



D-6846

obtenido

**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL**

Departamento de Ingeniería Mecánica

“Arenas Nacionales para la Elaboración de Corazones (cores) por Proceso de Caja Caliente para la Industria de la Fundición.”

**Tesis de Grado
Previa a la Obtención del Título de
INGENIERO MECANICO**

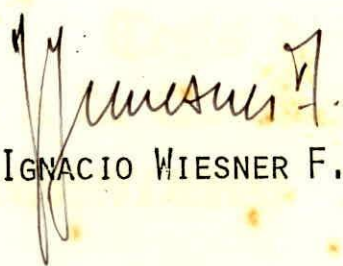
**PRESENTADA POR:
Marcos Tapia Quincha**

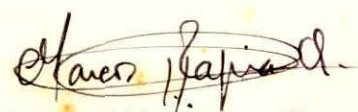
**Guayaquil - Ecuador
1979**

"ARENAS NACIONALES PARA LA ELABORACION DE CORAZONES (CORES)
POR PROCESO DE CAJA CALIENTE PARA LA INDUSTRIA DE
LA FUNDICION"

DIRECTOR DE TESIS

A U T O R


ING. IGNACIO WIESNER F.


MARCOS VINICIO TAPIA Q.

DECLARACION EXPRESA

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

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

AGRADECIMIENTO

A la ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL

Al ING. IGNACIO WIESNER F.
Director de Tesis, por
su ayuda y colaboración
para la realización de
este trabajo.

DEDICATORIA

A mis PADRES

A mis HERMANOS

A MI ESPOSA

A MIS HIJOS

C O N T E N I D O

	Pág.
CAPITULO 1	
INTRODUCCION	1
CAPITULO 2	
ANALISIS	5
2.1. Situación actual de la fundición en el Ecuador en la elaboración de corazones.	5
2.2. Yacimientos de arenas en explotación actual en el País.	10
2.3. Proceso de caja caliente para la elaboración de corazones.	13
2.3.1. Características de las arenas	13
2.3.2. Resinas aglomerantes sintéticas.	36
2.3.3. Tipos de mezclas a usarse	50
2.3.4. Parámetros involucrados en la máquina disparadora de corazones.	56
2.3.5. Control del proceso.	57
CAPITULO 3	
TRABAJO EXPERIMENTAL	70
3.1. Identificación de las arenas nacionales.	71
3.1.1. Forma de grano	71
3.1.2. Número de finura	73
3.1.3. Contenido de impurezas	91
3.1.4. Punto de sinterización	92

	Pág.
3.2. Selección de mezcla óptima	92
3.2.1. Ensayos de varios tipos de mezclas.	93
3.2.2. Curado de las mezclas	94
3.2.3. Ensayos de laboratorio	95
3.3. Pruebas en Planta	114
3.3.1. Fundición de piezas	114
3.3.2. Control de defectos	118
3.3.3. Control de tolerancia dimensionales.	118
3.3.4. Desmoldeo	124
CAPITULO 4	
ANALISIS DE RESULTADOS	125
CAPITULO 5	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	132
BIBLIOGRAFIA	134

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Las condiciones actuales en que trabajan nuestros fundidores, la proyección futura que pretende el país en el campo de la fundición con el fin de alcanzar el desarrollo industrial, han determinado la necesidad de explorar con elevado criterio tecnológico uno de los aspectos que conciernen con el uso de técnicas modernas para elevar la productividad del proceso de fabricación de piezas fundidas.

La precaria situación técnica de muchas fundiciones no permiten la introducción de nuevas líneas de producción, a pesar que la demanda de nuestro mercado así lo exige. También se prevee que con la implementación de la industria automovilística se requerirá de una gran cantidad de fundición en un futuro cercano con exigencias de calidad que difícilmente podrían cumplir las empresas existentes.

Tratando de incidir en nuestro medio en la solución de estos problemas que tiene que enfrentar el sector de la fundición es que se ha realizado la presente investigación tecnológica a fin de dar a conocer una técnica muy usual en

la elaboración de corazones* y hacer uso de arenas nacio
nales como materia prima del proceso.

Conociendo la existencia de algunos yacimientos de arenas silíceas con grandes reservas, sin otro uso que el de fabricación de vidrio, razón por la que se ha extendido la aplicabilidad de estos materiales en la fabricación de corazones por proceso de caja caliente (hot-box) utilizando como aglomerante una resina sintética (resina fenólica).

Una amplia información se condensa aquí, sobre las características de las arenas en general y sobre las resinas aglomerantes sintéticas, que cubre una teoría muy útil para quien se interese en la utilización de arenas aglomeradas para uso en fundición.

Se desarrolló un amplio trabajo experimental sobre las arenas localizadas en la parroquia limón Indanza ubicada en

* Término que viene de la palabra sajona "core" que significa núcleo, centro o interior. Se lo utiliza aquí para nombrar a la parte del molde que forma las cavidades o superficies internas de las piezas fundidas, que se lo conoce también con otros nombres, tales como: machos, hoyos, matachos, etc.

la provincia de Morona-Santiago que se la denominará durante este trabajo Limón 1 y Limón 2. Ambas arenas de base silicea.

Se usó resina fenólica de procedencia colombiana cuyo nombre comercial es THOR MD-278 de la Borden, preparada para proceso de caja caliente.

En las experiencias de curado de las mezclas de arena-resina se utilizó una disparadora de corazones marca REDFORD, en la que se pueden controlar parámetros tales como temperatura, tiempo de soplado, tiempo de curado y presión de soplado, la misma que se puede considerar de uso universal en las fundiciones de occidente para el proceso.

Se usaron valores referenciales de información técnica americana, en cuanto a las propiedades mecánicas de las probetas normalizados por la AFS, y los resultados encontrados satisfacen plenamente las exigencias de control establecido por la AFS y por Harry Dieter.

Los resultados obtenidos son muy satisfactorios, también en cuanto a piezas fundidas usando corazones hechos con mezclas típicas. Se notó una ausencia casi total de defectos.

tos, con una colapsibilidad de los corazones excelente, que no requieren de mayor esfuerzo para desalojarlos de las piezas fundidas. También se encontró que las super .
ficies de las piezas en contacto con el corazón presen
tan un buen acabado superficial y no muestran en ningún caso arena fundida con el metal.

CAPITULO 2

ANALISIS

2.1. SITUACION ACTUAL DE LAS FUNDICIONES EN NUESTRO PAIS

Las fundiciones en nuestro país actualmente presentan una serie de dificultades debido a que estas realizan en primer lugar una producción limitada de piezas fundidas principalmente a causa de un pobre aprovechamiento de la capacidad de producción de cada una de las plantas, y a la mala utilización de los procedimientos y métodos.

Así tenemos que las fábricas de fundición trabajan generalmente sobre pedido en una extensa gama de artículos de fácil elaboración.

En los momentos actuales y futuros, nuestro mercado ofrece a los fundidores, un envidiable estímulo para la fabricación de nuevas líneas de producción, especialmente aquellas que tienen capacidad para ampliar su producción, mediante la incorporación de nuevos productos que demandan un mejor grado de mecanización y tecnificación.

En nuestro país se está produciendo fundición en un volumen que alcanza a 4000 toneladas anuales aproximadamente, considerando que más o menos el 85% de este volumen se procesa en unas 10 plantas de fundición consideradas como principales,

y están asentadas en Guayaquil y Quito.

Las fundiciones tienen al momento tipos de actividades diferentes, que varían de acuerdo a su capacidad de operación y condición técnica.

De producirse el mejoramiento de las técnicas de producción y una mejor organización de las actuales plantas, estarán en capacidad de introducir nuevas líneas de producción, basadas en la necesidad de restringir o eliminar las importaciones de ciertos productos fundidos, tales como:

- a. Accesorios para tuberías de agua potable en hierro maleable.
- b. Máquinas-herramientas para el trabajo de la madera (partes de hierro gris).
- c. Bombas centrífugas y turbobombas para trabajo pesado.
- d. Maquinaria para molienda y para el tratamiento de cereales y legumbres secas.
- e. Utensilios de uso doméstico.
- f. Herramientas manuales para talleres

Considerando además que el volumen y valor de las importa-

ciones de estos bienes sobrepasan las 1000 toneladas* y los 30 millones de sucres, que demuestran claramente las posibilidades del mercado. Aunque debe aclararse, que algunos de los productos mencionados, no son completamente de fundición por lo que se estima que del total de las importaciones registradas aproximadamente y en promedio un 50% se refieren a elementos de fundición.

A continuación citaremos algunas de las actividades a que se dedican nuestras fundiciones, teniendo en cuenta que estas representan las principales y la mayoría de ellas.

- a. Fundiciones de hierro para ferrocarriles, de un peso máximo de 1500 Kgs. En ocasiones especiales fabrican piezas de bronce, también para el mismo fin.
- b. Fundiciones diversas: textiles, bombas, accesorios de tubería de distribución de agua potable.
- c. Fundiciones de hierro para el sector agrícola, piñones y masas de trapiches.
- d. Fundiciones de hierro para moldes de inyección para plástico y matricería para conformado de chapa de acero.
- e. Piezas pequeñas de no ferrosos fundidas en máquinas de inyección.
- f. Todo tipo de piezas para repuestos de maquinaria indus-

trial, en aleaciones ferrosas y no ferrosas.

Las instalaciones en las cuales trabajan nuestras fundiciones son variadas, en cuanto a las condiciones de espacio y al equipamiento que estas poseen. Así tenemos por ejemplo, en algunos casos estas instalaciones son amplias, construcciones de cemento bien diseñadas, presentan equipo completo, incluyendo puentes grua, monorrieles aéreos, camino de rodillos, maquinaria para preparación de tierras, moldeo, desmoldeo y limpieza, que favorecen el movimiento de los materiales y mejoran la productividad del personal que labora en ellas. Lamentablemente, a pesar de tener bien equipada sus instalaciones, no presentan una buena distribución para la ejecución de sus trabajos. Las que no poseen las instalaciones ni los implementos adecuados realizan sus trabajos de manera rudimentaria, en algunos casos las construcciones son muy inadecuadas, tal es así que poseen construcciones con materiales combustibles lo cual no guarda la seguridad del sector donde se hallan localizadas.

Los métodos usados en el moldeo es manual casi en su totalidad, en algunas fundiciones ya se usan pisones neumáticos y en una se usa moldeo a máquina.

El moldeo lo hacen en cajas de madera y metálicas (acero y aluminio), siendo las más usadas las de madera, seguramente por la facilidad de construcción y su costo más bajo, aun-

que su duración es corta y ofrece poca precisión.

La arena que utilizan para el moldeo en la mayoría de las fundiciones, es la arena natural procedente de la Península de Sta. Elena.

Los corazones los fabrican utilizando diversos tipos de arenas lavadas y mezcladas con aglutinantes naturales y artificiales.

Los aglutinantes que utilizan con la arena, entre otros son: aceite de linaza, harina de trigo, arcilla, melazas y silicatos de sodio.

Los corazones elaborados los estufan o los endurecen por medio del proceso de gaseado utilizando CO₂.

Las propiedades de los corazones que fabrican son confiados casi exclusivamente a la experiencia de sus operarios, que en ocasiones los resultados obtenidos en las piezas fundidas no son los esperados, ya que presentan muchos defectos que a veces no es posible eliminarlos en su totalidad.

Esto hace ver la necesidad que existe de que adquieran asistencia técnica, para poder de esa manera realizar sus trabajos de fabricación de corazones, bajo programas de control eminentemente tecnológicos, lo que va a permitir eliminar,

si no en su totalidad, por lo menos en un elevado porcentaje los defectos en las piezas fundidas, que como consecuencia será beneficioso para el fundidor, ya que tendrá menor pérdida de tiempo y dinero por rechazos.

2.2. YACIMIENTOS DE ARENAS EN EXPLOTACION ACTUAL EN EL PAIS

En el Ecuador existen algunos yacimientos de arenas de base sílicea localizadas en distintas zonas, que por diferentes motivos solo unos pocos se encuentran en explotación.

La localización de los yacimientos de estas arenas ha sido motivado desde tiempos atras, casi exclusivamente por la necesidad de obtener materia prima para las industrias vidrieras, ya que esta arena silicea con ciertas características especiales se la utiliza para la obtención del vidrio.

Ahora esta arena está siendo utilizada en la industria de la fundición en muy poca escala para elaborar los moldes y corazones en la fabricación de las piezas de hierro, y que además de otras propiedades importantes, tiene un punto de sinterización elevado, que le permite resistir las altas temperaturas del hierro fundido.

Los sitios donde se han localizado estos yacimientos de a-

rena, en algunos casos, presentan ciertas dificultades para su explotación y transporte, y en otras es casi imposible por encontrarse en zonas de difícil acceso.

Debido a esto, solo algunos de los yacimientos existentes son explotados y la arena es transportada hasta los sitios donde se la utiliza.

En la actualidad las fundiciones se proveen de la arena silicea a través de las industrias vidrieras, debido a que las cantidades de arena que estas utilizan para el moldeo no son tantas como para requerir de un aprovisionamiento directo.

El uso de esta arena en las fundiciones de nuestro país se remonta a 3 años atrás aproximadamente, debido a que no tenían donde adquirirla.

Los sitios donde se han encontrado arenas de base sili-cea, se presentan en la siguiente tabla en la cual se indica el nombre del yacimiento, el mineral, el nombre del lugar, la fase y reservas (tabla 2.1).

NOMBRE DE LA MINA	MINERAL	UBICACION		FASE	RESERVAS
		PARROQUIA	PROVINCIA		
La Fortuna	Cuarzo	Taday	Cañar	Explotación archivada	
Patricia	Arenas silíceas	Misahualli	Napo	Exploración trámite	
El Pincho	" "	Yanzaza	Zamora-Chinchi	Explotación	55'000.000
La Esperanza	" "	Yanzaza	"	Explotación	80.000
Panguin	" "	Zamora -	Chinchi	Exploración	
Mercedes	" "	Misahualli	Napo	Exploración trámite	
Clam	Sílice	Limón Indanza	Morona-Santiago	Exploración	2'110.000
General Plaza	Arenas silíceas	General Plaza	Morona-Santiago	Exploración	
Sucua	Arenas silíceas	Morona -	Santiago	Exploración trámite	
Antonio	" "	Misahualli	Napo	Exploración	
Hollin	" "	General Plaza	Morona-Santiago	Exploración archivada	
Venecia	Sílice	Misahualli	Napo	Prospección	

TABLA 2.1.- YACIMIENTOS DE ARENAS EXISTENTES EN NUESTRO PAIS

2.3. PROCESO DE CAJA CALIENTE PARA LA ELABORACION DE CORAZONES

2.3.1. CARACTERISTICAS DE LAS ARENAS

2.3.1.1. Concepto de arena de fundición

La arena de fundición es un material heterogéneo, constituido esencialmente de un elemento granular refractario, que es la arena base (generalmente arena silicosa); de un elemento aglomerante, sea mineral (arcilla base) u orgánico (aceites, aglomerantes derivados de cereal, etc.), utilizados para fabricar los moldes monolíticos de fundición, denominados más comunmente como moldes refractarios.

2.3.1.2. Materiales Básicos

En fundición se utiliza normalmente para el moldeo arena silicosa. Muchos fundidores tienen el criterio poco amplio, que una arena de moldeo tiene que ser necesariamente de base silicosa, anulando toda posibilidad de utilizar arenas de moldeo distintas a las de base silícica.

Las arenas de moldeo pueden constituir, de granos de sílice, zircón, olivino, tierra refractaria, coque, dolomita, mullita, y silimanita, mezclados con arcilla, bentonita, cemento portland, yeso y residuos de petróleo y betunes. Los cuatro primeros materiales, sílice, zircón, olivino, y tierra re-

fractaria, son de uso corriente en las fundiciones.

1. LA SILICE (SiO_2).— Es un compuesto de silicio (elemento más abundante después del oxígeno), que se lo encuentra en la naturaleza procedente de todas las rocas con excepción de los carbonatos.

Es la base de la arena de moldeo en la que se hacen la mayor parte de las piezas fundidas.

Los inconvenientes de esta arena es que debido a su dilatación y contracción con el calentamiento y enfriamiento respectivamente, por cambios alotrópicos, producen fallas en las paredes del molde o de los corazones, ocasionando defectos en las piezas fundidas. Siendo la gran dilatación una de las desventajas de mayor consideración, de esta arena de base silicea.

Otra desventaja de esta arena es la facilidad con que se "empapa" con los metales derretidos tales como el hierro y el acero. Se funde con el hierro y el acero a una temperatura del orden de 1.227°C formando cristal eutéctico de silicato de hierro. Este efecto se incrementa bajo atmósfera oxidante, por lo que se utiliza materiales de contacto carbonosos como reductores, para evitar los efectos de reacción química ya anotados.

Una desventaja adicional es la presencia en la arena, de partículas muy finas de sílice (10 a 1 micrones). Estas partículas, pueden constituir un riesgo de silicosis.

Por otro lado, esta arena de base silícica, posee algunas ventajas definidas sobre otros materiales de moldeo, así:

- a) Amplia disponibilidad lo que se traduce en bajo costo de transporte.
- b) Bajo costo inicial
- c) Larga duración de los granos
- d) Disponibilidad de la forma de grano deseada en una amplia gama de tamaño de grano.

2. EL ZIRCON O SILICATO DE ZIRCONIO (SiO_4Zr).- Es una arena de color cremoso, está geológicamente distribuido en el mundo y se lo puede encontrar en cantidades limitadas en los grandes depósitos de arena silíceas, el cual contiene 67% de zirconio y 33% de silicio. Se utiliza mucho como arena de contacto para piezas de hierro y acero.

La dilatación es 6 veces menor que la de la arena de base silícica, la misma que está relacionada con el tamaño

del grano, ya que mientras menor sea ésta, más fina puede ser la arena sin provocar la fractura de la pared en el molde, constituyendo una base para la obtención de piezas fundidas con superficie lisa.

Debido a su inercia química no se empapa ni reacciona con metales derretidos, con lo que la arena no se quema.

Su conductividad térmica es alta, aproximadamente el doble que la de la arena silícica, ya que su densidad es mayor. Esto da lugar a la rápida formación de una capa de metal solidificado entre metal y arena en el molde, - que evita la penetración del metal.

Esta arena tiene un punto de sinterización elevado, que elimina la presencia de defectos por arena quemada.

El costo de esta arena es seis veces mayor que la arena silícica. Pero como en la práctica, solo se usa una pequeña capa de contacto, se reduce el costo de la arena de zircón, y se ahorra en el costo de limpieza y mejora de la calidad que redundaría en menores rechazos. En la práctica de fundición se deben reconocer las siguientes características acerca de la arena de zircón:

a) Alto precio unitario

- b) Tiene aproximadamente la mitad del volumen de la arena silícica.
- c) No debe contener más del 0.5% de sílice libre.
- d) Debe contener no menos de 64% de ZrO (una arena de zircón pura contendría 67.2% de ZrO y 32.8% de SiO_2).
- e) El porcentaje en peso de aglomerante y agua es menor para el zircón que para la arena silícica.
- f) Requieren más tiempo de mezclado.
- g) Dejar rugosa la superficie atacada de arena de contacto de zircón en la caja de corazones o en el modelo para que ligue bien con la arena silícica de relleno.
- h) Adoptar los adecuados respiraderos.

3. ARENA DE OLIVINO.- El olivino es un orto-silicato verdoso de hierro y magnesio $SiO_2 \cdot (MgFe)_2$ que está en la naturaleza como forsterita y fayalita.

La arena de olivino no contiene sílice libre, con lo que se elimina el riesgo de silicosis.

Su densidad es apenas un poco mayor que la densidad de la arena silícica.

La arena de olivino es considerado por algunos, de altas

propiedades refractarias y buena resistencia a la erosión por metal. El valor del punto de sinterización de la arena de olivino, inmediatamente por debajo del de la arena silícica, no parece indicar alta refractariedad. Sin embargo, su composición es la que debería impedir el fundirse con el hierro.

La dilatación de la arena de olivino es menor que la de la arena silícica, lo que reduce los defectos por fracturas en la superficie del molde. Los fundidores europeos informan que ellos han experimentado la formación de costras con arena de olivino.

Esta arena se utiliza para piezas fundidas de hierro, aluminio, cobre y, recientemente de acero. La arena de olivino se emplea en moldes en verde y secos y también para corazones negros con aditivos oleaginosos. La arena de olivino al igual que la silícica, requiere de aglomerante para ser moldeada.

4. ARENA MULLITA.- Los silicatos de aluminio de composición $\text{Al}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$ se emplea con éxito como refractarios y ofrecen una fuente de buen material de moldeo con baja dilatación.

Su dilatación es apenas menor que la de la arena silícica. El alto costo de las arenas de moldeo de silica

tos de aluminio, obligaría a utilizarlas tan solo para arenas de contacto en aquellas partes de la superficie del molde donde se desee una baja transferencia de calor para retardar la solidificación del metal de la pieza fundida.

Esta arena es neutra y resistente a atmósferas tanto oxidantes como reductoras.

La dilatación de un tipo disponible de arena de moldeo de mullita es muy bajo comparado con la arena silícica.

5. LA SILIMANITA, de la India, de la que ahora no puede disponerse, produce una arena de moldeo con dilatación lineal inferior a todos los tipos de arenas.

Se han conseguido piezas fundidas en arena de silimanita, con superficies exentas de defectos. Debe utilizarse un grano de tamaño muy fino con una alta dureza en el molde. Estos atributos la hacen adecuada para trabajos de moldeo de precisión.

6. ARENA DE CARBON.- Esta arena se la obtiene moliendo y tamizando carbón de coque, y se la usa para fundición de bajo contenido en azufre.

Puede aglomerarse con bentonita, arcilla y mezclarse con

agua.

La cantidad de agua es mayor que la que se necesita para la arena silícica. Para una arena de grano de tamaño medio, con una permeabilidad de 80, se requiere un 9% de humedad.

Los moldes obtenidos con este tipo de arena son ligeros debido a su poco peso ($2/3$ del peso de la arena silícica). Las paredes de los moldes hechos con esta arena son resistentes a la dilatación. Esta arena no se dilata. Puede usarse arena de grano muy fino.

Las piezas obtenidas en arena de carbón son limpias y lisas. El azufre contenido en estas arenas produce un desagradable y tóxico gas de dióxido de azufre que se despidirá durante la colada de los moldes y en el desmoldeo. Los moldes hechos enteramente de arena al coque y desmoldeados mientras la pieza fundida está al rojo, deben colocarse bajo una campana adecuada para eliminar los humos.

7. LA ARENA REFRACTARIA.- Esta arena se la obtiene quemando, la arcilla, para obtener terrones fundidos duros, los cuales se muele y tamiza al tamaño adecuado para moldear. La dureza del grano es menor que el de la arena silícica, sin embargo, su destrucción no es excesiva.

La dilatación es baja, dependiendo esta de la calidad y grado de quemado de la arcilla. Como norma la arena se usa más gruesa que la silícica para aumentar su baja dilatación.

Se emplea primordialmente en piezas muy complicadas en acero fundido donde se precisa buena calidad superficial y buen control de los contornos.

Hay que tener en cuenta que la arena refractaria y la mezcla de arcilla sea íntima, para evitar que funda la una a la otra a temperaturas elevadas. El porcentaje de arcilla a mezclar con tierra refractaria o arena con arcilla calcinada varía de 12 a 18%.

La conductividad térmica de la arena de arcilla calcinada refractaria es baja, por lo que resulta útil en el control de la solidificación de metales, empleando la arena refractaria en donde se desee un lento enfriamiento.

Esta arena, tal como se la emplea, generalmente no debe considerarse como una arena exenta de toda falla, ya que pueden producir costras y defectos de penetración. Una buena elección de la arena refractaria y mejores aglomerantes, reducirán enormemente la dilatación, evitando -

que se produzcan las fracturas en la pared del molde y también permitirá eliminar los granos gruesos.

Las arenas que se utilizan en esta investigación, y que corresponden a la mayoría de las arenas utilizadas en fundición, son aquellas seleccionadas por su alto contenido de sílice (SiO_2) y cuya procedencia o yacimientos se conocen y están en explotación.

Esta arena silicosa llamada arena sintética, cuando es lavada y tamizada, con los granos agrupados en escalas de tamaños adecuados, para obtener elevada calidad en los corazones.

Estos granos son de sílice (cuarzo), con pequeñas cantidades de feldespatos, mica, arcillas, óxido de hierro u otro mineral que a veces colorean ligeramente los granos, incluso después de un buen lavado y clasificación. Muchas arenas de fundición contienen también pequeñas cantidades de minerales tales como ilmenita (FeO-TiO_2), magnetita (Fe_3O_4), zircón (Zr-SiO_4) u olivina ($\text{Mg-Fe}_2\text{-SiO}_4$).

Las arenas silicosas se caracterizan por su refractariedad, forma, tamaño, y distribución del grano, complementado con los finos y la arcilla residual.

La determinación de la refractariedad no tiene mucha importancia en la selección de una arena que tenga un punto de sinterización que supere el ensayo a 1.400°C. Mucho más importantes son los defectos de penetración y de reacción metal-molde, que guardan muy ligera relación con la refractariedad.

El análisis químico ordinario que se realiza en la arena es suficiente para los requerimientos del fundidor.

Depende de la utilización que tenga la arena para que el análisis químico sea más exigente. En aquellas destinadas a ser aglomeradas con aceites autosecantes o resinas, que son las de más elevadas exigencias, podrían admitirse hasta un 1% de sustancias ajenas a la sílice, - siempre que la fracción de arcilla se mantenga menos de un 1%.

En la forma y distribución del grano es donde se basa la mayor parte de las propiedades mecánicas, dinámicas y refractarias de una arena de moldeo.

2.3.1.3. Definición de los diversos tipos de arenas de fundición

De acuerdo al criterio que han tenido los fundidores desde muchos años atrás, con respecto a las arenas de fundición, éstas se las han definido de la siguiente manera:

1. DE ACUERDO A SU ORIGEN

- A. Arena Natural.- Son de procedencia natural, originados por arenas de suelos arcillosos o por la descomposición de rocas feldespáticas, que se caracterizan por tener los granos de sílice cubiertos por una pasta arcillosa, que le da a las arenas características de plasticidad, y tienen la particularidad especial de poder ser usada directamente en el moldeo de piezas, sin preparación especial, apenas humedecida adecuadamente. Su contenido de arcilla es de 5 a 25%. Por su alto contenido de arcilla poseen poca refractariedad y poca permeabilidad, por lo que su uso se lo dedica más en fundiciones no ferrosas.
- B. Arena Sintética.- Mal llamada así por los fundidores, desde hace más de 50 años, a la arena lavada y tamizada, para dar un tamaño y granulometría adecuada, y se la consigue mezclando los materiales bases (arena silicosa y aglomerante) tomados separadamente. Los materiales base, esto es, arena base, arcilla base, y aglomerantes orgánicos, desempeñan cada cual una función específica en la arena sintética. Así por ejemplo, la arena silícica da refractariedad al molde; la arcilla es el elemento aglomerante; los aglomerantes orgánicos, como aceites y dextrina tienen la virtud de comunicar propiedades específicas tales como,

alta resistencia mecánica y excelente colapsibilidad.

