que ésta se funda al entrar en contacto con el metal fundido que ingresa al molde, creando los mismos problemas de acabado superficial y de desmoldeo mencionadas anteriormente, al pegarse esta arena fundida en las paredes de la pieza colada.

Existen diversos métodos o procesos de moldeo que pueden ser utilizados para la producción de piezas coladas. Entre los más usados actualmente en nuestro medio, podemos mencionar los siguientes:

- Moldeo en verde con arena natural o tierra de moldeo.
 - .- con secado superficial
 - .- con pinturas
- Moldeo con arena mezclada con aglutinantes naturales o sintéticos.
- Moldeo en coquilla metálica.

Indistuciblemente, el proceso de moldeo de uso más generalizado entre los fundidores del medio es el moldeo en verde con arena natural, o también llamada tierra de moldeo, la cual posee excelentes propiedades de moldeabilidad, que es lo que en principio se ha atraído la preferencia del fundidor, además del bajo costo de la misma

pues es fácilmente obtenible en la zona de Posorja (Península de Sta. Elena) más barata que las arenas sintéticas.

Cabe mencionar que la tierra de moldeo posee todos los inconvenientes anotados anteriormente como causas de los defectos más comunmente encontrados en las piezas fundidas en hierro gris de producción local, pues tiene alto contenido de arcilla, e impurezas, baja permeabilidad y punto de sinterización bajo, y grano de tamaño fino.

En general, los moldes hechos con tierra de moldeo son secados antes de recibir el metal fundido, para evitar en algo la formación de gases, en este caso por vaporización de la humedad presente en las paredes del molde. Esta operación ayuda a evitar en gran parte la formación de porosidades en la superficie de los moldes.

Para mejorar el acabado superficial de las piezas fundidas en hierro gris en moldes hechos con arena natural, es posible pintar la superficie de los mismos con ciertas pinturas que van a proteger las paredes del molde tan susceptibles a dañarse al contacto con el metal caliente.

Estas pinturas pueden ser en base de materias carbonosas - como plonvagina, grafito en polvo, harina de sílice, etc., todos ellos polvos muy finos que al estar disueltos o sus-

pendidos en agua, alcohol o gasolina pueden ser pulverizados uniformemente sobre las paredes del molde, el cual luego tendrá que ser secado.

Lo anterior debería dar excelentes resultados de acabado superficial, si tal operación fuese realizada correctamente.

El moldeo con arena mezclada con aglutinantes tiene por objeto utilizar moldes mas resistentes que los moldes en verde.

De tal manera, se pueden utilizar como aglutinantes diversas sustancias. Entre las más comunmente usadas en nuestro medio, podemos mencionar:

bentonita

melaza

cereales

ciertos aceites

Indudablemente, estas mezclas mejoran la consistencia de los moldes y hacen posible el moldeo de piezas mas complicadas pues se pueden conseguir, por ejemplo, secciones un tanto más delgadas que las que se pueden conseguir con moldeo en verde.

El moldeo en coquilla es de uso menos frecuente en el me-

dio y se realiza el macho de metal y la hembra se moldea en verde o viceversa.

Este método de moldeo se utiliza para aumentar la velocidad de producción de ciertas piezas, pero así como el método anterior, tampoco constituye una solución definitiva para los problemas de acabado superficial de la pieza colada.

2.3. ARENAS NACIONALES PARA FUNDICION

Las arenas silíceas usadas en la industria de la fundición existen en nuestro país en sitios muy diferentes, en yacimientos que están actualmente en explotación y que se aprovechan para la producción del vidrio (envases y vidrios planos).

La mayoría de éstos yacimientos son de origen sedimentario y el material procedente de ellos es de gran pureza; además es interesante anotar que los depósitos que existen en algunos sitios se pueden considerar como muy importantes. Por ejemplo, el depósito "El Pincho", cuyas reservas son estimadas en 55 millones de toneladas.

Una investigación realizada por el Departamento de Ing. de Geología, Minas y Petróleo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, nos indica que existen en el país muchos yacimientos de arena silícea de óptima conveniencia para la industria nacional de la fundición. Dichos yacimientos están localizados principalmente en la zona costanera de la Provincia del Guayas, en la provincia de El Oro y Napo, en lechos de ríos o en áreas en donde alguna época hubieron ríos.

En la tabla 2.3.1., se detalla la ubicación y reservas estimadas de un cierto número de minas de arenas de sílice,

TABLA 2.3.1.

UBICACION Y CAPACIDAD ESTIMADA DE ALGUNOS YACIMIENTOS DE ARENAS
SILICEAS NACIONALES

NOMBRE DEL YACIMIENTO	UBICACION		FASE	RESERVAS (Tons.)
	PARROQUIA	PROVINCIA		
La Fortuna	Taday	Cañar	Explotación	—
Patricia	Misahualli	Napo	Explotación	—
Mercedes	"	"	Explotación	—
El Pincho	Yantzaza	Zamora-Chinchipe	Exploración	—
La Esperanza	"	" "	Explotación	55'000.000
Panguin	"	" "	"	—
Clam	Limón-Indanza	Morona-Santiago	"	—
Gral. Plaza	Gral. Plaza	" "	Exploración	2'110.000
Sucúa	Sucua	" "	"	—
Antonio	Misahuallí	Napo	"	—
Hollín	Gral. Plaza	Morona-Santiago	"	—

BIBLIOTECA



dentro del territorio nacional.

Haciendo investigaciones en las fábricas dedicadas a la producción de vidrios (~~CRIDESA, FANA VISA y ANDIVIDRIOS~~), se ha encontrado que existen referencias y datos más o menos definitivos para explotación, sobre otros lugares en donde se han encontrado arenas silíceas que no están siendo explotados y que se encuentran unicamente en fase de prospección. En seguida, se enumeran algunos de dichos lugares:

- Los ríos de la Península de Santa Elena, desde Playas a Chanduy, y de la zona de Manglaralto, Olón, Montañita, San José, Barcelona, Bolívar, etc. (Provincia del Guayas).
- En el carretero a Salinas, en los lechos de los ríos cercanos a Zapotal (Provincia del Guayas).
- Entre Santa Rosa y Puerto Jelfí (Provincia de El Oro).
- En Puerto Emerenciana (Provincia de El Oro).
- Cerca de Piñas (Provincia de El Oro).
- Cerca de Cotundo (Provincia del Napo).
- En los bancos del Río Guayas (La Puntilla)

Como es sabido, la industria del vidrio demanda de la materia prima mejor calidad de la que exige la fundición, espe-

cialmente en cuanto se refiere al límite máximo de impurezas (todo lo que no sea sílice o SiO_2).

Por tal motivo, en este trabajo se han utilizado directamente muestras solicitadas a CRIDESA y a FANAVISA, las mismas que han realizado análisis químicos de las arenas, y los contenidos de Oxido de Hierro presente fluctúa en el rango de 0.025 a 2% lo cual se puede considerar excelente en cuanto a calidad para su uso en la industria de la Fundición.

2.4. PROCESO SHELL PARA LA ELABORACION DE MOLDES

2.4.1. Generalidades y Ventajas del moldeo en cáscara^(4,9)

El proceso de moldeo en cáscara consiste en la utilización de una mezcla hecha de arena y resina termofraguable, producto de ciertos procesos de destilación de hidrocarburos, la cual al sufrir un aumento de temperatura, se vuelve líquida recubriendo de esta manera los granos de arena, para luego solidificarse formando una pared monolítica muy resistente. Esta circunstancia es aprovechable mediante este proceso, para la fabricación de moldes y corazones para la producción de piezas fundidas.

El presente trabajo, se concretará únicamente en la fabricación de moldes de cáscara.

El proceso de moldeo en cáscara, debido a sus caracterís-

ticas y múltiples ventajas, está considerado como uno de los mayores avances tecnológicos de la industria de la fundición.

Este proceso se desarrolló comercialmente durante la Segunda Guerra Mundial, en Alemania. Su creador, Johannes Croning, patentó el proceso en 1944 en Hamburgo, el que luego fue conocido en otros países industrializados del mundo a partir de 1947.

Indudablemente, el uso de resinas sintéticas termofraguables como aglomerantes, constituyó un avance novedoso en la producción de moldes y corazones.

Inicialmente, este proceso pasó a formar parte importante de la gama de métodos de producción al alcance del fundidor. Este sitio ha sido mantenido a pesar de la introducción de nuevos procesos de moldeo tales como los de caja caliente y caja fría.

El método en sí consta de las siguientes fases (fig. 6.1):

- a. La construcción de los modelos que servirán para la fabricación de los moldes. Esto requiere de mucho cuidado para lograr buenos resultados, puesto que se exige que los modelos tengan un excelente acabado superficial, lo cual hace complicada su construcción, la que



se dificulta más en función directa con la geometría de la pieza a colarse. Además, éstas placas modelo metálicas deben fabricarse incluyendo los bebederos, mazarotas y canales de colado, que también forman parte del molde. Se deben incluir también las guías que van a servir para la unión de las dos mitades del molde.

- b. El calentamiento de la placa modelo sobre la placa base a temperaturas entre 200 y 240°C, seguido de la aplicación de un lubricante a base de silicones.
- c. Verter la mezcla de arena con resina termofraguable sobre la placa modelo y asegurar el contacto por cierto intervalo de tiempo durante el cual la resina se vuelve líquida y fluye, formando con la arena una capa que sigue fielmente los contornos del modelo. El espesor de esta capa depende del tiempo de contacto de la mezcla con la placa modelo, de la temperatura y del tipo de resina utilizada como aglomerante.
- d. Se coloca la placa modelo con la cáscara adherida, dentro de un horno a temperaturas entre 260 y 300°C, y durante un tiempo que varía entre uno y tres minutos. En ésta operación se cura la resina de la cáscara, la misma que adquiere su resistencia final.
- e. Se saca la cáscara de la placa modelo mediante un meca-

nismo de eyección previamente acondicionado.

- f. Se unen las dos mitades (cáscaras) del molde utilizando las guías de unión respectivas, incluyendo, ~~si los hu-~~ bieren, los consiguientes machos o corazones.
- g. Se realiza el colado del metal fundido en el molde formado.

Existen muchos motivos que hacen indiscutible la conveniencia de la utilización del proceso de moldeo en cáscara para la producción de cierto tipo de piezas.

Como ventajas principales se consideran el excelente acabado superficial de las piezas coladas, junto con la gran exactitud dimensional y una alta definición de detalles con respecto al moldeo utilizado.

Se consideran las anteriores como principales ventajas del proceso, puesto que logran optimizar en gran forma el coeficiente de utilización del material. Esto quiere decir que se puede llegar, si no a eliminar, a por lo menos reducir en gran parte el maquinado posterior o de acabado final que se realiza generalmente en las piezas coladas. Mas aún, existen piezas cuya geometría es muy difícil de lograr con el maquinado, por lo cual éste método permite la obtención de éste tipo de piezas con un acabado superficial excelente,

aún sujeto a tolerancias dimensionales muy estrechas. Todo lo anterior dá como resultado un alto rendimiento de piezas por tonelada de metal fundido.

Además de las anteriormente indicadas, se pueden señalar las siguientes ventajas:

- Aumento de la productividad debido a la rapidez del proceso. Esta característica es otra de las de gran importancia que brinda el proceso porque lo capacita indiscutiblemente para grandes producciones (producción en masa), de tanta importancia para industrias tales como la automotriz (cilindros para motores enfriados por aire, blocks, carters, etc.) y mecánica en general (propelas para turbinas pequeñas, engranajes, etc.).
- Se elimina trabajo laborioso en la construcción de moldes y corazones.
- Menor peso y fácil manipuleo de los moldes.
- Se puede realizar el almacenaje de los moldes por tiempo indefinido, si se requiere, en un lugar moderadamente seco pero no frío. La ventilación se facilita aun con el uso de arenas finas, debido a que, por ser los moldes y paredes finas, existe menor producción de gases.
- Cuando se utilizan corazones de cáscara, el consumo de are

na es de 25 a 50% menor que si se utilizara moldeo convencional en verde, debido a que son generalmente huecos.

- Las secciones delgadas se obtienen fácilmente debido a que la refractariedad de la cáscara no permite el enfriamiento rápido del metal colado.
- Las condiciones de trabajo de éste tipo de plantas son mejores debido a que la limpieza se simplifica y existen menos materiales que manipular.
- La arena ya preparada (mezclada con resina) se puede almacenar indefinidamente.
- Los moldes de cáscara no requieren secado, ni posterior a su fabricación ni previo al colado del material fundido.
- La cantidad de equipos necesarios para una planta de moldeo en cáscara, es menor que la utilizada en plantas de moldeo en verde.

Lógicamente, este proceso tiene sus inconvenientes con respecto al proceso de moldeo en verde:

- El tamaño de las piezas obtenibles por este método está limitado por el peso de las mismas.
- El alto costo de las matrices o modelos, como se ha expli

cado anteriormente, debido al excelente acabado que deben tener, lo cual conlleva un proceso de maquinado meticuloso. Además, según las características de la pieza a modelarse, las matrices deben ser construídas en metal, ya sea aluminio o hierro gris, como se explicará más adelante.

- El alto costo de la resina aglomerante utilizada en el proceso.
- Se requiere mayor cantidad de equipos de control (temperatura, combustible, arena, etc.).
- La inhalación continua de los gases producto de la termoequilización de la resina, puede resultar peligrosa, por lo que se hacen necesarias ciertas instalaciones para la extracción de los mismos.

2.4.2. Arenas utilizadas (3,4,5,6,7,8,10)

La selección y aplicación adecuadas de las arenas para el proceso de cáscara es de gran importancia debido a su efecto en todas las etapas del ciclo de producción.

Las arenas convenientes para el proceso de cáscara, tanto de sílice como de zirconio, varían en un rango de pureza, tamaño de grano, estructura granular y distribución de grano, comparativamente estrecho. Además, el análisis químico, el pun

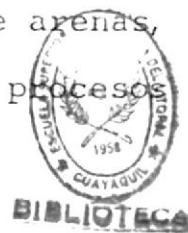
to de sinterización, la expansión térmica y el contenido de humedad, afectan ostensiblemente su comportamiento. Todas éstas propiedades son determinadas por la historia geológica del depósito y la preparación posterior por parte del productor.

En general, las arenas para el proceso de cáscara son mucho más finas que aquellas utilizadas en la práctica convencional de fundición, pero recientemente, debido al uso de resinas y aglomerantes mejorados, se pueden usar arenas gruesas.

En otros países, los productores de arena han perfeccionado sus métodos de clasificación de tal manera que se pueden obtener fácilmente arenas con una infirmitad adecuada para el proceso de cáscara.

En nuestro medio, los productores de arena no hacen una selección exhaustiva de la arena a excepción de conocer el contenido de sílice y de óxido de hierro que constituyen - datos importantes para los fabricantes de vidrio, que como se ha mencionado anteriormente, son los principales consumidores de la arena silícea.

En consecuencia, se debería difundir entre los productores nacionales, los métodos de selección y manipuleo de arenas, para hacer más accesible su empleo en los diversos procesos



empleados en nuestra industria de la fundición.

Los problemas de fundición son más comunes en el proceso de cáscara debido a la selección y manipuleo de la arena, pueden definirse de la siguiente manera:

1. Acabado superficial rugoso debido a la baja compactibilidad de la arena.
2. Acabado superficial rugoso debido al bajo punto de sinterización de la arena.
3. Rajaduras y fugas debido a la baja resistencia de los moldes al choque térmico.
4. Varianza dimensional en las piezas fundidas debido a una expansión térmica excesiva de la arena.
5. Consumo excesivo de resinas debido a la presencia de contaminantes o impurezas en la superficie de la arena.

Además de los aspectos técnicos de la selección en base a las características antes mencionadas, las arenas para el proceso de cáscara deben mantenerse completamente secas, lo cual debería ser una condición de entrega del productor de arena.

Tanto en pequeñas como en grandes fundiciones, la experiencia ha demostrado que las arenas de bajo costo y mala cali-

dad, cuando son utilizadas para el proceso de cáscara, generalmente producen piezas de mala calidad y alto costo.

Antes de seleccionar una arena para el proceso ~~de cáscara~~, debe estar claramente definido el propósito para el cual va a ser utilizado. Por ejemplo, por sus altas temperaturas de colado, las fundiciones de hierro y acero deberán prestar más atención al punto de sinterización de una arena en particular, que las fundiciones de no ferrosos que utilizan el proceso de cáscara.

Por otro lado, todas las fundiciones que usen o que traten de usar el proceso de cáscara deben tomar en cuenta la cantidad de resina requerida para unir los granos de arena para cada tipo de aplicación, pues éste es el factor que redunda en el costo del proceso.

2.4.2.1. Consideraciones generales

La información bibliográfica manifiesta que se han logrado grandes progresos a través de los años en el lavado, secado, tamizado y preparado de las arenas de tal manera que hoy en día se puede alcanzar una arena apta procedente de cualquier yacimiento.

Las propiedades esenciales a considerarse al seleccionar una arena para el proceso de cáscara son las cantidades de -

arcilla y de sílice, tamaño, forma y distribución granulométrica. Estas propiedades deben estar bajo el control del productor cuyos métodos (normas AFS) son universalmente usadas hoy en día por proveedores y compradores de arena para fundición.

Los depósitos de arena varían de un lugar a otro y de una época a otra, pero tales variaciones se minimizan con pruebas de control de calidad a la fecha realizadas por el productor.

Es muy común aceptar arenas para el proceso de cáscara con un alto índice de seguridad en cuanto a los ensayos realizados por el productor pues, caso contrario, se producirían fácilmente grandes pérdidas en la fundición.

Cada fundición que emplea el proceso de cáscara debe tener instalados equipos de ensayos normalizados para la determinación y certificación de forma de grano, porcentajes de distribución de fineza (mallas) y porcentaje de arcilla por peso de arena.

2.4.2.2. Efecto de la forma de grano

Para los fines de la fundición, como es sabido, se conocen tres formas de grano:

- redondo

- angular
- subangular

Las arenas de grano redondo poseen gran permeabilidad porque tienen la menor área de contacto entre granos al ser aglomerados por una resina sintética y ser curados totalmente. También requieren la menor cantidad de resina para una gran resistencia en frío, pero no producen alta resistencia en caliente en moldes o corazones.

Las arenas de grano angular tienen poca permeabilidad cuando se curan con resina, y en general, dan como resultado baja resistencia en frío para moldes y corazones, pero una considerablemente alta resistencia en caliente, sin un aumento proporcional de resina.

Los granos de arena subangular presentan la mejor combinación entre bajo contenido de resina, media resistencia en frío y alta resistencia en caliente, siendo todas estas propiedades meramente relativas. Los moldes y corazones de cáscara hechos con arenas subangulares muestran la menor tendencia a la penetración del metal por rasguños: pero la forma del grano de arena no es el único factor para corregir estos defectos de fundición. La estructura mineralógica de la arena determinará la presencia o ausencia de planos de clivaje en los mismos granos.

Los granos de arena que poseen planos de clivaje se rompe-

rán rápidamente bajo choque térmico y manipuleo mecánico. Además éstas arenas requieren generalmente más aglutinantes.

Los minerales tales como el calcio y el magnesio pueden estar presentes en la arena como silicatos débiles y frágiles, en vez de los carbonatos que son más aceptables. El cuarzo o sílice puros son difícilmente fracturados por el choque térmico que ocurre cuando los granos de arena están sujetos a cambios violentos de temperatura.

Los granos de arena de zirconio, debido a que alcanzan la fusión a temperatura de 2260°C , no están supuestos a romperse o fracturarse cuando son sometidos a temperaturas de metal fundido normales, incluso de aceros de alta aleación (1815 C). Como resultado de esto, son altamente utilizables en el proceso y sólo las pérdidas por mecanizado hacen necesaria la adición de arena nueva.

2.4.2.3. Efectos del tamaño de grano

El tamaño del grano de la arena tiene incidencia directa en las propiedades refractarias de la masa de arena. En general, mientras más fino el grano, menos refractaria la masa de arena, pero en el caso de moldes y corazones de cáscara, los residuos carbónicos de la resina sintética quemada mejoran las propiedades refractarias de la masa



de arena, de tal manera, que pueden usarse arenas silíceas de grano más fino sin alcanzar el punto de fusión incipiente.

En el caso de arenas de zirconio, la finura no necesita ser considerada con relación a fusión incipiente debido a su alta temperatura de sinterización.

El tamaño del grano también tiene incidencia directa sobre la cantidad de resina necesaria para mantener las propiedades de resistencia en caliente y en frío requeridas para moldes y corazones.

El área superficial de cada grano aumenta rápidamente con un descenso en fineza. El área superficial del grano varía inversamente con el cubo de su diámetro. En la práctica, esto significa que un volumen dado varía inversamente con el cubo del diámetro. Por ejemplo, en un volumen dado de arena habrán 8 veces más granos de malla 270 que granos de malla 140. Para la resina, esto significa un aumento desde 3.5% por peso de arena para malla 140 hasta 12% para malla 180.

Las relaciones entre forma, tamaño, área superficial, número de granos en un volumen dado de arena y el contenido de resina han sido investigados y se ha probado que se puede



conseguir una combinación armoniosa entre ellos para producir mejores resultados en la práctica.



2.4.2.4. Efectos de los aditivos

Las mezclas para molde de cáscara están compuestas de arena, resina y aditivos químicos. La arena da la refractariedad, la resina da la propiedad adhesiva y los aditivos dan la propiedad de inhibición de la reacción metálica a los moldes y corazones.

Cuando se utilizan aditivos para los moldes, es necesario observar su efecto sobre la permeabilidad en la mezcla de arena lo cual podría provocar una alteración sustancial en el comportamiento de la cáscara en el desalajo de gases.

Para mantener una ventilación eficiente cuando se va a mezclar la arena con aditivos para formulaciones del proceso de cáscara, deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

1. Se debe utilizar la arena base (arena de tres mallas) más gruesa posible que produzca el grado requerido de acabado superficial.
2. Se debe utilizar la distribución de grano más estrecha posible que produzca el grado requerido de acabado superficial.

3. Se puede añadir hasta un 15% de particular de grano fino a la arena base antes de que se dificulte la ventilación debido a que la permeabilidad base de vuelve demasiado baja. La permeabilidad base de las partículas de grano angular es por lo menos 20% menor que las de la partícula de grano redondo.
4. Para el uso de cualquier aditivo que vaya a ser mezclado con la arena base se debe considerar la diferencia de densidades entre los materiales.
5. El acabado superficial no se ve afectado mayormente hasta que la adición de partículas de grano grueso excede al 33%, es decir el punto donde la permeabilidad base aumenta considerablemente.

2.4.3. Tipos de resinas⁽³⁾

2.4.3.1. Generalidades

Las resinas son sustancias sólidas o de consistencia pastosa insolubles en el agua, solubles en ciertos aceites y generalmente en el alcohol y capaces de arder en el aire. Poseen la propiedad de endurecerse al contacto con el aire por oxidación o también se modifican por acción del calor.

La composición química de las resinas es muy compleja y va-

riada de unas a otras y sus caracteres físicos son muy diversos.

Existen dos grandes grupos de materiales resinosos:

- resinas naturales y,
- resinas sintéticas

Al primer grupo pertenecen la mayoría de resinas que se han venido usando como aglomerantes desde hace muchos años en la industria de la Fundición. Por ejemplo la resina de madera, la caseína, el alquitrán, la gilsonita y la melaza, - los cuales han sido usados como aglomerantes, y ciertos derivados del petróleo que han sido utilizados como agentes - fortificantes de moldes.

El segundo grupo, las resinas sintéticas, son fabricadas por el hombre por medio de procesos químicos complicados cuidadosamente controlados, en los cuales se reordena la estructura natural de las moléculas de ciertos compuestos, dando como resultado materiales sintéticos cuyas propiedades no se pueden obtener con otros procedimientos.

De manera general, se puede decir que existen dos grandes grupos de materiales resinosos sintéticos:

- resinas termoplásticas y,
- resinas termoestables o termofraguables.

Las resinas termoplásticas son aquellas que están generalmente en estado sólido a temperatura ambiente, pero en presencia del calor se vuelven líquidas. Si se las deja enfriar convenientemente, volverán a recuperar su estado sólido y todas las propiedades que tenían inicialmente.

Este ciclo de calentamiento y enfriamiento puede repetirse indefinidamente sin temor a cambios en las propiedades de las resinas. Por tal motivo, este tipo de resinas no son adecuadas para ser utilizadas en el proceso de cáscara para la elaboración de moldes, aunque muchas veces se utilizan conjuntamente con las resinas termoestables como aglutinantes.

Las resinas termoestables son aquellas que cuando sometidas a la acción del calor, mediante una reacción química y luego de haber pasado al estado líquido, se transforman en un sólido duro, incapaz de volver al estado líquido e insoluble en casi todos los solventes.

El uso de resinas termoestables, especialmente de los tipos fenol-formaldehído y urea-formaldehído, se ha incrementado notablemente en la industria de la fundición, más que nada como aglutinantes.

Dentro del grupo de resinas de fenol-formaldehído existen

2 clases: resinas de una etapa y las resinas de dos etapas también llamadas resinas Novolak. Las de una etapa son aquellas en que la relación de formaldehído a fenol es tal que todo el formaldehído necesario para completar el curado de la resina está presente en la fórmula y lo que se requiere para realizar el curado es aplicar calor. Se utilizan principalmente para grandes producciones de machos por caja caliente y como reductor del tiempo de horneado.

Las resinas de dos pasos o novolaks, son aquellas en las que la cantidad presente de formaldehído es insuficiente para producir un curado completo de la resina y se requiere de más para hacerla termoestable. El formaldehído adicional se lo suministra en forma de hexametiltetramina (más conocido como heta) que es un producto de la reacción entre el amoníaco y el formaldehído. Como resultado de esto tenemos la termoestabilización de la resina novolak, y por éste motivo se puede utilizar en la fabricación de moldes y machos de cáscara.

2.4.3.2. Tipos de resinas Novolak

Se conocen 4 tipos diferentes de resinas Novolak para utilizar en el proceso de cáscara.

1. Resinas Novolak en polvo con hexa incluido para usarse en operaciones de mezclado en seco y para recubrimiento de

arena en frío con un solvente.

2. Resina Novolak en solución para recubrimiento de la arena en frío o en caliente. El hexa y el lubricante requeridos se adicionan durante la operación de recubrimiento.
3. Resinas Novolak líquidas para recubrimiento en caliente con hexa, y el lubricante añadido durante el mezclado.
4. Resinas Novolak en grano para recubrimiento en caliente. El lubricante generalmente viene incluido en la resina y el hexa se adiciona durante la operación de recubrimiento en forma de solución acuosa.

2.4.3.3. Propiedades

Fluidez.- Estas resinas Novolak se fabrican haciendo reaccionar fenol con una solución acuosa de formaldehído en presencia de un catalizador ácido bajo condiciones cuidadosamente controladas.

Al regular una o varias variables de éste proceso, así por ejemplo: porcentaje de solución en formaldehído por peso de fenol, tiempo, temperatura, tipo y cantidad de catalizador, etc., se pueden producir resinas con diferentes características en lo relacionado a punto de fusión, viscosidad de fusión (fluidez) y velocidad de curado, lo que influirá

en el comportamiento de la resina al conformar los moldes y corazones de cáscara.

Para relacionar las propiedades de la resina con un comportamiento en línea de producción de la fundición, es muy necesario tener un conocimiento básico de una reacción termoquímica tan compleja como la que se produce cuando se somete a la resina a un proceso controlado de calentamiento.

La figura 2.4.3.1. nos muestra el comportamiento de la resina con hexa sin arena, cuyos cambios físicos toman lugar a temperatura constante por un cierto período de tiempo. Esta figura muestra el proceso de fusión de la resina durante la fase A, y luego el endurecimiento de la misma en las fases B y C. En la fase A se representa el paso de sólido a líquido de una resina, y luego de esto debido a que se libera amoníaco y el exceso de formaldehído, producto de la descomposición del hexa, lo que conduce a un proceso químico irreversible de endurecimiento, que está representado en la fase B de dicha figura. La forma de ésta parte de la curva de transformación varía de acuerdo a la fluidez propia de cada resina, de tal manera que a mayor fluidez, la resina alcanza más lentamente el estado sólido (Fig. 2.4.3.2.).

