

41  
621.64  
C.149  
C.3

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA



\*D-6724\*

UTILIZACION DEL PROCESO SILICATO CO<sub>2</sub>  
EN LA PRODUCCION NACIONAL DE BOMBAS CENTRIFUGAS

TESIS DE GRADO  
previo a la obtención del título de  
INGENIERO MECANICO

presentada por

RICARDO CALERO CORNEJO

Guayaquil-Ecuador

1982



## A G R A D E C I M I E N T O

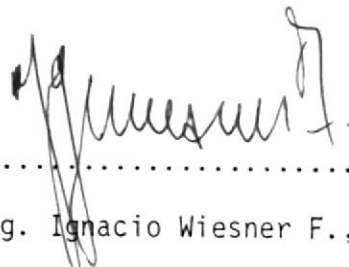
Al Ing. IGNACIO WIESNER FALCONI,  
DIRECTOR DE TESIS, por su invaluable ayuda para la realización de este trabajo.

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MI ESPOSA

A MIS HIJAS

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ignacio Wiesner F.', is written above a horizontal dotted line. The signature is somewhat stylized and cursive.

Ing. Ignacio Wiesner F.,  
DIRECTOR DE TESIS

## DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral"

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



.....  
RICARDO CALERO CORNEJO

INDICE GENERAL

	<u>Pág.</u>
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
INDICE DE FIGURAS.....	IV
INDICE DE TABLAS.....	V
<u>CAP. N°</u>	
I INTRODUCCION.....	1
II PROCESO ACTUAL.....	3
2.1 Producción Nacional de Bombas Centrífugas.....	3
2.2 Procesos de Fundición aptos para producción de bombas centrífugas.....	8
2.3 Selección del Proceso.....	25
III PROCESO DE SILICATO CO <sub>2</sub> .....	27
3.1 Generalidades.....	27
3.2 Materias primas usadas en el proceso.....	29
3.3. Variables que influyen en el proceso de gaseado y pruebas de control.....	33
3.4 Producción de Moldes y Corazones.....	38
3.5 Aspectos Metalúrgicos del Proceso.....	52
3.6 Aditivos.....	65

<u>CAP. N°</u>		<u>Pág</u>
IV	TRABAJO EXPERIMENTAL.....	73
	4.1 Técnica Experimental.....	73
	4.2 Control de Materias Primas.....	75
	4.2.1 Arenas.....	75
	4.2.2 Silicato de Sodio.....	76
	4.3 Ensayo de Control de Mezclas.....	81
	4.3.1 Compresión.....	82
	4.3.2 Permeabilidad.....	88
	4.3.3 Contenido de Agua.....	89
	4.3.4 Vida de Banco.....	92
	4.3.5 Dureza.....	95
	4.4 Resultados de Laboratorio.....	106
	4.5 Pruebas de Planta.....	107
	4.6 Control de Características Metalúrgicas.....	110
	4.6.1 Acabado Superficial.....	110
	4.6.2 Tolerancias Dimensionales.....	111
	4.6.3 Defectos.....	111
V	DISCUSION DE RESULTADOS.....	120
VI	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	126
	BIBLIOGRAFIA.....	128



INDICE DE FIGURAS

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
1	Modelos de Aluminio de una Bomba Centrífuga RACE.....	9
2	Modelo de Aluminio del Corazón de una Bomba Centrífuga de la Fábrica RACE.....	9
3	Tapa del Molde de una Bomba Centrífuga de la Fábrica RACE.....	10
4	Fondo del Molde de una Bomba Centrífuga de la Fábrica RACE....	11
5	Bomba Centrífuga limpia y maquinada de la Fábrica RACE.....	12
8	Arena Chelford 60.....	39
9	Arena Erith.....	39
10	Incremento de la Resistencia a la Compresión al aumentar el tiempo de gaseado.....	40
11	Influencia del tiempo de gaseado sobre el paso de arena en- durecida.....	40
12	Insignificante efecto de la variación del flujo de CO <sub>2</sub> sobre la resistencia de la compresión.....	41
13	Influencia de la densidad sobre la resistencia a la compre- sión, después del gaseado.....	51
14	Incremento de la precisión dimensional usando el proceso de Silicato CO <sub>2</sub> para el moldeo.....	55
15	Reducción del peso de las piezas fundidas usando el proceso de moldeo de Silicato-CO <sub>2</sub> .....	56

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
16	Moldeo con Arena en Verde.....	57
17	Mejoramiento de calidad de las secciones de piezas fundidas de hierro gris con el uso del proceso de moldeo de Silicato- CO <sub>2</sub> .....	57
18	Pieza de hierro gris que representa el defecto conocido como VETA.....	61
19	Defecto de costra en un volante fundido.....	62
20	Defectos de poros en la superficie.....	63
21	Penetración de hierro en el Molde de Arena.....	64
22	Arena quemada en la superficie de hierro.....	64
23	Equipo de Gaseado.....	84
24	Pistola usada para gasear.....	85
25	Efecto del Flujo de Gas (CO <sub>2</sub> ) sobre la resistencia a la compresión.....	97
26	Efecto del Flujo de gas (CO <sub>2</sub> ) sobre la resistencia a la compresión.....	98
27	Efecto del porcentaje de silicato sobre la resistencia a la compresión.....	99
28	Efecto del porcentaje de silicato sobre la resistencia a la compresión.....	100
29	Efecto del tiempo de gaseado sobre la resistencia a la compresión para distintos porcentajes de silicato de sodio...	101
30	Efecto del tiempo de gaseado sobre la resistencia a la compresión para distintos porcentajes de silicato de sodio.....	102

<u>Nº</u>	<u>Pág.</u>
31	Efecto del porcentaje de silicato de sodio sobre la permeabilidad.....103
32	Vida de Banco.....104
33	Dureza de las Probetas ya Gaseadas.....105
34	Cenicero fundido en aluminio.....113
35	Detalles del copiado del cenicero de aluminio.....113
36	Moldes hecho con Arena-Silicato de Sodio, como cara.....114
37	Fondo de un molde de Bomba centrífuga.....114
38	Corazón de una Bomba Centrífuga.....115
39	Corazón ensamblado en el fondo del molde.....115
40	Bomba Centrífuga fundida en Hierro Gris.....116
41	Bomba fundida en Hierro Gris.....116
42	Campana de descarga de la Bomba de Alimentación del Agua de Refrigeración fundida en Hierro Gris.....117
43	Caja moldeada con el proceso de Silicato de Sodio-CO <sub>2</sub> .....117
44	Vista superior de la pieza fundida.....118
45	Corazón que forma los canales y álabes, al mismo tiempo.....118
46	Corazón que forma la parte central de la campana.....119

INDICE DE TABLAS

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
1	Propiedades del Silicato de Sodio.....	34
2	Efectos del Flujo y Velocidad del CO <sub>2</sub> sobre la Resistencia de Mezclas con Arenas Erith Gaseadas.....	42
3	Influencia del Flujo de CO <sub>2</sub> sobre la Resistencia a la Compresión y la Resistencia después de 24 horas de mezclas de Arena Erith.....	43
4	Resistencia de Probetas Gaseadas a una Presión de 5-30 lb/pulg <sup>2</sup> con 4% de Silicato de Sodio con Módulo 2:1.....	44
5	Resistencia a la Compresión (Lb/pulg <sup>2</sup> ) de Arena Erith con 4% de Silicato de Sodio con un Módulo de 2:1, 4,5°Be, Gaseada con un Flujo de 2.5 L/min, con adición de arcilla hasta 3%...69	69
6	Propiedades del Carbón en Polvo.....	70
7	Resistencia a la Compresión de Arena Erith con 4% de Silicato de Sodio con Módulo de 2:1, 4,5°Be, con adición de carbón en polvo hasta 4%, flujo de CO <sub>2</sub> 2.5 L/min.....	71
8	Efecto de la Brea como Aditivo.....	72

## C A P I T U L O I

### I N T R O D U C C I O N

De acuerdo al análisis de mercado existe una gran demanda de bombas centrífugas, lo que significa un rubro considerable de importaciones ya que la producción nacional de este tipo de bombas es muy pequeña.

Si a esto se suma la situación climática por la que atraviesa actualmente nuestro país, que hará aumentar más aún la demanda, ya que la solución más rápida para el agricultor es bombear el agua para riego.

Estos y otros factores hacen imperiosa la necesidad de producir este tipo de bombas en cantidad y calidad adecuadas, con lo cual se evitará la fuga de divisas y a la vez se satisfará una necesidad nacional.

Para poder llegar a la consecución de este objetivo es necesario la implementación de un proceso de moldeado adecuado.

Se procederá en primer lugar a hacer un estudio del proceso actual de producción y de otros procesos de moldeado para poder seleccionar

el que satisfaga en mejor forma los requerimientos del proceso de producción.

A continuación se profundizará en el estudio del proceso seleccionado para luego poder realizar la transferencia de tecnología, la cual se logra por medio de experimentación con materias primas nacionales o existentes en nuestro medio.

Los resultados de la parte experimental se confirman con las pruebas de planta, que consisten en producir una bomba centrífuga.

Con este trabajo lo que se plantea es una solución a muy corto plazo para aumentar la producción de bombas centrífugas de una fábrica local, mejorando al mismo tiempo su calidad.

## C A P I T U L O   I I

### 2.1 PRODUCCION NACIONAL DE BOMBAS CENTRIFUGAS

Es conocido, que a pesar de la existencia en nuestro medio de ciertas materias primas de buena calidad y de algunos profesionales especializados, sin embargo, la producción de piezas fundidas de calidad, no es posible todavía. Esto se debe básicamente a la falta de difusión de técnicas e iniciativas apropiadas.

Siendo las bombas centrífugas fabricadas exclusivamente por fundición, se encuentran enmarcadas en este problema, lo cual hace necesario:

- el estudio de un proceso de fundición adecuado para la producción de bombas centrífugas, y
- un estudio de mercado que justifique la necesidad de implementar dicho proceso en nuestro medio.

En primera instancia se hará una investigación de las importaciones, la cual tiene como objeto analizar la proyección de la demanda y también se observará la oferta de dicho producto en el medio.

Las bombas centrífugas son de varios diámetros y diferentes usos, desde el servicio doméstico hasta bombas de riego en agricultura.

Demanda:

El posible volumen de venta de bombas se lo puede estimar en base a las estadísticas de importaciones; un resumen de las estadísticas se presentan en el cuadro a continuación:

ESTADISTICAS DE IMPORTACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS

<u>AÑO</u>	<u>KILOS NETOS</u>
1974	170.886
1975	580.624
1976	422.386
1977	752.800
1978	1'020.437
1979	1'269.429
1980	1'460.100

FUENTES: Anuario de Comercio Exterior  
 CENDES, Mercado Sub-Regional de Bombas Centrífugas  
 Banco Central del Ecuador. Sección Importaciones

Como un dato se debe anotar que la Junta Nacional de la Vivienda ha utilizado en el año 1980 la cantidad de 10.000 bombas centrífugas en las casas construidas por su programa.

Oferta:

Existe en el momento una empresa nacional (Guayaquil) dedicada a

La producción de bombas de hasta 2" y su capacidad es de aproximadamente 15.000 Kg/Año en aleaciones de cobre y talleres artesanales que producen ocasionalmente sobre pedido y que se puede estimar en unos 5.000 Kg/Año.

De acuerdo con los datos obtenidos se deriva que es necesario implementar una planta o incrementar la capacidad de la que ya está en funcionamiento para que cubra parte de las importaciones, que como se ha hecho notar, es un rubro muy importante en el mercado del País.

Conociendo estas circunstancias del mercado de bombas nos inclinamos por sugerir en este trabajo la implementación de un proceso de moldeo que mejore la capacidad de producción de la planta instalada en Guayaquil.

#### ANALISIS DE LA PLANTA

Existe únicamente una fábrica que se dedica exclusivamente a la producción de bombas centrífugas. Esta fábrica se denomina RACE y está ubicada en Guayaquil.

El proceso de moldeo utilizado posee técnica que se podría ubicar con las características del moldeo en seco, el cual consiste en mezclar arena con bentonita y agua, y luego del moldeo desecar.

Una vez preparada la mezcla se moldea a mano en cajas metálicas, utilizando modelos hechos de aluminio (Fig. 1 y 2).

Los moldes son secados durante uno o dos días a la intemperie, pa-

ra mejorar el secado se hacen agujeros finos a través del molde y cuando se va a fundir se colocan los moldes cerca del horno para que éste aumente la velocidad del secado. (Fig. 3 y 4).

La arena utilizada es del Río Babahoyo o Guayas, la cual se la tamiza pasándola por una malla aproximadamente 10 o 20, no se efectúa ningún otro tipo de control de la arena.

Como aglutinante se utiliza Bentonita, y para ayudar al desmoldeo se añade carbón vegetal pulverizado.

La mezcla típica es:

<u>MATERIAL</u>	<u>%</u>
Arena de río	100
Bentonita	5-10 sobre el peso de la arena
Carbón Vegetal	1-2 sobre el peso de la arena
Agua	según la apreciación o experiencia del moldeador.

Los corazones son hechos con arena de río y silicato de sodio en un 15-20% sobre el peso de la arena y se la deja endurecer al aire libre, en ocasiones especiales se las gasea con CO<sub>2</sub>.

La materia prima para fundir es chatarra de bronce especialmente de accesorios de barcos como válvulas, acoples, etc.

Cuando el bronce está fundido se le añade:

<u>MATERIAL</u>	<u>%</u>
Estaño	3
Zinc	2
Aluminio	2

Una vez preparada esta aleación se agrega carbón y vidrio, lo cual forma una nata en la superficie del metal fundido, la nata formada sirve para proteger el metal fundido de los gases nocivos para la fundición existente en el medio ambiente, especialmente el oxígeno. Una vez que el metal está listo para ser colado se saca al crisol del horno con tijerales. Los moldes son colados uno por uno teniendo cuidado de no dañar los moldes en este momento.

Cuando el metal se ha solidificado y enfriado se procede al desmoldeo, éste se efectúa a mano.

Ya desmoldeadas las piezas se procede a su limpieza utilizando un chorro de agua a presión (150 lb/pulg<sup>2</sup>), y se efectúa un control de calidad por medio visual.

Valiéndose de un disco de cortar se procede a eliminar las rebabas, alimentadores, sistemas de colado, etc.

El último paso consiste en maquinar las piezas en un torno para darles el acabado dimensional final.

Las piezas son luego ensambladas, pintadas y embodegadas. Una pieza terminada se muestra en la Fig. 5.

### Capacidad de Producción:

La Fábrica RACE produce un promedio de 50 bombas al mes con un peso aproximado de 25 Kg. por bomba, incluyendo bebedero, sistema de colado, etc., lo que da un total de 1.250 Kg mensuales.

La razón de esta escasa producción de bombas se debe especialmente al proceso de moldeo, ya que la obtención de un molde listo para ser colado demora en el mejor de los casos más de 24 horas.

La capacidad de producción en función del metal fundido de esta fábrica es buena ya que puede llegar a fundir 500 Kg diarios, en un turno de 8 horas, es decir, que podría llegar a producir 20 bombas diarias con la sola implementación de un proceso de moldeo adecuado.

En cuanto a la mano de obra con que cuenta esta fábrica se concluye que es la adecuada y suficiente para alcanzar la producción ya señalada, ya que cuenta con:

- 1 Jefe de Planta
- 1 Hornero
- 2 Moldeadores
- 2 Torneros
- 1 Soldador

## 2.2 PROCESOS DE FUNDICION APTOS PARA LA PRODUCCION DE BOMBAS CENTRIFUGAS

De los procesos de fundición existentes, se pueden implementar en

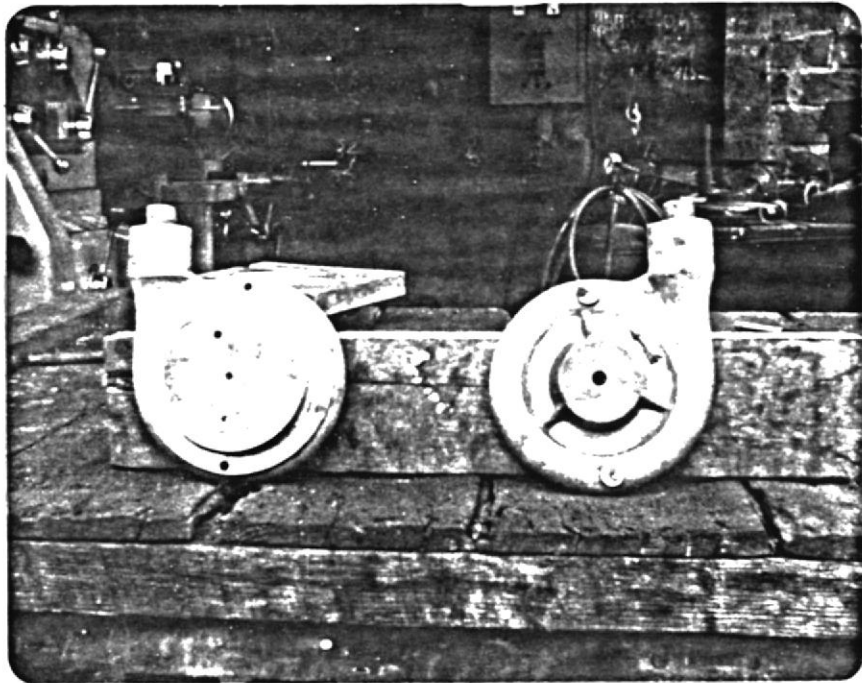


FIGURA N° 1.- Modelos de Aluminio de una Bomba Centrífuga de la Fábrica RACE.

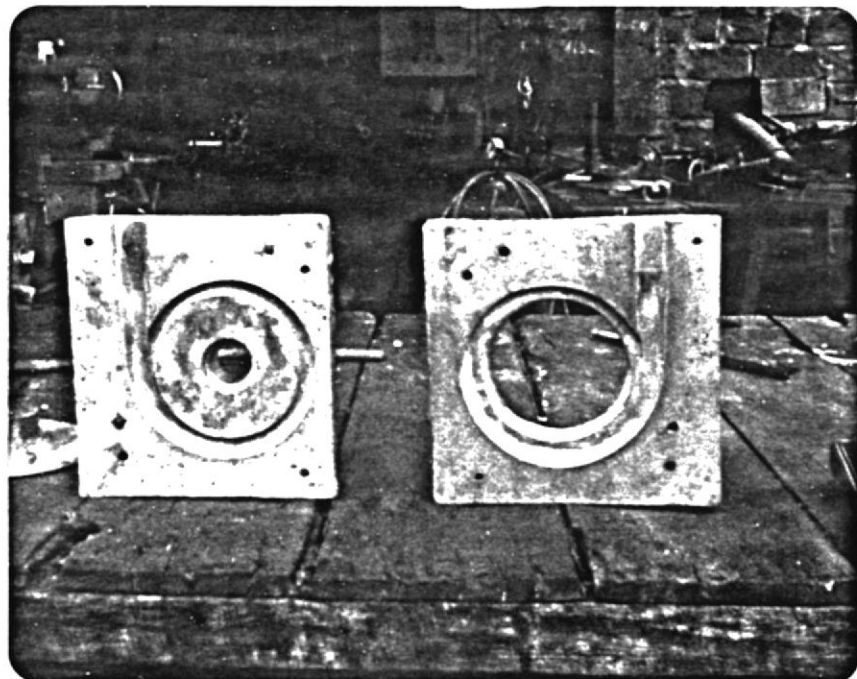


FIGURA N° 2.- Modelo de Aluminio del corazón de una bomba centrífuga de la Fábrica RACE.

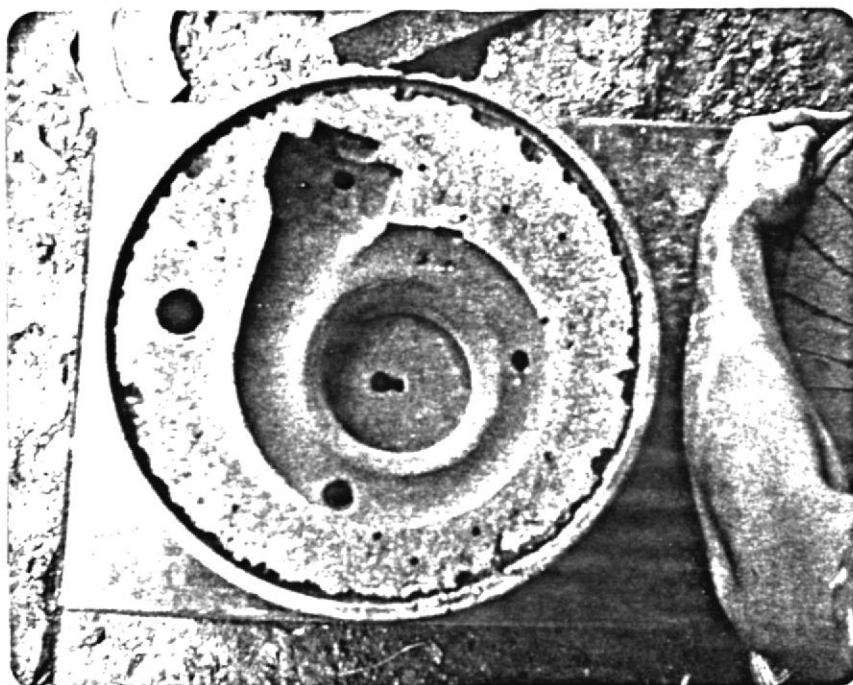


Fig. N° 3.- Tapa del Molde de una Bomba Centrífuga de la Fábrica RACE.

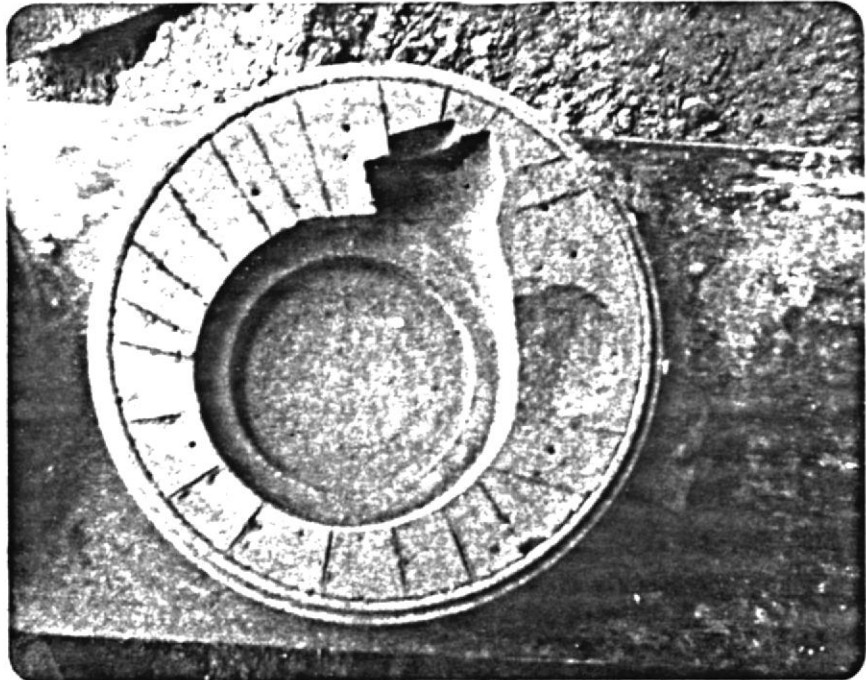


Fig. N<sup>o</sup> 4.- Fondo del Molde de una Bomba Centrífuga de la Fábrica RACE.



FIGURA N° 5.- Bomba centrífuga limpia y maquinada de la Fábrica RACE.

la producción de bombas centrífugas los siguientes:

Proceso de cáscara (SHELL MOULDING)

Proceso de caja caliente (HOT BOX)

Proceso de caja fría (COLD BOX)

Proceso de Silicato-CO<sub>2</sub>

#### Proceso de Cáscara (SHELL MOULDING)

Este proceso consiste en usar una mezcla de arena y resina termoestable.

La mezcla de arena-resina se vacía dentro de una caja por gravedad, la cual se encuentra a una temperatura de 200°C, el calor de la caja hace reaccionar a la mezcla que está en contacto con su superficie, formando una cáscara dura en pocos segundos. La arena que no reaccionó se vacía de la caja girando ésta 180°, para utilizarse después. El espesor de la cáscara dependerá de la temperatura de la caja y del tiempo de permanencia de la mezcla dentro de la caja antes de que ésta sea girada.

Las resinas para este proceso son predominantemente aglomerantes de Fenol-Formaldihído, modificados con adiciones de resina de madera y otros ingredientes como el ácido carbonílico.

Las resinas se fabrican en diferentes presentaciones, ésto es, en polvo, disueltas en alcohol o acetona (60-75% sólidos), granular y en hojuelas.

En ciertas ocasiones se utiliza como catalizador un compuesto denominado Exa que está formado por Formaldehído y amoniaco.

El estearato de calcio se utiliza como lubricante.

Algunas mezclas típicas se dan a continuación:

<u>MATERIAL</u>	<u>%</u>
<u>Con resina en polvo</u>	
Arena de grano redondo	100
Resina en polvo	3.6-4.0 sobre el peso de la arena.
Alcohol	0.75
Agua	0.275
Estearato de Calcio	0.200
<u>Con resina líquida</u>	
Arena de grano redondo	100
Resina Líquida	3.5-4.0 sobre el peso de la arena
Catalizador	0.56-0.75
Estearato de calcio	0.200
Arena de grano angular	100
Resina líquida	4.0-5.0 sobre el peso de la arena.
Catalizador	0.75
Estearato de calcio	0.30

Los moldes para este proceso deben ser de hierro gris o aluminio debido a su temperatura de trabajo.

