

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO  
FACULTAD DE QUIMICA

"EL CONTROL DE ARENAS DE MOLDEO EN VERDE PARA LA FUNDICION DE HIERRO"

MEMORIA QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

"QUIMICO METALURGICO"

P R E S E N T A

GUILLERMO VAZQUEZ ZEPEDA

PROPIEDAD DE LA FACULTAD  
DE QUIMICA DE LA U.A.Q.

FACULTAD DE  
QUIMICA



BIBLOTECA

100 met

No. Reg. 150132

No. Titulo \_\_\_\_\_

TS 672.2

V393C

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD  
DE GUAYAMA DE LA U.S.A.



## PREFACIO.

Por más de 20 años, los fundidores han discutido la manera de reemplazar -- los sistemas de moldeo de arena en verde, por algo que de dimensiones más -- precisas, menos problemas de manejo y, además, mayor eficiencia en costos, pero aún hoy en día no existe tal.

El moldeo de arena en verde ha sido el medio básico de la fundición por -- años. Ha habido muchos cambios en los materiales y se han desarrollado mu-- chos procesos para competir con él, pero este continua siendo el proceso de moldeo para la producción de casi todas las formas de molde.

En los últimos años a partir de 1980, han sido testimonios de malos tiempos económicos para la industria de la fundición, durante este tiempo muchas -- fundiciones se han concentrado solamente en sobrevivir, por lo que existe la duda sobre el futuro de la arena de moldeo en verde.

En reciente conferencia de la Sociedad Americana de Fundidores (AFS por sus siglas en Inglés) sobre la tecnología de la arena de moldeo en verde, se -- siente que este proceso sobrevivirá y que se adecuará en el futuro para ser -- vir mejor a la industria de la fundición. Las mejoras esperadas son en -- cuanto a un manejo y operación de la tecnología existente.

Por lo que se puede concluir que aún hoy en día no se considera un reempla-- zo del proceso de arena de moldeo en verde, pero si una mayor explotación de sus capacidades de producción.

# I N D I C E

I	INTRODUCCION.	1
II	ALGUNAS CARACTERISTICAS EN EL CONTROL DE ARENAS DE MOLDEO EN VERDE.	
II-1	INTRODUCCION.	2
II-2	MASA DE MOLDEO Y ARENA DE MOLDEO.	4
III	ARENA DE MOLDEO Y SUS COMPONENTES.	
III-1	DIFERENTES TIPOS DE ARENAS.	6
III-2	ARCILLAS.	9
III-3	IMPUREZAS.	10
IV	ADITIVOS MAS COMUNES EN LAS ARENAS DE MOLDEO EN VERDE.	
IV-1	INTRODUCCION.	10
IV-2	ARENA SILICA.	10
IV-3	BENTONITA.	12
IV-4	CARBON MARINO.	14
IV-5	HARINA DE MADERA.	15
IV-6	PIROFOSFATO DE SODIO.	16
IV-7	HARINA DE SILICE.	16
IV-8	OXIDO FERRICO.	17
IV-9	HUMEDAD.	17
IV-10	RESUMEN.	19
V	PROPIEDADES DE UTILIZACION DE LAS MASAS DE MOLDEO.	
V-1	PERMEABILIDAD.	20
V-2	RESISTENCIA A LA COMPRESION.	21
V-3	DUREZA.	21
V-4	RESISTENCIA AL CORTE.	24
V-5	DENSIDAD DEL MOLDE.	24
V-6	FLUIDEZ.	25
V-7	HUMEDAD.	25
V-8	REFRACTERIEDAD.	25
V-9	DEFORMACION.	25
V-10	EXPANSION TERMICA.	26
V-11	COLAPSABILIDAD.	26
VI	GRANULOMETRIA Y FORMA DE GRANO.	
VI-1	GENERALIDADES.	26
VI-2	ANALISIS GRANULOMETRICO EN ARENAS.	27
VI-3	MATERIAS IMPALPABLES.	29

## OBJETIVO

El realizar esta memoria, es con el fin de recopilar la información -- más importante que existe acerca del control de las arenas de moldeo en ver de para la fundición de hierro, ya que existe muy poca información disponible para las personas que cursamos la carrera de Químico Metalúrgico en esta Universidad.

Por otra parte, es muy interesante el poder verificar en la práctica lo que la bibliografía nos enseña, por lo que la parte práctica de este trabajo, - trata sobre la comprobación de esta información, en este aspecto en el que me encuentro completamente relacionado en mi trabajo profesional.

PARTE PRACTICA.

VII	PARTE PRACTICA.	
VII-1	OBJETIVO	30
VII-2	CONDICIONES DE TRABAJO	31
VII-3	DIAGRAMA DE FLUJO	32
VII-4	DETERMINACION DE LA HUMEDAD	34
VII-5	FORMA NORMALIZADA DE PREPARACION DE PROBE TAS DE ENSAYO.	34
VII-6	DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COM- PRESION.	35
VII-7	DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL CORTE.	36
VII-8	DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD.	36
VII-9	DETERMINACION DE LA DUREZA SUPERFICIAL.	38
VII-10	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE ARCILLA TO TAL.	39
VII-11	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE ARCILLA AC TIVA.	39
VIII	RESULTADOS Y GRAFICAS.	41
IX	CONCLUSIONES.	48
X	BIBLIOGRAFIA.	51

## I INTRODUCCION

Existen muchos procedimientos para conformar a los materiales metálicos en una manera bruta y obtener volúmenes de figuras geométricas concretas.

Para dar forma a un material metálico fundido basta con introducirlo a una cavidad, de manera que llenado el volumen adopte su configuración interna. En el moldeo se introduce el material metálico en la cavidad llamada molde por colada de aquel bajo la acción de la gravedad (vertido) o de otras --- fuerzas (por presión) que hagan la operación más perfecta. Para que la pro ducción de la grabación del molde sea perfecta, en principio ha de ser com pleta y después estable. Se distinguen las etapas:

- a) Sustitución, en la que el cuerpo que anteriormente llenaba la cavidad-- (generalmente aire) es desplazado por el nuevo y
- b) Solidificación, en la que el material adquiere características mecáni-- cas, entre otras, formando un conjunto permanente.(II).

El molde en el que va a obtenerse la pieza debe reunir varios requisitos, - pues la calidad de la pieza obtenida estará en función de la calidad del - molde, los requisitos para un molde son:

- 1.- Refractariedad, para soportar las temperaturas elevadas de los metales fundidos.
- 2.- Permeabilidad, para permitir la salida del aire atrapado en la cavidad y gases disueltos en el metal.
- 3.- Resistencia mecánica, para evitar deformaciones o erosión en el manejo o durante la colada.
- 4.- Colapsabilidad, para permitir la libre contracción del metal durante la solidificación.
- 5.- Tersura, para permitir piezas con un buen acabado superficial y final- mente
6. Bajo costo.

Las arenas poseén estos requisitos, quedando a discusión únicamente la ter sura y el costo, pues para una producción en gran serie pueden usarse mol- des permanentes. (III). Es importante tener presente que las arenas de -- moldeo son usadas cuando las características de las piezas permiten una ve locidad de enfriamiento baja, ya que cuando es necesario una velocidad de enfriamiento mayor los moldes metálicos son preferidos.

## II ALGUNAS CONSIDERACIONES EN EL CONTROL DE ARENAS DE MOLDEO EN VERDE.

### II-1 INTRODUCCION.

Como es sabido, la mayor cantidad de piezas de fundición se producen en moldes de arena y en cada caso, el tonelaje de arena manejado puede ser muy grande por lo que resulta muy importante controlar la cantidad y la operación del proceso del moldeo desde la preparación de las mezclas y los moldes, o sea, desde la preparación de la arena para la obtención del molde con el fin de obtener los resultados deseados en las piezas fundidas.

Para moldeo con arenas, se emplean diferentes procesos para la preparación de las mezclas y los moldes, aunque el proceso más común es el de moldeo en verde por su versatilidad y economía.

Desde el punto de vista general, la arena de moldeo debe ser fácilmente moldeable y producir piezas para la fundición libres de defectos. Para esto se deben considerar algunas propiedades específicas, y la forma de controlarlas. Ya que mediante el control de las arenas de fundición se pueden correlacionar la calidad de las piezas obtenidas y la eficiencia de la operación de moldeo.

En el laboratorio se identifican la calidad de las mezclas de arena para moldes determinando su aceptación o rechazo.

Los resultados del laboratorio no determinan la moldeabilidad o las características finales de los moldes o corazones. El control de la arena es la producción continua de mezclas para moldeo y de piezas de buena calidad, y deben establecerse límites y parámetros de la arena y sus propiedades para asegurar la obtención de buenos resultados.

Un buen control de arenas, garantiza un incremento en ahorros en limpieza, maquinado y una buena calidad de las piezas obtenidas.

La preparación de la arena de moldeo es el primer paso de control a que se hace referencia, siguiendo después el control en el laboratorio y por último el control en moldeo.

Cada uno de los puntos anteriores debe integrarse por una secuencia de variables a controlar.

#### -EN EL MEZCLADOR:

- a) Temperatura de la mezcla
- b) Agregado de aditivos
- c) Arcillas y agua
- d) Adición de arena nueva
- e) Tiempo de mezclado

- EN EL LABORATORIO

- a) % de humedad
- b) Permeabilidad
- c) Resistencia en seco y en verde
- d) Granulometría e índice de finura
- e) Combustibles

- EN EL MOLDEO

- a) Dureza del molde
- b) Erosión en la arena
- c) Deformación del molde
- d) Condiciones del modelo
- e) Condiciones de la moldeadora

El control de la temperatura de la mezcla es importante, ya que a más de --  
49°C la arena es difícil de aglutinar y a temperatura mayor de 70°C prácti-  
camente será imposible reacondicionar una arena de sistema. La solución a  
estos problemas debe ser por medios mecánicos (enfriadores) y de volumen -  
(aumentando el volumen de la arena a la relación molde-metal) que mediante  
la adición de altos porcentajes de humedad, ya que esto último se ha obser-  
vado que genera un buen número de problemas expresado en mayor incidencia  
de defectos superficiales como piquete de aguja (pin hole), sopladuras, --  
etc.

En el control de la adición de materiales a la arena es importante conocer  
los efectos que cada uno de ellos tiene sobre la arena de moldeo. Deberá--  
establecerse un patrón de adición que permanezca constante para asegurar--  
propiedades físicas semejantes facilitando así, el control de la etapa en  
el mezclador, en el laboratorio y como consecuencia en el moldeo, haciendo  
posible además una rápida identificación y solución de los problemas origi-  
nados por la arena.

Otro punto importante del control en el mezclador, en el laboratorio y co-  
mo consecuencia en el moldeo, es el tiempo de mezclado, ya que la calidad  
de la mezcla de arena, en gran parte depende de la correcta selección del  
tiempo de molienda.

Los cuestionamientos más frecuentes en la industria de la fundición son:  
Cuales bases fijar para el control en el laboratorio. Normalmente esto de-  
pendería del tipo de moldeo, metal fundido, características de las piezas,  
relación metal-arena, si se usan cajas de moldeo o no, etc.

Generalmente la humedad no debe ser menor del 2.5% ni mayor del 5% para ga-  
rantizar un mezcla de arena homogénea en sus características de aglutinado,  
y con la suficiente cohesión entre grano y grano de arena para poder ser  
moldeado.

La permeabilidad es otro propiedad física altamente significativa y muy im

portante, ya que la gran cantidad de gases generados durante la colada deberán escapar entre los espacios existentes entre grano y grano de arena, de tal forma que una mezcla mal acondicionada, con excesos en aditivos y agua, y con excesos de finos será mezclada con muy baja permeabilidad y alta incidencia de defectos típicos de gases: sopladuras, "pin-holes", etc.

Por último se hará referencia a algunas características en el área de moldeo, tales como la dureza del molde que a todo caso representa el tipo y calidad de apisonado o compresión del molde, cuando exista baja dureza del molde, aumenta la posibilidad del movimiento de las paredes del molde, produciéndose piezas defectuosas (contracción, porosidad, inclusiones, etc.).

Las condiciones de moldeo y la máquina moldeadora o el equipo que lo sustituye también son factores que, aunque no son componentes en sí de la arena, si influyen en forma definitiva en la calidad de los moldes obtenidos por esto, deberá vigilarse la fidelidad y el estado físico del modelo así como la eficiencia, presión, compactación y operación del equipo para moldear. (IV).

## II-2 MASA DE MOLDEO Y ARENA DE MOLDEO.

En primer término es necesario distinguir entre masa de moldeo y arena de moldeo: La primera es el compuesto apto para obtener el molde, mientras que la segunda, es la arena apta para moldeo, que forma parte del compuesto.

Para obtener piezas fundidas es necesario colocar el metal líquido dentro de los moldes que reproduzcan las formas tanto exteriores como interiores. Los moldes pueden ser perdidos y perennes o duraderos. Los moldes perdidos se hacen con tierra o arena y se rompen al retirar la pieza una vez enfriada adecuadamente. En cambio los moldes duraderos permiten realizar un cierto número de coladas.

Los moldes perdidos se emplean especialmente para la obtención de piezas coladas de acero o de fundición de hierro así como también para la obtención de piezas de latón o bronce fundido.

Los moldes duraderos son, por lo general metálicos y se utilizan especialmente para el colado de piezas y aleaciones livianas.

La importancia que asumen las masas de moldeo dentro de el proceso general de la producción de piezas fundidas, puede concentrarse relacionando su influencia con los porcentajes de rechazos de piezas ocasionados por la mala calidad de las masas de moldeo, provocando por lo menos un 30% de los rechazos en piezas fundidas. Esta cifra puede reducirse a la mitad mediante la implantación de un adecuado control y elaboración de las masas de moldeo. Otro dato que da cuenta de la importancia que ejerce este rubro en la fundición, es que la mayor cantidad de material manipulado en una fundición, son las masas de moldeo en proporciones en peso de 5 a 25 veces

el peso del metal fundido.

Desde el punto de vista de su origen, las masas de moldeo se clasifican en naturales y sintéticas.

Las masas de moldeo naturales son aquellas tal como se les encuentra al estado natural, poseen propiedades que las hacen aptas para el moldeo y colado de las piezas. Esta amplitud proviene del hecho de poseer de por si y sin intervención alguna del hombre, cantidades convenientes de arcilla y materias orgánicas, más o menos bien distribuidas que les confieren características de plasticidad. Estas masas de moldeo pueden contener cantidades variables de arcilla entre el 3 y 20%. La cantidad y calidad de la arcilla que contienen, disminuyen la refractariedad de la masa de moldeo y por otra parte necesitan una masa mayor de agua para desarrollar el máximo de sus características mecánicas (5 al 8%). Estos factores unidos a su menor permeabilidad hacen que estas tierras sean desplazadas paulatinamente por las tierras sintéticas. A pesar de esto, y debido a sus características de retener por mayor tiempo la humedad, la posibilidad del retoque de los moldes, su facilidad de moldeo y el mejor acabado superficial que confieren a las piezas coladas, permite que este tipo de tierra sea utilizado con ventajas, sobretodo en fundiciones pequeñas no mecanizadas en donde el equipo de preparación de arenas es limitado.