En dicha figura podemos clasificar las resinas 1, 2 y 3 como de fluidez baja, media y alta, respectivamente. En la práctica, las resinas de fluidez baja tienen la tendencia a

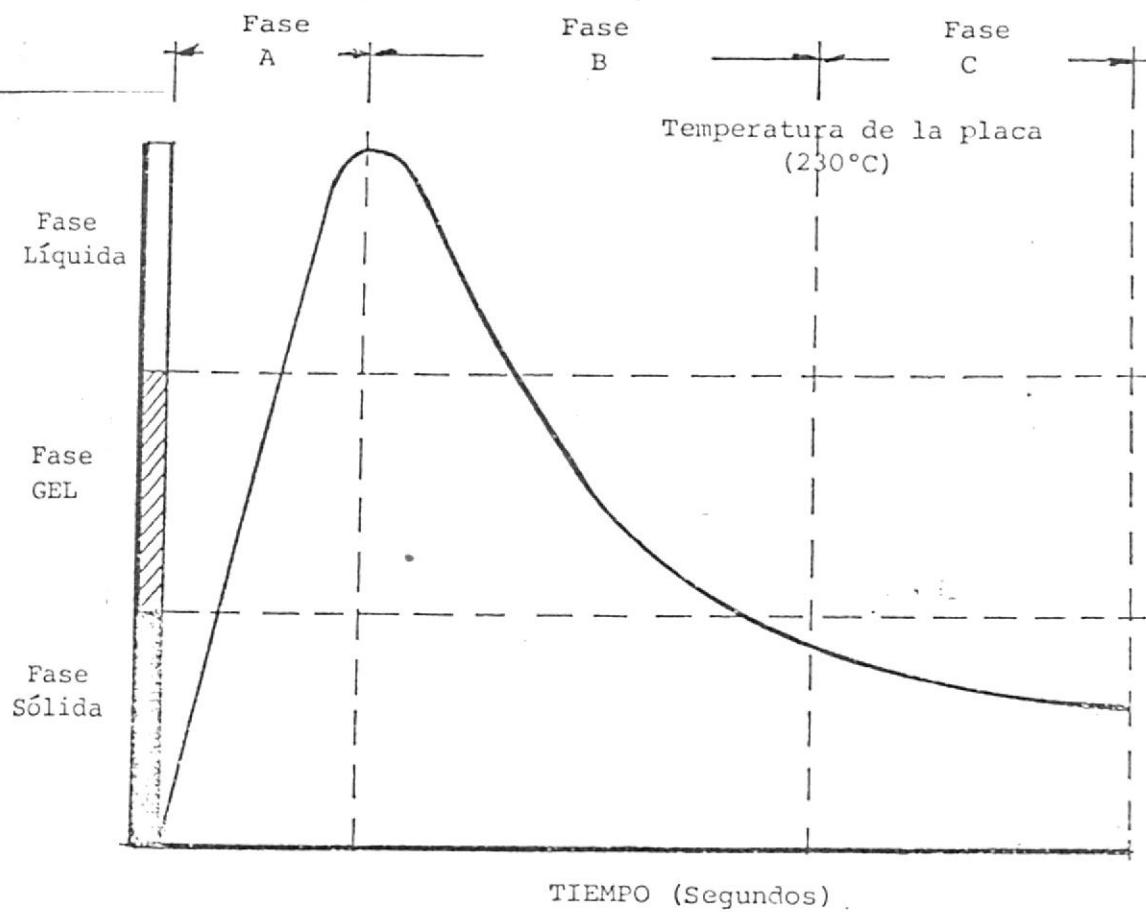


FIGURA 2.4.3.1.- Ciclo del estado físico de una resina pura con hexa, no mezclada con arena, al ser mantenida constante la temperatura de la placa.

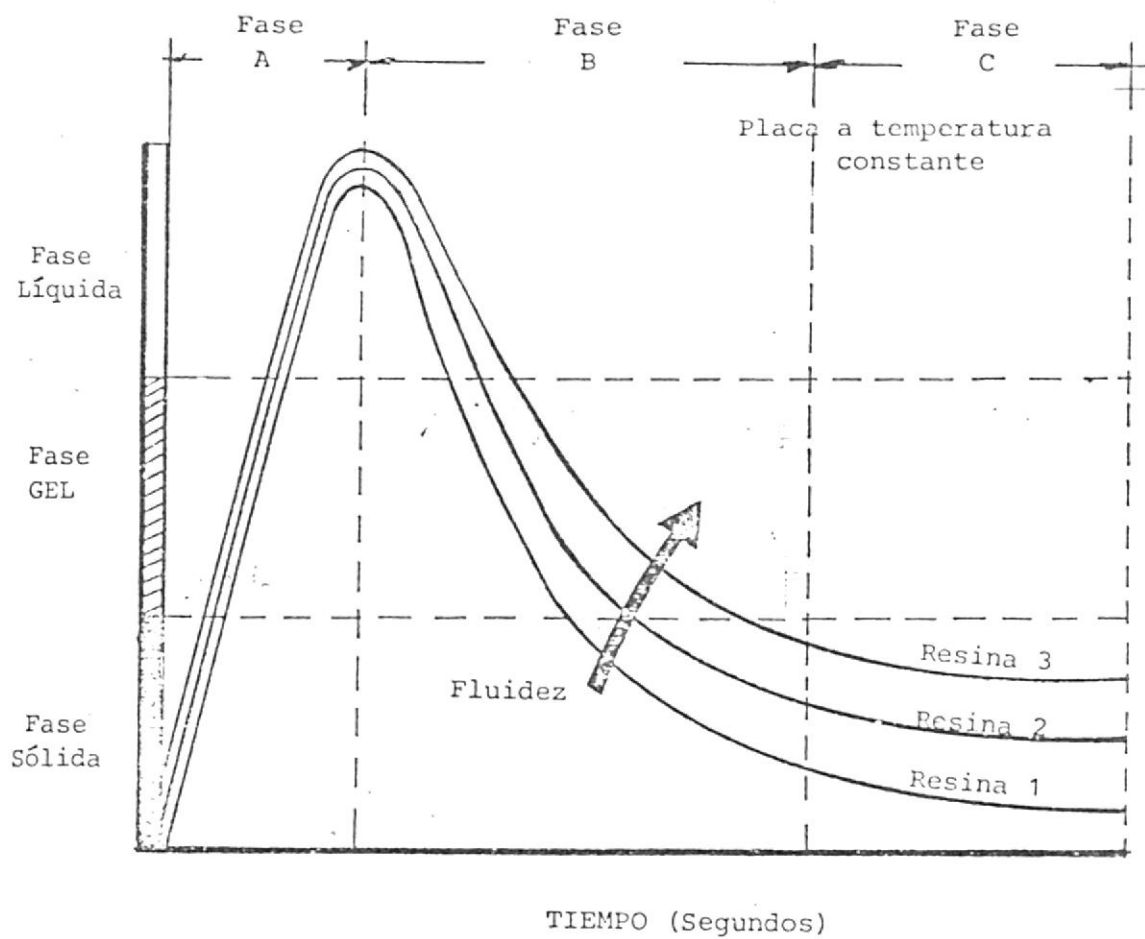


FIGURA 2.4.3.2.- Variación del tiempo de solidificación de una resina con respecto a la fluidez de la misma.

resinas fenol-formaldehído, se hace reaccionar el carbón con vapor de agua para dar gas metano, del cual se produce alcohol metílico y de éste, por oxidación, se produce el formaldehído.

Estos dos productos, fenol y formaldehído se combinan en presencia de un catalizador para formar las resinas fenólicas, las cuales tienen una gran variedad de propiedades que dependen de las condiciones de la reacción, de la relación de formaldehído a fenol, del tipo de catalizador utilizado, etc.

Las reacciones que dan como resultado la formación de productos resinosos a partir del fenol y el formaldehído, son conocidas como reacciones de condensación, es decir, dos o más moléculas de fenol unidas por un puente de metileno por la acción del formaldehído en presencia de un catalizador ácido y acompañadas por descomposición de agua.

2.4.4. Clases de mezclas (3,7,8)

Para la fabricación de moldes por medio del proceso de cás cara existe una gran cantidad de formulaciones que se utilizan dependiendo del tipo de material que se va a colar en el molde, y de éste, su forma, peso y dimensiones generales.



El éxito de la aplicación del método radica en el escogitamiento de la formulación correcta para cada aplicación en particular.

Existe información general sobre diferentes tipos de formulaciones, proporcionada por los fabricantes de resinas y aditivos; por los productores de arenas para cáscara y por personas en organismos dedicados a la investigación en los diferentes campos de la fundición.

Cuando se utilizan resinas secas mezcladas a la arena, generalmente reproducen defectos debido a la segregación de los granos de resina con respecto a los granos de arena, al momento de la colocación de la mezcla arena-resina sobre el modelo caliente, provocando así una variación en la densidad del molde lo cual, al momento de colar, produce serios problemas de deformación del molde y por ende, malos resultados en el aspecto superficial de las piezas coladas. Este problema se puede evitar en algo controlando lo mejor posible las condiciones del mezclado previo de la arena con la resina para colocar la mezcla sobre el modelo de la forma más homogénea posible.

Otra forma de obviar esto es la utilización de arena recu-

bierta (*) con resina, pero es justificable económicamente sólo cuando se trata de grandes producciones.

Además del tipo de resina y clasificaciones de arenas, forman parte de éstas formulaciones ciertos aditivos como la bentonita, que se utiliza para dar más resistencia en caliente a los moldes; el estearato de calcio utilizado para facilitar la separación del molde del modelo luego del curado: el óxido de hierro, que al derretirse forma con el sílice un compuesto plástico muy viscoso que junto con la resina de la mezcla ayuda a mantener unidos los granos de la superficie del molde, lo cual elimina el agrietamiento de las paredes del molde a altas temperaturas, evitando así imperfecciones en el acabado superficial de la pieza colada; la harina de madera, utilizada como amortiguante pues dá cierta flexibilidad a las paredes del molde evitando que éstas se fisuren reduciendo la resistencia en caliente de la mezcla, dando como resultado un mejor acabado superficial de las piezas coladas.

Así mismo, estos materiales celulósicos forman una capa en las paredes del molde tal, que se produce una combus-

(*) Este tipo de arenas se denominan así cuando se la somete a un cierto proceso mediante el cual se recubren los granos con la resina, sin que se alteren las propiedades de la misma.

Esto permite una mejor distribución de la resina al momento del curado. Este tipo de arenas, como es obvio son más caras que las normales.

ción constante al ingresar el metal fundido, ayudando de ésta manera en el aspecto final de la pieza.

Cabe mencionar, que por razones económicas, el proceso de moldeo en cáscara se puede realizar en dos etapas, es decir, en la primera etapa se deposita sobre el modelo caliente un tipo de mezcla en base a arena de malla muy fina para lograr el mejor acabado, y en la segunda se puede utilizar una mezcla en base a arena de malla más gruesa que es la que va a conformar el resto del espesor deseado de la cáscara. Inclusive, en la mezcla utilizada para la primera etapa pueden intervenir alguno o algunos de los aditivos antes descritos, puesto que es la mezcla que dará el acabado superficial deseado a la pieza que se fabrica.

Como se ha explicado anteriormente, las mezclas para las diferentes utilidades del proceso, son generalmente suministradas por los fabricantes de resinas o por grupos de investigación en el campo del moldeo en cáscara.

Estos datos, como se puede esperar, no son la última palabra para tal o cual caso, pues la gran cantidad de variables del proceso, como el sinnúmero de compuestos que en él intervienen, hacen que los resultados de dichas formulaciones no sean los esperados, por lo que se hace necesa

rio utilizar el método de prueba y error partiendo, naturalmente, de la información suministrada y modificando la formulación de acuerdo a la lógica hasta llegar al procedimiento óptimo que dé los mejores resultados.

A continuación, se detallan algunas de las formulaciones propuestas por la AFS (American Foundrymen Society) para diferentes materiales y aplicaciones. Cabe destacar que los porcentajes presentados son dados en base al peso de la arena.

ACEROS

TIPOS: Alto y,
Medio carbono

APLICACIONES

Levas, pasadores chavetas, chapas, bocines, piñones y cremalleras.

DIMENSIONES

Sección mínima 3 mm; sección máxima 10 mm; dimensiones generales de 200 a 250 mm; rango de peso 30-450 gr.; masa máxima 12 mm. de diámetro.

MEZCLA

60% arena N^o 127*, 40% arena N^o 25*, 3% de resina, 0.75% de

* Ver referencia tabl 6.1.

dióxido de manganesio y 0.5% de esteara de calcio.

TIPOS

Aceros de bajo carbono y aceros de baja aleación.

APLICACIONES

Cuerpos de válvulas, carcazas de bombas carcazas de cajas de transmisión, acoples de cañerías, poleas, volantes, árboles de levas, impellers de bombas, piezas de rodamiento y cigueñales.

DIMENSIONES

Sección mínima 6 mm.; sección máxima 50 mm; masa máxima 80 mm; máxima área plana 130 cm²; dimensiones lineales máximas 1.200 mm; rango de peso 0.5 - 140 kg.

MEZCLA

Primera Etapa:

(Capa de 1.5 mm); 60% arena N^o 18, 35% arena N^o 16, 4% de resina, 1.5% de óxido de hierro.

Segunda Etapa:

(Capa de 4.5 mm.); 65% de arena N^o 15, 30% de caliza granulada, 5% de resina.

TIPO

Aceros de alta aleación y,
Aceros superaleados

APLICACIONES

Brocas para taladros, fresas, machuelos, dados de tarraja, árboles de levas, levas, boquillas de quemadores, deflectores de llama, punzonadores, asientos de válvulas, vástagos, pistones, camisas de cilindros, guías, piñones, chapas, engranajes, mordaza, acoples para tuberías y cañerías.

DIMENSIONES

Sección mínima 2,5 mm; sección máxima 75 mm; masa máxima 150 mm. de diámetro, área plana máxima 125 cm²; dimensiones lineales máximas 1200 mm; rango de peso 30 gr. a 45 kg.

MEZCLAPrimera Etapa:

(1.5 mm.); 60% de arena N^o 2, 35% arena N^o 18, 8% de resina, 1.5% de óxido de hierro;

Segunda Etapa:

(4.5 mm.); 65% de arena N^o 15, 30% de caliza granulada y 5% de resina.

FUNDICIONES

TIPO

ASTM A48, ~~clases 20, 25,~~ 30 y 35.

APLICACIONES

Ruedas, poleas, volantes, asientos de válvulas, émbolos en granajes, piñones, chapas, chavetas, levas, árboles de levas y barra de conexión.

DIMENSIONES

Sección mínima 3 mm; sección máxima 20 mm; masa máxima 50 mm. de diámetro, máxima área plana 65 cm², dimensión lineal máxima 900 mm.

MEZCLA

60% de arena N° 16, 35% de arena N° 1, 4% de resina, 2% de bentonita y 1% de estearato de calcio.

TIPO

ASTM A48, clases 30, 35, 40 y 50

APLICACIONES

Cajas de transmisión, cajas de piñones, carcazas de bombas, cuerpos de válvulas, pistas de rodamientos, bancadas de má

quinas, carcazas de motores, carcazas de embragues, engranajes cónicos, engranajes planos, piñones, magnetos, dados de conformados, bloques de motores, cabezas de cilindros, acoples de tuberías, guías.

DIMENSIONES

Sección mínima 6 mm; sección máxima 25 mm; masa máxima 75 mm. de diámetro, área plana máxima 125 cm², dimensión lineal máxima 1200 mm.



BIBLIOTECA

MEZCLAS

60% arena N° 16, 35% arena N° 9, 4% de resina, 2% de bentonita y 1.5% de estearato de calcio. También dos etapas:

Primera Etapa:

60% de arena N° 2, 35% de arena N° 18, 6% de resina y 1,5% de óxido de hierro (1.5 mm.).

Segunda Etapa:

94% de arena N° 9, 2% de bentonita, 4% de resina (6- 7.5mm.)

HIERRO DUCTIL

TIPO

Hierro dúctil ferrítico

APLICACIONES

Levas, soportes, guías, platos de embrague, árboles de levas, cigueñales, dados para conformados, cajas de engranaje, engranajes, cremalleras y bancadas.

DIMENSIONES

Sección mínima 6 mm; sección máxima 20 mm; masa máxima 50 mm. de diámetro, área plana máxima 50-65 cm², dimensión lineal máxima 600 mm.

MEZCLAS

De una etapa:

60% de arena N^o 10, 35% de arena N^o 16, 4% de resina, 1.5% de óxido de hierro, 1.5% de estearato de calcio.

De dos etapas:

1^a 60% de arena N^o 16. 35% de arena N^o 18, 6% de resina
1.5% de óxido de hierro (1.5 mm.)

2^a 95% de arena N^o 9, 2% de bentonita, 3% de resina (para
4.5 - 6 mm. adicionales).


2.4.5. Variables en el proceso de curado (3,4,7,8)

El proceso de curado de la mezcla de resina y arena del que se logra estabilizar la arena otorgándole resistencia a un espesor determinado, depende principalmente de los si guientes factores:

- Porcentaje de resina
- % de impurezas de la arena
- distribución granulométrica de la arena
- temperatura del modelo
- tiempo de curado
- espesor de la cáscara

Con relación a la cantidad de resina que una arena demanda en una mezcla, ésto se ve influenciado principalmente por el tamaño de grano de la arena utilizada en la mezcla. Es decir, que mientras más fina sea la arena, mayor será el consumo de resina por tener una superficie específica mayor.

Genralmente, cuando se quiere conseguir un mejor acabado en las piezas coladas, se utilizan arenas más finas, que logran el objetivo deseado a costa de un aumento del costo de la pieza debido precisamente al aumento en el consumo de la resina así como también al grado de tamizado de la arena base.



La figura 2.4.5.1. nos da una idea gráfica de cómo influye la fineza de la arena utilizada sobre el consumo de resina de la mezcla.

Además de lo anterior, el porcentaje de resina presente en una mezcla para moldeo de cáscara, tiene una gran influencia sobre la resistencia a la flexión de la cáscara, esto es, se ha determinado en experiencias anteriores que la resistencia con respecto al contenido de resina sigue una función lineal de proporcionalidad directa.

La figura 2.4.5.2. muestra cómo influye el porcentaje presente de resina sobre la resistencia a la flexión de los moldes, manteniendo constante la temperatura del modelo, es decir, la temperatura de curado.

Debe aclararse que a pesar de que se puedan lograr resistencias cada vez mayores a medida que se aumente el porcentaje de resina, este no debe exceder de ciertos límites, lo cual podría elevar innecesariamente los costos de producción, puesto que resulta conveniente utilizar los porcentajes de resina más bajos que den valores de resistencia del molde suficientes para un buen comportamiento frente a las pruebas de colado o de acabado superficial, considerando el costo de la resina como factor importantísimo en la conveniencia económica del proceso.

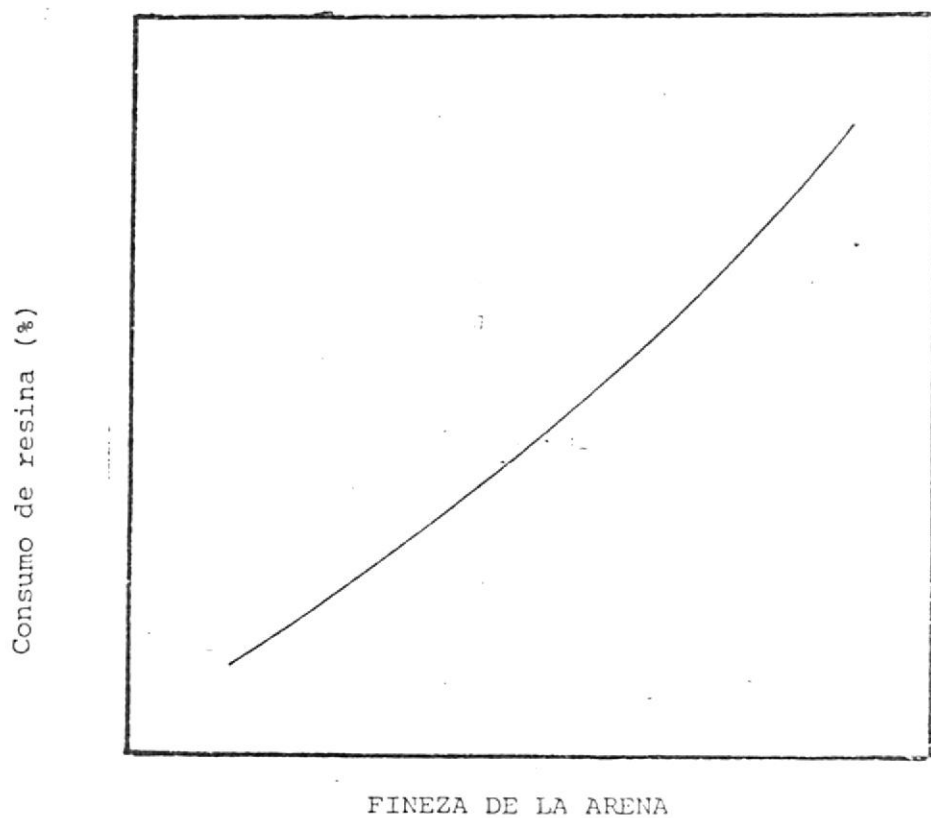


FIGURA 2.4.5.1. Influencia de la fineza de la arena en el consumo de resina.

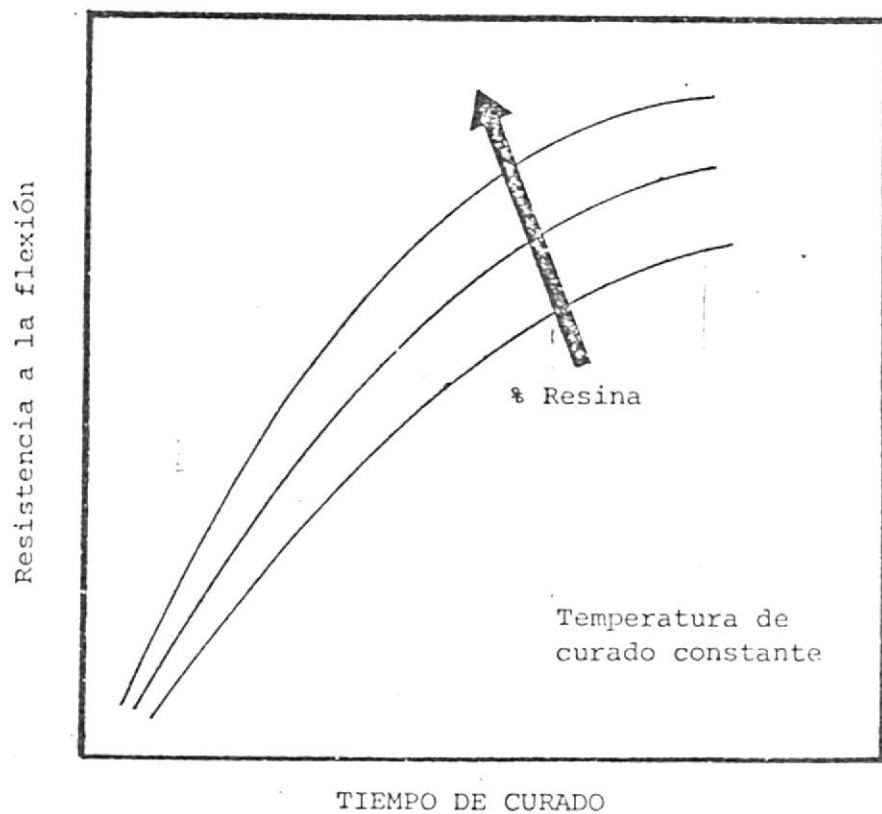


FIGURA 2.4.5.2.- INFLUENCIA DEL TIEMPO DE CURADO EN LA RESISTENCIA A LA FLEXION

Las impurezas tales como la arcilla y otros compuestos orgánicos disminuyen el poder de enlace que debe ejercer la resina sobre los granos de arena cuando se funde y estabiliza durante el proceso de calentamiento.

Cabe indicar además que al existir compuestos orgánicos como parte de las impurezas de la arena, estos se queman produciendo cantidades apreciables de gases que llenan el recinto fabril, lo cual hace necesario instalar mejores sistemas de ventilación en el lugar de trabajo, aumentando la inversión inicial en la instalación.

En la figura 2.4.5.3. se muestra esquemáticamente la influencia del porcentaje de impurezas sobre la resistencia del molde, al mantener constantes la temperatura de curado y el porcentaje de resina.

Es necesario señalar que, en el caso de que sean obviados la necesidad de mayores cantidades de resina y las molestias causadas por los humos producidos al quemarse las impurezas orgánicas, es posible fabricar moldes con acabado y resistencia aceptables, aparentemente aptos para dar buenos resultados de colado; pero sin embargo, las impurezas presentes en la arena a más de las citadas pueden ser de naturaleza mineral, tal como la arcilla que no es afectada por la temperatura a la que se efectúa el curado, ori-

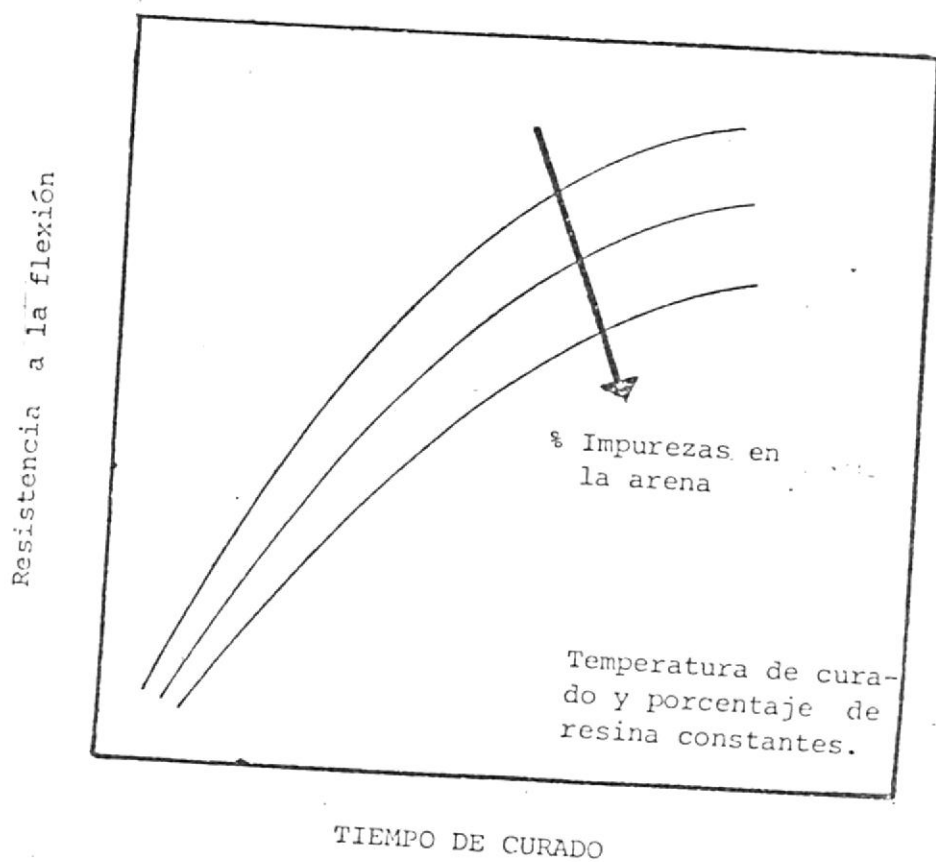


FIGURA 24.5.3.- Influencia del tiempo de curado en la resistencia a la flexión

ginándose así problemas durante el colado del hierro gris que dependen de las reacciones químicas que se generan entre la arcilla el metal fundido.

La temperatura de curado actúa estrechamente relacionada al tiempo de contacto de la mezcla con el modelo.

Si se toma como referencia un valor de ensayo cercano al punto de fusión de la resina, los tiempos de contacto de la mezcla con el modelo son los que en definitiva controlan las propiedades resultantes en los moldes fabricados (fig. 2.4.5.4.).

De ésta manera, un tiempo curado demasiado corto nos dará como resultado un molde subcurado, el cual no tendrá la suficiente consistencia y será muy susceptible de romperse durante el manipuleo.

Además, su superficie no habrá adquirido una dureza adecuada suficiente y dará como resultado superficies porosas y mal acabadas luego del colado.

Al contrario, cuando tenemos tiempos de curado demasiado altos (subcurados), tendremos como consecuencia moldes con baja resistencia que seguramente van a sufrir fractura al choque térmico en el momento de recibir la colada.

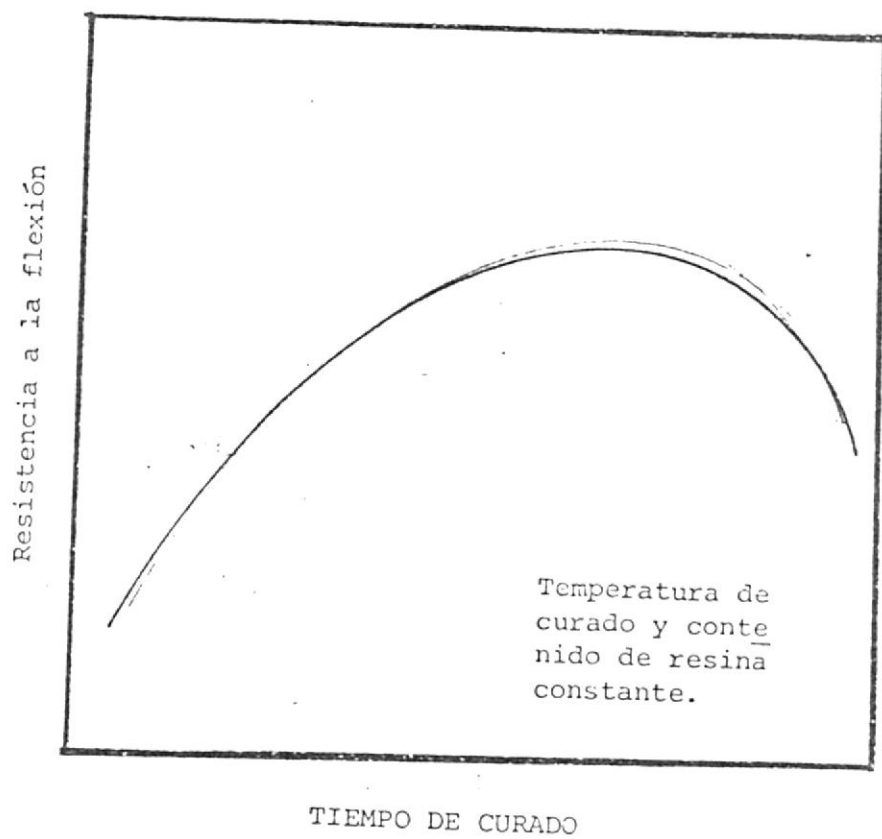


FIGURA 2.4.5.4.- Influencia del tiempo de curado en la resistencia de la cáscara.