La mezcla que se utiliza en este proceso es completamente seca debido a ésto el llenado de las cajas es sencillo por gravedad y se puede eliminar el uso de aire comprimido.

### Ventajas y Desventajas del Proceso

#### a) Ventajas

1. Excelente acabado superficial de las piezas coladas.
2. Tolerancias dimensionales más estrechas.
3. Una excelente reproducción de los modelos.
4. Las secciones delgadas se obtienen fácilmente.
5. Alto rendimiento de piezas por tonelada de metal fundido.
6. Los corazones se pueden almacenar indefinidamente.
7. Se usa poca cantidad de arena por corazón.
8. Se simplifica la limpieza.
9. El proceso se puede automatizar en alto grado.
10. La arena ya preparada se puede almacenar.
11. No requiere hornos de secado.
12. También se pueden fabricar moldes.

#### b) Desventajas

1. Sólo se pueden usar cajas metálicas con buen acabado superficial.
2. Los aglomerantes son más costosos que para el proceso de Si-

licato-CO<sub>2</sub>.

3. Algunas veces el metal entra en el hueco del corazón dando piezas defectuosas.
4. Requiere de equipo especial para cubrir las arenas.

#### Proceso de Caja Caliente (HOT BOX)

Este proceso consiste en mezclar arena con un aglomerante furánico y un catalizador y luego se introducen con aire comprimido dentro de una caja de corazones a una temperatura aproximada de 220°C. El calor de la caja inicia una reacción química termoestable y exotérmica, lo que ocasiona que después de pocos segundos el corazón tenga una cáscara dura y se lo pueda sacar de la caja. En este momento el centro del corazón es suave, sin embargo, debido a las propiedades exotérmicas de la resina, la sección del centro del corazón cura completamente después de un tiempo.

Las resinas (aglomerantes furánicos) para caja caliente que más se usan son de dos tipos: úrea-formaldehído-alcohol furfurílico y úrea-fenol-formaldehído.

Las mezclas de arena para caja cliente contienen de 2.0 a 2.5% de resina sobre el peso de arena y de 10 a 20% de catalizador sobre el peso de la resina, más algunos aditivos que le dan otras propiedades.

El porcentaje de catalizador juega un papel muy importante ya que es el que inicia la reacción..

La formulación típica es la siguiente:

	<u>%</u>
Arena	100
Resina	1.5-2.5 sobre el peso de la arena
Catalizador	<u>10-20</u> sobre el peso de la arena <i>RESINA</i>
Aditivos	

Agua.- se usa en cantidades de 0.15 a 0.30% sobre el peso de la arena, para prolongar el tiempo de vida y aumentar la resistencia a la tracción.

Agentes Fluidificantes.- Tales como Kerosen (diáfano), diesel, fluidificante de marca y aceite para corazones.

Oxido de Hierro.- Máximo 0.2% para darle resistencia en caliente y eliminar algunos defectos de superficie.

Las mezclas de arena para Caja Caliente son muy sensibles al calor y se deben proteger hasta que la arena se sople dentro de una caja caliente. Para una producción continua de corazones se necesita tener enfriamiento por agua en las tolvas, válvulas de soplado, magazines y placas de soplado de las máquinas.

El método más común para producir corazones en este método es empleando máquinas sopladoras.

El material de las cajas debe ser de hierro gris aleado o en algunos

casos de hierro nodular, ya que éstas están sujetas a un calentamiento continuo. La caja de corazones debe fabricarse con la mayor precisión para asegurar la ventaja en tolerancia dimensional que ofrece este método.

a) Ventajas

1. Menores proporciones de aglomerante en base al contenido de sólidos.
2. Se puede usar cualquier tipo de mezclador convencional, para este tipo de mezclas.
3. El control en el ciclo de mezclado se limita a cantidades, secuencia adecuada de aditivos y tiempo.
4. Los corazones sólidos se pueden producir con ciclos rápidos de operación ya que sólo se requiere una capa suficientemente fuerte para manejar el corazón. El corazón se endurece completamente después de que se ha retirado de la caja.
5. Los costos de mano de obra se pueden reducir debido a lo rápido de los ciclos.
6. Dentro de ciertos límites de peso del corazón, los costos de material son bajos debido a las bajas proporciones de aglomerante.
7. Proporciones bajas de aglomerante, bajo volumen de gas.

b) Desventajas

1. Las mezclas para caja caliente son inestables a temperatura

- ambiente y se deben usar dentro de un tiempo establecido.
2. Cuando las mezclas ya han perdido su Tiempo de Vida se deben tirar, ya que no se pueden recuperar.
  3. Las mezclas de caja caliente se endurecen dentro de la cabeza de soplado de las máquinas si es alta la temperatura o se trabaja durante mucho tiempo.
  4. El departamento de corazones se debe ventilar bien, ya que emiten gases tóxicos.
  5. Las máquinas y las cabezas de soplado se deben vaciar y limpiar después de la operación diaria.
  6. Se pueden hacer corazones huecos sólo si la caja está diseñada para ese fin.
  7. No es posible usar los corazones inmediatamente. Hay un tiempo de espera hasta que el corazón se endurezca completamente.
  8. Las mezclas para Caja Caliente se queman fácilmente en la caja de corazones bajando la resistencia en la superficie del corazón.
  9. Se tiene dificultad para manejar corazones grandes con ciclos de operación rápidos.
  10. El costo de material en corazones sólidos grandes es mayor que en corazones de cáscara.
  11. El volumen de arena para producir los corazones es grande.
  12. El volumen de arena que se maneja en el sacudidor (Shake out) y el recuperador de arena es grande.
  13. Los sobrantes de corazones (Guías o plantillas) son grandes.

Proceso de Caja Fría (COLD BOX)

Este proceso consiste en usar una mezcla de arena y un aglomerante furánico.

Este aglomerante furánico en presencia de un catalizador reacciona endureciendo la mezcla a temperatura ambiente.

El tiempo de curado depende de la cantidad de catalizador presente en la mezcla.

La resina es generalmente fenólica modificada con alcohol furfurílico como diluyente reactivo, se la conoce comercialmente con el nombre de resina Fenólica Furfurilada. (RESIFN 4433 de RESIMON C.A.).

El catalizador adecuado es el Catalres 2039 (RESIMON C.A.).

Una mezcla típica es la siguiente:

<u>MATERIAL</u>	<u>%</u>
Arena	100
Resina	1.5-3.0 sobre el peso de la arena
Catalizador	15-40 sobre el peso de la resina.

Este proceso puede realizarse a mano o automáticamente.

Si el proceso se realiza a mano se debe añadir primeramente el catalizador y luego la resina; es importante que se evite el calentamiento de la mezcla por fricción, para no reducir demasiado el

tiempo de vida de la arena revestida.

Cuando el proceso se realiza automáticamente, se dosificarán por separado la resina y el catalizador por medio de bombas adecuadas.

Las cajas deben estar perfectamente limpias; si es necesario se aplicará una capa de algún agente desmoldeante.

La compactación de los corazones o moldes se hará según los procedimientos habituales y se las dejará en reposo hasta que la mezcla alcance el grado de dureza o resistencia requerido, entonces se podrá proceder al desmoldeo.

Es necesario tener presente que la resina causa irritación en contacto con la piel y con las vías respiratorias, además es necesario proteger la resina de toda posible fuente de ignición y emplear equipos de protección adecuados durante su manipulación.

Se recomienda almacenar la resina y el catalizador en sus envases originales bien cerrados, bajo techo, en lugares frescos y ventilados a temperatura no mayor a 25°C, protegidos de la luz solar y de toda posible contaminación.

Bajo las condiciones de conservación recomendadas la vida útil de esta resina y catalizador es de dos meses.

Además hay que anotar que no existe en el país estos productos y por tanto se debe importarlos, para lo cual hay que hacer pedidos no menores de una tonelada.

### Ventajas

1. Excelente acabado superficial de las piezas coladas.
2. Tolerancias dimensionales más precisas.
3. Excelente reproducción del modelo, conseguir secciones delgadas.
4. Rendimiento aceptable de piezas por toneladas de metal fundido.
5. Los corazones pueden almacenarse por tiempo prolongado.
6. Se simplifica el desmoldeo y limpieza de la fundición.
7. No requiere hornos de secado.
8. Sirve para moldes y corazones.

### Desventajas

1. Deben utilizarse moldes metálicos.
2. Los aglomerantes tienen alto costo y son de difícil adquisición.
3. La arena preparada no se puede almacenar.
4. No se adapta al molde o con un solo molde.

### Proceso de Silicato-CO<sub>2</sub>

Este proceso consiste en mezclar arena silícea con silicato de sodio, con esta mezcla se forma el modelo o corazón y luego se inyecta Dióxido de carbono en su interior.

La reacción química que ocurre entre el aglomerante de Silicato de Sodio y el CO<sub>2</sub> endurece el corazón en segundos.

La reacción expresada en fórmula es la siguiente:



La reacción produce gel de sílice que une entre sí las partículas de la arena.

El silicato que no reaccionó en el momento del gaseado del  $\text{CO}_2$  reaccionará posteriormente con el  $\text{CO}_2$  existente en el medio ambiente o por deshidratación.

El silicato que se utiliza en este proceso debe tener una relación Sosa-Sílice:

$\text{SiO}_2$ :  $\text{Na}_2\text{O}$  de 2:1 ó de 2.9:1 en un rango de viscosidades de 40 a 50° Be. Una de las ventajas de este proceso es que los corazones se pueden hacer prácticamente por cualquier medio normal de fabricación. Una de las razones de esta versatilidad es la relativa alta fluidez de la arena.

Cuando el consumo de  $\text{CO}_2$  es bajo se pueden usar cilindros de gas comprimidos.

Cuando se consumen en grandes cantidades se puede comprar en forma líquida y almacenarse en tanques. También se puede comprar hielo seco y usar un convertidor para hacerlo gas.

La presión de gaseado del silicato están en el rango de 1.4 a 3.5Kg/cm<sup>2</sup>

Una mezcla típica es:

Arena Silícea	$\frac{\%}{100}$
Silicato de sodio	4-8 sobre el peso de la arena
CO <sub>2</sub> gaseado en el rango de presiones arriba señaladas	
durante 20-80seg.	

### Ventajas del Proceso

1. El proceso es rápido. Los corazones y moldes se pueden apisonar y endurecer en minutos.
2. El equipo que se necesita es de costo relativamente bajo.
3. Debido a que los corazones se endurecen dentro de la caja, algunos de éstos se pueden simplificar.
4. Las mezclas de arena-silicato se pueden usar como arena de cara en los moldes.
5. No se necesita hornos de secado.
6. Las piezas coladas con este proceso tienen una alta precisión dimensional y un buen acabado superficial.
7. Los corazones y moldes tienen una mínima evolución de gases.
8. Una vez gaseados los corazones o moldes éstos pueden ser almacenados.

### Desventajas

1. Como el proceso de gaseado es manual depende del operador la calidad del molde.
2. Es necesario procesos costosos para recuperar la arena previamente utilizada.

3. Debe usar materiales adicionales a fin de mejorar la colapsibilidad.
4. Necesita armadura de acero para corazones delgados.

### 2.3 SELECCION DEL PROCESO

Después de haber hecho un análisis de ventajas y desventajas de cada proceso, es posible identificar el método de producción que mejor se adapte o con mejores posibilidades a la capacidad de la planta en estudio, a través de comparación de éstos con los siguientes parámetros de selección:

1. Los costos de implementar el nuevo proceso deben ser los menores posibles.
2. Los costos de producción deben ser aceptables.
3. La calidad de las piezas debe ser la necesaria.
4. La producción requerida es de alrededor de 50 bombas diarias.
5. No debe ser nocivo para la salud.
6. Facilidad de adquisición de materias primas.✓
7. Una adecuada vida útil de corazones, moldes y materias primas.

A continuación se ha elaborado un cuadro que de manera cualitativa indica los resultados del análisis.

Con la ayuda de este cuadro se puede observar claramente que el proceso que mejor se adapta a la implementación para la producción de bombas centrífugas es el de SILICATO-CO<sub>2</sub> .

Parámetros de Selección	SHELL B R M	HOT BOX B R M	COLD BOX B R M	SILICATO-CO <sub>2</sub> B R M
Costo de implementación	X	X	X	X
Calidad de las piezas producidas	X	X	X	X
Costo de producción	X	X	X	X
Producción requerida	X*	X	X	X
Nocivo para la salud	X	X	X	X
Facilidad de adquirir materias primas	X	X	X	X
Vida útil de corazones y moldes	X	X	X	X
Vida útil de materias primas	X	X	X	X

Nota: B = bueno

R = Regular

M = Malo

\* Se la cataloga como malo porque la capacidad de producción de este proceso es mucho mayor, por tanto para una producción de 50 bombas diarias se estaría desperdiciando capacidad de producción.

## C A P I T U L O    I I I

### PROCESO DE SILICATO-CO<sub>2</sub>

#### 3.1 GENERALIDADES

El proceso de Silicato-CO<sub>2</sub> está a la vanguardia de los cambios revolucionarios en cuanto a moldeo y producción de corazones que ha tenido la industria de la fundición en los últimos años. Este proceso provee de una gran versatilidad ya que puede ser aplicado en la fundición de hierro, acero y metales no ferrosos en una amplia gama de tamaños y formas de piezas.

Este proceso comenzó a ser utilizado alrededor de 1950. Las primeras noticias que se tienen acerca de este proceso son trabajos independientes de fundidores, los cuales fueron recopilados y presentados en una conferencia dada por Asociación Británica de Investigación de Fundición de Hierro (BCIRA).

En el capítulo anterior ya se habló algo acerca de este proceso así que en este punto nos limitaremos a ampliar sus características generales.

El procedimiento de endurecimiento de una mezcla de arena y silicato se basa en la particularidad del dióxido de carbono de precipitar, al contacto con el silicato de sodio, un gel de sílice, el

cual, fraguando con los granos de sílice de la arena, forma la armadura sólida.

La rapidez con que se produce este proceso, a temperatura ambiente, evita la necesidad de secar los corazones o moldes.

Como el aire atmosférico contiene  $\text{CO}_2$  hace que las arenas preparadas con silicato se vayan secando poco a poco al estar expuestas, por este motivo es necesario conservar la arena preparada en recipientes cerrados, o preparar la cantidad necesaria para consumirla de acuerdo con la capacidad de producción de moldes.

Por esta razón, este proceso ha encontrado dificultades en máquinas sopladoras debido a que por la acción constante y continua que ejerce el aire comprimido sobre la arena ésta se va secando hasta que después de varias operaciones la sopladora queda inutilizable.

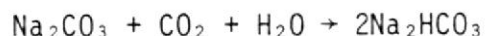
Este inconveniente no existe en las disparadoras, ya que en éstas la acción del aire comprimido sobre la arena es casi instantánea, y además en ningún momento se produce una mezcla entre la arena y el aire comprimido. Por este motivo las disparadoras son las máquinas idóneas para trabajar con silicato, como se ha comprobado prácticamente.

En lo referente al gaseado se deben tomar en cuenta las siguientes reglas generales:

1. Mucho aglomerante necesita un volumen muy grande de gas para

desarrollar la resistencia deseada.

2. Gaseados prolongados a baja presión dan más altas resistencias que gaseados cortos a alta presión.
3. Relaciones bajas de silicato requieren más CO<sub>2</sub> para el gaseado.
4. La presión de manómetro que se recomienda está en el rango de 1.4 a 3.5 Kg/cm<sup>2</sup> generalmente se obtienen mejores resultados con presiones de 2 a 2.8 Kg/cm<sup>2</sup>.
5. Se ha comprobado que la arena que se endurece ofrece menor resistencia al paso del gas que la no endurecida, el gas tiende a canalizarse a través de la arena endurecida.
6. Se debe evitar el sobre gaseado porque un exceso de CO<sub>2</sub> produce bicarbonato de soda, por la siguiente reacción:



El agua para esta reacción se toma del gel de sílice, dejando SiO<sub>2</sub> que no tiene las características necesarias para mantener los granos de arena fuertemente unidos.

Para mejorar las superficies de piezas fundidas se recomienda el uso de pinturas a base de alcohol u otro tipo de solvente para pintar los corazones o moldes. La pintura a base de agua no se debe usar porque el agua reblandece la superficie del corazón o molde.

### 3.2 MATERIAS PRIMAS USADAS EN EL PROCESO

Las materias primas requeridas para el proceso de Silicato-CO<sub>2</sub> son

esencialmente de base refractaria, como son, la arena silícea, el silicato de sodio y el  $\text{CO}_2$ . Algunos aditivos como arcilla, materiales carbonáceos y derivados de carbohidratos, son generalmente incluidos en la mezcla de arena-silicato.

### Arena Silícea ✓

Cualquier tipo de arena silícea puede ser usada en este proceso, pero para obtener mejores resultados es necesario un cuidadoso control de la arena base, especialmente si el moldeo o producción de corazones se hace mecánicamente.

La arena, por ser una sustancia que se encuentra en la naturaleza, puede tener distintos tamaños de granos, forma de grano, contenido de arcilla y contenido de agua. Por esta razón, es necesario un cuidadoso control de las arenas en el laboratorio.

Cada lote de arena que se vaya a utilizar es necesario hacerle las siguientes pruebas:

1. Tamaño de grano
2. Contenido de agua
3. Contenido de arcilla
4. Temperatura, especialmente si la arena va a ser usada inmediatamente.

El tamaño de grano de una arena afecta a los siguientes aspectos en el proceso:

1. La velocidad con que aumenta la resistencia de la mezcla durante el gaseado.
2. La magnitud del cambio de la resistencia de los moldes y corazones ya almacenados.
3. La permeabilidad de los moldes y corazones y la facilidad con que se distribuye el  $\text{CO}_2$ .

Las arenas con alto contenido de sílice, es decir 100% silícea, son necesarias para obtener buenas propiedades refractarias. La arena puede llegar a quemarse si es que contiene más de 0.5% de óxidos de sodio y potasio (principalmente feldespatos y micas) en partículas de más de 0.1mm. y los óxidos de calcio y magnesio no deben exceder el 1.0%.

La arcilla contenida en la arena es dañina para este proceso ya que puede causar una disminución de la vida de banco de la mezcla y nos lleva a producir moldes y corazones con baja resistencia y una superficie defectuosa.

En general, a medida que aumenta el porcentaje de arcilla, aumentan los problemas, aunque mucho depende del tipo de arcilla, así la caolinita causa menos problemas que la bentonita.

Cuando se tiene arena con bajo porcentaje de arcilla, se recomienda añadir 0.5% de agua por cada 1.2% de arcilla.

La arena debe tener el menor contenido de agua posible ya que si la arena contiene demasiada agua se pueden producir porosidades

o sopladuras, especialmente en las fundiciones no-ferrosas.

La reacción entre el  $\text{CO}_2$  y el silicato de sodio es muy lenta a temperaturas menores a  $10^\circ\text{C}$  y con un consumo excesivo de  $\text{CO}_2$ . A temperaturas superiores a los  $40^\circ\text{C}$  la vida de banco de las mezclas se acortan, por tanto, la temperatura de trabajo para este proceso, debe estar entre  $20^\circ$  y  $30^\circ\text{C}$ .

### ✓ Silicato de Sodio

El silicato de sodio se lo obtiene de fundir soda cáustica y arena silícea en una proporción de una parte de  $\text{Na}_2\text{O}$  a 3.22 partes de arena silícea en porcentaje sobre el peso base. El vidrio disuelto es lingotado y luego fundido con calor y presión para hacer lo que se conoce comercialmente como vidrio líquido.

✓ Dos tipos de silicato de sodio son usados en la industria de la fundición:

✓ El primer tipo consiste en una solución acuosa de silicato de sodio sin aditivos, éstos vienen en un amplio rango de composiciones. La composición y propiedades físicas de estos silicatos están dados en la tabla # 1.

Normalmente se identifica a un silicato por su módulo, el cual se obtiene dividiendo el porcentaje de óxido de sílice para el porcentaje de óxido de sodio, y su gravedad específica.

La mayoría de los fundidores utilizan silicatos de sodio con un módulo

el cual se obtiene dividiendo el porcentaje de óxido de sílice para el porcentaje de óxido de sodio, y su gravedad específica.

✓ La mayoría de los fundidores utilizan silicatos de sodio con un módulo  $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$  de 2:1 y una gravedad específica de 40-59Be.

✗ El segundo tipo consiste en una solución acuosa de silicato de sodio con aditivos, tales como azúcar y melasa, en cantidades de 10-25%. El módulo más general es de 2:1 pero se utiliza mucho este tipo de silicatos con módulo de 2.8:1.

### ✓ Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ )

✓ El  $\text{CO}_2$  puede ser utilizado de tres formas: sólido (hielo seco), líquido y gaseoso.

Cuando el  $\text{CO}_2$  es sólido se usan los llamados convertidores, la presión alcanzada por el  $\text{CO}_2$  depende del calor suministrado, el cual puede ser vapor o agua caliente.

Cuando  $\text{CO}_2$  es líquido o gaseoso se lo usa directamente de la botella.

### ✓ 3.3 VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE GASEADO Y PRUEBAS DE CONTROL

Un estudio de las variables que influyen en el proceso de gaseado es importante ya que nos servirá como un índice de comparación con nuestros resultados experimentales.

Entre las principales variables tenemos:

T A B L A N<sup>o</sup> 1

## PROPIEDADES DEL SILICATO DE SODIO

	RELACION EN PESO SiO <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> O	RELACION MOLECULAR SiO <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> O	Composición (Peso)			Gravedad Espe- cífica (20°C)			Viscosidad cP
			% Na <sub>2</sub> O	% SiO <sub>2</sub>	% H <sub>2</sub> O	S.G.	°Tw	°Be	
Grados ICI									
A 140	1.6	1.65	20.2	31.8	48.0	1.70	140	59.5	25000
C 140	2.0	2.05	17.8	35.7	46.5	1.70	140	59.5	90000
C 125	2.0	2.05	16.6	33.2	50.2	1.625	125	55.8	4500
C 112	2.0	2.05	15.2	30.4	54.4	1.56	112	51.8	850
C 100	2.0	2.05	14.0	28.1	57.9	1.50	100	48.1	200
E 100	2.2	2.3	13.2	29.2	57.6	1.5	100	-	200
H 100	2.4	2.5	12.7	30.8	56.5	1.5	100	48.1	310
H 112	2.4	2.5	13.7	33.3	53.0	1.56	112	51.8	2500
K 95	2.7	2.8	11.2	30.3	59.5	1.475	95	46.7	350
L 96	2.85	2.95	11.2	31.9	56.9	1.48	96	46.8	500
M 75	2.9	3.0	9.2	26.8	64.0	1.375	75	39.4	100
P 84	3.2	3.3	9.4	29.9	60.7	1.42	84	42.7	850
Q 79	3.3	3.4	8.9	29.2	61.9	1.395	79	40.8	350
GRADOS CROSFIELD									
H 140	1.60	1.65	20.3	32.4	47.3	1.70	140	59.7	-
H 120	1.60	1.65	17.98	28.75	53.3	1.60	120	54.4	-
140	2.0	2.07	18.00	36.0	46.0	1.70	140	59.7	100000
125	2.0	2.07	16.55	33.15	50.3	1.625	125	55.8	-
120	2.0	2.07	16.07	32.15	51.8	1.60	120	54.4	2000
FG112	2.0	2.07	15.27	30.55	54.2	1.56	112	52.1	800
100 Alk.	2.0	2.07	14.03	28.05	57.9	1.50	100	48.3	200
100 Ord.	2.5	2.58	12.45	31.10	56.4	1.50	100	48.3	400
106	2.7	2.79	12.45	33.6	53.9	1.53	106	50.2	1700
96	2.85	2.94	11.20	31.95	56.8	1.48	96	47.0	500
N <sup>o</sup> 6	3.15	3.25	8.46	26.6	64.9	1.36	72	38.4	70
84	3.20	3.31	9.45	30.25	60.3	1.423	84.5	43.1	650-1200
75	3.20	3.31	8.63	27.6	63.8	1.375	75	39.6	100
N <sup>o</sup> 4	3.30	3.41	9.07	29.9	61.0	1.41	82	42.2	700-1200
N <sup>o</sup> 1	3.3	3.41	8.85	29.25	61.9	1.398	79.5	41.2	250-500
N <sup>o</sup> 2	3.3	3.41	8.65	28.65	62.7	1.388	77.5	40.5	200-500
70	3.3	3.41	8.00	26.4	65.6	1.35	70	37.6	70
N <sup>o</sup> 7	3.375	3.49	8.25	27.9	63.8	1.37	74	39.2	150
N <sup>o</sup> 3	3.65	3.77	7.19	26.25	66.6	1.33	66	36.0	200
N <sup>o</sup> 8	3.85	3.98	5.75	22.2	72.0	1.263	52.5	30.2	20

✓ - Granulometría de la arena y porcentaje de silicato de sodio

La resistencia desarrollada por el proceso de silicato- $\text{CO}_2$  puede ser considerablemente modificada por la granulometría de la arena silíceica seleccionada como base para la mezcla de moldeo. La performance de distintos tipos de arena silíceica son presentados en las Figs. 8 y 9 donde las mezclas usadas tienen 2-6% de silicato de sodio con una densidad de  $112^\circ\text{Tw}$  ( $51.8^\circ\text{Be}$ ) y una presión de  $10 \text{ lb/pulg}^2$ . De estas curvas se puede sacar como conclusión que para un determinado porcentaje de silicato de sodio, el cambio de una arena de tamaño de grano grueso por una de grano fino ocasiona un aumento de la rapidez con que se endurece la mezcla durante el gaseado. Por ejemplo, de dos mezclas que contienen 4% de silicato de sodio, la que tiene arena con # AFS 95 da una resistencia de  $231 \text{ lb/pulg}^2$  después de 30 seg. de gaseado, mientras que la arena con # AFS 50 da solamente  $68 \text{ lb/pulg}^2$  después del mismo tiempo de gaseado.