También son muy utilizadas por las fundiciones de metales no ferrosos debido a que trabajan a temperaturas de colado no muy altas y por lo tanto los problemas vinculados a la refractividad y baja permeabilidad no revistan una importancia crítica.

Las masas de moldeo sintéticas, son aquellas que se fabrican partiendo de las materias primas constitutivas de una masa de moldeo (arenas silicosas limpias sin arcilla, como aglomerante arcilla de calidad y otros agregados y, proporcionadas en tal forma de obtener las mejores características deseadas para un determinado fin. Por lo tanto es posible seleccionar el tamaño de grano adecuado, la cantidad de aglomerante se adiciona en porcentajes del 3 al 14%. De estos hechos se desprenden las ventajas que reportan las masas de moldeo sintéticas y que son:

- 1) Elección del tamaño del grano según el tipo de pieza a fabricar.
- 2) Mayor refractariedad obtenida mediante la elección adecuada de los elementos de adición de la arena de base.
- 3) Posibilidad de moldeo con humedades más bajas, permitiendo la obtención de piezas mejores en lo que respecta a problemas de sopladuras.
- 4) Mayor facilidad en la limpieza de piezas coladas, etc.

\*Como carbón marino, mogul, harina de madera, etc. dependiendo de las propiedades que se deseen obtener.

Como desventajas de las arenas sintéticas es necesario precisar en primer término que son necesarias instalaciones de preparación más costosas, que cuando se usan arenas naturales. El control permanente de la tierra se -- torna indispensable.

En conclusión se puede establecer que el uso de las masas naturales de -- moldeo, queda limitado para los talleres de baja producción, mientras que cuando comienza la mecanización de un taller de fundición es prácticamen-- te indispensable la utilización de las arenas sintéticas.

Las masas de moldeo naturales, cuerpos complejos que se hallan en gran -- cantidad en la naturaleza, están compuestas esencialmente por sílice, arcilla y diversas impurezas. (V).

### III ARENA DE MOLDEO Y SUS COMPONENTES.

#### III-1 DIFERENTES TIPOS DE ARENAS.

##### a) La sílice.

Las arenas se extraen generalmente de minas a cielo abierto en forma de -- capas superpuestas más o menos regulares. El fundidor debe conocer el yacim-- iento de donde proviene la arena para asegurarse de su calidad.

La sílice  $\text{SiO}_2$  se encuentra en la naturaleza en estado anhidra, cuarzo, -- calcedonia, cristales de roca y rocas silicosas o al estado hidratado -- Kieselgur y ópalo.

La sílice anhidra existe en 3 formas cristalinas, cada una de ellas pre-- senta variedades alotrópicas. (fig. 1).

El cuarzo con densidad\* de 2.65 estable hasta  $870^\circ\text{C}$ . La tridimita con den-- sidad de 2.26 estable entre  $870$  y  $1470^\circ\text{C}$  (punto de fusión). En una misma forma cristalina, el paso de una variedad a otra es instantáneo e irrever-- sible y se efectúa a una temperatura determinada.

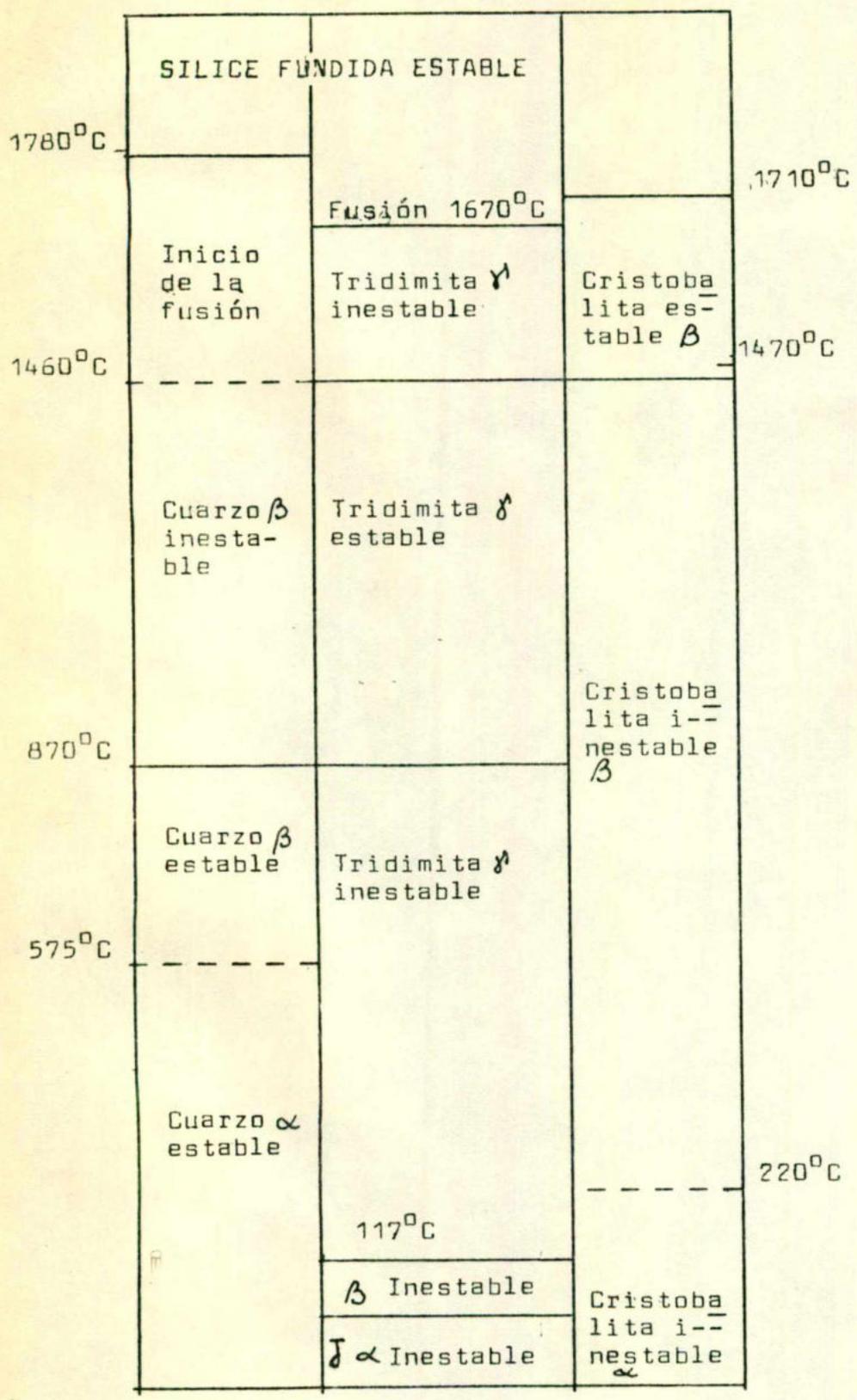
A  $573^\circ\text{C}$  el cuarzo alfa se transforma en cuarzo beta, esta se ve acompaña-- da por una dilatación del 4%.

Hacia  $220^\circ\text{C}$  la cristobalita alfa se transforma en cristobalita beta, esta transformación se acompaña de una expansión del 1.8%.

La sílice es inerte a varios agentes químicos salvo el ácido fluorhídri-- co que la ataca fuertemente. A alta temperatura reacciona con los óxidos básicos dando silicatos ácidos más o menos fusibles.

La arena de sílice está definida por sus características físicas, la for-- ma de los granos, el índice de finura y la repartición de estos granos.

\* En todos los casos la densidad será expresada en gramos por centímetro cúbico.



Transformaciones lentas, no son reversibles.

Transformaciones rápidas, son reversibles.

Fig. 1.- Formas cristalinas de la sílice anhidra. (III).

Para un mismo índice de finura se encuentran granos de diversas formas; - angulares, sub-angulares, cavernosos, y aglomerados de granos más pequeños.

La sílice tiene poca conductividad térmica, su dilatación importante da una acritud a ser mojada por el metal, los defectos resultantes son las - colas de rata, costras y penetración.

b) La olivina.

Roca natural constituida por una solución sólida de fayalita  $\text{FeSiO}_4$  en la forsterita (ortosilicato de magnesio)  $\text{MgSiO}_4$ .

El contenido de fayalita es variable y condicionada su refractariedad. Convenientemente triturada, la olivina provee un material utilizado como - arena de moldeo.

c) Circón.

Silicato natural de circonio  $\text{ZrSiO}_4$  conteniendo del 61 al 67% de  $\text{ZrO}_2$  y 33 a 35% de  $\text{SiO}_2$ . Por efecto de calor se disocia a  $1800^\circ\text{C}$  y a  $2000^\circ\text{C}$  la - volatilización de la sílice es importante, lo que limita su empleo como - refractario. Tiene una conductividad térmica superior a la sílice.

En general se aglomera con la bentonita y, debido a su índice de finura - de 120 a 140\* da piezas de buen aspecto sin costras ni rugosidades. Por - su elevado precio se reserva a los aceros especiales y al procedimiento - de la cera perdida.

\* Para tener una idea de que diámetro de partícula le corresponde estos - valores, en la tabla 6 (fig. 6) se puede ver la relación.

d) Carbono.

Se trata de un coque de petróleo\*\* triturado finamente. El metal penetra muy poco en este material, pero casi no se emplea por ser muy frágil.

\*\* Producto obtenido después de la destilación de las gasolinas no se usa en México por su alto contenido en S. (aproximadamente 6%) (XII).

e) Chamota (silicato de aluminio).

Es un producto obtenido por cocimiento durante 4 a 6 días a más de  $500^\circ\text{C}$ , ladrillo obtenido aglomerando 65% de sílice y 35% de alúmina con un poco de agua. Después del cocimiento los ladrillos así obtenidos se trituran y tamizan.

f) Mulita.

Silicato de aluminio  $2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ , funde a  $1810^\circ\text{C}$ , Constituyente refractario muy rígido y resistente en caliente, forma final de la transformación a alta temperatura de los productos arcillosos. Se presenta en una forma cristalizada en agujas y forma con la sílice un eutéctico con 94.5% de sílice que funde a  $1595^\circ\text{C}$ .

Por su costo elevado se limita su empleo para aceros especiales y al procedimiento de la cera perdida.

g) Cromita.

Se trata de un mineral de cromo, transformado por adición de  $\text{MgO}$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Inicialmente tiene la composición  $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$  conteniendo aproximadamente 68% de cromo. Para obtener un producto refractario resistente a  $2000^\circ\text{C}$ , se modifica su composición quedando  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Se caracteriza por su inercia química a alta temperatura. La magnesita -- calcinada le permite amortiguar la sensibilidad a los choques térmicos. Se utiliza únicamente en aceros especiales y en ladrillos refractarios debido a su alto costo. (III).

### III-2 ARCILLAS.

Las arcillas están constituidas por silicatos de aluminio hidratados, son minerales caracterizados por tener una estructura en hojuelas. Es esta estructura, unida a su gran finura y a la facultad de absorber ciertos líquidos como el agua lo que le da sus propiedades de plasticidad.

Una arcilla está constituida por apilamientos de hojuelas elementales débidamente unidos entre sí, y la forma en como se hace este apilamiento -- varía de una arcilla a otra.

Cuando se añade agua a ciertas arcillas se comprueba que la distancia que separa a 2 hojuelas sucesivas, o más exactamente 2 conjuntos sucesivos de hojuelas, es mayor. A la inversa, si se pone esta arcilla en una atmósfera seca o se calienta a una temperatura moderada, pierde el agua y los paquetes de hojuelas tienden a acercarse. Este fenómeno es reversible mientras la arcilla no se someta a un calentamiento muy intenso.

La penetración de las moléculas de agua entre las hojuelas de arcilla se hace posible debido a que los enlaces entre las hojuelas son muy débiles. En consecuencia, mientras más débiles sean los enlaces, el agua penetra más fácilmente, por ejemplo esta hidratación es más importante en las montmorillonitas que en las caolinitas, donde las hojuelas están unidas más energicamente.

El valor de la separación interfoliar, la proporción de hojuelas separadas por una o varias capas de agua, así como el número de capas de moléculas

La tercera desventaja son las partículas tan pequeñas (hasta de un micrón) que representan un riesgo de enfermedades pulmonares.

a) Distribución de los granos.- Cuando se hace pasar la arena por una serie de mallas (desde la No. 6 hasta la No. 270) una cierta cantidad será retenida en alguna de ellas. Si esta cantidad representa el 10% o más en cada una, a la arena se le denomina arena de 3 o 4 mallas.

La fracción retenida en mallas sucesivas con más del 10% se llama masa y de be contener alrededor del 90% del total de la arena. Una arena cuya masa es té retenida solo en una o dos mallas no deberá usarse en fundición, ya que la uniformidad del tamaño de grano no permitirá un buen acomodamiento, lo que dará por resultado alta expansión, baja densidad y alta permeabilidad - que a su vez darán efectos tales como costras, darts, penetración, excesivo movimiento de las paredes del molde etc. Una arena de 5 o más mallas dará una baja permeabilidad y una fluidez pobre. Una arena de 4 mallas es la más estable para propósitos de moldeo ya que los diferentes tamaños de grano permiten un acomodamiento mejor y tienen más libertad para expandirse ba jo la acción del calor. Lo mismo se puede esperar aunque en menor grado de una arena de 3 mallas.

La parte que contiene los granos más gruesos se llama fracción gruesa, y el total retenido debe estar alrededor del 5%. Esta fracción es importantísi--  
ma, ya que es la que le da la estabilidad a la arena. Los granos gruesos en una arena son como los cimientos de un edificio. Alrededor de ellos se aglo  
meran los granos más finos, que por ser de diferentes tamaños forman colo--  
nias de gran estabilidad. Si la cantidad de granos gruesos excede el 5% y -  
si son demasiados gruesos y fuera de un orden creciente, la expansión de el  
resto de la masa de granos durante el vaciado hará que se salgan de su lu--  
gar, sobretodo en las partes superiores del molde sujetas a la radiación --  
del metal, provocando lo que se llama lluvia de arena.

La parte donde están concentrados los granos más finos se le llama fracción fina y debe estar también alrededor del 5%. Una mayor cantidad de finos reducirá notablemente la permeabilidad, mientras que una mayor la elevará rápidamente, pero en detrimento del acabado superficial. Todos nos hemos topa  
do con la dificultad de aumentar la permeabilidad agregando cantidades de  
arena; mientras que por otro lado es facilísimo lograr el aumento quitando  
finos al sistema.

La cantidad de arena retenida en cada malla en un análisis granulométrico,--  
después de que la muestra ha sido lavada, debe ir en orden creciente hasta  
llegar a una máxima concentración en una malla, determinada por la finura -  
de la arena y luego disminuir el orden creciente también hasta llegar al --  
plato y malla más fina. Una arena de la que pueden esperarse los mejores re  
sultados dará al graficarse las mallas y los porcentajes retenidos en cada  
una, una letra "A" lo mejor posible. El fundidor por medio de adiciones nue  
vas a un sistema debe buscar siempre ese resultado.