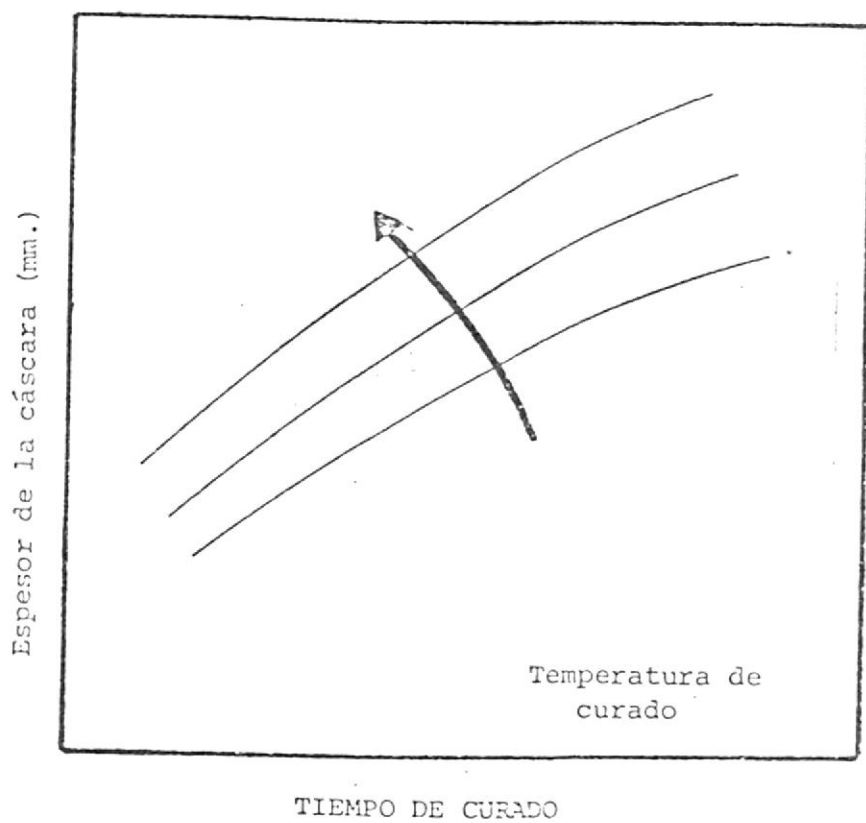


FIGURA 2.4.5.5. Influencia del tiempo de curado en el espesor de la cáscara.

Más específicamente, lo anterior toma lugar debido a que los enlaces de resina curada entre los granos de arena, se quemaran antes de que solidifique el metal.

En general, se puede indicar que un molde sobrecurado adquiere una coloración café oscura, mientras que un molde curado adecuadamente deberá tener una coloración café claro o amarilla oscura, lo que se logra con tiempos de curado que fluctúan entre 30 y 40 segundos.

El espesor de la cáscara, está íntimamente relacionado con el tiempo de curado y con la temperatura del modelo (fig. 2.4.5.5).

Este parámetro no debe exceder tampoco ciertos límites por razones obvias primero, de economía de material, y segundo, porque la permeabilidad de la cáscara disminuye conforme aumenta su espesor.

En definitiva, el espesor de la cáscara viene determinado por la resistencia que reporte la mezcla de arena aglutinada y que sea suficiente para soportar la presión metalostática del colado. y cuyo valor varía entre 6 y 10 mm. según aumente el peso de la pieza a colarse.

2.4.6. Control del Proceso

Debido a que se trata de un método de moldeo con un cierto

número de variables, se hace necesario un estricto control tanto de laboratorio como de campo sobre todas ellas, como medio para asegurar buenos resultados de la utilización del proceso y establecer correctivos del mismo al aplicarlo en escala industrial.

2.4.6.1. De laboratorio

Las pruebas que se deben realizar en el laboratorio, previas a las aplicaciones de campo, deben ser realizadas tomando en consideración las referencias bibliográficas de que se dispone.

En primer lugar, será imprescindible realizar un severo control de calidad de las arenas ya que el proceso en sí exige de ellas la identificación precisa de sus particularidades y características, para finalmente, seleccionar de entre las investigadas, la arena o arenas más aptas para su uso industrial.

El siguiente paso será ensayar diferentes mezclas de arena y resina, variando los parámetros del curado, principalmente tiempo de duración y temperatura a la que este se realiza, mediante la ejecución de pruebas de curado y de flexión de las mezclas escogidas, con lo cual se simularán las condiciones de trabajo que demanda la implementación del método en producciones de tipo industrial.

2.4.6.2. De campo

Con esta actividad de control se trata de establecer una manera ~~concluyente y definitiva~~ a través de una prueba de moldes en una planta industrial, las bondades que ofrece el proceso.

Esta prueba debe establecer, entre otras cosas, el tipo de acabado superficial, las tolerancias dimensionales, el comportamiento de los moldes en el colado y porcentaje de piezas buenas obtenidas.

2.4.7. Consideraciones generales para la elaboración del modelo para moldes (3,4,9)

En el proceso de cáscara, los modelos no sólo que sirven para formar los moldes a producirse, sino que también los curan de tal manera que deben ser capaces de soportar temperaturas que fluctúen entre 180 y 290°C. Su diseño y construcción debe estar orientado a soportar las diferentes etapas de calentamiento y enfriamiento durante su operación.

De igual manera, los modelos deben transmitir el calor lo más uniformemente posible sobre la mezcla arena-resina que se pone en contacto con ellos durante el conformado del -molde.

Cuando se trata de producción en masa, los modelos deben transmitir la misma cantidad de calor de un molde a otro, es decir manteniendo constante su nivel de temperatura.

Además, los modelos deben poseer y mantener la precisión que requiera la tolerancia dimensional de la pieza colada.

Todas estas características deben ser reunidas por los modelos a utilizarse para formar cáscaras, y pueden conseguirse tomando en consideración los principios básicos de transferencia de calor en todas las etapas de diseño y construcción de los modelos, tomando siempre en cuenta también el aspecto económico.

2.4.7.1. Transferencia de calor

Bajo el punto de vista práctico, la calibración de la fuente de calor no puede ser considerado únicamente por principios teóricos. Durante la formación de un molde, se presentan más de una variable termodinámicas que hacen totalmente necesario la integración de la teoría con métodos prácticos de control de temperatura. Sin dicha coyuntura no se puede hablar de uniformidad del espesor de la cáscara formada ni del curado de la misma, ni de las condiciones de una cáscara con respecto a la siguiente cuando se trata de un proceso de producción en masa, todo lo cual deriva en una velocidad de producción poco aceptable.



En otras palabras, el modelo debe entregar a la mezcla del calor suficiente para que la resina se funda, recubra los granos de arena y se cure uniformemente a lo largo de la sección de la cáscara.

Luego, cuando el molde sea separado, el modelo debe poder recobrar la temperatura debida para recibir la nueva mezcla, y cumplir el nuevo ciclo de curado que deberá ser exactamente igual al anterior. Esta habilidad del modelo de poder recuperar lo más rápidamente su temperatura de trabajo es básica para lograr una mayor velocidad de producción. Esto nos indica que los ajustes que se realicen para controlar la temperatura del modelo lo más exacta posible, son capitales para lograr un alto ritmo de producción.

Cuando en modelo existen secciones delgadas y gruesas simultáneamente, la recuperación de calor de las secciones más delgadas es mucho mayor que las secciones gruesas, lo cual resultará necesariamente en una diferencia de curado entre las dos partes del molde y la parte más delgada producirá una zona sobrecurada en el molde lo cual hará reducir la resistencia requerida para operaciones normales.

Este tipo de problemas se pueden evitar tratando de que el sistema de calentamiento sea lo más uniforme posible, de tal manera que la temperatura del modelo fluctúe en un rango de

$\pm 10^{\circ}\text{C}$ alrededor de la temperatura requerida.

2.4.7.2. Velocidad de flujo de calor

Ahora se debe analizar lo referente al ciclo de operación de un modelo para cáscara en una máquina para el efecto. Cuando se comienza a calentar el modelo al inicio de la operación, éste se halla a temperatura ambiente (22°C). Cuando comienzan a funcionar los quemadores de gas, estos proporcionarán a la parte inferior de la placa de calentamiento una temperatura de alrededor de 520°C , por lo que se originará un aumento de temperatura en la placa de calentamiento, el cual se transmitirá al modelo luego de cierto tiempo, dependiendo esto del material de que estén contruídos el modelo y la placa de calentamiento y de sus espesores.

Luego de que el modelo ha alcanzado su temperatura de trabajo (digamos 250°C), podemos comenzar el ciclo de producción del molde, durante el cual se deposita una cierta cantidad de arena sobre la superficie del modelo, lo que provoca una rápida extracción de calor por parte de la mezcla. Esta pérdida de temperatura sufrida por el modelo debe ser compensada lo más rápidamente posible por el mismo, para lo cual se requiere que el área de entrada de calor al modelo debe ser de igual magnitud que el área de disipación del mismo, para que la operación de compensación sea

violenta y lograr un curado uniforme del molde.

Este equilibrio entre el área de entrada y el área de disipación de calor en el modelo es la parte primordial del diseño termodinámico de modelos para la producción de moldes de cáscara.

4.7.3. Material de los modelos

Los materiales que se utilizan generalmente para la fabricación de modelos para la elaboración de moldes de cáscara son el aluminio y el hierro gris, según se trate de producciones en baja y gran escala, respectivamente.

La utilización del hierro gris para modelos se hace convenientes al ser este material fácilmente obtenible a partir de la fundición, incluso ahorrando tiempo de maquinado posterior.

Además, éste material es fácilmente maquinable, lo cual es de gran importancia debido a que, como se ha mencionado anteriormente, dichos modelos deben poseer un acabado superficial lo más fino posible, debido a que el molde a fabricarse tendrá un acabado reflejado fielmente de aquel que tenga su modelo.

Además de las ventajas citadas, el hierro gris es un mate

rial que posee una estabilidad excelente frente a los cam
bios bruscos de temperatura que sufren los modelos que se
utilizan para éste proceso.

También se utiliza el aluminio que, aunque no posee tan
buena estabilidad en caliente como el hierro gris, pues es
susceptible de torcerse y deformarse ante el uso prolongaa
do, ofrece mejores ventajas de obtención y maquinado que
el hierro gris.

Además, la gran conductividad térmica que posee el alumi
nio, lo hace muy conveniente para alcanzar la temperatura
de trabajo al iniciar la operación, y de recuperar cuando
se realizan nuevos ciclos de operación, es decir cuando se
deposita la mezcla (a temperatura de ambiente) sobre el
modelo.

En general, como se indica anteriormente, se utilizan mo-
delos de aluminio cuando no se va a realizar una alta proo
ducción.

Los demás materiales de construcción ofrecen ciertas des-
ventajas que no los hacen competitivos con los anteriores
en la fabricación de modelos.

Por ejemplo, el bronce tiene excelentes propiedades de re
sistencia al desgaste y gran estabilidad durante el uso

prolongado a temperatura de moldeo, sin embargo, es más caro y su maquinado presenta operaciones más prolongadas que para los otros metales.

El acero no es muy utilizado por no prestar facilidades para el maquinado, y principalmente, no posee buena estabilidad en el uso y sufre ataques corrosivos debiéndose pulir constantemente.

Ante todo lo anteriormente expresado, se puede concluir y recomendar el uso del hierro gris principalmente y del aluminio para su utilización en la fabricación de modelos para la producción de moldes por el proceso de cáscara.

CAPITULO 3

TRABAJO EXPERIMENTAL

3.1. INTRODUCCION

Los objetivos primordiales de la experimentación son los de establecer claramente las posibilidades de uso de las arenas nacionales en la industria de la fundición de piezas coladas en hierro gris a través del proceso de moldeo en cáscara.

Específicamente, se va a controlar la conveniencia de ciertas arenas con respecto al proceso mismo, por medio de variables tales como la forma, tamaño y distribución de grano, punto de sinterización y contenido de impurezas.

Las pruebas de control a realizarse sobre dichos parámetros tienen como finalidad la de identificar arenas económicamente convenientes para ser usadas en el proceso.

Es decir, que basándose en las recomendaciones hechas en la información bibliográfica se establecerá cuales arenas pueden ser usadas, en condiciones que se encuentran naturalmente en el yacimiento, preferentemente o sometiéndolas a un mejoramiento por medio de lavado y tamizado.

Para el control mismo del proceso se requiere cuidar dife

rentes variables, lo cual se perseguirá inicialmente realizando un control de laboratorio de las mismas, es decir, ensayando las diferentes mezclas por medio de pruebas de variación de espesor de la cáscara con respecto a tiempos y temperaturas diferentes de curado y de ensayos de flexión que nos registrarán las variaciones de la resistencia del futuro molde con respecto a las mismas mezclas, y tiempos y temperaturas de curado.

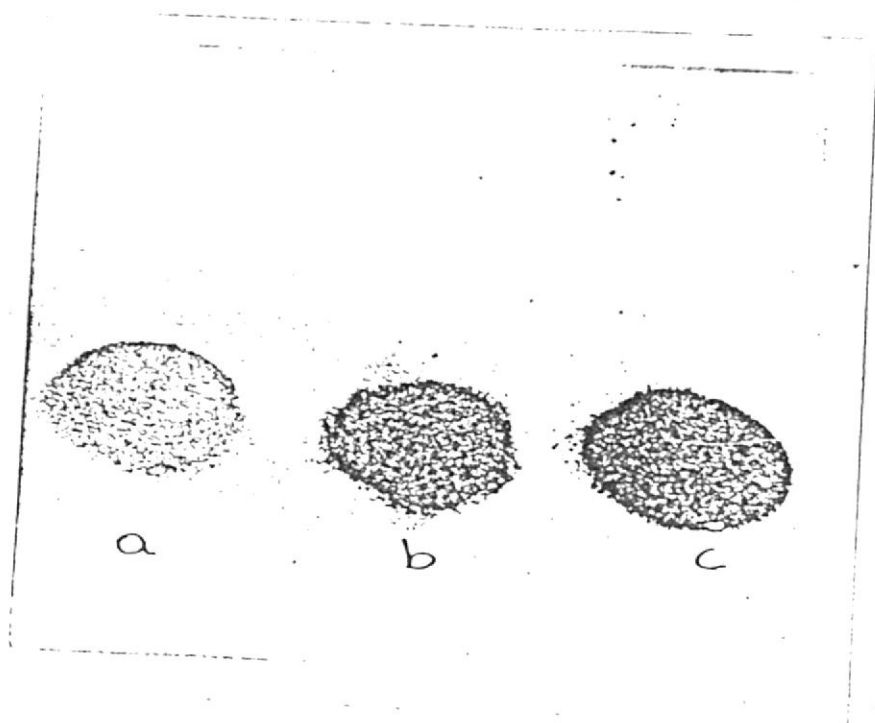


Finalmente, se comprobarán los resultados de los ensayos de laboratorio arriba indicados, realizando pruebas de colado con hierro gris fundido, para corroborar la factibilidad del uso de las arenas seleccionadas para la consecución de los objetivos del proceso en cuestión de acabado superficial y capacidad de copiado de precisión.

En definitiva, los ensayos de colado constituyen un examen final para el control de arenas y de proceso, pues se podrá aceptar o rechazar los datos suministrados por dichos ensayos de control.

3.2. CONTROL DE CALIDAD DE LAS ARENAS A UTILIZARSE EN EL PROCESO

El objetivo de estos controles a realizarse sobre las arenas que se van a ensayar, consiste en establecer una identificación de las características peculiares de los yaci-



FOTOGRAFIA 3.2.- Areas siliceas utilizadas:

- a) Yantzaza
- b) San José
- c) Río Guayas

mientos de arena silíceas en explotación y otros que por ser más asequibles a un precio más bajo se hacen interesantes para las fundidoras de la zona de Guayaquil, aunque estudiada la composición química de la arena Guayas (66.1% SiO₂) no manifiesta una calidad aceptable por la tecnología consultada.

El resultado del control de composición química, granulometría, punto de sinterización, etc. indicará un criterio para seleccionar las arenas adecuadas a las exigencias propias de la técnica a aplicarse.

3.2.1. Forma de grano

Se ha establecido que los mejores resultados en cuanto a resistencia de los moldes a fabricarse mediante el proceso shell, tienen relación con el uso de arenas de grano de forma redonda pero desde hace mucho tiempo se ha demostrado también que los granos subangulares proporcionan, de manera similar a los redondos, una buena combinación de alta resistencia de los moldes en caliente con el menor consumo posible de resina.

Los granos de una arena responden generalmente al origen mineralógico del yacimiento.

Para realizar el control de forma de grano en arenas, es necesario el empleo de estereomicroscopios de baja resolución o, microscopios metalográficos por reflexión, para poder observar con claridad y detalle su morfología que comparada con patrones establecidos por la AFS* identifique la arena con un tipo conocido y clasificado.

En la tabla 6.1 del capítulo 6, se puede encontrar la forma de grano para una serie de arenas cuya utilización se recomienda en la información bibliográfica recopilada.

Para el trabajo práctico de éste artículo, se siguió la técnica que enseguida se detalla:

MATERIAL UTILIZADO

Arenas silíceas procedentes de:

- Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe.
- Río Guayas, frente a la ciudad de Guayaquil.

EQUIPO UTILIZADO

Microscopio Leitz**de reflexión equipado con cámara fotográfica polaroid.

* Referencia método AFS

** Es de anotar que no corresponde a la recomendación de la técnica.

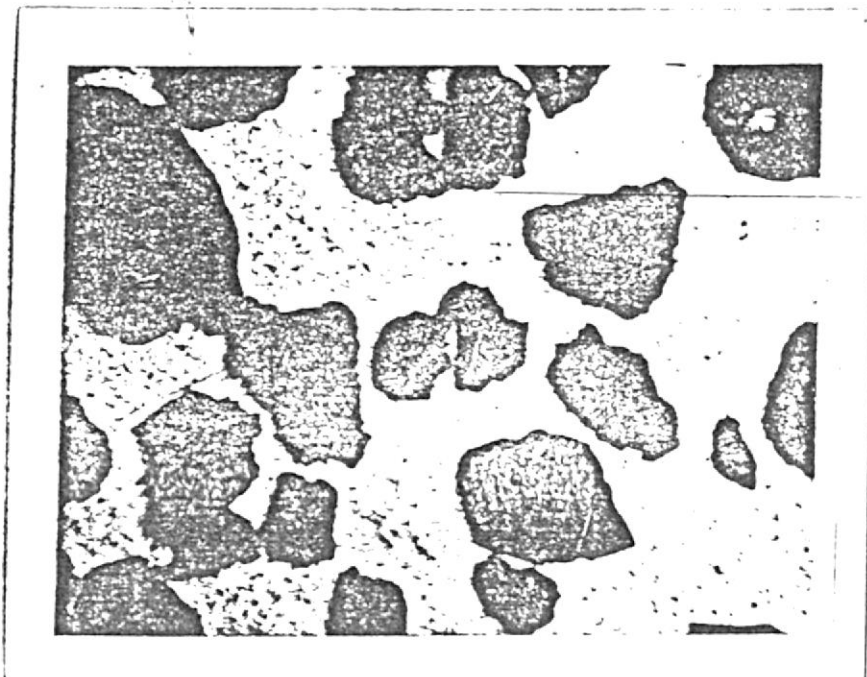
PROCEDIMIENTO

1. Se seleccionó la muestra de arena, procurando que ésta sea lo más representativa.
2. Se ubicó en el objetivo del microscopio una placa metálica previamente pulida metalográficamente, sobre la cual se colocó la muestra de arena a ser analizada.
3. Una vez observada y ajustada la imagen de los granos, se procedió a hacer una toma fotográfica de la misma.
4. Se realizó el revelado y fijado de la fotografía automáticamente por tratarse de una película Polaroid.
5. Comparación de la fotomicrografía con los patrones de identificación de tipos de arena AFS.

ANALISIS

Los resultados que muestran las fotografías 3.2.1.1 y 3.2.1.2. con relación a la forma de grano de las arenas de Yant^u zaza y del río Guayas, respectivamente.

Después de comparar las fotografías con los patrones de identificación se determina que se trata de granos subangulares en ambos casos, es decir granos que tienen un aspecto superficial anguloso pero sin aristas vivas. (Anexo # 1).



FOTOGRAFIA 3.2.1.1.- Forma de grano de la arena de Yantzaza (100 X)
Subangular según patrón AFS.



FOTOGRAFIA 3.2.1.2.- Forma de grano de la arena del Río Guayas (100 X)
Subangular según patrón AFS.

3.2.2. Grado de Fineza

El grado de fineza constituye una de las principales características de la arena que influyen el resultado del proceso de moldeo, sea cualquiera del que se trate.

Para el proceso de moldeo en cáscara, se ha indicado anteriormente la necesidad de utilizar granos finos con el objeto de lograr uno de los objetivos trazados para dicho proceso, que es el de buen acabado superficial de la pieza colada.

Por éste motivo, es necesario realizar un cuidadoso análisis sobre la distribución granulométrica de las arenas cuyos mayores porcentajes de retención deben estar preferentemente comprendidos entre las mallas AFS # 70 y 200, y números de fineza AFS entre 80 y 160, según lo indica la tabla 6.1. del capítulo 6.

Por este motivo se han realizado ensayos de laboratorio para determinar la distribución granulométrica y el índice de fineza AFS de tres arenas analizadas. Las técnicas seguidas se detallan a continuación.

MATERIAL UTILIZADO

Arenas provenientes de:

- Yantzaza, provincia de Zamora-Chinchipe.

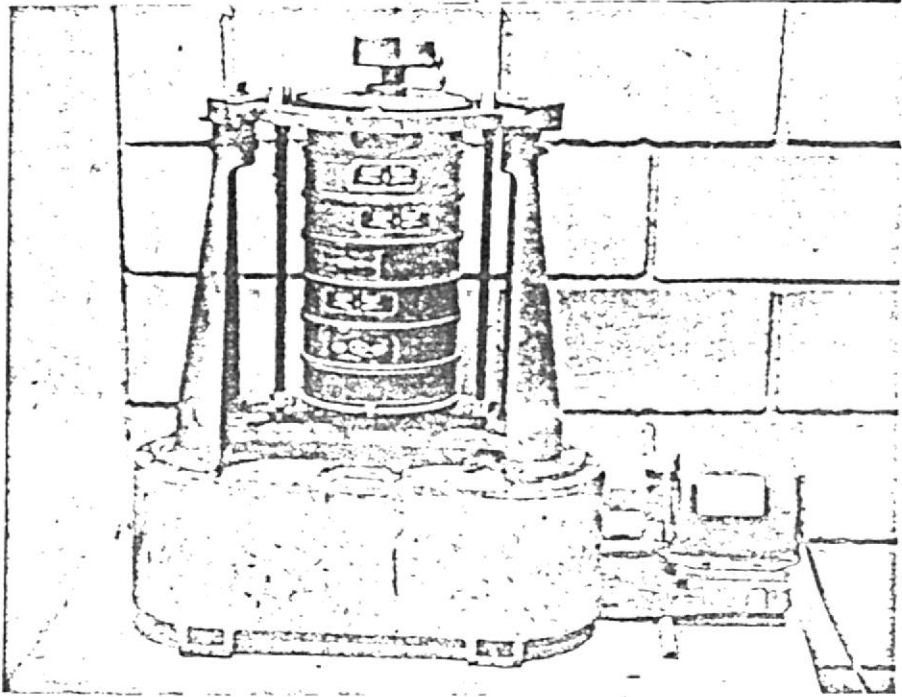
- Río Guayas, Prov. del Guayas
- Río San José. Prov. del Guayas

EQUIPO UTILIZADO

- Máquina tamizadora de arena con sus respectivos tamices # 40, 50, 70, 100, 140, 200 y fondo. (Foto 3.2.2).
- Balanza de precisión (\pm 0.01 gr).

PROCEDIMIENTO

1. Se seleccionó la muestra siguiendo el método de muestreo utilizado en fundición, para recoger muestras lo más representativas posible. Anexo N° 2.
2. Se pesaron aproximadamente 50 gr de arena, pudiendo este valor variar en \pm 5 grs. que es lo permitido por la norma.
3. Se introdujeron los tamices antes indicados en la máquina tamizadora y se hizo vibrar la muestra durante 15 minutos.
4. Se pesaron los pesos retenidos de arena, en cada malla.
5. Se repitió el mismo proceso para cada muestra de las arenas en estudio.
6. Se tabularon los datos obtenidos experimentalmente.
7. Se halló el índice de fineza AFS utilizando el método normalizado.



FOTOGRAFIA 3.2.2.- Tamizador de arenas, utilizado para determinar la distribución granulométrica.

RESULTADOS

Los resultados de la presente experimentación se encuentran ubicados en las tablas y gráficos que se presentan a continuación, incluyéndose además el cálculo de los respectivos índices de fineza AFS.

En la tabla 3.2.2.1. se presentan los pesos (gr.) retenidos en cada malla, para las once pruebas realizadas.

La Sociedad Americana de Fundidores utiliza los pesos retenidos por malla para obtener el número de fineza como indicativo de la distribución granulométrica, obteniendo los porcentajes de retenido en base al peso de la muestra, los cuales van a ser multiplicados por factores determinados por la norma resultando en productos cuya sumatoria se utilizará en la fórmula siguiente:

$$\text{Índice de fineza AFS} = \frac{\text{Producto total}}{\text{Porcentaje retenido total}}$$

. TABLA 3.2.2.1.

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA ARENA DE YANTZAZA

Prueba # # Malla	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Prom.
40	2.50	2.48	2.32	1.51	1.20	2.76	1.65	2.06	3.11	2.28	2.42	2.21
50	3.73	3.94	3.36	2.62	2.61	3.69	2.31	2.73	3.60	3.13	3.41	3.19
70	15.47	13.85	15.20	13.19	13.51	16.96	12.88	13.75	15.05	14.10	15.12	14.46
100	17.43	17.92	17.58	17.36	18.12	18.17	17.24	17.19	16.00	16.94	17.19	17.38
140	4.96	3.22	5.00	4.84	4.90	2.86	8.15	6.15	5.80	6.14	5.84	5.26
200	1.25	2.50	0.07	0.26	0.02	0.61	0.67	2.61	1.22	0.99	2.03	1.12
Fondo	4.73	2.97	5.07	8.37	3.62	5.28	5.98	4.54	4.19	5.39	3.10	5.30

INDICE DE FINEZA DE LA ARENA YANTZAZA

TABLA 3.2.2.2

# MALLA	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	FACTOR	PRODUCTO
40	2.21	4.42	30	135.60
50	3.19	6.38	40	260.80
70	14.46	28.92	50	1478.50
100	17.38	34.76	70	2487.80
140	5.26	10.52	100	1073.00
200	1.12	2.24	140	320.60
Fondo	5.30	10.60	200	2166.00
Σ	48.92	97.84		7922.30

INDICE DE FINEZA AFS:

$$\# \text{ AFS} = \frac{\text{Producto total}}{\text{Porcentaje retenido total}}$$

$$\# \text{ AFS} = \frac{7922.30}{97.84}$$

$$\# \text{ AFS} = 81$$



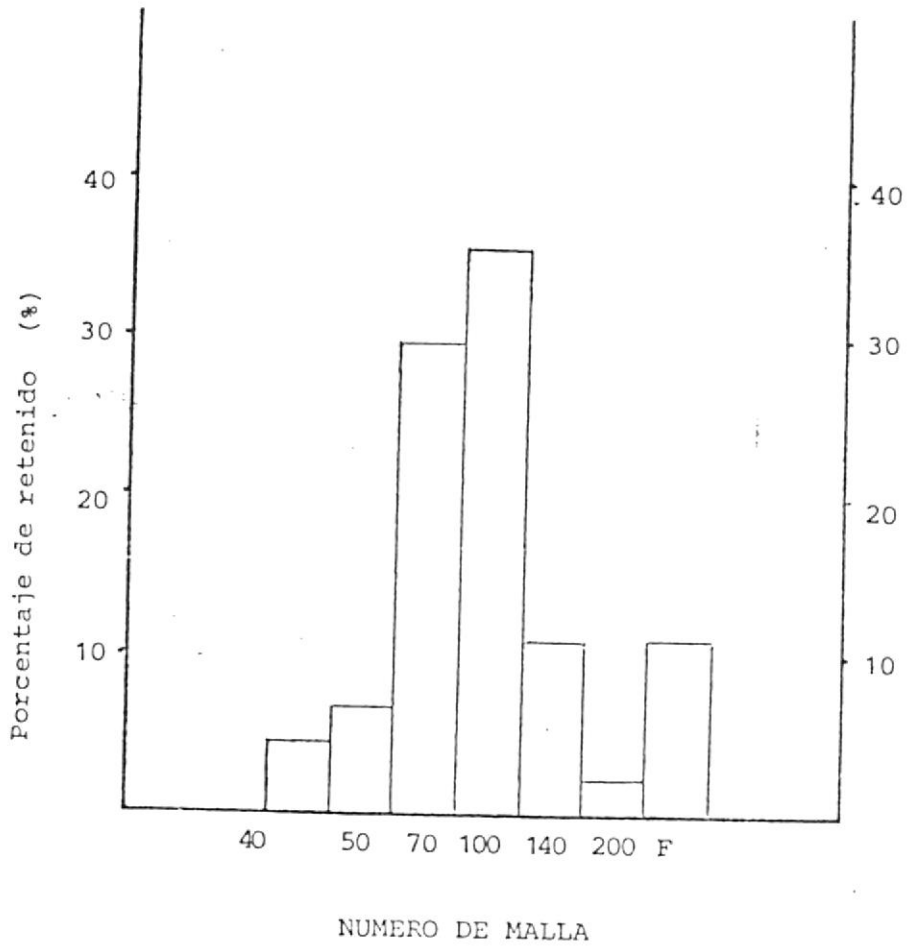


FIGURA 3.2.2.1.- Distribución de fineza para la arena Yantzaza

TABLA 3.2.2.3.