- C. Arena Semisintética.- Resulta de modificaciones introducidas en las arenas naturales por medio de la adición de elementos que tienden a corregir o mejorar sus calidades. Por adición se entiende la introducción en la arena de moldeo, de material base en la que ella presenta deficiencia, de acuerdo a sus propiedades.

Por ejemplo, una arena de moldeo en verde de baja resistencia requiere una adición de arcilla.

2. DE ACUERDO A SU USO

- A. Arena nueva.- Es la arena que por primera vez es usada en fundición. En cuyos granos se nota una superficie - limpia, pues se encuentra recubierta por aglomerante - firme y transparente.
- B. Arena usada.- Es aquella que ha sido recuperada de fundiciones anteriores. En estos granos se nota una superficie recubierta parcial o totalmente por escoria ferruginosa, que le da una coloración oscura a la arena usada.

3. DE ACUERDO A LA PARTE DEL MOLDE EN QUE ES USADA

- A. Arena de Moldeo.- Constituye la parte del molde que forma la superficie externa de la pieza. Consta de: a-

rena de contacto, parte de la arena que entra en contacto con el metal, y arena de relleno, que forma el resto del molde.

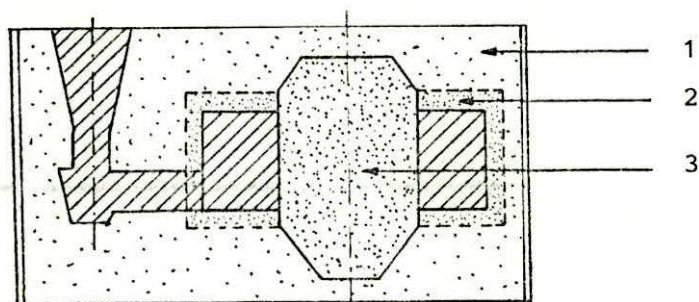
- B. Arena para corazones. - Constituye las partes del molde denominados corazones, que forman las cavidades interiores de las piezas. En ciertos corazones de grandes dimensiones, pueden ser empleados 2 calidades de arenas, una de las cuales está en la superficie y la otra en el interior de los corazones. Aquí también se denominan arena de contacto y arena de relleno, teniendo en cuenta especificar que se trata de arena para corazones. En los corazones de tamaños pequeños, por lo general se usa una misma arena, que en este caso será la arena de contacto.

En la figura 2.1 se observa, en planta y en corte longitudinal, una pieza fundida dentro de una caja de moldeo, notándose la arena de contacto, la arena de relleno y la arena para corazón.

4. DE ACUERDO A SU ESTADO DE HUMEDAD

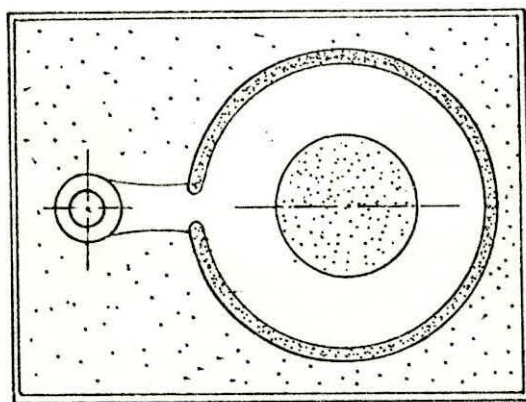
- A. Arena verde. - Es la que posee en el momento del vaciado aproximadamente o el mismo estado de humedad con que ha sido preparada, y constituye los llamados moldes verdes.

- B. Arena seca al aire. - Se emplean en moldes o corazones -



Corte Longitudinal

- (1) Arena de relleno
- (2) Arena de contacto
- (3) Arena de corazón



Vista en planta

FIG. 2.1- POSICION EN EL MOLDE DE LAS ARENAS DE RELLENO,
CONTACTO Y CORAZON

que sufren antes del vaciado, un secado al aire. Los moldes presentan menor humedad y mayor dureza en la zona superficial.

C. Arena Estufada. - Se emplean en corazones o moldes que son sometidos a un secado en estufa.

D. Barro. - Es la que se encuentra en estado bastante húmedo para adquirir consistencia pastosa, y son usados en moldes de albañilería, madera o torneados.

E. Arena seca a la llama. - Empleadas en moldes secos superficialmente con ayuda de llama o aire calentado.

5. DE ACUERDO A LA NATURALEZA DEL METAL

Las temperaturas de vaciado de los metales, sus tensiones superficiales y actividad química son diversas y exigen diferentes requisitos en los moldes. Así por ejemplo: el aluminio es vaciado cerca de los 750°C , y el acero alrededor de 1450°C , teniendo una tensión superficial el primero muy inferior al segundo. El contenido de algunos elementos en el acero por ejemplo, tienen actividades químicas que exigen del molde propiedades químicas especiales.

A. Arena para metales ferrosos

a. Para hierro gris

b. Para hierro maleable

- c. Para acero al carbono
- d. Para acero de alto contenido en manganeso.

B. Arena para metales no ferrosos

- a. Para cobre y sus aleaciones
- b. Para níquel y sus aleaciones
- c. Para aluminio y sus aleaciones

6. DE ACUERDO AL TAMAÑO Y ESPESOR MEDIO DE LAS PIEZAS

Es importante tener en cuenta el contenido térmico de masa del metal vaciado y su relación con la superficie de la arena envolvente. El peso y el espesor medio de la pieza son índices que relacionan de cierta manera a lo anterior. La práctica aconseja las siguientes consideraciones para establecer el tamaño de las piezas.

- A. Arenas para piezas pequeñas: masa hasta 30 Kgs. y espesor hasta 10 mm.
- B. Arena para piezas medianas: masa de 30 a 100 Kgs. y espesor de 10 a 25 mm.
- C. Arena para piezas grandes: masa arriba de 100 Kgs. y espesor mayor a 25 mm.

7. DE ACUERDO A LA GRANULACION DE ARENA Y CONTENIDO DE ARCILLA

La "American Foundrymen's Society"*, adopta una clasifica-

* (A.F.S.) Sociedad Americana de Fundidores

ción que tiene por criterio los dos datos siguientes: módulo de finura de la arena y porcentaje de arcilla (Tabla 2.2).

Los módulos de finura de la arena, dan la granulometría media de la arena.

Un porcentaje de arcilla (A.F.S.), da un contenido de material aglomerante arcilloso de dimensión inferior a 20 micras.

Las clases son designadas con letras y números como se muestra en la siguiente tabla:

<u>Clase</u>	<u>Módulo de Finura de la Arena</u>			
Nº				
1	200	hasta	300	inclusive
2	140	"	200	"
3	100	"	140	"
4	70	"	100	"
5	50	"	70	"
6	40	"	50	"
7	30	"	40	"
8	20	"	30	"
9	15	"	20	"
10	10	"	15	"

	<u>Porcentaje de arcilla</u>			
A	0.0 hasta 0.5 inclusive			
B	0.5	"	2.0	"
C	2.0	"	5.0	"
D	5.0	"	10.0	"
E	10.0	"	15.0	"
F	15.0	"	20.0	"
G	20.0	"	30.0	"
H	30.0	"	45.0	"

Así por ejemplo, una arena de moldeo de módulo 60 y contenido 8% de arcilla tendrá una clasificación 5-D.

TABLA 2.2.- Clasificación de la arena A.F.S.

2.3.1.4. Diferencia entre las arenas de moldeo natural y sintética

Las arenas sintéticas presentan indiscutibles ventajas sobre las arenas naturales. Además de cualidades superiores, presenta facilidades de trabajo de orden práctico y económico.

A pesar de que exigen mayores gastos en las instalaciones iniciales, como equipamiento mecánico, pero una mejoría obtenida en la calidad de las piezas fundidas es compensadora.

Así, en la tabla 2.3 se presentan las ventajas y desventa

jas de los dos tipos de arena desde el punto de vista técnico y económico.

ARENA NATURAL		ARENA SINTETICA	
VENTAJAS		DESVENTAJAS	
TECNICO	Aplicación directa.	Preparación especial, por la mezcla de los <u>componen</u> tes.	
	Mayor facilidad en la preparación de los <u>mol</u> des.	Menos facilidad de <u>prepa</u> ración del molde.	
	Humedad tolerada en rangos más amplios.	Humedad tolerada en rangos estrechos.	
	Menor exigencia en <u>cuan</u> to al control.	Exigencias de control más rigurosos para mantener las características.	
ECONOMICO	Secan más lentamente.	Secan más rápidamente.	
	Menos costo de <u>obten</u> ción.	Mayor costo de obtención	
	Aparatos de <u>prepara</u> ción más simples	Equipamiento complejo.	
DESVENTAJAS		VENTAJAS	
TECNICO	Dificultades de <u>encon</u> trarse buenos tipos.	Mayor facilidad de <u>servi</u> cio.	
	Falta de homogeneidad en los depósitos <u>natu</u> rales.	Constancia de calidad en cada uno de los <u>componen</u> tes.	
	Los componentes <u>arci</u> llosos son, generalmente de inferior <u>ca</u> lidad.	Se escoge arcilla de <u>bue</u> na calidad.	
	Campo de acción <u>limi</u> tada dadas las <u>propie</u> dades originales del material.	Campo de acción amplio, mediante la modificación de las proporciones de los diferentes <u>constitu</u> yentes.	
	Acabado superficial inferior.	Mejor acabado, debido a la mayor refractariedad de los granos.	
	Plasticidad y <u>permea</u> bilidad inferiores.	Plasticidad y <u>permeabi</u> lidad superiores.	

Cont.

ECONOMICO	Mayor porcentaje de piezas defectuosas.	Menor pérdida por defectos debido a la arena de fundición.
	Menor tiempo de vida de la arena (menor durabilidad), por tanto menor recuperación.	Mayor durabilidad, permitiendo mayor recuperación (cerca de 90%).
	Mayor tiempo de moldeo. Imposibilidad o dificultad de aplicación de moldeo mecánico.	Economía en el trabajo de moldeo. Facilidad en la aplicación de moldeo mecánico.
	Mayor costo de producción (inclusive mayor número de hombres por hora y por Kgs. de pieza fundida).	Menor costo de producción (inclusive menor número de hombres por hora y por Kgs. de pieza fundida).

TABLA 2.3.- Diferencias de las arenas natural y sintética del punto de vista técnico y económico.

1. COMPUESTOS DE UNA ARENA DE FUNDICION SINTETICA

Es un elemento granular refractario, de naturaleza silicosa, en la que debe considerarse las siguientes características:

- A. Granulometría: tamaño de granos, distribución granulométrica y porcentaje de finos;
- B. Contenido de arcilla (A.F.S.);
- C. Pureza;
- D. Forma de grano;
- E. Integridad de los granos;

F. Refractariedad;

G. Permeabilidad base; y

H. Expansibilidad

En la granulometría uno de los factores de más importancia es el tamaño de grano, ya que de él depende el aspecto superficial de las piezas fundidas. Además, mientras más grueso es el grano mayor es la permeabilidad del molde. Entre varias arenas que den una permeabilidad adecuada y teniendo en cuenta el acabado superficial de la pieza, debe escogerse la arena de módulo de finura más elevada, esto es, la de granos más finos. Este criterio es, por lo tanto, contrario a lo que se debe tomar en cuenta, la economía del aglomerante.

Una arena es considerada gruesa, cuando su módulo de finura es inferior a 50 y generalmente superior a 30. Es considerada media entre 50 y 70. Fina para módulos entre 70 y 100. Muy fina de módulo entre 100 y 150, y finísima de módulo superior a 150. La práctica a ser adoptada con las diversas arenas, en aplicaciones diferentes basadas en la granulometría, es un tanto arbitraria. Así por ejemplo, es generalmente admitido que las piezas grandes de acero exigen granos de arena gruesa (módulo 40-50) por ofrecer mayor permeabilidad.

La distribución granulométrica debe ser tal que la arena

tenga alta permeabilidad y baja expansión. Esto se obtiene de mejor forma con una distribución granulométrica con más del 50% y menos del 70% de granos retenidos en tres tamices consecutivos de una serie patrón. La arena con más del 70% de concentración presenta tendencia a la expansión.

Los finos, denominados así por el porcentaje de material retenido en los dos últimos tamices y más los que pasan el último tamiz de la serie patrón, por lo tanto es el material con malla menor que 140. Estos se colocan entre los espacios dejados por los granos grandes, separándolos y reduciendo así la expansión de la arena. Contribuyen a bajar sensiblemente la permeabilidad. Hay pues un valor óptimo de contenido de finos, que reducen la expansión y no perjudican la permeabilidad del molde. El contenido de arcilla en la arena base es un obstáculo, ya que posee un poder aglomerante deficiente y contribuye a disminuir la permeabilidad de la arena.

La pureza de la arena depende de la presencia de minerales extraños, observables con una lupa de pequeño aumento (25X). Los minerales nocivos son los de bajo punto de fusión y que actúan como fundentes, que a altas temperaturas funden y se unen entre sí los granos de cuarzo contiguos.

Son estos, ilmenita, la hematita, la calcita y los feldespatos. Otros minerales hay que no perjudican la refractariedad

de la arena, más perjudican a la cohesión entre los granos, tales como la mica. Prácticamente puede adoptarse un índice de 3% como límite de impurezas.

La forma de grano de la arena se presentan en cuatro tipos, redondos, angulares, subangulares, y agrupados o compuestos.

Los granos angulares no se usan en arena para corazones, - por no ofrecer aceptable permeabilidad para un grado dado de compactación, fig. N° 2.2. Los granos subangulares, se usan en arena para corazones, y son los más aconsejados como arena de contacto de arenas sintéticas, fig. N° 2.3.

Los granos redondos son los más aconsejados como arena de relleno, economizando grandemente el tiempo de escape de gases en las cajas, siendo además los que presentan mayor durabilidad, fig. N° 2.4.

Los granos compuestos agrupados, no son aconsejados por su pequeña durabilidad y dificultad de control granulométrico, fig. N° 2.5.

2.3.2. RESINAS AGLOMERANTES SINTETICAS

Aquí se trata de dar primero una información general de los diferentes tipos de aglomerantes usados para la fabricación de corazones, que han sido empleados por los fundidores des

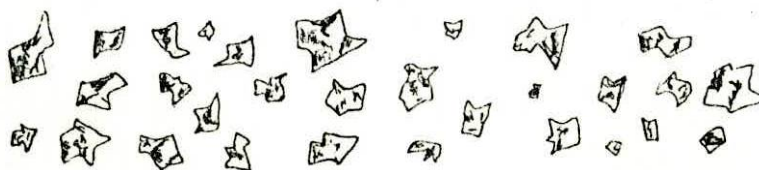


FIG. 2.2. ARENA DE GRANOS ANGULARES

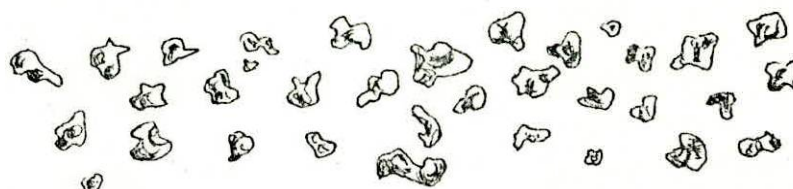


FIG. 2.3.- ARENA DE GRANOS SUB-ANGULARES



FIG. 2.4.- ARENA DE GRANOS REDONDOS

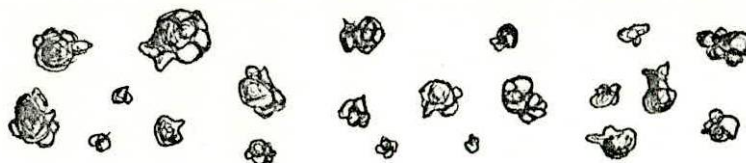


FIG. 2.5.- ARENA DE GRANOS COMPUESTOS

de hace muchos años atrás, de lo cual se ha acumulado mucha experiencia, que permite escoger para su aplicación el aglomerante, que desde el punto de vista técnico y económico ofrezcan al fundidor las mayores ventajas.

De esta manera los aglomerantes para corazones pueden ser divididos en tres tipos principales que son:

- A. Aglomerantes que endurecen por enfriamiento,
- B. Aglomerantes que endurecen a temperatura ambiente; y
- C. Aglomerantes que endurecen por cocimiento o termoendurecibles.

A. AGLOMERANTES QUE ENDURECEN POR ENFRIAMIENTO

Entre los aglomerantes de este tipo están los corazones congelados que fueron utilizados por primera vez en Rusia y Canadá. Se utiliza arena de corazón común, a la que se adiciona un 12% de agua. Un corazón fabricado por los métodos usuales en verde, es colocado en una cámara y enfriada algunos grados bajo cero. Una vez congelado el corazón, es colocado en el molde en pocos minutos para evitar el inicio de la licuefacción del agua.

Los corazones congelados sufren una colapsibilidad muy rápida, y pueden ser empleados en la fundición de pequeñas piezas en las cuales se exige esas propiedades.

Los aglomerantes termoplásticos por lo general pertenecen a esta clase.

B. AGLOMERANTES QUE ENDURECEN A TEMPERATURA AMBIENTE

1. Silicato de sodio.- Es un compuesto alcalino de sílice en solución acuosa, solamente usada en casos especiales. Al contrario de los aglomerantes orgánicos, el silicato de sodio es un aglomerante permanente, esto significa que no se quema a altas temperaturas, en la que los aglomerantes orgánicos se descomponen. No existe la colapsibilidad de los corazones aglomerados con este material. Es usado principalmente en la protección del molde en sus regiones frágiles. Debido a su tendencia a llegar a su punto de sinterización, el silicato de sodio es utilizado principalmente en la fundición de no ferrosos.

2. Cemento Portland.- Los corazones fabricados con arenas aglomerados con cemento están siendo utilizados en la fabricación de moldes para piezas de acero y de hierro fundido. Cuando se desea un buen acabado superficial, la arena y el cemento son mezclados convenientemente en mezcladores especiales. En general se utiliza 12% de cemento en peso, y el agua suficiente para temperar (de 6 a 8%).

Los corazones son fabricados de manera usual, y son

secados en una cámara, con circulación de aire durante tres días, a una temperatura comprendida entre 20 y 25°C. Al final de este tiempo el cemento se habrá endurecido y la mayor parte del agua se habrá evaporado.

3. Otros aglomerantes.- En esta clase se incluyen los cementos magnesianos, aglomerantes a base de caseína, yeso, etc.

C. AGLOMERANTES QUE ENDURECEN POR COCIMIENTO

Esta es una clase más numerosa e incluyen aglomerantes como: óleos, cereales, resinas, sulfitos o proteínas.

Los aglomerantes más usados de esta clase son los siguientes:

1. Resina.- Las resinas son usadas como aglomerantes para arena de corazones y pueden ser divididas en naturales y sintéticas. Las resinas naturales son de origen vegetal; las más abundantes son las obtenidas de los árboles de la familia de los pinos.

Las resinas sintéticas son producidas artificialmente.

Las resinas pueden ser adicionadas a la arena de dos maneras: directamente cuando son duras, debiendo estar finamente pulverizada, o indirectamente, disol-

viéndolas en un medio líquido. Las resinas sintéticas a base de baquelita (formaldehído-fenol), el de urea (urea formaldehído), son usadas en corazones que requieren ciclo rápido de cocido.

Las resinas fenólicas son normalmente empleadas en procesos Shell-Molding, en proporción de 3 a 6%.

2. Pixe.- Es un subproducto de destilación del carbón. Es un aglomerante más resistente a la absorción de humedad, por esta razón es utilizado en la fabricación de corazones y de moldes grandes que deben quedar almacenados durante mucho tiempo antes del vaciado.
3. Melazas.- Son subproductos de la refinación del azúcar de caña o de la veteraba. Generalmente son usados con otros aglomerados, siempre en medio acuoso. La humedad debe ser muy bien controlada. Pero presentan el inconveniente de ser higroscópicos.
4. Aglomerantes de cereales.- Durante mucho tiempo las harinas de trigo o de centeno fueron utilizadas como aglomerantes en fundición, con pocos resultados satisfactorios. Más tarde aparece la goma británica y los diversos tipos de dextrinas. La goma británica consiste en la obtención de dextrina por el simple cocimiento del almidón. Las dextrinas pueden ser obtenidas por la acción de catalizadores ácidos, básicos o por enzimas.

En la actualidad los aglomerantes de este tipo más usados son las dextrinas derivadas del almidón de mijo y almidón de mandioca; estos materiales convenientemente utilizados dan buenos resultados.

Los aglomerantes cereales, tienen la ventaja de comunicar buena resistencia a la mezcla en verde o seca.

5. Aceites para corazones.- Los aceites se endurecen por ca lentamiento, por una reacción mixta de polimerización y oxidación. Los resultados obtenidos dependen principalmente del control de tiempo y temperatura de la operación de cocimiento. Los aceites preparados para corazo nes son compuestos a base de un aceite vegetal, al cual se le adicionan resinas debidamente tratadas y un sol vente.
6. Lignosulfonato de calcio.- Producto de las lixivias residuales del proceso de obtención de celulosa por sulfi tos alcalinos y alcalinos ferrosos. Se encuentra en forma seca, en polvo que contiene 97-98% de residuo seco o en líquido vaporoso con PH 4,5 y densidad de 33°Be constituido de 12% de residuo seco a 105°C. Está cons tituido principalmente de lignosulfonato de calcio y al gunos azúcares complejos. Es utilizado como aglomerante en la arena de fundición, sustituyendo parcial o totalmente los aceites de corazones y las harinas de cereales.

Por tratarse de un producto higroscópico no es conveniente que se lo emplee cuando los moldes y corazones van a ser expuestos a la humedad del aire durante mucho tiempo.

7. Otros aglomerantes.- Los silicatos de etilo y los fosfatos amoníaco-manganesícos son usados solamente en fundición de precisión debido a su alto precio.
8. Aglomerantes auto-endurecedores.- Son resinas especiales que se endurecen al ambiente y resinas para proceso Caja Caliente (Hot-Box).

Hasta hace poco tiempo, eran considerados aglomerantes autoendurecedores ciertos tipos de aceites conteniendo aditivos especiales. Actualmente esta designación se aplica a ciertas resinas que fueron estudiadas especialmente para aplicarlas como aglomerante en las arenas de fundición.

Los tipos de resinas con características especiales son:

- a. Monómero de alcohol furfurílico combinado con la menor cantidad de polímero de amino ácido.
- b. Monómero de alcohol furfurílico mezclado con polímeros de alcohol furfurílico.
- c. Polímeros de amino aldehído que reaccionan con porcentajes mínimos de polímeros de alcohol furfurílico.

- d. Urea formaldehído semi-polimerizada mezclada al frío con alcohol furfurílico.

El alcohol furfurílico es producido por la hidrogenación - del furfurol, que es a su vez un derivado extraído de las cáscaras de la avena o de otros productos agrícolas similares.

Una de sus características es la propiedad de autopolimerizarse cuando se acidifica. Esta polimerización convierte la solución acuosa de resina blanquinosa con aspecto de solvente, en una resina sólida.

Para efectuar la resinificación, son añadidos a la mezcla de arena catalizadores ácidos fuertes como por ejemplo el ácido fosfórico.

Los tipos de resinas descritos pueden ser clasificados en:

- a. Tipos que necesitan horneado; y
- b. Tipos que no necesitan horneado.

- a. Tipos de resina que necesitan horneado.

Todos estos aglomerantes son relativamente lentos para endurecerse (curado), aun cuando se le haya añadido el ácido, y necesitan más tiempo que temperatura para pro-

ducir una película suficientemente fuerte para permitir el manejo de los moldes o corazones. Hay sin embargo referencia de que los corazones preparados con arenas conteniendo alcohol furfurílico puro tienen un endurecimiento bastante acelerado por la aplicación del calor.

a.1. Monómeros de alcohol furfurílico-complejo de amino aldehidos.

En muchos casos, los monómeros de alcohol furfurílico son mezclados con amino aldehidos que prereaccionan con alcohol furfurílico para producir un producto que combine la solubilidad y reactividad del alcohol con una velocidad de curado y con un menor costo en la adición de aldehidos.

Este tipo de aglomerante también necesita de un medio fuertemente ácido, ya que se trata principalmente del tipo de alcohol furfurílico.

a.2. Mezclas de monómeros y polímeros de alcohol furfurílicos.

Estas mezclas son preparadas por los fabricantes de aglomerantes, buscando equilibrar la velocidad de curado, viscosidad, reactividad y estabilidad de la solución. Estos aglomerantes son habitualmente más lentos en el endurecimiento que los tipos de amino

aldehidos, si se usara una misma relación catalizador-resina.

b. Tipos que no necesitan horneado

Los aglomerantes que presentan preponderancia de amino aldehidos en relación al alcohol furfurílico son los más indicados para una nueva técnica de preparación de corazones conocido como proceso de "caja caliente" - (Hot Box).

En este proceso una mezcla de arena precatalizada conteniendo la resina es soplada a una cierta presión a una caja de corazones precalentada, donde luego de un mínimo de tiempo de curado (algunos segundos) el corazón sólido perfectamente manoseable, con estabilidad dimensional, puede ser extraído. Aunque en este punto el interior del corazón esté blando, la masa continúa el curado debido a una reacción exotérmica - hasta su endurecimiento total, que es cuando presenta la máxima resistencia. Este proceso representa una ventaja en la industria de la fundición, pues en la caja de corazones, estos quedan retenidos por poco tiempo.

Es importante observar que el material del cual ha sido confeccionada la caja de corazones sea bastante resistente a las altas temperaturas. En este particular

el proceso se asemeja al moldeo en cascara.

b.1. Polímero de amino aldehído y alcohol furfurílico

Cuando un aglomerante es preparado con una mezcla de estos compuestos, se obtiene un producto con una reacción muy rápida debido a ciertos polímeros de amino aldehídos, además de la tendencia de resinificación del alcohol furfurílico. De estos tipos son las resinas que resultan adecuadas al proceso de caja caliente. Estas resinas representan las más recientes técnicas para la preparación de corazones en una fundición.

Se utilizan sales minerales fuertes como catalizadores para este tipo de resina con la finalidad de promover la formación de una película resinosa.

Las sales más comunmente usadas son:

1. Cloruro de amonio
2. Cloruro férrico
3. Cloruro de zinc
4. Varios anhídridos ácidos

Las sales pueden ser utilizadas en solución o secas. Una dispersión mejor de la arena es obtenida por la

utilización de catalizadores en solución.

b.2. Urea semi-polimerizada y alcohol furfurílico

Cuando se calienta urea sólida con una solución acuosa de formaldehído por breve tiempo, se forma una resina semiestable. Esta mezcla puede ser polimerizada posteriormente reduciéndose el Ph de la solución. Para ser posible esta reacción, debe ser usado un exceso de formaldehído en la resina primaria. El alcohol furfurílico puede ser adicionado y mezclado a la resina primaria o los dos ingredientes (resina primaria y alcohol furfurílico) pueden ser adicionados separadamente a la arena.

b.3. Polímeros de amino aldehídos

La poca estabilidad de los aglomerantes de estos compuestos, la baja resistencia en caliente y más aún su naturaleza pegajosa, hacen a estos aglomerantes - los menos recomendables del grupo.