✓ Además, podemos notar que a medida que aumenta el porcentaje de silicato de sodio, aumenta la máxima resistencia obtenida. ✓

Las pruebas de control que se deben efectuar, son entonces:

- 1.- Determinación del # AFS de cada arena
- 2.- Ensayos de compresión con distintos porcentajes de silicato de sodio y con distintos tiempos de gaseado. ✓

✓ Tiempo de Gaseado: Manteniendo constante el flujo de  $\text{CO}_2$ , la re-

sistencia a la compresión aumenta progresivamente a medida que aumenta el tiempo de gaseado, como se muestra en la figura # 10, la cual muestra la relación típica entre la resistencia a la compresión y el tiempo de gaseado.

Se puede notar que al inicio del gaseado el incremento de la resistencia es pequeño pero a medida que transcurre el gaseado este incremento va aumentando. Consecuentemente, un rápido incremento de la resistencia ocurre cuando el gaseado continúa. La importancia del factor tiempo de gaseado es nuevamente demostrada por el peso de arena endurecida alrededor una sonda para gasear introducida en el molde. El peso de la arena endurecida alrededor de la sonda se muestra proporcional al tiempo de gaseado, como se muestra en la fig. 11.

Este gráfico ha sido obtenido con probetas de 6mm. y 13 mm. de diámetro, con una presión de gaseado de 10 lb/pulg<sup>2</sup>. En cada prueba el peso de la arena endurecida fue aproximadamente proporcional a la raíz cuadrada del tiempo de gaseado, para tiempos entre 15 seg. y 2 min.

El significado de estos resultados es importante cuando se diseñan sistemas de gaseado para moldes o corazones grandes. Si el CO<sub>2</sub> es inyectado por un solo punto, el tiempo de gaseado es muy largo, para obtener un completo endurecimiento a través de toda la superficie del molde, pero si se inyecta el CO<sub>2</sub> por varios puntos al mismo tiempo, el consumo total de CO<sub>2</sub> se reduce grandemente ya que

el tiempo de gaseado es mucho menor ✓

✓ - Flujo de  $\text{CO}_2$  : Cambios en el flujo de  $\text{CO}_2$  que pasa a través de la masa de arena tiene importantes efectos en la resistencia obtenida y en el patrón de distribución del gas. La selección de un buen flujo de  $\text{CO}_2$  está determinado por estos dos factores y la economía en el consumo de gas.

Para corazones pequeños y de diseño simple, una distribución uniforme del gas es fácilmente obtenida con flujos de  $\text{CO}_2$  bajos y en tales circunstancias las resistencias desarrolladas son independientes de pequeños cambios de flujo. ✓ Por ejemplo, para tiempos de gaseado de 30, 60 y 100 seg. con flujos de 0.5 a 12.5 l/min., no se presentan cambios significativos en la resistencia para probetas estándar de 51mm. de diámetro por 51 mm. de alto, como se muestra en la fig. 12.

Para altos flujos (mayores a 30 l/min) la resistencia se deteriora, como se muestra en la tabla N° 2.

✓ Importantes cambios en la resistencia se producen cuando los moldes son guardados después de ser gaseados ya sea a bajos o altos flujos. ✓ Estos efectos se muestran en la Tabla N° 3. Un juego de probetas estándar fue guardado después de ser gaseadas, durante un período de 24 horas a una temperatura de  $24^\circ\text{C}$  y con una humedad relativa de 40%, después de lo cual se efectuaron los ensayos de compresión. Los resultados de la Tabla N° 3 demuestran la gran

reducción de resistencia que experimentan las probetas que fueron gaseadas con flujos de  $\text{CO}_2$  relativamente altos (30 l/min). Esto se produce porque el gas es muy seco y por tanto al ser gaseada, la probeta, ésta pierde agua, la cual es necesaria para la formación del gel de silíce que es el que endurece la mezcla.

En la mayoría de las fundiciones la única manera de regular o controlar el consumo de  $\text{CO}_2$  es mediante la presión del gas. La presión desarrollada por el gas parece no tener influencia en la velocidad de endurecimiento de la mezcla, como se demuestra en la tabla # 4, en la cual se ha variado la presión de 5 a 30 lb/pulg<sup>2</sup>, sin embargo el flujo de  $\text{CO}_2$  se ha mantenido en 5 l/min. Muchas fundiciones trabajan con presiones de 20-30 lbs/pulg<sup>2</sup> y se ha demostrado que es adecuada.

#### ✓ 3.4 PRODUCCION DE MOLDES Y CORAZONES

##### - Moldes

El proceso de Silicato de sodio es ampliamente usado en la producción de los moldes debido a su gran flexibilidad, pudiendo adaptarse para moldeo en piso, moldeo con armadura de corazón y moldeo mecánico. En muchas aplicaciones ha reemplazado al moldeo en verde, moldeo con arena seca y moldeo con arcilla debido a la gran rapidez y facilidad con que pueden ser hechos moldes complicados y porque no necesita de ningún tipo de secado o estufado.

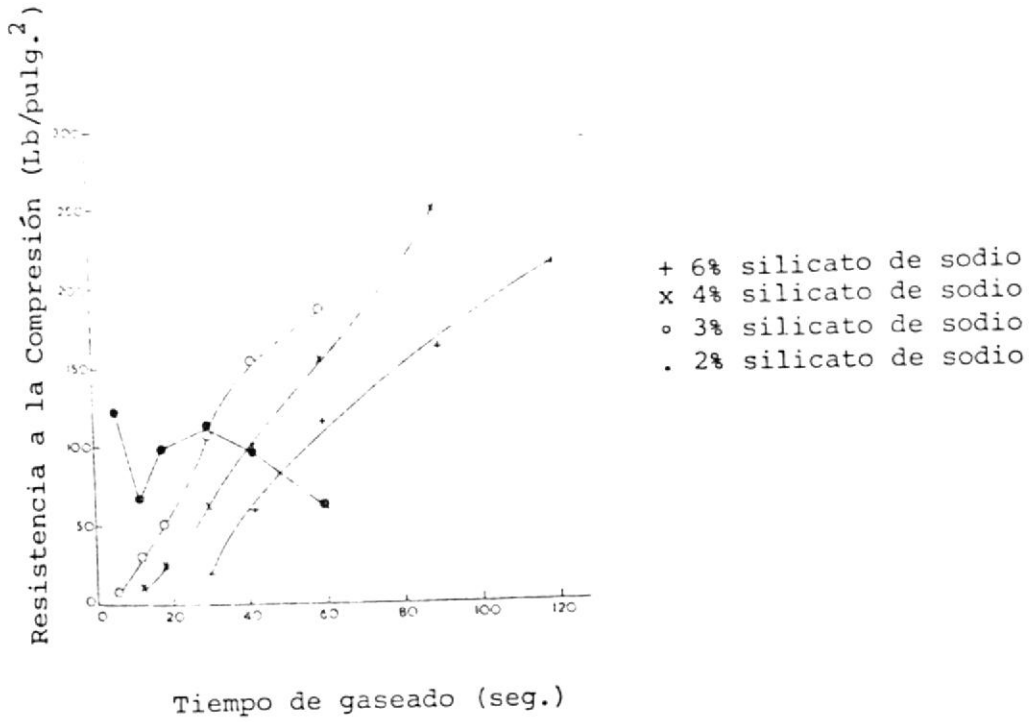


FIG. N° 8 .- ARENA CHELFORD 60

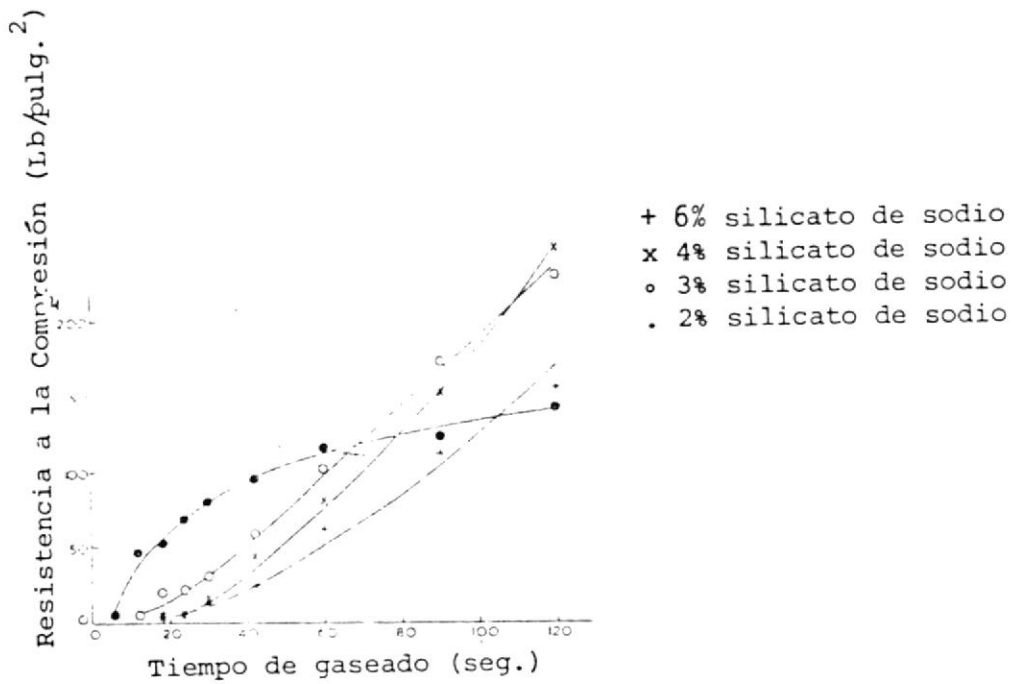


FIG. N° 9 .- ARENA ERITH

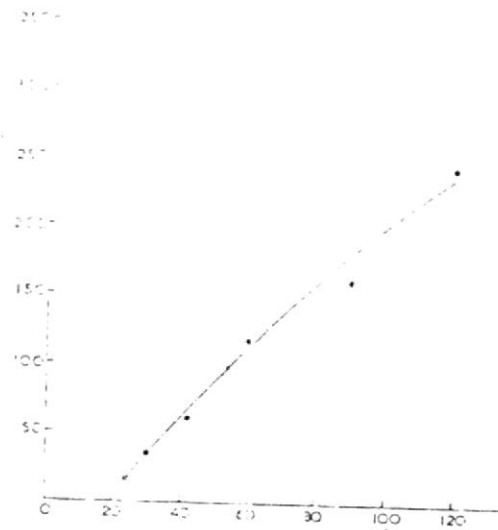
Resistencia a la Compresión (Lb/pulg.<sup>2</sup>)

FIG. N° 10

Tiempo de Gaseado (seg.)

INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION  
AL AUMENTAR EL TIEMPO DE GASEADO

MEZCLA: ARENA ERITH + 4% DE SILICATO DE SODIO

MODULO: 2:1

DENSIDAD: 51° Be

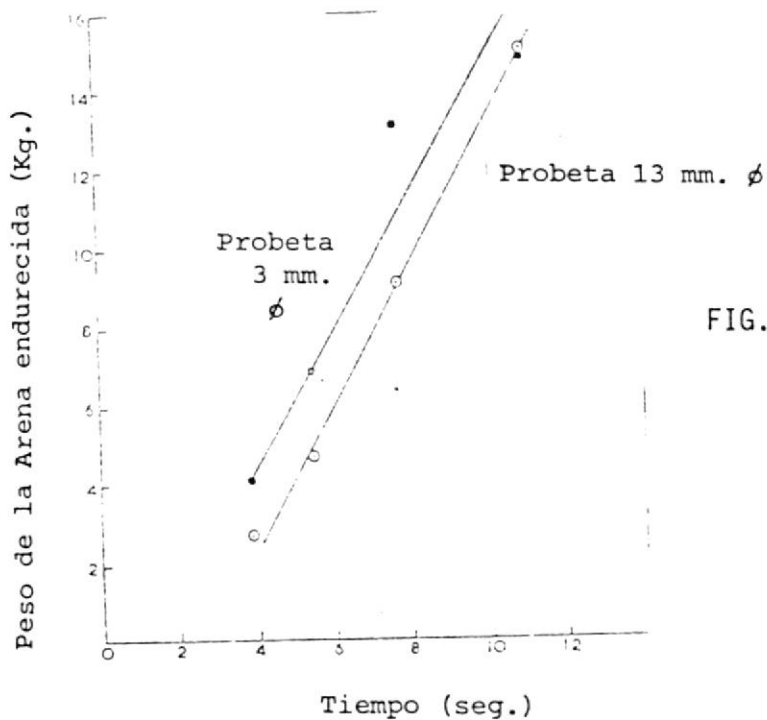


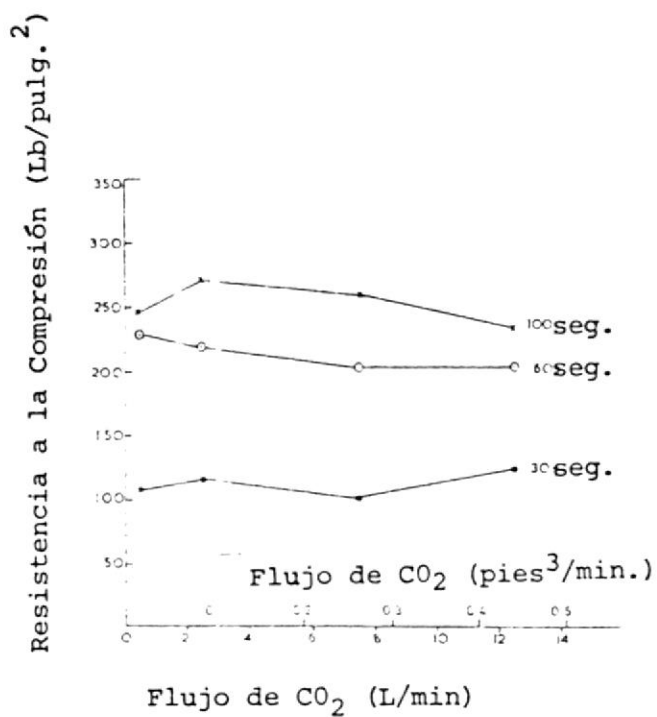
FIG. N° 11

INFLUENCIA DEL TIEMPO DE GASEADO SOBRE EL PASO  
DE ARENA ENDURECIDA.

MEZCLA: Arena ERITH + 4% de SILICATO DE SODIO

MODULO: 2:1

DENSIDAD: 51°Be



INSIGNIFICANTE EFECTO DE LA VARIACION  
DEL FLUJO DE CO<sub>2</sub> SOBRE LA RESISTENCIA  
DE LA COMPRESION

FIG. N<sup>o</sup> 12

T A B L A N º 2EFFECTOS DEL FLUJO Y VELOCIDAD DEL CO<sub>2</sub> SOBRE  
LA RESISTENCIA DE MEZCLAS CON ARENA ERITH GASEADAS

Aglutinadas con 4% de Silicato de Sodio; Módulo 2:1  
Gaseada por 2 minutos

Flujo de Gas

l/min	Pies <sup>3</sup> /min	Velocidad del Gas (pies/min)	Resistencia a la compresión lb/pulg <sup>2</sup>
2.5	0.088	4.05	267
10	0.35	16.2	263
20	0.71	32.4	203
30	1.06	48.6	179

T A B L A    N<sup>o</sup> 3

INFLUENCIA DEL FLUJO DE CO<sub>2</sub> SOBRE LA RESISTENCIA  
A LA COMPRESION Y LA RESISTENCIA DESPUES DE 24 HORAS  
DE MEZCLAS DE ARENA ERITH

Aglutinada con 4% de silicato de sodio con módulo de 2:1

	Flujo de Gas		Tiempo de Gaseado	
	l/min	pies <sup>3</sup> /min	60 seg.	120 seg.
Después de gasear	2.5	0.088	174 lb/pulg <sup>2</sup>	262 lb/pulg <sup>2</sup>
	30	1.06	102 lb/pulg <sup>2</sup>	134 lb/pulg <sup>2</sup>
Almacenado 24 horas	2.5	0.088	453 lb/pulg <sup>2</sup>	271 lb/pulg <sup>2</sup>
	30	1.06	>636 Lb/pulg <sup>2</sup>	593 lb/pulg <sup>2</sup>

T A B L A N º 4

RESISTENCIA DE PROBETAS GASEADAS A UNA PRESION DE  
5-30 lb/pulg<sup>2</sup> CON 4% DE SILICATO DE SODIO CON MODULO 2:1

Gaseadas por 60 seg. con un flujo de 5 lb/min.

Presión del CO <sub>2</sub> suministrado lb/pulg <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión (lb/pulg <sup>2</sup> )
5	71
10	60
20	74
30	74

✓ Moldeo en piso:

Bajo esta denominación están incluidos el moldeo en fosos, moldeo hecho en el suelo de la fundición con soportes de ladrillo y moldeo en cajas. Estos moldes, son generalmente, hechos a mano y por lo tanto, se requiere los servicios de un moldeador hábil.

Las fundiciones que practican este tipo de moldeo tienen las siguientes necesidades:

1. Requieren de mezclas de arena que tengan una vida de banco larga
2. Las mezclas tienen comparativamente alta resistencia en verde
3. Un endurecimiento rápido no es considerado esencial
4. Para moldes grandes parte del endurecimiento se lo consigue con el  $\text{CO}_2$ , y se termina de endurecer al aire.

Estos requerimientos han hecho que se necesite silicatos de sodio con mayor viscosidad y densidad, con módulos mayores que 2:1. Por ejemplo el cambio de  $40^\circ\text{Be}$  a  $50^\circ\text{Be}$  hace incrementar la resistencia en verde y dureza de la mezcla. Los moldes no gaseados se endurecen a medida que se evapora el agua existente en la mezcla, la velocidad de este endurecimiento aumenta a medida que aumenta la densidad del silicato seleccionado.

Para piezas de un tamaño mediano y pequeño se utiliza, para moldear, una capa de 5-10 cm. de mezcla de arena-silicato alrededor de la pieza y el resto del molde se lo llena con una mezcla de arena-arcilla, lo cual aumenta la economía del proceso. Esta técnica no

es recomendada para piezas muy grandes ya que puede llegar a producirse piezas con tolerancias dimensionales no muy estrechas.

Se usa esta técnica con muy buenos resultados en la producción de moldes para los estatores de motores eléctricos.

Moldeo con corazones ensamblados:

El proceso de silicato- $\text{CO}_2$  es ideal para los trabajos con corazones ensamblados. Antes de la introducción de este método, se usaba para este tipo de moldeo corazones de aceite, los cuales presentaban problemas causados por la distorsión de los corazones durante su manipuleo y el subsiguiente endurecimiento. Estas distorsiones traían como consecuencia moldes defectuosos y se tenía la necesidad de utilizar maquinaria especial, la cual encarecía el proceso.

Con la utilización del proceso de silicato de  $\text{CO}_2$  estos problemas desaparecieron ya que los corazones son endurecidos dentro de la caja, dando como resultado corazones duros y precisos, los cuales pueden ser sacados de las cajas, manipulados y usados inmediatamente sin que ocurra ningún tipo de distorsión. Para este proceso ningún molde se lo puede considerar difícil o complicado, no requiere de costosos modelos y con una o dos cajas se puede fabricar juegos completos de corazones.

✓ Moldeo Mecánico:

Para este tipo de moldeo donde las mezclas son rápidamente gaseadas, no es necesario una vida de banco larga para las mezclas. Las

mezclas deben tener una resistencia media, antes de ser gaseadas ya que deben soportar continuos manipuleos.

Por estas razones, las mezclas deben tener un silicato de sodio con densidad baja, (módulo menor a 2:1), con porcentajes de silicato entre 2.5 a 4%. Normalmente se usan módulos entre 2.3:1 a 2.5:1. Para esta aplicación es necesario que el contenido de arcilla de la arena sea prácticamente nulo.

Existen varios tipos de máquinas usadas para este tipo de moldeo, entre ellas podemos señalar:

1. Máquinas de moldeo sacudidoras
2. Máquinas para moldeo por repetición construidas con equipo de gaseado.
3. Máquina de moldeo con lubricación.

✓ Corazones:

La alta precisión dimensional que normalmente se obtiene con el proceso de Silicato-CO<sub>2</sub> ha hecho que este proceso sea adoptado en la producción de corazones en muchas fundiciones. La baja dureza y resistencia en verde normalmente asociadas a las arenas aglutinadas con silicato facilitan su compactación, pudiéndose realizar por apisonado a mano o utilizando máquinas sopladoras y disparadoras de corazones. Ya que el endurecimiento del corazón se efectúa dentro de la caja de corazones, éstos pueden ser fácilmente manipulados evitándose que se produzca alguna distorsión.

### ✓ Apisonado Manual:

La producción de corazones a mano se lleva a cabo especialmente cuando la forma del corazón es muy intrincada.

Cuando el corazón es muy largo y delgado el apisonado se efectúa en la dirección de la mayor dimensión, colocándose el corazón en posición vertical. El gaseado se puede efectuar por partes, consiguiéndose una buena adhesión

Varios materiales como el coke, ladrillo y arena de piso son utilizados para rellenar los corazones con el objeto de economizar en el uso de arena aglutinada con silicato. Se ha comenzado a utilizar recientemente poliestireno para rellenar los corazones. El bajo costo de este tipo de poliestireno granulado ha influido mucho en la acogida que ha tenido por parte de los fundidores, aparte de otras ventajas como son la reducción de peso de los corazones, facilita el desmoldeo, el polietileno es impermeable y el gaseado puede efectuarse a través de él.

### Producción mecánica de corazones:

Las máquinas más usadas en la producción de corazones son las sopladoras y disparadoras de corazones.

En las máquinas sopladoras de corazones la presión en la línea de aire es generalmente de 80-100 lb/pulg<sup>2</sup>. El aire es introducido a la cámara de arena, forzando a la arena a entrar en la caja de corazones.

En las máquinas disparadoras de corazones, la cámara de arena contiene una malla con un determinado número de agujeros a través de los cuales pasa el aire. El aire a una presión de 80-100 lb/pulg<sup>2</sup> entra en la cámara de arena presurizándola, lo cual obliga a la arena a entrar en la caja de corazones.

En todos los casos el objeto es compactar el corazón es decir aumentar la densidad, ya que esto repercute en la resistencia a la compresión del corazón, como se muestra en la Fig. 13.

Obviamente, una mala compactación ocasiona endurecimiento localizado en ciertas áreas del corazón. La presencia de áreas sin resistencia en un corazón puede ocasionar distorsiones, piezas fundidas con superficies porosas o penetraciones del metal en el corazón.

Para asegurarse que un corazón está bien compactado, la presión de la línea de aire de las sopladoras deben mantenerse en el rango señalado y la caja de corazones debe tener una adecuada ventilación. Una mala ventilación puede ocasionar arenas con baja resistencia en los corazones.

El diseño de la ventilación se basa en el principio fundamental de que la arena puede ser soplada dentro de la caja de corazones solamente si el aire tiene una vía de escape. No hay reglas para diseñar un sistema de ventilación que ayude al soplado, pero se recomiendan las siguientes normas:

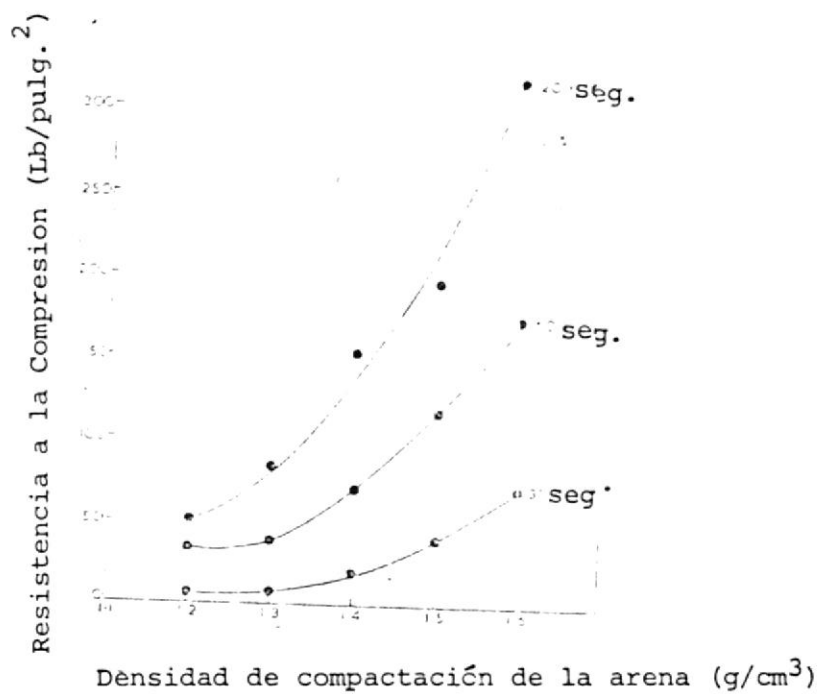
1. Suministrar la mayor cantidad de aire posible.
2. Hacer agujeros para ventilación en las socavaduras y rebordes.
3. Localizar agujeros de ventilación en la parte superior y no en la base de las cavidades. (Aunque agujeros de ventilación en la parte inferior pueden ser necesarios para el gaseado).
4. Es preferible ventilación horizontal para superficies verticales.

Es esencial para una buena producción de corazones que el sistema de ventilación sea limpiado periódicamente, especialmente si el sistema de gaseado está incluido en la máquina.

Se utilizan muchas técnicas para gasear los corazones dentro de las cajas, entre ellas tenemos:

1. Usando sondas introducidas en el corazón
2. Gasear a través de una campana colocada en la parte superior de la caja.
3. Gasear a través de perforaciones alrededor del mandril cuando el corazón es soplado.
4. Gasear a través de agujeros de ventilación de un costado de la caja, ésto generalmente envuelve el uso de una caja de corazones de doble pared.