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA ARENA DEL RIO GUAYAS

Prueba # # Malla	1	2	3	4	5	Prom.
40	4.4.	4.6	4.4	4.1	4.2	4.3
50	7.0	6.5	6.9	6.6	6.8	6.8
70	20.3	19.1	19.3	20.5	19.9	19.8
100	16.1	14.8	15.6	16.4	15.3	15.6
140	4.0	3.1	4.3	4.0	4.2	3.9
200	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Fondo	1.2	1.0	1.1	1.2	1.0	1.1

INDICE DE FINEZA AFS PARA LA ARENA DEL
RIO GUAYAS

TABLA 3.2.2.4

# Malla	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	FACTOR	PRODUCTO
40	4.3	8.5	30	249
50	6.8	13.2	40	528
70	19.8	38.4	50	1920
100	15.6	30.3	70	2121
140	3.9	7.6	100	760
200	0.1	0.2	140	28
Fondo	1.1	2.0	200	400
Σ	51.6	100.3		6006

$$N^{\circ} \text{ AFS} = \frac{\text{Producto total}}{\text{Porcentaje retenido total}}$$

$$N^{\circ} \text{ AFS} = \frac{6006}{100.6}$$

$$N^{\circ} \text{ AFS} = 60$$

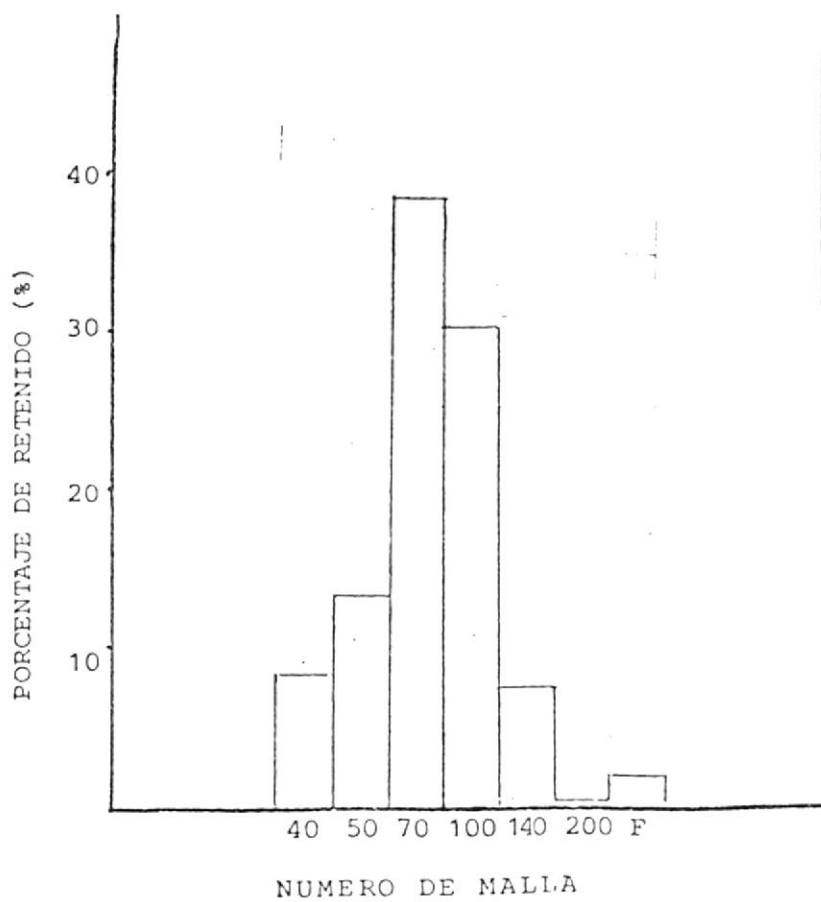


FIGURA 3.2.2.2.- Distribución granulométrica de la arena del Río Guayas.

TABLA 3.2.2.5.

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA ARENA DE SAN JOSE

# Malla	Prueba #	1	2	3	4	5	Prom.
40							
50		0.20	0.30	0.20	0.30	0.20	0.2
70		0.30	0.30	0.20	0.30	0.30	0.3
100		5.7	6.1	6.0	6.2	5.9	6.0
140		34.4	35.7	34.9	35.1	35.0	35.0
200		7.6	7.8	7.4	7.7	7.9	7.7
Fondo		1.8	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7

TABLA 3.2.2.6
INDICE DE FINEZA AFS DE LA ARENA DE
SAN JOSE

# Malla	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	FACTOR	PRODUCTO
40	0.0	0.0	30	0.0
50	0.2	0.39	40	15.20
70	0.3	0.58	50	29.10
100	6.0	11.75	70	823.00
140	35.0	68.80	100	6880.00
200	7.7	15.15	140	2120.00
Fondo	1.7	3.34	200	668.00
Σ	50.9	100.00		10535.30

$$N^{\circ} \text{ AFS} = \frac{\text{Producto total}}{\text{Porcentaje retenido total}}$$

$$N^{\circ} \text{ AFS} = \frac{10535.30}{100}$$

$$N^{\circ} \text{ AFS} = 105$$

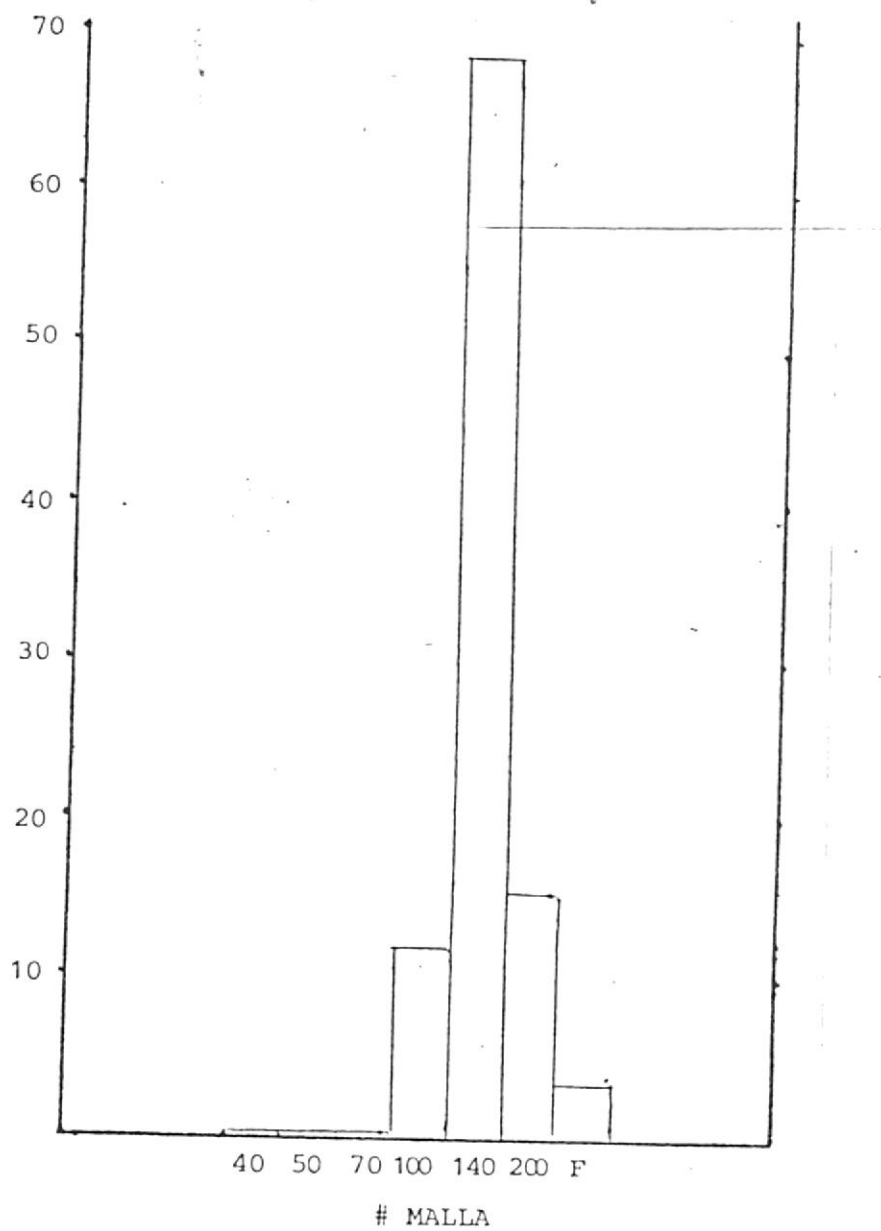


FIGURA 3.2.2.3.- Distribución granulométrica de la arena de San José

3.2.3. Contenido de arcilla

Uno de los factores que redundan en la disminución de la resistencia de los moldes es, como se ha comentado, es el contenido de arcilla de la arena y en general el contenido de impurezas, incluyéndose en este grupo todo compuesto presente que no sea sílice.

Mediante un análisis de la composición química se puede conocer el contenido de sílice que tienen los granos.

El contenido de arcilla, o sea material con un tamaño de grano inferior a malla 200 tal como lo establecen, la Sociedad americana de suelos y caminos y la Sociedad de Ingenieros Civiles, se determina por medio de una técnica normalizada por la AFS que se expondrá a continuación:

MATERIAL UTILIZADO

Arena de Yantzaza

EQUIPO UTILIZADO

Balanza de precisión (± 0.01 gr)

Hornilla

Recipiente para lavado y sifón

PROCEDIMIENTO

1. Tomar una muestra de arena de 50 gr. totalmente seca

y colocarla en un recipiente con una solución de agua destilada con hidróxido de sodio.

2. Se agita la mezcla durante 5 minutos y luego se deja asentar la arena por un tiempo de 10 minutos.
3. Mediante un sifón se extrae el líquido del recipiente.
4. Se repiten los pasos 2 y 3 hasta que el líquido que se extraiga con el sifon salga totalmente limpio.
5. Se seca la arena durante una hora a una temperatura de 105°C, y luego se la pesa.

RESULTADOS

Las indicaciones tomadas del ensayo de 5 muestras se encuentran tabuladas en la tabla 3.2.3.1.

El porcentaje de arcilla se determina en base a los pesos de la muestra lavada y sin lavar.

Además, se tiene que considerar los contenidos de sílice de las arenas, lo cual se ha obtenido de la composición química de las mismas.



TABLA 3.2.3.1

ENSAYOS PARA LA DETERMINACION DEL CONTENIDO DE
ARCILLA EN LA ARENA DE YANTZAZA

# MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA SIN LAVAR (gr)	PESO DE LA MUESTRA LAVADA (gr)	PORCENTAJE DE ARCILLA
1	50.65	50.12	1.05
2	50.00	49.44	1.12
3	50.92	50.40	1.02
4	50.79	50.15	1.26
5	50.25	49.75	1.00
VALOR PROMEDIO			1.09

Los reportes de análisis químicos efectuados por las fábricas productoras de vidrio, en el caso de las arenas síliceas y el Instituto de Química de la ESPOL en el caso de la arena del Río Guayas, se ubican en la siguiente tabla:

TABLA 3.2.3.2

CONTENIDO DE SILICE DE LAS ARENAS

Arena	CONTENIDO DE SILICE (%)
YANTZAZA	99.25
Río Guayas	66.13

3.2.4. Punto de Sinterización

A fin de predecir de alguna forma el comportamiento de la arena frente a altas temperaturas, es necesario conocer la refractoriedad de los granos, es decir la temperatura que pueden soportar sin fundirse.

La temperatura a la cual cambian de estado los granos de arena, de cualquier naturaleza, la AFS la ha denominado temperatura o punto de sinterización.

Para el caso de las arenas de sílice, este punto de oscilación generalmente alrededor de los 1500°C, lo cual desde ya es suficiente para soportar las temperaturas de colado del hierro gris.

El valor del punto de sinterización para las arenas que se han analizado en la presente investigación, no ha sido posible encontrarlo por ensayos de laboratorio debido a que el instrumento que existe en el laboratorio de Fundición de la ESPOL no se encuentra operativo.

Sin embargo, se ha realizado una investigación entre las fábricas de vidrio de la localidad y se ha determinado la temperatura de sinterización de la arena de Yantzaza en 1530°C.

De la arena del Río Guayas no ha sido posible conocer su punto de sinterización, pero sabiendo que no existe mejor prueba de una arena de moldeo que su ensayo en fundición, se decidió hacer todos los demás análisis y verificar su refractoriedad con el uso de los moldes directamente en la fundición de hierro gris.

3.2.5. Selección

Después de haber realizado las pruebas pertinentes analizando diferentes parámetros que identifican las arenas, se puede decidir su escogitamiento en base al siguiente razonamiento:

Por concepto de forma de grano, las dos arenas ensayadas cumplen con los requerimientos de selección del proceso o sea poseen granos subangulares.

En cuanto a fineza, las óptimas recomendadas están comprendidas entre 80 y 160. La arena de Yantzaza ofrece las cualidades aceptables por cuanto posee una distribución granulométrica de naturaleza gaussiana y N° de fineza en 81, no así la arena del Río Guayas la cual se puede considerar que no cumple con los requerimientos exigidos por el proceso, por tener demasiados gruesos # de fineza 60.

El análisis granulométrico de la arena de San José pro-

porciona datos que hacen muy conveniente su utilización para efectos de acabado superficial ya que tiene buena distribución de granos y su fineza ~~es de 105.~~

En cuanto a contenido de impurezas, la arena de Yantzaza presenta un grado de pureza que la hace aceptable hasta la fabricación de vidrio. En cambio, la arena del Río Guayas no tiene en un índice de pureza aceptable, es mas, al momento no ha sido posible determinar la naturaleza de las impurezas, y es prematuro manifestar si éstas pueden perjudicar la calidad del molde o de las piezas.

En definitiva, las arenas que van a ser utilizadas en el proceso experimental que se va a llevar a cabo, son la arena de Yantzaza y la arena del Río Guayas, se excluyen las arenas de la zona de San José por limitaciones de tiempo, pero se deja sentado que son susceptibles de aplicarse para el proceso.

Las arenas Yantzaza y Guayas no se han ensayado directamente en condiciones del yacimiento, para evitar complicaciones en el proceso de curado, por esta razón se las sometió previamente a un tamizado mediante el cual se han separado los granos de mallas 40 y 50 y lograr con ello aumentar el número de fineza AFS, a fin de tener un acabado superficial de mejor calidad.

3.3. OPTIMIZACION DE VARIABLES

En esta parte de la experimentación, se persigue llegar a establecer valores óptimos de los parámetros del proceso mediante combinaciones diferentes en procura de la obtención de mayores resistencias de la cáscara, que es en definitiva el principal objetivo de las pruebas de laboratorio y puesto que de ello depende en gran parte los resultados de los ensayos de colado en cuanto a indeformabilidad del molde durante el colado y el logro de piezas aceptables.

Tales objetivos pueden alcanzarse ensayando mediante flexión las diferentes mezclas entre arena, y resina con las consiguientes variaciones de tiempos y temperaturas de curado.

En resumen, en primera instancia se exponen las condiciones que se van a efectuar los ensayos en cuanto a mezclas usadas, habiendo tomado como referencia los datos reportados por la información técnica.

Después se usó la mezcla de mayor resistencia a la flexión y se estudió el espesor de la cáscara proporcionando diferentes tiempos de curado.

Finalmente, se exponen los resultados de los ensayos de flexión de las mezclas.

3.3.1. Mezclas de arena, aglutinante y aditivos

Para las pruebas de elaboración de moldes propiamente dichas, se han experimentado mezclas con variaciones de tipo de arena, porcentajes de resina, tiempo y temperaturas de curado, como parámetros principales del proceso.

Cabe mencionar que no se han efectuado adiciones de materiales de propósito específico, cuyo uso es recomendado para disminuir defectos en las piezas.

Al comenzar la experimentación, se utilizó en las mezclas un bajo porcentaje (1-1.5%) de estearato de calcio, el cual es recomendado en la bibliografía como desmoldante. Sin embargo, los resultados en cuanto a consistencia de los moldes eran pésimos, por lo que luego de investigar el problema, se suprimió definitivamente éste compuesto de la experimentación.

Efectivamente, las pruebas posteriores realizadas sin el concurso de este compuesto, dieron buenos resultados, lo cual hizo evidente el perjuicio que este material estaba provocando.

Además, el problema de desmoldeo ya se tenía solucionado, pues los modelos eran rociados con una suspensión de silicones en

agua, lo que permitía sacar los moldes sin dificultad.

El porcentaje de resina fue variado en diferentes mezclas en el rango comprendido entre 4 y 8%.

Las arenas empleadas en la experimentación fueron utilizadas sin ningún tratamiento de lavado previo. En cambio, fueron sometidas a un proceso de tamizado mediante el cual fueron separados los granos de malla AFS # 40.

3.3.2. Curado

Los parámetros mediante los cuales es posible evaluar el proceso de curado de los moldes de cáscara son indudablemente el espesor de la cáscara y su consistencia, pues de esta manera podemos llegar a datos óptimos los cuales se manifiestan en la cáscara más delgada que tenga la consistencia suficiente para soportar las pruebas de colado posteriores.

En esta parte de la experimentación se realizaron pruebas variando las temperaturas de curado entre 200 y 350°C, y los tiempos de curado entre 5 y 40 segundos, con el objeto de observar los espesores de las cáscaras formadas.

Estas pruebas necesitaron de una máquina que actuara de forma similar a la práctica industrial. Por este motivo se construyó una base metálica de ángulos estructurales sobre

lo que se apoyó una placa de acero de 1" de espesor que actúa como condensador o acumulador de calor, sobre la que se deposita y se ajusta el modelo de Al que para el caso tiene la forma de una parte mecánica de un embrague de winche, se colocó un quemador de gas debajo de la placa de acero en la que se colocó una termocupla tipo K, para controlar la temperatura del modelo y se proporcionó a esta máquina experimental el correspondiente mecanismo eyector de moldes curados. Ver fotografías 3.3.2.1; 3.3.2.2; 3.3.2.3 y 3.3.2.4 en las que se aprecian la vista general de la máquina.

Modelos de las partes anterior y posterior de la pieza; eyectores en acción de desmoldeo; cáscaras de parte anterior y posterior de pieza y el molde armado listo para ser colado.

Las pruebas indicadas se realizaron de la siguiente manera:

1. Se calibra la apertura de las válvulas del quemador de gas, para ajustar la temperatura de la placa sobre la cual se van a formar las cáscaras.
2. Se deposita silicones sobre la superficie, y luego se deposita sobre la misma una cierta cantidad de mezcla de arena y resina.
3. Se retira el exceso de mezcla cuando llega el tiempo de curado que se ensaya.

4. Se realiza la medición del espesor de la cáscara producida.
5. Se repiten los pasos 2, 3 y 4, para cada temperatura y tiempos de curado que se deseen experimentar.

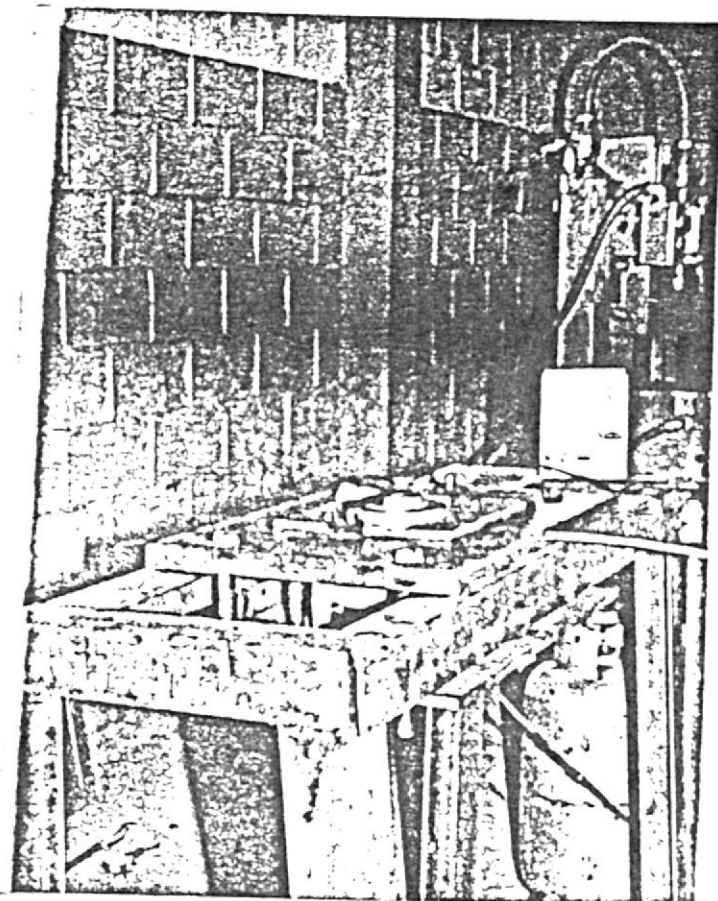
Los datos obtenidos de la experimentación descrita han sido tabulados en la tabla 3.3.2.1. y graficados como sigue.

Se realizó también la fabricación de moldes, utilizando en la fase de curado, un método diferente al enunciado en la bibliografía, pues según dicha información, el molde una vez formado tenía que curarse dentro de un horno.

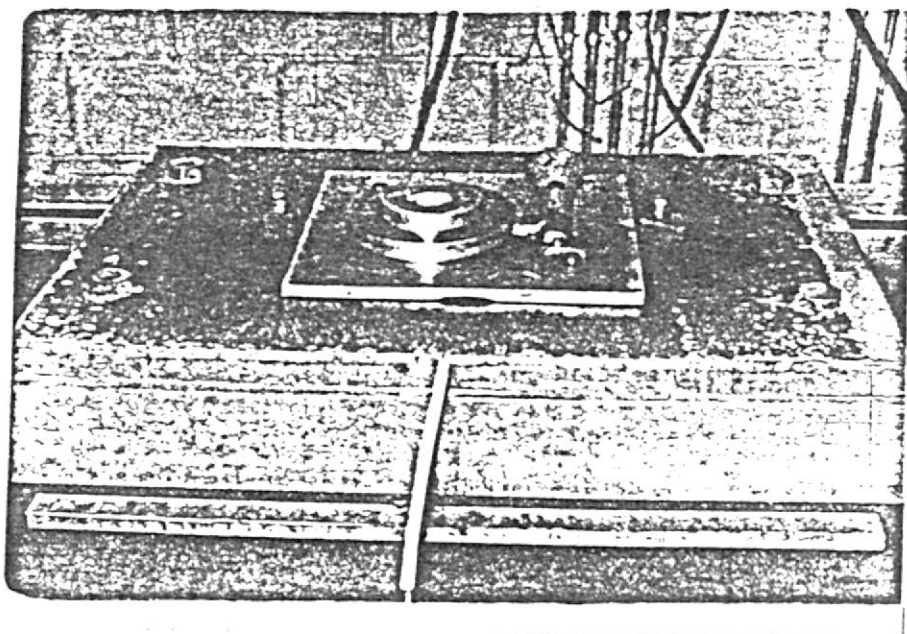
La diferencia expresada consiste en el curado del molde una vez formado, lo cual se realizó en el modelo sobre la misma placa de calentamiento, sin tener que sacar el conjunto modelo-molde y hornear.

Se necesitaba que el molde se encuentre cubierto para asegurar un curado uniforme de toda la cáscara, para lo cual se realizó el curado cubriendo con una bóveda metálica el conjunto de modelo y molde durante el curado. Fotografía 3.3.2.9.

Esta variante dió buenos resultados puesto que además hizo posible un mejor control del espesor de la cáscara a formarse.



FOTOGRAFIA 3.3.2.1.- Vista general de la máquina.



FOTOGRAFIA 3.3.2.2.- Modelo de la parte anterior de la pieza.

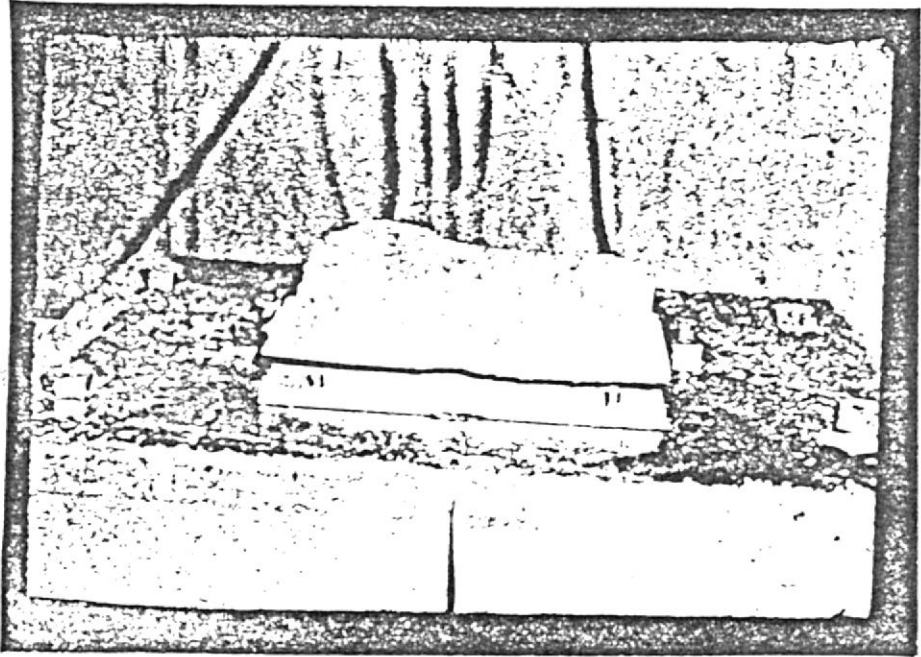
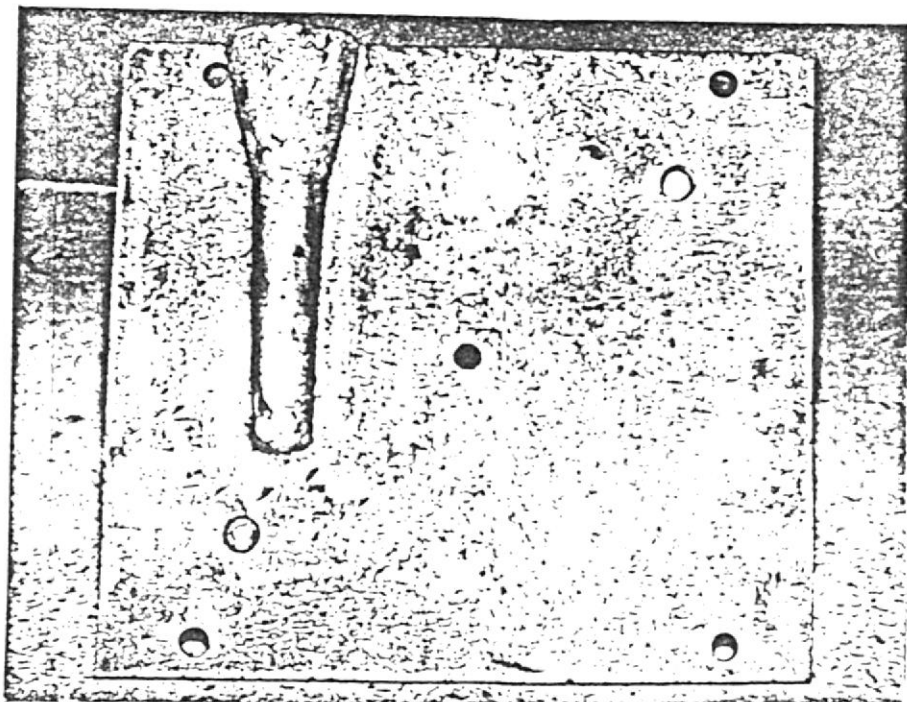
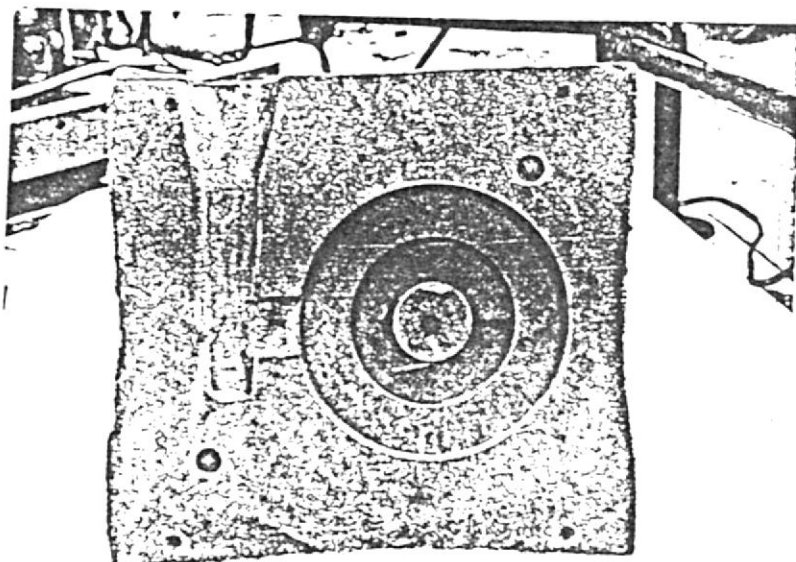


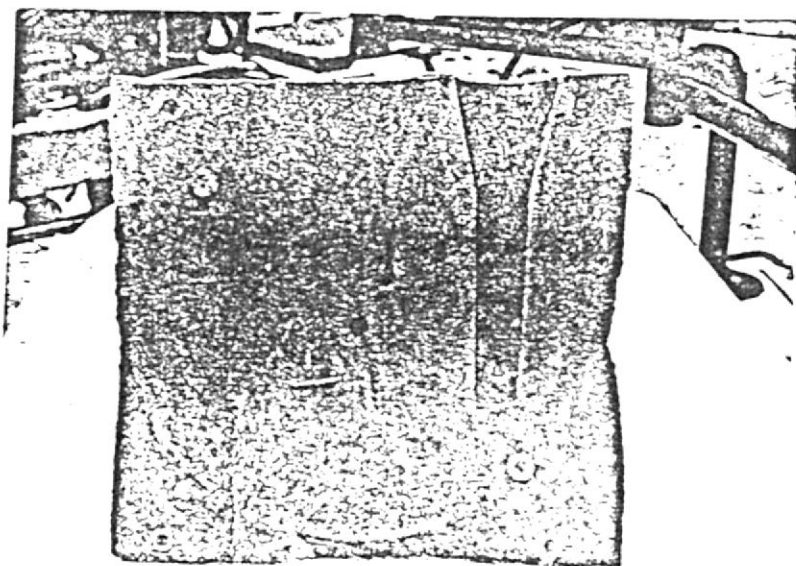
FIGURA 3.3.2.4.- Sistema de eyección en acción de desmolde



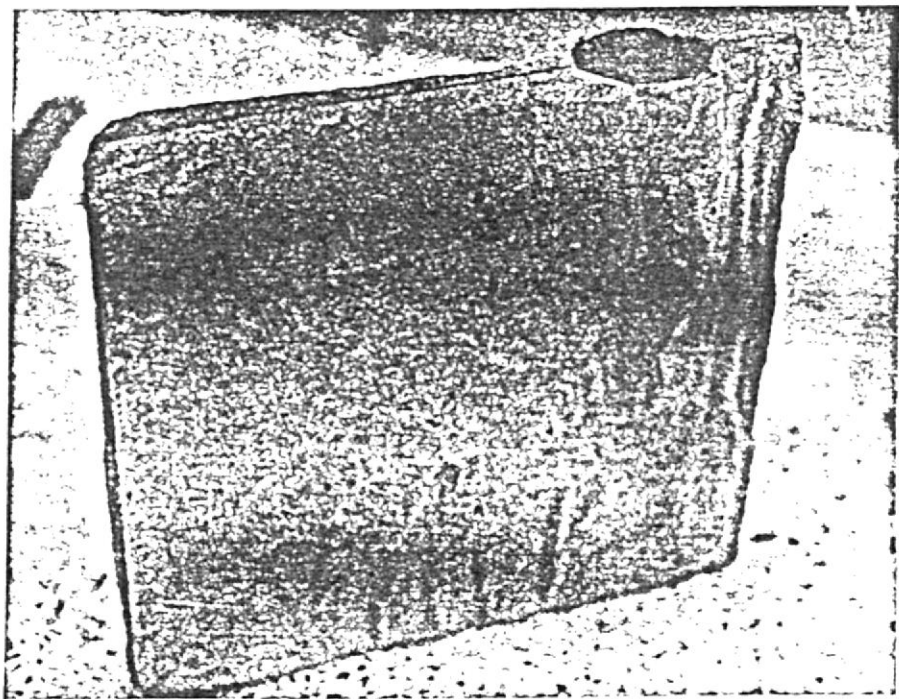
FOTOGRAFIA 3.3.2.3.- Modelo de la parte posterior de la pieza.