2.3.2.1. Función de los aglomerantes

Independientemente de los tipos de aglomerantes usados, los principios físicos que rigen sus reacciones en la masa de arena son esencialmente los mismos.

Las principales propiedades deseadas en un corazón son:

- a. Resistencia al manoseo
- b. Estabilidad dimensional
- c. Resistencia en caliente
- d. Colapsibilidad
- e. Baja evolución de gases

Estos nuevos aglomerantes parecen satisfacer todos estos requisitos, independientemente de la adición de otros aditivos, a no ser que se desee efectos especiales, como la adición de óxido de hierro para aumentar la resistencia en caliente.

Una arena convencional está compuesta de, arena, harina de cereales, agua y aceite de corazones. En esta mezclas, la arena corresponde al agregado inerte; la harina de cereales y el agua permiten el manoseo; el aceite proporciona la posibilidad de endurecimiento y posterior almacenamiento, etc. La mayoría de las propiedades en caliente son función de los materiales inorgánicos inertes existentes en los corazones. La colapsibilidad está en función de los mismos aglomerantes orgánicos.

Los aglomerantes auto-endurecibles (resinas) proporcionan una manoseabilidad del corazón por la formación de una película gelatinosa. Esta película se torna más espesa por la acción del catalizador que polimeriza la resina formando un gel. A medida que continúa la polimerización la

película pasa de su estado gelatinoso a sólido, completando así el curado del corazón y tornándolo perfectamente - manoseable.

El caso de los aglomerantes que contienen preponderantemente alcohol furfurílico, el cocimiento es el indicado para completar estas reacciones. Los aglomerantes tipo amino son catalizados rápidamente, en unos segundos, en una caja precalentada (Hot-Box).

Mientras más baja es la resistencia en caliente de un aglomerante, mayor será su colapsibilidad. Estos materiales resinosos presentan un equilibrio muy bueno entre estas - dos características.

2.3.3. TIPOS DE MEZCLAS A USARSE

Antes de mencionar los tipos de mezclas a usarse en la elaboración de los corazones, es importante tener en cuenta de seleccionar la arena, la cual deberá ser muy aproximada al tamaño de grano y distribución de la arena base de moldeo. Esta selección que se haga, será de los resultados que se obtengan de un estudio y análisis de las propiedades de las arenas, con las que se obtengan las mejores piezas fundidas desde todo punto de vista.

Desde que se tiene conocimiento de la existencia de la funun

dición, los fundidores debido a la carencia de recursos y de conocimientos técnicos más avanzados, han venido usando diferentes tipos de aglomerantes para preparar sus mezclas. Estos aglomerantes a los que se los conoce con el nombre de "aglomerantes rudimentarios" son: el aceite de linaza o un contratipo; harina de trigo de segunda; brea; melazas; y otros tipos de aglomerantes rudimentarios que logren una liga entre los granos de arena después de horneados.

Cada proceso presenta un orden y tiempo de mezclado, según los ingredientes que requieran. Así en el proceso de mezclado para caja caliente, se utilizan como ingredientes arena, resina y agua.

En este trabajo se tratará de obtener la mezcla óptima para cada tipo de arena y para esto se realizarán mezclas con diferentes cantidades de resina, hasta lograr el macho que tenga todas las propiedades requeridas.

Hay ciertas reglas para realizar las mezclas para corazones, los éxitos o fracasos de una mezcla en particular, no se pueden conocer normalmente sino hasta que esta haya sido probada en la fundición. Existen muchas variables en este campo de la práctica de la fundición, ya que una mezcla que puede producir una buena fundición en un sector del

país, puede ser decididamente inferior en otro sector. Por ejemplo, la disponibilidad de la arena y la economía del problema muchas veces influyen en la selección de la mezcla para un trabajo en particular.

El tipo de mezcla a usarse para la elaboración de los corazones, dependerá del material que se vaya a fundir. Por lo tanto además de la finura de la arena, que para el hierro la distribución de la arena debería ser tal que por lo menos el 75% de los granos permanezcan en 3 tamices consecutivos. La forma de los granos variará desde redondo hasta angular. En la mayoría de los casos las arenas son libres de arcillas. Hay algunas ocasiones en las cuales un pequeño porcentaje de aglomerantes naturales es deseable.

Como en las mezclas convencionales de arena, la cantidad de aglomerante a ser añadido varía en función de su granulometría; cuanto más gruesa sea la arena menor cantidad de aglomerante será necesario.

2.3.3.1. Requerimientos de las mezclas para corazones

Una mezcla para corazones, debería ser elaborada de tal manera que, los corazones hechos con ésta reúna las siguientes cualidades:

1. Debe tener resistencia en proporción a los esfuerzos del

metal en particular a elevada temperatura y durante el enfriamiento. Un corazón que mantiene su esfuerzo elevado puede ocasionar en la fundición defectos como fisuras o grietas en caliente en sitios donde el metal debe contraerse con facilidad.

2. Debe experimentar colapso al mismo tiempo durante la solidificación del metal particular. Se ha comprobado que un corazón incrementa rápidamente su esfuerzo a una cierta temperatura, pasa por un período plástico y finalmente decrece su esfuerzo rápidamente. Teóricamente al menos, el corazón debería mantener su esfuerzo hasta que el metal haya formado una capa sólida suficiente alrededor de este, entonces el corazón debería perder rápidamente su resistencia en el momento en que el metal empieza la contracción, evitando así las tensiones de la fundición y posible formación de fisuras y grietas en caliente. Esta es la razón por la cual el metal está libre de esfuerzos después de la solidificación.
3. Debe presentar una superficie apropiada al metal, de modo que, debido a la fluidez del metal u otras causas, el metal no penetre en el corazón.
4. Debe ser suficientemente duro para resistir el flujo del metal fundido sobre su superficie. Al fallar esto, pue-

den resultar cortes, rasguños y otros defectos superficiales.

5. Ser resistente al calor contenido en el metal en su temperatura de vaciado.
6. No ser afectado por el molde o por otros gases generados por el metal fundido. Poco se conoce acerca de la reacción de los corazones en presencia de varias atmósferas, pero se sabe que tales atmósferas pueden ejercer una influencia y las mezclas para corazones debe ser hechas - para resistir dichas posibles reacciones.
7. No debe perder demasiado su resistencia durante el almacenamiento.
8. No debe absorber excesiva humedad durante el almacena-miento o en el molde, si el molde se lo ha hecho algún tiempo antes de usarlo en la fundición.
9. Debe resistir el manoseo sin dañarse.
10. Mantener su forma apropiada antes y después del período de cocimiento.
11. Cocer completamente y rápidamente tanto como sea posible, de esta manera exigiendo un mínimo de equipo de curado de corazones.

12. Producir tan poco gas como sea posible cuando el corazón entre en contacto con el metal fundido.
13. Debe poseer un grado de permeabilidad apropiada, para permitir el escape de los gases formados durante la operación de vaciado.
14. Debe tener una superficie lisa, para que se pueda producir una fundición con buen acabado superficial.
15. Ser removido fácilmente de la pieza fundida, minimizando de esta manera el costo de limpieza.
16. No pegarse o atascarse, dentro de la caja de corazones en la que es curado. El silicón es el producto más recomendado para utilizarse como agente separador en las cajas calientes. La técnica de su aplicación es semejante a la utilizada en el proceso Shell.

2.3.4. Parámetros involucrados en la máquina disparadora de corazones

Los parámetros que se consideran en esta investigación y que estan ubicados en los controles de la máquina disparadora de corazones son: el tiempo de curado (o ciclo de curado) y la temperatura de curado. Ambos parámetros juegan un papel de consideración dentro del proceso.

La temperatura de curado es un parámetro que influye en la rapidez con que inicia la resina su polimerización, haciendo reaccionar primero la mezcla que está en contacto con la superficie de la cavidad del corazón, dando lugar a la formación de una cáscara dura. Debido a que el calor inicia una reacción química termoestable y exotérmica.

El tiempo de curado (o ciclo de curado) es una función interrelacionada con la temperatura de curado ya que a mayor temperatura el ciclo de curado podrá ser muy corto, en cambio a menor temperatura el ciclo de curado será largo.

Un parámetro que no es inherente a la operación de curado pero que manifiesta su influencia en los parámetros precisados, puesto que mientras mayor humedad contenga la mezcla mayor será el ciclo de curado.

El ciclo de curado en la máquina termina cuando los corazones tengan la consistencia suficiente como para poder ser extraídos de la caja de corazones sin deteriorarse. Aun cuando el centro del corazón al salir de la caja sea suave, debido a las propiedades exotérmicas de la resina, este completa su curado durante el enfriamiento hasta la temperatura ambiente.

En definitiva estos parámetros deben ser establecidos y controlados muy cuidadosamente, considerando que este proceso tiene aplicación en la industria de la fundición para altas producciones de piezas coladas, de esta forma se garantizaría entonces mantener las condiciones de producción ininterrumpidamente.

2.3.5. Control del proceso

Los aglutinantes que se usan mezclados con la arena dependiendo de su presentación, sus propiedades físicas y sus condiciones de reacción química se podrá determinar la cantidad en peso para mezclas óptimas.

A más de la resina las mezclas contienen una cantidad de agua la que actúa como agente homogenizador.

Cada mezcla de arena-resina-agua requiere un porcentaje -

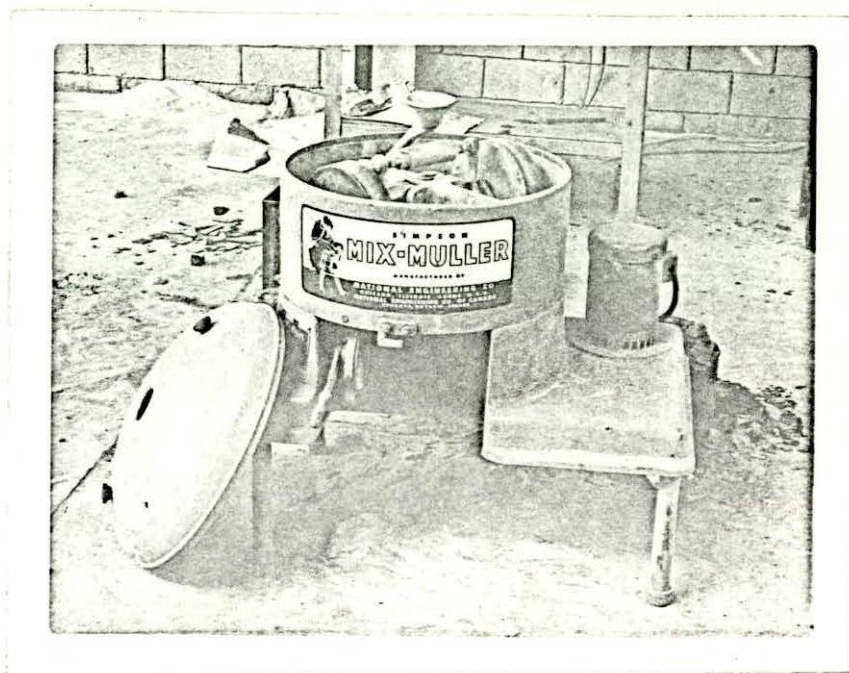
diferente de agua, por lo que se recomienda que de acuerdo al tipo y cantidad de resina y arena empleadas se varie el porcentaje de agua.

Para diferentes tipos de resinas es necesario utilizar diferentes procedimientos de mezclado y utilizar el procedimiento de mezclado más adecuado que se adapte a la resina que se esté utilizando.

El procedimiento que se usa para la preparación de la mezcla de arena-resina-agua debe ceñirse a la práctica utilizada en la fundición para cualquier operación específica. Un procedimiento muy corriente y muy utilizado para preparar una mezcla de arena del laboratorio es como sigue:

1. Seleccionar la muestra de arena por el método alternativo de pala para las muestras grandes en bruto y por el método de cuarteo para las reducciones de las muestras pequeñas
2. Secar la muestra a una temperatura de entre 104 y 110°C hasta un peso constante y enfriarla hasta la temperatura ambiente.
3. Pesar con exactitud una cantidad de arena en un recipiente previamente pesado y transferir a un mezclador de laboratorio.

4. Pesar separadamente la cantidad exacta de resina deseada y el agua, si esta se requiere.



FOTOGRAFIA 2.1. MEZCLADOR

5. Accionar el mezclador y añadir la cantidad de agua deseada, cuidando de distribuirla uniformemente sobre la mezcla arena-resina. La adición de agua debe hacerse dentro de un intervalo de tiempo que no exceda los 30 segundos. Entonces mezclar por cuatro minutos. (Fotografía 2.1).
6. Añadir la cantidad deseada de resina a la arena de tal manera que se eviten pérdidas por adherencia a las superficies inactivas del mezclador o como polvo en el caso de resinas secas, cuidando de extender la resina uniformemen

te sobre la arena.

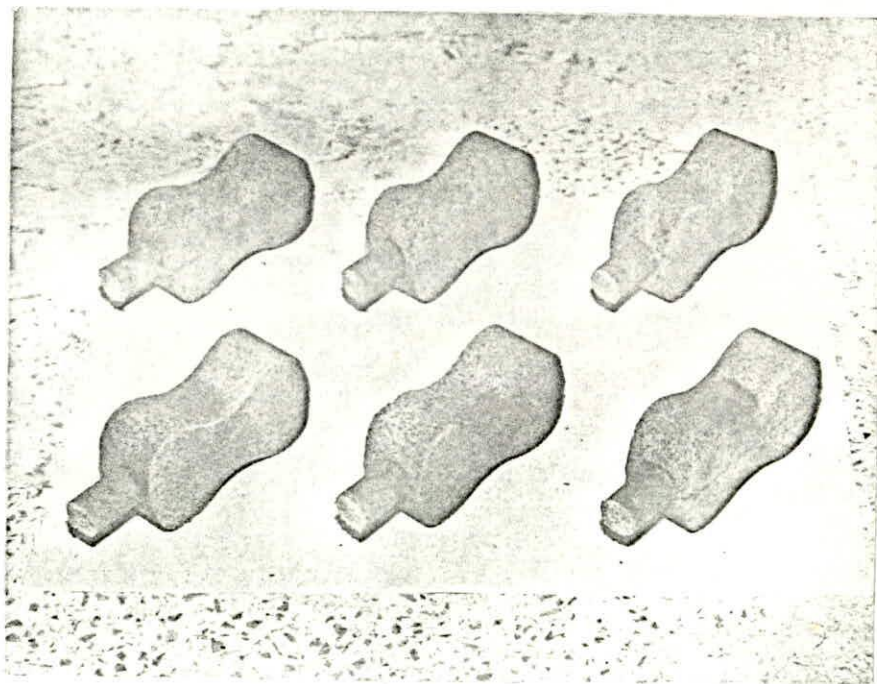
7. Accionar el mezclador por tres minutos. Evitar la pérdida de resina utilizando una cubierta apropiada y dejando asentar el polvo (en el caso de aglutinantes secos) después del período de mezcla de tres minutos previamente descrito. (Algunas mezclas de arena requieren menos tiempo que el mencionado y otras requieren un tiempo mayor. Para los mejores resultados, ajustarse al tiempo recomendado por el fabricante o al tiempo recomendado - por la experiencia con un mezclador específico).
8. Descartar la primera mezcla, conocida como la "mezcla - simulada". Se puede percibir rápidamente que si se hace lo anterior, la segunda mezcla en el mezclador tendrá la ventaja de una cantidad adicional de aglutinante y humedad. No intentar raspar la arena adherida a las superficies de trabajo del mezclador.
9. Repetir todos los pasos y descargar la mezcla de arena resultante en un recipiente hermético apropiado tan pronto como sea posible.
10. Emplear la mezcla para obtener los corazones y determinar la propiedad o propiedades mecánicas del caso.

Uno de los métodos para ensayar la resistencia de mezclas de

arenas para corazones, en su condición de estufada o curada es utilizando la briqueta de tracción que ha sido aprobada como norma.

La resistencia a la tracción de un corazón horneado o curado se define como la resistencia máxima de tracción que un corazón es capaz de soportar. La resistencia a la tracción del material en su condición de estufado o curado debe expresarse en kilogramos por centímetros cuadrados (Kg/cm^2).

Las probetas para el ensayo deben ser hechas en una caja de corazones capaz de producir corazones que tengan la forma (fotografía 2-2) y dimensiones indicadas en la fig. 2.6.



FOTOGRAFIA 2.2.- GRUPO DE CORAZONES

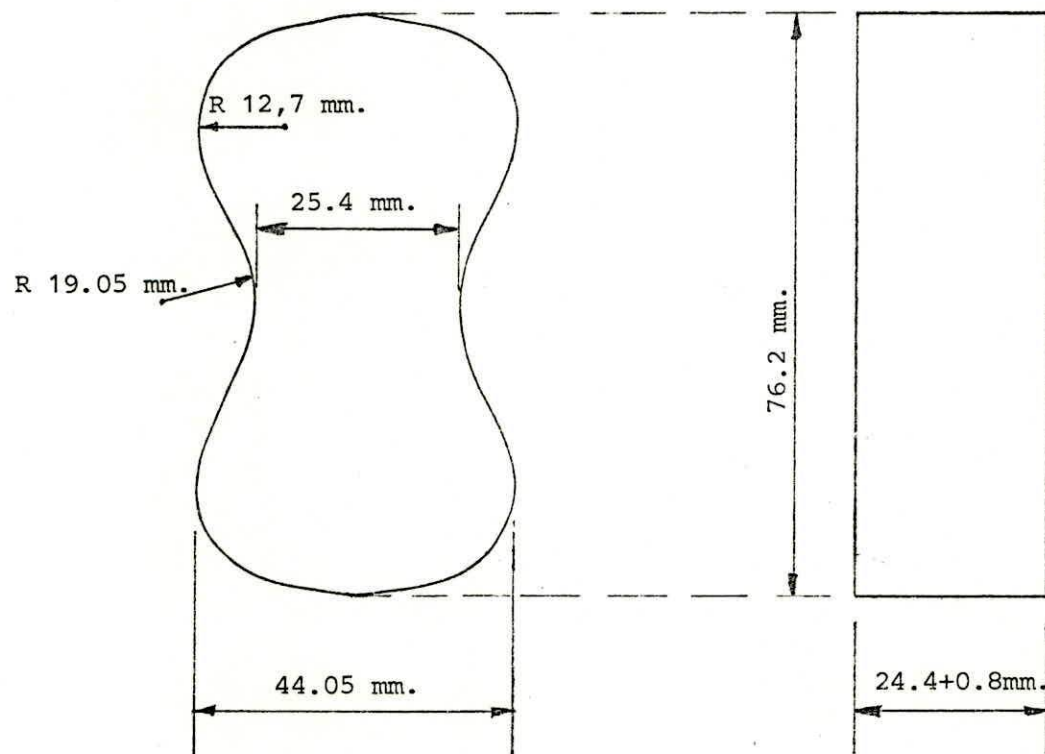
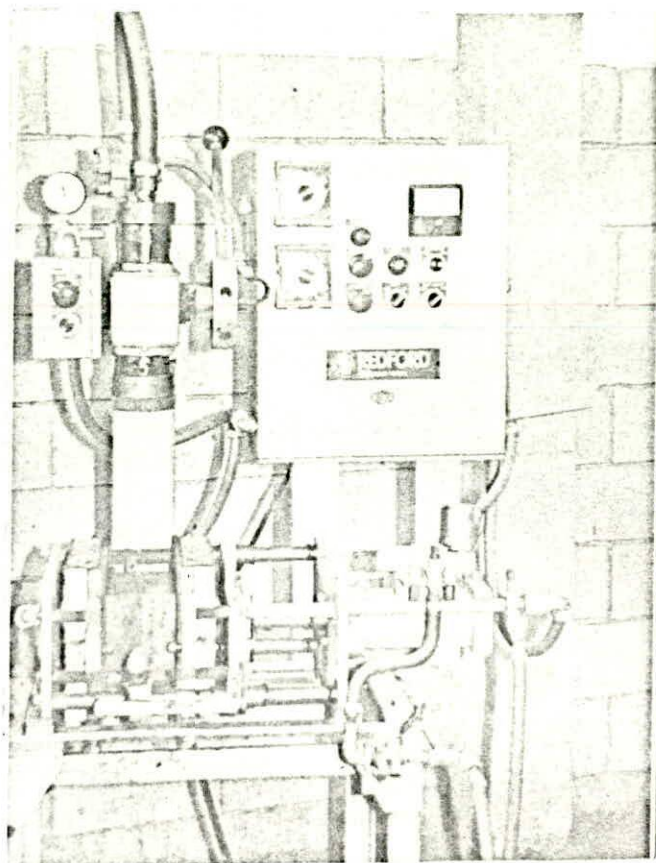


FIG. 2.6.- DIMENSIONES DE LA BRIQUETA PARA ENSAYAR LA RESISTENCIA A LA TRACCION DE MEZCLAS DE ARENA PARA CORAZONES.

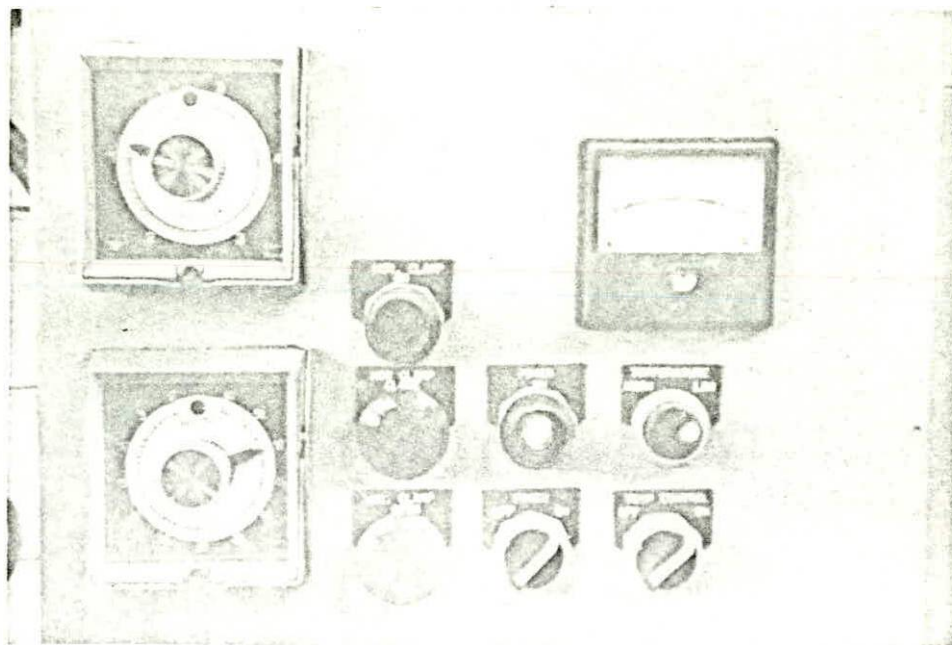


FOTOGRAFIA 2.3.- MAQUINA DISPARADORA DE CORAZONES

El equipo para formar la briqueta consiste de una máquina automática controlada eléctricamente (fotografía 2.3) que realiza por si sola el ciclo completo de curado, cuya descripción es la siguiente:

1. El aire de entrada es suministrado por la columna de aire del soplador de corazones por medio de un solenoide operado eléctricamente por encima de la columna de la cabeza del soplador.

2. El tubo suministra aire al sistema de caja caliente y a la línea de limpieza. Una válvula de cierre manual es provista para que la línea de limpieza pueda ser usada sin suministrar aire al sistema de la caja de corazones. La boquilla de la línea de limpieza está diseñada para distribuir aire solamente a 2.11 Kgs/cm^2 .
3. La caja de corazones se cierra oprimiendo dos botones que controlan las válvulas de cierre, para lo cual hay que utilizar ambas manos, para que no exista posibilidad de lesión para el operador. Esto es controlado electrónicamente por medio de una válvula solenoide.
4. La cabina de control incluye un controlador de tiempo de 0 a 5 segundos para el ciclo de soplado, un controlador de tiempo de 0 a 60 segundos para el ciclo de curado, un interruptor principal, una luz indicadora para el encendido, un interruptor para el calentador y una luz de doble propósito para indicar el momento en que el controlador está requiriendo energía para los calentadores (fotografía 2.4).
5. Los corazones son formados en una caja de hierro fundido de tres cavidades, construída en dos partes que están fijadas a las placas que son calentadas eléctrica-



FOTOGRAFIA 2.4.- CABINA DE CONTROLES DE LA MAQUINA DISPARADORA DE CORAZONES

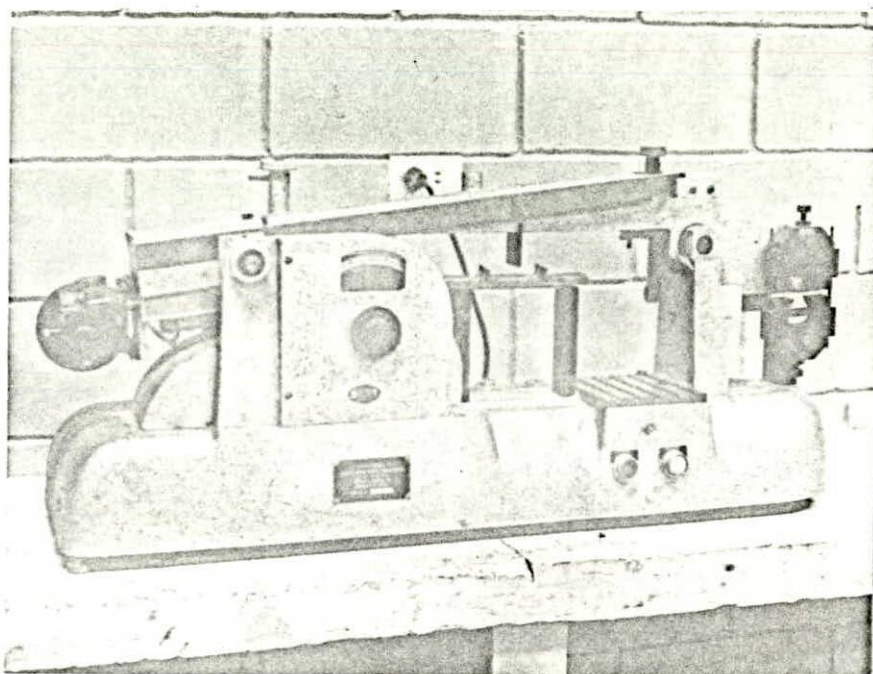
mente. Los corazones son soplados sobre un sostenedor, de manera que puedan ser sacados fácilmente cuando se abre la caja.

La operación de la máquina disparadora de corazones es la siguiente:

1. Colocar el controlador de temperatura a la temperatura de ensayo deseada, dejando calentar por 45 minutos por lo menos antes de operar la máquina.
2. Colocar el controlador de tiempo de soplado (0 - 5 seg.) en la posición deseada.