Normalmente el sistema de gaseado puede ser incorporado a las máquina sopladoras y disparadoras de corazones.



INFLUENCIA DE LA DENSIDAD SOBRE LA  
RESISTENCIA A LA COMPRESION, DESPUES  
DEL GASEADO.

FIG. N° 13

### 3.5 ASPECTOS METALURGICOS DEL PROCESO

En este punto se tratará de algunos aspectos relativos a la calidad de las piezas coladas.

Entre los principales aspectos metalúrgicos se tiene:

✓ - Precisión Dimensional.

Uno de los principales beneficios obtenidos en la producción de moldes y corazones por el proceso de Silicato-CO<sub>2</sub> es la alta precisión dimensional. Esto es en parte atribuible al factor de que el endurecimiento se efectúa antes de que los moldes o corazones sean sacados de sus patrones o cajas de corazones y en parte a la rigidez o estabilidad dimensional que poseen estos moldes o corazones cuando son expuestos al metal fundido.

Un ejemplo de la precisión puede ser obtenida por trabajos de repetición relativos a la producción de bloques de 6 cilindros para autos de hierro fundido, donde el proceso de CO<sub>2</sub> es usado para hacer los corazones, para hacer los moldes se utiliza arena en verde, las tolerancias dimensionales que deben ser mantenidas en este trabajo son:

Areas fresadas y perforadas	3mm - 0 + 2.3mm
Areas Taladradas	2.5mm ± 0.8mm.
Lugares por refrentar	2.3mm máx.
Espesor general de paredes	4.7mm
Tolerancia de toda la superficie sin maquinar	±1.6mm.

Fundiciones de hierro con moldes hechos con el proceso de Silicato-CO<sub>2</sub> tienden a hacer dimensionalmente menores y de menor peso que fundiciones con moldes hechos con arena en verde, para los mismos patrones. El alcance de esta reducción en tamaño es demostrada por la información mostrada en la fig. 14.

En el rango de temperatura de colado empleado, por ejemplo de 1.200° - 1.500°C, todas las fundiciones hechas por el proceso de silicato son menores, entre 0.25mm y 1.8mm, que las correspondientes fundiciones hechas con arena en verde.

Las mismas fundiciones difieren significativamente en peso de acuerdo con el proceso empleado. Como se muestra en la fig. 15 las fundiciones con moldes hechos por el proceso de Silicato-CO<sub>2</sub> son considerablemente más livianas, entre 8 g y 130 g (entre 0.5 y 7.6% en peso), que las producía con moldes usando arena en verde.

Con el objeto de obtener el máximo beneficio en términos de precisión dimensional, con este proceso, es vital que los moldes y corazones sean firmemente compactados. No es suficiente vaciar la arena aglutinada con silicato sobre los patrones y apretarla suavemente esperando que la reacción química produzca el endurecimiento necesario; un fuerte apisonado es necesario. Para pequeñas fundiciones es suficiente una pequeña capa de arena glutinada con silicato alrededor del patrón y el resto de la caja es llenada con una mezcla de arena y arcilla. Cuando los modelos

son grandes y pesados esta técnica produce baja precisión dimensional, en estos casos es preferible que el molde sea hecho totalmente con arena glutinada con silicato. /

#### / - Fundiciones Sólidas

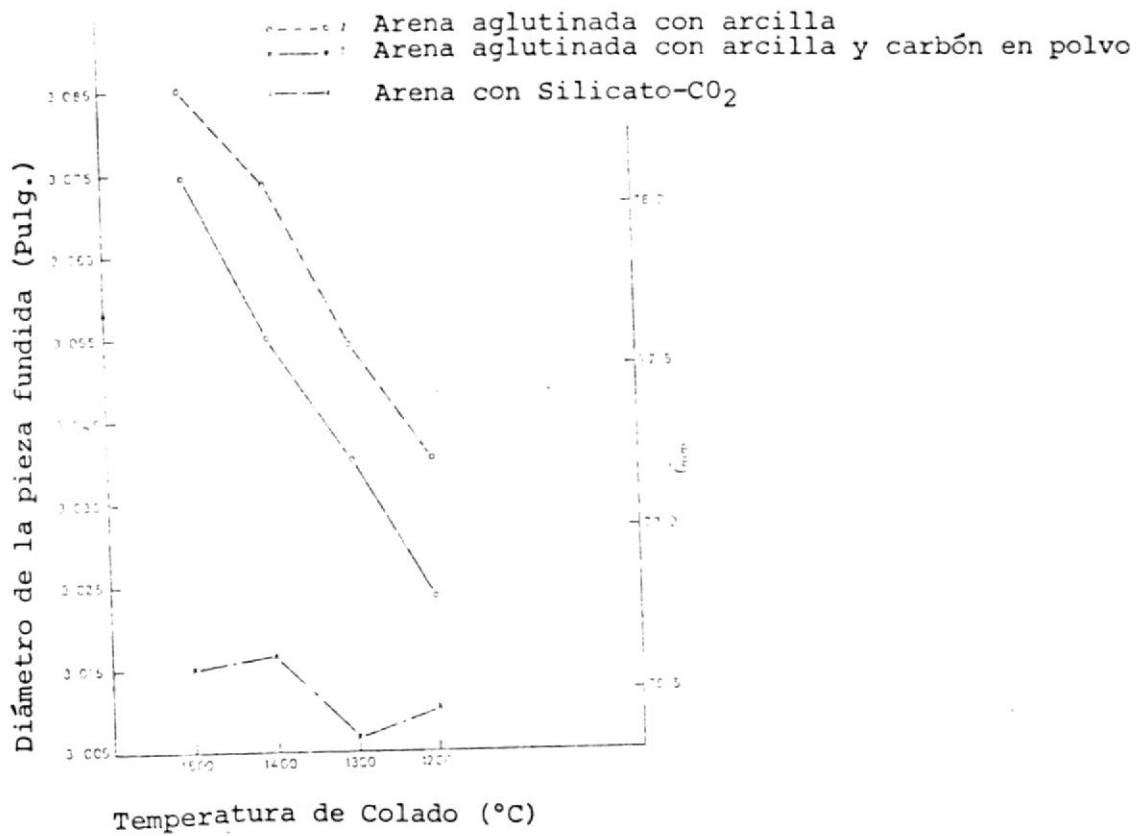
El movimiento de las paredes del molde dan como resultado un engrandecimiento de la cavidad del molde el cual al ser llenado de metal fundido y la subsiguiente solidificación de éste produce problemas de falta de solidez y precisión. El uso de proceso de Silicato-CO<sub>2</sub> minimiza estos problemas, consecuentemente es usado en la producción de moldes y corazones donde la alta precisión dimensional y solidez es esencial. /

En las figuras 16 y 17 se puede observar el mejoramiento en la solidez de la fundición con el solo cambio del moldeo en verde por el proceso de CO<sub>2</sub>

#### - Defectos Superficiales de Fundiciones

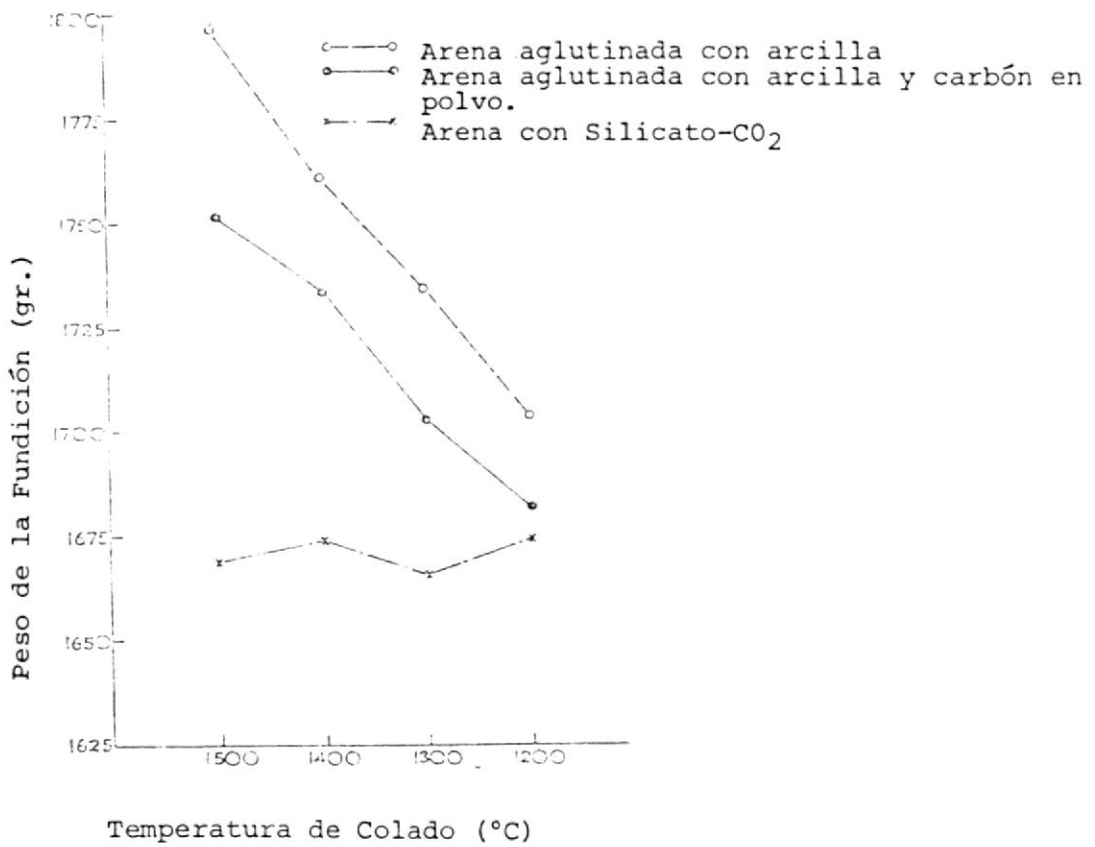
##### ✓ 1.- Vetas

/ Esta se forma por la penetración del metal en las grietas de los corazones de arena, / esto ocurre en caja caliente, caja fría y corazones hechos con aceite. / Con los corazones hechos con el proceso de silicato de sodio / esto no ocurre nunca, o muy rara vez. /



INCREMENTO DE LA PRECISION DIMENSIONAL  
 USANDO EL PROCESO DE SILICATO-CO<sub>2</sub> PARA  
 EL MOLDEO.  
 PIEZAS FUNDIDAS: ESFERAS DE 3 PULG. DE DIAMETRO

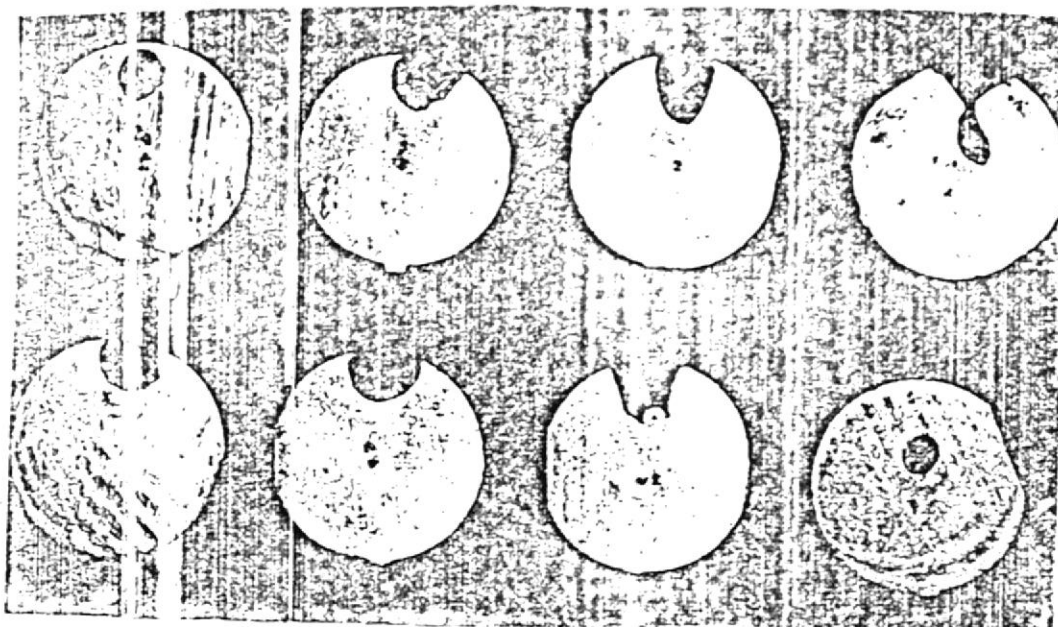
FIG. N° 14



REDUCCION DEL PESO DE LAS PIEZAS FUNDIDAS  
USANDO EL PROCESO DE MOLDEO DE SILICATO-CO<sub>2</sub>

FIG. N° 15



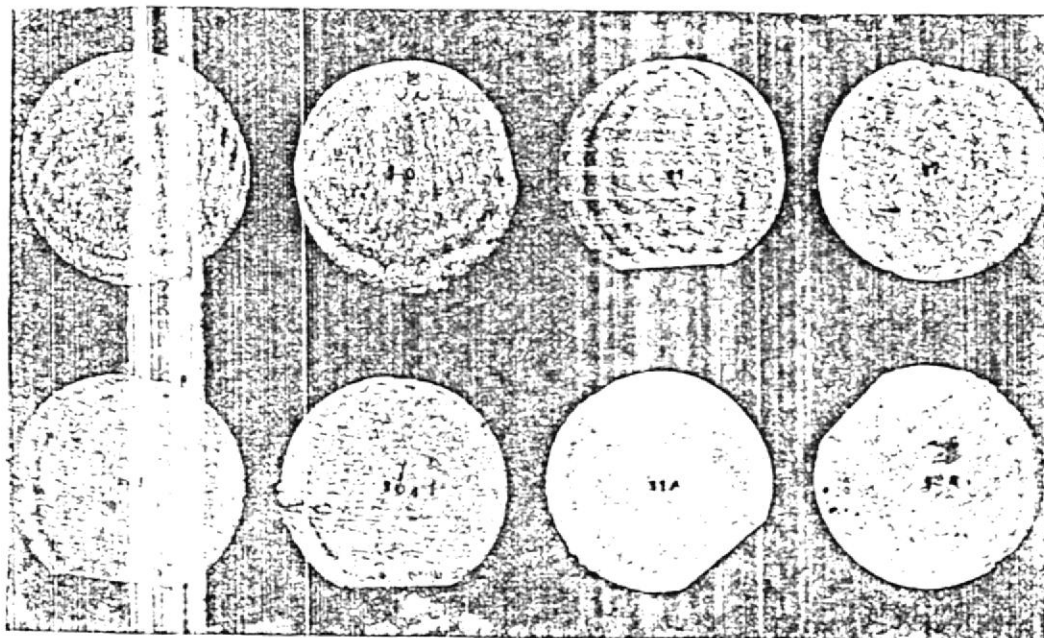


MOLDEO CON ARENA EN VERDE

Se observan secciones de piezas fundidas de hierro gris que presentan rechupes.

TEMPERATURA DE COLADO: de 1.200 a 1.500°C

FIG. N° 16



Se observa el mejoramiento de la calidad de las secciones de piezas fundidas de hierro gris con el uso del proceso de moldeo de Silicato-CO<sub>2</sub>

TEMPERATURA DE COLADO: de 1.200 a 1.500°C

FIG. N° 17

Este defecto se muestra en la Fig. 18, puede constituir un grave problema especialmente cuando se presenta en áreas de la fundición relativamente inaccesibles. La causa básica de las vetas es el fisuramiento de la superficie del corazón producida por la expansión que acompaña a la arena silícea al cambiar de forma  $\alpha$  a  $\beta$  durante el calentamiento y la inestabilidad del aglutinante en el campo de la deformación plástica. El metal líquido penetra en estas grietas y forma las bien conocidas VETAS. La posible razón por la que no se encuentran estos defectos en el proceso de Silicato-CO<sub>2</sub> es la naturaleza plástica del aglutinante de silicato de sodio a altas temperaturas, lo cual permite deformaciones bajo los esfuerzos impuestos por la arena silícea en transformación./

## 2.- Costras /

/ Esta es otra forma de defecto superficial, el cual es raramente encontrado en moldes y corazones hechos por el proceso de Silicato-CO<sub>2</sub>/ . Un ejemplo de la presencia de este defecto es mostrado en la Fig. 19, el problema se produce en la fundición de hierro de un volante. / Costras de este tipo se producen cuando la superficie de un molde, tiende a expandirse bajo la acción del calor, lo que ocasiona, cuando la capa exterior de arena es pobre en aglutinante, que ésta se desprenda del corazón. Las medidas que se deben tomar para prevenir este tipo de defecto son: /

- a. Asegurarse que se ha efectuado una mezcla perfecta entre la arena y el aglutinante de silicato de sodio.
- b. Obtener un completo endurecimiento del molde o corazón durante el gaseado, evitando las superficies más endurecidas que otras.
- c. Evitar el uso de arena silíceas con una distribución de grano pobre, Se producen problemas cuando la arena tiene una distribución de grano tal que el 80% es retenido en dos mallas consecutivas. Mejores resultados se han obtenido con arenas con una mejor distribución de grano, ésto es que el 80% sea retenido en tres o cuatro mallas consecutivas.

### 3.- Porosidad

La baja evolución de gases producida en las arenas aglutinadas con silicato, hace que este tipo de defecto sea muy poco común en este proceso.

Este problema, cuando se presenta, es generalmente debido a una mala distribución o un defectuoso endurecimiento del silicato de sodio causado por una mala mezcla de arena. En la Fig. 20 se puede observar este tipo de defecto ocasionado por una mala mezcla del silicato de sodio con la arena de moldeo.

### 4.- Acabado Superficial

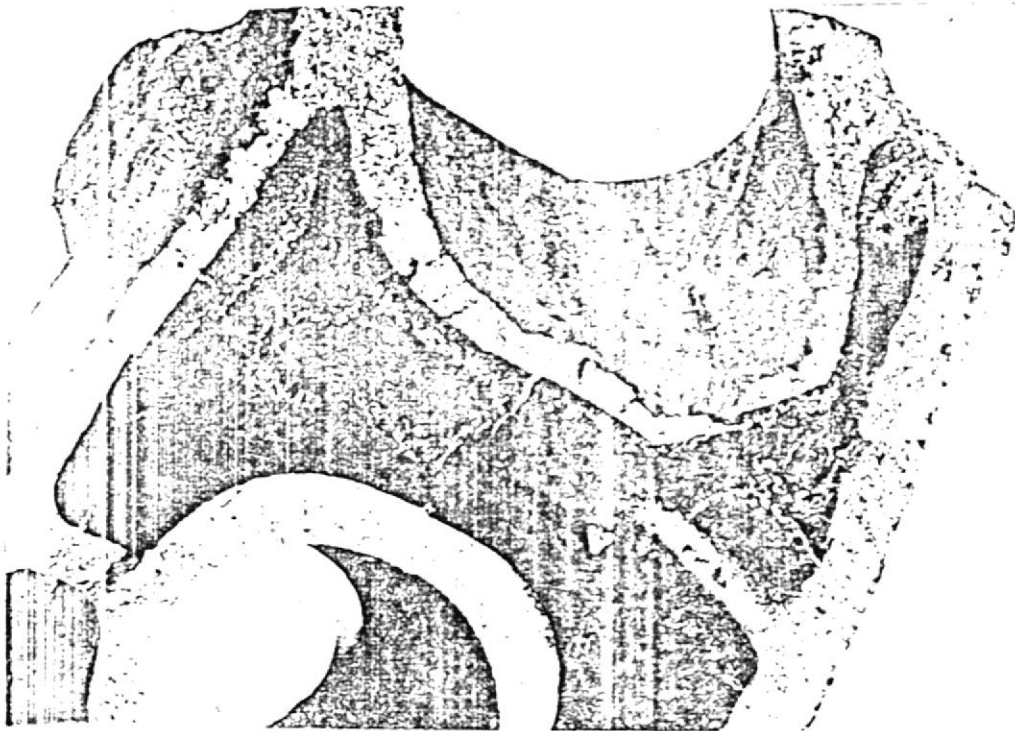
Los moldes corazones hechos por el proceso de Silicato -CO<sub>2</sub>

tienen normalmente una capa protectora que previene la penetración del metal y la formación de quemaduras.

Penetración de metal es el resultado de que el metal fundido pasa a través de la masa de arena y produce un agregado heterogéneo de metal arena que se adhiere a la superficie de la fundición, las quemaduras son adherencias de sinterizados o partes aglomerantes fusionados o arena a la superficie de la fundición. La diferencia entre la penetración de metal y quemaduras es ilustrado en las Figs. 21 y 22 la cual muestra microestructura de los defectos.

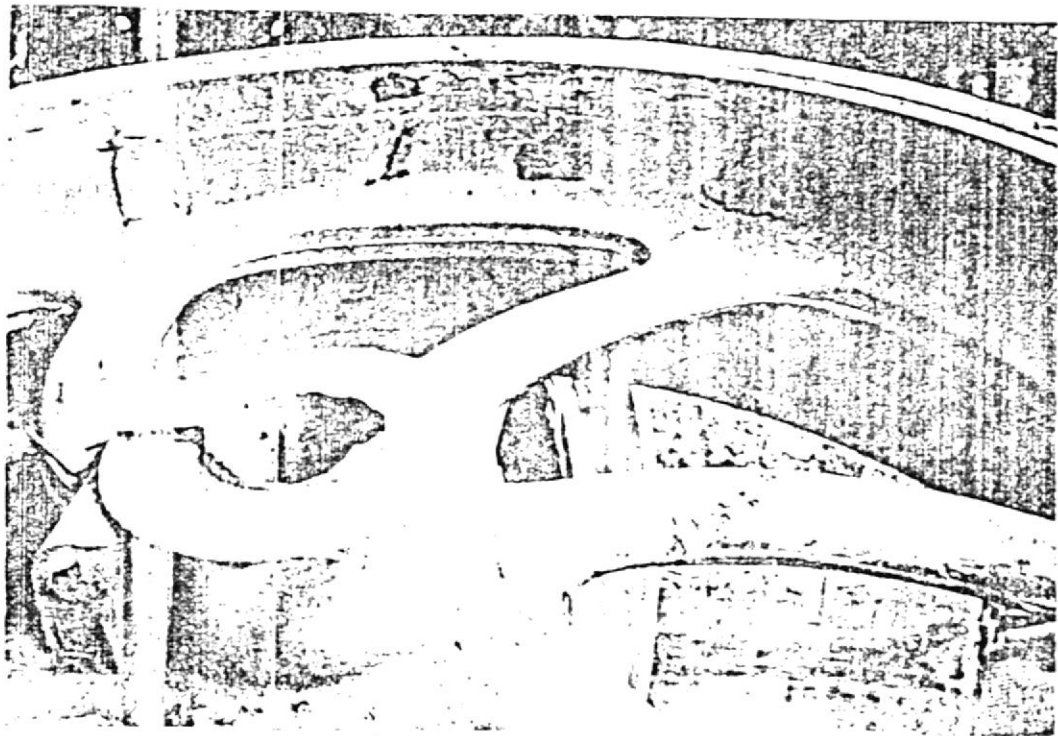
Ambas condiciones producen superficies finales rugosas. Las siguientes medidas sirven para mejorar el acabado superficial de fundiciones hechas con arenas aglutinadas con silicato:

- a. La sustitución de arena de tamaño de grano fino por otras de grano grueso o medio para la producción de moldes y corazones. Esto es especialmente importante cuando se involucran grandes presiones ferroestáticas, por ejemplo durante la fundición de grandes piezas.
- b. El uso de mezcla de arena, las cuales contengan como aditivos sustancias carbonadas tales como carbón en polvo o brea. De estas dos sustancias la más efectiva para mejorar el acabado superficial es la brea.
- c. Una buena compactación de los moldes y corazones. Prin-



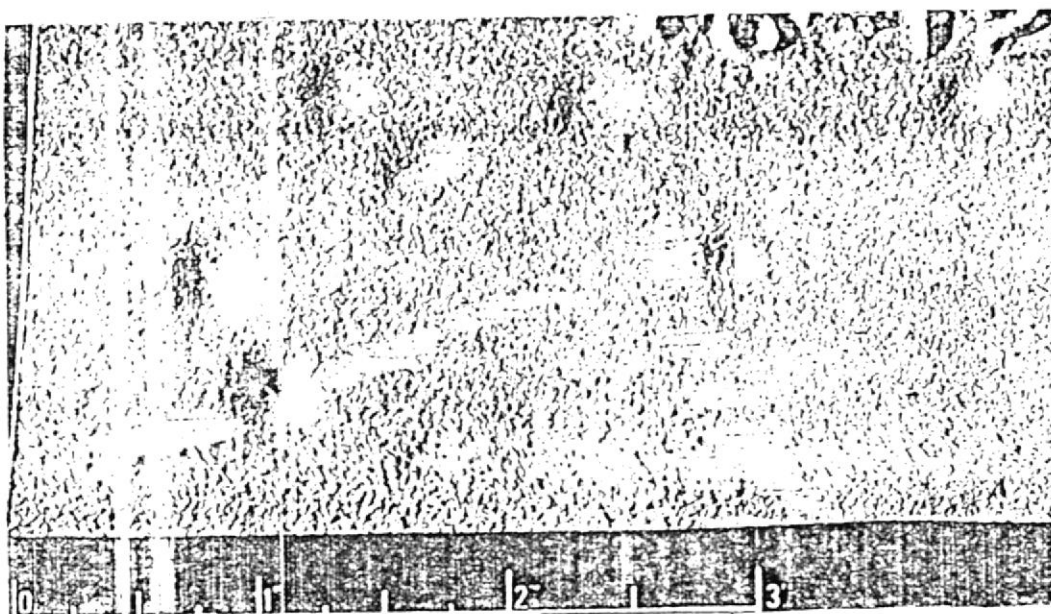
PIEZA DE HIERRO GRIS QUE REPRESENTA EL DEFECTO  
CONOCIDO COMO VETA

FIG. N° 18



DEFECTO DE COSTRA EN UN VOLANTE FUNDIDO

FIG. Nº 19



DEFECTOS DE POROS EN LA SUPERFICIE

FIG. Nº 20



Granos de arena

Penetración de Hierro

Superficie de la  
Fundición.