FOTOGRAFIA 3.3.2.5.- Cáscara de la parte anterior del molde.



FOTOGRAFIA 3.3.2.6.- Cáscara de la parte posterior del molde.



FOTOGRAFIA 3.3.2.7.- Molde acoplado listo para el colado

TABLA 3.3.2.1.

VARIACION DEL ESPESOR DE LA CASCARA CON RESPECTO A
DIFERENTES TIEMPOS Y TEMPERATURAS DE CURADO

MUESTRA #	TEMPERATURA DE CURADO (°C)	TIEMPO DE CURADO (seg.)	ESPESOR DE LA CASCARA (mm.)
1 2 3 4	150	10 20 30 40	1 2 3 3
1 2 3 4	200	10 20 30 40	2 4 5 6
1 2 3 4	225	10 20 30 40	3 4.5 5.5 6.5
1 2 3 4	250	10 20 30 40	3 4.5 6.5 8
1 2 3 4	275	10 20 30 40	3 5 6.5 8.5
1 2 3 4 5 6	300	5 10 15 20 25 30	2 3.5 5 5.5 6 6.5
1 2 3 4 5 6	325	5 10 15 20 25 30	2 4 5 6 7 7

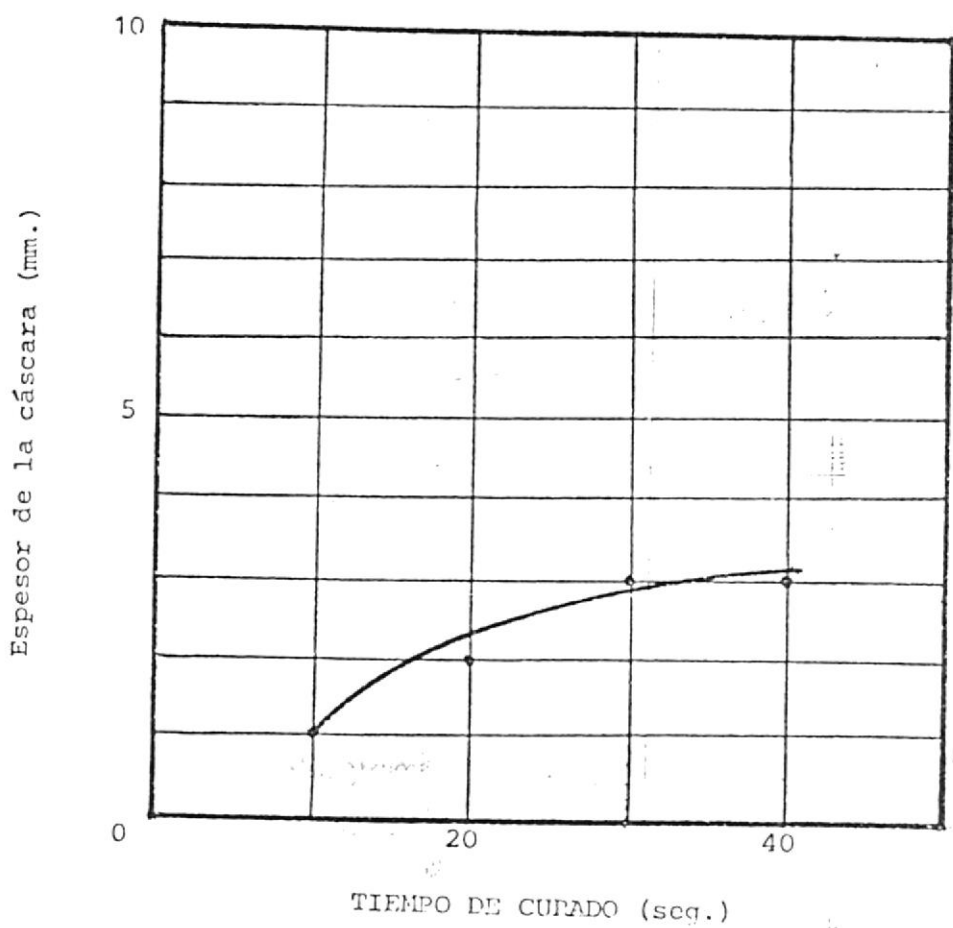


FIGURA 3.3.2.1. Temperatura de curado: 150°C

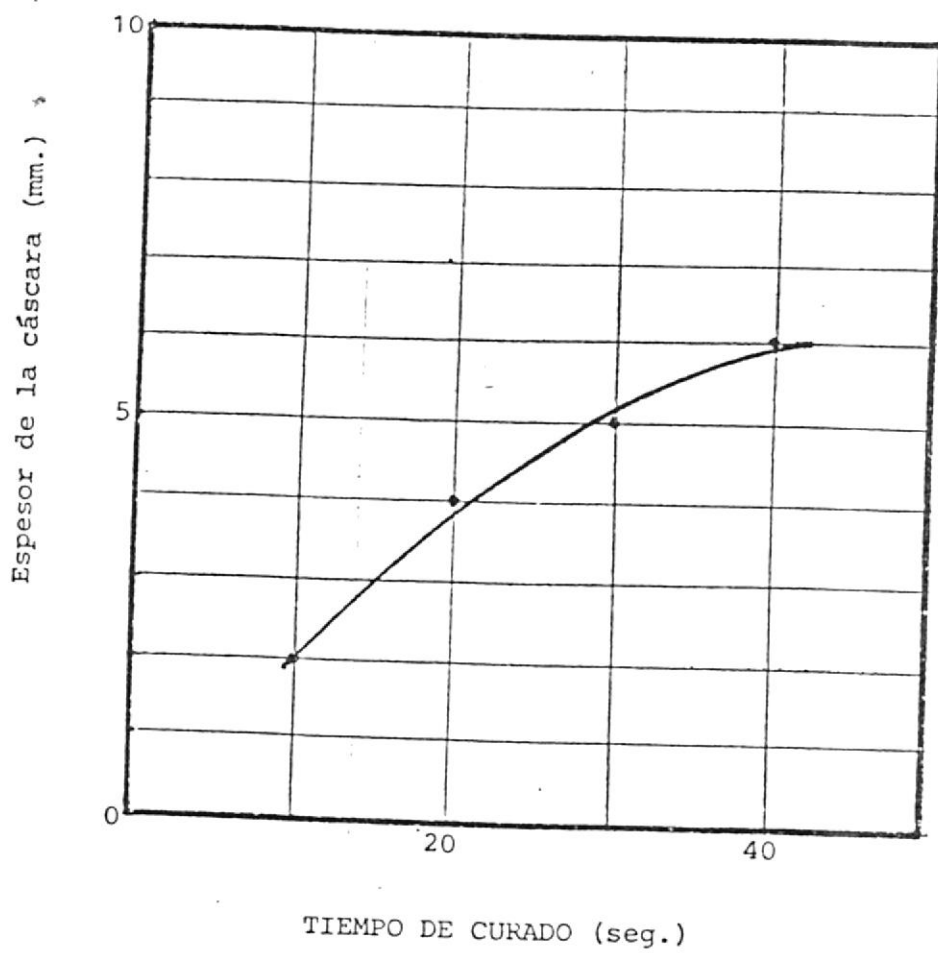


FIGURA 3.3.2.2. Temperatura de curado: 200°C



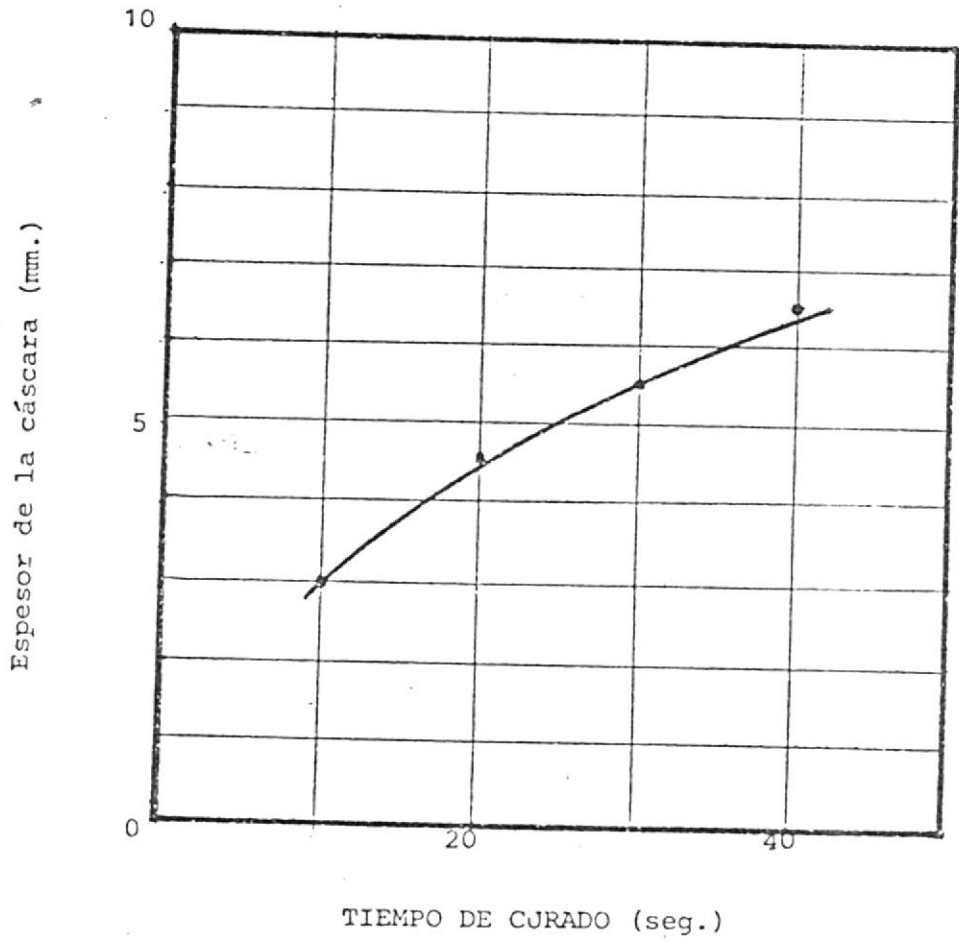


FIGURA 3.3.2.3.- Temperatura de curado: 225°C

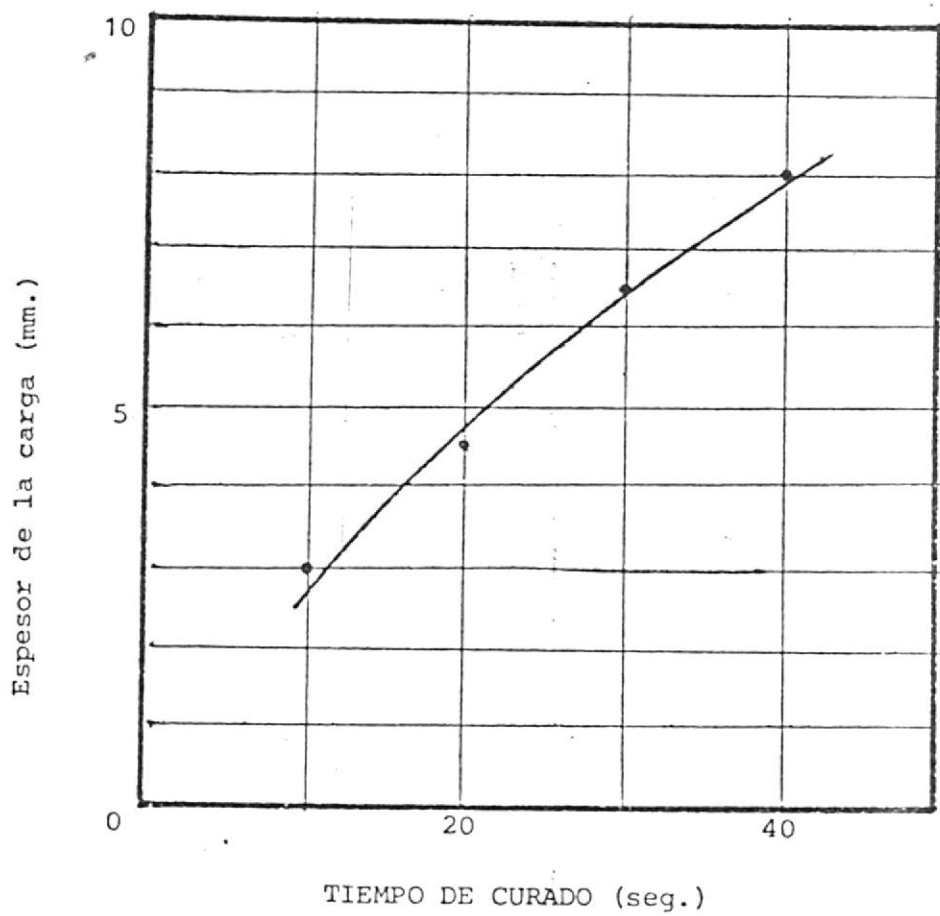


FIGURA 3.3.2.4.- Temperatura de curado: 250°C

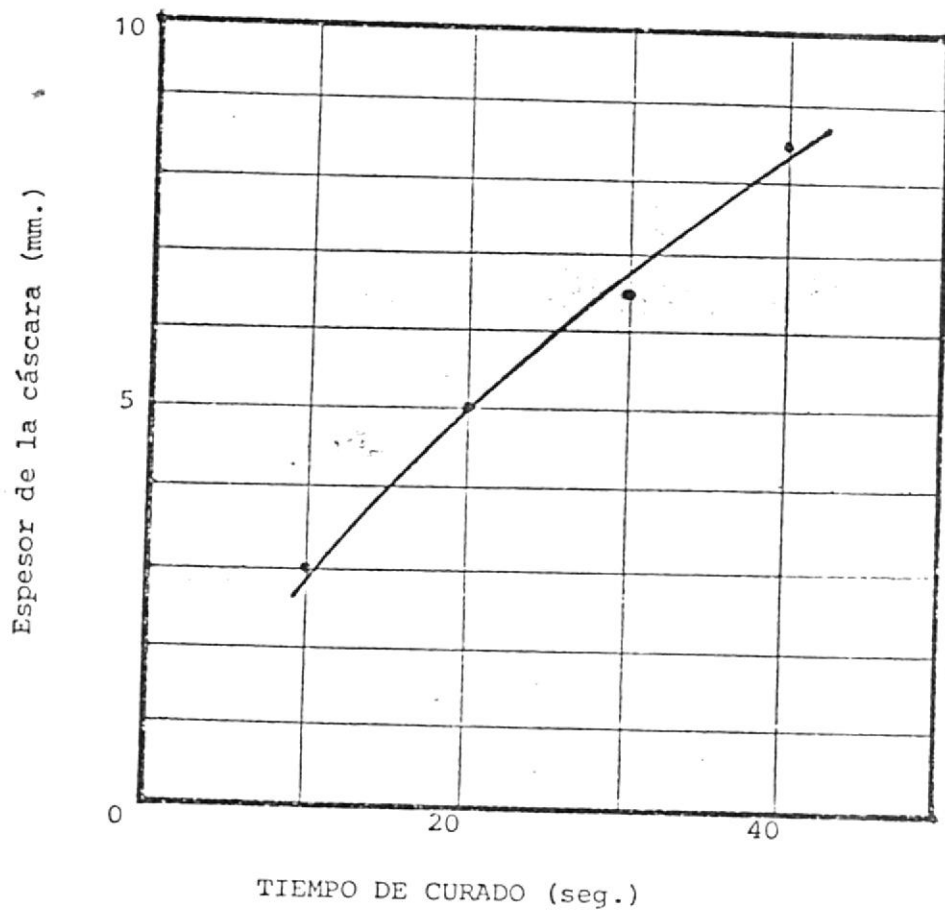


FIGURA 3.3.2.5. Temperatura de curado: 275°C

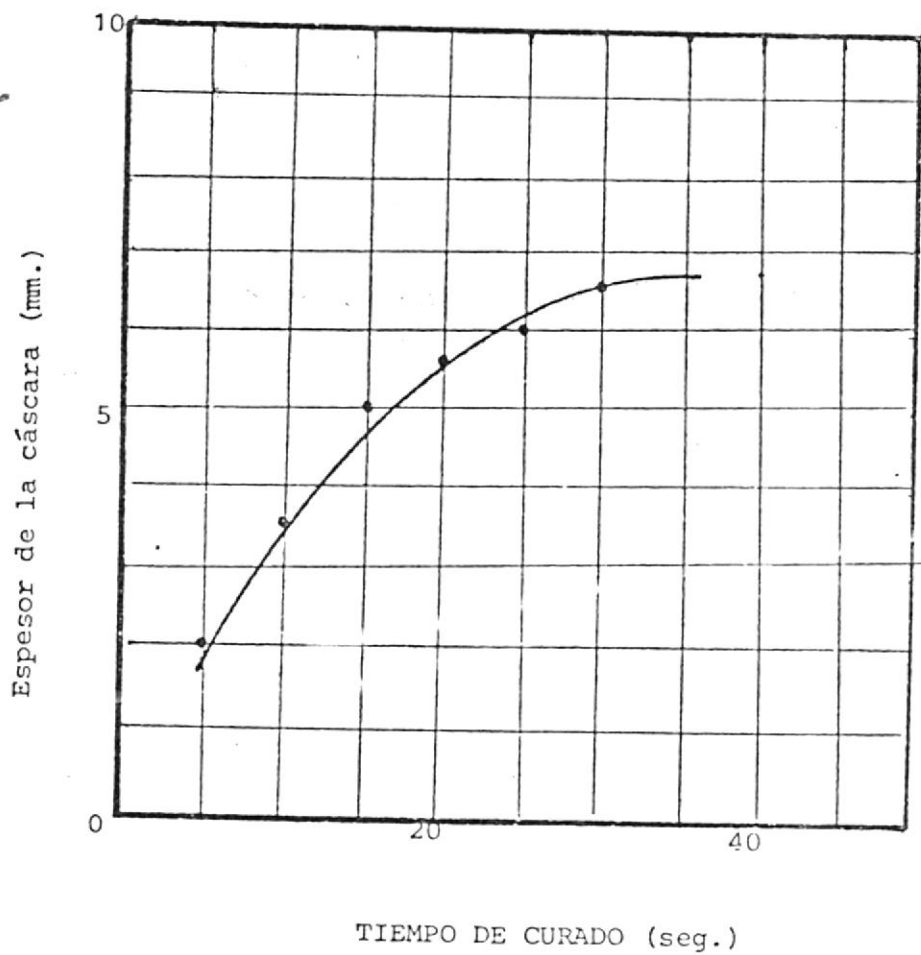


FIGURA 3.3.2.6.- Temperatura de curado: 300°C

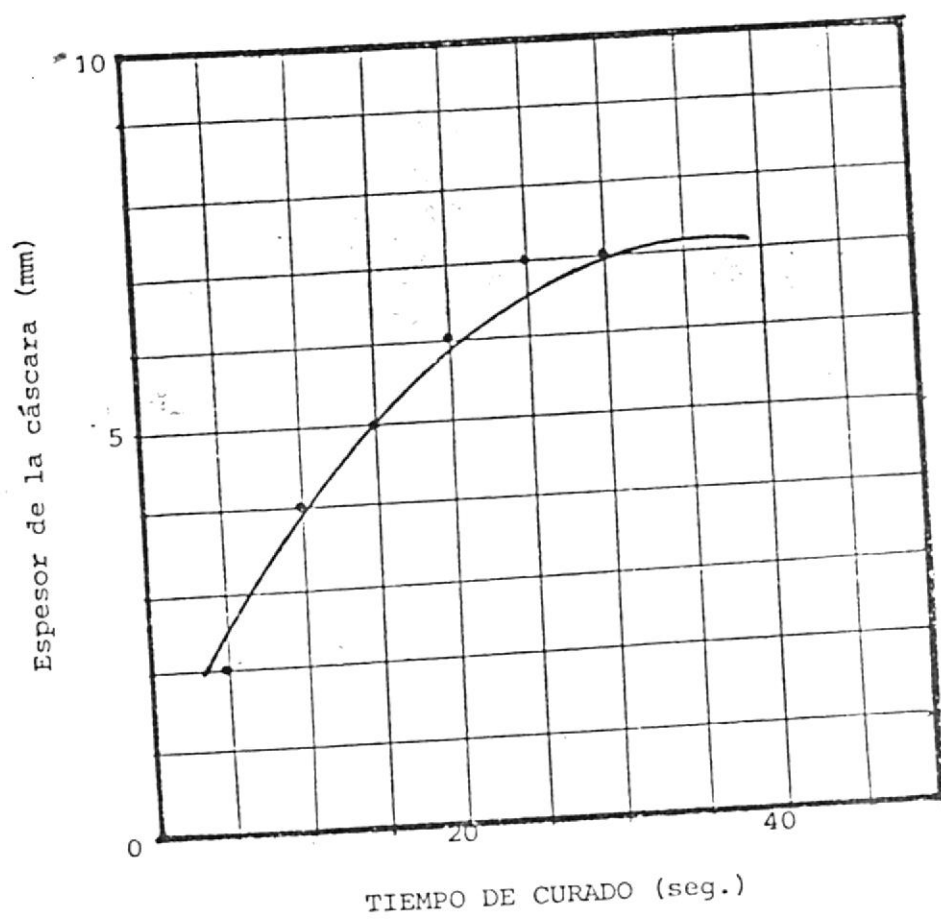


FIGURA 3.3.2.7.- Temperatura de curado: 325°C

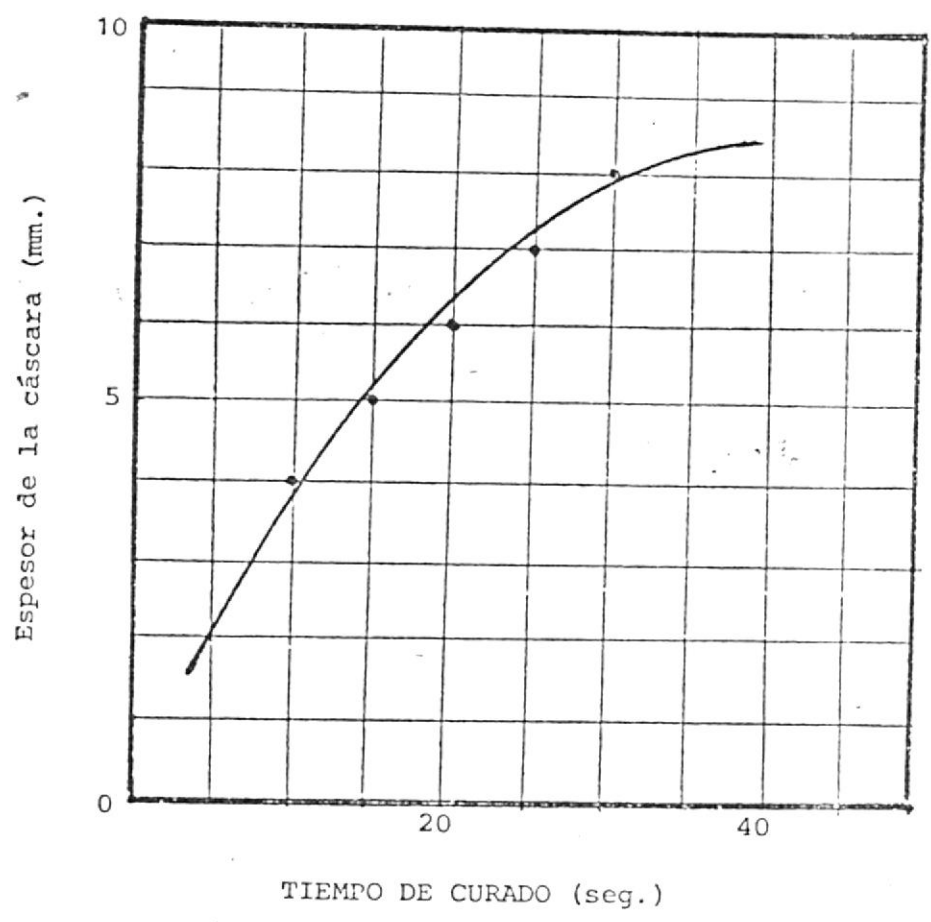


FIGURA 3.3.2.8.- Temperatura de curado: 350°C

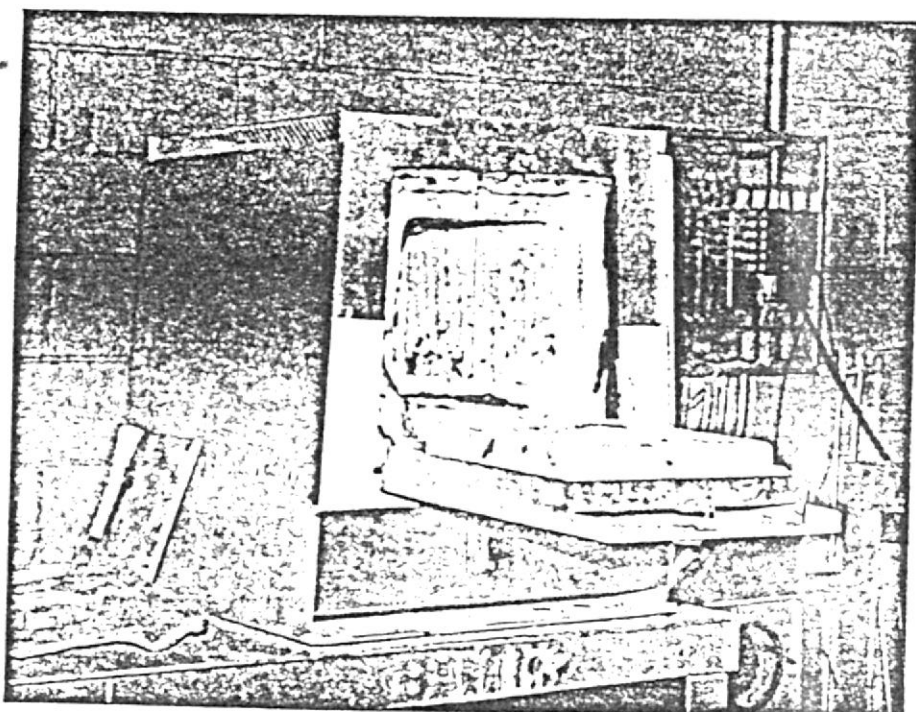
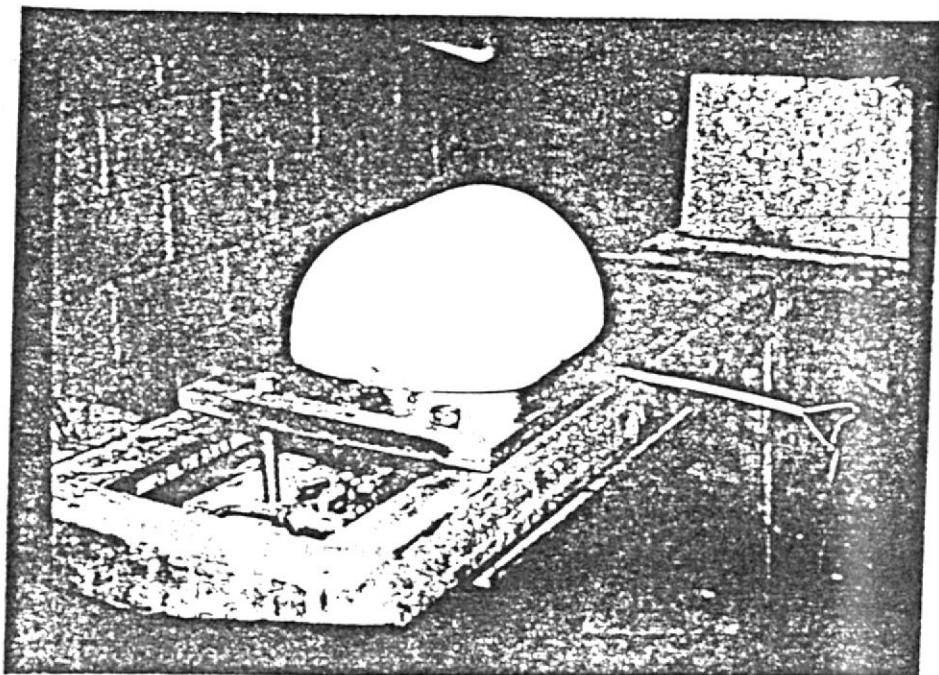


FIGURA 3.3.2.8.- Horno usado en el proceso de curado.