3. El controlador del ciclo de curado (0 - 60 seg.) deberá ser colocado en el tiempo de curado deseado. Este controla el tiempo de curado y es activado automáticamente cuando se ha cumplido el ciclo de soplado.
4. Durante el período de calentamiento la caja de corazones deberá permanecer cerrada.
5. Con la línea de aire del sistema de la caja de corazones lista y la presión colocada en 5.63 Kgs/cm^2 , el soplador de corazones está listo para la operación.
6. Antes de soplar la mezcla de arena se recomienda que la caja de corazones sea abierta, y rociar ambas cavidades del molde con un desmoldante de silicona.
7. Llene la tolva completamente con la mezcla
8. Lleve la tolva llena de mezcla a la máquina sobre la caja de corazones. Moverla rápidamente hasta el tope de atrás, y sujeta abatir la palanca para conectar el paso del aire hacia la tolva. Aplicar una presión hacia abajo, y al mismo tiempo presionar rápidamente el botón verde de soplado. En ese momento el aire desciende a través de la tolva forzando a la mezcla a entrar a la cavidad de la caja de corazones.
9. Completado el ciclo de soplado, el controlador de tiempo

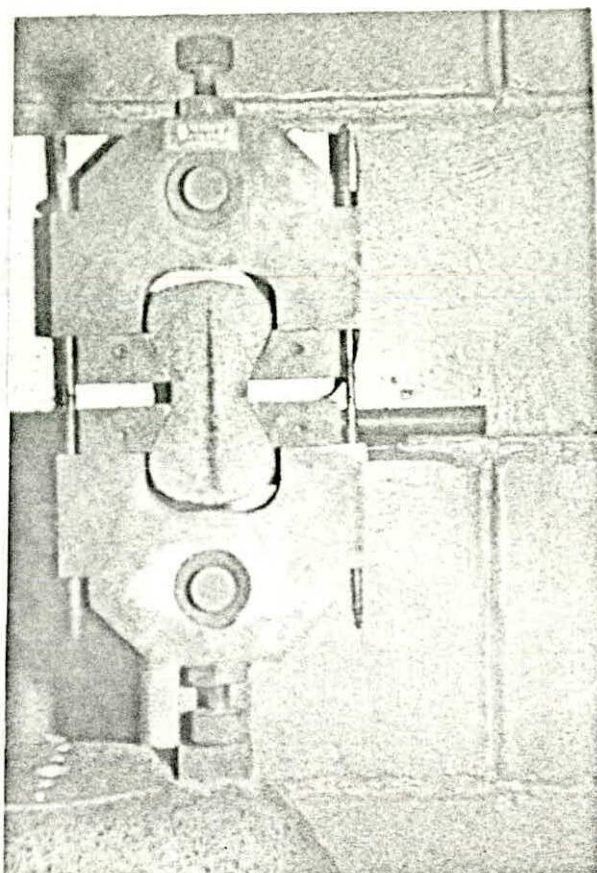
de curado actúa automáticamente. Los corazones se curan y la caja se abre automáticamente cuando se completa el ciclo de curado prefijado.



FOTOGRAFIA 2.5. MAQUINA DE ENSAYOS

Los corazones que se fabrican son las probetas de ensayo, posteriormente ensayadas en una máquina para determinar su resistencia a la tracción (fotografía 2.5 y fotografía 2.6).

Esta máquina es un nuevo instrumento de tipo universal para medir la resistencia de arenas, que se caracteriza por la velocidad constante de la carga aplicada (40.5 ± 5.25 Kg/cm²/min.) se ajusta a las normas de la AFS para el ensaa



FOTOGRAFIA 2.6.- DISPOSITIVO UTILIZADO PARA ENSAYAR
A LA TRACCION LOS CORAZONES.

yo de resistencia. De este modo se realizan una serie de pruebas con diferentes mezclas y diferentes condiciones de curado, para obtener el corazón que se ajuste a los requerimientos de una fundición dada (para el caso hierro gris). Resulta difícil reproducir los resultados de la tracción de los corazones curados. Esto se debe principalmente a la dificultad de obtener condiciones de curado norma debido más bien a las condiciones atmosféricas que a la máquina - disparadora de corazones. La humedad absoluta varía considerablemente en diferentes estaciones del año y en diferentes secciones del país y durante el transcurso del día. Las pruebas sobre el efecto de las condiciones ambientales indican que se pueden obtener resistencias a la tracción de corazones sólo con grados comparativamente estrechos de humedad absolutas. Con humedades absolutas muy bajas o muy altas se puede obtener resultados de tracción muy bajos de los corazones.

CAPITULO 3

TRABAJO EXPERIMENTAL

En este capítulo se presenta los experimentos realizados durante esta investigación que tratan de definir la calidad de la materia prima nacional. Así, en primer lugar se tiene la identificación de la forma del grano, la determinación del número de finura de grano, el contenido de impurezas y el punto de sinterización de las arenas.

Luego se tiene la selección de la mezcla óptima, donde se presenta los ensayos de varios tipos de mezclas, el curado de las mezclas y los ensayos de laboratorio para control.

Finalmente se tiene las pruebas en planta, donde se presenta primero la fundición de piezas, luego el control de defectos, posteriormente el control de tolerancias dimensionales y finalmente el desmoldeo (shake out).

Los análisis realizados sobre las arenas y los ensayos para determinar las propiedades de los corazones, fueron efectuados de acuerdo a las normas establecidas por la Sociedad Americana de Fundidores (AFS), cuya referencia puede encontrarse en el "MANUAL PARA CLASES DE FUNDICION" reproducido por la ESPOL (1978).

Las arenas que se utilizaron en este trabajo, son procedentes de la parroquia Limón Indanza de la provincia de Morona Santiago. Como las clases de arenas utilizadas son dos y es tán localizadas en la misma zona, para poder distinguirlas, se las denominará "Limón 1" y "Limón 2".

Estas arenas son fácilmente diferenciables por su coloración. Así durante esta investigación, a la arena que presenta una coloración blanca se la llamará Limón 1 y, a la arena que presenta un color amarillento se la llamará limón 2

3.1. IDENTIFICACION DE LAS ARENAS NACIONALES

3.1.1. Forma de grano

Según la norma AFS las formas de grano se describen adoptando los términos angular, sub-angular, redondo y compuesto.

Se reconoce que algunas arenas consisten casi enteramente de granos de una sola forma, en tanto que otras arenas consis ten de una mezcla de granos de formas variadas. Los granos angulares son aquellos que presentan los contornos irregulares y agudos. Los granos sub-angulares son aquellos que pre sentan los contornos irregulares con sus picos redondeados. Los granos redondos son aquellos que presentan sus contornos uniformes y tienen apariencia esferoidal. Los granos com puestos consisten de dos o mas granos adheridos en tal for



FOTOGRAFIA 3.1.- FORMA DE GRANO DE LA ARENA "LIMON 1"



FOTOGRAFIA 3.2.- FORMA DE GRANO DE LA ARENA "LIMON 2"

ma que los ensayos de contenido de arcilla y finura de norma AFS fallan en separarlos.

Según la AFS, establece que en este proceso se deberían usar preferentemente granos subangulares y en algunos casos redondos. El objetivo de este ensayo es determinar la forma de grano de las arenas en estudio para establecer su aplicabilidad en el proceso. Los resultados obtenidos a partir de la observación al microscopio de los granos de cada una de las arenas son los siguientes (Tabla 3.1) (Fotografías 3.1 y 3.2).

ARENA	FORMA DE GRANO
	OBSERVADO CON 50 en %
LIMON 1	95° subangular
LIMON 2	95° subangular

TABLA 3.1.- Forma de grano de las arenas

Encontrando muy pocos granos de características angulares y compuestos.

3.1.2. Número de Finura

El número de finura de grano es un método rápido para determinar el tamaño de grano promedio de una arena dada, y

también es de valor al comparar los granos de arena de un depósito o de depósitos que tengan una distribución de grano parecidos, o como ayuda para controlar la arena de montón o sistema en la fundición. Es también útil para calcular otros datos relacionados con el manejo de arenas en la fundición, como permeabilidad y demanda de aglutinante.

Este ensayo es aplicable a todas las arenas siempre que estén relativamente libres de arcilla.

El tamaño de finura, está definido por la siguiente relación:

$$\text{Número de finura de grano AFS} = \frac{\text{producto total}}{\text{porcentaje total de grano retenido}}$$

Los análisis para cada arena se realizaron por cinco veces y los datos y cálculos de los ensayos constan en la tabla 3.2 para la arena Limón 1 y en la tabla 3.3 para la arena Limón 2. En las figuras 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5, se muestran las distribuciones granulométricas correspondientes a la arena Limón 1, y en las figuras 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10, se muestran las distribuciones granulométricas correspondientes a la arena Limón 2. En las figuras 3. 11 y 3.12, se presentan los gráficos de las distribuciones granulométricas promedio para las arenas Limón 1 y Limón 2 respectivamente.

# DE TAMIZ	OBS # 1 Peso de T. (gr)	OBS # 2 Peso ret. (gr)	OBS # 3 Peso ret. (gr)	OBS # 4 Peso ret. (gr)	OBS# 5 % (gr)	OBS# 1 % Ret.	OBS# 2 % Ret.	OBS # 3 % Ret.	OBS# 4 % Ret.	OBS# 5 % Ret.
30	2.05	2.11	1.46	2.10	2.59	4.10	4.22	2.92	4.20	5.18
40	4.21	4.41	3.43	4.81	5.24	8.42	8.82	6.86	9.62	10.48
50	8.23	8.50	7.26	8.57	9.21	16.46	17.00	14.52	17.14	18.42
70	18.52	18.36	18.42	17.77	17.76	37.04	36.72	36.84	35.54	35.52
100	12.57	12.36	13.84	12.27	11.49	25.14	24.72	27.68	24.54	22.98
140	2.34	2.30	2.75	2.20	2.00	4.68	4.60	5.50	4.40	4.00
FONDO	1.04	0.90	1.72	1.16	0.76	2.08	1.80	3.44	2.32	1.52
TOTAL	48.96	48.94	48.88	48.88	49.05	97.92	97.88	97.76	97.76	98.10

TABLA 3.2- Pesos y porcentaje retenidos de los granos de la arena Limón 1 en los diferentes tamices

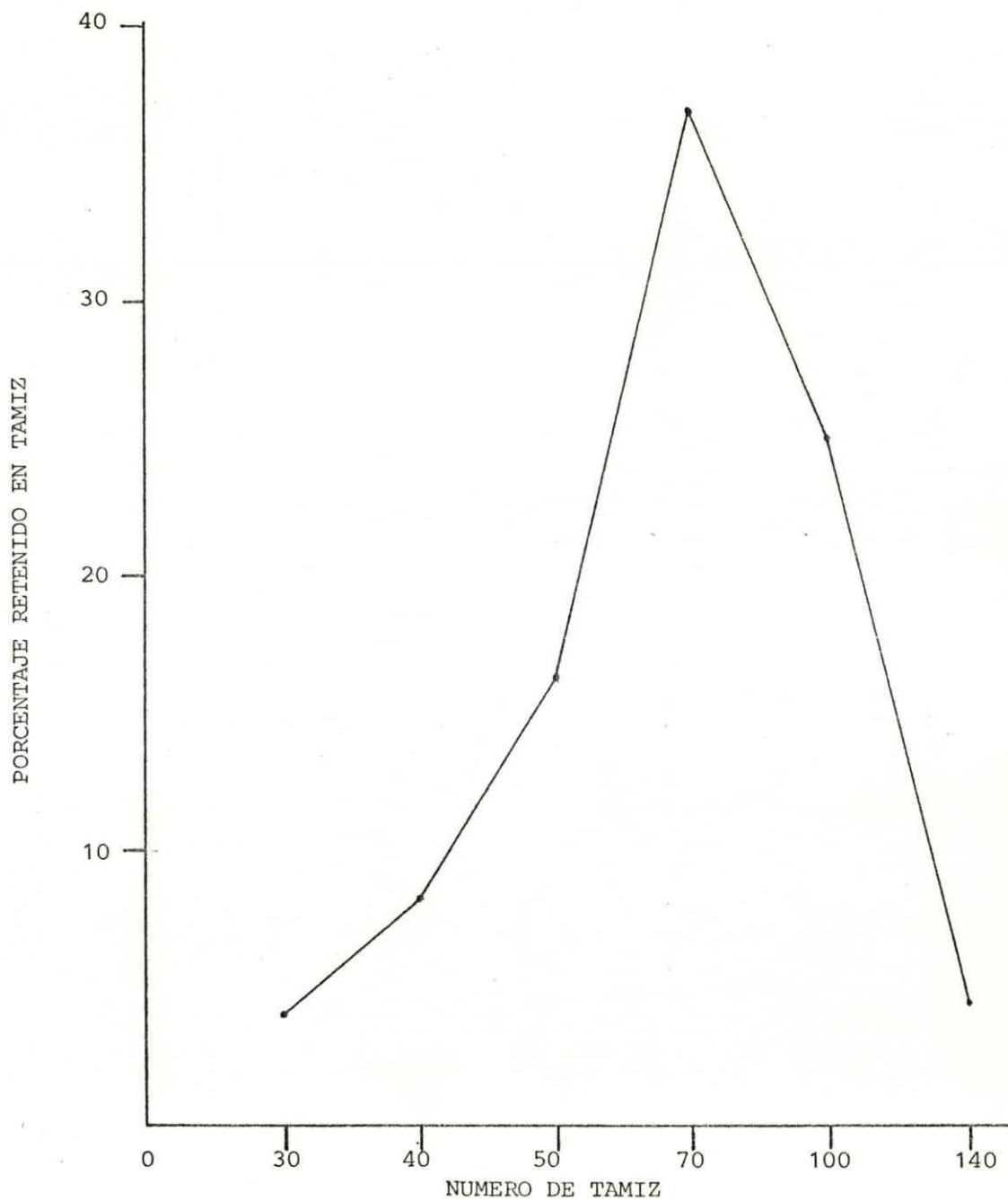


FIG. 3.1.- DISTRIBUCION GRANULOMETRICA
(Observación # 1 de arena Limón 2)

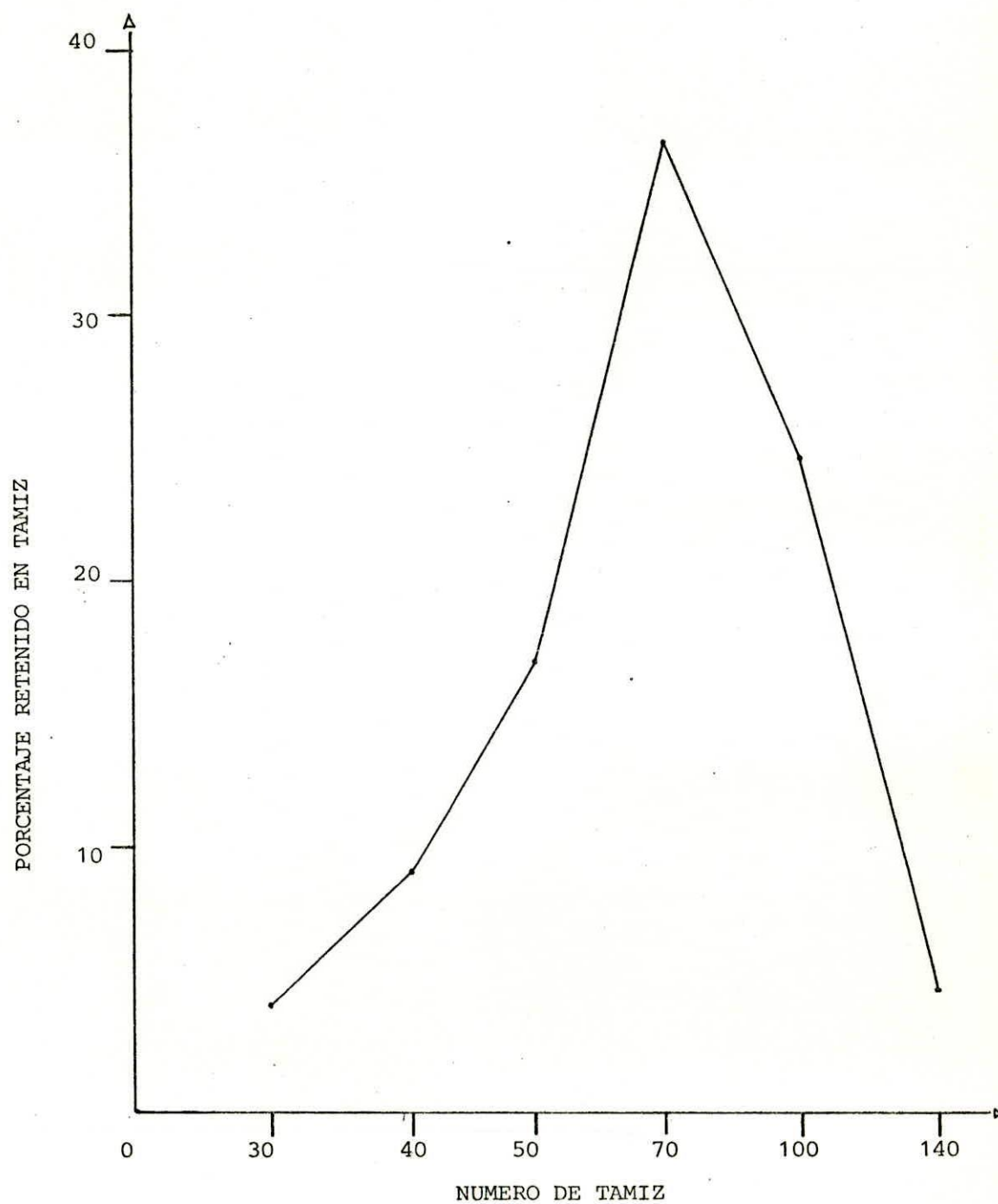


FIG. 3.2.- DISTRIBUCION GRANULOMETRICA (Observación # 2 de arena Limón 2)

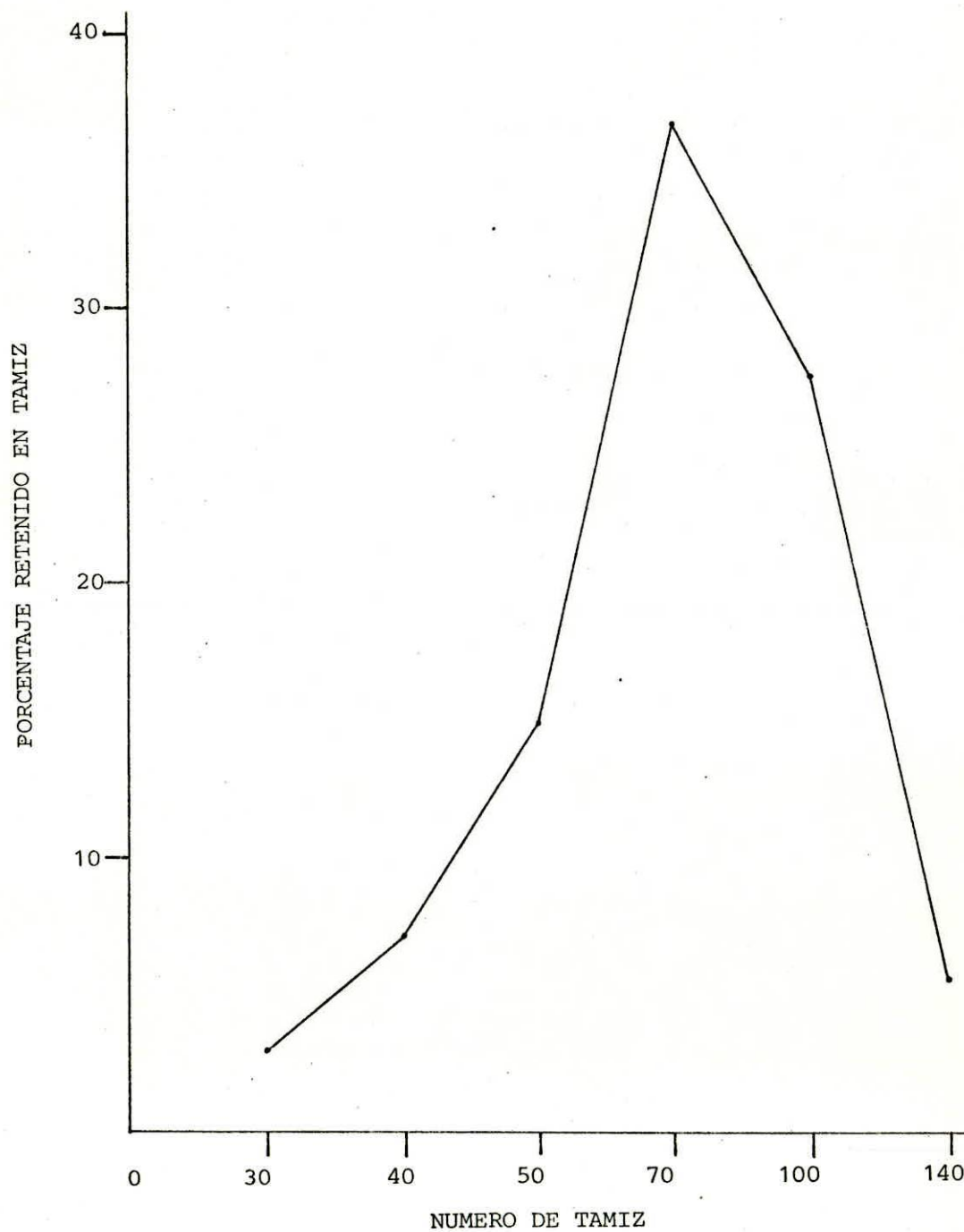


FIG. 3.3. DISTRIBUCION GRANULOMETRICA (Observación # 3 de arena Limón 2)

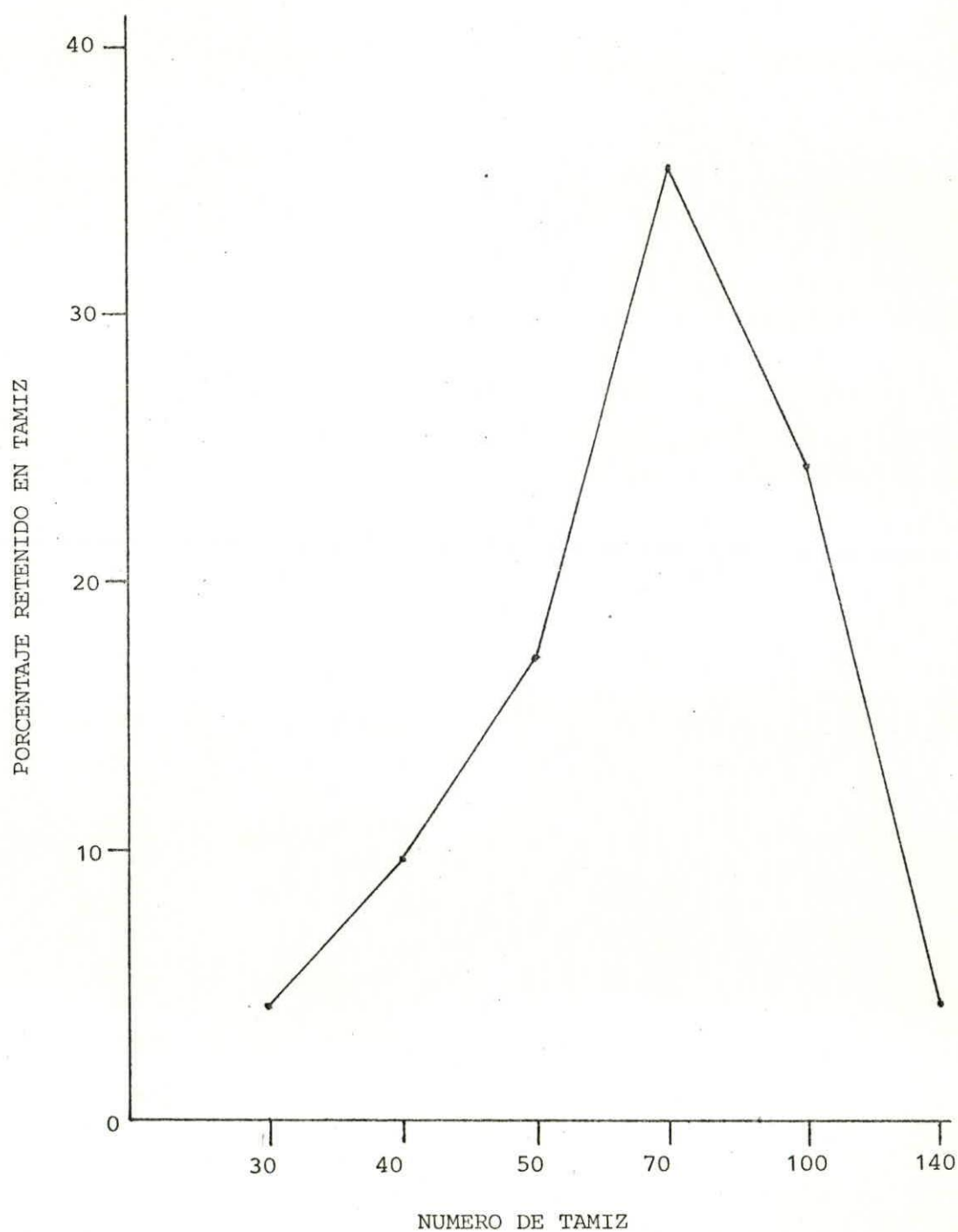


FIG. 3.4.- DISTRIBUCION GRANULOMETRICA (Observación # 4
de arena Limón 2)

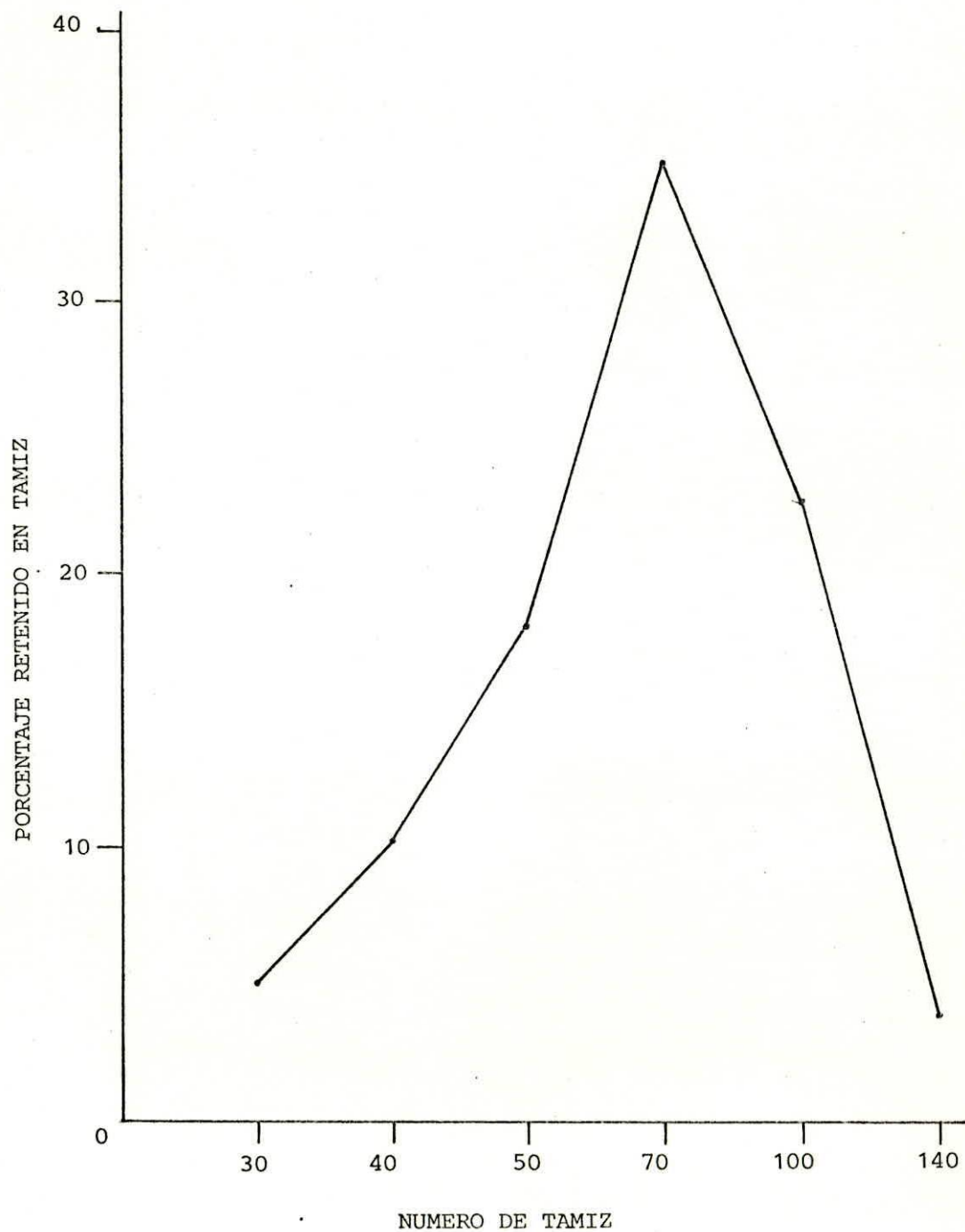


FIGURA 3.5.- DISTRIBUCION GRANULOMETRICA (Observación # 5 de arena Limón 2)