La adición controlada y constante de arena nueva a un sistema es la mejor manera de obtener los máximos resultados de él, pero es necesario que esta adición no se suspenda nunca, molde tras molde. Antes de llegar a los vibradores debe llevar una cantidad de arena nueva predeterminada depositada en la parte superior. Hacer la distribución antes de los vibradores ayuda a tener mejor distribución. Reponer la arena que se va adherida a las piezas, mantener el nivel de almacenamiento de las tolvas siempre iguales, mantener las propiedades físicas de la arena semejantes, mantener siempre la misma granulometría y diluir la arcilla quemada y los finos, son la finalidad de las adiciones de arena nueva. Es además, uno de los medios más económicos de reducir los rechazos.

La adición de arena nueva debe estar entre el 10 y el 15% del metal vaciado. (VI).

#### IV-3 BENTONITA.

El aglutinante más usado para la arena de moldeo es la bentonita, que puede ser del tipo sódico o cálcico, dependiendo del ión predominante en ellas. Algunas fundiciones usan solamente bentonita sódica, otras sólo cálcica y otras usan diferentes combinaciones de ambas, dependiendo de las propiedades que se deseen obtener en las mezclas ya preparadas. La forma más sencilla de distinguir un tipo de bentonita, es a través de la prueba de hinchamiento de agua. Depositando un gramo de bentonita en 10 c.c. de agua, una buena bentonita sódica en corto tiempo absorberá toda el agua formando una masa gelatinosa; mientras que la bentonita cálcica sólo se hinchará ligeramente.

La bentonita sódica, da una moderada resistencia en verde, buena deformación también en verde, pero la resistencia y la deformación en caliente son altas. Su fluidez o facilidad de moldeo es baja.

La bentonita cálcica da mayor resistencia en verde, mejor fluidez, pero la deformación en verde, la resistencia y la deformación en caliente son bajas. La selección del tipo de bentonita estará basada en estas características, debe tenerse en cuenta que la durabilidad de la bentonita sódica es mayor.

La cantidad de humedad en la que la bentonita desarrolla su máxima resistencia está más o menos entre el 27 y el 30%. Con cantidades mayores la bentonita quedará muy plástica y aunque los granos estén bien cubiertos, la fuerza de moldeo romperá la partícula de bentonita empujando partículas entre los huecos, quedando resultados similares a cuando haya una menor cantidad de humedad, ya que en este caso la bentonita no desarrolla suficiente plasticidad para cubrir bien los granos de arena y al aplicar la fuerza de compresión para el molde, partículas de aquellas son depositadas entre los huecos dejados por los granos. Esto hará que la resistencia este por abajo del valor que pudiera esperarse, que se reduzca la --

permeabilidad y, al tener los granos en contacto uno con otro, se obtendrán defectos de expansión.

Ya se ha dicho que la bentonita al ser calentada por el metal se contrae -- al evaporar el agua absorbida, mientras que la arena se expande. Es por esto que para evitar problemas de expansión o de movimiento de las paredes -- del molde, es necesario que los granos de arena estén bien cubiertos por -- una película de bentonita ó que cuando menos exista algo de ésta entre los puntos de contacto y que el contenido de humedad sea el correcto; así, bajo la acción del calor, mientras la arena se expande, la bentonita se contrae neutralizándose mutuamente. El punto óptimo del contenido de humedad para -- cualquier nivel de bentonita puede ser encontrado por la prueba de compactabilidad, que es una prueba rápida y sencilla. Cuando ésta esté en el 45%\*el contenido de humedad es el óptimo.

Lo anterior se aplica solamente a arenas de careo (es decir, arena nueva + carbón marino + aditivo que se queme a baja temperatura + humedad). Cuando se trata de arena de reuso (es decir, arena usada + arena nueva + carbón marino + aditivo que se queme a baja temperatura + humedad) el porcentaje de una pueba de lavado de arcilla total deberá estar entre el 8 y el 12%, pu-- diéndose controlar esto con adiciones de bentonita, arena nueva, y las pruebas de humedad, resistencia a la compresión en verde y compactabilidad.

Nuevamente el punto óptimo de humedad se habrá alcanzado cuando la compactabilidad esté en el 45%. Un valor menor indicará falta de humedad y viceversa.

El porcentaje de bentonita puede controlarse rutinariamente por la prueba -- de resistencia en verde. Si se desea que esté por ejemplo en 14 libras por pulgada cuadrada, las adiciones deberán ser suficientes para alcanzar este valor. Existen unas gráficas en las cuales, usando el porcentaje de humedad, la compresión en verde y la compactabilidad, se obtiene la arcilla disponible en el sistema y la arcilla que realmente está trabajando. Estas gráfi-- cas son muy interesantes, por que a parte de poder controlar a través de -- ellas las adiciones de bentonita, también se pueden estar verificando las -- eficiencias del mezclado. (XIII). Esto se hace dividiendo el porcentaje de arcilla disponible por el de arcilla que trabaja y multiplicandolo el resultado por 100. Se logra la máxima eficiencia cuando el resultado es 50 si es menor hay que dar mayor tiempo de mezclado o bien revisar los arados y las muelas del mezclador en busca de desgaste. Aunque estas pruebas son muy buenas y dan magníficos resultados, las pruebas para determinar el contenido de arcilla total no deben descartarse. (XIII).

\*Este factor fue encontrado en Europa y es meramente experimental ya que no tiene bases teóricas, pero se ha visto que en este porcentaje de compactabilidad, la permeabilidad tiene su valor máximo y el peso específico de la arena tiene su mejor valor para el moldeo.

Cualquiera que sea el valor que se escoga para la resistencia en verde, las adiciones de bentonita en un sistema variarán entre el 1.5 y el 2% del metal vaciado. Nuevamente, es muy importante conocer el peso de las piezas -- que se estén vaciando para hacer las adiciones correctas, y éstas deberán -- hacerse y variarse de acuerdo con las piezas que están programadas. Aún las fundiciones chicas, que preparan su arena a mano, deben agregar encima de -- cada molde, antes de sacar las piezas vaciadas, la cantidad de bentonita -- adecuada para mantener las propiedades semejantes. (VI).

Influencia de la bentonita en algunas propiedades mecánicas de las arenas -- de moldeo en verde.

- a) Cohesión: La cohesión de la arena es proporcional al cuadrado del contenido de arcilla, pero para alcanzar el máximo de cohesión se requiere -- más humedad mientras mayor es el contenido de arcilla.
- b) Humedad óptima: La permeabilidad tiende a disminuir al aumentar el contenido de bentonita y requiere más humedad para desarrollar el máximo, el peso específico a granel aumenta a una humedad constante o debe aumentar se ésta para mantenerlo constante; igualmente, para mantener la compresibilidad en 45% se requiere una humedad mayor.
- c) Defectos por dilatación: La bentonita se contrae cuando se calienta; así al aumentar el contenido de bentonita disminuye el esfuerzo de dilata---ción, por otra parte, a mayor contenido de bentonita se tiene más cohe---sión y en consecuencia un valor más alto de la resistencia al estado saturado del agua y desde luego, un tiempo mayor de aparición de defectos.
- d) Usos: Si bien, un contenido alto de bentonita aumenta el tiempo crítico de aparición de defectos, la proporción elevada traerá consigo una hume---dad más alta, menor permeabilidad y refractariedad y menor duración de la arena, lo recomendable será usar la mínima cantidad de bentonita para tener piezas sin defectos por deformación del molde y adicionar mogul\*, o hacer una comparación económica entre menos mogul y más bentonita.

#### IV-4 CARBON MARINO.

La función del carbón marino es proveer a la cavidad del molde de una atmósfera reductora y a la vez formar una película protectora entre las superficies del molde y el metal para evitar la penetración, mejorar el acabado y facilitar la limpieza de las piezas. Desde este punto de vista, la selección -- del carbón marino deberá basarse principalmente en el contenido de materia -- volátil. Naturalmente que no se debe dejar pasar por alto el contenido de --

\*El mogul es un almidón pregelatinizado (cadena de glucosas de peso molecular muy elevado), y se usa para aumentar la permeabilidad al disolverse en agua, estabilizar la humedad y evitar defectos de dilatación. (XIII).

carbón fijo y el azufre que deben ser lo más bajo posibles.

Al entrar el primer metal a la cavidad y calentar las paredes del molde, se comienza a desprender la materia volátil, y se adhiere a todas las superficies de la cavidad en forma de hollín. Al llenarse completamente el molde, y bajo la acción de la alta temperatura del metal, el hollín se licúa formando un alquitrán que se deposita en los huecos formados entre grano y grano dejando una superficie tersa que mejora el acabado.

Ya en la arena, un contenido de materia volátil entre el 1-3% es suficiente para controlar la penetración, mejorar el acabado y facilitar la limpieza ---za. (VI).

El carbón marino es un carbón coquizable que se emplea básicamente para generar una atmósfera reductora dentro del molde, producir un depósito de carbón brillante sobre las paredes del molde y mantener la resistencia en caliente.

Influencia del carbón marino en algunas propiedades mecánicas de las arenas de moldeo en verde.

- a) Cohesión: Como todos los finos, la adición de carbón marino aumentará la cohesión, lo que podría permitir una disminución en el consumo de bentonita.
- b) Humedad óptima: Como todos los finos, la humedad se requerirá mayor para alcanzar el valor máximo de permeabilidad, el peso específico a granel aumenta y la compresibilidad baja. Con la misma humedad, y para mantener los valores óptimos, deberá bajarse el consumo de carbón marino. (VII).

#### IV-5 HARINA DE MADERA.

Debido a que la harina de madera tiene una gran cantidad de materia volátil ayuda a facilitar la limpieza de las piezas. Sin embargo, adiciones exageradas hacen que el acabado sea contrario y afecte el acabado superficial. Este material al quemarse a baja temperatura deja espacios vacíos para que -- los granos de arena puedan dilatarse con gran libertad sin romper la uniformidad del molde. (VI).

Existen maderas duras y suaves, siendo preferibles las duras por que así no influyen sobre la permeabilidad y las otras propiedades las modifica ligeramente. Sin embargo en México solo se consiguen harinas de madera suaves.

Influencia en la harina de madera en algunas propiedades mecánicas de las -- arenas de moldeo en verde.

- a) Cohesión: Tiende a aumentar la cohesión en verde pero no en seco, por lo que no puede suprimirse parte de la bentonita.

- b) Humedad óptima: Baja la permeabilidad y requiere más humedad pues absorbe agua y se esponja; el peso específico a granel aumenta a la misma humedad, pero la arena se siente más seca, la compresibilidad disminuye a la misma humedad.
- c) Defectos por dilatación: Su efecto se manifiesta por una baja en el esfuerzo de dilatación y ligeramente a la resistencia al estado saturado en agua.
- d) Usos: Deberá emplearse en contenidos más bajos del 3%, ya que su influencia sobre los defectos por dilatación es muy notoria y además perjudica el resto de las propiedades en verde y requiere una humedad mayor. (VIII).

#### IV-6 PIROFOSFATO DE SODIO.

El pirofosfato de sodio es un dispersante y activador de la bentonita, se consigue con él mejor recubrimiento de los granos de arena y una mejor expansión de la bentonita.

Influencia del pirofosfato de sodio en algunas propiedades mecánicas de las arenas de moldeo en verde.

- a) Cohesión: Como consecuencia de un mejoramiento en el recubrimiento de los granos de arena, la cohesión aumenta.
- b) Humedad óptima: Como consecuencia de la expansión y del mejor recubrimiento de los granos de arena, la permeabilidad disminuye ligeramente requiriéndose una humedad un poco menor. La compresibilidad y peso específico a granel no son afectados considerablemente.
- c) Defectos por dilatación: Al ser mayor la expansión de la bentonita en verde, será también mayor la contracción en caliente, disminuyendo el esfuerzo de dilatación, además la resistencia o cohesión al estado saturado del agua es mayor, esto provoca un aumento en el tiempo de aparición de defectos.
- d) Usos: Se puede emplear en proporción de 0.5 a 1.5% del contenido de bentonita, su empleo permite reducir las proporciones de bentonita y aditivos para evitar los defectos por dilatación. (VII).

#### IV-7 HARINA DE SILICE.

La harina de sílice es cuarzo molido, empleándose en fundición generalmente a 200 mallas, se utiliza con el fin de obtener una superficie más tersa en el acabado.

Influencia de la harina de sílice en algunas propiedades mecánicas de las arenas de moldeo en verde.

- a) Cohesión: Como todos los finos, la harina de sílice aumenta la cohesión.
- b) Humedad óptima: La permeabilidad se ve disminuída considerablemente debido a que taponan los poros, el peso específico a granel aumenta, debido a que los poros son llenados por la harina de sílice, para mantenerlo se requiere más humedad, la compresibilidad disminuye con el contenido de harina de sílice y para mantenerla en un 45% se requiere una humedad mayor.
- c) Defectos por dilatación: El calentamiento es más brusco debido a que el grano más pequeño se calienta más rápido.
- d) Usos: Se emplea básicamente para obtener un acabado más terso en las piezas, pero es preferible utilizar una arena más fina que permita controlar mejor la permeabilidad. (VII).

#### IV-8 OXIDO FERRICO.

Es hematita o mineral de hierro y se utiliza para obtener superficies más tersas y evitar defectos por penetración.

Influencia del óxido férrico en algunas propiedades mecánicas de las arenas de moldeo en verde.

- a) Cohesión: Por ser un material fino, la cohesión aumenta pudiendo disminuir el contenido de bentonita.
- b) Humedad óptima: La permeabilidad se ve disminuída por el polvo que taponan los poros, se requiere una humedad mayor para obtener sus propiedades óptimas.
- c) Defectos por dilatación: Como consecuencia del bajo punto de fusión del óxido férrico, al calentarse disminuye el esfuerzo de dilatación, pero también disminuye el esfuerzo al estado saturado del agua por lo que su efecto no es apreciable sobre el tiempo de aparición de defectos.
- d) Usos: Se emplea en contenidos del 3 al 5% para evitar defectos por penetración y para obtener piezas más tersas. Como todos los aditivos debe emplearse en la cantidad mínima necesaria y por ningún motivo mezclarlo con algún reductor como carbón marino, mogul, harina de madera, etc... (VII).

#### IV-9 HUMEDAD.

Se ha dejado para el final el tema de la humedad, ya que siendo el material más económico de todos los que se agregan a una mezcla de arena para moldeo, resultará ser el más caro de todos por los rechazos que suele producir cuando se usa sin control. Es imprescindible que cada fundidor una vez establecido el rango en el que se va a trabajar, vigile constantemente que se está cumpliendo.

Cuando el moldeo palpa la arena y siente que ha perdido cuerpo o moldeabilidad, avisa al encargado del mezclador para que aumente la cantidad de agua. Es aquí donde se pierde todo el control sobre la humedad. Para evitar esto, es necesario mantener siempre constante el resto de las adiciones. De esta manera el requerimiento de humedad será siempre el mismo. Si el contenido de la arcilla de la arena aumenta, tendrá que aumentarse la humedad para tener el cuerpo adecuado para el moldeo. Lo mismo sucede si por falta de adiciones de arena nueva aumenta la arcilla.

Es de gran utilidad que se lave una muestra de arena una o dos veces por semana para poder controlar y conocer el contenido total de arcilla, y así mediante gráficas, determinar la arcilla disponible. Si estos valores se mantienen siempre constantes los requerimientos de agua serán siempre iguales. Es necesario repetir que el porcentaje de agua es el correcto cuando la prueba de compactabilidad indique el 45%.