FOTOGRAFIA 3.3.2.9.- Carcaza metálica puesta sobre el modelo durante el curado para evitar pérdidas de calor.

En la tabla 3.3.2.2 que se encuentra a continuación se pueden hallar las pruebas para la elaboración de moldes, realizadas con variación de los diferentes parámetros - del proceso.

TABLA 3.3.2.2.

MEZCLAS PROBADAS EN LA ELABORACION DE MOLDES

PRUEBA Nº	% RESINA	% ESTEARATO DE CALCIO	T _{INV} (°C)	T _{INV} (seg)	T _{CUR} (°C)	T _{CUR} Seg)	ESPESOR (mm.)	OBSERVACIONES.
1	8	1.5	240	120	300	60	7	Cáscaras quemadas por cuanto se averió la termocupla del horno, consistencia y acabado buenos.
2	8	1.5	260	180	300	30	-	
3	8	-	300	180	330	60	10	
4	8	-	295	120	300	60	7	
5	8	1	280	120	300	45	6	Mala consistencia y acabado superficial.
6	8	1	300	90	300	60	5	
7	8	1	300	120	300	90	6	Se añadió a la mezcla alcohol, con el objeto de evitar la emisión de polvos. Los moldes se rompieron en la eyección.
8	8	1	300	45	300	60	-	
9	8	1	300	90	300	60	-	
10	8	1	300	150	300	60	-	Cáscara con baja consistencia y pésimo acabado superficial.
11	8	1	300	60	300	120	8	
12	8	1	300	120	300	120	9	"
13	8	1	300	60	300	60	4	Molde roto y con mal acabado
14	8	1	300	120	300	60	6	"
15	8	1	250	60	300	90	-	Acabado regular y baja consistencia.
16	8	1	300	120	300	90	7	
17	8	1	300	120	300	90	8	"
18	8	1	300	180	300	90	9	"
19	8	0	300	120	300			Acabado superficial y consistencia de buena calidad.
20	8	0	300	60	300	60	4	
21	8	0	300	120	300	60	4	
22	8	0	300	90	300	120	8	
23	8	0	300	60	300	120	6	"
24	8	0	300	60	300	150	6	"
25	8	0	300	60	300	180	5	"
26	8	0	300	45	300	180	5	"
27	8	0	300	30	300	180	4	"
28	8	0	300	20	300	180	4	"
29	6	0	300	15	300	180	4	"
30	6	0	300	30	300	180	4	"

Cont. Tabla 3.3.2.2.

PRUEBA N ^o	% RESINA	% ESTEREATO DE CALCIO	T _{INV} (°C)	T _{INV} (seg)	T _{CUR} (°C)	T _{CUR} (Seg)	OBSERVACIONES
31	6	300	10	300	300	6	Acabado superficial y consistencia de buena calidad.
32	6	300	20	300	300	6	
33	6	300	30	300	300	6	
34	4	300	45	300	300	6	
35	4	300	30	300	300	6	
36	4	300	20	300	300	6	
37	6	300	15	300	300	5	
38	6	300	15	300	300	5	

3.3.3. Ensayos de Laboratorio

En general, se puede decir que para cada proceso de fabricación existen uno o varios ensayos normalizados de laboratorio mediante los cuales se pueden simular las condiciones de trabajo a que está sometido el material en el proceso de fabricación real, para de esta manera establecer un control estricto de la producción a fin de bajar el porcentaje de fallas en el proceso.

Para ilustrar mejor lo antedicho, se puede citar ejemplos tales como: los ensayos de tracción y doblado a que son sometidas probetas del metal de que van a ser o están siendo construídos los recipientes de presión (cilindros) utilizados para el envasado de gases para uso doméstico o industrial.

Otro ejemplo: son los ensayos de tracción que se realizan en las barras de acero para construcción civil, lo cual simula en realidad las condiciones de trabajo a que van a estar sometidas estas barras al formar parte de varillas largas y estas a su vez, de vigas, como partes vitales e importantes de la estructura de una edificación.

En fin, se deben realizar ensayos de laboratorio para controlar la calidad de todo producto y los parámetros involucrados en el proceso de fabricación.

Cuando fabricamos un molde de cáscara, este va a ser uti-
lizado para llenarlo de metal fundido y obtener una pie-
za lo más parecida al modelo utilizado para fabricar el
molde, lo cual no contradice la máxima de fundición que
dice: "Una pieza obtenida por fundición no puede ser me-
jor que el modelo del cual fue obtenida".

Cuando el metal fundido entra en el molde, comienza la -
solidificación del líquido, la cual genera grandes pre-
siones en todos los sentidos debido a la emisión de ga-
ses propia de todo proceso de solidificación por interac-
ción entre el metal y el molde, por el peso de la alea-
ción contenida en un recipiente y por cambios volumétricos
de expansión (en el caso del hierro gris) como conse-
cuencia de la solidificación del grafito eutéctico.

Dichos esfuerzos deben poder ser soportados por el molde
para evitar una deformación del mismo al momento de reci-
birlos, lo que se traduciría en una malformación de la
pieza colada. Obviamente, los esfuerzos de mayor consi-
deración en el molde de cáscara son los de flexión, ra-
zón por la cual, para hacer el control de calidad de los
moldes de cáscara, se ha hecho uso de un ensayo de labo-
ratorio que consiste en aplicar una carga de flexión so-
bre el centro de una probeta de cáscara de dimensiones -
normalizadas (Fig. 3.3.3.2), lo cual traslada perfectamen-

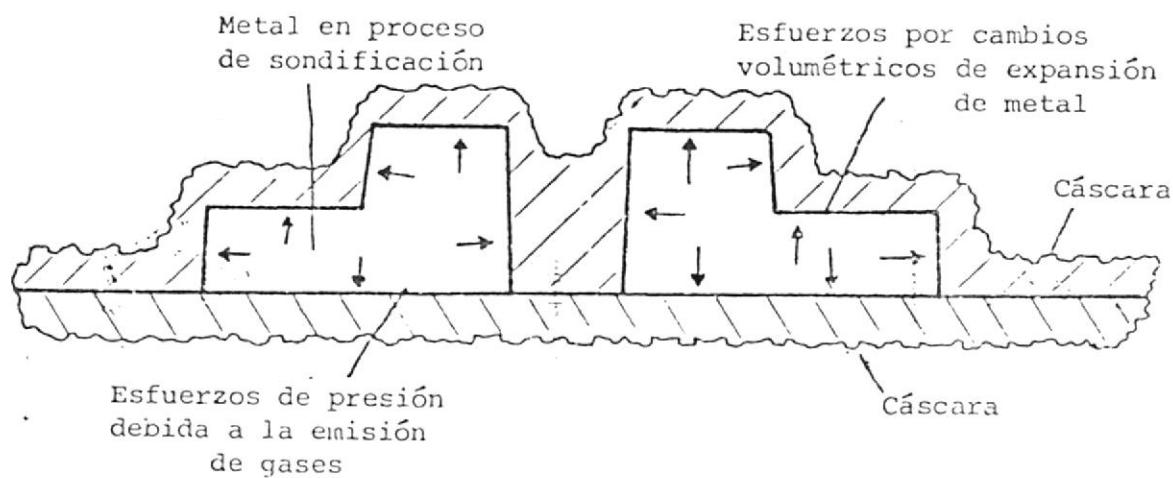


FIGURA 3.3.3.1. Esfuerzos producidos en el molde de cáscara durante el colado y la solidificación.

telas condiciones reales a las que va a trabajar un molde de cáscara, como se ha explicado anteriormente.

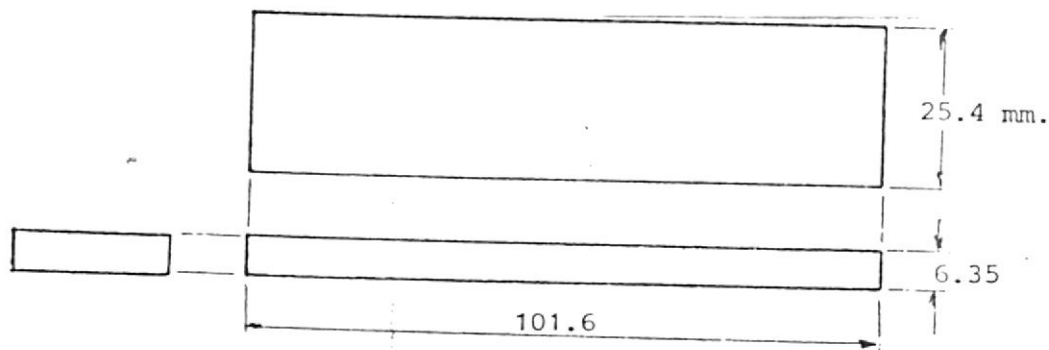


FIGURA 3.3.3.2.- Dimensiones de la probeta normalizada para el ensayo de flexión de cáscara.

MATERIAL UTILIZADO

Para el control de calidad del proceso, se utilizaron diferentes mezclas variando primeramente el porcentaje de resina entre 4 y 8% para la arena de Yantzaza y de 6 a 8 % para la arena del Río Guayas. Se eliminó de dichas mezclas el estearato de calcio debido a que, al comienzo de la experimentación dió pesimos resultados en cuanto a consistencia de las probetas obtenidas.

En segundo lugar, se varió la temperatura de curado de las probetas desde 250 hasta 320°C para la arena de Yantzaza y de 250 a 300°C para la arena del Río Guayas.

Finalmente, se tomaron varios tiempos de curado que fluc-

tuaron entre 1 y 7 minutos para los dos tipos de arenas ensayados.

EQUIPO UTILIZADO

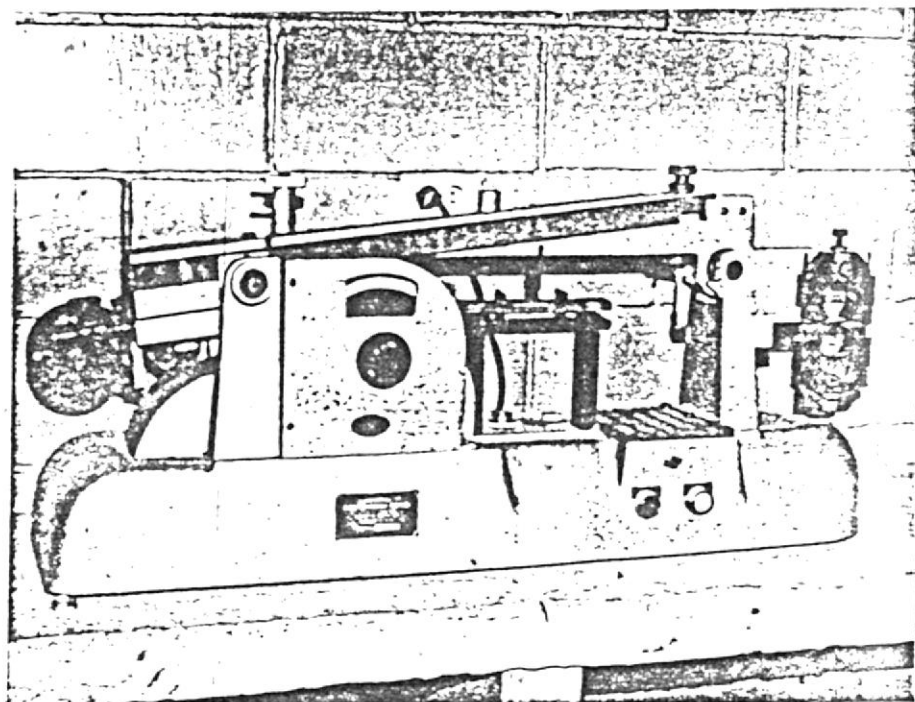
- Molino mezclador de arena
- Dispositivo para formar las probetas
- Dispositivo para curar las probetas
- Máquina universal de ensayos de arena
- Dispositivo para el ensayo de flexión
- Termómetro Electrónico
- Termocupla (hierro-constantan)

El dispositivo utilizado para fabricar las probetas para el ensayo de flexión, fue construido especialmente para el presente trabajo puesto que no existía en los laboratorios de la ESPOL el instrumento adecuado para el efecto: lo mismo sucedió con los dispositivos utilizados para el curado y ensayo por flexión de las probetas.

Este dispositivo simula muy estrechamente las condiciones de obtención de la cáscara en una producción de tipo industrial, Es así como se practicaron perforaciones del tamaño de las probetas (101.6 x 25.4 mm.) en una placa de acero de 6.35 mm. de espesor, que es igual al espesor de la probeta normalizada (figura 3.3.3.3).



BIBLIOTECA



FOTOGRAFIA 3.3.3.2.- Máquina universal para ensayos de arena con el dispositivo para flexión acoplado.

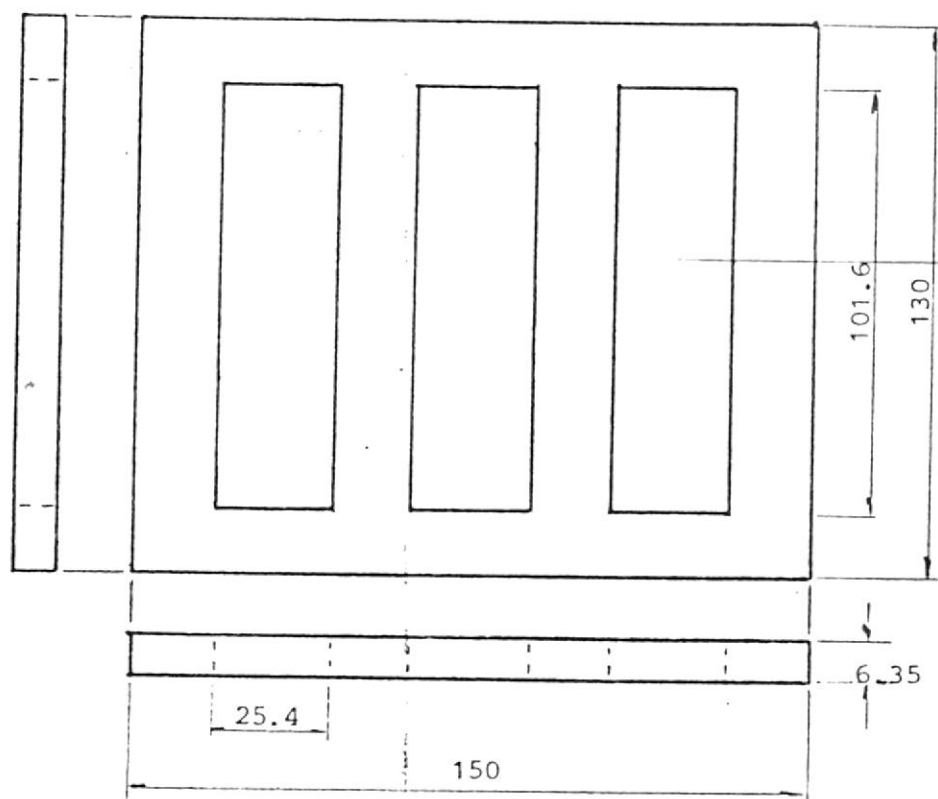


FIGURA 3.3.3.3.- Dispositivo para formar las probetas

Además, con este dispositivo se pudieron fabricar tres probetas simultáneamente, lo que permitió, al realizar los ensayos, obtener una media entre los tres valores de flexión obtenidos lo que dá confiabilidad a los resultados de cada ensayo.

El aparato para curar las probetas (fót. 3.3.2.1) fue diseñado y constituido para que cumpla con las exigencias del proceso, y consta de:

- Una placa de calentamiento construída en acero, la cual sirve para soportar los modelos, o, para el caso del en

sayo, el dispositivo de fabricación de las probetas.

- Un quemador de gas que se utiliza para transmitir calor a la placa de calentamiento, y a través de ésta, a los modelos.
- Un sistema de eyección que consta de varios vástagos que atraviezan la placa de calentamiento y los modelos que se utiliza para separar el molde del modelo una vez que ha culminado el ciclo de curado.
- Una placa inferior o base hecha de acero que sirve para apoyar el quemador de gas y para empujar los vástagos eyeectores de los moldes mediante el uso de una palanca.
- La bancada, fabricada con perfiles de acero, utilizada para soportar todo el mecanismo.

PROCEDIMIENTO

La técnica utilizada para ejecutar los ensayos de flexión puede ser dividida en dos etapas:

- fabricación de probetas y,
- ejecución de los ensayos

Para la primera etapa, se siguió el siguiente proceso:

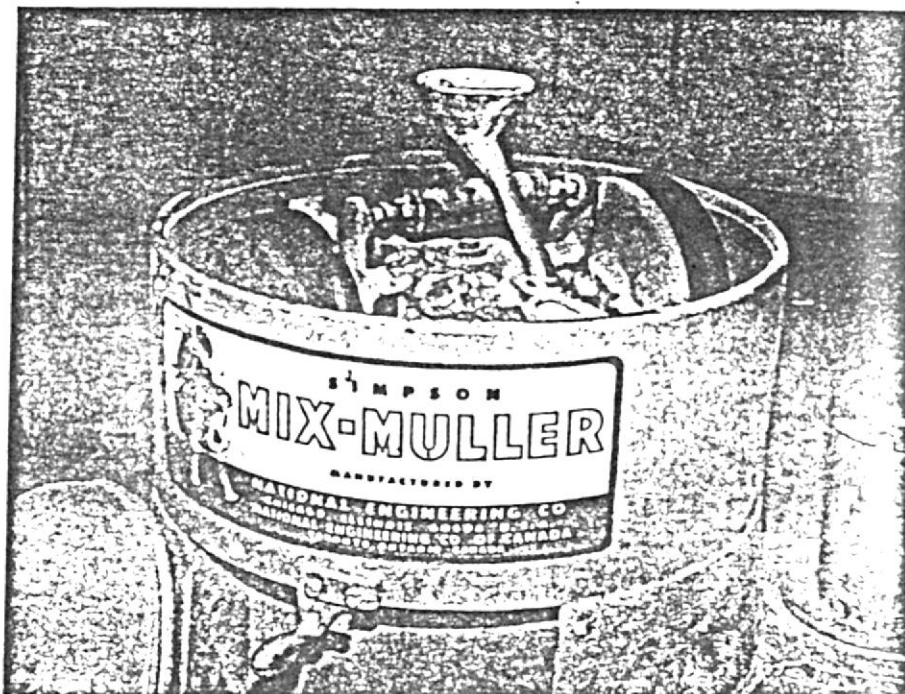
1. Se calibra la apertura de las válvulas del gas hasta ob-

tener las temperaturas de curado deseadas.

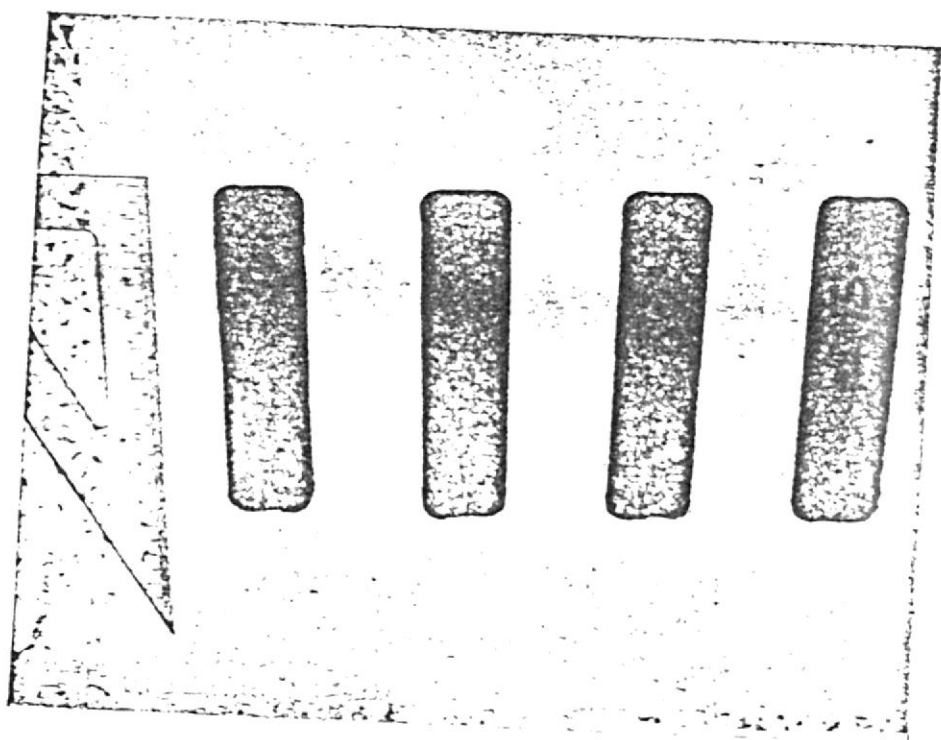
2. Se realiza el pesado correspondiente según la mezcla que se desee ensayar.
3. Se introducen en el molino mezclador los componentes de la mezcla para realizar la operación por 5 minutos.
4. Se coloca la mezcla sobre el dispositivo de fabricación de probetas lo más rápidamente posible, rasando el exceso de la misma forma.
5. Luego del tiempo de curado requerido, se extraen las probetas del molde.

Para realizar el ensayo de flexión en las probetas obtenidas por el proceso arriba indicado, se procede de la siguiente manera:

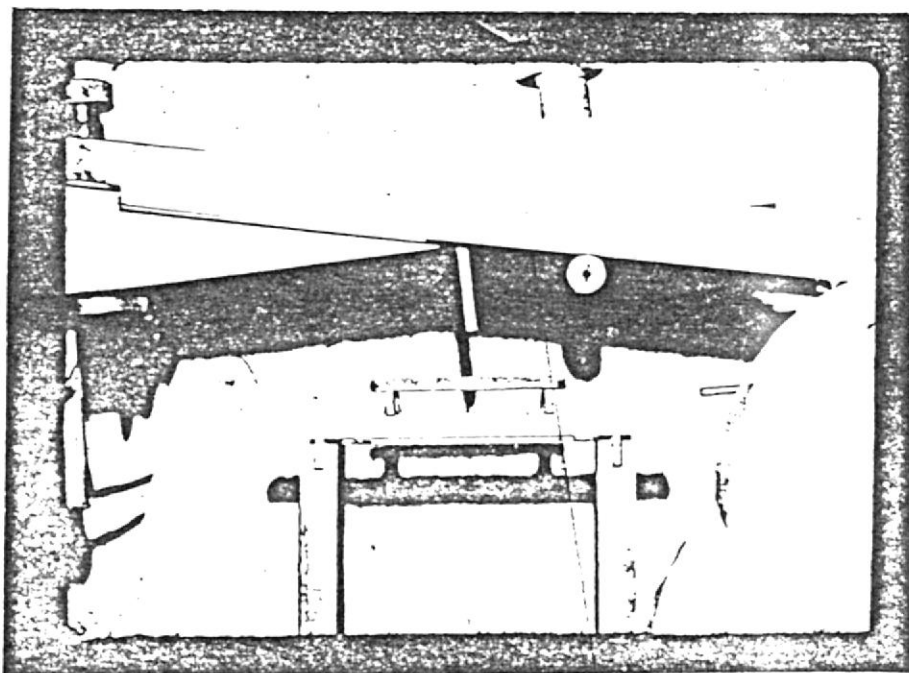
1. Se adapta el dispositivo para realizar el ensayo de flexión (fig. 3.3.3.5) sobre los soportes de la máquina universal de ensayos de arenas.
2. Se sitúa la probeta sobre los apoyos de tal manera que quede centrada.
3. Se aplica la carga accionando los controles de la máquina hasta llegar a la carga de rotura, la cual se tabula.



FOTOGRAFIA 3.3.3.3.- Molino mezclador de arenas utilizado para las mezclas.



FOTOGRAFIA 3.3.3.4.- Probetas para realizar los ensayos de flexión.



FOTOGRAFIA 3.3.3.5.- Ensayo de flexión de la probeta normalizada.

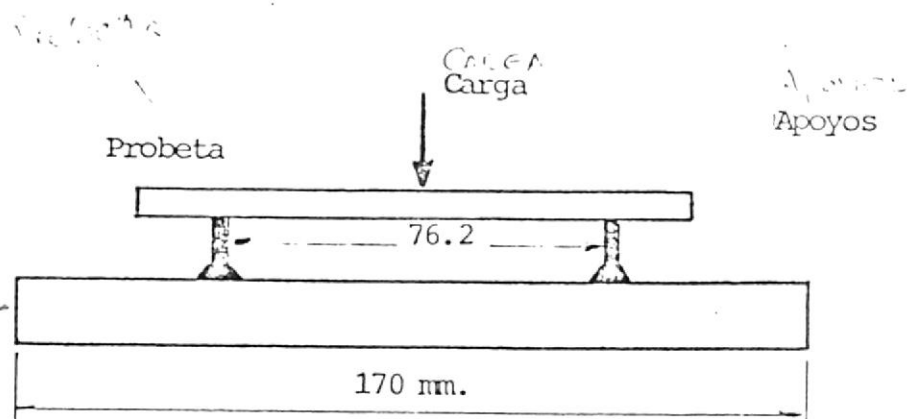


FIGURA 3.3.3.5.- Dispositivo para realizar el ensayo de flexión

4. Se descarga y se repite el proceso de igual manera para todas las probetas.

RESULTADOS

Los resultados de los ensayos de flexión realizados en las arenas de Yantzaza y del Río Guayas, se presentan en las tablas siguientes y se ubican sus valores en los respectivos gráficos.

DATOS DEL ENSAYO:

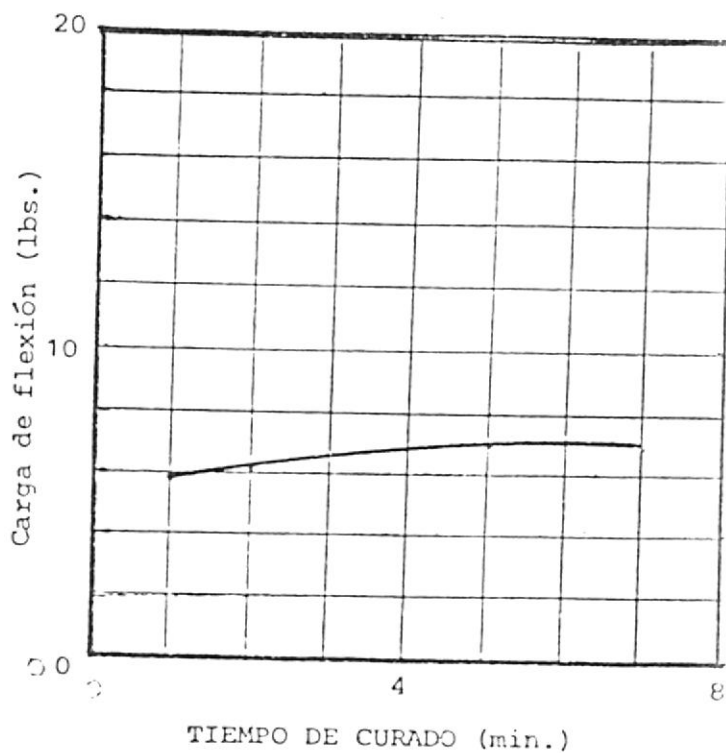
ARENA: YANTZAZA

RESINA: 4%

TEMPERATURA DE CURADO: 250°C

TABLA 3.3.3.1.