PENETRACION DE HIERRO EN  
EL MOLDE DE ARENA

FIG. Nº 21



Granos de arena

Medio de contacto

Producto de la reacción  
Método-Molde

ARENA QUEMADA EN LA SUPER-  
FICIE DE HIERRO

FIG. Nº 22

principalmente áreas sin resistencia en las bases de grandes moldes y corazones deben ser evitadas.

- d. Hay que evitar una temperatura de colado excesivamente alta, la cual da como resultado penetraciones de metal severas y profundas. /

### 3.6 ADITIVOS

Como su nombre lo indica, los aditivos son sustancias que se agregan a la mezcla arena-silicato de sodio para mejorar la colapsibilidad, el desmoldeo y/o el acabado superficial de las piezas coladas. /

Entre los principales aditivos tenemos:

- Arcillas

Las arcillas son agregadas a la mezcla por las siguientes razones:

1. Para aumentar la resistencia en verde de la mezcla con el fin de prevenir las distorsiones y rebabas cuando los patrones son sacados de los moldes antes de ser gaseados.
2. Para mejorar la cualidad del manipuleo de las arenas aglutinadas con silicato y también para prevenir que la caja de corazones se pegue al patrón.
3. Para mejorar la colapsibilidad de los moldes.

Hay dos tipos de arcillas que son añadidas a las arenas aglutinadas con silicato, la caolinita y la bentonita (de calcio o de sodio).

Cuando sea necesario incluir arcilla como aditivo, los siguientes puntos tienen que ser recordados:

1. Es preferible utilizar caolinita (arcilla de bola) que bentonita. Para obtener la resistencia en verde adecuada es necesario adiciones de 2 al 3%.
2. Si arcillas de bentonita son añadidas para obtener altas resistencias en verde, al gasear la mezcla se pierde parte de esta resistencia.
3. En alguna ocasión puede ocurrir que la mezcla requiera de agua adicional, normalmente de 0.5% por cada 1-2% de arcilla. El agua debe ser bien dispersada en la arena antes de que el silicato de sodio y la arcilla puedan ser añadidas.
4. La adición de arcilla puede disminuir la fluidez de la mezcla arena-silicato, lo cual da como resultado corazones de baja densidad (mala compactación) cuando se usan máquinas sopladoras de corazones.

Ejemplos típicos del incremento de la resistencia en verde, cambios en la resistencia después del gaseado y durante el almacenamiento son mostrados en la tabla # 5, para mezclas que contie-

nen hasta 3% de arcilla.

- Carbón en polvo

Este es uno de los aditivos más comunmente usados, su función es mejorar el acabado superficial de las piezas coladas y facilitar la colpasibilidad. El carbón en polvo usado para las fundiciones es producido de carbón bituminoso y contiene aproximadamente el 30% de materia volátil, algunos productores suministran el polvo de carbón en un rango de diferentes tamaños, el grano grueso comenzó a usarse en mezcla de arena con la intención de producir piezas fundidas de gran sección; el análisis de tamizado de algunas propiedades de grado comerciales de carbón en polvo son suministradas en la tabla # 6.

La velocidad de la reacción de endurecimiento en una mezcla de arena es influenciada por la calidad de carbón en polvo; para grandes adiciones el endurecimiento ocurre más rápidamente. Con grandes adiciones de carbón en polvo de tamaño de grano fino se puede llegar a alcanzar un punto donde la resistencia se deteriora, como se muestra en la tabla # 7. Se debe tener en cuenta ésto en los casos en los que se añade de 5 a 6% de carbón en polvo para obtener una buena colapsibilidad y acabado superficial.

- Brea (alquitran)

Es usado al igual que el carbón en polvo para obtener una buena

colapsibilidad y acabado superficial. La brea con consistencia de polvo fluye libremente; este polvo está constituido de partículas esferoidales. El tamaño del grano muestra que el 40% al 60% queda retenido en los tamices 100 y 200 y que cerca del 10% pasa del tamiz 200. Este material contiene cerca del 92% de carbón y el total de materia volátil está entre el 50 y 60%, normalmente se añade entre 0.5 y 1% a la arena aglutinada con silicato. La adición del más del 1% no tiene efectos considerables sobre la resistencia después del gaseado, como se muestra en la tabla # 8.

#### - Carbohidratos

Textrina puede ser añadida para aumentar la resistencia en verde de las mezclas de arena y silicato de sodio y ayudar a la colapsibilidad; almidón puede ser usado para el mismo propósito. Estas sustancias pueden incrementar la consistencia de la mezcla, causando una reducción de la fluidez de la misma y problemas cuando se soplan corazones complicados para un porcentaje de aditivo dado, la dextrina desarrolla mayores resistencias en verde y es menos dañina a la resistencia después de gaseado y resistencia de almacenaje que el almidón. Las dos sustancias ayudan al desmoldeo en igual forma. Algunos silicatos de sodio particulares contienen como aditivos azúcar o molazas.

T A B L A N º 5

RESISTENCIA A LA COMPRESION (Lb/pulg<sup>2</sup>)  
DE ARENA ERITH CON 4% DE SILICATO DE SODIO  
CON UN MODULO DE 2:1, 4,5°Be, GASEADA CON UN FLUJO DE  
2.5 L/min, CON ADICION DE ARCILLA HASTA 3%

Propiedad		Sin adición	+1% Arcilla	+2% Arcilla	+3% Arcilla
Resistencia en verde		0.8	1.02	1.36	2.0
Resistencia después de gasear	30 seg.	33	70	94	108
	60 seg.	136	169	185	167
Resistencia después de 24 horas	30 seg.	806	650	360	295
	60 seg.	304	325	232	217

T A B L A    N<sup>o</sup>    6

PROPIEDADES DEL CARBON EN POLVO

Proveedores	Grado	Contenido Materia			Análisis de Tamizado						
		de ceniza %	Volátil %		% retenido en malla						
					22	30	60	100	150	200	-200
Wm. Cumming and. Co. Ltd.	Grueso	6.2	33	1½	9.4	50.5	34.0	0.8	1.0	0.8	3.5
	Medio	9.7	30	1	1.6	5.1	18.2	17.4	9.4	9.9	38.4
	Mediofino	10.0	30	1	-	0.5	17.7	18.8	9.4	9.0	44.6
	Fino	8.8	29	1	0.1	0.5	5.1	14.0	12.9	12.2	55.2
	Superfino	7.0	31	1	-	0.1	1.6	5.9	9.2	14.8	68.4
James Durranas & Sons Ltd.	Superfino # 99	5.8	33	1¾	-	-	1.0	4.5	8.8	15.0	70.7
British Foundry Units Ltd.	Fino medio	14.0	33	1½	2.5	9.0	23.0	20.0	8.0	7.5	30.0
	*F.M. bajo ceniza	4.5	31	1½	1.0	4.5	10.0	11.0	16.0	16.5	41.0
	Superfino	13.0	33	1½	0.1	0.6	6.0	12.0	13.0	11.5	56.8
	**S.F.bajo ceniza	5.0	31	2	-	0.5	4.5	10.0	12.8	12.0	60.2
Thomas Hill Jones Ltd.	Grueso # 24	16.6	26	1½	0.2	6.4	28.1	20.6	9.6	8.8	26.3
	Superfino # IF	-	-	-	-	0.2	0.8	6.1	10.0	13.3	69.6

\* Fino medio , bajo ceniza

\*\* Super fino, bajo ceniza

T A B L A N º 7

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ARENA ERITH CON 4% DE SILICATO DE SODIO  
CON MODULO DE 2:1, 4,5°Be, CON ADICION DE CARBON EN POLVO  
HASTA 4%, FLUJO DE CO<sub>2</sub> 2.5 L/min

Propiedad	Resistencia a la Compresión (Lb/pulg <sup>2</sup> )					
	Sin aditivo	+1% Carbón en polvo	+ 2% Carbón en polvo	+3% Carbón en polvo +4% Carbón en polvo		
Resistencia después de gasear	30 seg	22	69	105	129	143
	60 seg.	102	166	211	195	193
Resistencia después de 24 horas	30 seg.	1510	784	448	454	352
	60 seg.	910	508	409	318	327

T A B L A N° 8EFFECTO DE LA BREA COMO ADITIVO

Tiempo de Gaseado (seg.)	Resistencia a la compresión (Lb/pulg <sup>2</sup> )	
	Sin aditivo	1% Brea
30	16	22
60	80	86
90	144	141
120	195	190

## C A P I T U L O   I V

### TRABAJO EXPERIMENTAL

#### 4.1 TECNICA EXPERIMENTAL

El objetivo básico de la experimentación es la de establecer claramente la factibilidad de uso de materias primas existentes en nuestro medio en las implementación del proceso de Silicato-CO<sub>2</sub>.

Es decir, las materias primas usadas en el proceso, serán nacionales o se las consigue fácilmente en el mercado nacional.

Específicamente, se va a controlar la conveniencia de ciertas arenas con respecto al proceso mismo, por medio de variables tales como el tamaño y distribución de grano, contenido de humedad y permeabilidad.

Las pruebas de control a efectuarse sobre dichos parámetros tienen como finalidad la de establecer, basándose en las recomendaciones hechas en la información bibliográfica, cuáles arenas pueden ser usadas en condiciones que se encuentran naturalmente en el yacimiento, preferentemente o sometiénolas a un mejoramiento por medio de lavado y tamizado.

Se controlará también las características del silicato de sodio

existente en nuestro medio, de su módulo y densidad.

En cuanto al proceso mismo se requiere controlar diferentes variables, lo cual se perseguirá inicialmente realizando un control de laboratorio de las mismas, es decir, ensayando las diferentes mezclas de arena-silicato por medio de pruebas de variación de presión y tiempo de gaseado, vida de banco, dureza de ensayos de compresión que nos registrarán las variaciones de la resistencia de los futuros moldes con respecto a las mismas mezclas, presiones y tiempos de gaseado.

Finalmente, se comprobarán los resultados de los ensayos de laboratorio arriba indicados, realizando pruebas de colado en planta, para corroborar la factibilidad del uso de las materias primas seleccionadas para la consecución de los objetivos del proceso en cuestión de características metalúrgicas, tales como tolerancias dimensionales, acabado, superficial, etc.

En definitiva, las pruebas de planta constituyen un examen final para el control del proceso y materias primas, pues se podrá aceptar o rechazar los datos suministrados por dichos ensayos de control

**NOTA:** Los resultados experimentales se presentarán en este capítulo en forma de tablas, las cuales contendrán solamente los valores promedios.

Para determinar cada valor promedio se efectuaron 3 pruebas.

Material utilizado:

- Arena Silícea "Limón 1"
- Arena Silícea "Limón 2"

Equipo Utilizado

- Máquina tamizadora de arena con sus respectivos tamices # 20, 40, 50, 70, 100, 140, 200 y fondo, Modelo RP-TAP, Serie 134136.
- Balanza con  $\pm 0.01$  de precisión.

Procedimiento

Fue realizado de acuerdo con las normas A.F.S.

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

#### 4.2.2 Silicato de Sodio

El silicato de sodio utilizado en este trabajo fue adquirido en Holanda Ecuador y tiene las siguientes especificaciones:

Tipo	S-58/60
Relación $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$	2.0:1.0
% $\text{Na}_2\text{O}$	18.00
% $\text{SiO}_2$	36.00
Grados Be	$59.0 \pm 1.00$
Densidad aproximada	1.70
Viscosidad	70,000cps

PRUEBA MALLA# #	1	2	3	PROMEDIO
20	4.9	4.5	3.4	4.27
40	16.0	15.5	15.1	15.53
50	13.6	13.3	13.2	13.37
70	8.8	8.9	9.0	8.9
100	5.5	6.0	6.6	6.03
140	1.0	1.1	1.6	1.23
200	0.40	0.5	0.6	0.5
FONDO	0	0	0	0

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA ARENA "LIMON 1"

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL LABORATORIO DE FUNDICION							
DESIGNACION: ARENA "LIMON 1"							
Proveedor: Sr. Raúl Illescas			Fecha: 30/7/81				
Procedencia: Prov. Napo			Cantidad en Kg.: 100 Kg				
Análisis No.:			Empleo: Tesis				
EXAMEN DE RECEPCION							
Estado de llegada: Húmedo			Color: Blanco				
Contenido de agua: 10%			Retenido en malla de 3mm.				
ENSAYOS			Forma de granos:				
Materiales im- palpables ( $< 20 \mu$ ) ..... %							
Contenido de arcilla ..... %							
REFRACTARIEDAD							
Sinteriza a ..... °C							
Funde a ..... °C							
ANALISIS GRANULOMETRICO			TAMIZ 100                      50 X				
Tamiz	Ret.	Ret.	Factor	Prod.			
No. Malla	gr.	%					
20	4.27	8.54	10	85.4			
40	15.53	31.06	20	621.2			
50	13.37	26.74	40	1069.6			
70	8.90	17.80	50	890.0			
100	6.03	12.06	70	844.2			
140	1.23	2.46	100	246.0			
200	0.5	1.0	140	140.0			
Fondo	-	-	200	-			
Totales	49.83	99.66		3896.2			
INDICE DE FINURA A.F.S.			39				
ANALISIS QUIMICO							
FRACCION	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca O			
OBSERVACIONES:							

PRUEBA # MALLA #	1	2	3	PROMEDIO
20	0.2	0	0	0.07
40	6.1	6.3	6.0	6.13
50	11.8	11.4	11.2	11.47
70	12.8	12.3	13.0	12.70
100	14.0	14.3	14.9	14.40
140	3.3	3.9	3.0	3.40
200	1.0	1.3	0.9	1.07
FONDO	0.5	0.8	0.3	0.53

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA ARENA "LIMON 2"

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL							
LABORATORIO DE FUNDICION							
DESIGNACION: ARENA "LIMON 2"							
Proveedor: Raúl Illescas			Fecha: 30/7/81				
Procedencia: Prov. Napo			Cantidad en Kg.: 100 Kg				
Análisis No.:			Empleo: Tesis				
EXAMEN DE RECEPCION							
Estado de llegada:			Color:				
Contenido de agua:			Retenido en malla de 3mm.				
ENSAYOS			Forma de granos:				
Materiales im- palpables ( $< 20 \mu$ ) ..... %							
Contenido de arcilla ..... %							
REFRACTARIEDAD							
Sinteriza a ..... °C							
Funde a ..... °C							
ANALISIS GRANULOMETRICO					TAMIZ 100	50 X	
Tamiz	Ret.	Ret.	Factor	Prod.			
No.	Malla	gr.	%				
20		0.07	0.14	10			1.4
40		6.13	12.26	20			245.2
50		11.47	22.94	40			917.6
70		12.70	25.40	50			1270.0
100		14.40	28.80	70			2016.0
140		3.40	6.80	100			680.0
200		1.07	2.14	140			299.6
Fondo		0.53	1.06	200			212.0
Totales		49.77	99.54		5641.80		
INDICE DE FINURA A.F.S.				57			
ANALISIS QUIMICO							
FRACCION	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca O			
OBSERVACIONES:							

No contiene ningún tipo de aditivo de los mencionados en el capítulo anterior, en el punto 3.6.

Para preservarlo se lo mantiene guardado en botellas de vidrio de un galón con tapa enroscable.

Una muestra de silicato de sodio fue diluida en agua a aproximadamente  $42^{\circ}\text{Be}^*$ .

Esta muestra ya diluida fue introducida en una bureta de 10cc. una vez llenada la bureta se abrió la llave y se tomó el tiempo el cual fue de 47 segs.

Tomando como base este tiempo y la bureta se procedió a diluir el resto del silicato.

Esta forma de diluir el silicato se puede tomar como un método práctico y rápido para conseguir la densidad deseada, hay que tener en cuenta que cada vez que se compre el silicato su densidad debe ser comprobada por medio de densímetros y luego se seguirá el procedimiento indicado.

#### 4.3 ENSAYO DE CONTROL DE MEZCLAS

En esta parte del trabajo experimental se determinará los valores

\* Para conseguir esta densidad se diluyó el silicato de sodio usando la siguiente relación en volumen:

Silicato de Sodio: Agua

1: 1.5

adecuados de las variables del proceso para nuestra aplicación en particular.

Entendiéndose como variables del proceso el porcentaje de silicato de sodio en la arena, tiempo y presión de gaseado de la mezcla.

El control de las mezclas se realizará por medio de ensayos de compresión, dureza, permeabilidad, contenido de agua de la arena y pruebas de vida de banco.

#### 4.3.1 Compresión

El ensayo de compresión es el más representativo de todos los ensayos, para el control de una mezcla de arena-silicato que va a ser utilizada posteriormente en la fabricación de moldes o corazones, por tanto, este ensayo es el indicado para realizar las pruebas de control de mezclas.

El procedimiento seguido para realizar estos ensayos es:

##### Material utilizado

Se utilizaron las arenas "Limón 1" y "Limón 2" mezcladas con porcentajes de silicato de sodio que varían entre 4 y 10%, estas mezclas fueron gaseadas con flujos de CO<sub>2</sub> que variaron entre 2 y 10 L/min y con tiempos de gaseo de 20 a 100 seg.

##### Equipo utilizado

- Molino mezclador de arena, marca Simpson Mix-Muller, Multi-

Mull, modelo LF.

- Balanza de precisión ( $\pm 0.01\text{gr}$ )
- Dispositivo para conformar las probetas de compresión estándar.
- Equipo de gaseado, Fig. 23-24
- Cronómetro
- Máquina Universal de ensayos de arena, tipo 405 de Harry W. Dietert Co.
- Dispositivo para el ensayo de compresión

#### Procedimiento

- Se pesa la arena y el silicato de sodio
- Se los introduce en el molino mezclador de arena y se lo mezcla durante 8 min.
- Se pesan aproximadamente 157 gr. de la mezcla para cada probeta estándar.
- Se introduce la mezcla en el dispositivo para compactación de probetas estándar.
- La probeta compactada y dentro del dispositivo para conformación, es gaseada a la presión y durante el tiempo seleccionado utilizando el equipo de gaseado y el cronómetro.
- La probeta ya gaseada es sacada del dispositivo de conformación de probetas estándar y colocada en el dispositivo para ensayos de compresión en la máquina universal de ensayos de arenas.
- Se realiza el ensayo de compresión y se anotan los valores

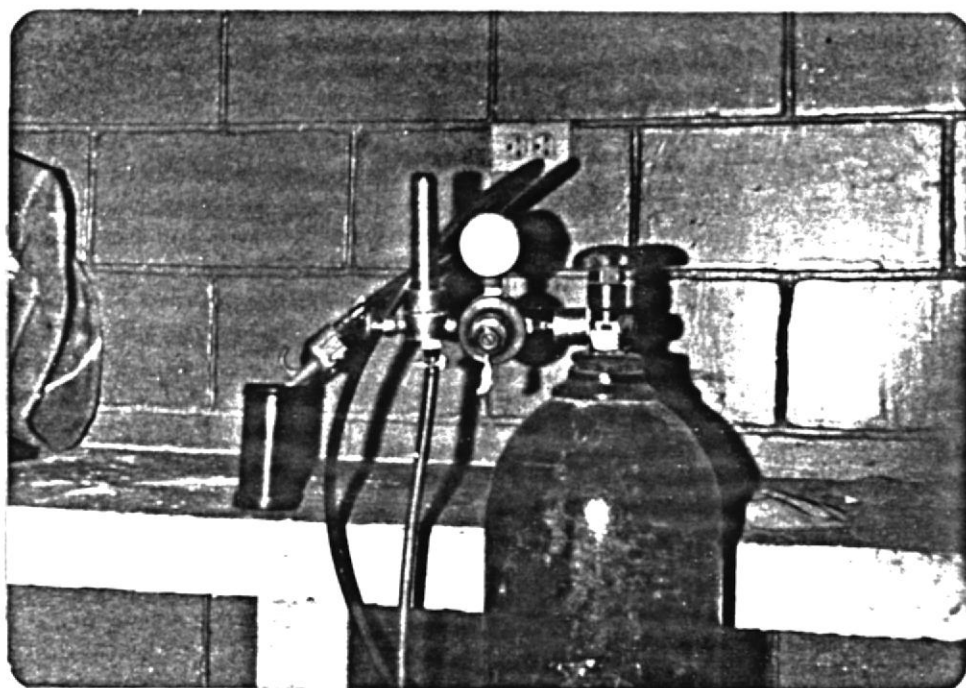


FIG. N° 23.- Equipo de Gaseado

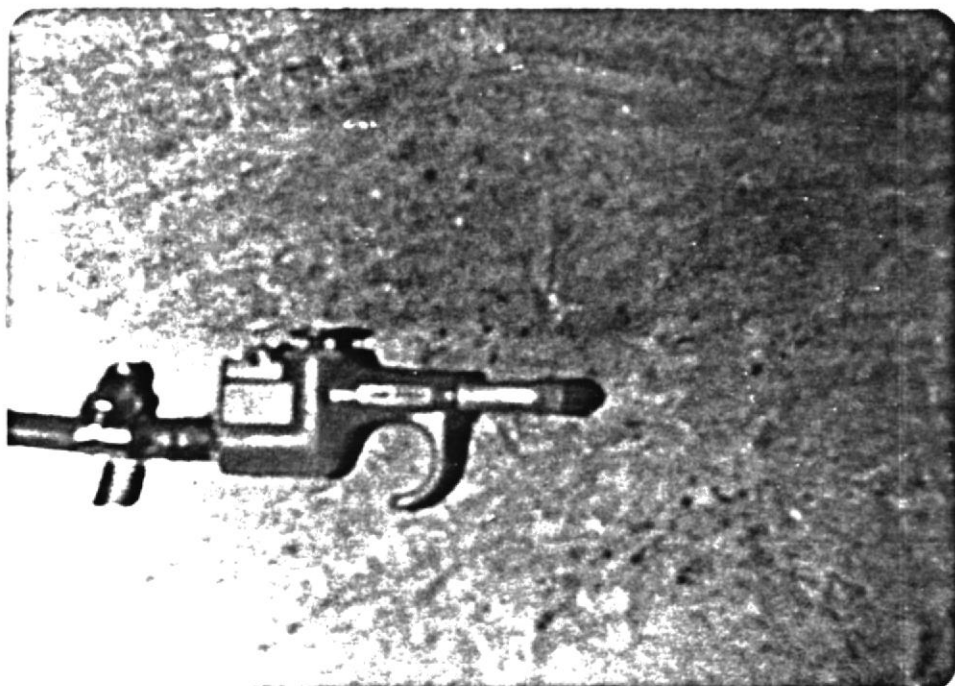


FIG. Nº 24.- Pistola utilizada para gasear

- Los valores obtenidos se tabulan y se sacan promedios
- Se repite el procedimiento para cada tiempo y presión de gaseado y para cada arena.

### Resultados

Los resultados obtenidos son presentados en las tablas siguientes:

#### EFFECTO DEL FLUJO DE GAS

FLUJO DE GAS L/min	Resistencia de compresión promedio (Lb/pulg <sup>2</sup> )	
	LIMON 1	LIMON 2
2	190.33	144.67
4	192.37	152.33
6	194.67	153.00
8	191.00	150.00
10	190.67	152.67

Silicato de Sodio 4%  
Tiempo de Gaseado 40 seg.

#### EFFECTO DEL PORCENTAJE DE SILICATO DE SODIO

% Silicato de Sodio	Resistencia a la Compresion Promedio (Lb/pulg <sup>2</sup> )	
	LIMON 1	LIMON 2
3	125.33	-
4	157.67	152.33
5	156.67	158.00
6	157.67	150.00
7	143.00	-
8	126.00	120.00
10	-	106.33

Flujo de Gas 4 L/min  
Tiempo de gaseado 20 seg.

RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO (Lb/pulg<sup>2</sup>)

% Silicato de sodio	L I M O N 1					L I M O N 2				
	4	5	6	8	10	4	5	6	8	10
20	142.00	118.00	130.00	104.67	86.67	152.67	158.00	150.00	120.00	106.33
30	167.00	193.33	162.33	136.33	118.00	168.67	184.33	178.00	160.00	148.00
40	184.33	180.67	181.33	152.00	145.67	176.33	186.67	192.00	201.00	188.00
50	192.33	182.67	198.00	200.00	176.67	179.33	192.33	208.67	222.00	206.00
60	190.67	200.67	200.67	206.33	193.00	186.33	198.33	210.67	234.33	214.00
80	184.33	206.33	238.67	252.67	196.33	175.33	204.00	211.67	228.00	261.67
100	180.00	202.00	214.00	255.67	243.33	174.00	206.67	210.67	227.67	258.67
120	-	-	-	-	271.33	-	-	-	-	-

Flujo de Gas 4 L/min

#### 4.3.2 Permeabilidad

La permeabilidad se define como la propiedad física de la masa moldeada de una mezcla de arena que permite el paso de gas a través de la misma. Se determina por la cantidad de aire que puede pasar a través de una muestra cilíndrica de norma AFS (50.8mm x 50.8mm) bajo condición de presión también normalizada. Las propiedades de ventilación de los moldes y corazones de arena dependen de las propiedades de permeabilidad.