El agua en exceso produce defectos como sopladuras, porosidad, penetración, rechupes, etc... Al convertirse en vapor de agua aumenta enormemente el volumen y si ese vapor no es desalojado rápidamente será atrapado por el metal en forma de burbujas o ampollas.

Cuando la relación hierro-arena es menor de 1:5 se tendrán problemas de arena caliente y será necesario usar una mayor cantidad de agua para mantener las propiedades constantes, dando por resultado todos los defectos achacados a alta humedad.

En un molde cerrado, formado con arena caliente, la humedad por efecto del aire presente en la cavidad que formará la pieza, se condensará en pequeñas gotas de agua que al contacto con el metal en caliente serán atrapadas en forma de burbujas. Cuando la arena de moldeo se utiliza para producir piezas con corazones, y sobre todo si estos están más fríos que la arena de moldeo, la condensación será mucho mayor por la diferencia de temperatura.

Para evitar que la arena se caliente más de lo normal la capacidad de las tolvas de almacenamiento debe estar por lo menos en una relación de 5:1 con el metal vaciado en un turno. Si en un turno se vacía 30 toneladas de metal, la arena disponible en el sistema debe ser 150 toneladas.

Influencia del agua en algunas propiedades mecánicas de las arenas de moldeo en verde.

- a) Cohesión: Como se sabe, la cohesión al igual que la permeabilidad aumentan con el contenido de humedad hasta alcanzar un máximo a partir del cual comienza a descender al seguirse incrementando la humedad.
- b) Defectos por dilatación de las arenas: Después del punto máximo de cohesión, al aumentar la humedad, la cohesión irá disminuyendo y la resistencia al estado saturado del agua será menor también. Deberá trabajarse con

humedad óptima de la arena para obtener propiedades óptimas en verde y tener un tiempo de aparición de defectos aceptable. (VIII).

#### IV-10 RESUMEN.

Para tener una buena arena de moldeo y sobretodo ejercer un control sobre ella deberán tenerse los siguientes elementos:

- a) Una distribución adecuada de granos.
- b) Adicionar controlada y constantemente arena nueva. Esto hará que se pueda mantener siempre la misma distribución de granos.
- c) Un porcentaje de arcilla entre el 8 y 12%. Una arena con la arcilla en este rango requerirá una cantidad mínima de agua para desarrollar un -- cuerpo adecuado y todas las propiedades estarán en su punto óptimo.
- d) Un control estricto en la humedad. Aquí es donde debe concentrarse la -- mayor atención de todo fundidor, ya que la humedad fuera de control par -- ten la mayor parte de los problemas que causan los defectos de las piezas. (VI).

## V. PROPIEDADES DE UTILIZACION DE LAS MASAS DE MOLDEO.

### V-1 PERMEABILIDAD.

Se define como permeabilidad la propiedad que tienen los moldes de arena mezclada de permitir pasar gas a través de ellos. Esta se determina por la velocidad de flujo de aire bajo una presión estándar a través de una probeta cilíndrica de arena AFS de 2x2 pulgadas. La calidad de los orificios de los moldes de arena influirán en la permeabilidad. Una mezcla de arena de gran permeabilidad tiene muy buena calidad de ventilación debido a su porosidad. El tamaño, forma y distribución de los granos de arena de fundición, el tipo de ligantes así como su cantidad, la densidad a la cual la arena es compactada y el porcentaje de humedad usado para su preparación, son factores importantes en la regulación de la permeabilidad.

Quizá sea deseable determinar la permeabilidad de una arena de fundición bajo alguna condición dada. Cinco de estas condiciones han sido establecidas y se definen como:

- 1.- Permeabilidad base. Es la permeabilidad de los granos de arena secos, -- compactados y que no tienen arcilla u otra sustancia ligante.
- 2.- Permeabilidad en verde. Es la permeabilidad del molde de arena en sus -- condiciones de humedad y temperatura.
- 3.- Permeabilidad en seco. Es la permeabilidad de la arena conteniendo arcilla AFS o materiales ligantes, los cuales han sido completamente secados a 105-110°C y enfriados en un desecador a la temperatura ambiente.
- 4.- Permeabilidad en cocido. Es la permeabilidad de la arena seca o llevada a una temperatura mayor de 110°C y enfriada a la temperatura ambiente.
- 5.- Permeabilidad del corazón. Es la propiedad física que permite que el gas pase a través de la mezcla de arena moldeada que ha sido curada por uno o la combinación de éstos métodos.
  - (a) Cocida a una temperatura superior a 110°C.
  - (b) Semi-curada, autoendurecida a una temperatura ambiente y seguida por un cocido a 110°C.
  - (c) Autocurada, endurecida completamente a temperatura ambiente.
  - (d) Alta frecuencia de curación (dieléctrica).
  - (e) Calentamiento con rayos infrarrojos.
  - (f) Endurecimiento con gas.

### CALCULOS:

La permeabilidad se expresa como el volumen de aire en centímetros cúbicos -- que pasará por minuto bajo una presión de un gramo por centímetro cuadrado.

a través de una muestra de un centímetro cuadrado de sección transversal -- y un centímetro de altura.

En la fórmula siguiente, la permeabilidad es numéricamente igual al producto del número de centímetros cúbicos pasados a través de la muestra y la -- altura de la misma en centímetros, dividida por el producto de la presión en gramos por centímetro cuadrado y el tiempo en minutos.

$$P = \frac{v \times h}{p \times a \times t}$$

P= Número de permeabilidad.

v= Volumen de aire que pasa a través de la muestra en centímetros cúbicos.

p= Presión del aire en gramos por centímetro cuadrado.

h= Altura de la muestra en centímetros.

a= Area de la sección transversal de la muestra en centímetros cuadrados.

t= Tiempo en minutos.

Deberá hacerse una pequeña corrección debido a los cambios en la temperatura y la presión barométrica. (IX).

La permeabilidad depende de:

- Tamaño y regularidad de los granos (Fig. 2).
- Cantidad y humedad de la arcilla (Fig. 3).
- Intensidad del apretado (Fig. 4).
- Refractariedad de la masa. Si la arcilla utilizada como aglutinante es de mala calidad refractaria o si existen impurezas que actúen como fundentes, producirá una vitrificación superficial que impedirá el paso del aire. (V).

#### V-2 RESISTENCIA A LA COMPRESION.

La resistencia a la compresión es la carga en Kg/cm<sup>2</sup> o lb/cm<sup>2</sup> que soporta la masa de moldeo antes de romperse.

La resistencia depende de:

- Porcentaje de humedad (Fig. 5).
- Contenido y tipo de arcilla (Fig. 5).
- Tamaño y forma de los granos. Cuanto menor es el tamaño del grano, y cuanto mayor es su irregularidad superficial, mayor será la resistencia mecánica.
- Grado de apretado (Fig. 4). (V).

#### V-3 DUREZA.

Las propiedades físicas de la arena, también son afectadas por la dureza, -- así como por su resistencia en verde, deformación, flexibilidad, permeabilidad, densidad, resistencia en caliente, expansión y contracción.

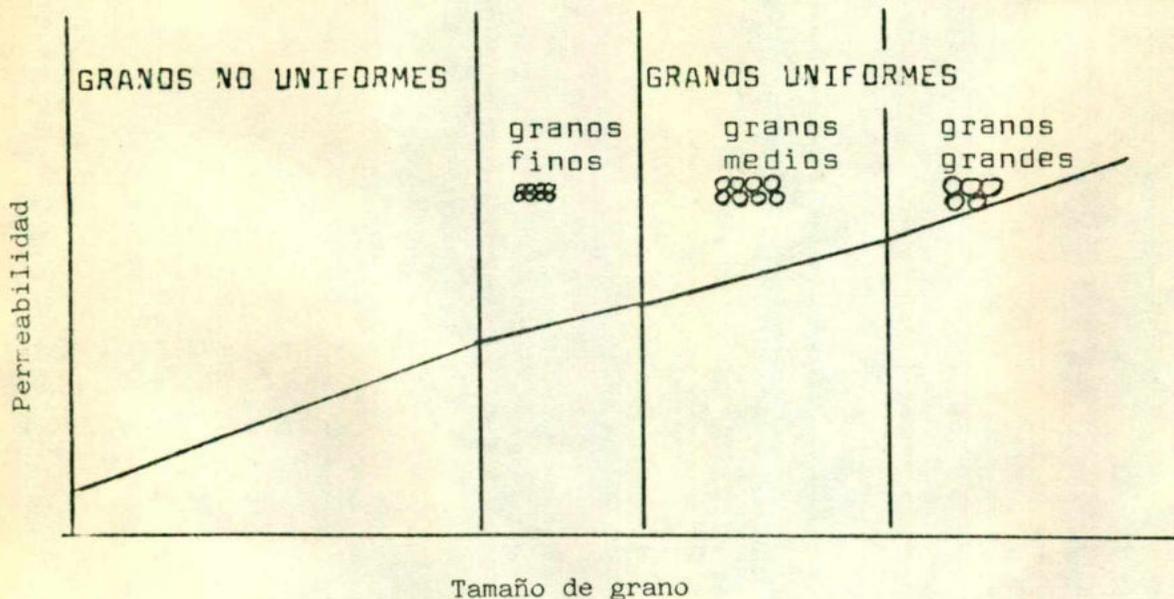


Fig. 2.- Influencia del tamaño de grano y la permeabilidad. (V).

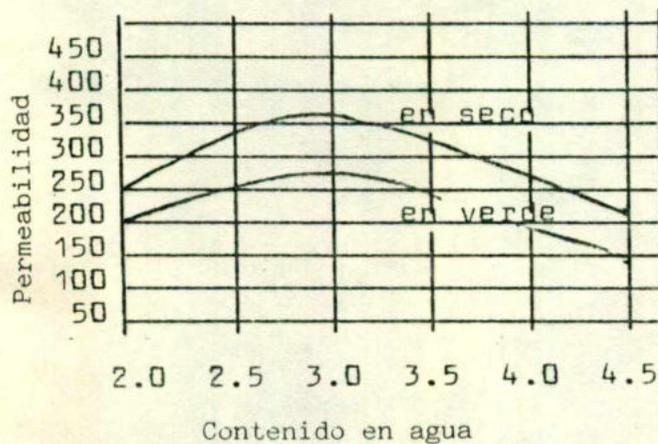


Fig. 3.- Permeabilidad de una arena aglomerada con bentonita en verde y en seco, en relación con el contenido de agua. (V).

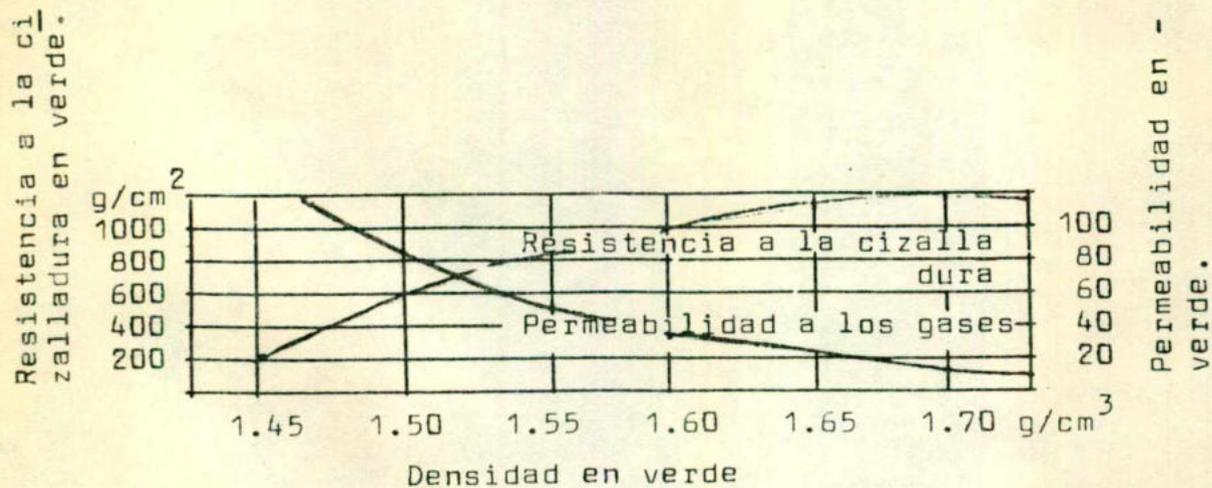


Fig. 4.- Influencia del grado de apretado sobre la resistencia y la permeabilidad de una arena de moldeo aglomerada con arcilla. (V).

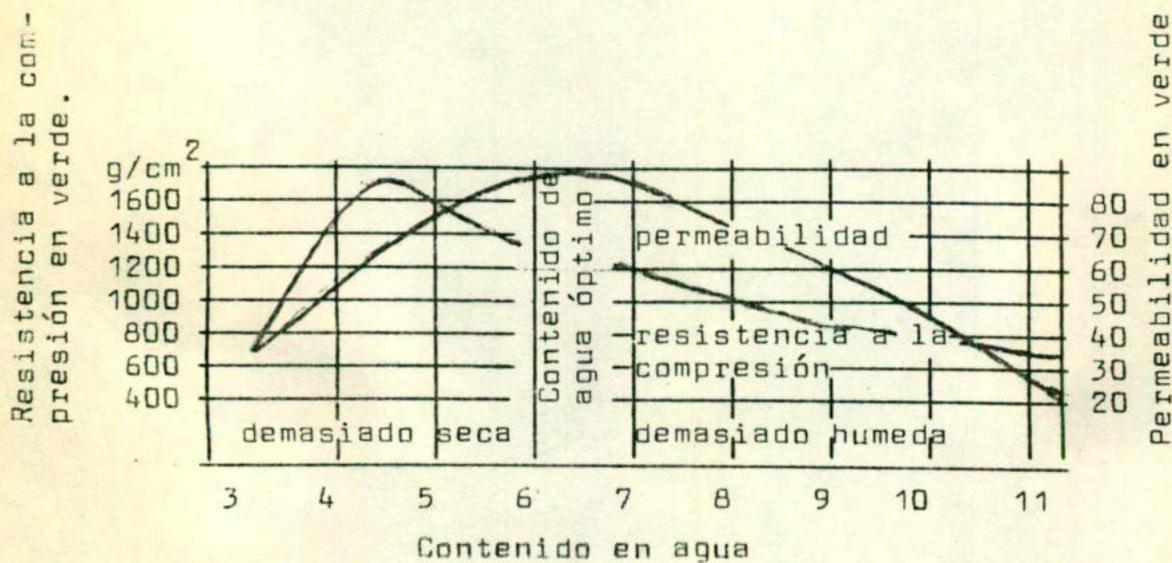


Fig. 5.- Influencia del contenido en agua sobre la resistencia en verde y la permeabilidad de las arenas aglomeradas como arcilla. Ejemplo: arena natural de moldeo. (V).

La dureza es la resistencia a la penetración de un cuerpo esférico y se mide en milésimas de pulgada que penetra una esfera de 1/2 pulgada de diámetro.

Los valores de dureza pueden variar de 20 a 85 unidades "B" que son las unidades conocidas comercialmente para medir la dureza del moldeo de arenas en verde. La dureza del molde depende principalmente del grado de apisonado. Y las unidades "B" no tienen ninguna relación con las usadas en el ensayo de dureza Brinell para metales y aleaciones.