PROB. #	(min)	CARGA (lbs)			Lbs.
		1	2	3	
1	1	6.4	5.8	5.2	5.8
2	2	6.2	6.3	5.8	6.1
3	3	6.4	6.6	7.1	6.7
4	5	7.2	6.6	-	6.9
5	7	6.8	6.8	6.6	6.8



DATOS DEL ENSAYO:

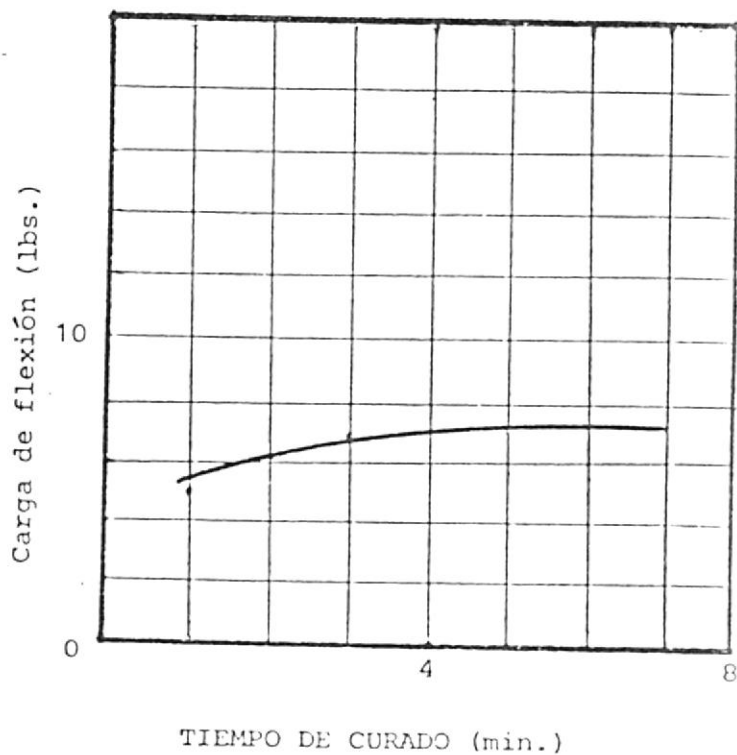
ARENA: YANTZAZA

RESINA: 4%

TEMPERATURA DE CURADO: 280°C

TABLA 3.3.3.2

PROB. #	(min)	CARGA (Lbs)			Prom.
		1	2	3	
1	1	5.1	5.2	4.9	5.1
2	2	6.3	5.8	6.3	6.1
3	3	6.8	7.0	7.0	7.0
4	5	6.8	7.2	7.6	7.2
5	7	6.9	7.4	7.6	7.3

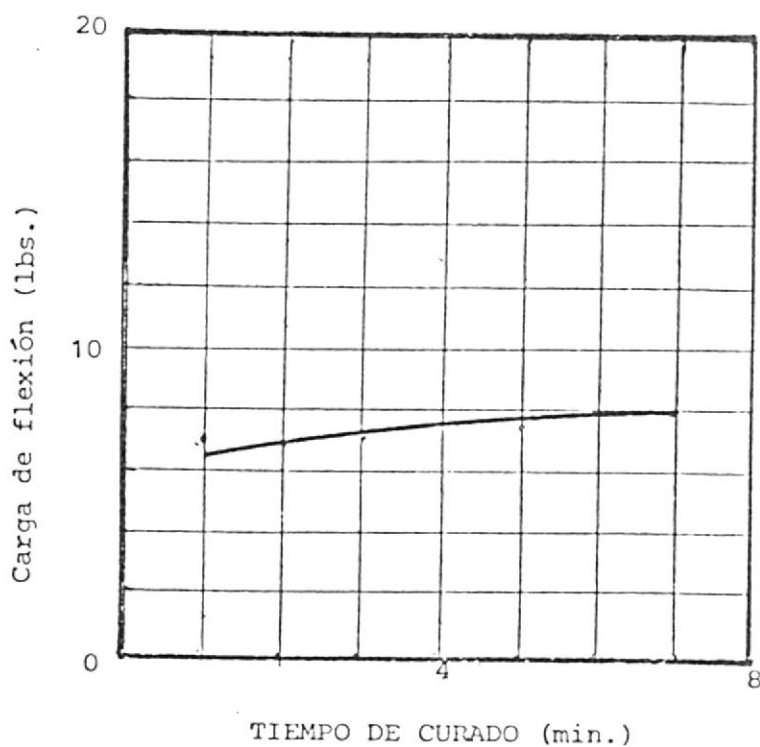


DATOS DEL ENSAYO:

ARENA: YANTZAZA
 RESINA: 4%
 TEMPERATURA DE CURADO: 300°C

TABLA 3.3.3.3.

PROB. #	Tiempo (Min)	CARGA (Lbs)			Prom.
		1	2	3	
1	1	6.8	7.2	6.9	7.0
2	2	6.8	6.8	7.0	6.8
3	3	6.8	6.7	7.8	7.1
4	5	7.2	7.5	-	7.4
5	7	7.9	8.3	7.7	8.0



DATOS DEL ENSAYO:

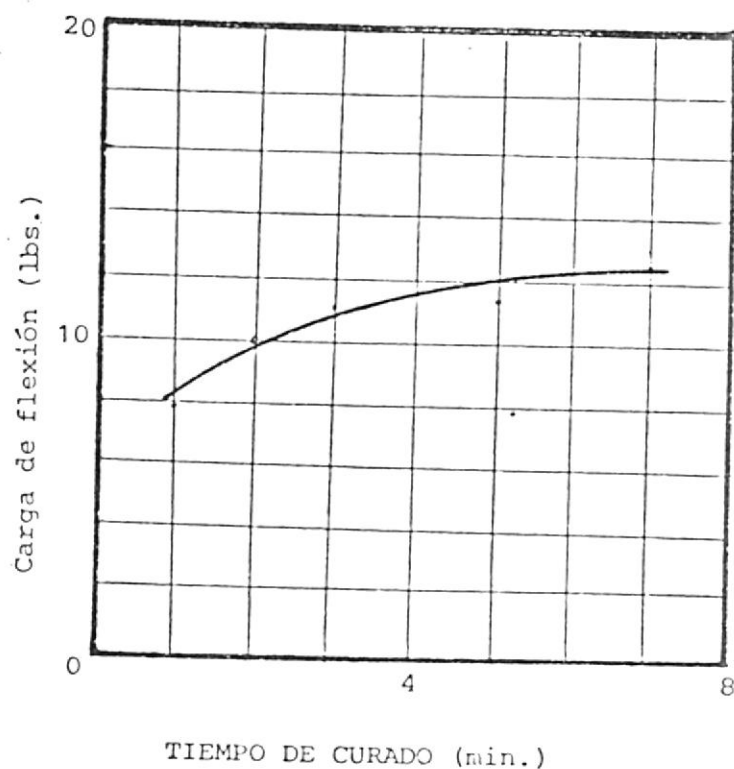
ARENA: YANTZAZA

RESINA: 6%

TEMPERATURA DE CURADO: 280°C

TABLA 3.3.3.4

PROB. #	Tiempo (min.)	CARGA (lbs)			Prom.
		1	2	3	
1	1	9.0	8.0	7.9	8.3
2	2	10.1	10.2	10.0	10.1
3	3	10.9	10.5	11.1	10.8
4	5	12.4	11.5	11.3	11.7
5	7	13.6	12.5	12.4	12.8



DATOS DEL ENSAYO:

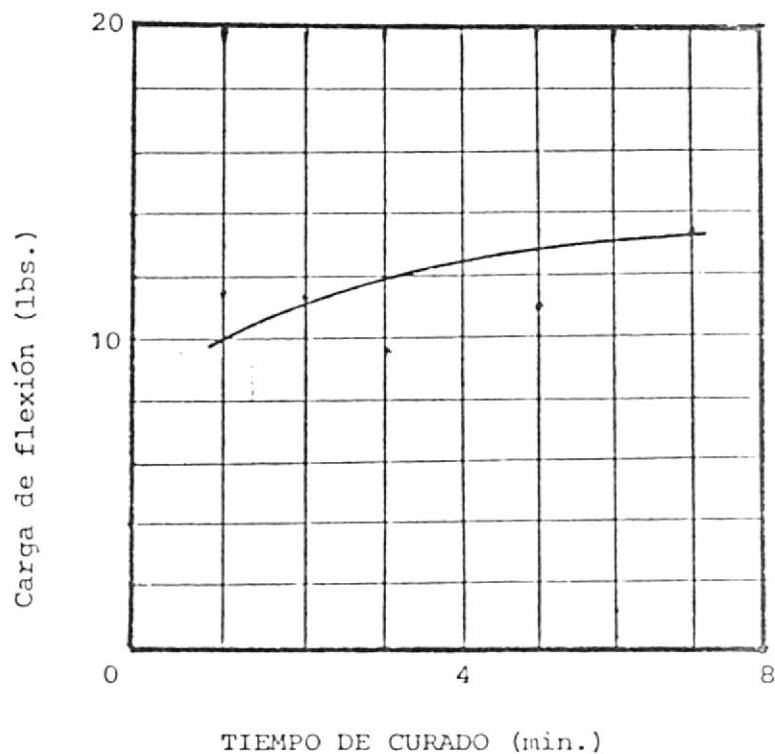
ARENA: Yantzaza

RESINA: 6%

TEMPERATURA DE CURADO: 300°C

TABLA 3.3.3.5

PROB. #	(min.)	CARGA (lbs)			Prom.
		1	2	3	
1	1	10.2	11.0	11.5	10.9
2	2	9.9	10.6	11.4	10.6
3	3	10.9	9.8	9.5	10.1
4	5	11.7	13.0	11.0	11.9
5	7	12.8	12.4	13.3	12.8

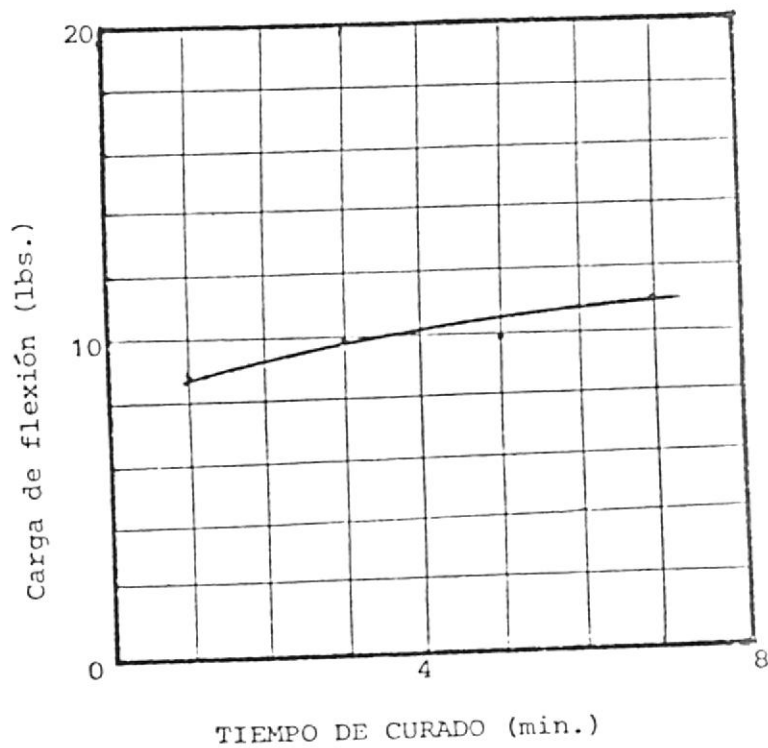


DATOS DEL ENSAYO:

ARENA: Yantzaza
 RESINA: 6%
 TEMPERATURA DE CURADO: 320°C

TABLA 3.3.3.6

PROB. #	T _{cur} (min.)	CARGA (lbs)			Prom.
		1	2	3	
1	1	8.6	9.0	8.9	8.8
2	3	10.2	9.9	9.9	10.0
3	5	12.7	10.6	9.9	11.1
4	7	11.3	10.7	11.0	11.0



DATOS DEL ENSAYO:

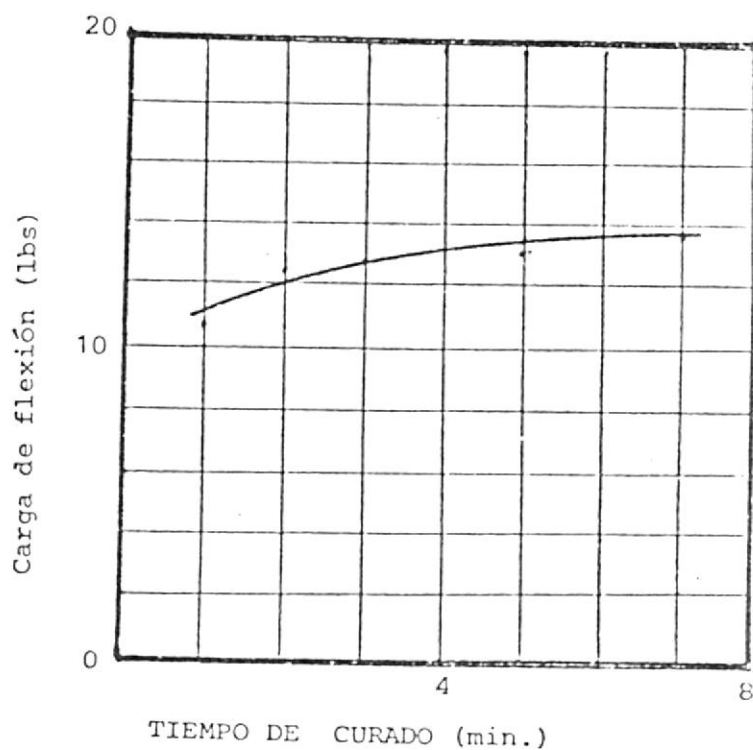
ARENA: Yantzaza

RESINA: 8%

TEMPERATURA DE CURADO: 250°C

TABLA 3.3.3.7

PROB. #	T _{cur} (min.)	CARGA (lbs)			
		1	2	3	prom.
1	1	11.2	9.8	11.2	10.7
2	2	13.2	12.5	11.4	12.4
3	3	12.6	12.9	12.7	12.7
4	5	13.0	12.5	13.6	13.0
5	7	13.7	13.6	13.2	13.5



DATOS DEL ENSAYO:

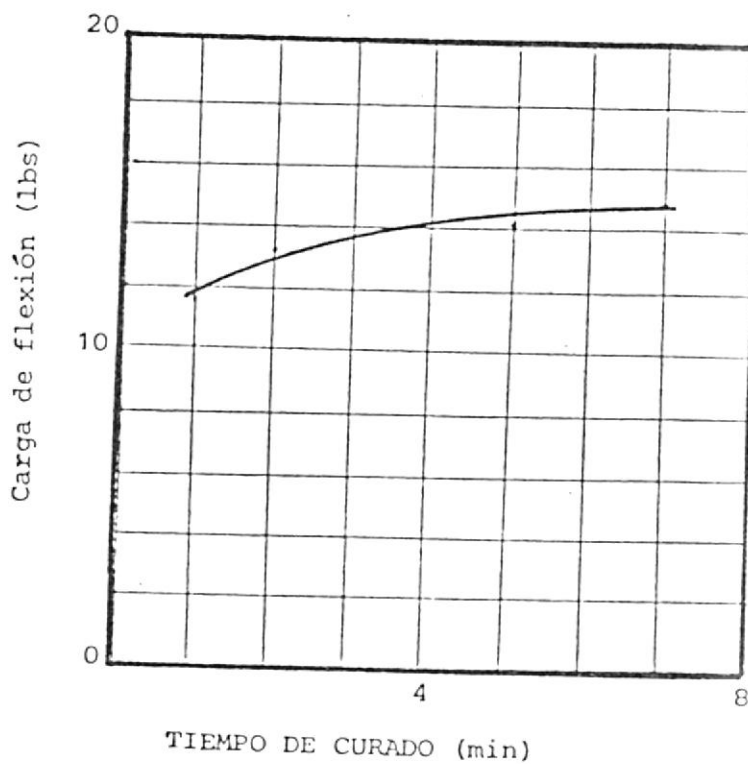
ARENA: Yantzaza

RESINA: 8%

TEMPERATURA DE CURADO: 290°C

TABLA 3.3.3.8

PROB. #	T _{cur} (min.)	CARGA (lbs)			
		1	2	3	Prom.
1	1	11.2	12.0	11.9	11.7
2	2	12.0	15.2	12.8	13.3
3	3	14.9	13.0	12.9	13.6
4	5	14.0	14.0	14.2	14.1
5	7	14.0	15.5	-	14.8



DATOS DEL ENSAYO:

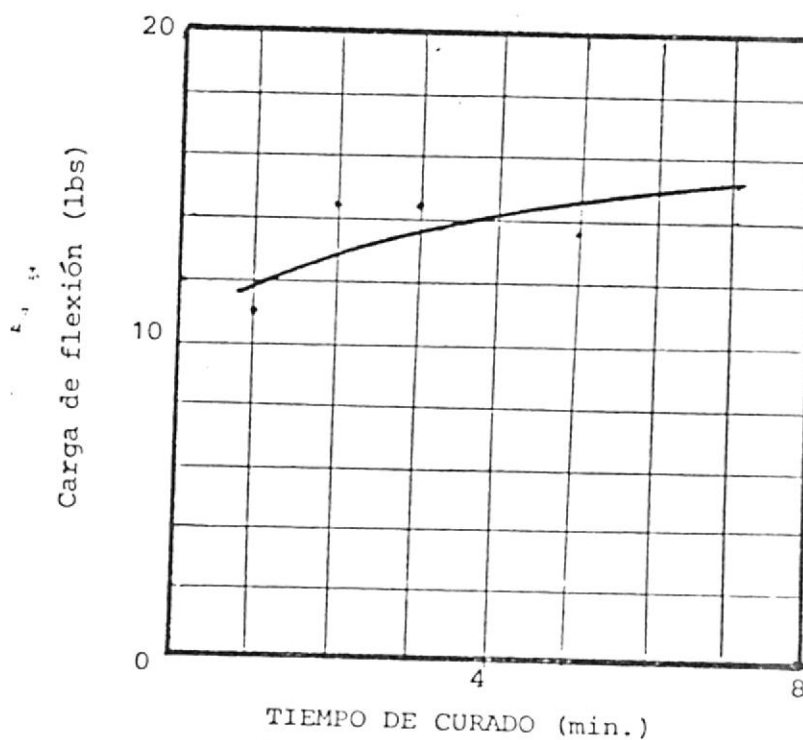
ARENA: Yantzaza

RESINA: 8%

TEMPERATURA DE CURADO: 320°C

TABLA 3.3.3.9

PROB. #	T _{cur} (min.)	CARGA (lbs)			
		1	2	3	Prom.
1	1	11.3	11.4	10.7	11.1
2	2	15.6	14.0	13.7	14.4
3	3	14.4	13.5	15.2	14.4
4	5	13.8	14.4	12.5	13.6
5	7	15.8	14.5	14.9	15.1



BIBLIOTECA

DATOS DEL ENSAYO:

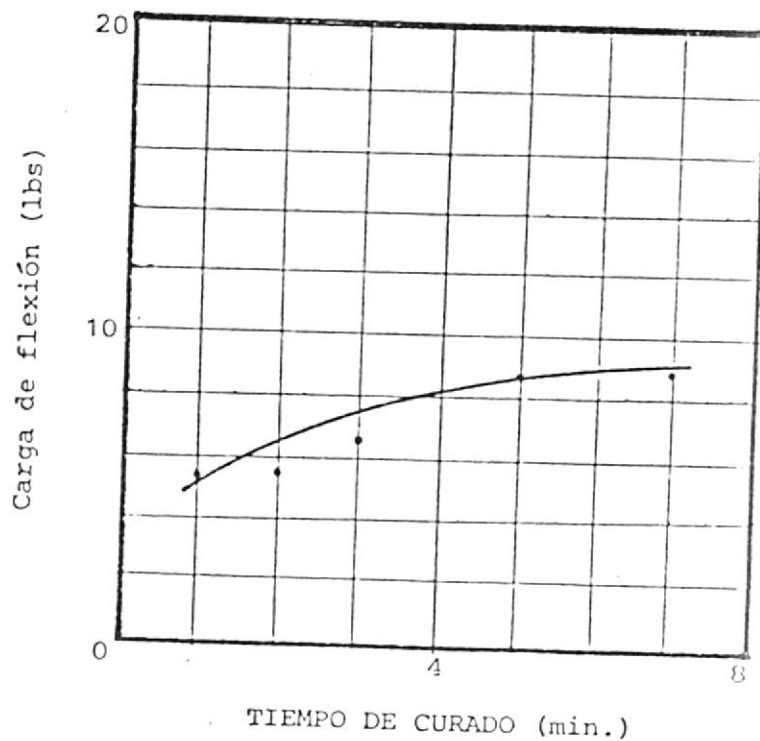
ARENA: Río Guayas

RESINA: 6%

TEMPERATURA DE CURADO: 250°C

TABLA 3.3.3.10

PROB. #	T _{cur} (min.)	CARGA (lbs)			Prom.
		1	2	3	
1	1	5.3	5.7	5.3	5.4
2	2	5.5	5.5	-	5.5
3	3	6.5	6.7	-	6.6
4	5	8.4	9.1	-	8.8
5	7	8.9	-	-	8.9



DATOS DEL ENSAYO:

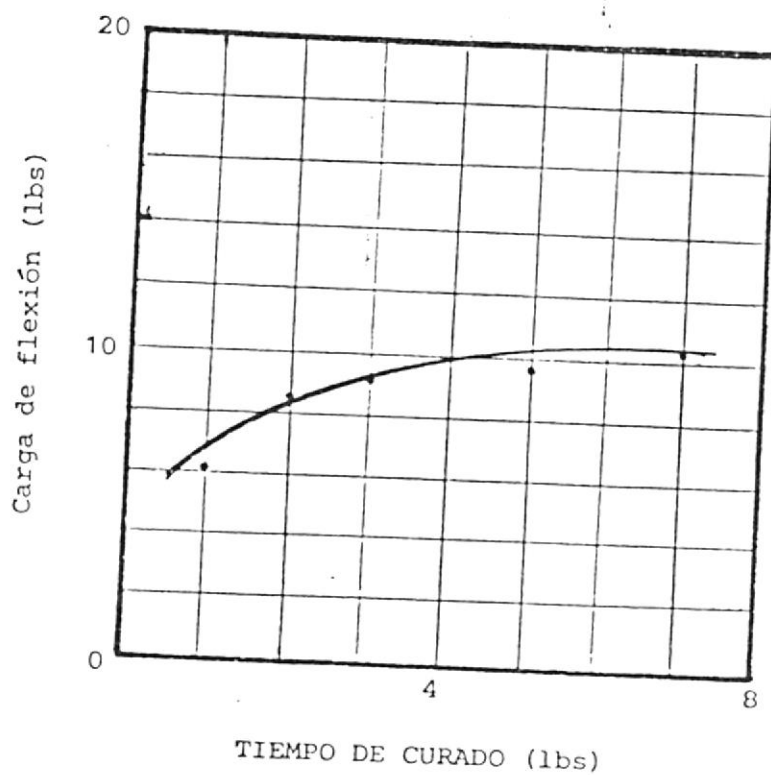
ARENA: Río Guayas

RESINA: 6%

TEMPERATURA DE CURADO: 300°C

TABLA 3.3.3.11

PROB. #	T _{cur} (min.)	CARGA (lbs)			
		1	2	3	Prom.
1	1	6.1	6.2	6.0	6.1
2	2	7.9	8.3	9.5	8.6
3	3	9.4	9.3	9.0	9.2
4	5	9.3	9.6	10.8	9.8
5	7	10.4	9.7	10.3	10.2

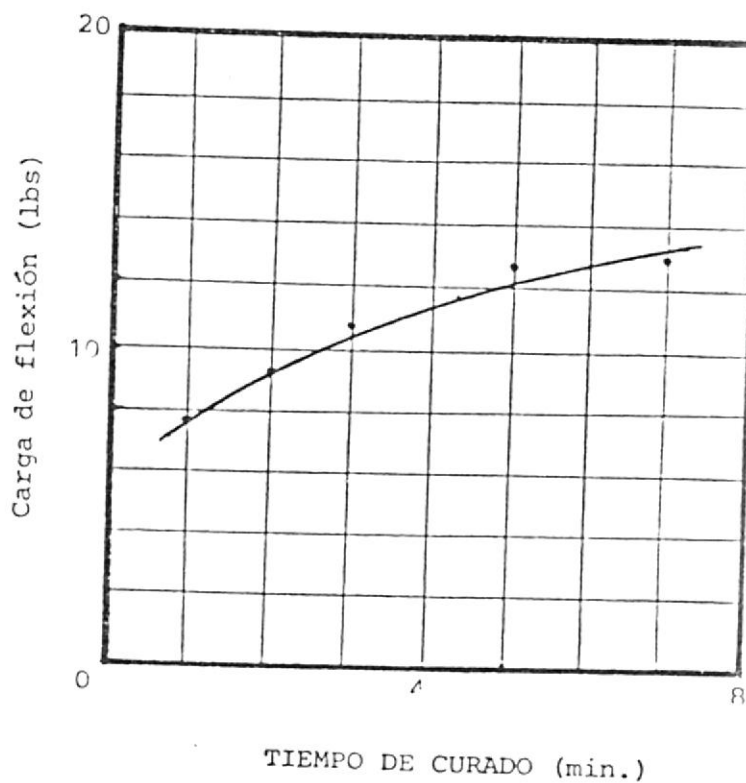


DATOS DEL ENSAYO:

ARENA: Río Guayas
 RESINA: 88
 TEMPERATURA DE CURADO: 300°C

TABLA 3.3.3.12

PROB. #	T _{cur} (min.)	CARGA (lbs)			
		1	2	3	Prom.
1	1	7.3	8.0	8.0	7.8
2	2	9.1	9.5	9.0	9.2
3	3	10.1	11.2	-	10.7
4	5	12.4	12.8	12.7	12.6
5	7	13.9	11.9	12.4	12.7



3.4. ENSAYOS DE CAMPO

Con el objeto de verificar las propiedades favorables que hemos obtenido mediante los ensayos de las arenas seleccionadas y de las pruebas de curado de las mezclas realizadas, se han programado ensayos de campo con los cuales se va a controlar el comportamiento de los moldes frente al aumento brusco de temperatura durante el colado, y a la capacidad para mantener su integridad durante la solidificación como medios para verificar resultados del proceso completo.

3.4.1. Colado

Para realizar las pruebas de colado, se procedió a pegar los moldes que se elaboraron según consta en la tabla 3.3.2.2.

Esta operación de pegado se realizó utilizando un pegamento plástico industrial (Casotack), el cual no dió los resultados esperados puesto que las cáscaras eran separadas fácilmente al momento de entrar el metal en el molde. Se había observado previamente que el pegamento era absorbido totalmente por el molde y no se producía buena adherencia entre las partes.

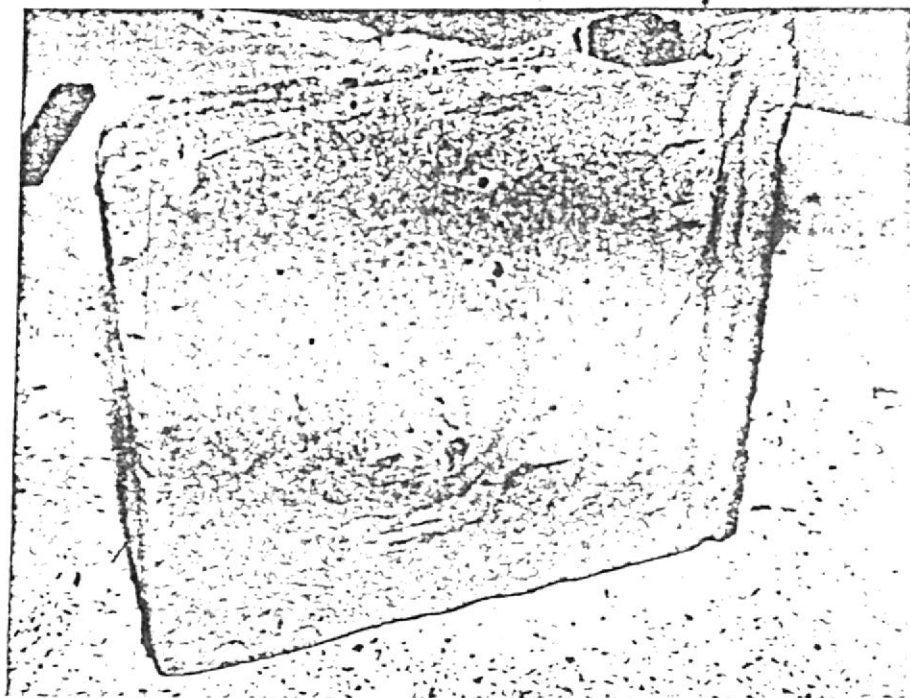
Para obviar este problema, se optó por rodear de tierra a los moldes antes de realizar el colado, lo cual tampoco es satisfactorio puesto que no se sabe si la cáscara resiste por sí sola o lo hace por la ayuda de la tierra a su alrededor.

Por éste motivo, se unieron las cáscaras por medio de prensas colocadas en las esquinas del molde. De ésta manera se pudo probar la resistencia de los moldes en su verdadera magnitud. Ver fotografías 3.4.1.1, 3.4.1.2 y 3.4.1.3.

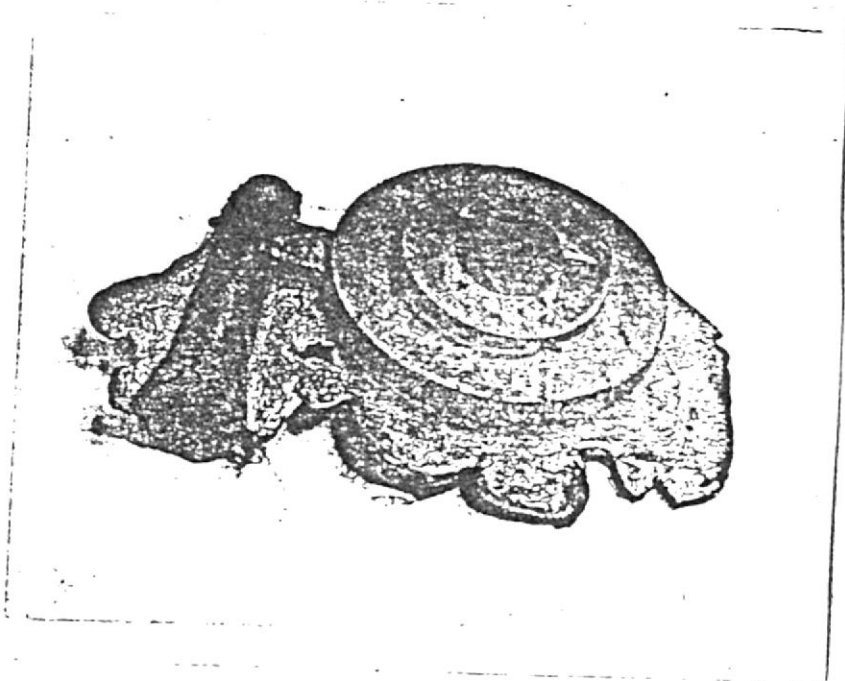
Cabe mencionar que la limpieza de las piezas colocadas resulta muy fácil con este proceso de moldeo puesto que la resina se quema paulatinamente durante las etapas de solidificación y enfriamiento, se vió que la arena se desprende por sí sola de la pieza aún caliente, lo cual incid en el ahorro de maquinaria y mano de obra para ésta operación que se presenta muy complicada para el caso de moldeo en verde, con arena natural.