# DE TAMIZ	OBS # 1 Peso de T. (gr)	OBS # 2 Peso Ret. (gr)	OBS # 3 Peso ret. (gr)	OBS # 4 Peso Ret. (gr)	OBS # 5 Peso ret. (gr)	OBS# 1 % Ret.	OBS # 2 % Ret.	OBS # 3 % Ret.	OBS # 4 % Ret.	OBS# 5 % Ret.
30	3.12	2.79	2.46	2.35	3.08	6.24	5.58	4.92	4.70	6.16
40	7.28	7.05	6.07	5.95	6.55	14.56	14.10	12.14	11.90	13.10
50	11.24	11.34	10.30	10.61	12.05	22.48	22.68	20.60	21.22	24.10
70	16.10	16.39	16.41	16.36	15.90	32.20	32.78	32.82	32.72	31.80
100	7.96	8.13	8.84	8.89	7.99	15.92	16.26	17.68	17.78	15.98
140	1.93	2.24	2.67	2.77	2.15	3.86	4.48	5.34	5.54	4.30
FONDO	1.45	1.24	2.33	2.15	1.42	2.90	2.45	4.66	4.30	2.84
TOTAL	49.08	49.18	49.08	49.08	49.14	98.16	98.36	98.16	98.16	98.28

TABLA 3.3.- Pesos y porcentajes retenidos de los granos de la arena "Limón 2" en los diferentes tamices

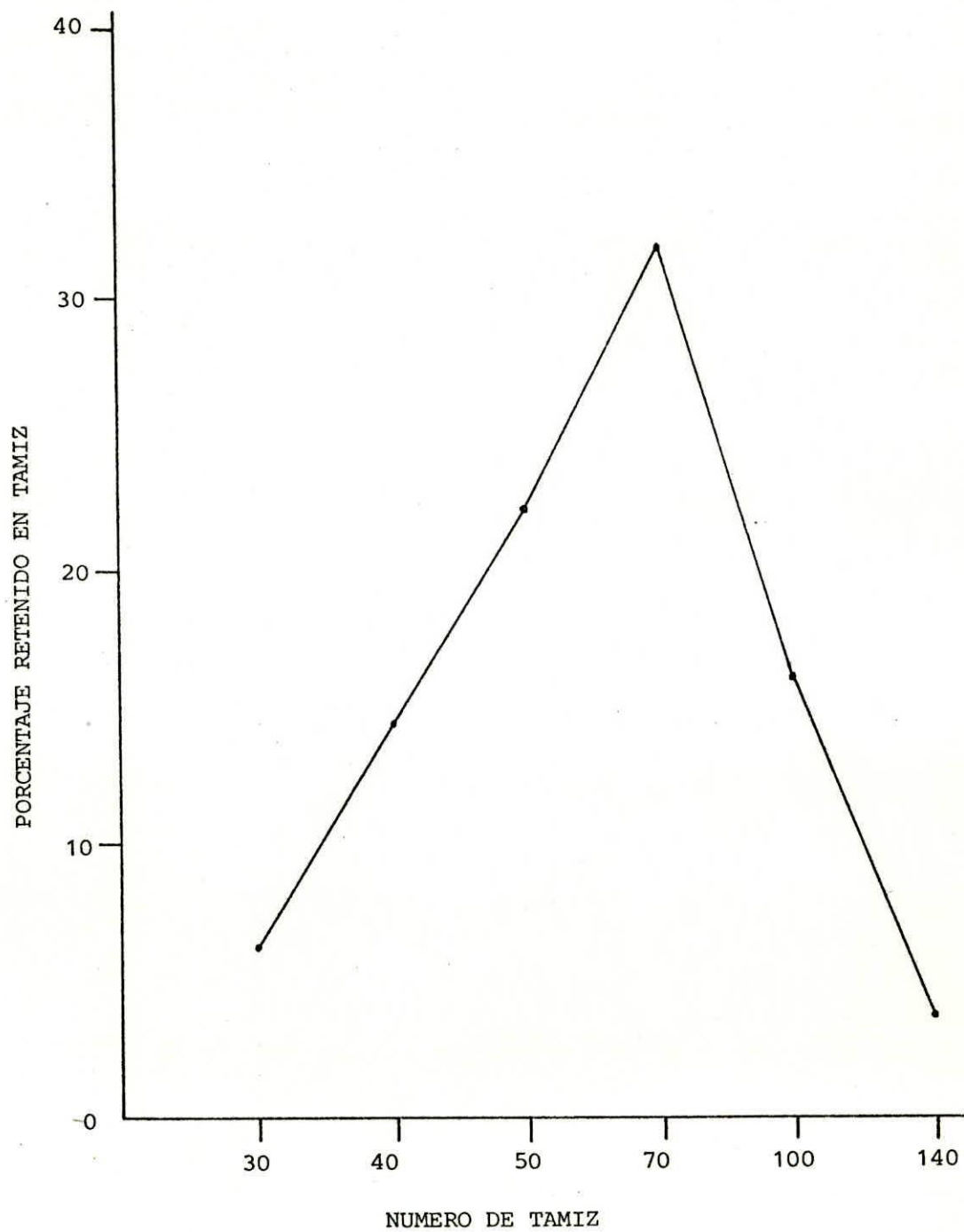


FIG. 3.6.- DISTRIBUCION GRANULOMETRICA (Observación. # 1
de arena Limón 1)

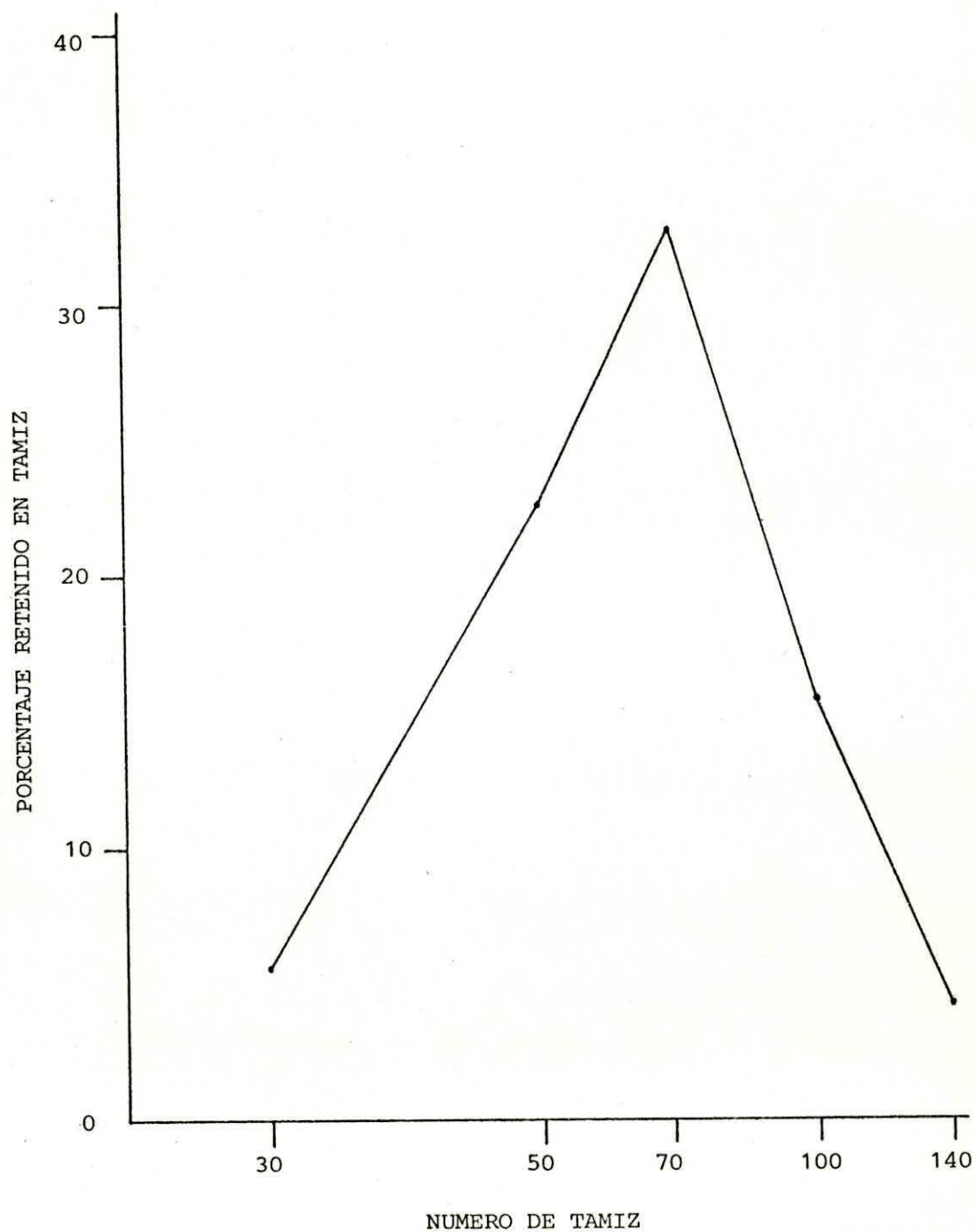


FIG. 3.7.- DISTRIBUCION GRANULOMETRICA (Observación # 2
de arena Limón 1)

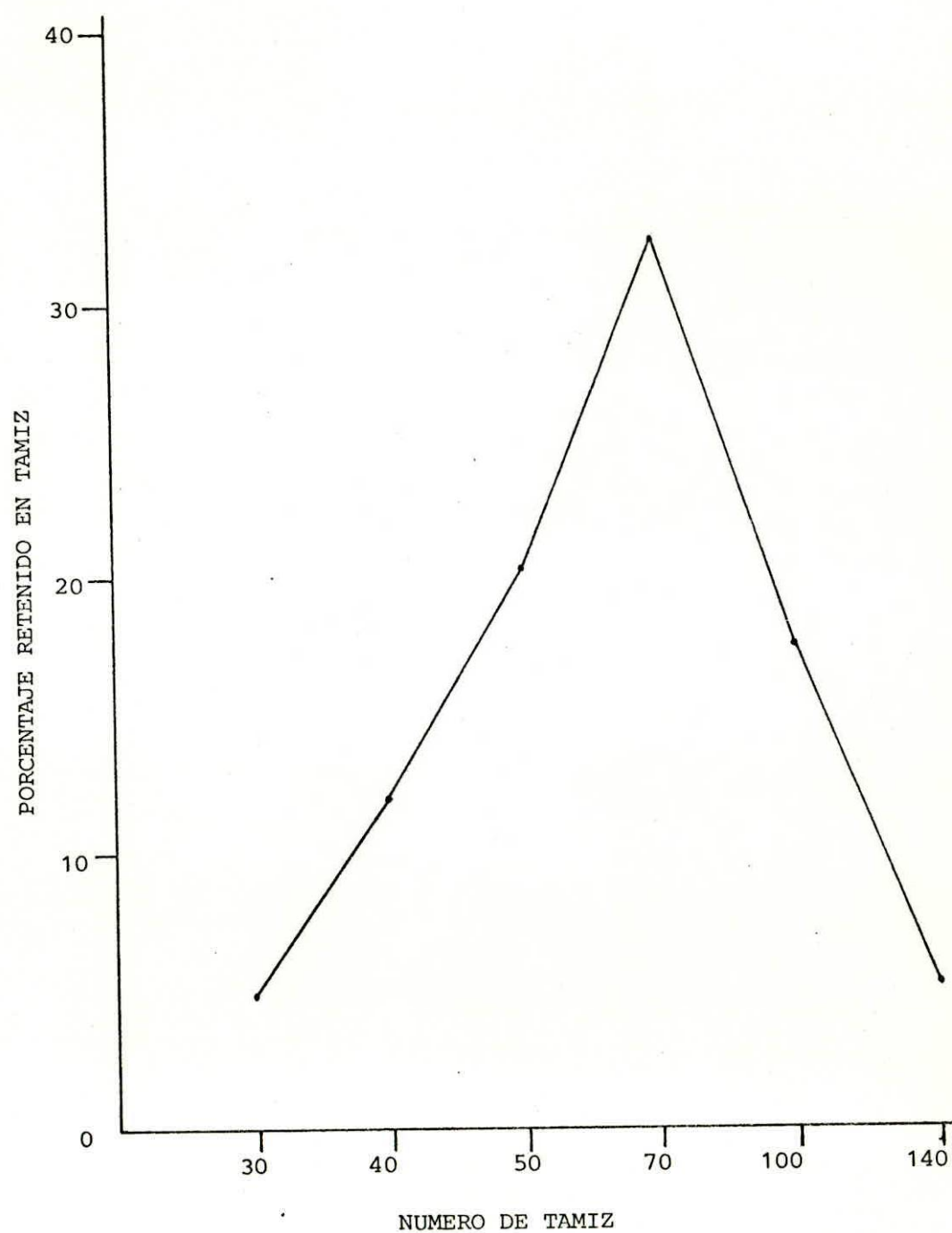


FIG. 3.8.- DISTRIBUCION GRANULOMETRICA (OBservación # 3
de arena Limón 1)

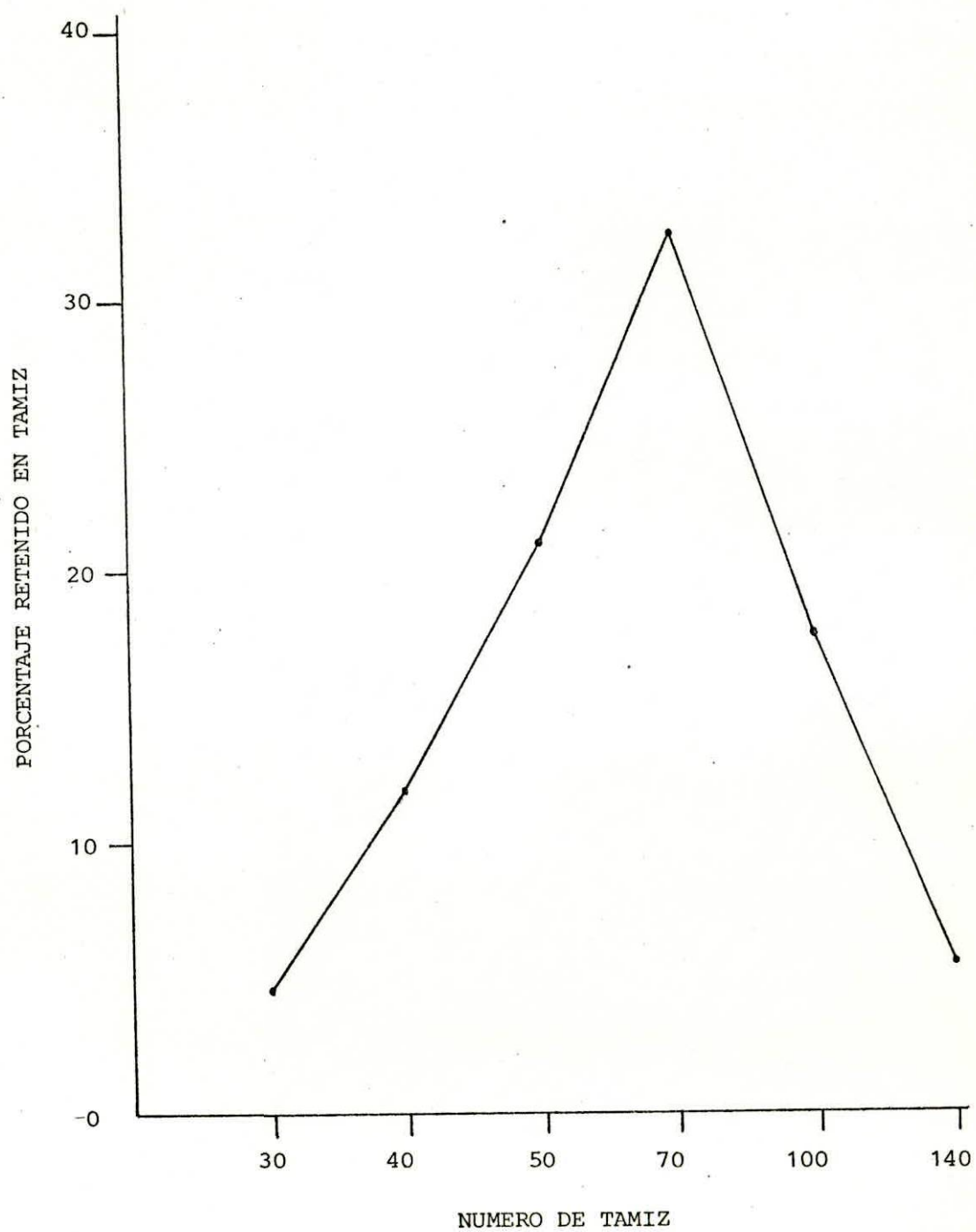


FIG. 3.9.- DISTRIBUCION GRANULOMETRICA (OBSERVACIÓN # 4
de arena Limón 1)

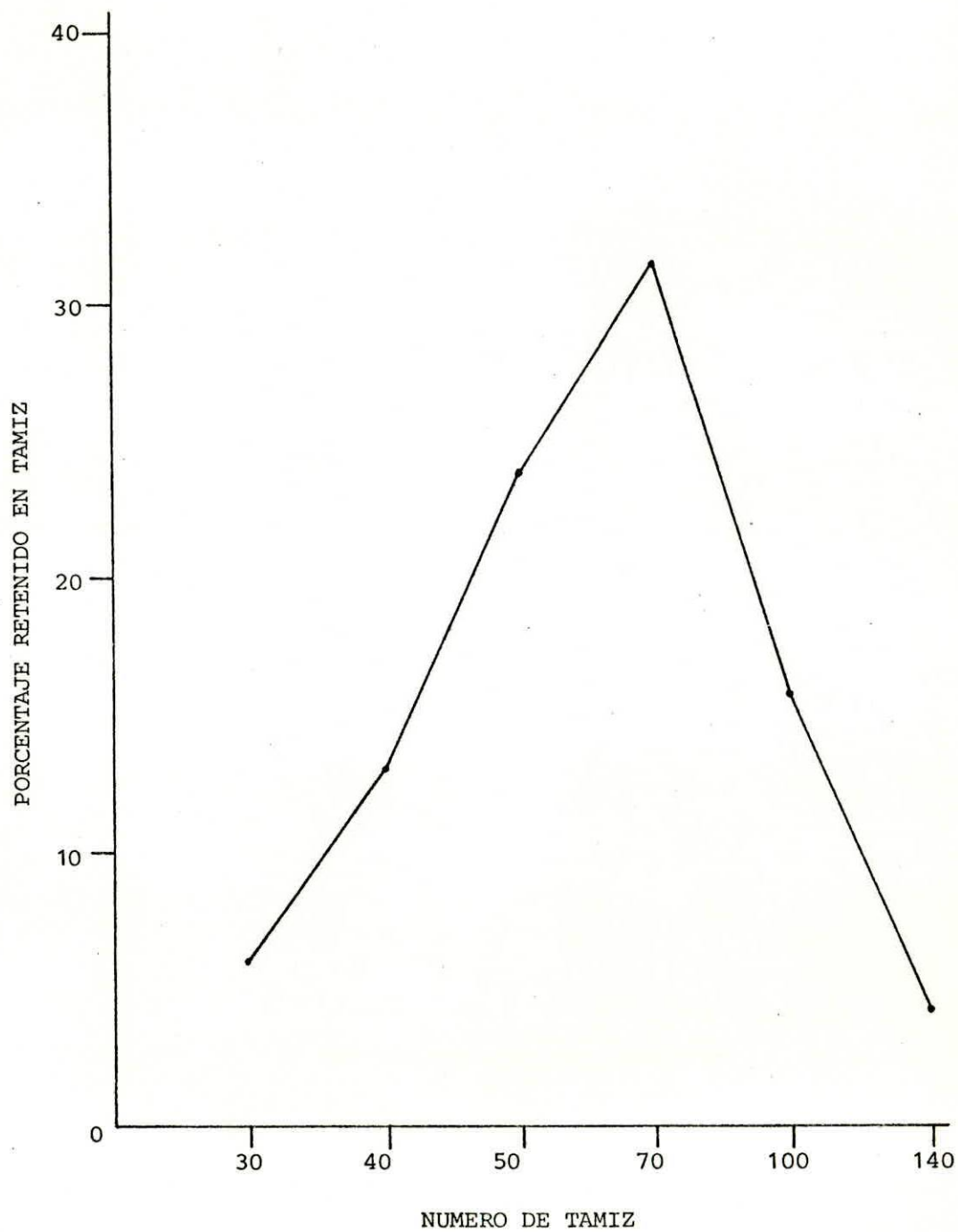


FIG. 3.10.- DISTRIBUCION GRANULOMETRICA (OBSERVACIÓN # 5
de arena Limón 1)

# DE TAMIZ	PESO RETENIDO PROMEDIO (grs)	PORCENTAJES RETENIDOS	MULTIPLICADOR	PRODUCTO
30	2.76	5.52	20	110.40
40	6.58	13.16	30	394.80
50	11.11	22.22	40	888.80
70	16.23	32.46	50	1623.00
100	8.36	16.72	70	1170.40
140	2.35	4.70	100	470.00
FONDO	1.72	3.44	300	1032.00
TOTAL	49.11	98.22		5689.40

$$NF = \frac{5689.40}{98.22} = 57.93$$

TABLA 3.4.- Arena Limón 2. NUMERO DE FINURA PROMEDIAL DE LA
ARENA LIMON 2 MORONA-SANTIAGO

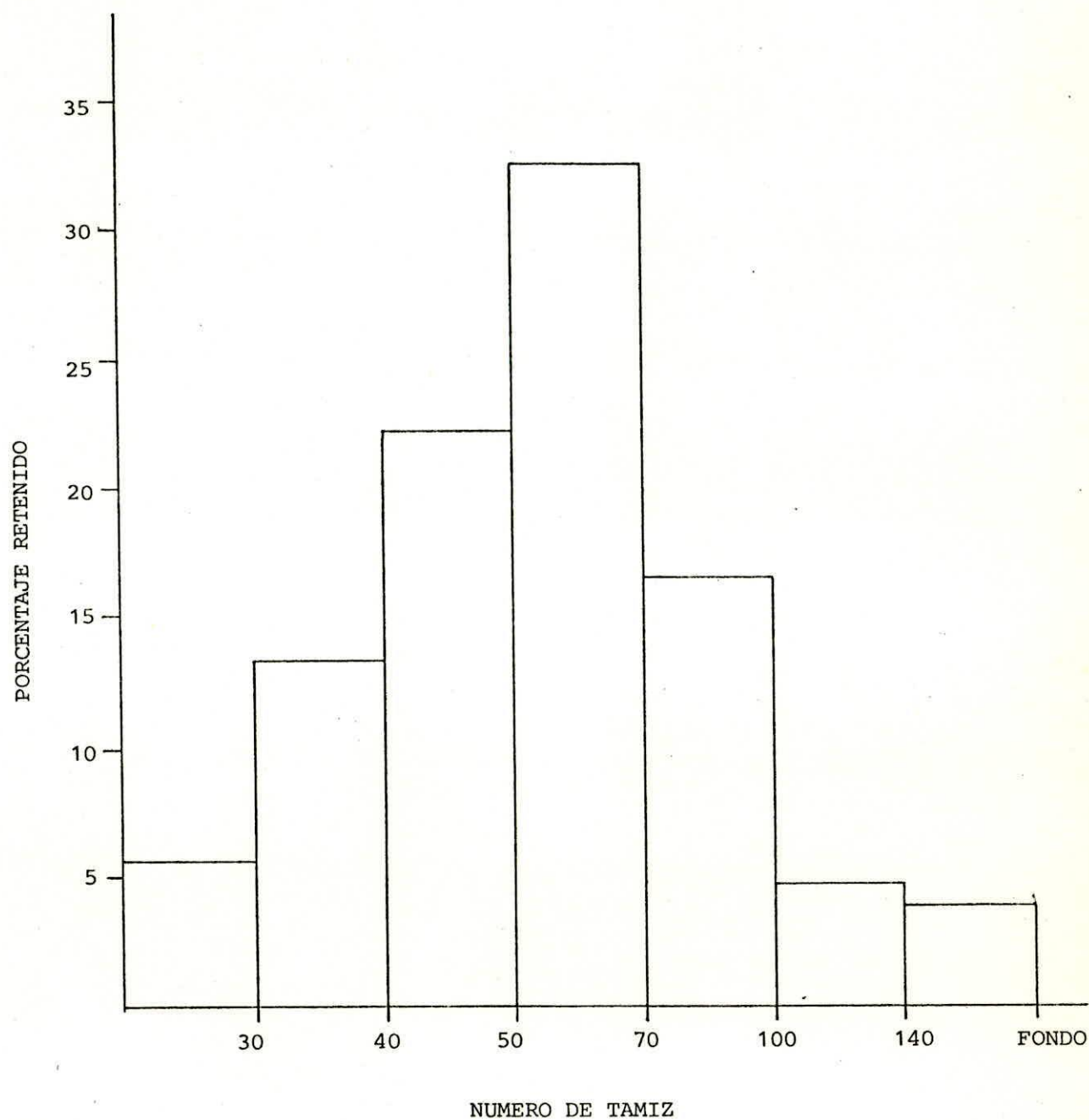


FIG. 3.11.- DISTRIBUCION GRANULOMETRICA PROMEDIAL DE LA ARENA
LIMON 2

# DE TAMIZ	PESO RETENIDO EN CADA TAMIZ PROMEDIO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO	MULTIPLICADOR	PRODUCTO
30	2.06	4.12	20	82.40
40	4.42	8.84	30	265.20
50	8.35	16.70	40	668.00
70	18.17	36.34	50	1817.00
100	12.51	25.02	70	1751.40
140	2.32	4.64	100	464.00
FONDO	1.12	2.24	300	672.00
TOTAL	48.95	97.90		5720.00

$$N.F. = \frac{\text{Producto total}}{\text{Porcentaje retenido total}} = \frac{5720.00}{97.90} = 58.43$$