Al incrementar en el molde la dureza, dará mayor exactitud en las dimensiones finales de la pieza, y se reducirá la penetración. Pero una excesiva dureza quizá cause grietas, hoyos y poros. La dureza del molde debe ser elegida de acuerdo a la arena, tipo de fundición y condición del metal.

La dureza en verde de una superficie se espera en el rango de:

	DUREZA "B"
muy suave	20-40
suave	40-50
dureza media	50-70
dura	70-85
muy dura	85-100

#### V-4 RESISTENCIA AL CORTE.

La resistencia al corte, es la carga en  $\text{Kg/cm}^2$  o  $\text{lb/in}^2$  que soporta la masa de moldeo antes de romperse. La diferencia de esta prueba con la resistencia a la compresión, es en las placas utilizadas para soportar la probeta, ya que en este caso las placas ejercen un esfuerzo cizallante debido a su forma. Como puede verse en la parte práctica de esta memoria.

Se usa el mismo aparato que el utilizado para el ensayo de resistencia a la compresión. La resistencia al corte, se ve afectada por los mismos factores enumerados en la resistencia a la compresión y de una manera similar (V).

#### V-5 DENSIDAD DEL MOLDE.

Es el peso de la unidad de volumen del molde (puede expresarse en  $\text{Kg/cm}^3$  o  $\text{lb/ft}^3$ ).

Esta propiedad esta relacionada con la dureza, la permeabilidad y la resistencia. En masas de moldeo similares, no iguales, alcanzan la máxima densidad a distintos grados de apisonado, según sea la cantidad y la calidad de los agregados, incluso, puede realizarse para una masa de moldeo un estudio que relacione estas cuatro propiedades, que será de gran importancia cuando se moldea mecánicamente, pues nos servirá para reducir a límites racionales y económicos el tiempo de apisonado.

Bastará fijar una de ellas, por ejemplo la dureza; encontrándose el punto de la máquina moldeadora que la reproduce y las tres propiedades restantes se ajustarán automáticamente a los valores escogidos. La experiencia enseña que el grado de apretado más favorable para el moldeo corresponde a una densidad de 1.5 a 1.7, para la fundición de hierro. (V).

#### V-6 FLUIDEZ.

Es la facilidad de los granos para moverse en cualquier dirección cuando se les somete a presión en un espacio confinado.

#### V-7 HUMEDAD.

Es el contenido porcentual de agua de la masa preparada para moldear que se evapora entre 105-110°C y hasta peso constante. Varía entre el 8% máximo para arenas naturales y el 3% mínimo para las sintéticas. El control se basa en los siguientes factores:

- a) A mayor humedad mayor riesgo de sopladuras y
- b) El poder aglutinante con el aumento de humedad, aumenta hasta cierto límite para comenzar a descender si se sigue aumentando la humedad hasta llegar a un mínimo.
- c) La fluidez disminuye a medida que aumenta la humedad hasta llegar a un mínimo, para comenzar a incrementarse si se sigue aumentando la humedad.

#### V-8 REFRACTARIEDAD.

Es la propiedad de soportar las altas temperaturas del metal sin fundirse, -- ablandarse o adherirse a la superficie de las piezas. La acción es compleja, existiendo fenómenos químicos-físicos-mecánicos; hay reacciones químicas entre el metal y el molde; hay una dilatación brusca del mismo, por el efecto del calor; hay una presión que tiende a destruirlo y a hacer más intenso el contacto con el metal; hay una "penetración" del metal líquido en los poros -- del molde; hay una "erosión" por efecto del lavado del líquido que destruye los aglutinantes y hay un "mojado" que afecta a alguno de los efectos enumerados. Para evitar el efecto de penetración, erosión, lavado, etc., se recurre al grafito para hacer un "pintado" en la fundición de hierro y cuarzo para el acero.

Para dar una idea numérica del punto de fusión de las arenas diremos que el cuarzo puro tiene un punto de fusión aproximado de 1740°C y una buena arena para acero se funde alrededor de los 1600°C (con aglutinantes, etc..) y se comienza a ablandar a los 1500°C. (V).

#### V-9 DEFORMACION.

Es la medida en milésimas de pulgada que deforma la probeta normal durante

el ensayo de compresión antes de su rotura y se puede medir en el mismo aparato con que se mide la resistencia a la compresión. La deformación oscila entre 0.008 y 0.025 pulgadas. Una deformación para moldear bien, y que no resulten piezas hinchadas es 0.015 pulgadas para arena en verde. Desde el punto de vista de la extacción del modelo, es interesante que soporte mucha deformación sin romper el molde, y, desde el punto de vista de las dimensiones de la pieza colocada es mejor que no se deforme nada. Compensando estos dos criterios se han determinado experimentales las cifras anotadas. (V).

#### V-10 EXPANSION TERMICA.

Es la propiedad de dilatarse bajo la acción del calor. Como la arena es mala conductora del calor, no lo transmite sino muy lentamente y solo se calienta la capa superficial del molde. Se produce una diferencia de dilatación que, cuando llega a ciertos límites, produce rajaduras y ampollas. La mejor manera de evitar la dilatación es agregando polvos o fibras vegetales.

#### V-11 COLAPSABILIDAD.

Es la propiedad que tienen las masas de moldeo, en mayor o menor proporción de disgregarse inmediatamente que el metal halla solidificado dentro del molde. Se produce una diferencia de dilatación, la cual debe ser evitada.

La colapsabilidad depende del aglutinante empleado; las arcillas en general son deficientes, y siempre que se requiere inferir colapsabilidad se incluyen aglutinantes orgánicos. En el caso de la arena en verde, la colapsabilidad juega un rol muy importante. (V).

### VI GRANULOMETRIA Y FORMA DE GRANO.

#### VI-1 GENERALIDADES.

El ensayo de granulometría da información sobre la distribución de los diferentes tamaños de grano presentes en la arena en cuestión, y la forma de operar es la siguiente:

Luego del lavado y del secado de la arena, se procede a la granulometría mediante el tamizado, en una serie de tamices generalmente normalizados por la AFS. Operando con determinada cantidad de muestra, se pesa la cantidad retenida en cada cedazo, pudiendo así establecer la distribución porcentual de los granos, los cuales se refieren a un diagrama.

La serie de cedazos más usados son los de AFS. Constituidos por 11 de ellos. Con los datos obtenidos por el análisis granulométrico es posible calcular un número convencional que pone en evidencia el predominio de la clase más numerosa de granos.

Este número se llama índice de finura de la arena, y está dado por la relación entre la suma de los productos del porcentaje retenidos en cada caso -- por un fijo y el porcentaje total de los gramos. (Este factor fijo no es más que el número de cedazo anterior salvo leves modificaciones). (Fig.6).

El índice de finura indica el número de malla del último cedazo por el cual pasarían todos los granos si tuvieran una distribución uniforme. Por otro lado, el análisis granulométrico nos determina la distribución de los granos -- según su tamaño.

En general, el índice de finura nos da una imagen aproximada del grado de rugosidad y penetración de las piezas lo cual es un factor muy importante.

La distribución de los granos, da en cambio, una imagen valiosa en cuanto al comportamiento de la arena durante el moldeo y a varias de sus otras propiedades. Por ello conviene representar gráficamente el resultado de la determinación efectuada según la figura % retenido contra # de cedazo.

Después de muchas experiencias se ha comprobado que la mejor distribución es la que posee 4 tamaños consecutivos de grano en cantidades superiores al 10% del total en cada una de ellas. Desde el punto de vista permeabilidad, sería ideal una arena con todos los granos del mismo tamaño puesto que en este caso habría el máximo porcentaje de poros para el paso de los gases. (III).

#### VI-2 ANALISIS GRANULOMETRICO EN ARENAS.

La granulometría de las arenas de fundición es primordial para la permeabilidad. Gravas de gran tamaño tienen entre ellas pequeños intersticios, mientras que de diferentes tamaños se intercalan entre ellas y no tienen permeabilidad, el análisis granulométrico y las gráficas dan un valor preciso a este control. Además se examinará la forma de los granos con un microscopio binocular. En la forma de los granos se encuentran granos redondos, ovalados, dentados, prismáticos, cavernosos y aglomerados de granos más pequeños. Por el aspecto se encuentran granos lisos, rugosos, agrietados. En general se admite que la mejor forma de la arena debe estar constituida teóricamente por granos redondos ligeramente rugosos.

Si se tienen granos de diferentes tamaños, habrá más puntos rugosos de contacto, pero la permeabilidad disminuye. O sea, que con granos de gran tamaño se tiene una gran permeabilidad pero baja resistencia y con granos de diferente tamaño baja la permeabilidad pero aumenta los puntos de contacto y por consiguiente la cohesión. Es necesario que 85%-90% sea retenido en 3 tamices sucesivos.

Por otra parte, mientras más fina sea la arena, aumenta la superficie de la arena, aumentando la superficie de los granos y disminuye su resistencia piros-cópica y, desde luego su permeabilidad, aunque se obtiene un acabado más terso en las piezas. (III).

REPORTE DE LABORATORIO.

ANALISIS GRANULOMETRICO.

FECHA \_\_\_\_\_

ARENA DEL SISTEMA.

Contenido de partículas menores de 20 $\mu$  (arcilla A.F.S.) 9.756 %

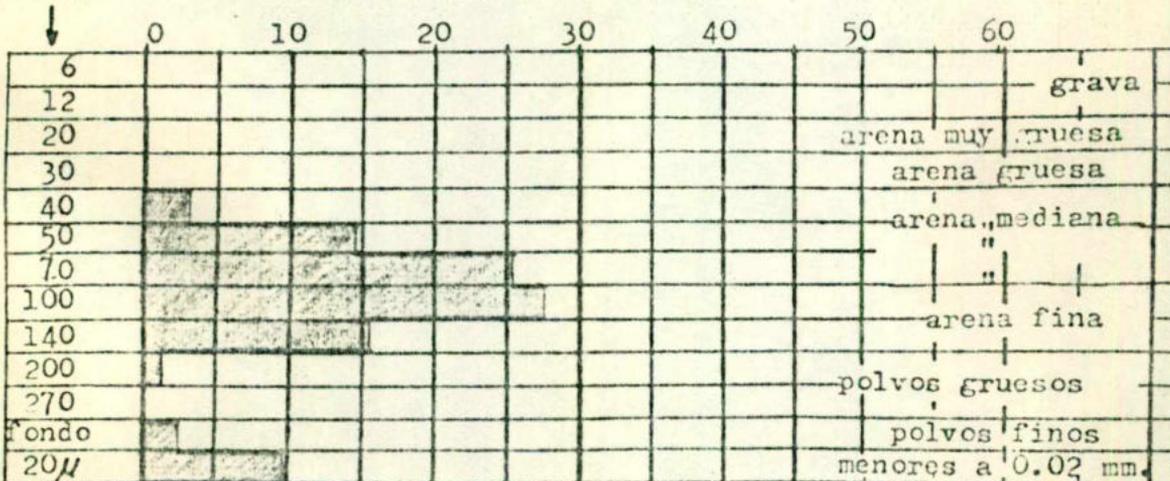
TAMIZ A.F.S.	ABERTURA mm.	RETENIDO gr.	RETENIDO %	FACTOR	PRODUCTO
6	3.360	-----	-----	3	
12	1.680	-----	-----	5	
20	0.840	0.079	0.158	10	1.58
30	0.590	0.130	0.260	20	5.20
40	0.420	1.551	3.102	30	93.06
50	0.297	7.363	14.726	40	589.04
70	0.210	12.568	25.136	50	1256.80
100	0.149	13.759	27.518	70	1926.26
140	0.105	7.614	15.228	100	1522.80
200	0.074	0.712	1.424	140	199.36
270	0.053	0.149	0.298	200	59.60
fondo	-	1.197	2.394	300	718.20
Totales	-	45.122	90.244	-	6371.90

Indice de finura 70.60 A.F.S.

Materia volátil \_\_\_\_\_ %

TAMIZ A.F.S.

RETENIDO %



Cenizas \_\_\_\_\_ %

Realizó: \_\_\_\_\_

Fig. 6.- Ejemplo de la esquematización de un análisis granulométrico.

## VI-3 MATERIAS IMPALPABLES.

Se comprende por materias impalpables las partículas menores de 20 micras -- (0.02 mm.) que se encuentran en las arenas, se les conoce también como arcilla AFS. Se componen de arcillas y en las arenas de explotación de una cantidad más o menos grande de polvo mineral no aglomerante, eventualmente también de otros productos de adición (carbón marino, ácido bórico, aglutinante de corazón, etc). El contenido de materias impalpables no da pues un valor verdadero del contenido de arcilla y del poder de cohesión, pero presenta -- una gran importancia para caracterizar una arena.

Por otra parte, es necesario determinar y eliminar el contenido de arcilla antes de efectuar el análisis granulométrico.

La determinación del contenido de materias impalpables se basa en el hecho de que las partículas de arena en suspensión en el agua se depositan más -- lentamente mientras más pequeñas son. Para partículas de 0.02 mm. el tiempo de caída en 10 cm. es de aproximadamente 5 minutos.

Pueden eliminarse también las materias impalpables haciendo pasar agua a -- contracorriente a través de la arena con una velocidad igual o ligeramente superior a la velocidad de sedimentación de estas partículas. (III).

## VII PARTE PRACTICA.

## VII- 1 OBJETIVO.

Es ampliamente conocido por el fundidor que la mezcla de arena-bentonita-agua en determinadas proporciones desarrolla propiedades óptimas para el moldeo.

El cúmulo de propiedades que desarrolla la mezcla y que alcanza un punto óptimo son las que definen en un lenguaje técnico el punto de temple o punto "temper"\*de la arena. Las propiedades más conocidas que indican la existencia de este punto son la resistencia al corte y la resistencia a la compresión que se miden en los aparatos convencionales. A distintos contenidos de bentonita, al variar el contenido de agua, la resistencia llega a un máximo (punto temper) a partir del cual empieza a decrecer.

Es intención de la parte práctica de esta memoria el encontrar el punto temper de la arena de moldeo en verde usada en el transcurso de la elaboración de este trabajo en el lugar donde laboro, además de darle una explicación a los resultados obtenidos en base a lo expuesto en la parte teórica de esta memoria.

Cabe hacer notar que algunas condiciones permanecieron constantes debido a que en el tiempo que tiene operando esta empresa, se ha visto que son ideales para trabajar, por lo que esta memoria trata de interpretar las propiedades mecánicas de la arena en base a la variación de la humedad, que como se vió, es la variable que más problemas puede ocasionar cuando se usa sin control.

\* La traducción al español de este punto óptimo o "temper" es motivo de -- controversia. (X)

## VII-2 CONDICIONES DE TRABAJO.

El presente trabajo muestra los resultados obtenidos en aproximadamente 4 meses que duró la recopilación de alrededor de 400 muestras a diferentes contenidos de humedad y bentonita cálcica y a diferentes temperaturas, quedando constantes así otras variables como:

Carga de arena de sistema al mezclador = 350 Kg.  
 Carbón marino 0.3 Kg/carga al mezclador  
 Mogul 0.2 Kg/carga al mezclador

Arcilla activa: Verificada diariamente durante la elaboración de este trabajo, habiéndose mantenido entre los límites de 6 a 7%.