Se vió que las piezas coladas en moldes de cáscara prácticamente no presentan problemas de limpieza (fotografía 3.4.1.4).

Es necesario indicar que en casi todas las piezas se ha notado un defecto superficial de rechupe en la zona superior, lo cual no se debe a un mal comportamiento del molde, sino a un ineficaz diseño del sistema de colado del modelo que no contiene mazarota o alimentador de metal caliente que supla la demanda de líquido mientras la pieza está contrayéndose por disminución de temperatura, en estado líquido y por solidificación. Ver fotografía 3.4.1.5.

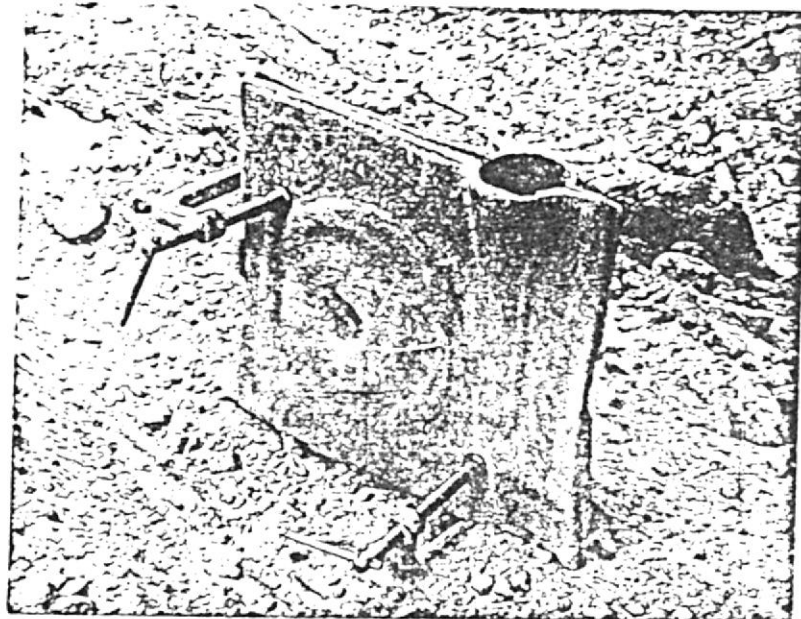


FOTOGRAFIA 3.4.1.1.- Molde pegado con Cascotack

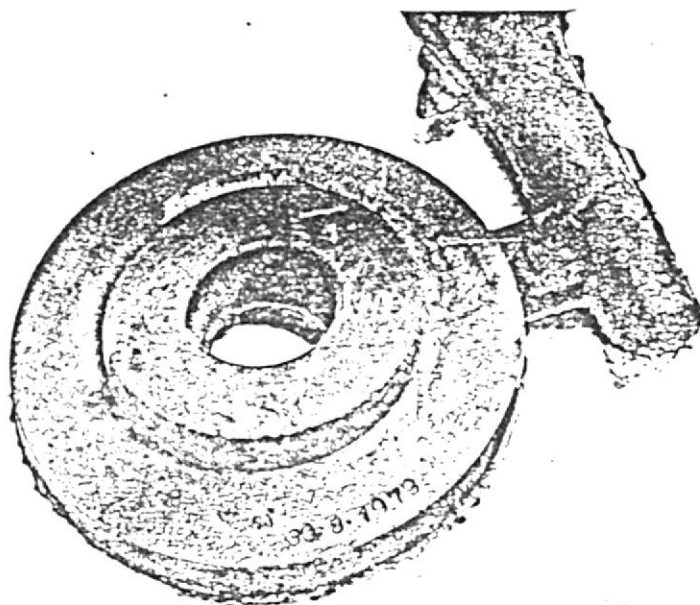


FOTOGRAFIA 3.4.1.2.- Pieza con excesiva rebabas
debida a la separación de
portes del molde en el co-
lado por deficiencias del
adhesivo.

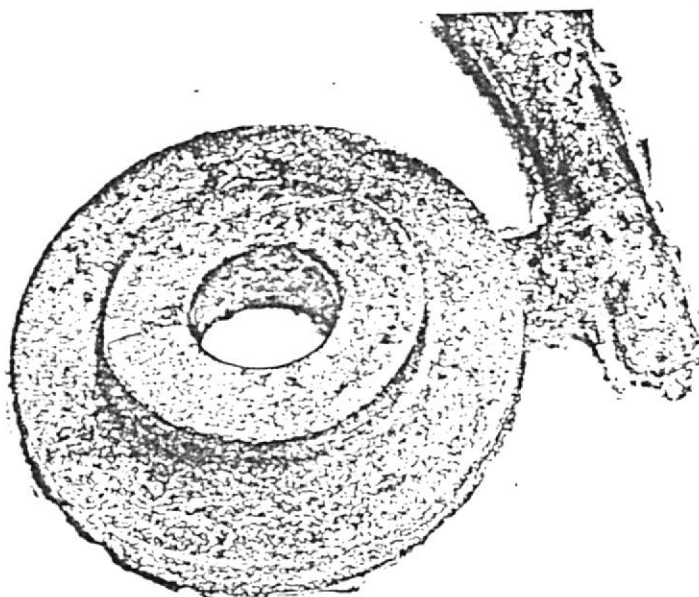




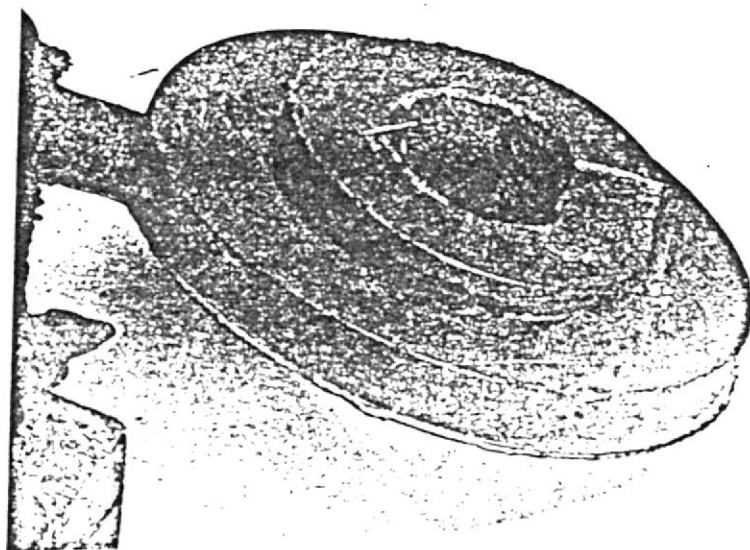
FOTOGRAFIA 3.4.1.3.- Molde armado con prensas para colarse.



FOTOGRAFIA 3.4.1.4. Pieza con mínimo de rebabas procedente de un molde armado con prensas.



FOTOGRAFIA 3.4.1.5.- Condición superficial de la pieza colada después de un desmoldeo por sacudidas moderadas en operación manual.



FOTOGRAFIA 3.4.1.6.- Detalle de rechupe externo en la parte superior de la pieza por deficiencias en el diseño del sistema de colado.

3.4.2. Control de acabado superficial

Luego de obtener de los moldes piezas coladas, se trata de observar mediante análisis microscópico, la configuración de la superficie de las mismas, como producto de la calidad granulométrica de la arena utilizada en la elaboración del molde.

Por estar el acabado superficial directamente relacionado con la granulometría de la arena utilizada, se van a analizar al microscopio las superficies resultantes de moldes elaborados con arena de Yantzaza y del Río Guayas.

Las fotografías 3.4.2.1 y 3.4.2.2 muestran los resultados de tal análisis microscópico. La primera muestra el detalle de la superficie de la pieza colada en un molde elaborado con arena de Yantzaza, y la segunda, para un molde de arena del Río Guayas.

La dimensión mayor de la fotografía corresponde a la observación de 1 mm. de la probeta preparada metalográficamente para su análisis, de manera que se puede realizar un cálculo gráfico que indique las medidas de las rugosidades máximas. Para el caso de la arena de Yantzaza, se tiene un valor de 0.04 mm. y para la arena del Río Guayas es de 0.1 mm.



3% NITAL

100X

FIGURA 3.4.2.1.- Detalle superficial y microestructura de la pieza colada en arena de Yantzaza.



3% NITAL

100X

FIGURA 3.4.2.2.- Detalle superficial y microestructura de la pieza colada en arena del Río Guayas

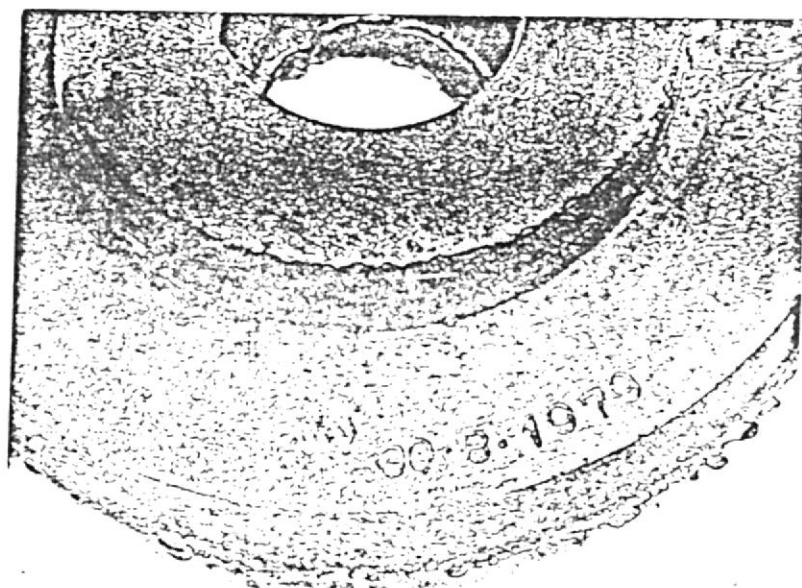
3.4.3. Tolerancias dimensionales

Para el control de precisión de copiado del proceso, se van a presentar los resultados referentes a la reproducción de la impresión en alto relieve en el modelo de tipos de pequeñas dimensiones, con lo cual se probará la efectividad de las arenas utilizadas para el efecto.

En las fotografías 3.4.3.1 y 3.4.3.2 se puede apreciar la diferencia de precisión de copiado logrado con la arena de Yantzaza y con la arena del río Guayas, respectivamente.

Los tipos marcados en el modelo tienen 5 milímetros de altura y el ancho de los trazos es de 0.8 mms.

Puede observarse en las fotografías 3.4.3.1, 3.4.3.2 que la reproducción en moldes de arena de Yantzaza es superior a la lograda con la arena del Río Guayas.



FOTOGRAFIA 3.4.3.1.- Detalle de copiado para arena de Yantzaza; los números poseen espesores de 0.8 mm.

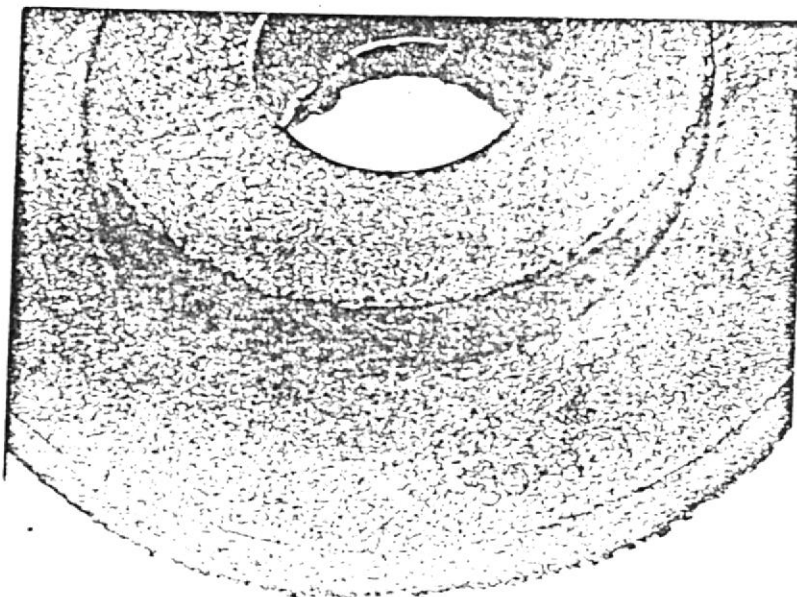


FIGURA 3.4.3.2.- Detalle de copiado para la Arena del Río Guayas.



BIBLIOTECA

CAPITULO 4

DISCUSION DE RESULTADOS

La literatura técnica especializada consultada para el presente trabajo, indica muy claramente que para poder usar una arena en el proceso de moldeo en cáscara debe cumplir ciertos requisitos que tienen relación con los siguientes parámetros:

- forma, tamaño y distribución de granos
- composición química
- condiciones de refractario

Se han ensayado arenas de diferente situación geográfica, origen y pureza, específicamente las arenas procesadas de los yacimientos ubicados en las provincias de Zamora Chinchipe (arena Yantzaza), provincia del Guayas (arena del Río) por limitaciones obvias, no ha sido posible investigar arenas de yacimientos de mayor impor-

tancia, se escogieron las arenas previamente citadas por la facilidad de obtenerlas localmente. Especialmente se hizo interesante estudiar la arena del Río Guayas por su cerca y disponibilidades de uso a los sitios de trabajo. Es de hacer notar que la arena San Carlos no fue sujeta de estudio precisamente por las dificultades de su obtención y por no conocer hasta el momento la capacidad del yacimiento.

Los resultados obtenidos a través de ensayos granulométricos de las arenas Yantzaza, Río Guayas y San José permiten conocer que poseen una distribución granulométrica que se ajusta con lo que establece la AFS (Sociedad Am. de Furdidores) como condición granulométrica para una arena, que esta se retenga más de 80% del peso total en 3 mallas convencionales.

Por otro lado, después de realizar un análisis microscópico de los granos, se identifica a los mismos con el tipo subangular, característica especial que también la AFS recomienda para que sea aceptable como material adecuado para la mayoría de los procesos de moldeo, incluyendo el que aquí se investiga.

En cuanto a la refractariedad, es decir la condición que impone a la arena una inalterabilidad frente a las severas condiciones de colado tales como erosión, ataque químico

co y cambios-bruscos de temperatura, no fue posible encontrar resultados que indiquen esta propiedad exigida en el proceso de fundición en general, a través de una experiencia de laboratorio por el proponente, pero conociendo la naturaleza química manifestada por los fabricantes de vidrio a las arenas de Yantzaza y Río Guayas, respectivamente, en cuanto a contenido de sílice, se pudo tener una referencia (99.25% para Yantzaza y 66.13% para Río Guayas) lo cual es una garantía para el primer caso y una expectativa para el segundo, de su comportamiento frente al colado de hierro gris a temperaturas que fluctúan entre 1300° y 1400°C.

Haciendo un avance en la discusión de los resultados pertinentes a esta parte, claramente se puede apreciar a través de las fotografías 3431. y 3432., que no hay fusión de los granos de arena ya que las piezas fundidas no presentan adherencias de ésta naturaleza, aunque se nota en las mismas fotografías que el acabado superficial es mejor en el molde hecho de arena Yantzaza que el de arena Río Guayas.

Otra condición que ya específicamente se exige a las arenas que se utilicen en esta técnica, el grado de fineza AFS. Los resultados indican a través de las tablas 3.2.2.2 y 3.2.2.4 que la arena Yantzaza es más adecuada que la arena Río Guayas. Su índice de fineza es 81, valor que está dentro de los límites marcados para la selección de arenas a usarse.

La arena Río Guayas con número de fineza AFS 60 se sale de los límites pero esta condición no denigra grandemente la superficie de la pieza aunque las microfotografías 3.4.2.1 y 3.4.2.2. manifiestan un grado de rugosidad superficial muy diferenciado (0.04 mm. para Yantzaza y 0.1 para Río Guayas) ambos están enmarcados en límites que se pueden considerar de alta precisión.

Habiendo pasado las pruebas de selección (arena Yantzaza completamente y de la arena Río Guayas parcialmente) se sometieron estas arenas a pruebas dinámicas de elaboración de moldes con mezclas en principio establecidas a través de años de experiencia en países que vienen utilizando el proceso desde su implementación industrial en los años 40.

Cabe indicar en esta parte que de la resina utilizada de procedencia Colombiana, la cual usa tecnología Borden, no se ha tenido referencia en nuestro medio sobre su calidad. Hay que agregar también que, previo a una medida de resina sobre el peso total de la arena para hacer una mezcla susceptible de curarse y adquirir una resistencia adecuada, debió efectuarse un ensayo de la demanda de resina para cada una de las arenas dependiendo este factor de la granulometría de las mismas. Este ensayo no fue factible hacerlo por cuanto no existe en el laboratorio de Fun

dición, un aparato que mida la superficie específica de los granos, dato que podría relacionar con la cantidad de resina que necesitaría cada arena en particular.

Por esta causa hubo necesidad de hacer ensayos de laboratorio para conocer la cantidad o porcentaje de aglutinante que en cada caso brinda o proporcione condiciones de resistencia usados a las tolerancias que se indican para las fundiciones de diferente naturaleza y, para el caso específico fundiciones de hierro.

Los resultados de estas pruebas, dados en las tablas y gráficos 3.3.3.3 3.3.3.5. y 3.3.3.8 revelan que la carga de flexión aumenta conforme aumenta el contenido de resina para temperaturas y tiempo de curado iguales. No ha sido posible encontrar en la información datos que relacionen resistencia proporcionadas por las mezclas con respecto al material a colarse, pero la apreciación de los resultados de las mezclas posteriores al curado fue de que las mezclas de 4%, cuyo valor máximo de resistencia reportado en la tabla 3.3.3.3 de 8 libras para un tiempo de curado de 7 min. manifestó una condición de ser la cáscara susceptible de romperse. Esto derivó en una decisión: usar cáscaras que sean capaces de soportar manipuleo y transporte, tales como las de contenido de resina de 6%, 3 min. de curado y 300°C de temperatura, y 8% de resina, 2 min. de curado y 250°C de temperatura que poseían cargas de flexión de

que la decisión final de selección de parámetros para el proceso usando arenas de Yantzaza y Río Guayas, depende en gran medida de la habilidad del manejo y conocimiento de los parámetros involucrados en el proceso final. En este caso se decidió por ensayar las siguientes mezclas y parámetros de curado:

% Resina	T _{curado} (°C)	t _{curado} (min.)
6	300	3
8	250	2

Los resultados del proceso de colado fueron satisfactorios para todos los casos en relación con resistencia a la abrazión, indeformabilidad y característica superficial.

No se reportaron fisuras de moldes durante el vaseado como tampoco desprendimiento de granos. Parcialmente se observó fusión de los granos de la arena del Río Guayas. Si se notó deficiencia en las uniones de las partes de los moldes hechas con pegamento Borde Cascotack tal como se demuestra en la fotografía 3.4.1.2 en la que se observa una capa gruesa de rebaba unida a la pieza por causa de separación del molde en el que se usó el pegamento mencionado.

En cuanto a precisión de acabado, ha sido sorprendente veri-

12 lbs. o sea 4 lbs. más que la proporcionada por la mezcla citada en primer lugar.

Un estudio más acucioso de los gráficos que relacionan tiempo de curado, carga de flexión para diferentes temperaturas de curado y diferentes porcentajes de resina, puede sugerirle al productor una decisión económica, ya que con menores porcentajes de resina y con tiempos de curado más prolongados se pueden conseguir los mismos resultados de cargas de flexión que para otra mezcla que tenga mayor porcentaje de resina pero que use menor tiempo de curado.

En base a los resultados anteriores, fue que se decidió usar un porcentaje fino de resina para estudiar la variación que sobre el espesor de la cáscara tiene influencia en tiempo de curado. Los resultados que se encuentran ubicados en los gráficos 3.3.2.1. al 3.3.2.8. indican que aumentando la temperatura de curado se pueden lograr espesores de cáscara que van desde 3 mm. para 40 seg. de tiempo de curado a 150°C hasta 8.5 mm. para el mismo tiempo a una temperatura de 350°C.

Esto podría sugerir otra decisión: usar temperaturas de curado elevado con las cuales se obtiene el mismo espesor de cáscara con temperaturas menores, pero con tiempos de curado mayores.

Los resultados analizados anteriormente, indican ampliamente



BIBLIOTECA

ficar las bondades que ofrece el proceso de moldeo en cáscara, lo cual se identifica plenamente en las fotografías 3.4.4.1 y 3.4.3.2. en las ~~que se aprecia~~ nítidamente la grabación de la fecha en que se colaron los últimos moldes, marcación que se realizó con marquillas convencionales, que como es conocido, los números estampados tienen dimensiones - muy pequeñas.

Otra cosa interesante de reportar es la facilidad de desmoldeo que se tuvo, observándose que pasados dos minutos después del vaciado los granos de arena comenzaban a desprenderse por si solos del molde.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la discusión anterior se puede concluir que:

El proceso de moldeo en la cáscara es susceptible de aplicarlo a las arenas ensayadas con excelentes resultados para la arena Yantzaza y con resultados satisfactorios para la arena Río Guayas.

Esta aseveración se hace en base a que ambas arenas han cumplido, a través de los ensayos efectuados en ellas, las exigencias de un proceso tan especializado y productivo como lo es el proceso shell.

Cabe pues ahora recomendar su utilización en los casos en que se requiere elaborar piezas de un proceso de fundición cuando se quiere adquirir las siguientes ventajas:

- a. Alta capacidad de producción de moldes.
- b. Excelente acabado superficial.
- c. Excelente precisión en copiado de detalles complicados.
- d. Alto rendimiento de piezas sanas.
- e. Ahorro de mano de obra en desmoldeo, limpieza y acabado.

CAPITULO 6

TABLAS, DIAGRAMAS Y ANEXOS

Nº	NUMERO DE FINEZA AFS	ANALISIS GRANULOMETRICO							FONDO	FORMA DE GRANO	% DE SILICE
		40	50	70	100	140	200	270			
1	113	0.02	0.04	1.56	23.80	33.82	33.20	4.08	2.82	Subanbular	96.0
2	177	0.02	0.04	0.06	0.88	19.42	41.80	13.34	24.42		
3	141	...	0.06	3.00	15.40	26.80	29.60	13.40	11.20	Subangular	97.0
4	168	0.20	0.40	1.60	7.80	19.20	31.00	19.60	20.00		
5	87	...	0.70	8.80	43.1	35.30	10.60	0.90	0.60	Subangular	99.0
6	124	...	...	0.30	15.3	41.60	31.60	7.80	3.40		
7	123	...	1.20	2.72	15.48	29.80	28.00	11.80	8.42	Subangular	98.0
8	143	...	...	11.50	12.30	26.30	27.30	3.80	18.80		
9	83	...	0.72	13.88	50.80	23.80	9.44	1.92	0.44	Subangular	93.0
0	141	0.1	0.20	1.05	10.00	36.20	25.00	16.95	8.25		
1	83	...	....	21.00	45.00	23.00	7.00	4.00	...	Reonda	98.0
2	108	...	....	0.04	28.20	44.80	9.44	1.92	0.44		
3	124	...	....	...	0.20	8.40	50.20	28.20	8.80		
4	137	...	....	0.08	2.81	43.19	34.91	12.69	5.55		
5	78	0.28	3.74	26.30	39.04	23.08	5.09	1.85	0.62	Subangular	99.5
6	91	0.20	1.00	6.20	35.20	43.80	7.80	1.00	1.20		
7	109	...	...	0.04	28.70	45.20	18.80	5.00	0.34	Subangular	97.0
8	125	...	...	...	0.20	8.40	50.20	28.20	8.80		
9	106	...	1.10	5.70	24.30	48.80	13.60	3.20	2.80	Subangular	96.5
0	124	...	...	...	0.20	8.40	50.70	28.20	6.70		
1	87	...	0.72	13.8	48.70	24.70	9.40	4.20	1.70	Subangular	98.0
2	105	0.20	2.15	10.6	27.00	34.85	15.50	5.30	4.50		

Tomado del Shell Molding Foundry Practice, 1.973.

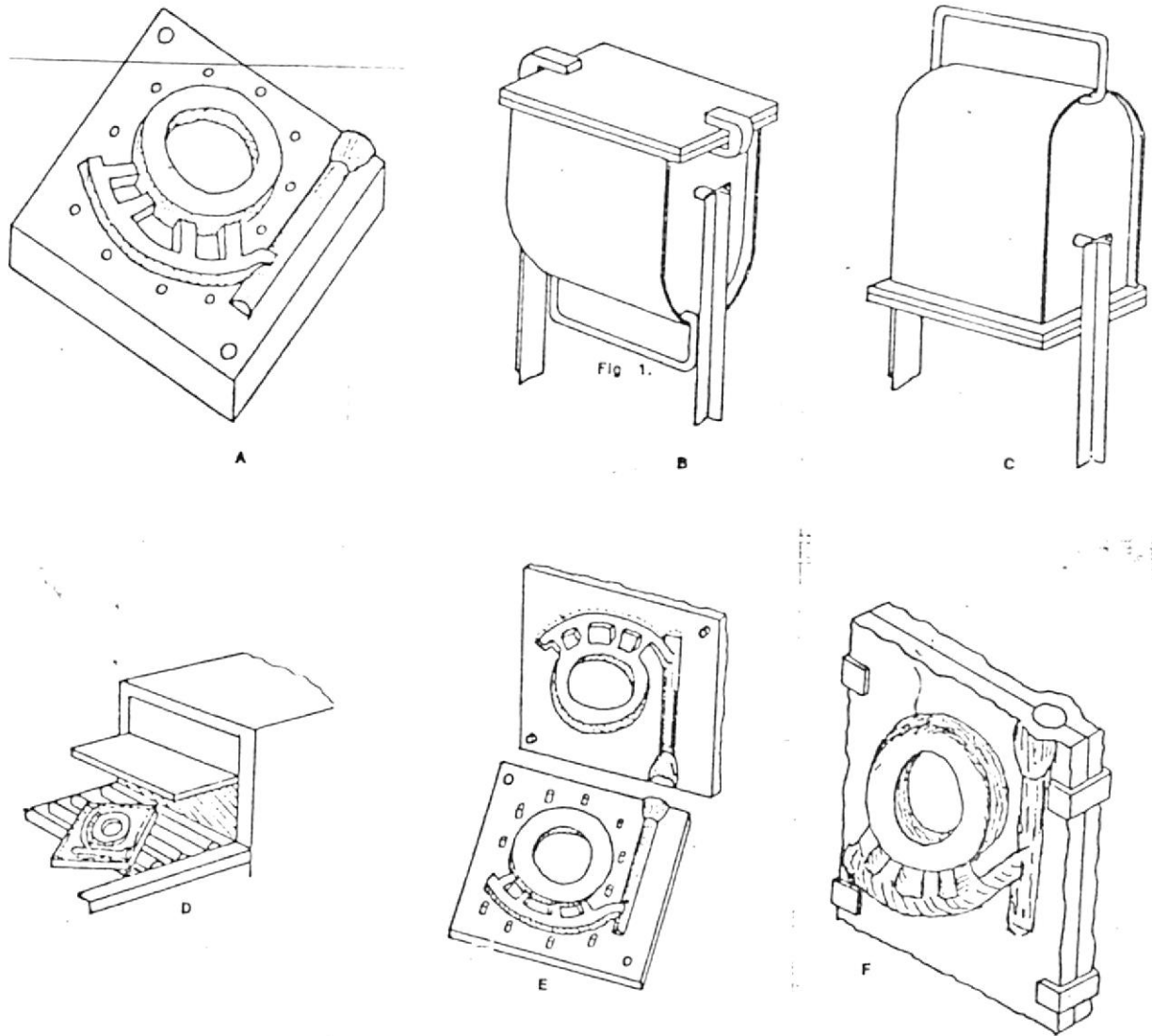


FIGURA 6.1.- Descripción gráfica del proceso de moldeo de cáscara.

BIBLIOGRAFIA

1. TECNOLOGIA DE LA FUNDICION. Edoardo Capello. Segunda Edición. Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona, España.
2. MODERN FOUNDRY PRACTICE. E. D. Howard. Third Edition. Philosophical Library, New York, U.S.A.
3. SHELL PROCESS FOUNDRY PRACTICE. American Foundrymen's Society. 2nd edition, 1st revision, 1973. Des Plaines, Illinois, U.S.A.
4. METALS HANDBOOK. American Society for Metals. Volume 5, Forging & Casting, 8th edition Metals Park, Ohio, U.S.A.
5. PREPARACION DE ARENAS DE MOLDEO. Harry W. Dietert.
6. AREIAS DE FUNDICAO E MATERIAIS DE MOLDAGEM. Carlos Dias Brosch y Victor Lo Ré. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Boletín N° 54. Julho, 1965. Sao Paulo, Brasil.
7. PROCESOS UTILIZADOS EN LA ELABORACION DE CORAZONES. Juan Aguilar. Curso Panamericano de Metalurgia. México, 1975.
8. CONGRESO NACIONAL DE FUNDIDORES. Varios Autores. Sociedad Mexicana de Fundidores. México, 1974.
9. SHELL MOULDING, A REVIEW B.J. TEMPLAR. Foundry Trade - Journal, June 8, 1978, Vol. 144, N° 3139 Fuel and Metallurgical Journals, London, England.

10. ARENAS DE MOLDEO. Transferencia de Tecnología. Centro de Desarrollo (CENDES). Proyecto CENDES-ONUUDI.

11. PROYECTO DE FUNDICION PARA LA EMPRESA 1410/10-1 - 1/0014. Grupo de Trabajo 731000. Centro de Desarrollo Industrial del Ecuador. División de Asistencia Técnica. Proyecto CENDES-ONUUDI. Quito, Ecuador, Junio de 1976.
12. ENSAYOS DE ARENAS. American Foundrymen's Society.
13. LIBRO DEL JOVEN FUNDIDOR. Dimitrovich. Editorial Belorusia. Minsk, U.R.S.S. 1976.