Una mezcla de arena de permeabilidad elevada tiene buenas propiedades de ventilación debido a su porosidad. El tamaño de grano de una arena para fundición, la forma y distribución de los mismos, el tipo y cantidad de material aglutinante, la densidad a que la arena se ha compactado y el porcentaje de humedad que contiene la arena constituyen factores importantes para regular el grado de permeabilidad.

En nuestro trabajo experimental hemos determinado la Permeabilidad de Macho que se define como: "La propiedad física que permite el paso de gas a través de una mezcla de arena moldeada que ha sido curada por uno o una combinación de los métodos siguientes:

1. Horneado a una temperatura mayor a 110°C.
2. Semicurado, autoendurecido a temperatura ambiente hasta un estado manejable; seguido por un horneado a más de 110°C

3. Autocurado, completado el endurecimiento a temperatura ambiente.
4. Horneado por alta frecuencia.
5. Calentamiento infrarrojo
6. Endurecimiento por gas.

Material utilizado:

- Las mezclas de arena-silicato utilizadas en los ensayos de compresión.

Equipo utilizado

- Permeámetro. Tipo 335-B de Harry W. Dietert Co.
- Cronómetro

Procedimiento Seguido

De acuerdo a las Normas AFS

#### 4.3.3 Contenido de Agua

El contenido de agua de una arena se mide por el porcentaje en peso del agua contenida en la arena.

Se determina este porcentaje haciendo pasar aire caliente a través de la arena, consiguiéndose con ésto secar la arena completamente, es decir, se elimina el agua de la arena.

El método experimental es el siguiente:

EFFECTO DE PORCENTAJE DE SILICATO  
SOBRE LA PERMEABILIDAD AFS

% SILICATO DE SODIO	PERMEABILIDAD AFS PROMEDIO	
	LIMON 1	LIMON 2
4	363.33	216.67
5	351.67	206.67
6	340.00	200.00
8	331.67	196.67
10	330.00	190.00

## Material utilizado

- Arena Limón 1
- Arena Limón 2

## Equipo utilizado

- Determinador de humedad. Tipo 276 de Harry W. Dieter Co.
- Balanza de Precisión ( $\pm 0.01$  gr)

## Procedimiento seguido:

De acuerdo a las Normas AFS

## CONTENIDO DE HUMEDAD:

Arena "Limón 1"

Tiempo 4 min.

Temperatura: 110°C

Peso de la muestra = 50 gr.

	1	2	3	PROM.
Peso de la muestra seca (gr.)	49.7	49.7	49.6	49.67

$$\% \text{ Humedad} = \frac{50 - 49.67}{50} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = 0.66$$

Arena "Limón 2"

Tiempo 4 min.

Temperatura 110°C

Peso de la muestra = 50 gr.

	1	2	3	PROM.
Peso de la muestra seca	49.65	49.65	49.7	49.67

$$\% \text{ Humedad} = \frac{50 - 49.67}{50} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = 0.66$$

#### 4.3.4 Vida de Banco

Se entiende por Vida de Banco el tiempo promedio que una mezcla de arena-aglutinante puede ser almacenada, sin que pierda sus propiedades.

Las mezclas de arena-silicato en las cuales el silicato de sodio tiene un módulo de 2:1 tienen una relativamente larga vida de banco. Cuando la mezcla es expuesta al aire se forma gradualmente en la superficie una costra dura, la cual se produce principalmente por la evaporación del agua del aglutinante. Para evitarse este problema se almacena la mezcla en recipientes cerrados, en recipientes abiertos pero se los tapa herméticamente con láminas de plástico, o simplemente se los cubre con un trapo mojado.

Cuando el módulo del silicato de sodio aumenta, la vida de banco de la mezcla se acorta considerablemente, ya que el problema de la costra formada en la superficie de la mezcla se agrava, lo que ocasiona que las propiedades de la mezcla se deterioren.

Hay que tener mucho cuidado cuando se adiciona arcilla, especialmente bentonita, ya que las propiedades de las mezclas, sobre todo las que contienen silicato de sodio con módulos elevados, se reducen drásticamente.

Para nuestras pruebas de vida de banco se selecciona la mezcla con 6% de silicato de sodio, se gasearon durante 60 seg. a un flujo de 4 L/min., ya que según los resultados obtenidos en las pruebas de compresión, esta mezcla gaseada en estas condiciones nos da una resistencia adecuada para cualquier tipo de corazón o molde.

Las pruebas de vida de banco se realizaron durante 8 horas ya que se considera que es el máximo tiempo que la mezcla va a estar almacenada en la planta.

Nuestra técnica operativa se detalla a continuación:

Material utilizado:

- Arena "Limón 1"
- Arena "Limón 2"
- Silicato de sodio con módulo 2:1
- CO<sub>2</sub>

Equipo utilizado

- Molino mezclador de arenas
- Balanza de precisión ( $\pm 0.01$  gr)

- Máquina Universal de Ensayos de Arena
- Equipo de Gaseado
- Dispositivos para conformar y compactar probetas estándar para ensayos de compresión.
- Cronómetro.

#### Procedimiento

- Se preparó la mezcla de igual manera que en el punto 4.3.1
- Se gaseó durante 60 seg.
- Se realizaron los ensayos de compresión.
- Se repitió el procedimiento cada hora durante ocho horas.
- Se tabulan los resultados y se saca promedios, lo cual se presenta a continuación:

#### VIDA DE BANCO

TIEMPO (HORAS)	Resistencia a la Compresión Promedio (Lb/pulg <sup>2</sup> )	
	LIMON 1	LIMON 2
0	200.67	210.67
1	195.33	208.00
2	195.67	207.67
3	196.33	205.33
4	198.00	206.33
5	200.33	206.67
6	198.33	206.00
7	197.33	205.33
8	196.67	205.00

Tiempo de Gaseado 60 seg.  
 Flujo de Gas 4 L/min  
 Silicato de sodio 6%

#### 4.3. Dureza

La dureza de las probetas gaseadas se la determina por medio de un durómetro para corazones. Este durómetro consiste en un indentador y una escala graduada de cero a cien, en la cual se lee directamente la dureza de la probeta.

Las pruebas de dureza las haremos, al igual que las pruebas de vida de banco, a las probetas hechas con mezclas que contienen 6% de silicato de sodio, gaseadas durante 60 seg. y con un flujo de gas de 4 L/min.

La técnica operativa es la siguiente:

Material utilizado

- Arena "Limón 1"
- Arena "Limón 2"

Con las cuales se produjeron las probetas con las características arriba señaladas.

Equipo utilizado

- Durómetro para corazones. Tipo 674 de Harr W. Dietert Co.

Procedimiento

- Las probetas ya gaseadas se las coloca sobre una superficie plana.
- Se aplica el durómetro perpendicularmente a la cara de la

probeta a ensayarse.

- Se lee la dureza directamente de la carátula.
- Se repite el procedimiento para cada probeta.
- Se tabulan los resultados, los cuales se presentan a continuación:

#### PRUEBAS DE DUREZA

PROBETA #	DUREZA PROMEDIO	
	LIMON 1	LIMON 2
1	81.67	88.67
2	83.33	88.67
3	83.33	84.33

Silicato de Sodio 6%

Tiempo de gaseado 60 seg.

Flujo de Gas 4 L/min.

A continuación se grafican estos resultados en forma de curvas, en las cuales se puede evaluar en mejor forma y visualmente las tendencias, determinar valores suficientes, es decir, obtener los resultados deseados y a la vez económicos:

ARENA "LIMON 1"

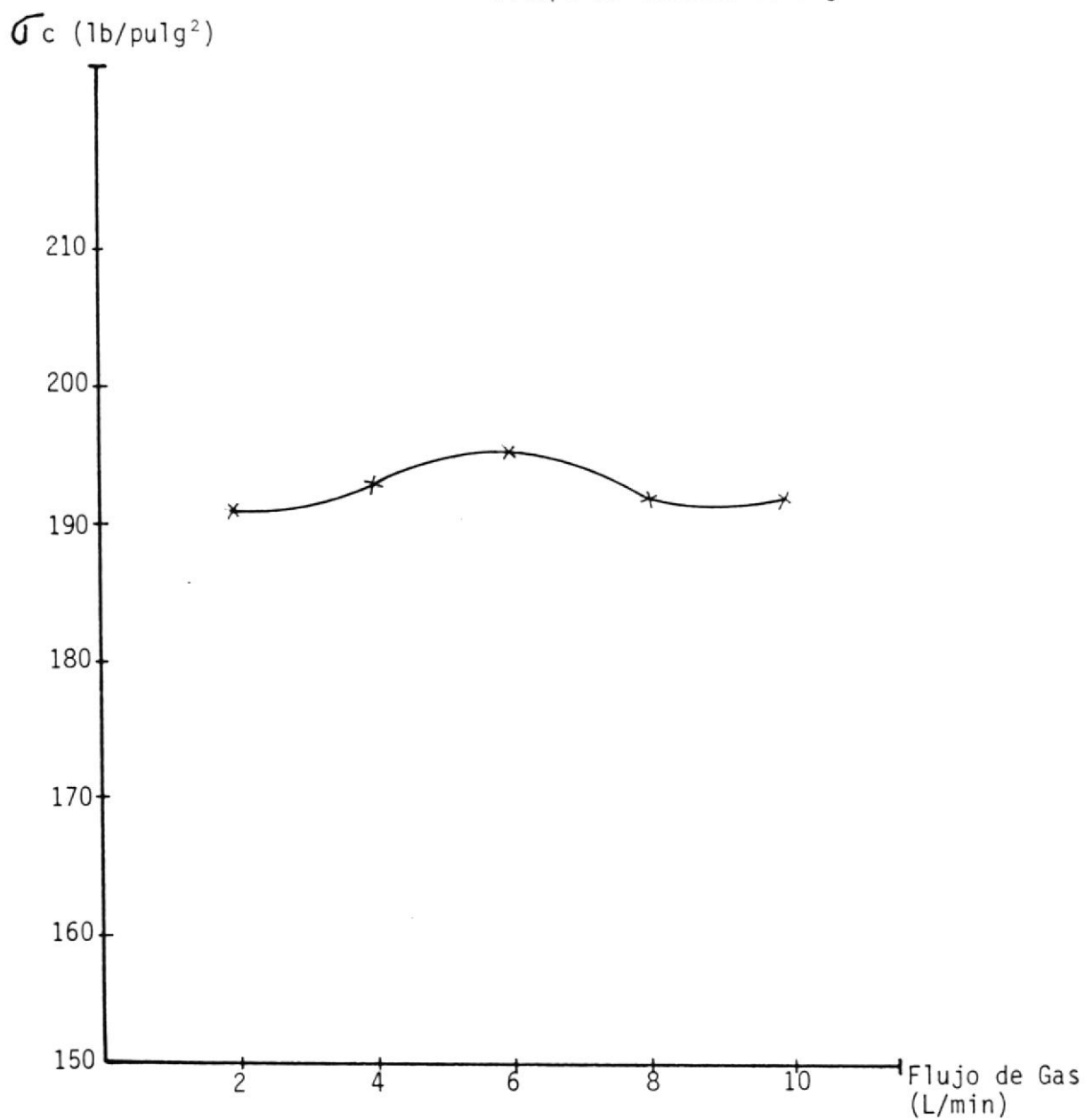
Silicato de Sodio 4%  
Tiempo de Gaseado 40 seg.

FIG. N° 25

EFECTO DEL FLUJO DE GAS (CO<sub>2</sub>)  
SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

ARENA "LIMON 2"

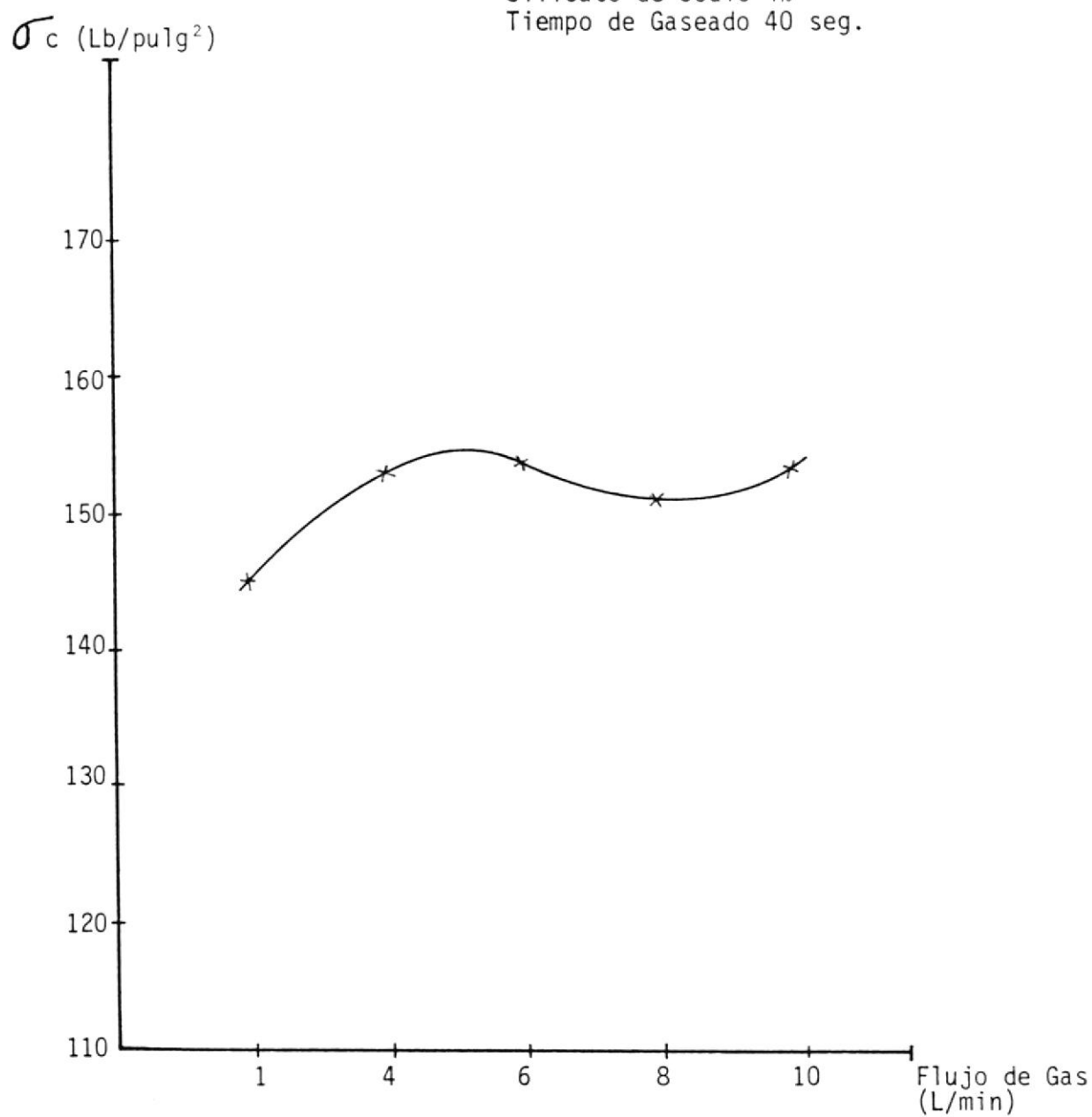
Silicato de Sodio 4%  
Tiempo de Gaseado 40 seg.

FIG. N° 26

EFECTO DEL FLUJO DE GAS (CO<sub>2</sub>)  
SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

## ARENA "LIMON 1"

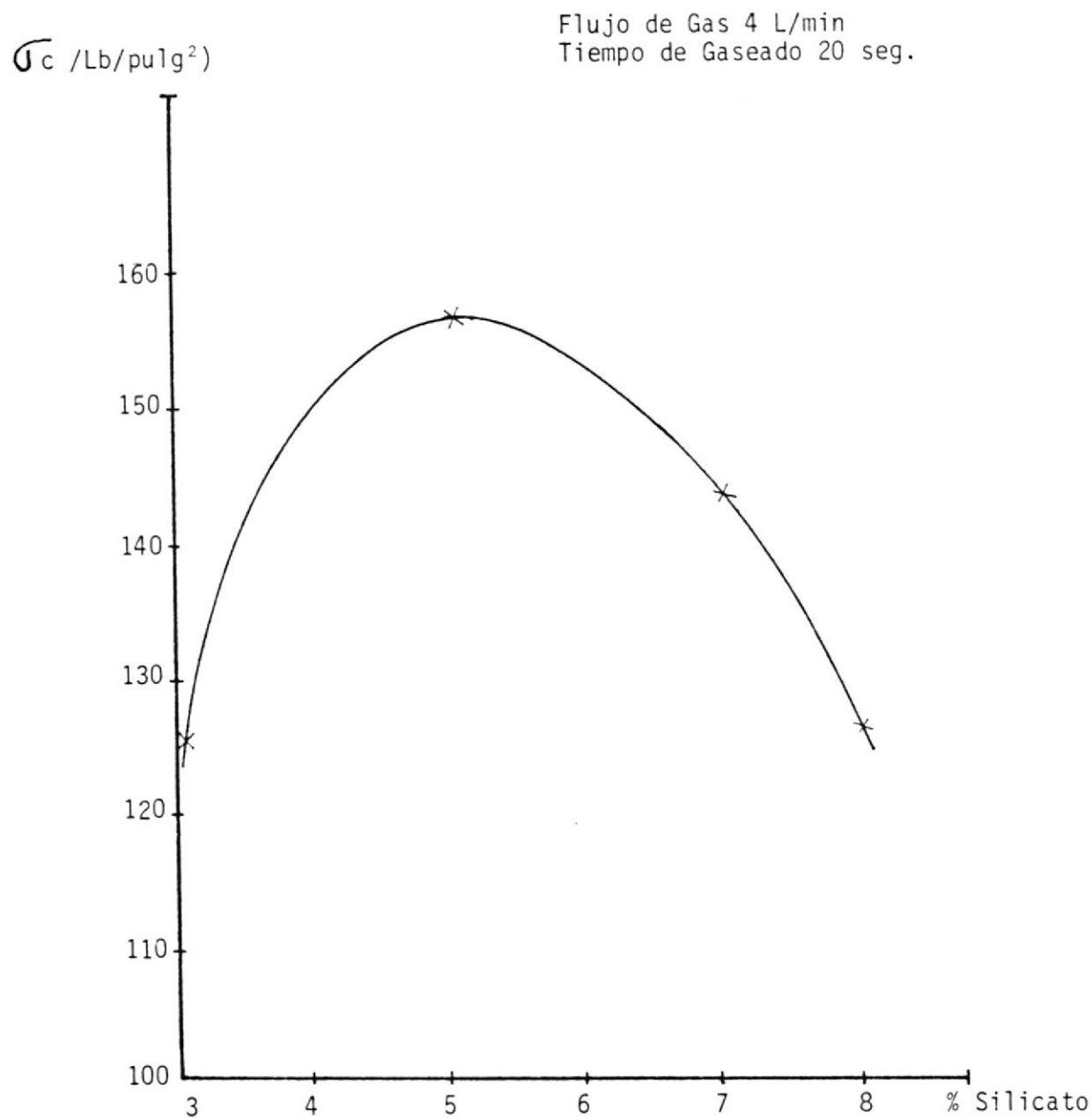


FIG. N° 27

EFFECTO DEL PORCENTAJE DE SILICATO  
SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

## ARENA "LIMON 2"

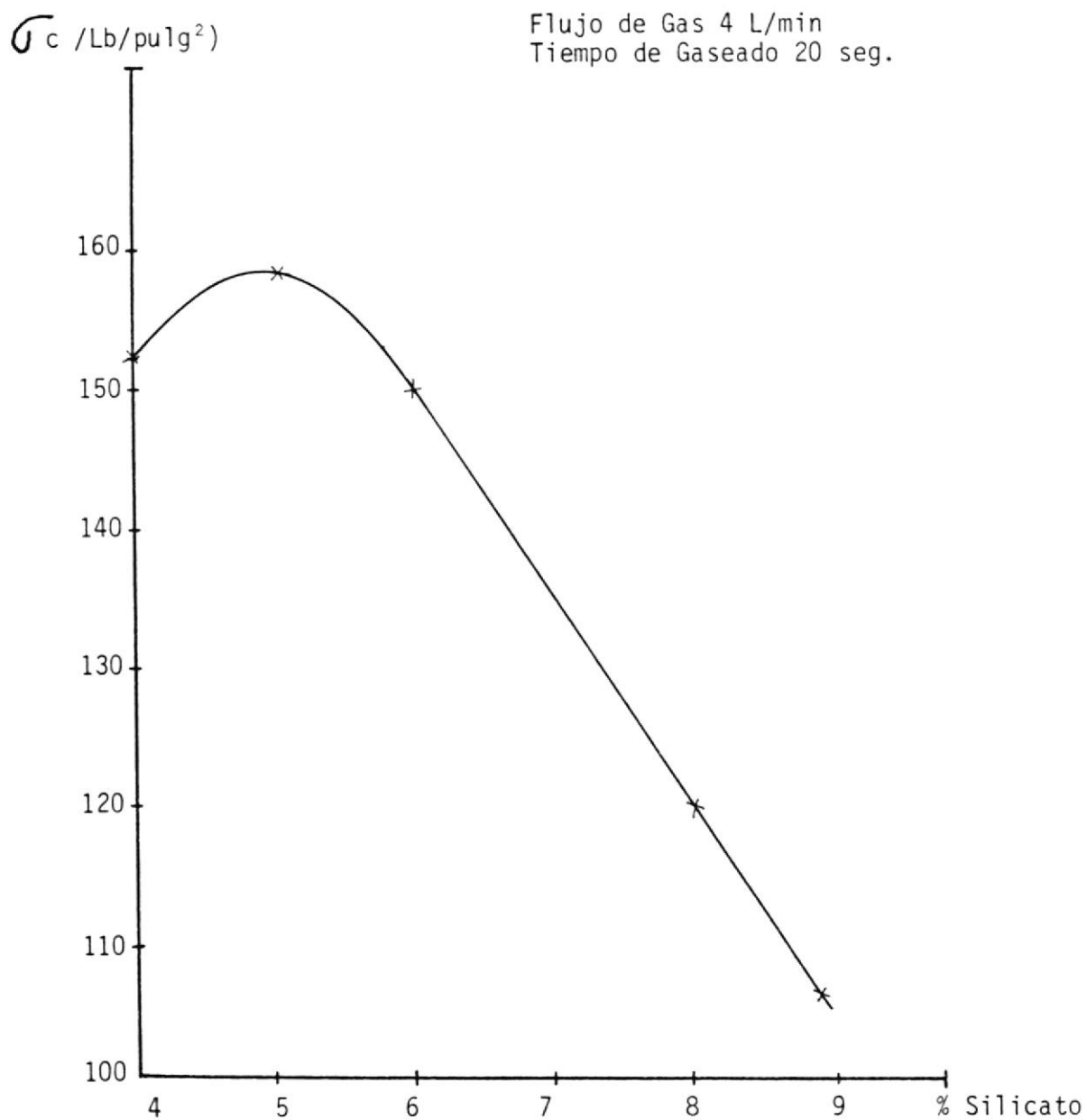


FIG. N° 28

EFFECTO DEL PORCENTAJE DE SILICATO  
SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION

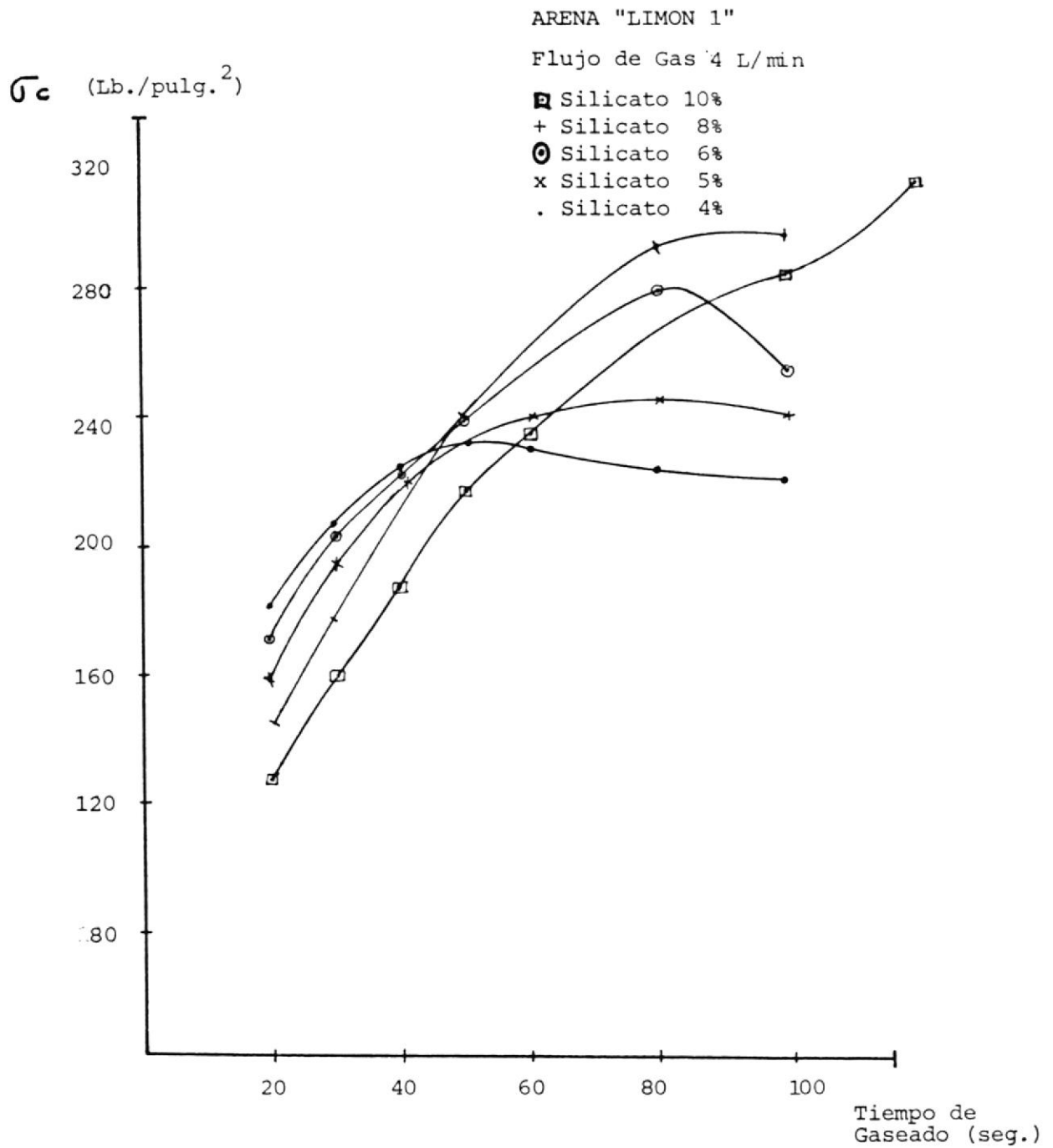
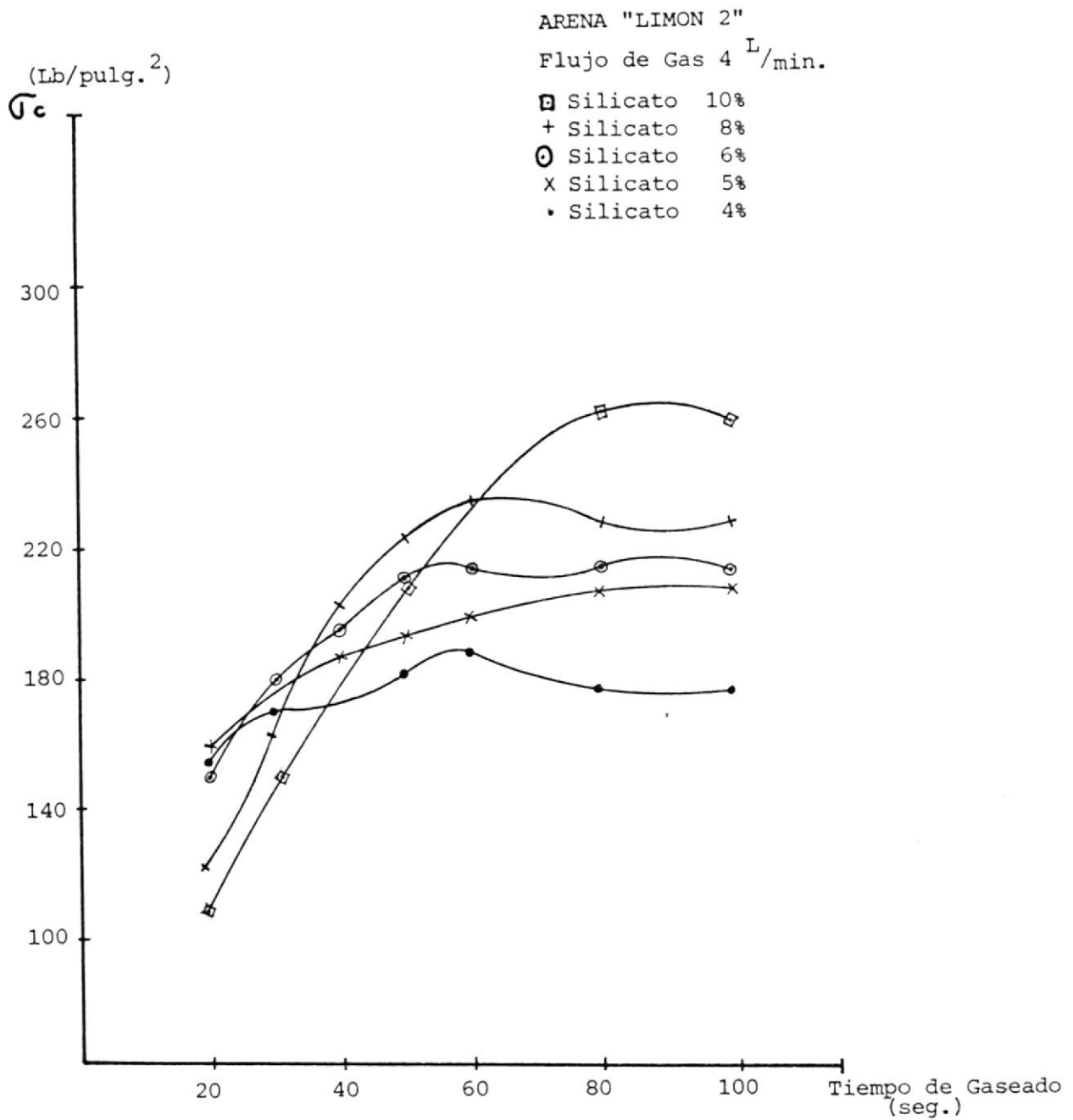


FIG. N° 29

EFFECTO DEL TIEMPO DE GASEADO SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION  
PARA DISTINTOS PORCENTAJES DE SILICATO DE SODIO

FIG. N<sup>o</sup> 30

EFFECTO DEL TIEMPO DE GASEADO SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION  
PARA DISTINTOS PORCENTAJES DE SILICATO DE SODIO

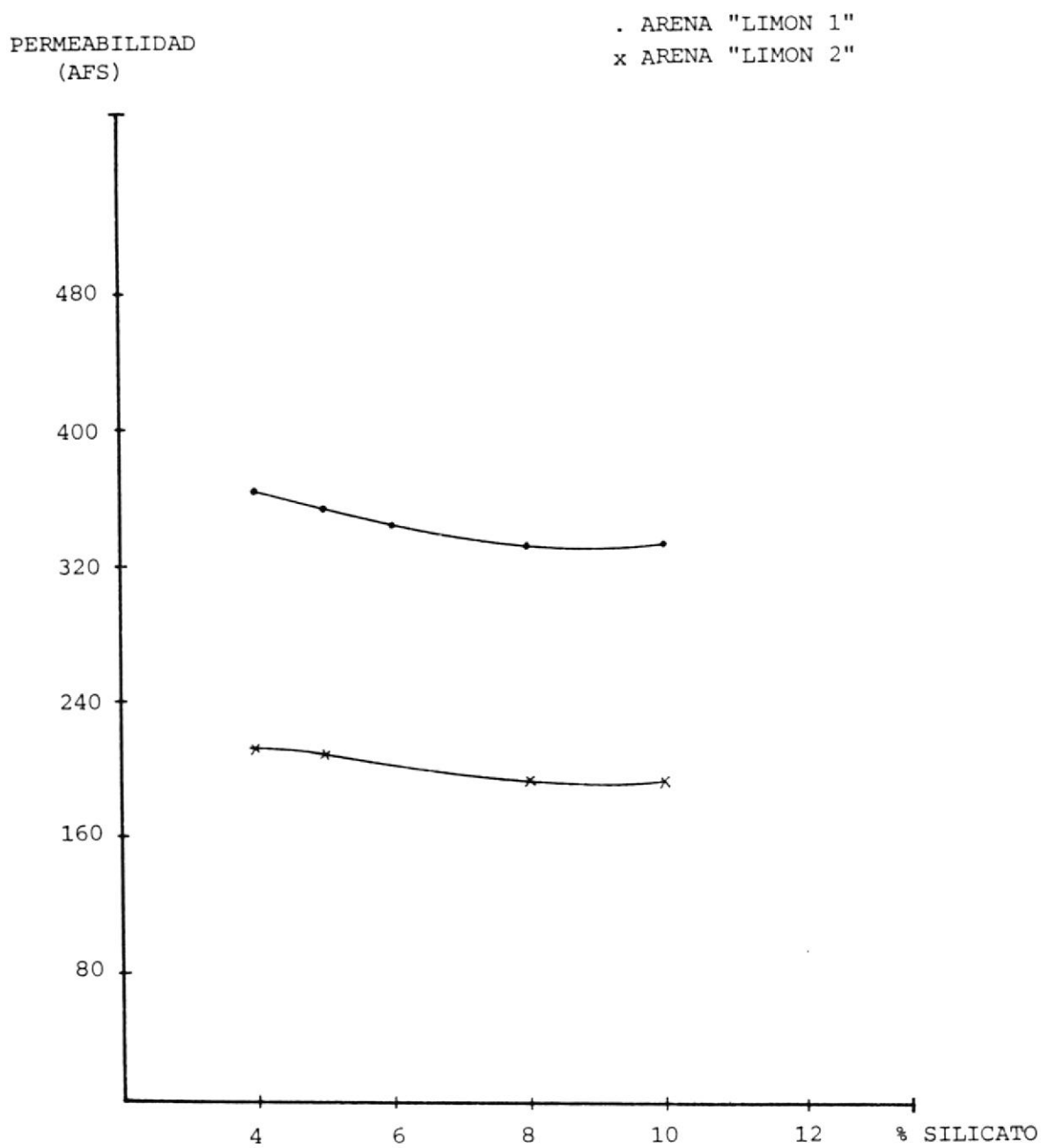


FIG. N° 31

EFFECTO DEL PORCENTAJE DE SILICATO DE SODIO  
SOBRE LA PERMEABILIDAD

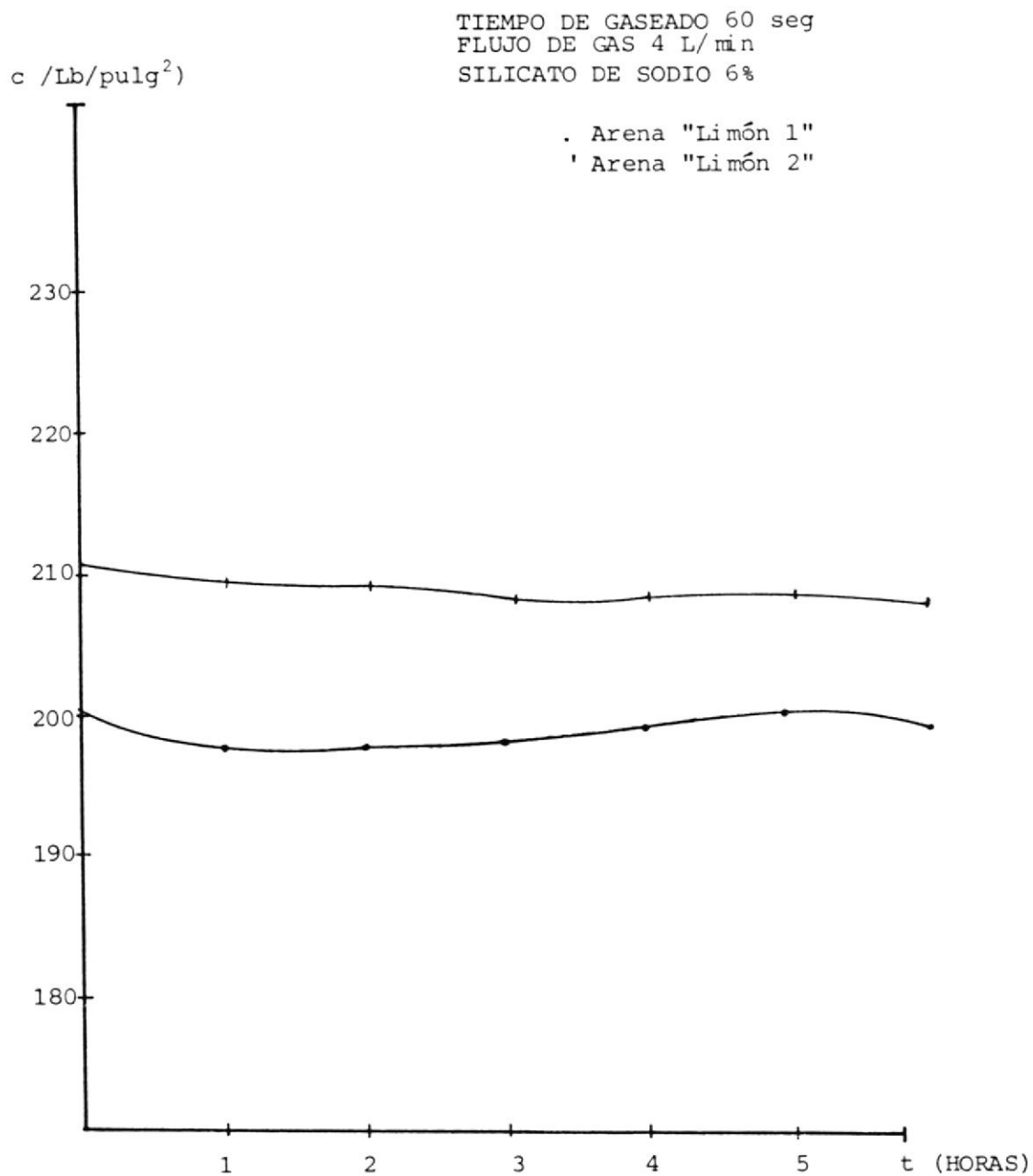


FIG. N° 32

VIDA DE BANCO

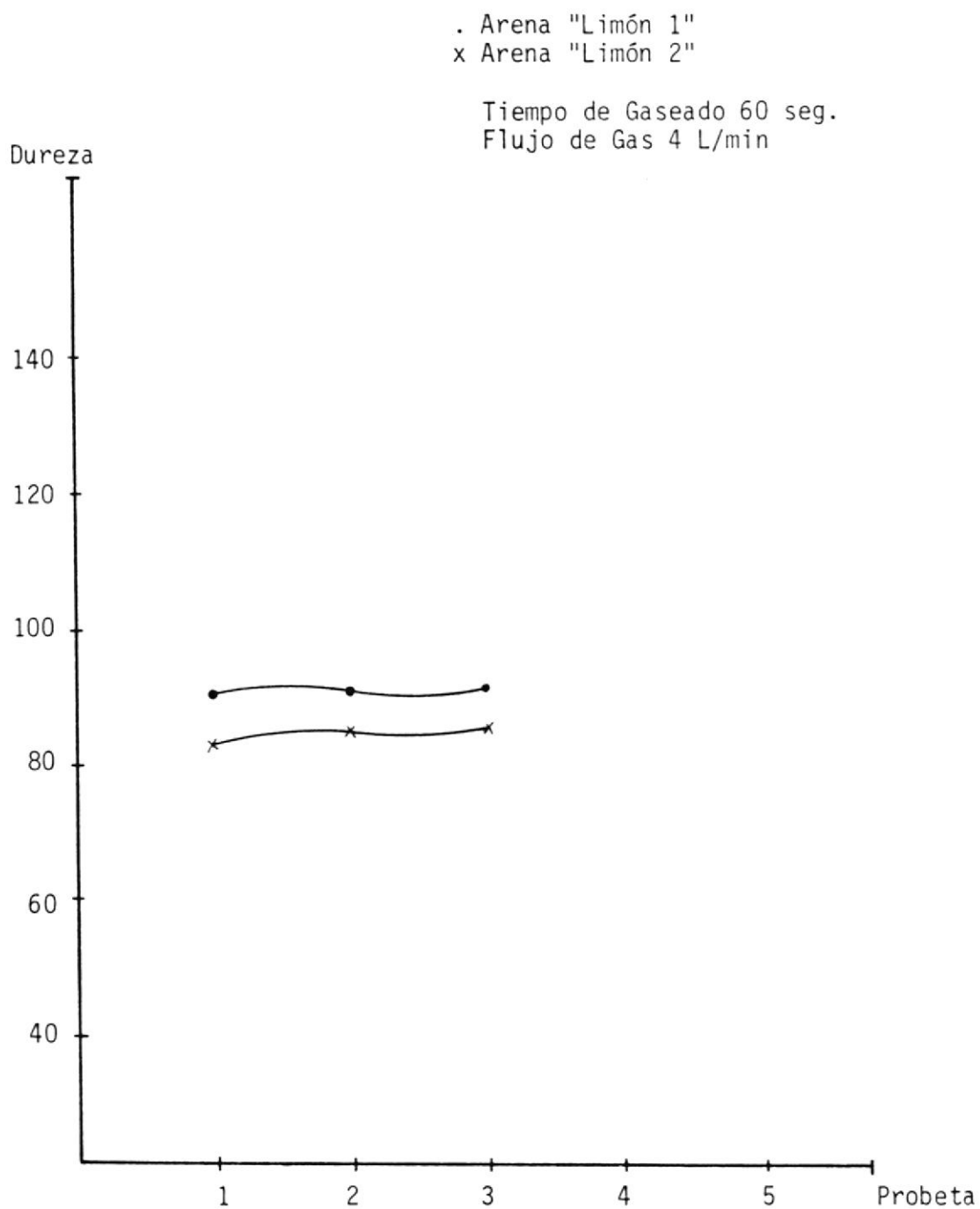


FIG. N° 33

DUREZA DE LAS PROBETAS YA GASEADAS

#### 4.4 RESULTADOS DE LABORATORIO

Una vez efectuados los ensayos de control de mezclas se realiza una prueba en laboratorio con el propósito de comprobar la fidelidad del copiado y precisión dimensional de este método de moldeo, con lo cual se tendrá un mejor criterio para efectuar las pruebas de planta.

Se selecciona la siguiente mezcla:

Arena "Limón 1"	100%
# AFS	39
Silicato de Sodio	6% sobre el peso de la arena
Flujo de gas	4 L/min
Tiempo de gaseado	60 seg.

Lo cual dará una resistencia del molde de aproximadamente 200 Lb/pulg<sup>2</sup>, que es más que suficiente para esta prueba.

Se selecciona un modelo que permita observar la nitidez del copiado. El modelo de un cenicero con logotipos de la ESPOL es el más adecuado, ya que presenta detalles de dimensiones del orden de décimas de milímetro.

Se procedió a moldear en cajas metálicas siguiendo el método de moldeo descrito en la página # 83.

Se fundió la pieza en aluminio, la cual se muestra en las Figs. 34 y 35.

Se puede observar la bondad del grabado y la integridad de la pieza, la cual no ha recibido ningún tipo de acabado, es decir se la muestra tal y como salió de fundición.

En general se puede decir que el proceso funciona bien y por lo tanto asegura los resultados de las pruebas de planta, en las que se usará modelos de una bomba centrífuga y de otra pieza complicada que también se moldea usando el mismo proceso.

#### 4.5 PRUEBAS DE PLANTA

El objetivo de las pruebas de planta es el de determinar la capacidad de este método de moldeo para producir piezas fundidas de buena calidad y en especial bombas centrífugas.

Una vez determinada la mezcla adecuada para este proceso de moldeo y haber comprobado su eficiencia en las pruebas de laboratorio, se procederá ahora a realizar la prueba final que consiste en aplicar este método de moldeo en una fundición local.

Las pruebas se realizarán en la fundición WYZ, donde existe todo el equipo y materiales necesarios para su ejecución.

Se selecciona la misma mezcla que para las pruebas de laboratorio, ver Pág. # 107, con la única diferencia que se añade 10% de azúcar sobre el peso de silicato de sodio, como aditivo.

Se hizo dos moldes utilizando los mismos modelos de la fábrica RACE. Ver Figs. 1 y 2.

El primer molde se lo hizo utilizando la mezcla arena-silicato de sodio-azúcar como cara del molde, es decir, se cubrió el modelo con una capa de aproximadamente 5 cm. de espesor, el resto de la caja se la llenó con arena de río.

El segundo molde se lo hizo llenando la caja completamente con la mezcla preparada. Figs. 36 y 37.

En la primera caja se utilizó aproximadamente 45% menos de la mezcla, lo cual es de mucha importancia si se tiene en cuenta que la mezcla arena-silicato de sodio, sólo puede ser utilizada una vez, además de su costo en comparación con la arena del río.

Con este procedimiento, se puede incluso llegar a minimizar la cantidad de cajas de moldeo necesarias ya que al poder endurecer la mezcla dentro de la caja, ésta puede ser removida y utilizada en la fabricación de un nuevo molde.

En cuanto al corazón, éste es necesariamente hecho con 100% de mezcla. Fig. 38.

En las primeras pruebas el corazón se rompió al sacarlo de su caja en la parte que forma el ducto de salida del fluido de la bomba, este problema se solucionó introduciendo un pequeño pedazo de alambre en el centro del corazón en esta parte.

Los moldes fueron hechos personalmente por el autor de esta tesis y se demoró aproximadamente 20 minutos por molde, lo cual implica

que un moldeador con experiencia puede hacerlo en mucho menos tiempo.

Luego se ensambló el corazón dentro del molde, Fig. 39, y se cerró el molde.

Se procedió entonces a colar los moldes con hierro gris, nótese que se utiliza un material de punto de fusión más elevado que el del bronce utilizado por la fábrica RACE.

Los resultados obtenidos son piezas de muy buena calidad como se puede ver en las Figs. 40 y 41, las cuales muestran una carcasa de una bomba centrífuga.

A la fábrica WYZ, en los días que se estaban haciendo las pruebas de planta, se la contrató por EMELEC para fundir una campana de descarga de la bomba de alimentación del agua de refrigeración, la cual fue hecha en su totalidad con el proceso de silicato de sodio-CO<sub>2</sub>, por ser el único proceso adecuado para su fabricación y por lo tanto es un buen ejemplo de las aplicaciones que puede tener este proceso.

En las Figs. 42-46 se muestran los distintos moldes, corazones y pieza terminada.

Nótese en la Fig. 46 la calidad del corazón, el cual presenta filos de 90° perfectos, sin ningún tipo de desmoronamiento.

La Fig. 45 muestra el corazón que forma las cavidades y a la vez los álabes de la campana.

En cuanto a la pieza terminada, Fig. 42, se puede observar la excelente calidad, la cual fue reconocida por EMELEC.

Con ésto se ha demostrado que el proceso en estudio es apto para producir piezas fundidas de todo tamaño sin importar lo complicado e intrincado del modelo.

#### 4.6 CONTROL DE CARACTERISTICAS METALURGICAS

En este punto se hará un análisis de la calidad de las piezas fundidas utilizando el proceso de moldeo de silicato de sodio-CO<sub>2</sub>.

Al hablar de calidad de piezas fundidas se está involucrando características tales como acabado superficial, tolerancias dimensionales y defectos en general, para controlar estas características, la única manera es cualitativamente, es decir por observación visual de la pieza.

##### 4.6.1 Acabado Superficial

Las piezas fundidas en las pruebas realizadas, tanto en aluminio como en hierro gris, presentan un acabado superficial libre de defectos de fundición originarios del molde, ya que son piezas sólidas, con una superficie muy lisa, a pesar del tamaño de grano de la arena el cual era relativamente grueso.

Las piezas se muestran en su estado al salir de fundición sin ningún tipo de maquinado, lo único que se hizo fue cortar el

sistema de colado, ver Figs. 34, 35, 40 y 41.

#### 4.6.2 Tolerancias dimensionales

Como se puede ver en la Fig. 35, la calidad del copiado es muy bueno, ya que se tratan grabados de muy pocos milímetros y en algunos casos de menos de un milímetro y como se puede notar, este sistema de moldeo reproduce con mucha fidelidad estos grabados. Es decir, se consiguen tolerancias dimensionales muy estrechas.

Además, por ser los moldes y corazones de alta dureza, ésto no permite que aquellos se deformen debido a las presiones ejercidas por el metal fundido, lográndose con ésto piezas de dimensiones muy precisas.

#### 4.6.3 Defectos

Durante el desarrollo de las pruebas no se produjo ningún defecto causado por el proceso de moldeo.

El único defecto que se pudo detectar fue un molde que no se llenó completamente, lo cual fue producido por la baja temperatura del metal fundido al llenar los moldes, produciéndose la solidificación de aquél antes de llenar el molde.

Por otro lado, la gran permeabilidad de la mezcla permite la salida de los gases productos de la solidificación del

metal a través del molde con mucha facilidad, evitándose con ésto que se produzcan ciertos tipos de defectos como son la porosidad, costras, etc.



2 cm.

Fig. N° 34.- Cenicero Fundido en Aluminio



1 cm.

Fig. N° 35.- Detalles del Copiado del Cenicero de Aluminio.

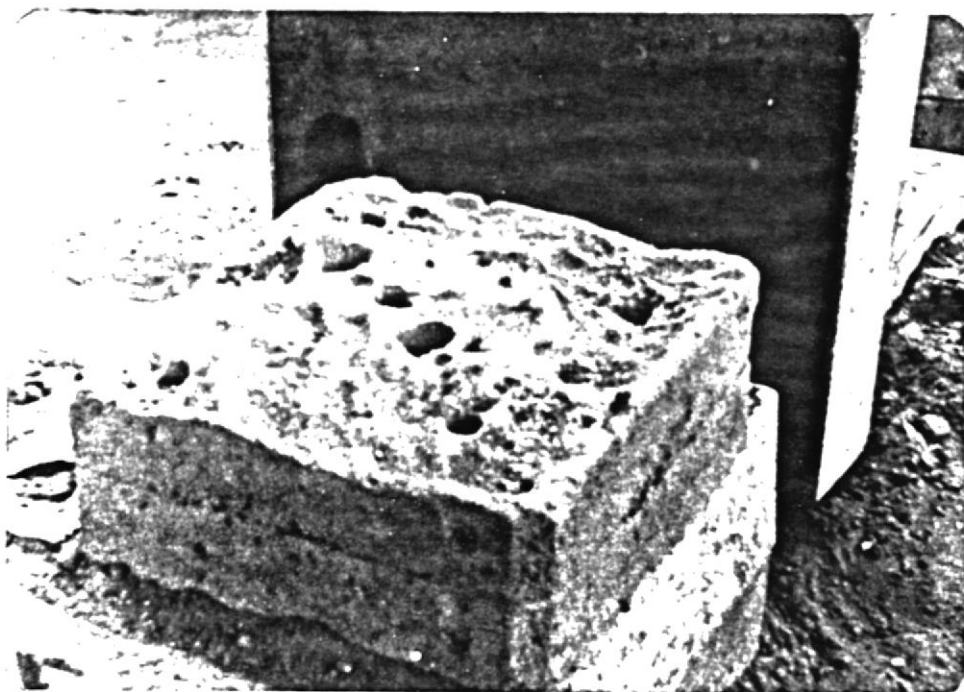


FIG. Nº 36.- Molde hecho con Arena-Silicato de Sodio usando la mezcla como cara del molde.