Arcilla total: Comprobada 2 veces a la semana durante la elaboración de este trabajo, habiéndose mantenido entre los límites de 11.0 a 11.5%.

Materia volátil: Analizada diariamente durante la elaboración de este trabajo, habiéndose mantenido entre los límites de 6.1 a 6.7%.

Arena nueva 2.0 Kg/carga al mezclador

Tiempo de mezclado: Mantenido de 32 a 36 segundos.\*

Las determinaciones hechas a cada una de las muestras fueron:

Humedad  
 Resistencia al corte  
 Resistencia a la compresión  
 Permeabilidad en verde  
 Temperatura y  
 Dureza superficial como a continuación se describe.

\*El tiempo correcto de mezclado para lograr una mejor activación de la bentonita, hubiera sido de 45-50 segundos, pero debido a la capacidad del mezclador este tiempo hubiera ocasionado que las máquinas moldeadoras pararan frecuentemente por falta de arena de moldeo.

## VII-3 DIAGRAMA DE FLUJO.

Dado que la arena utilizada es vuelta a acondicionar para mejorar sus propiedades, es conveniente tener presente la serie de pasos que sigue, hasta llegar nuevamente al paso inicial.

Para fines de este trabajo se considera como etapa inicial de la arena --- cuando ésta sale del mezclador.

Al salir la arena del mezclador, ésta debe estar en condiciones óptimas para ser moldeada, la deficiencia de alguna de sus propiedades traerá consigo los problemas ya mencionados en la parte teórica de este trabajo.

Así, la arena pasa a las máquinas moldeadoras, para que a su vez los moldes pasen a la plataforma de vaciado. Cuando el conjunto molde-metal tuvo el tiempo adecuado de enfriamiento, éste pasa a la etapa de desmoldeo.

Cuando la arena ha sido separada del metal, es necesario enfriarla como se vió en la parte teórica de este trabajo, además de requerir pasarla por un sistema de extracción de finos para mejorar su permeabilidad. Así, la arena enfriada pasará a la tolva alimentadora del mezclador.

El mezclador es la parte más importante de este sistema, ya que en él debe acondicionarse la arena nuevamente. Por lo tanto, en el mezclador tendremos: La arena que viene del sistema más las adiciones de diferentes elementos tales como bentonita cálcica, mogul, carbón marino, agua y arena nueva en diferentes proporciones. (Fig. 7)

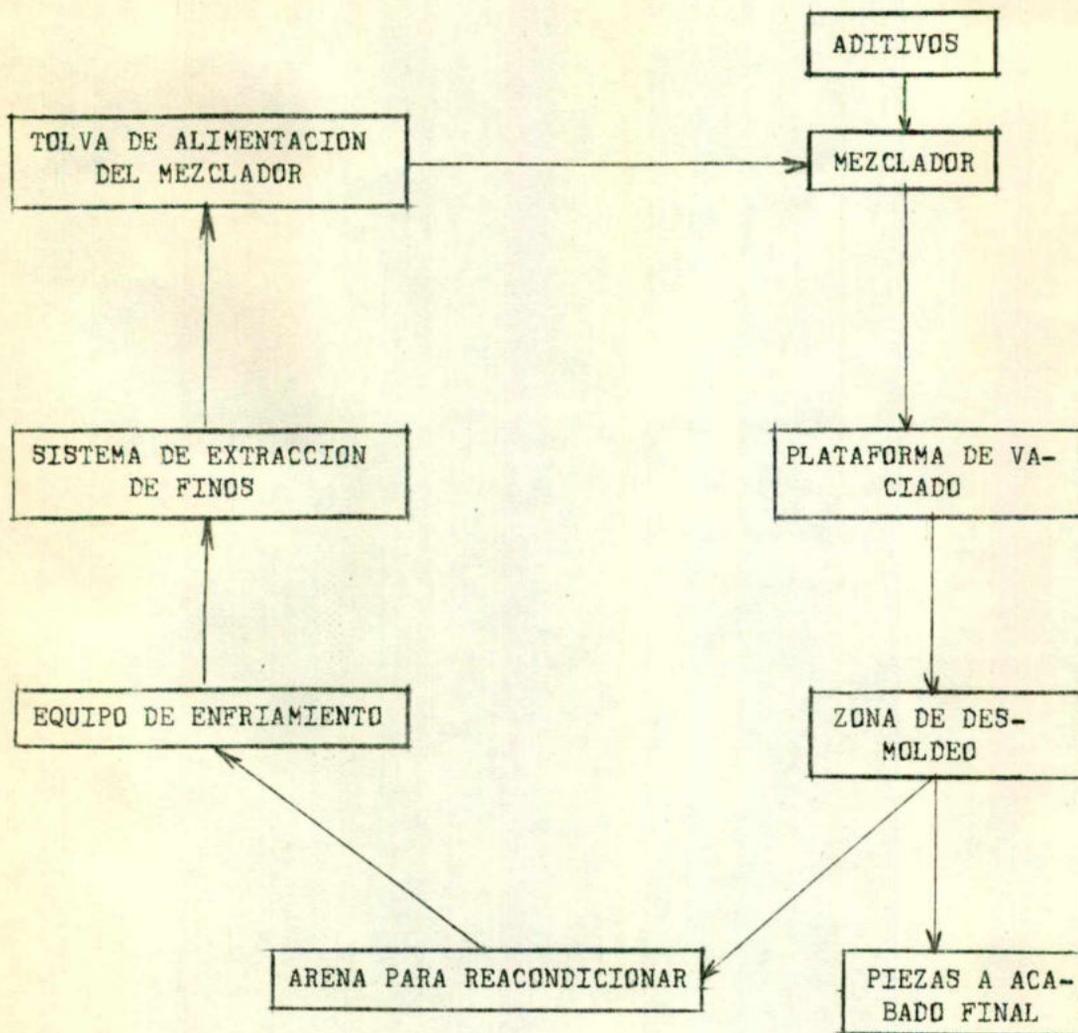


Fig. 7 Diagrama de flujo.

## VII-4 DETERMINACION DE LA HUMEDAD.

Determinación con estufa de laboratorio.- Pesar rápidamente al centígramo, cerce de 100 g. de muestra, colocarla en una cápsula seca y repartirla uniformemente.

Meter a la estufa a una temperatura de 105 a 110°C teniendo cuidado de no sobrepasar esta última temperatura, y finalmente, llevar a peso constante.

## Cálculo

Si se tiene:

P= peso de la muestra

P' = Peso de la muestra seca

El contenido de humedad será:

$$\text{Humedad \%} = \frac{P - P'}{P} \times 100 \quad (\text{III})$$

## VII-5 FORMA NORMALIZADA DE PREPARACION DE PROBETAS DE ENSAYO.

Los ensayos mecánicos corrientes que se efectúan sobre las masas de moldeo son el de resistencia a la compresión, resistencia al corte, permeabilidad y dureza.

Para que los ensayos sean comparativos se usa una probeta estándar normalizada por AFS, cuyas dimensiones son: 50.8 mm de altura 50.8 + 1.6 mm.

Para fabricar la probeta se procede de la siguiente forma: Se usa un aparato como el que se muestra en la figura 8, la masa batiente pesa 6350.29 g. el conjunto masa batiente y vástago pesa 7938 g., la altura de caída es de 50.8 mm.

Se coloca en el recipiente h de 150 a 175 g. de arena de moldeo y mediante un dispositivo adecuado se eleva la masa batiente, haciendo golpear a ésta 3 veces consecutivas sobre la arena de moldeo. Al tercer golpe la altura - del vástago debe quedar dentro de las tolerancias visibles en un cuadro -- convenientemente ubicado a ese fin.

Obtenida de esta manera la probeta se le utiliza para efectuar primeramente el ensayo de permeabilidad y a continuación y sobre la misma probeta el ensayo de compresión.

De la misma manera, se elabora otra probeta para efectuar el ensayo de resistencia al corte. (XI) .

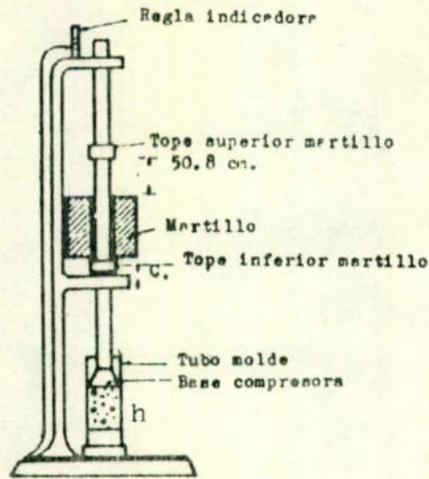


Fig. 8.- Esquema del aparato para fabricar probetas estándar para ensayos de masas de moldeo.

#### VII-6 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION.

La máquina utilizada para este fin está basada en la reacción de una barra pendular que apoya sobre la probeta. El motivo de usar este principio, es debido al hecho de que las probetas tienen baja resistencia, por lo que -- las máquinas normales de compresión no tienen la suficiente sensibilidad -- para medir esfuerzos pequeños.

Además el incremento en la carga debe ser uniforme y del orden de  $0.07 \text{ Kg/cm}^2$  y por segundo.

Consta fundamentalmente de una base o soporte A, un peso o brazo pendular B y un brazo C, que empuja o levanta a B. La arena está en D entre dos placas,  $S_2$  que hace al mismo tiempo de soporte y S que hace de placa compresora.

Levantando el brazo C la carga se incrementa hasta que al final se rompe la probeta. Una escala H da directamente la resistencia, (Fig. 9).

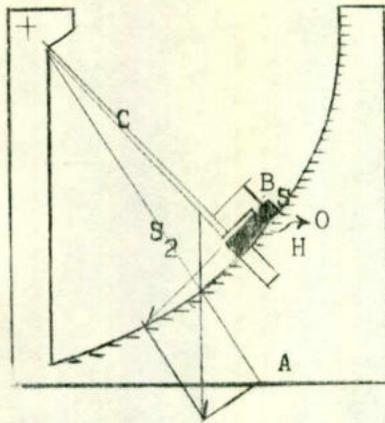


Fig 9.- Esquema del aparato para ensayo de resistencias al corte y a la compresión. (XI).

#### VII-7 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL CORTE.

La diferencia de este ensayo con respecto al anterior, es únicamente en las placas S y S<sub>2</sub> utilizadas, ya que en este caso las placas ejercen un es fuerza cizallante debido a su forma. (Fig. 10).

El procedimiento es el mismo, es decir, se fijan los dos discos en los soportes correspondientes del aparato y se coloca la probeta. Se verifica que el cursor magnético se encuentre en cero y se acciona el brazo móvil hasta la ruptura de la probeta, posteriormente se lee en la graduación correspondiente el resultado del ensayo, (XI).

#### VII-8 DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD.

Este aparato se encuentra en el laboratorio, y es el utilizado para medir la permeabilidad (Fig. 11). Cuenta con un flujo constante de aire de presión igual a 10 gramos por centímetro cuadrado sin tomar en cuenta la fluctuación de voltaje. Se lee directamente en la carátula el valor de la permeabilidad ya sea para orificio pequeño o grande.

Como es lógico suponer, es importante verificar que el aparato se encuentre calibrado para tener una lectura confiable, la calibración del aparato se consigue corriendole la prueba a una probeta con valor constante de permeabilidad, la cual es proporcionada por la casa comercial que vende este equipo.

El aparato cuenta con un regulador del flujo de aire para poder calibrarlo usando la probeta de permeabilidad conocida.

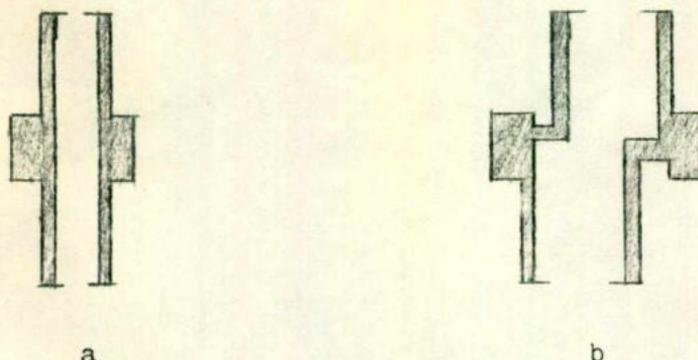


Fig. 10.- Esquema de las placas S y S<sub>2</sub> utilizadas a) para el ensayo de resistencia a la compresión y b) para el ensayo de resistencia al corte.

La probeta aún dentro de su contenedor se coloca en la posición adecuada - en el aparato, éste se enciende y se permite que la aguja marque cero. Posteriormente se acciona la palanca situada en el lado izquierdo del mismo - en el sentido de las manecillas del reloj esperando que se normalice la - lectura para tomarla. Esta lectura se encuentra ya en las unidades propias de permeabilidad, o sea en este caso, en unidades AFS de acuerdo con lo -- que se vió en la parte teórica de este trabajo. (IX).

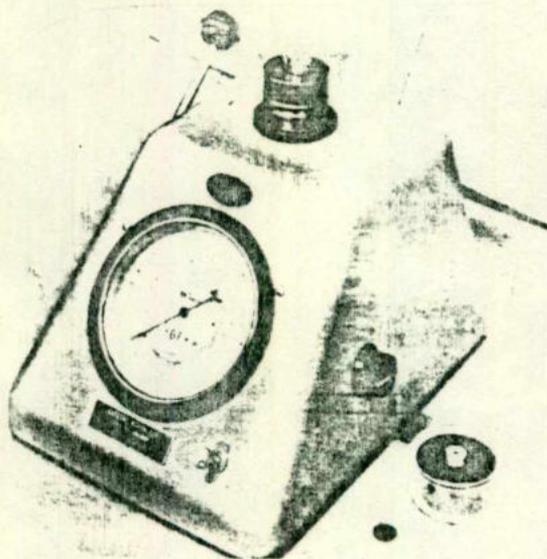


Fig. 11.- Esquema del aparato utilizado para la determinación de la permeabilidad. (IX).

## VII- 9 DETERMINACION DE LA DUREZA SUPERFICIAL.

Especificaciones de equipo.- Un instrumento para la medición de la dureza superficial indicará la profundidad de la penetración dentro de la superficie del molde de una media esfera de dimensiones conocidas cuando se le aplica una carga perpendicular a la superficie de manera que la parte plana de este instrumento queda sentada en la superficie a la que se le desea medir su dureza. (Fig. 12).

Este instrumento estará equipado con un aparato indicador, el cual registrará en milésimas de pulgada de penetración dentro de la superficie del molde.

Procedimiento.- Para determinar la dureza superficial, puede usarse la misma probeta del ensayo de permeabilidad, la cual aún se encontrará dentro de su contenedor. Se pondrá en contacto el cargador y el penetrador con la superficie del molde y se aplicará la carga presionando firmemente leyendo se la profundidad de la penetración en la escala que indica el aparato.

Equipo disponible.- En la figura 12 se muestra el tipo de aparato usado para determinar la dureza superficial en verde. El principio de esta prueba es similar al ensayo de dureza Brinell, cuando la superficie del molde es muy blanda, la penetración de la bola dentro del molde será mayor. Un molde que no ofrezca resistencia a la penetración tendrá una lectura de cero, pero uno que tenga una dureza capaz de resistir completamente la penetración de la bola tendrá una lectura de 100.