TABLA 3.5- Número de finura promedial de la arena Limón 1 de Morona - Santiago

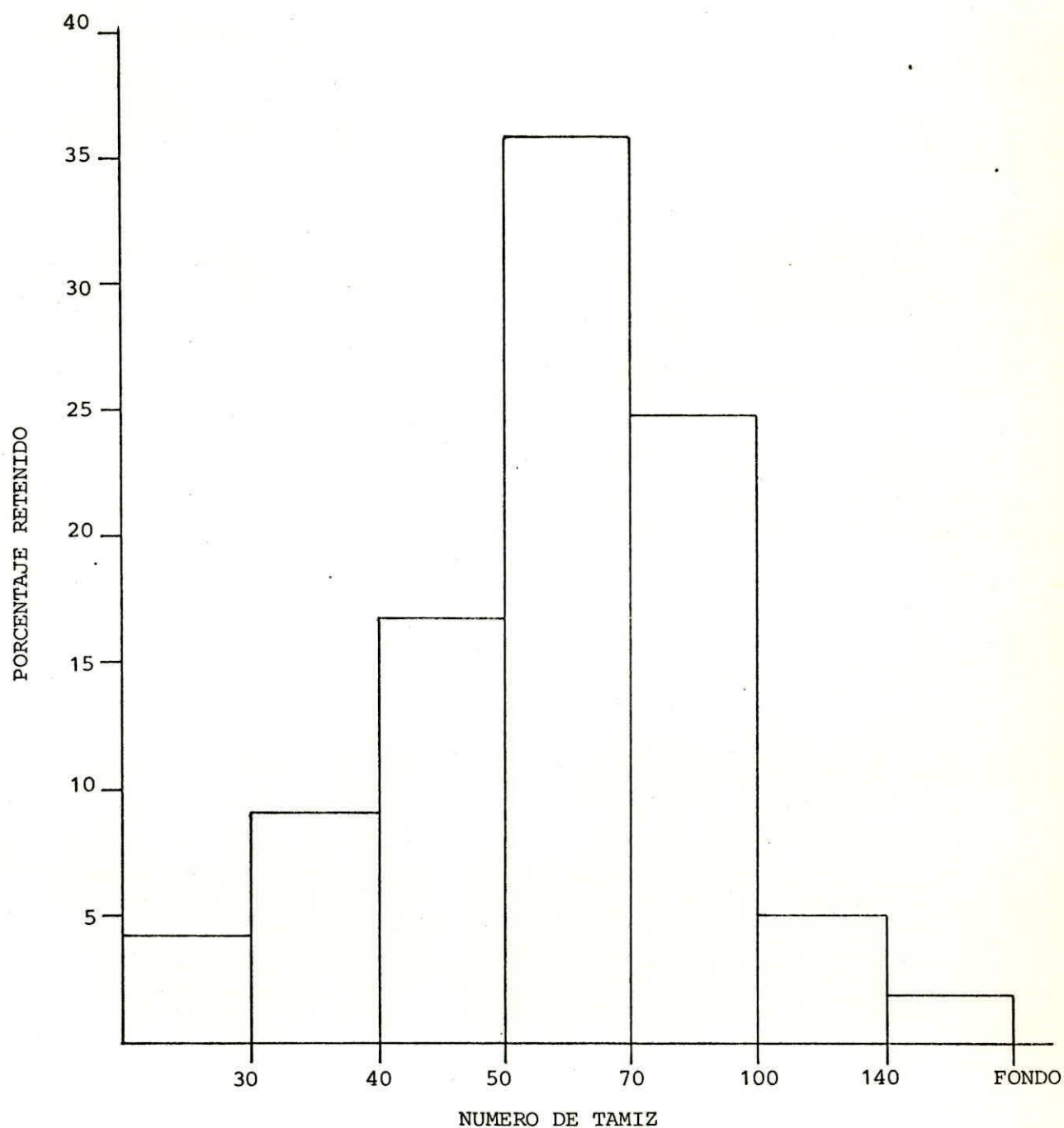


FIG. 3.12.- DISTRIBUCION GRANULOMETRICA PROMEDIAL DE LA ARENA
LIMON 1

te, cuyos datos están contenidos en las tablas 3.4 y 3.5. El número de finura de grano promedio de las arenas se presenta en la tabla 3.6.

ARENA	NUMERO DE FINURA
LIMON 1	58.43
LIMON 2	57.93

TABLA 3.6.- NUMERO DE FINURA DE LAS
ARENAS

3.1.3. Contenido de impurezas

Por no disponer de medios suficientes para efectuar análisis químicos de los materiales, nos remitimos a datos proporcionados por las industrias vidrieras, sobre la composición química de las arenas utilizadas en esta investigación son como se muestra en la tabla 3.7. Donde se observa que el contenido de impurezas es tan bajo que se las puede considerar arenas silíceas puras, para el caso.

ARENA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	PC.
Limón 1	99.39	0.28	0.08	0.01	0.01	0.05	0.01	0.17
Limón 2	99.40	0.32	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13

TABLA 3.7.- CONTENIDO DE IMPUREZAS DE LAS ARENAS

3 1.4. Punto de Sinterización

Uno de los datos importantes que debe conocerse en una arena para fundición es su capacidad para resistir altas temperaturas sin fundirse, considerando que uno de los defectos que tienen en las piezas fundidas es que la superficie de la pieza se funde con la arena de contacto del molde, tornándose difícil su limpieza por un lado y por otro, en casos extremos el acabado superficial llega a ser malo.

A la temperatura mínima a la cual la arena empieza a fundirse se la conoce con el nombre de punto de sinterización A, y es decir cuando comienzan a reblandecerse las puntas de los granos. Este valor no fue posible determinar por lo que se da como referencia el punto de sinterización B, que es la temperatura a la cual los granos se funden completamente. Esta temperatura ha sido proporcionada por los fabricantes de vidrio y es de 1500°C . Para el caso se puede asumir que el punto de sinterización A de las arenas usadas sea de 1400°C aproximadamente.

3.2. SELECCION DE LA MEZCLA OPTIMA

Para determinar la mezcla óptima que será utilizada en la fabricación de los corazones, se tuvo siempre los criterios de máxima resistencia a la tracción y el económico en cuanto a

la cantidad de resina empleada en la mezcla. Por lo que primero se estableció las variables existentes en el proceso.

1. Porcentaje en peso de resina con respecto al peso de la arena.
2. Porcentaje en peso de humedad (agua) con respecto al peso de la arena.
3. Tiempo de curado (o ciclo de curado)
4. Temperatura de curado

Se procedió primero a determinar el porcentaje de resina óptimo haciendo ensayos de varios tipos de mezclas, luego se procedió a efectuar el curado de las mezclas, y finalmente se realizaron los ensayos de laboratorio para determinar las propiedades de los corazones.

3.2.1. Ensayos de varios tipos de mezclas

Los ensayos de mezclas de las arenas y la resina en polvo que contiene su catalizador se realizó tomando como base un valor medio de porcentaje de resina, considerando los límites recomendados por el fabricante.

Con los ensayos se encontró, que al usar únicamente resina con arena para preparar las mezclas, en los corazones fabri-

cados con la máquina disparadora, se producían concentraciones localizadas de resina, muy notorias inclusive por intensa coloración en ciertas zonas, obteniéndose resistencias - en los corazones que no guardaban en ningún caso relación alguna con los ensayos, por lo que para evitar esto se le agregó a la mezcla un agente humectante (agua).

Luego se hicieron variaciones de porcentaje de resina tomando cantidades superiores e inferiores para observar su comportamiento.

Los demás parámetros que intervienen en la fabricación de los corazones se los escogió de acuerdo a recomendaciones técnicas y a decisiones propias y se los mantuvo constantes mientras se variaba el porcentaje de resina (Tabla 3.8 y Tabla 3.11). De cuyos resultados se estableció el porcentaje de resina óptimo. (Tabla 3.15).

3.2.2. Curado de las mezclas

Los siguientes ensayos correspondieron al curado de las mezclas en el cual intervienen el tiempo y la temperatura de curado. En esta parte de la investigación, tomando el valor de resina encontrado, se varió primero y de manera simultánea el porcentaje de humedad con el tiempo de curado (Tabla 3.9 y Tabla 3.12). De los resultados que se obtuvieron se escogió los valores óptimos de tiempo de curado y porcenta-

je de humedad.

Finalmente establecidos, el porcentaje de resina, el tiempo de curado y el porcentaje de humedad (agua), se ensayaron - las mezclas variando la temperatura de curado (Tabla 3.10 y Tabla 3.13). De los resultados encontrados se determinó el valor de la temperatura de curado óptima (Tabla 3.15).

3.2.3. Ensayos de Laboratorio

Los ensayos de laboratorio se los realizó para determinar la resistencia a la tracción de las mezclas, en base a cu yos ensayos, se fijaron los valores óptimos de las variables del proceso.

Luego se fabricaron corazones con estos valores y se procedió a determinar la vida de banco útil de los corazones, donde se trata de ver el efecto que produce sobre la resistencia de los corazones, el mantenerlos almacenados por cierto tiempo después de haber sido fabricados.

Primero se procedió a realizar los ensayos de tracción de los corazones para determinar el porcentaje de resina óptimos, tal como se lo detalló en el párrafo 3.2.1, para los dos tipos de arena.

En las tablas 3.8 y 3.11 se muestran los resultados de re-

sistencias obtenidos, con los cuales se graficó las curvas de resistencia a la tracción vs. porcentaje de resina (fig. 3.13) (fig. 3.16).

Luego se efectuaron los ensayos para determinar el tiempo de curado y el porcentaje de humedad (5 agua), tal como se indicó en el párrafo 3.2.2. Los resultados encontrados aquí se representan en las tablas 3.9 y 3.12, de cuyos resultados se trazaron las curvas de resistencia a la tracción vs. tiempo de curado para diferentes porcentajes de humedad (% agua) (fig. 3.14) (fig. 3.17).

Finalmente, se llevó a cabo los ensayos de tracción de los corazones fabricados con diferentes temperaturas de curado. Los resultados obtenidos de estos ensayos se muestran en las tablas 3.10 y 3.13, con las cuales se obtuvieron las curvas de resistencia a la tracción vs. temperatura de curado (fig. 3.15) (fig. 3.18).

Los valores de las variables que se fijaron por considerárselos óptimos dentro del proceso, basados en los ensayos mencionados anteriormente, se presentan en la tabla 3.15.

Una vez fijados los valores óptimos de las variables del proceso, se procedió a determinar la vida de banco de los corazones, esto es la variación de su resistencia a la trac-

PORCENTAJE DE RESINA	RESISTENCIA A LA TRACCION Kgr/cm ²			PROMEDIO DE RESISTENCIA Kgr/cm ²
8	13.08	10.69	13.08	11.60
	10.62	12.09	11.81	
	9.91	11.18	11.95	
7	12.52	11.88	13.08	11.32
	12.23	10.48	9.49	
	11.04	11.46	9.70	
6	11.53	11.53	9.70	9.76
	9.07	9.56	9.21	
	9.14	9.28	8.79	
5	10.97	8.44	9.56	9.25
	9.56	9.14	8.58	
	9.28	8.86	8.86	
4	7.87	8.02	7.95	7.77
	7.17	8.30	7.03	
	7.59	7.95	8.09	

TABLA 3.8. Valores de resistencia a la tracción de los corazones fabricados con la arena "LIMON 1" con distintos porcentajes de resina.

Tiempo de soplado: 0.8 seg.
tiempo de curado: 45 seg.

Temperatura de curado: 260°C
% de humedad (% agua): 0.9

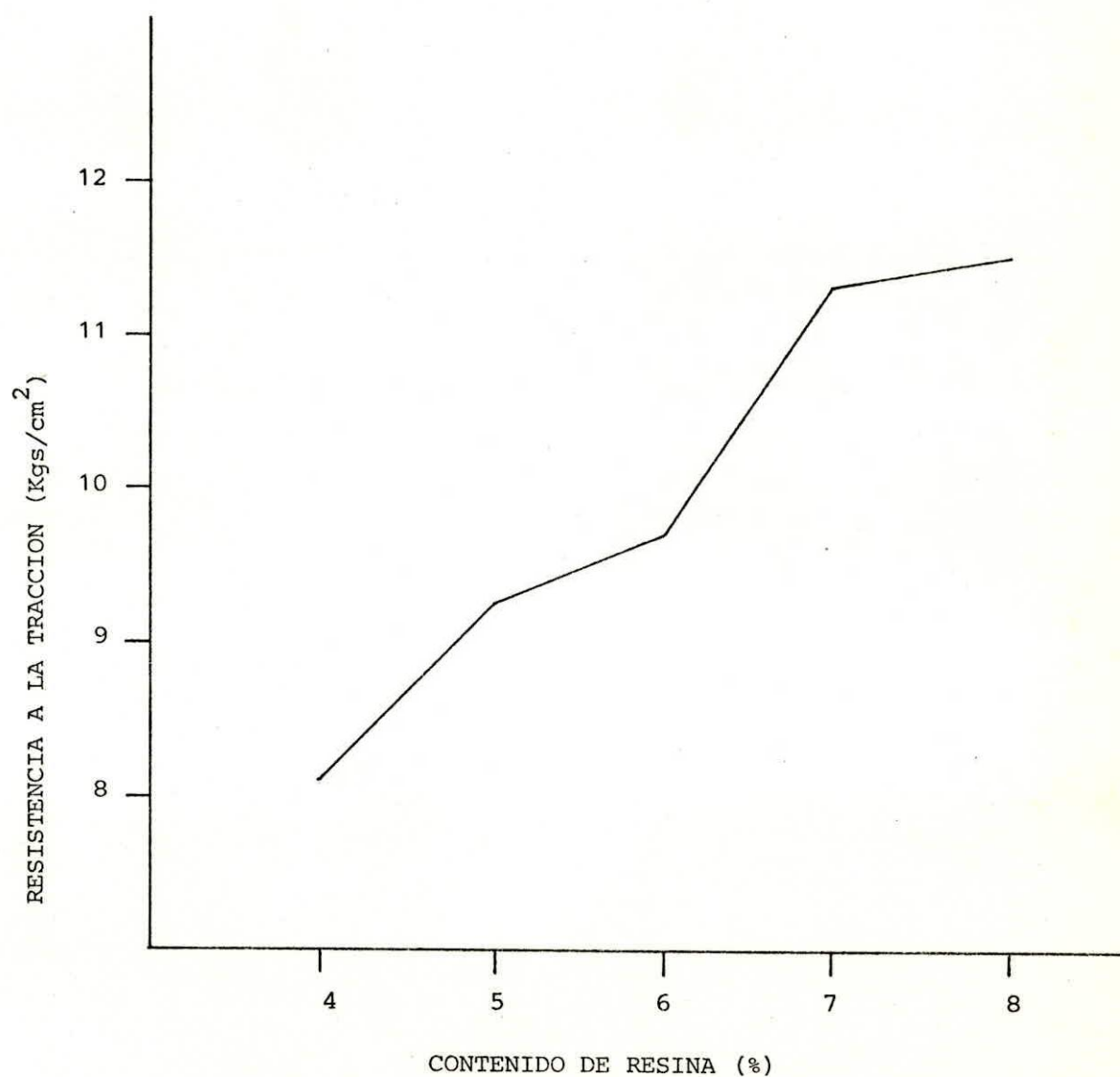


FIG. 3.13.- CURVA DE RESISTENCIA A LA TRACCION VS. CONTENIDO DE RESINA

% DE HUMEDAD (% AGUA)	TIEMPO DE CURADO (seg.)	RESISTENCIA A LA TRACCION (Kgs/cm ²)			PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kgs/cm ²)
1	25	9.35	9.91	10.41	9.89
	30	11.46	10.55	9.98	10.66
	35	8.86	10.97	13.22	11.02
	40	11.25	12.95	11.46	11.72
	45	11.74	11.60	13.15	12.16
	50	14.62	13.99	12.80	13.80
0.8	25	10.83	8.65	7.31	8.93
	30	9.92	10.62	8.09	9.38
	35	11.39	10.20	10.83	10.81
	40	9.98	11.95	12.09	11.34
	45	12.30	13.15	12.52	12.66
	50	14.84	13.36	13.71	13.97
0.7	25	9.35	7.73	6.68	7.92
	30	10.05	9.63	6.75	8.81
	35	13.01	9.42	10.13	10.85
	40	10.13	12.09	9.28	10.50
	45	12.80	12.16	14.77	13.24
	50	13.36	11.53	13.22	12.70
0.5	30	6.61	7.66	8.09	7.45
	35	8.02	9.35	10.05	9.14
	40	7.03	9.14	9.79	8.65
	45	10.00	8.23	9.77	9.33
	50	10.34	10.90	9.98	10.41

TABLA 3.9 .- Valores de resistencia a la tracción de los corazones fabricados con la arena "LIMON 1" para diferentes porcentajes de humedad y diferentes tiempos de curado.

Tiempo de soplado: 0.8 seg.

Temperatura de curado: 260°C

% de resina: 7

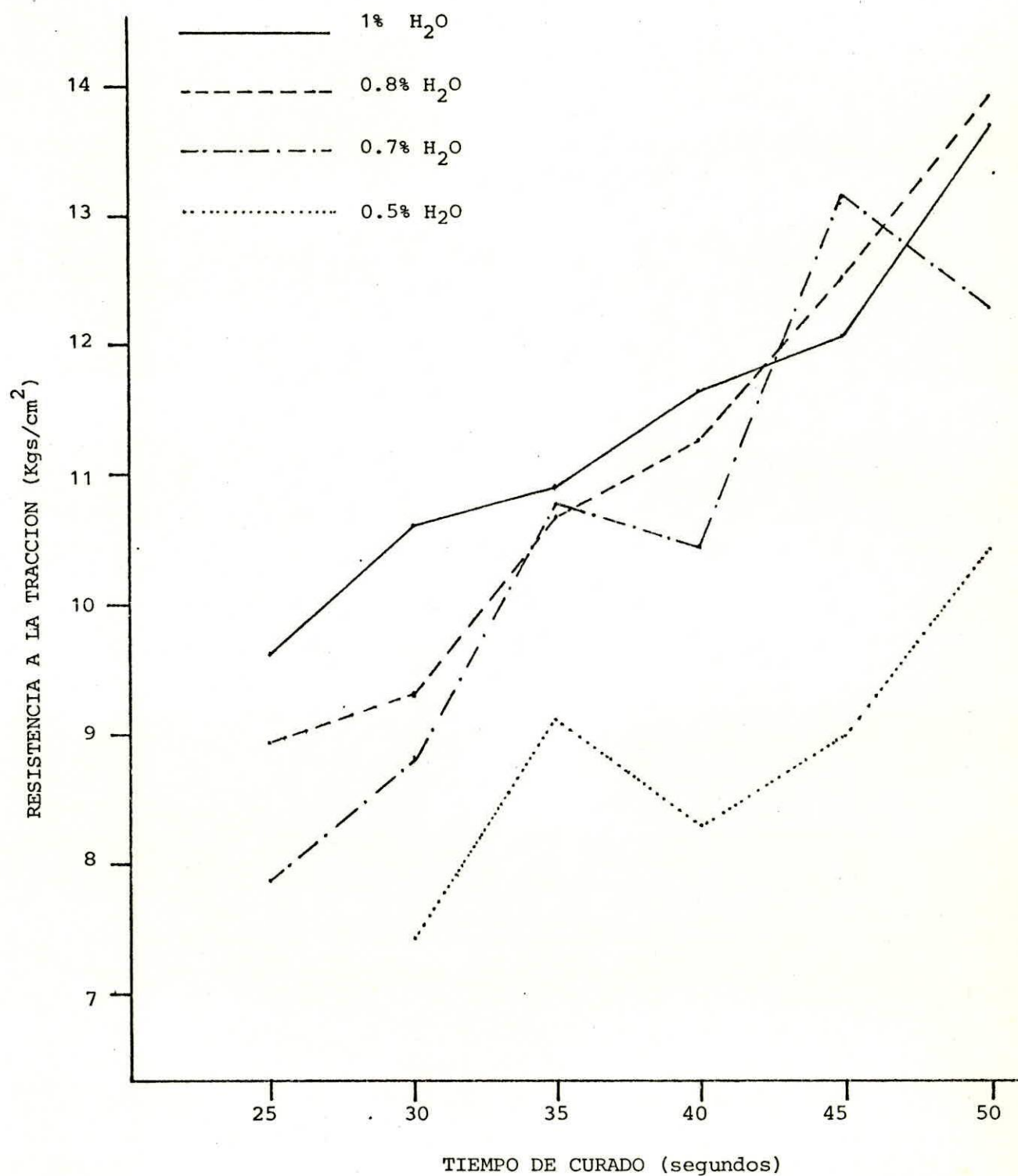


FIG. 3.14.- CURVAS DE RESISTENCIA A LA TRACCION VS. TIEMPO DE CURADO
CON DIFERENTES PORCENTAJES DE HUMEDAD EN LA MEZCLA

TEMPERATURA DE CURADO (°C)	RESISTENCIA A LA TRACCION (Kgr/cm ²)			PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kgr/cm ²)
240	12.80	13.64	13.08	13.01
	12.38	13.08	12.45	
	11.53	14.41	13.71	
260	16.73	15.33	15.89	16.12
	17.79	16.244	15.82	
	15.75	14.24	17.23	
280	15.05	17.72	17.02	17.07
	17.16	18.42	15.82	
	16.45	18.84	17.16	
300	18.49	18.07	19.90	18.35
	16.66	21.02	16.38	
	19.05	18.62	16.95	

TABLA 3.10.- Valores de resistencia a la tracción de los corazones fabricados con la arena "LIMON 1" para diferentes temperaturas de curado.

Tiempo de soplado: 0.8 seg.

Tiempo de curado: 50 seg.

% de resina: 7

% de humedad (% de agua): 0.8

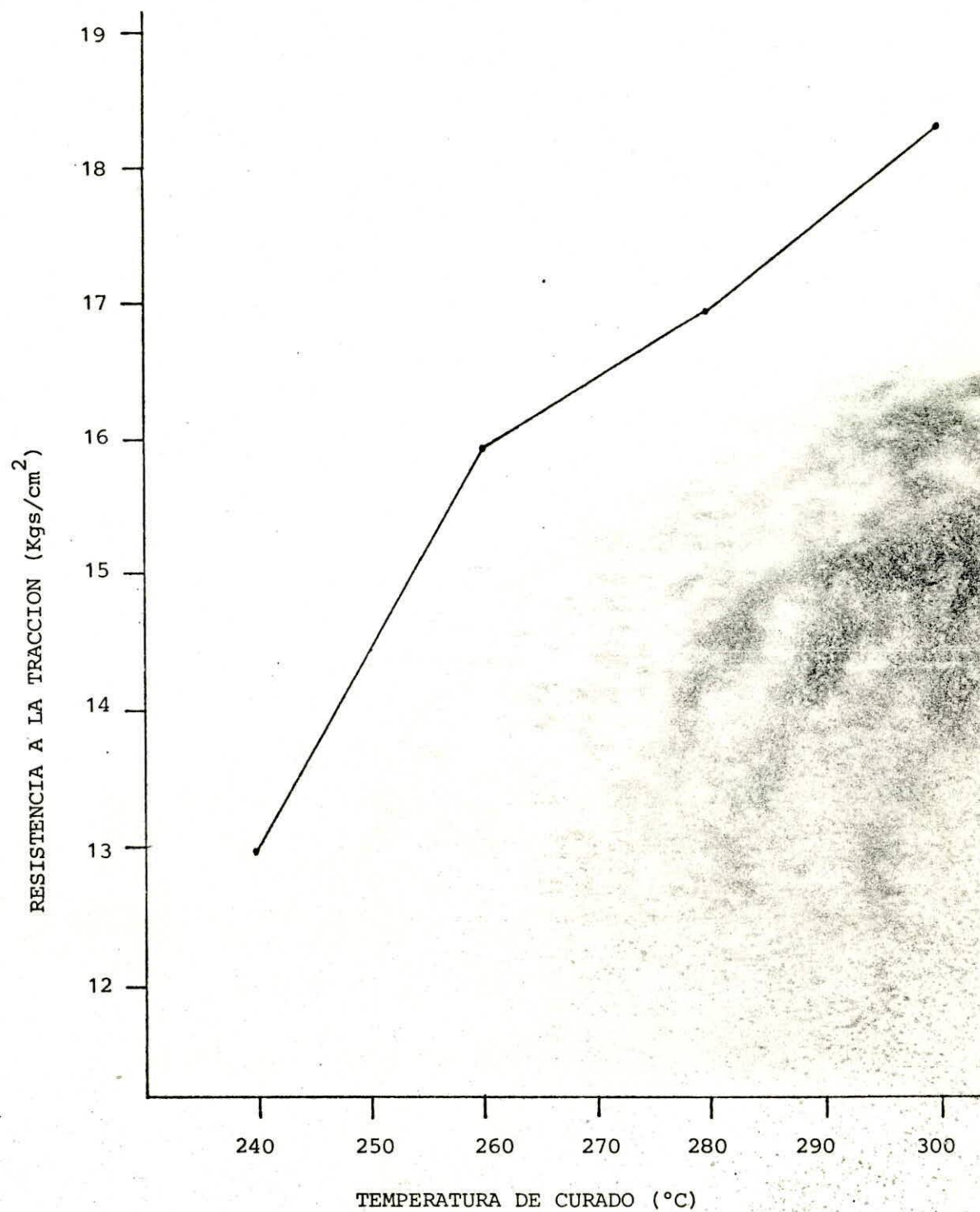


FIG. 3.15.- CURVA DE RESISTENCIA A LA TRACCION VS. TEMPERATURA DE CURADO

PORCENTAJE DE RESINA	RESISTENCIA A LA TRACCION (Kgs/cm ²)			PROMEDIO (Kgs/cm ²)
8	13.36	12.09	15.19	13.23
	12.94	11.67	11.81	
	14.91	13.57	19.57	
7	11.95	10.97	11.11	11.00
	10.69	10.69	11.25	
	10.62	10.62	11.11	
6	10.48	11.04	9.70	10.46
	10.97	9.35	11.25	
	9.91	10.83	10.62	
5	10.34	10.90	8.30	8.93
	9.14	8.93	9.49	
	8.72	7.24	7.31	
4	7.17	8.37	8.16	7.59
	6.89	7.52	7.80	
	7.24	7.73	7.45	

TABLA 3.11.- Variación del contenido de resina (%) con la resistencia a la tracción de corazones fabricados con la arena "Limón 2"

Tiempo de soplado:	0.8 seg.	Temperatura de curado:	260°C
Tiempo de curado:	45 seg.	% de humedad (% agua):	0.9 seg.