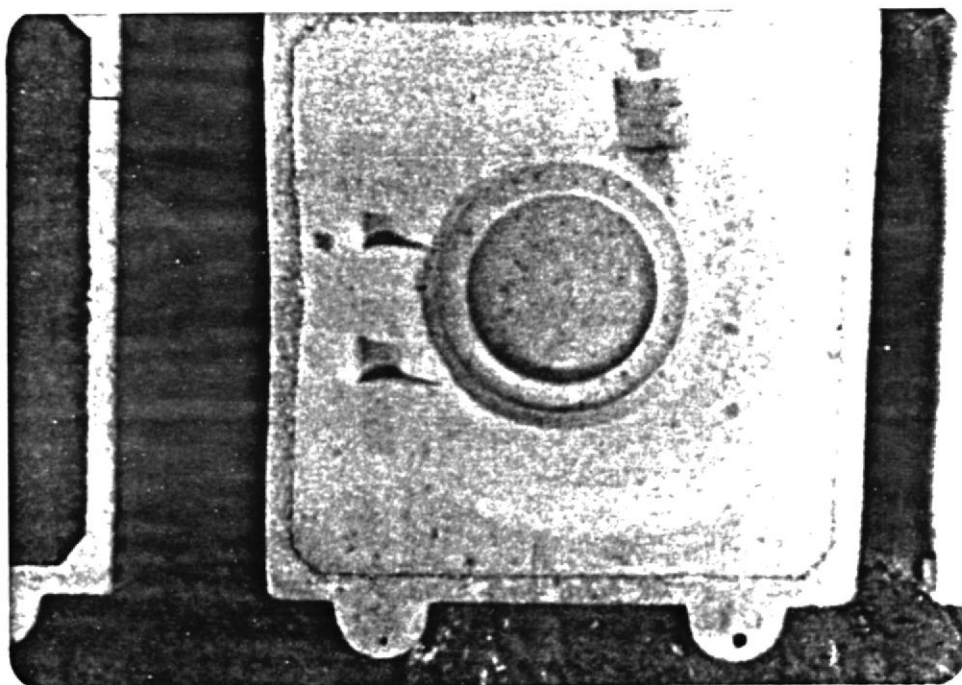


FIG. Nº 37.- Fondo de un Molde de Bomba Centrífuga

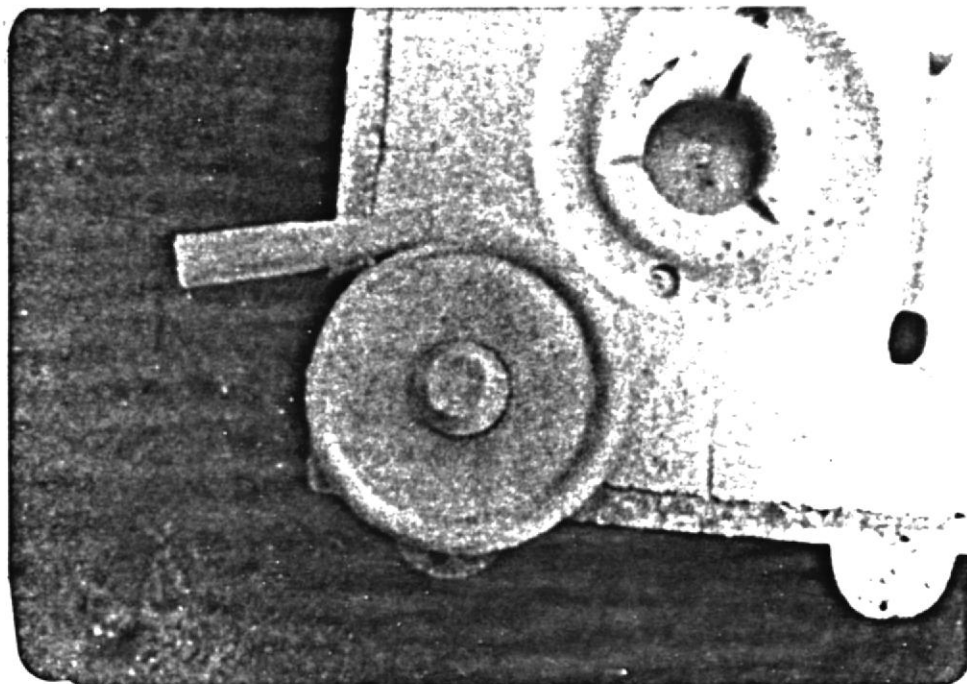


FIG. N° 38.- Corazón de una Bomba Centrífuga

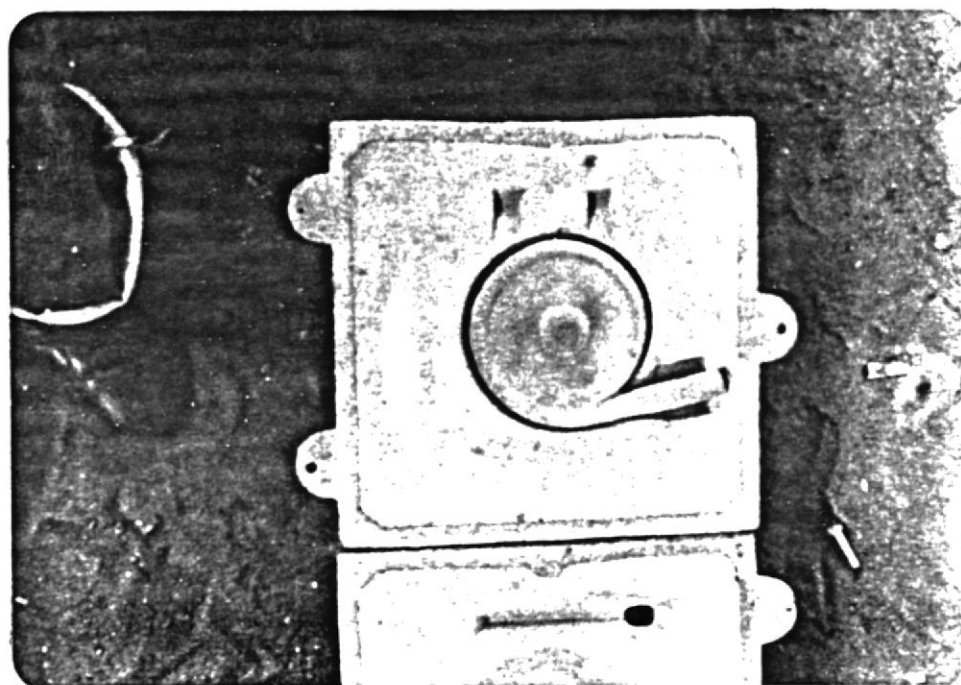


FIG. N° 39.- Corazón ensamblado en el fondo del Molde



FIG. N° 40.- Bomba Centrífuga fundida en Hierro Gris

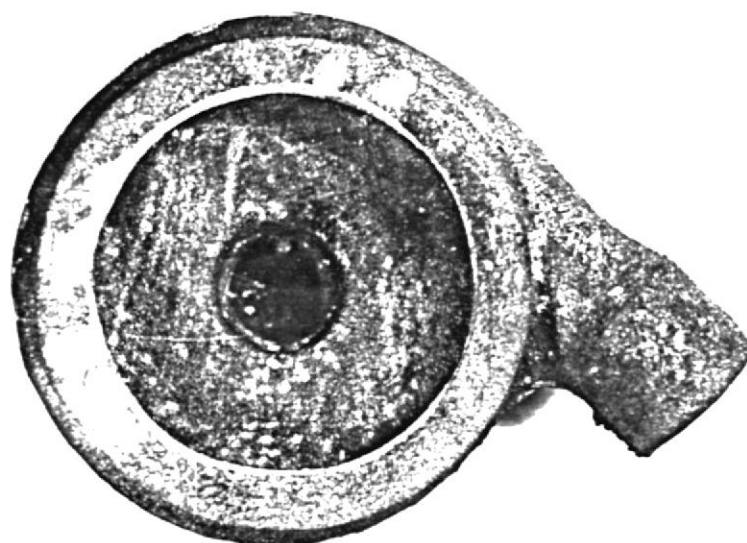


FIG. N° 41.- Bomba fundida en Hierro Gris



20 cms  
└───┘

FIG. Nº 42.- Campana de descarga de la Bomba de Alimentación del Agua de Refrigeración fundida en Hierro Gris.

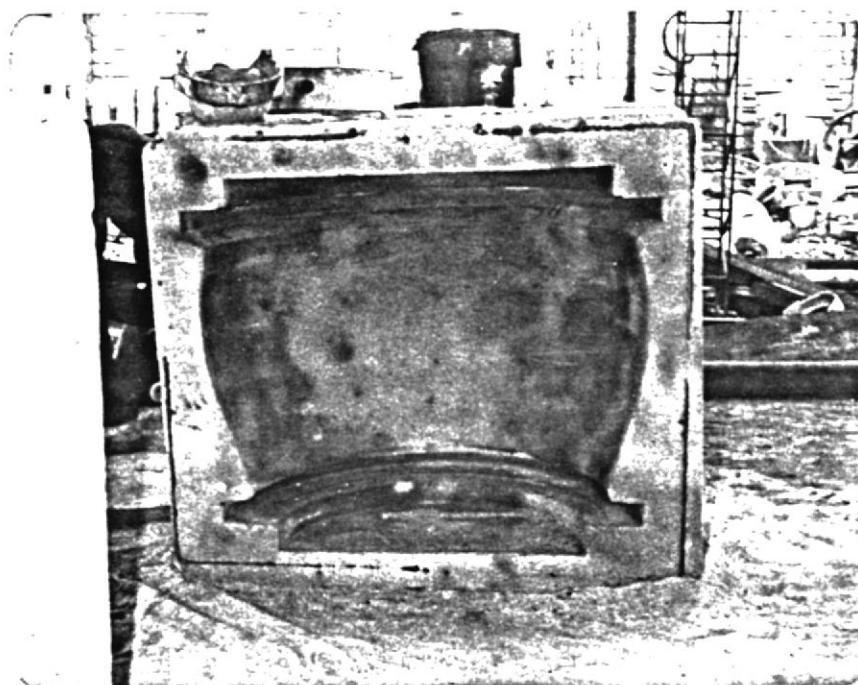


FIG. Nº 43.- Caja moldeada con el proceso de Silicato de Sodio-CO<sub>2</sub>

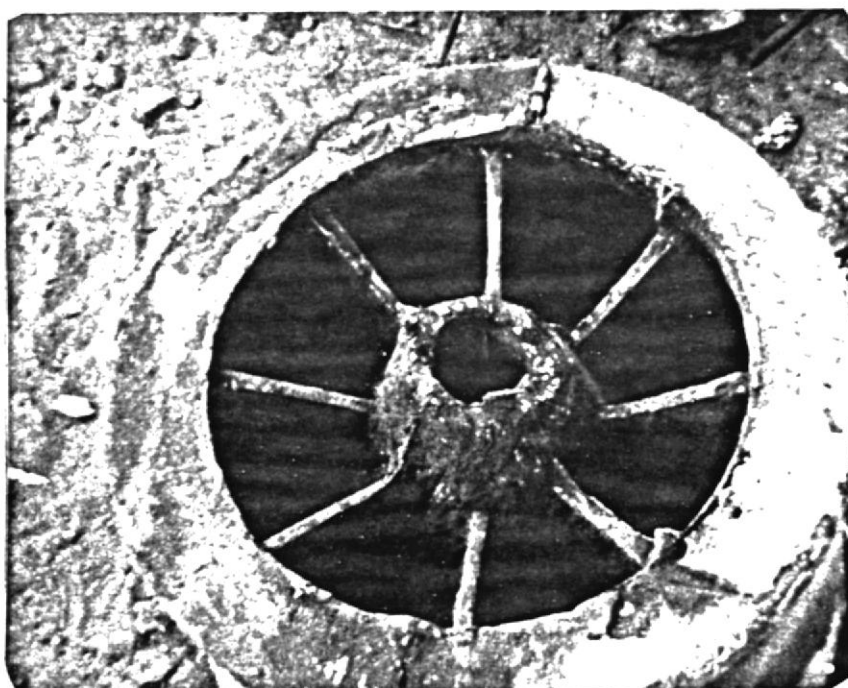


FIG. N° 44.- Vista superior de la pieza fundida

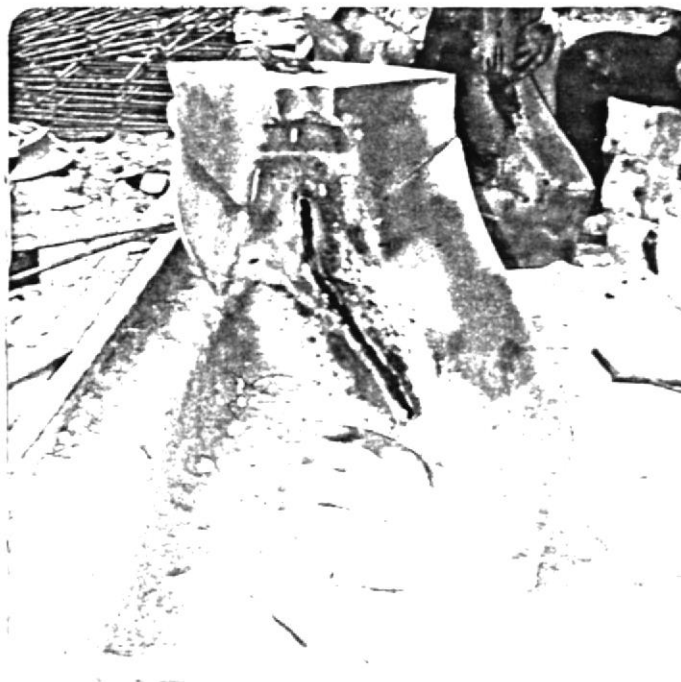


FIG. N° 45.- Corazón que forma los canales y álabes, al mismo tiempo.

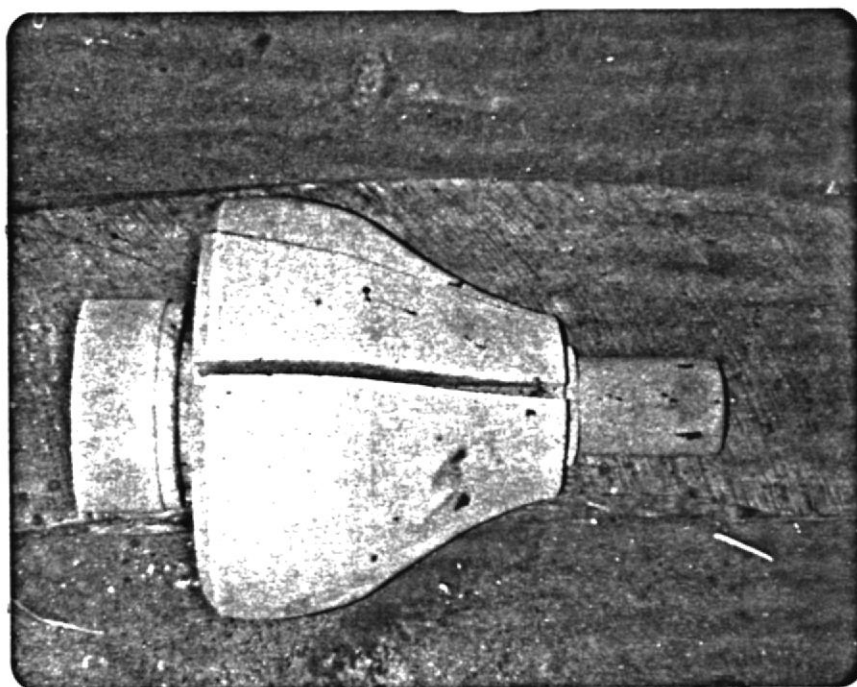


FIG. N° 46.- Corazón que forma la parte central de la campana.

## C A P I T U L O V

### DISCUSION DE RESULTADOS

De acuerdo con lo propuesto en el Capítulo II para resolver el problema que origina el déficit de producción de bombas centrífugas en nuestro País, o sea tratar de incrementar la producción de la planta RACE dedicada a esta actividad, se ha dado el caso de tener que tomar en cuenta dos aspectos:

- 1.- Realizar transferencias de tecnología del proceso, que se recomienda reemplazar por el actual.
- 2.- Establecer a través de pruebas de planta, la adopción de este proceso a la fábrica antes mencionada, sin que ésto signifique realizar las mismas inversiones de gran envergadura.

Ha sido entonces por estas razones, menester considerar en la presente discusión los dos aspectos planteados. El primero deriva una investigación experimental para poner a punto un proceso poco conocido por fundidores locales y el segundo investigar los aspectos relacionados con la problemática fundamental que se ha propuesto en esta tesis.

Oportunamente se ha indicado que el proceso de silicato de sodio-CO<sub>2</sub> posee muchas ventajas, ver Pág. 26, con relación a otros procesos en el caso de que quisieran implementarlo en plantas de fundición de las

características y limitaciones de capital y mano de obra que poseen las empresas locales.

Aunque las arenas silíceas de los yacimientos denominados "Limón 1" y "Limón 2" ya han sido estudiados para la aplicación en las industrias de fundición en proceso, tales como moldeo en cáscara y caja caliente, no ha sido fácil establecer las condiciones óptimas de la mezcla, arena-silicato de sodio, a consecuencia de que este último no posee las especificaciones técnicas recomendables por este proceso. Este material es importado por la empresa "Holanda Ecuador" para otros fines industriales.

La información bibliográfica indica que preferentemente deben usarse módulos de 2.8:1, ver Tabla N° 1; sin embargo, éste tiene módulos de 2:1, ver página # 6, factor que a vista de los resultados, afecta notablemente las condiciones de algunos parámetros del proceso, especialmente los que se refieren al porcentaje necesario de silicato de sodio para endurecer el molde adecuadamente.

Como se ve en las Figs. 8 y 9, el porcentaje de silicato de sodio tiene un efecto muy apreciable sobre la resistencia a la compresión. Por lo tanto, es muy importante determinar el porcentaje adecuado, ya que cuando es muy bajo la mezcla no se endurece lo suficiente y cuando es muy alto se necesita demasiado  $\text{CO}_2$  para endurecerlo.

Se ha llegado a determinar que el porcentaje óptimo de silicato de sodio está entre 6-8%, mientras que la información bibliográfica recomien-

da del 2-4%.

Además se debe hacer notar que los silicatos para fundición tienen ya incluidos en su composición los aditivos necesarios para facilitar el desmoldeo y la colapsibilidad, cosa que no ocurre con el silicato de sodio existente en el medio y por lo tanto fue necesario hacer algunas pruebas con aditivos como azúcar y harina de trigo para poder obtener estas cualidades.

Se obtuvieron buenos resultados utilizando 10% de azúcar sobre el peso del silicato de sodio, y a que el azúcar por ser una materia orgánica se quema en el momento del colado y por lo tanto el molde pierde su consistencia.

Los aditivos son de suma importancia en esta parte ya que la arena y el silicato de sodio por ser de origen mineral, no se queman en el momento del colado, sino que por el contrario endurece más el molde imposibilitando el desmoldeo y la colapsibilidad de la arena.

La mezcla usada tanto para las pruebas de laboratorio como para las pruebas de planta, presentan características importantes como son:

- Una buena permeabilidad, lo que permite que en el momento del gaseado, el gas se distribuya uniformemente en todo el molde y que en el momento de fundir la pieza, los gases productos de la combustión de materiales orgánicos y vapor de agua, puedan salir fácilmente del molde.

- Para poseer los moldes una alta dureza se evita que la presión del metal fundido los deforme.

Las pruebas de vida de banco, arrojaron como resultado una resistencia a la compresión prácticamente constante para períodos de ocho horas, lo cual permite que la mezcla que se va a utilizar durante la jornada de trabajo, sea preparada al comienzo de la misma, evitándose con esto, el perder cierta cantidad de mezcla.

En cuanto a las demás variables controladas en este trabajo, su comportamiento fue el esperado de acuerdo a la información bibliográfica.

Para realizar la discusión de la implementación del proceso, se lo dividirá en varios puntos que son los de mayor importancia:

- Capacidad de producción con el nuevo proceso.
- Personal necesario.
- Maquinaria y equipo adicional.
- Calidad de moldes, corazones y piezas producidas.

Con el proceso del moldeo de silicato de sodio, una persona sin ninguna experiencia en moldeo, puede hacer un molde completo en aproximadamente 20 minutos; suponiendo que un moldeador con experiencia no disminuya este tiempo, tendremos entonces que puede producir 3 moldes por hora, es decir, 24 moldes por día de trabajo de 8 horas, aunque lo más indicado sería tener 2 moldeadores: el uno haciendo tapas y fondos y el otro corazones, en cuyo caso la capacidad de producción podría au-

mentar al doble, es decir 48 moldes en 8 horas, lo que equivale a 48 bombas por día.

Si se recuerda la capacidad de producción de la Fábrica RACE, ver página # 8, que es de aproximadamente 50 bombas al mes, se están entonces hablando de incrementar la producción de dicha Fábrica en 20 veces aproximadamente, trabajando un solo turno al día durante 22 días al mes.

En cuanto a la capacidad de producir metal fundido de esta Fábrica, es de 500 Kg. diarios, es decir, de 20 bombas diarias, ver página # 8, por lo tanto la maquinaria adicional que se necesita es:

- Un crisol de doble capacidad del actual
- Un tecla para manejar este crisol
- Un molino de arena, que puede ser de producción nacional

La mano de obra que posee la Fábrica RACE, ver página # 8, es suficiente para trabajar con el nuevo proceso.

Otra de las ventajas del nuevo proceso sobre el actual, es la calidad de los moldes producidos, nótese que los moldes de RACE presentan desmoronamientos en los filos y el sistema de colado es hecho posterior al moldeo, mientras que el sistema de colado de los moldes hechos con silicato de sodio se hacen junto con el molde, e indiscutiblemente son de mejor concepción. Ver Figs. 3 y 4; 37 y 38.

Los moldes de RACE necesitan tener agujeros para facilitar la salida

los gases, ya que la arena de río utilizada es muy fina. A estos moldes se les hace también un rayado radial para evitar desmoronamientos mayores en el molde.

Con el proceso de silicato de sodio- $\text{CO}_2$  no existe el riesgo de que los moldes se desmoronen en el momento del colado como sucede con los de RACE.

No es necesario dejar secar los moldes, ya que su endurecimiento y utilización es inmediata, lo cual disminuye grandemente el tiempo de fabricación de un molde. La diferencia es de 24 horas a 20 minutos.

La calidad de las piezas fundidas es indiscutiblemente mejor y como consecuencia, necesitan mucho menos maquinado.

## C A P I T U L O VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El proceso más adecuado para la producción de bombas centrífugas, es el de silicato de sodio-CO<sub>2</sub>.
- La arena de los yacimientos "Limón 1" y "Limón 2" cumplen con los requerimientos del proceso.
- El silicato de sodio existente en el mercado puede ser usado para este proceso.
- El tiempo de gaseado y el porcentaje de silicato de sodio, pueden ser seleccionados de acuerdo a la resistencia a la compresión requerida en el molde o corazón.
- Es necesario el uso de aditivos, especialmente azúcar.
- Al implementar este proceso en la Fábrica RACE, la capacidad de producción se aumenta en 20 veces aproximadamente.
- La inversión para la implementación no es considerable.
- La calidad de las piezas fundidas es muy buena.
- No se incrementan los costos de mano de obra.

- Se evitan fugas de divisas al disminuir las importaciones de bombas centrífugas.
- Se recomienda proponer como trabajo de experimentación un estudio de los aditivos para este proceso.

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

1. Aguilar J. Aglomerantes y Arenas para Corazonps, Saltillo, Coahuila, 1975.
2. American Foundrymen Society, Casting Defects Handbook, American Foundryman Society, 1972.
3. American Society for Metales, Metals Handbook, Vol. 5, Forming & Casting, 8a. edición Metals Park, Ohio.
4. Capello, E. Tecnología de la Fundición, Gustavo Gili, S.A., 2a. edición, Barcelona.
5. CENDES, Arenas de Moldeo, CENDES, Quito, 1971
6. Dietert, H.W. Preparación de Arenas de Moldeo
7. Martín, G.J. The CO<sub>2</sub> Process-some practical aspects of the gassing operation, Foundry rade Journal, Pag. 583, Junio 3 de 1971
8. Nicholas, K.E.L. The CO<sub>2</sub>-Silicates Process in Foundries, British Cast Iron Research Association, Aluerchurch, Birmingham, 1972.
9. Pett, K.S., The Control of Carbon Dioxide in the CO<sub>2</sub>/Silicate Process, The British Foundryman, Pág. 456, Diciembre 1971.
10. Rodriguez, J.L. Fabricación de Marchos por el Método del Silicato, Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, Madrid.
11. Warren, D. Recent Developments in Silicate Based Foundry Processes, The British Foundryman, Pág. 449, Diciembre 1971.
12. Tesis de Grado "Arenas Nacionales para la elaboración de Moldes por el proceso de Cáscara(Shell).- Homero Ortíz Arízaga, 1979.

13. Tesis de Grado "Arenas para la Elaboración de Corazones (CORES) por proceso de caja caliente para la industria de la fundición. Marcos Tapia Quincha, 1979.