El instrumento que se muestra en la figura, tiene un impresor de radio igual a 0.5 in. El instrumento se verifica presionándolo contra una superficie pulida y limpia, tal como un plato de vidrio, debiendo indicar una lectura igual a 100 unidades "B" que son las unidades conocidas industrialmente para medir la dureza superficial de los moldes.

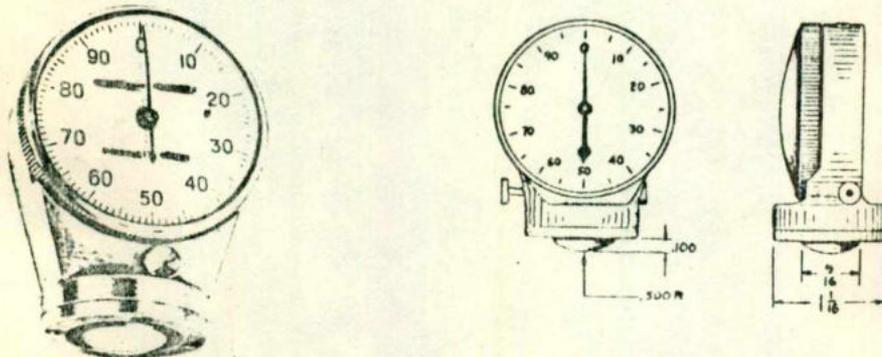


Fig. 12.- Esquema del aparato utilizado para medir la dureza superficial de la arena de moldeo en verde. (Unidades "B"). (IX).

## VII-10 DETERMINACION DEL CONTENIDO DE ARCILLA TOTAL.

Se toma una muestra de 50 a 100 g. de arena pesada al centígramo y se ponen en un vaso de precipitados de 1000 ml., se añade agua hasta 2/3 partes de la altura y 20 ml. de una solución al 5% de pirofosfato de sodio, se calienta a ebullición y se mantiene 3 minutos agitando para evitar proyecciones de arena se enfría a baño maría hasta la temperatura ambiente y se agita con un agitador eléctrico durante 5 minutos. Se pone el agua faltante hasta una altura de 6 pulgadas. (Fig. 13).

Se deja reposar 10 minutos y se sifonea a una altura de 1 in. Se añade a continuación agua hasta una altura de 2/3 partes y 10 ml. de la solución de pirofosfato, se agita 10 minutos, se deja reposar y se sifonea. Se continúa esta operación hasta que el agua sea clara. En las 2 últimas agitaciones no se pone la solución de pirofosfato de sodio. Después de la última operación se pasa a una caja Petri de 125 ml. o cápsula de porcelana, se deja reposar, se decanta y se seca a 105°C durante dos horas, se pesa y se calcula el contenido de arcilla total como sigue:

$$\text{ARCILLA TOTAL} = \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final}) \times 100}{\text{Peso inicial}}$$

(III)

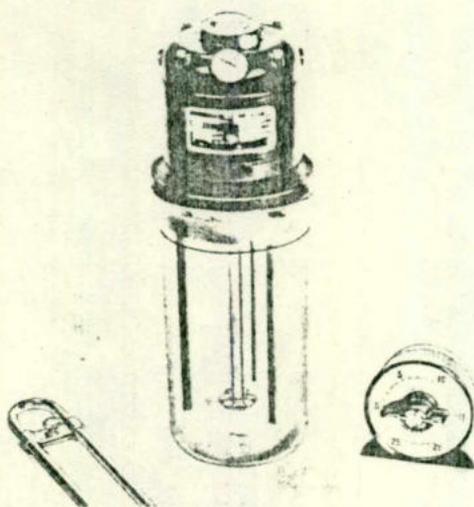


Fig. 13.- Esquema del aparato utilizado para el ensayo de arcilla total -- (IX)

## VII-11 DETERMINACION DEL CONTENIDO DE ARCILLA ACTIVA.

Se pesan 5 g. de arena seca en un matraz erlenmeyer de 250 ml y se les añaden 50 ml. de agua destilada. Se calientan durante 5 minutos hasta ebullición y se le añaden de uno a dos ml. de ácido sulfúrico 5N.

Se le hacen adiciones de azul de metileno de concentración conocida agitando después de cada adición. Utilizando una varilla de vidrio, se saca una gota de la solución y se deja caer en un papel filtro; si se presenta una mancha de color azul intenso en el papel sin aparecer un halo de color azul claro, indica que la adición de azul de metileno no ha sido suficiente teniéndose que hacer una nueva adición hasta que aparezca el halo de color azul claro antes mencionado.

A la primera aparición del halo, agítase nuevamente el matraz para tener la seguridad que el azul de metileno ha sido completamente absorbido. Repítase la operación para comprobar que ya se llegó al punto final de la titulación.

Recúrrase a la gráfica establecida para el tipo de mezcla de arena y bentonita en estudio, que está en función del azul de metileno y la arcilla activa.\*

Determinación de las curvas.

Se debe determinar una curva para cada tipo de mezcla sódica y cálcica.

En un matraz erlenmeyer de 200 ml. agregar 50 ml. de agua destilada y diferentes concentraciones de bentonita. No se necesita arena.

Por ejemplo.

0.5% de arcilla en una mezcla de 5 g. será 0.025 g. de bentonita.

1.0% de arcilla en una mezcla de 5 g. será 0.050 g. de bentonita.

Y así sucesivamente hasta un 10% de arcilla activa o más, se titula con azul de metileno según el método dado anteriormente.

Se hace una gráfica poniendo los resultados obtenidos de % de arcilla activa contra ml. de azul de metileno gastados. Esta gráfica servirá para interpolar los valores que se obtengan en la práctica y así darán los resultados de porcentaje de arcilla activa en una arena de moldeo.

\*Método recomendado por la compañía FOSECO.

## VIII RESULTADOS Y GRAFICAS.

Para una mejor visualización de los resultados, los juegos de datos fueron agrupados de acuerdo a la temperatura de la arena y las adiciones de agua y bentonita cálcica y después graficados, encontrándose que se apegan al siguiente comportamiento:

GRAFICA # 1  
 TEMPERATURA 25 a 29°C  
 AGUA 7.5 a 13.0 litros/carga al molino  
 BENTONITA CALCICA 0 a 1.5 Kg/carga al molino.

GRAFICA # 2  
 TEMPERATURA 30 a 35°C  
 AGUA 7.5 a 13 litros/carga al molino  
 BENTONITA CALCICA 0 a 1.5 Kg/carga al molino.

GRAFICA # 3  
 TEMPERATURA 30 a 35°C  
 AGUA 15 a 19 litros/carga al molino  
 BENTONITA CALCICA 1.7 a 3.4 Kg/carga al molino.

GRAFICA # 4  
 TEMPERATURA 35.5 a 39.5°C  
 AGUA 15 a 19 litros/carga al molino  
 BENTONITA CALCICA 1.7 a 3.4 Kg/carga al molino.

Cabe hacer notar que no se ponen todos los juegos de datos obtenidos ya -- que muchos de estos o se repiten o dan valores muy similares, por lo que -- se ponen los juegos de datos representativos del comportamiento de la arena de moldeo en verde ensayada.

En las hojas utilizadas para representar los valores obtenidos, vemos que existen los factores CH y C/H, estos se refieren al producto de la resistencia a la compresión en lbs/in<sup>2</sup> y la humedad en % y a el resultado de la división de la resistencia a la compresión en lbs/in<sup>2</sup> entre la humedad expresada en % respectivamente.

También puede ser usada como C el valor obtenido de la resistencia al -- corte como se hace en esta memoria.

El objeto de usar los valores CH y C/H es para facilitar la interpretación y el graficado de los resultados obtenidos, ya que estos permanecen sensiblemente semejantes en un cierto intervalo, teniéndose que en el punto de intersección de estos tenemos la humedad a la que la resistencia de la arena tiene su máximo. (XII).

En la tabla de resultados se ponen los valores de CH y C/H en el rango en el que podemos ver que permanecen sensiblemente semejantes, siendo estos después del punto donde la resistencia presenta su máximo y antes respectivamente, siendo graficados sus valores de resistencia al corte y a la compresión por separado para una mejor visualización.

HUMEDAD %	RESISTENCIA A LA COMPRESION PSI.	C/H	RESISTENCIA AL CORTE PSI.	CH	DUREZA "B"	PERMEABI- LIDAD AFS
--------------	-------------------------------------	-----	------------------------------	----	---------------	------------------------

TABLA # 1

2.90	10.45	1.40	4.05		93.0	85
3.00	10.70	1.43	4.30		92.5	87
3.15	11.05	1.37	4.40		92.0	92
3.30	11.20	1.34	4.35		90.9	97
3.45	11.25	1.26	4.40		89.0	96
3.50	11.00	1.21	4.40		87.5	100
3.65	10.85	1.16	4.35		88.0	110
3.75	10.85	1.14	4.35		87.0	109
3.80	10.60	1.09	4.35		86.5	114
3.80	10.55	1.10	4.30		86.5	115
3.95	10.45		4.30		86.0	115
4.00	10.30		4.20		85.0	100
4.05	10.35		4.15	17.43	85.5	98
4.20	10.10		4.00	16.80	85.0	99
4.20	10.00		3.85	16.75	84.5	96
4.35	9.95		3.80	16.73	85.0	96
4.40	9.75		3.70	16.65	85.0	95
4.50	9.50		3.70	16.65	84.5	95
4.50	9.25		3.60	16.74	84.5	94
4.65	9.00		3.60	16.80	84.0	94
4.80	8.75		3.50	16.80	84.0	94
4.95	8.30		3.00		84.0	92

TABLA # 2

2.85	10.95	1.51	4.30		90.0	79
3.00	11.20	1.50	4.50		88.0	83
3.10	11.80	1.51	4.70		87.5	85
3.20	12.20	1.50	4.80		87.5	89
3.35	12.35	1.39	4.65		87.0	89
3.50	12.50	1.35	4.70		87.0	94
3.60	12.40		4.55	16.38	86.5	96
3.75	12.30		4.50	16.87	87.0	99
3.75	12.35		4.40	16.50	86.5	98
3.80	12.15		4.35	16.50	86.0	101
3.90	11.75		4.30	16.77	86.0	104
4.00	11.50		4.20	16.80	86.0	104
4.15	11.35		4.10	17.01	85.5	98
4.20	11.20		4.00	16.80	85.0	95
4.35	11.00		3.95	17.18	85.0	93
4.50	10.80		3.90	17.55	84.0	89
4.70	10.45		3.80	17.10	82.5	85
4.90	10.00		3.25		75.0	75

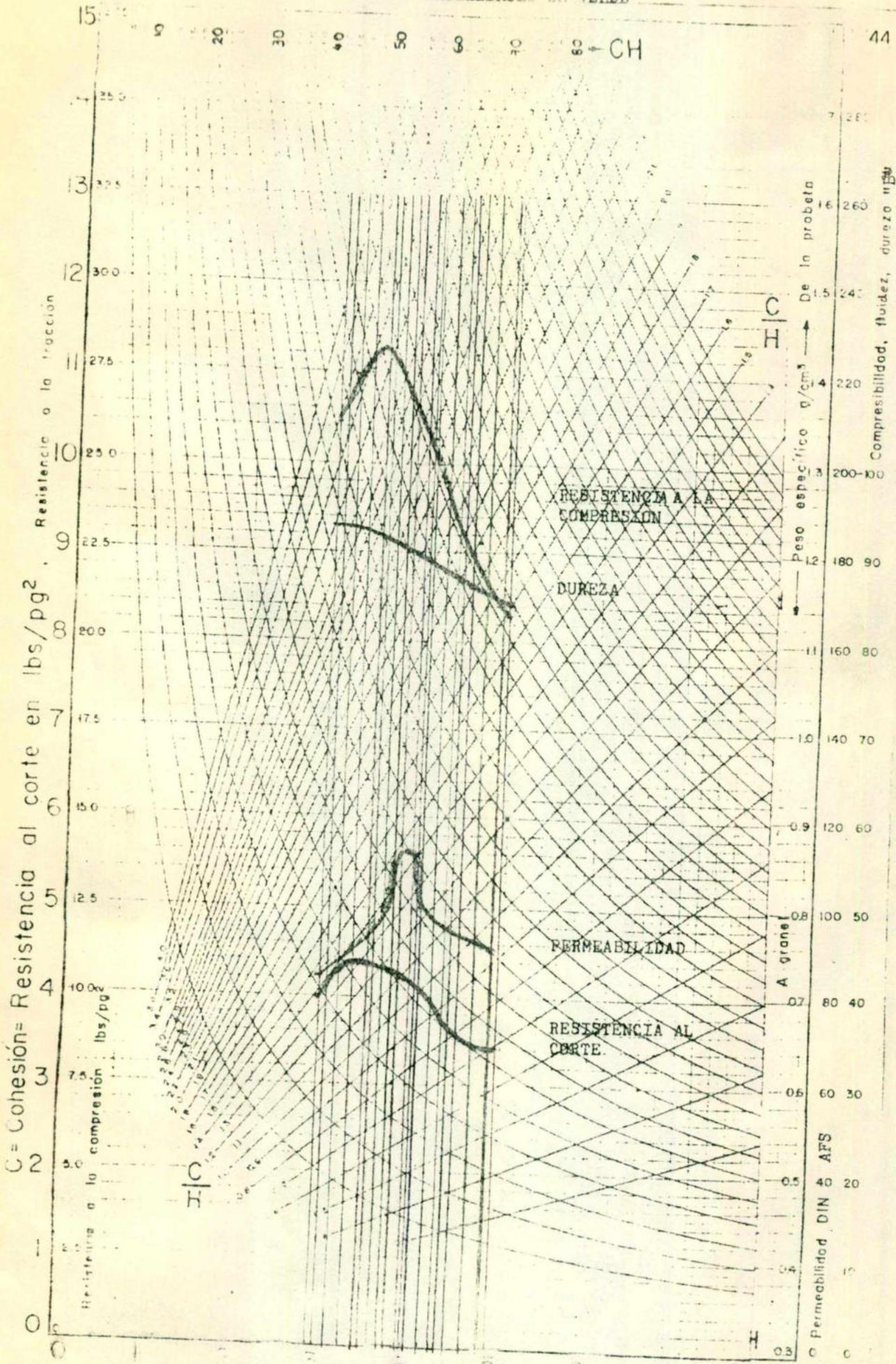
HUMEDAD %	RESISTENCIA A LA COMPRESION PSI.	C/H	RESISTENCIA AL CORTE PSI.	CH	DUREZA "B"	PERMEABI- LIDAD AFS
--------------	-------------------------------------	-----	------------------------------	----	---------------	------------------------