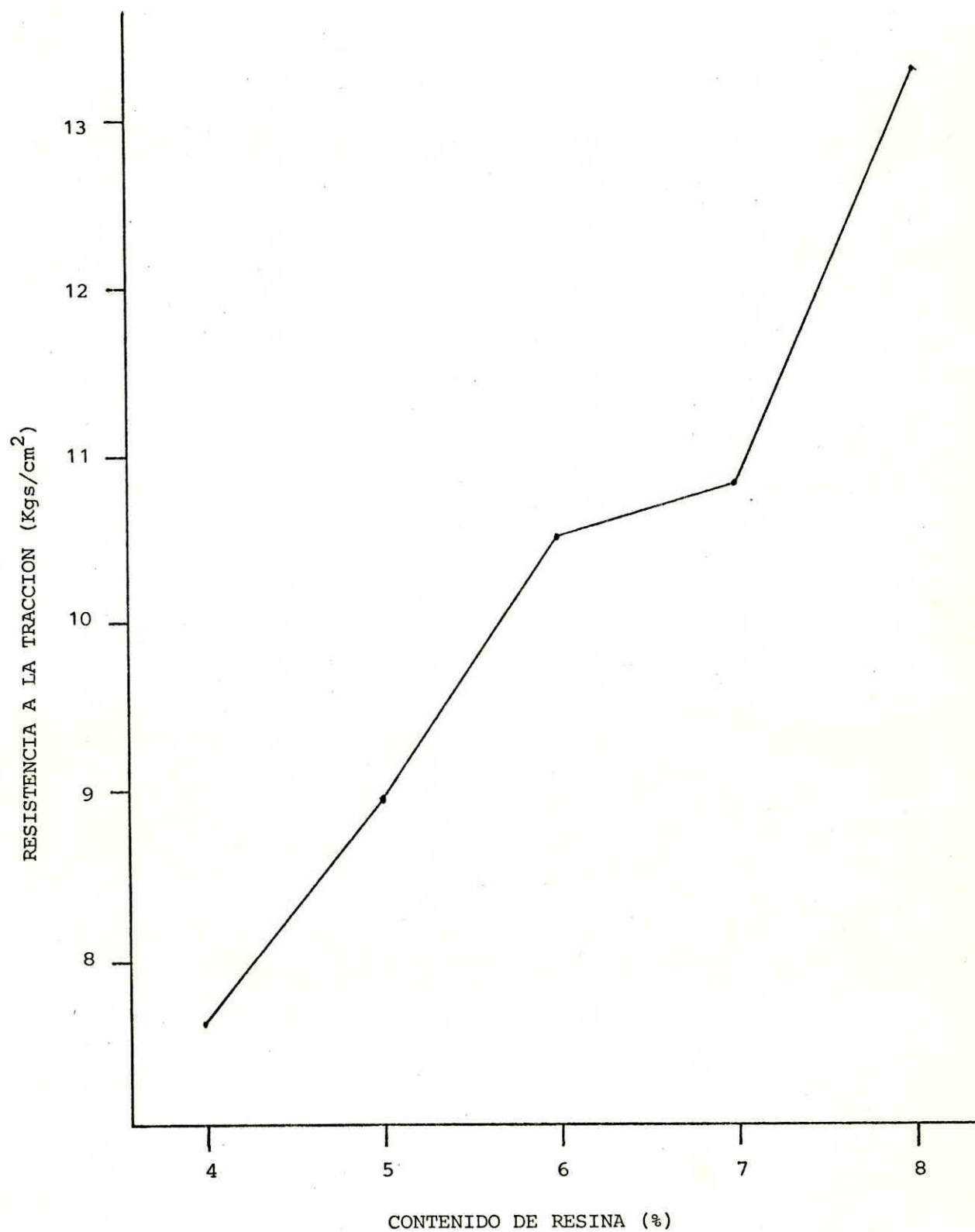


FIG. 3.16.- CURVA DE RESISTENCIA A LA TRACCION VS. CONTENIDO DE RESINA

% DE HUMEDAD (H ₂ O)	TIEMPO DE CURADO (segundos)	RESISTENCIA A LA TRACCION (Kgs/cm ²)			PROMEDIO (Kgs/cm ²)
1	25	7.10	9.51	-	8.31
	30	9.91	7.80	8.72	8.81
	35	10.69	9.56	8.58	9.61
	40	10.48	10.34	9.91	10.24
	45	10.97	8.65	11.39	10.34
	50	11.39	11.95	11.25	11.53
0.8	25	6.89	8.30	6.96	7.38
	30	8.86	9.07	10.27	9.40
	35	10.97	10.27	12.16	11.13
	40	9.07	9.63	10.55	9.75
	45	10.69	10.69	9.84	10.41
	50	12.02	12.02	11.81	11.95
0.7	25	-	-	-	-
	30	9.91	8.93	8.44	9.09
	35	8.58	10.12	8.37	9.02
	40	9.91	9.49	11.81	10.40
	45	10.62	10.76	10.48	10.62
	50	9.42	10.41	10.19	10.01
0.5	25	-	-	-	-
	30	7.80	6.68	-	7.24
	35	7.03	9.35	8.79	8.39
	40	8.65	11.18	9.14	9.66
	45	9.91	9.07	8.58	9.19
	50	10.41	10.83	10.12	10.45

TABLA 3.13.- VALORES DE RESISTENCIA A LA TRACCION DE LOS CORAZONES FABRICADOS CON LA ARENA LIMON 2 PARA DIFERENTES PORCENTAJES DE HUMEDAD Y DIFERENTES TIEMPOS DE CURADO

Tiempo de soplado: 0.8 seg.
 Temperatura de curado: 260°C
 Porcentaje de resina: 6%

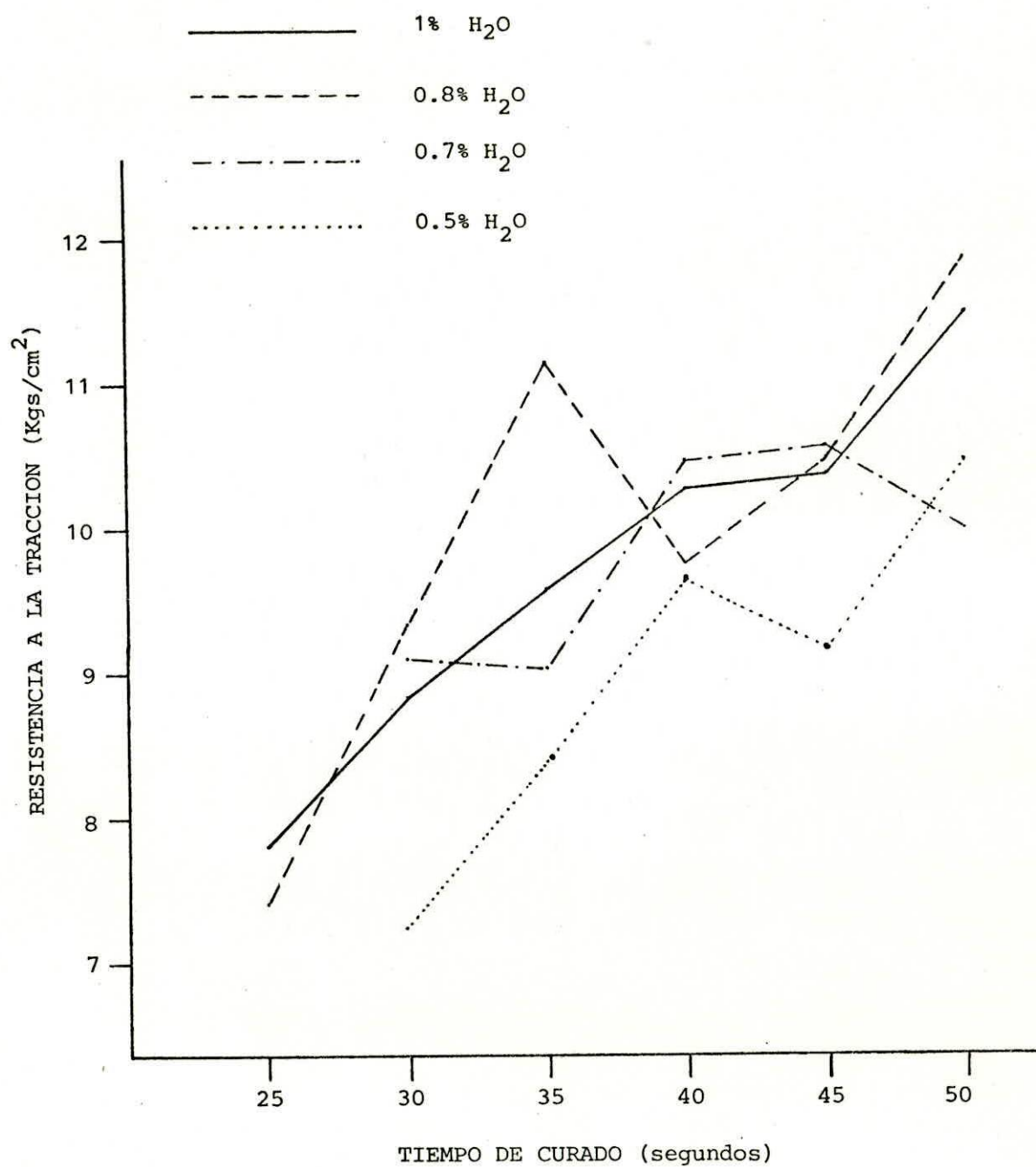


FIG. 3.17.- CURVAS DE RESISTENCIA A LA TRACCION VS. TIEMPO DE CURADO CON DIFERENTES PORCENTAJE DE HUMEDAD EN LA MEZCLA

TEMPERATURA (°C)	RESISTENCIA A LA TRACCION (Kgs/cm ²)			PROMEDIO (Kgs/cm ²)
240	7.52	10.41	9.77	9.43
	9.49	11.18	7.80	
	8.79	10.69	9.21	
260	11.04	10.27	11.11	11.82
	11.46	13.71	11.60	
	14.41	11.80	11.01	
280	9.84	12.66	12.45	11.45
	12.30	11.11	10.55	
	11.74	11.88	10.55	
300	13.38	12.23	11.53	12.53
	11.04	12.09	14.06	
	12.09	12.66	13.71	

TABLA 3.14.- Variación de la temperatura de curado con la resistencia a la tracción de los corazones fabricados con la arena Limon 2

Tiempo de soplado:	0.8 seg.	% de resina:	6
Tiempo de curado:	50	% de humedad (% agua):	0.8

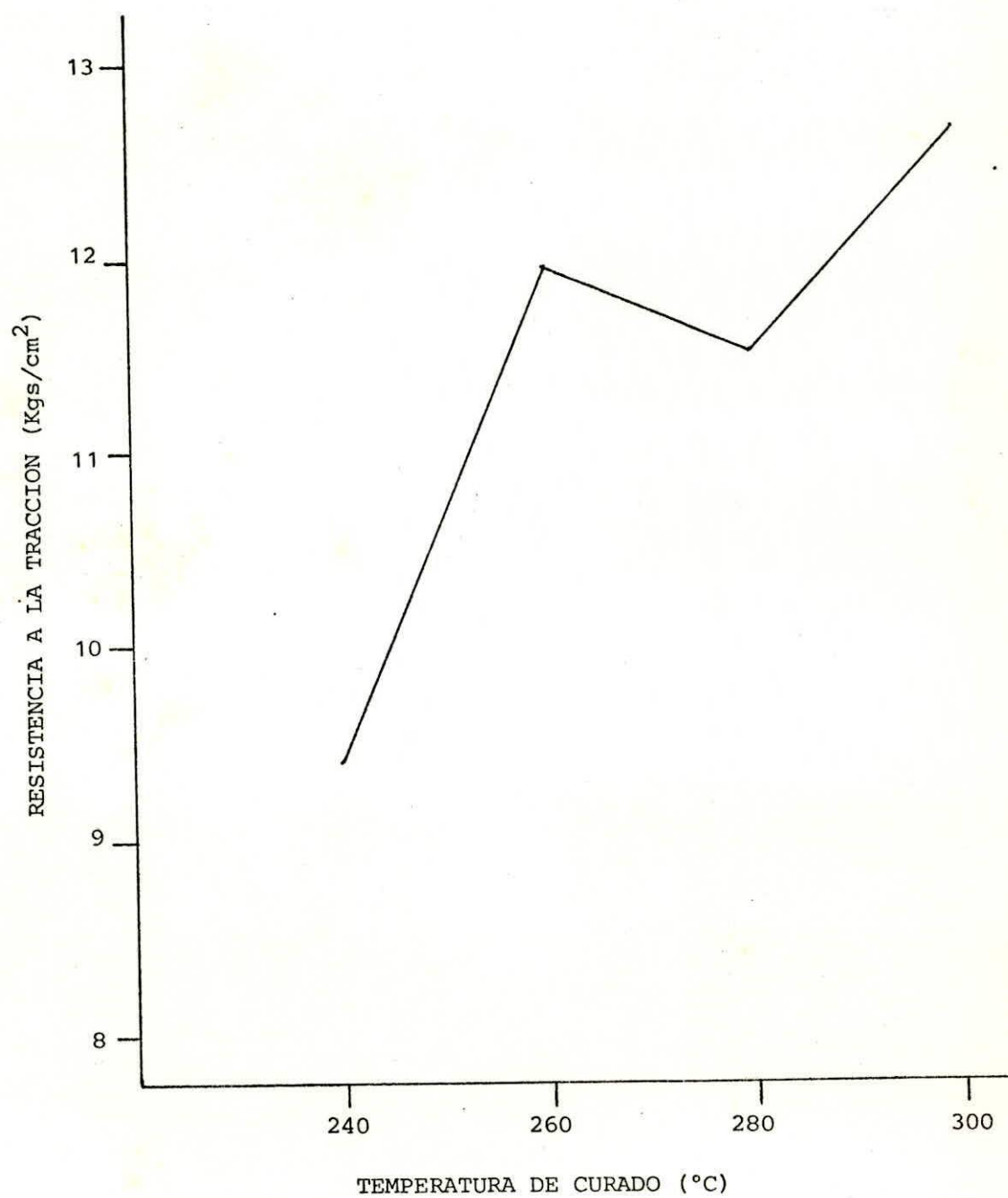


FIG. 3.18.- CURVA DE RESISTENCIA A LA TRACCION VS. TEMPERATURA DE CURADO

VALORES OPTIMOS DE
LAS VARIABLES DEL
PROCESO

TIPO DE ARENA

LIMON 1

LIMON 2

% de resina

7

6

Tiempo de curado (seg.)

50

50

% de humedad

0.8

0.8

(% de agua)

Temperatura de curado

280

260

(°C)

TABLA 3.15.- VALORES OPTIMOS DE LAS VARIABLES DEL
PROCESO

DIAS DE ALMACENAMIENTO	RESISTENCIA A LA TRACCION (Kgs/cm ²)			PROMEDIO DE RESISTENCIA (Kgs/cm ²)
1	12.66	11.25	12.09	12.00
2	15.47	15.33	15.61	15.47
3	15.12	16.17	15.75	15.68
4	16.24	14.63	15.51	15.46
5	14.77	16.73	16.03	15.84

TABLA 3.16.- Vida de banco de la arena "LIMON 1"

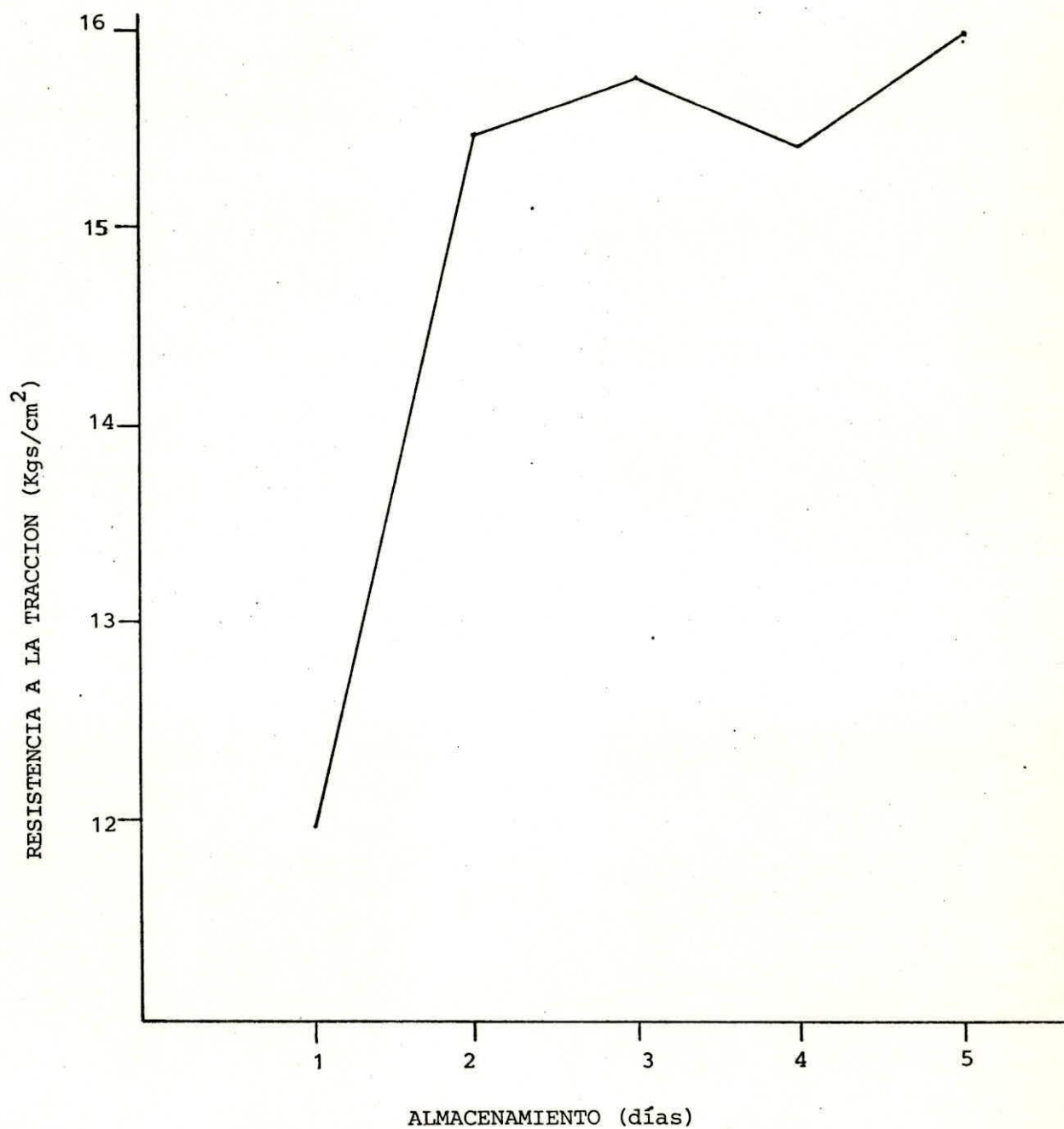


FIG. 3.19.- VARIACION DE LA RESISTENCIA A LA TRACCION CON LOS DIAS DE ALMACENAMIENTO EN LOS CORAZONES FABRICADOS CON LA ARENA "LIMON 1"

DIAS DE ALMACENAMIENTO	RESISTENCIA A LA TRACCION			PROMEDIO DE RESISTENCIA
	(Kgs/cm ²)			(kgs/cm ²)
1	10.55	12.52	11.67	11.58
2	9.84	11.95	10.97	10.92
3	11.25	12.94	12.23	12.14
4	13.92	13.78	13.69	13.80
5	13.08	14.20	13.92	13.73

TABLA 3.17.- Vida de banco de la arena "LIMON 2"

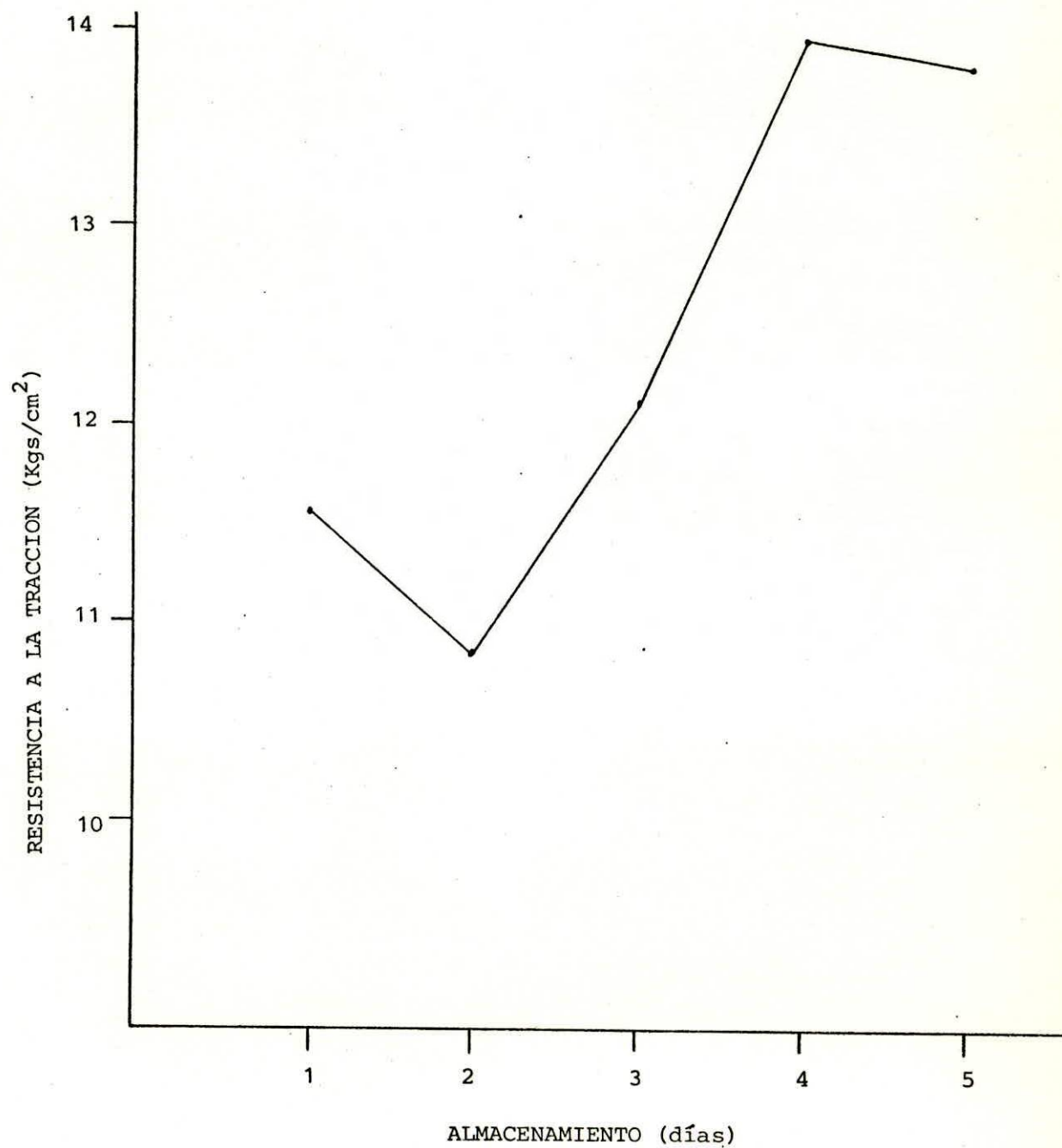


FIG. 3.20.- VARIACION DE LA RESISTENCIA A LA TRACCION CON LOS DIAS DE ALMACENAMIENTO EN LOS CORAZONES FABRICADOS CON LA ARENA "LIMON 2"

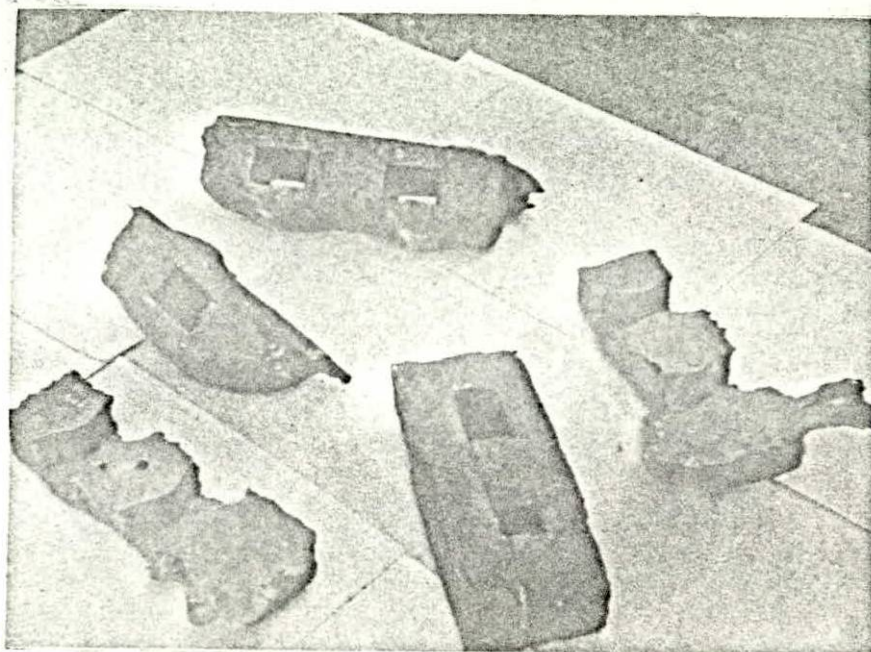
ción en función del tiempo de almacenamiento, para lo cual se tomó esta mezcla y se fabricaron corazones, los cuales se los almacenó a la temperatura ambiente, para luego ir tomando su resistencia a la tracción a ciertos intervalos de tiempo (tablas 3.16 y 3.17), con cuyos datos se trazaron las curvas de resistencia a la tracción vs. tiempo de almacenamiento (figs. 3.19 y 3.20).

3.3. PRUEBAS EN PLANTA

Una parte muy importante en esta investigación y que nos dará la respuesta definitiva sobre la calidad de los corazones, es justamente las pruebas en planta. No se puede garantizar que un corazón funcione a cabalidad en la fundición de piezas, debido a que muchos de los defectos que se presentan en las piezas fundidas dependen de ciertas condiciones dinámicas de colado, solidificación y enfriamiento en estado sólido de las piezas que actuando sobre el corazón no pueden simularse en nuestro laboratorio, y por tanto van a estar sujetos a la experiencia que se tenga en la planta de fundición.

3.3.1. Fundición de piezas

Establecidos los parámetros de la mezcla, el siguiente paso fue, probar los corazones en piezas fundidas.



FOTOGRAFIA 3.3.- CONJUNTO DE PIEZAS DE FUNDICION DE HIERRO
GRIS FUNDIDAS DURANTE LA INVESTIGACION

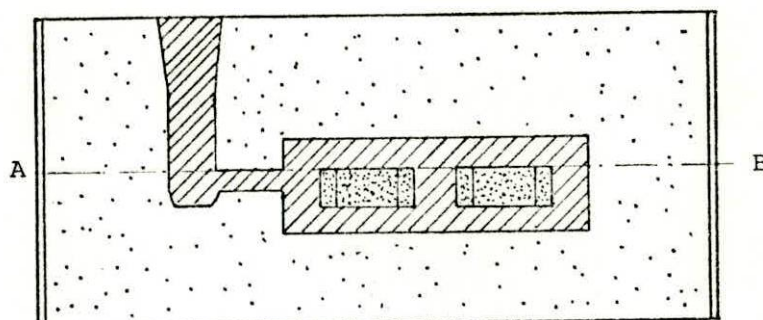
En esta investigación se trata de lograr corazones que den los mejores resultados en la fabricación de piezas de fundición de hierro.

Para el efecto se simuló las condiciones de prueba, en un molde al cual se adaptó los corazones utilizados en los ensayos (figura 3.21). Este molde se lo fabricó con arena natural preparada.

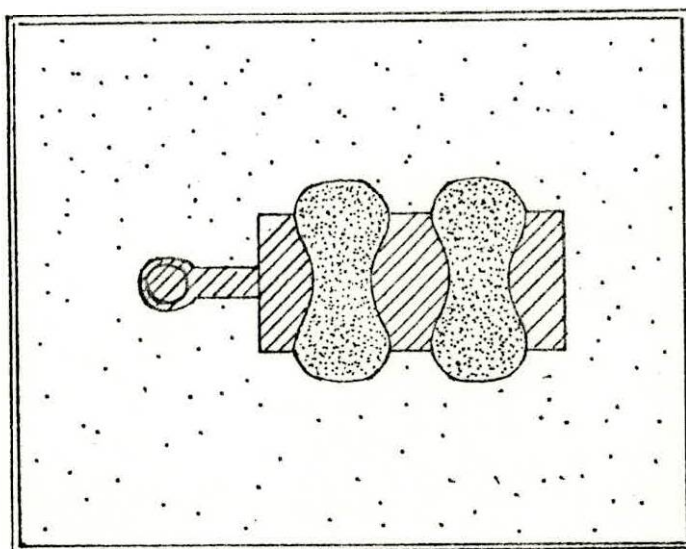
En la fotografía 3.3 se puede observar, un grupo de piezas que se fundieron utilizando los corazones fabricados con las arenas Limón 1 y Limón 2.

Nótese que unas piezas presentan cavidades y otras no. En el primer caso, estas se las fundió así con el objeto de probar su resistencia a la flexión y su resistencia a la presión metalostática del hierro al ser colado, además comprobar si la permeabilidad del corazón es adecuada para que los gases generados tanto por el metal como por el mismo corazón no produzcan defectos de porosidad en la pieza, así como también observar la facilidad que tiene el corazón para el desmoldeo después que el metal a solidificado.

Las otras piezas que se observan en la fotografía y que no presentan cavidades, se las utilizaron para controlar de manera preferencial, el acabado superficial, los defectas.



Corte transversal



Corte Longitudinal

FIGURA 3.21.- MOLDE UTILIZADO PARA LA FUNDICION DE PIEZAS
UTILIZANDO LOS CORAZONES CON LA FORMA DE LA
BRIQUETA DE TRACCION.

tos superficiales, etc.

Los resultados que se encontraron se analizan en los siguientes puntos.

3.3.2. Control de defectos

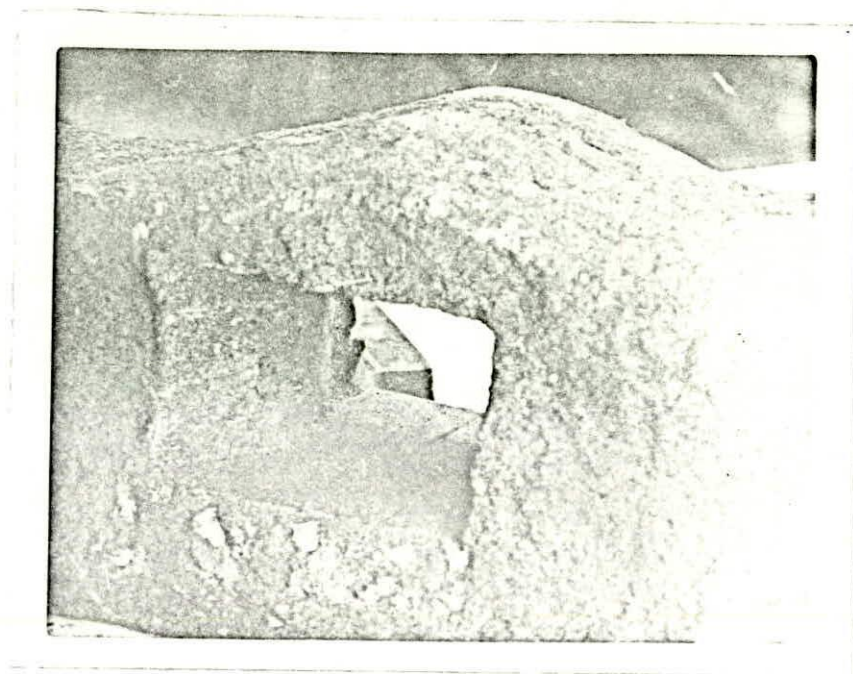
En las piezas que se fundieron, se pueden observar en algunas ocasiones la presencia de defectos tanto internos como superficiales causados por ciertas condiciones inadecuadas en los moldes o corazones.

Por consiguiente, para realizar el control de defectos en nuestro caso, se fundieron algunas piezas utilizando los corazones fabricados con las dos arenas, cuyos resultados se muestran en las fotografías 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9.

Las fotografías 3.4, 3.6 y 3.9 representan las piezas fundidas utilizando los corazones fabricados con la arena "Limón 2", y las fotografías 3.5, 3.7 y 3.8 representan las piezas fundidas utilizando los corazones fabricados con la arena "Limón 1".

3.3.3. Control de Tolerancias dimensionales

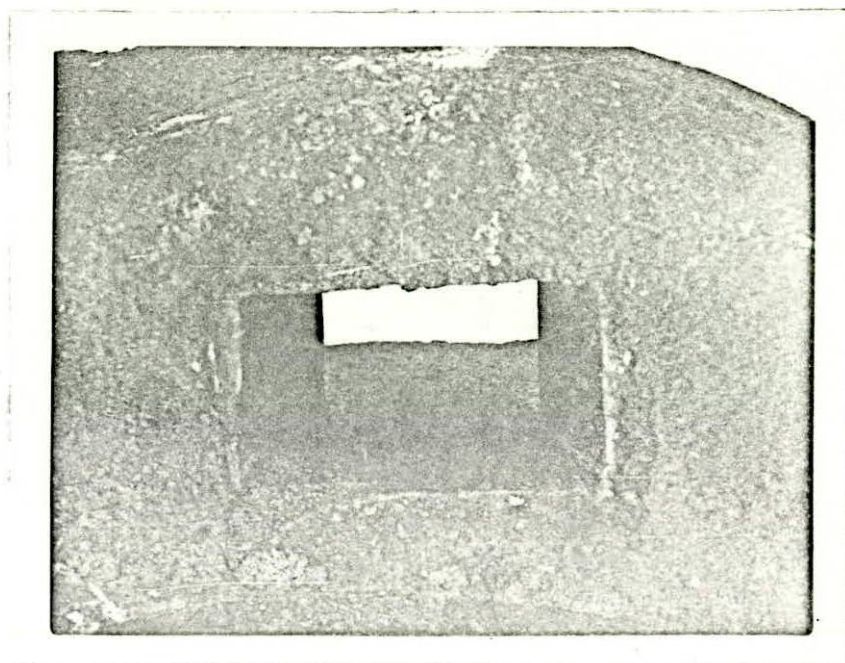
Los corazones fabricados con estas arenas permiten obtener piezas fundidas con cambios de formas muy diversas, detalles



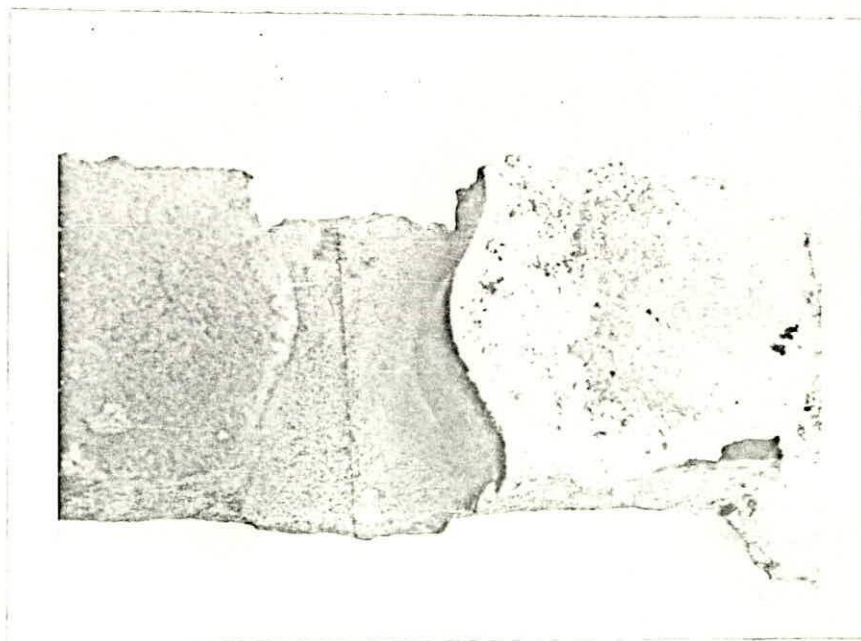
FOTOGRAFIA 3.4.- PIEZA FUNDIDA CON CORAZON ELABORADO CON ARENA LIMON 2



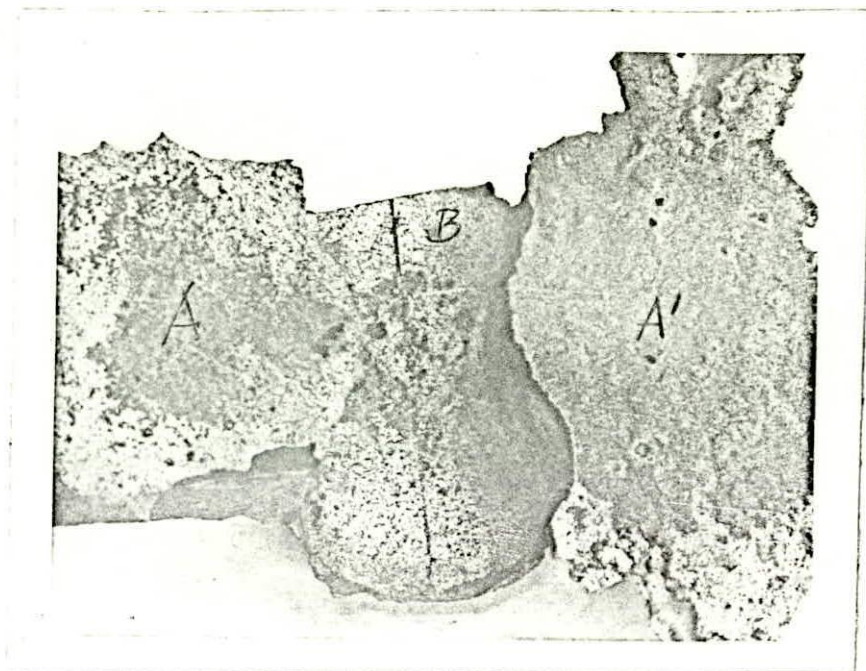
FOTOGRAFIA 3.5.- PIEZA FUNDIDA CON CORAZON ELABORADO CON ARENA LIMON 1.



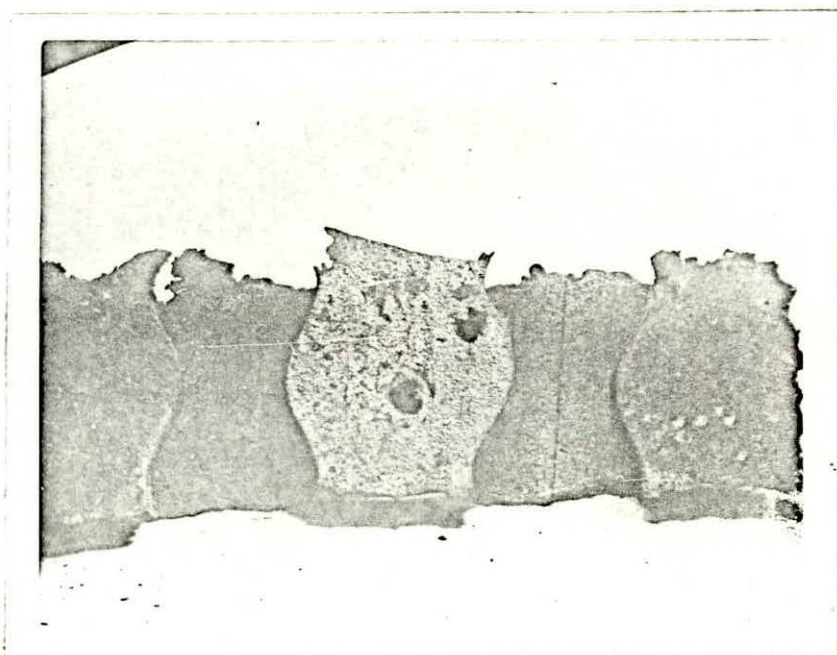
FOTOGRAFIA 3.6.- PIEZA FUNDIDA UTILIZANDO CORAZON ELABORADO
CON ARENA LIMON 2.



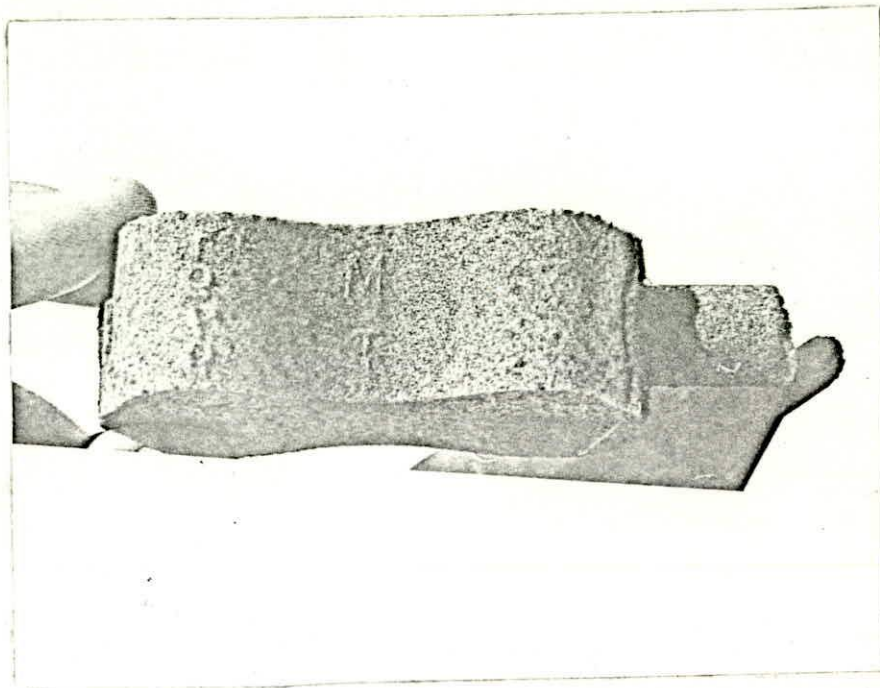
FOTOGRAFIA 3.7.- PIEZA FUNDIDA UTILIZANDO CORAZON ELABORADO
CON ARENA LIMON 1.



FOTOGRAFIA 3.8.- PIEZA FUNDIDA UTILIZANDO CORAZON ELABORADO
CON ARENA LIMON 1.



FOTOGRAFIA 3.9.- PIEZA FUNDIDA UTILIZANDO CORAZON ELABORADO
CON ARENA LIMON 2.



FOTOGRAFIA 3.10.- CORAZON CON GRABADO EN ALTO RELIEVE
PARA MOSTRAR SU TOLERANCIA DIMENSIONAL
NAL.

muy pequeños, etc. con una precisión aceptable.

En la fotografía 3.10 se muestra un corazón en el que se puede observar el grabado en alto relieve logrado en el borde, cuyas medidas son:

Espesor y altura de las letras "MT": 0.5 mm., 0.4 - 0.5 mm.

Espesor y altura de los números "1979": 0.6 mm., 0.3 - 0.4 mm.

3.3.4. Desmoldeo

Es común en fundición usar el término desmoldeabilidad, para referirse a la facilidad de separar la arena de la pieza fundida; también se refiere a esta propiedad de las mezclas de arena con la colapsibilidad de las mismas, es decir a la capacidad de desmoronarse con menos esfuerzo. Se reporta para este caso, que los corazones se destruyeron por si solos después de sacar la pieza del molde, se notó también que no quedó arena adherida a la pieza y no fue necesario usar métodos normales de (sand blasting) limpieza con chorro de arena ó chorro de granalla de acero (shot blasting) para llegar a identificar la superficie de la fundición.

CAPITULO 4

ANALISIS DE RESULTADOS

La utilización de las arenas nacionales de los yacimientos identificados como Limón 1 y Limón 2 en este estudio en el proceso de caja caliente para la fabricación de corazones que sean usados en la manufactura de piezas por fundición, se dilucida a través de las experiencias de laboratorio y planta que se han llevado a cabo. La presente discusión de resultados tiene como norma la comparación de experiencias de este trabajo con datos experimentales e información técnica especializada que determinan una pauta sobre la calidad de las materias primas a usarse y datos referenciales sobre características de mezclas curadas, los cuales identifican propiedades mecánicas a temperatura ambiente, a temperatura de trabajo y finalmente sobre comportamiento físico de los elementos constitutivos del molde durante el colado, solidificación y desmoldeo.

Se debe aclarar que los ensayos de laboratorio a temperaturas elevadas no fueron posible realizarlos por cuanto la ESPOL carece de equipos para esta clase de pruebas.

De los resultados obtenidos en esta investigación, se tiene que:

- Las arenas "Limón 1" y "Limón 2" están compuestos casi en un cien

por ciento por granos subangulares (ver fotografía 3.1 y 3.2), que son justamente los que exige el proceso por ofrecer una buena combinación de resistencia y permeabilidad. No se efectuaron ensayos de permeabilidad base por limitaciones en equipo y tampoco se pudo realizar ensayos de mezclas con arenas de grano redondo para comparar resistencias, pero los valores encontrados se ajustan a los que manifiesta la recomendación técnica.

- En la distribución granulométrica promedial mostrada en las figuras 3.11 y 3.12 se observa en ambos casos una concentración mayor de granos de malla 70, esta condición de tamaño de grano se enmarca todavía en el rango establecido por la AFS que es, malla 50 para granos redondo y malla 70 para grano subangular. Se encontró además que la arena "Limón 1" presenta una tendencia muy leve hacia mallas de granos finos, mientras que la arena "Limón 2" presenta así mismo una pequeña tendencia hacia malla de granos gruesos, diferencias que no son muy apreciables si consideramos que los números de finura AFS son muy semejantes.
- El número de finura que presentan las dos arenas son prácticamente los mismos 58.41 para "Limón 1" y 57.92 para "Limón 2".

- Los datos que se tienen del contenido de impurezas de estas arenas, establecen que son arenas eminentemente silíceas 99.39% y 99.40% de SiO_2 para "Limón 1" y "Limón 2", respectivamente.
- El punto de sinterización B (aproximadamente 1500°C) que poseen las arenas son lo suficientemente altas como para resistir las temperaturas de colado del hierro fundido (entre 1250 y 1400°C según el espesor de las piezas) sin quemarse ni fundirse con el metal.
- Para obtener la mezcla óptima, como ya se mencionó anteriormente, se basó en dos criterios, técnico y económico. Sin llegar a analizar costos se trató de no exceder el porcentaje de resina. Cabe mencionar que la resina THOR MD-278 puesta en Guayaquil cuesta 150 sucres/kg. de Borden de Cali-Colombia. Las mejores resistencias a la tracción se consiguieron con porcentajes comprendidos entre 6 y 7% del peso de arena seca, valores que estando cercanos al límite superior de composición (8%) implica que se gasta nueve veces lo que cuesta la arena por lo que se nota claramente que la pastificación económica del uso del proceso estriba en las altas producciones ya que la máquina disparadora tiene ciclos de trabajo de menos de 1 minuto, y la relación de mezcla a corazones fabricados es del orden de 90%. Las figuras 3.13 y 3.16 determinan incremen

tos de resistencia frente a incrementos de resina y por ende un incremento en costos de producción.

- Para la fijación del contenido de humedad para ambos ca sos en 0.8%, se tomó en consideración solamente el crite rio de máxima resistencia, mediante el cual de acuerdo a las curvas obtenidas (ver figuras 3.14 y 3.17) se es cogió aquella cuya tendencia es siempre ascendente.
- El tiempo de curado que se obtuvo fue determinado simul táneamente con el porcentaje de humedad, para lo cual se tomó en cuenta los dos puntos de vista.

Se requería que los corazones fueran curados en el me nor tiempo posible y que su resistencia a la tracción - fuera elevada.

Considerando que los tiempos empleados en el ensayo e ran cortos, se escogió los tiempos de curado en el cual los corazones presentaban las más altas resistencias a la tracción (ver figuras 3.14 y 3.17).

- Para obtener los valores de la temperatura de curado se trató con los criterios anteriormente establecidos.

En las curvas de resistencia a la tracción vs. temperatu

ra de curado (ver figuras 3.15 y 3.18) puede observarse que a menores temperaturas de curado las resistencias son bajas, y a medida que aumenta la temperatura las resistencias van aumentando rápidamente, hasta que a temperaturas más altas, del orden de los 280°C , el aumento de la resistencia es lento. Por lo cual las temperaturas escogidas son aquellas en que incremento de las resistencias con las temperaturas no son apreciables.

- Se encontró que la vida de banco o tiempo de almacenamiento de los corazones elaborados con las dos arenas no producían en estos, disminución en sus propiedades, tal es así que, en las figuras 3.19 y 3.20 puede observarse que por el contrario estas se incrementan un poco. Lo cual indica que los corazones pueden ser usados sin pérdidas de sus propiedades por un tiempo mayor al que se almacenó para esta investigación.
- Las pruebas en planta, se hicieron en base a un solo modelo de piezas (fig. 3.21), por cuanto se requería de diferentes matrices que resultaba muy costoso el obtenerlas, y considerando que los corazones que se fabricaban, con la forma de la briqueta utilizada para los ensayos de tracción, era posible realizar las pruebas, se emplearon estos en la fundición de piezas.

- Los defectos encontrados fueron casi nulos. En las fotografías 3.4 y 3.6 se muestran las piezas fundidas utilizando corazones fabricados con la arena "Limón 2". Obsérvese que la superficie plana de la cavidad no presenta defecto alguno, ni tampoco existe arena adherida en la superficie. En el lado curvo, a la izquierda de la cavidad de la fotografía 3.4, se aprecia apenas unas irregularidades que tienen la apariencia de un defecto conocido como descascaramiento, causado por una mala alimentación del metal y temperatura de vaciado muy alta. En la fotografía 3.5 se muestra una pieza fundida con un corazón fabricado con la arena "Limón 1", en la que no hubo defectos notables. Se pudo apreciar que las cavidades dejadas por los corazones fueron de superficies lisas y pulidas, sin exfoliaciones, pinholes y colas de rata - que a menudo suelen ocurrir en la fundición de hierro gris.

En las fotografías 3.7 y 3.9 se presentan piezas fundidas con machos de arenas "Limón 1" y "Limón 2" respectivamente, las que destacan también lo previamente anotado.

La Fotografía 3.8 que presenta el plano AA' correspondiente a la parte inferior de la pieza en el molde y el plano B que pertenece a la parte superior de la pieza en el molde que fundida con un corazón hecho con arena "Limón 1" pre-

senta superficie irregular y con oquedades, lo cual explica por su morfología que corresponde a defectos provocado por desmoronamiento de la tapa del molde al momento de ajustar las partes del mismo. Más concretamente, las manchas que aparecen en el centro se deben a arena desprendida y depositada sobre la superficie del corazón. Y por último, el desmoldeo se efectuó con relativa facilidad, lo cual da un indicativo del tipo de máquinas desmoldeadoras y limpiadoras que requeriría para la implementación de la planta fundidora.

Así, para desalojar el corazón de la pieza fue necesario una simple agitación, ya que la resina utilizada en el corazón como ligador de los granos de arena se quemó por completo y los granos liberados se desmoronaron con mucha facilidad, demostrando tener la mezcla características de alta colapsibilidad.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la discusión de los resultados presentados en el capítulo anterior en los que se ha tratado de establecer la factibilidad de utilizar arenas de yacimientos "Limón 1" y "Limón 2", ubicados en la Provincia del Napo, se sacan las siguientes conclusiones:

- Las dos arenas analizadas cumplen requerimientos de calidad establecidos por la AFS para una arena que vaya a ser usada en proceso de elaboración de corazones con el uso de resinas furánicas o fenólicas modificadas y disparado ra de corazones con caja caliente. Estos requerimientos se refieren específicamente a control de forma de grano, granulometría, composición química, grado de refractariedad o punto de sinterización, etc.
- También se ha demostrado que acepta fácilmente la aglomeración con resinas sintéticas y que las propiedades mecánicas con las mezclas ensayadas cumplen a cabalidad las exigencias que para la fundición de hierro gris se requieren.
- También se ha demostrado de manera eficaz que los corazo-

nes puestos en prueba de colado de piezas con hierro no alteran las características de buen acabado superficial que es una de las ventajas que ofrece el proceso.

- También se ha puesto de manifiesto que la vida útil o vida de banco de los corazones no es un problema, como muchos afirman, por cuanto se mantienen por tiempo prolongado las condiciones de uso del corazón. Aunque no sea el propósito de este proceso la fabricación de corazones para almacenar por semanas y usarlos posteriormente, esta condición podría salvaguardar de las contingencias que siempre se tienen en producción y por último,
- También ha quedado demostrado que otra de las ventajas del proceso es, mantener tolerancias dimensionales de copiado de superficies muy precisas.
- Se recomienda, antes de implantar este proceso en producción, hacer un análisis conciente de los costos, consumo de energía, tiempo, mano de obra e inversión en la fase de limpieza de la fundición, teniendo presente la alta productividad que se desarrolla tanto en su manufactura como también en piezas sanas obtenidas.

BIBLIOGRAFIA

1. A. VITERI, "Estudio y análisis de las condiciones y ventajas de utilización de una arena lavada y carente de finos, para la fabricación de nexos en caja caliente". V Curso Panamericano de Metalurgia, Buenos Aires, 1969.
2. C. DIAZ BROSCH, V. LO RE, "Areias de Fundicao e Materiais de Moldagem". Boletín N° 54, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Sao Paulo, 1965.
3. ESPOL. "Manuales para clases de Fundición". Reproducción, Guayaquil, 1978.
4. ESPOL, "Arenas de Moldeo". Reproducción, Guayaquil, 1978.
5. H.W. DIETER, "Foundry Core Practice", AFS, Tercera Edición, 1966.
6. H.W. DIETER, "Preparación de arena de Moldeo".
7. J. AGUILAR REYES, "Aglomerantes y arenas para corazones". X Curso Panamericano de Metalurgia, Mexico, 1975.