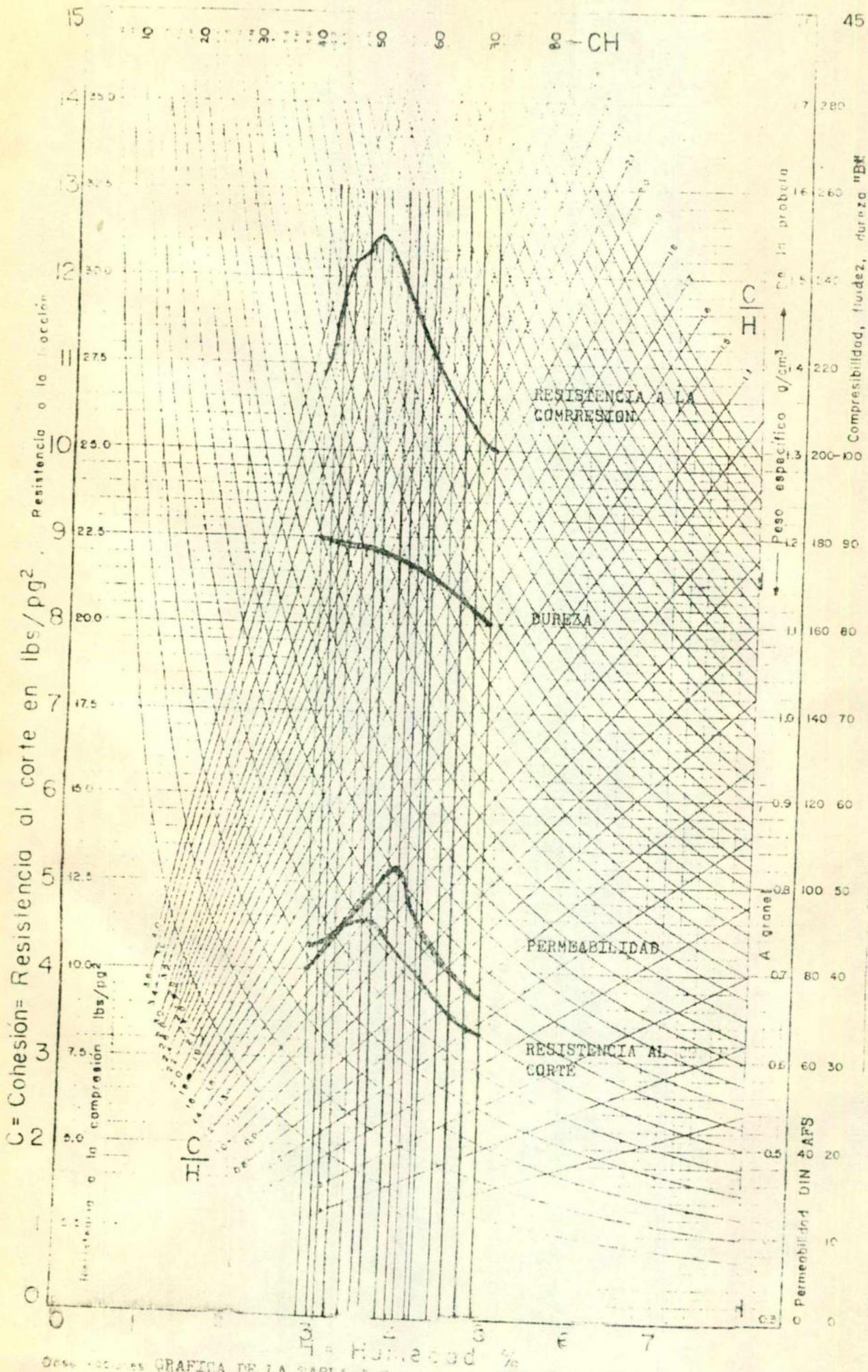
TABLA # 3

2.90	10.10	1.32	3.85		87.5	82
3.00	10.10	1.30	3.90		86.5	82
3.15	10.75	1.29	4.05		86.5	84
3.25	11.00	1.30	4.25		86.0	83
3.30	10.95	1.30	4.30		86.5	85
3.40	10.90	1.27	4.30		86.5	85
3.65	10.80	1.17	4.25		86.5	90
3.75	10.65		4.20		86.0	98
3.95	10.60		4.20	16.59	85.0	107
4.00	10.50		4.20	16.80	85.5	107
4.10	10.40		4.10	16.81	85.0	109
4.30	10.25		4.05	17.49	84.0	102
4.40	10.05		3.90	17.16	84.0	100
4.55	9.70		3.75	17.06	83.5	95
4.70	9.45		3.70	17.39	83.5	91
4.80	9.35		3.60	17.28	83.0	88
5.00	9.00		3.40	17.00	82.5	82

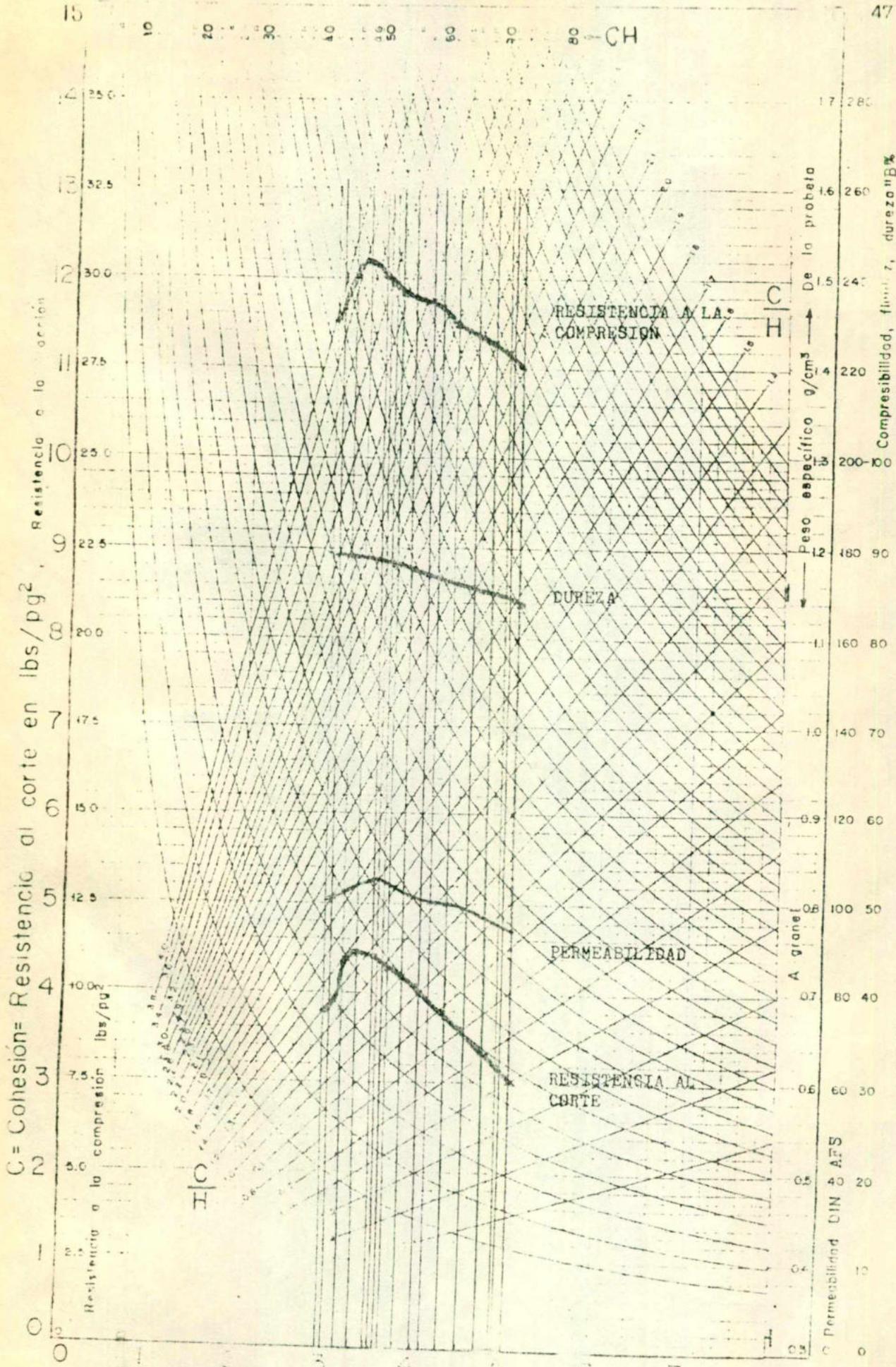
TABLA # 4

2.95	11.55	1.29	3.80		89.5	102
3.00	11.65	1.30	3.90		89.0	102
3.15	12.00	1.38	4.35		89.0	103
3.30	12.20	1.34	4.45		88.5	104
3.45	12.05	1.27	4.40		88.0	104
3.50	12.00	1.26	4.40		88.0	105
3.55	11.95		4.30		87.5	105
3.65	11.80		4.35	15.88	87.5	106
3.80	11.80		4.25	16.15	87.0	105
4.00	11.80		4.20	16.80	86.0	104
4.10	11.70		4.10	16.81	85.5	101
4.30	11.45		3.95	16.98	85.0	100
4.50	11.40		3.80	17.10	84.0	100
4.75	11.30		3.60	17.10	84.0	98
4.85	11.25		3.35	16.25	83.5	98
4.90	11.20		3.20	15.69	83.5	96
5.05	11.00		3.00			95









Observaciones: REEMPLAZA DE LA TABLA 34

## IX CONCLUSIONES.

De acuerdo a las gráficas obtenidas, y para apreciar mejor el punto "temper" obtenido en las pruebas hechas a la arena donde laboro, vamos a analizar cada una de sus propiedades por separado.

**RESISTENCIA A LA COMPRESION Y AL CORTE:** La plasticidad es la propiedad de un material de tomar una forma bajo una presión y conservarla. Son los aglutinantes los que dan plasticidad a la arena y para apreciarla se mide la cohesión en forma de resistencia al corte o a la compresión. La cohesión es debida a fuerzas de atracción moleculares, así en la superficie de separación sílice-agua hay en la intercara una fuerza de atracción que es el resultado de tres fuerzas:

Cohesión entre las moléculas de agua  
 Cohesión entre las moléculas de sílice  
 Afinidad de la molécula de agua por la molécula de sílice.

La resultante de estas fuerzas es una fuerza que atrae las moléculas de agua hacia el interior de la sílice, o sea la tensión superficial.

Si se ponen dos granos de arena con una molécula de agua entre ellos se crea una fuerza de atracción, que de acuerdo a la fórmula de Laplace está caracterizada por los radios de curvatura R y R' de los granos.

$$F = A + B(1/R + 1/R')$$

Donde A es la resultante de las fuerzas debidas a la cohesión de las moléculas, B es una constante y R y R' los radios de curvatura de los granos en el punto considerado.

La tensión superficial F aumenta cuando los radios R y R' disminuyen y es máxima cuando los granos son coloidales.

Cuando la humedad es 0% las fuerzas de cohesión son despreciables debido a que los radios de las partículas son grandes y a que no hay dispersión coloidal de la arcilla. Al mezclar y añadir agua la arcilla empieza a dispersarse y a recubrir los granos de arena, lo que genera fuerzas de atracción incrementándose la cohesión. (XII).

En las 4 gráficas mostradas se puede observar que tanto la resistencia al corte como a la compresión se comportan de manera análoga a diferentes contenidos de humedad, presentando un máximo de resistencia a cierto valor de humedad, pero es necesario tener en cuenta el comportamiento de las otras propiedades para poder concluir.

Al analizar el proceso por el cual la arena varía su cohesión al aumentar su humedad, se observa que para lograr el recubrimiento de los granos de arena con bentonita se requiere de una humedad suficiente para separar las hojuelas de bentonita, si se trabaja con una humedad baja no habrá la suficiente dispersión de bentonita, se forman terrones o agregados de agua que retienen la humedad por lo que la arena no adquiere plasticidad.

Analizando la variación de la resistencia ya sea al corte o a la compresión contra la humedad, se ve que la curva es ascendente en los 4 casos y debe iniciarse en el origen, este comportamiento representa la fase de activación de la bentonita, la otra fase es la de dilución de la bentonita y en ella se pasa del estado adecuado de la arena para moldear al estado en que se hace pegajosa para las manos y para el equipo.

**DUREZA:** Como era de esperarse, a medida que se incrementa la humedad de la arena, la dureza tiende a disminuir, por lo que es conveniente trabajar con el valor menor de humedad al cual la permeabilidad presente un valor aceptable.

**PERMEABILIDAD:** A medida que se incrementa la arena la cantidad de agua, la permeabilidad también se va incrementando hasta un máximo, a partir del cual empieza a descender aunque se siga incrementando la humedad.

La explicación de este comportamiento es el siguiente; la arcilla en polvo taponan los poros por lo que la permeabilidad es baja. La arcilla comienza a dispersarse al mezclar y añadir agua a la arena y también comienza a recubrir los granos de arena lo que origina fuerzas de atracción, incrementándose la cohesión, al desaparecer los granos de bentonita aumenta la permeabilidad.

Con una cierta humedad, la arcilla alcanza su máxima dispersión y la cohesión será máxima, la permeabilidad también se incrementa. Después de este punto, al añadir agua se expande más la bentonita formando un gel bajando la cohesión; al hincharse la bentonita disminuye el peso específico por el aumento de volumen y aumenta la permeabilidad hasta llegar a un máximo, a partir de este punto el agua obstruye los poros y disminuye la permeabilidad y la cohesión. Es interesante observar el defasamiento de los máximos de permeabilidad y resistencia.

Por lo que podemos concluir en general, que manteniendo el contenido de humedad entre los límites de 3.3 a 3.4% tendremos los mejores conjuntos de propiedades en cuanto a la resistencia a la compresión y al corte se refiere, pero en cuanto a la permeabilidad, los mejores resultados los tenemos cuando la humedad varía entre los límites de 3.8 a 4.0%.

Para piezas medianas de hierro gris y piezas pesadas es conveniente que la permeabilidad no se encuentre por debajo de 80 unidades AFS, ya que pudiera dar problemas de gases atrapados (III), pero en este caso particular vemos que la permeabilidad no representa ningún problema para elegir el punto ideal en el que se debe encontrar la humedad de la arena, por lo que la arena debemos conservarla en los límites superiores donde la resistencia a el corte y compresión presentan su máximo debido a su tendencia a secarse, es decir de 3.3 a 3.4%.

Desafortunadamente uno de los principales problemas que tenemos es el de la temperatura de la arena, ya que como se vió en la parte teórica de este

trabajo, la arena a alta temperatura tiende a volverse difícil de moldear, teniéndosele que agregar agua para bajarle su temperatura y ocasionando -- probablemente alguno de los problemas referidos a la alta humedad.

Es interesante observar comparando la gráfica 1 contra la 2 y la gráfica 3 contra la 4 que fueron hechas en condiciones similares de adición de agua y bentonita cálcica y solo variando su temperatura, que, contra lo que pudiera pensarse, los mejores valores de resistencia tanto a la compresión -- como al corte corresponden a los de temperatura más alta, lo que pudiera -- deberse a que en el momento del mezclado el vapor de agua generado ayude a una mejor distribución de la bentonita, lo que está fuera del alcance de -- esta memoria, pero si, teniendo siempre presente, que genera menos problema una arena a temperatura ambiente que una arena a temperatura mayor por lo expuesto en la parte teórica de este trabajo.

## X BIBLIOGRAFIA

- (I) Bailey Robin.- Modern Casting.- Vol. 73, Number 5.-May 1983
- (II) Alfaro Abreu Ignacio.- Fundición.- Año XXV, No 209.- Enero 1978.- Editecna, S.L.
- (III) García Sosa Víctor M.- Tecnología del control de calidad de las arenas de fundición.-Sociedad Mexicana de Fundidores, A.C.
- (IV) Avila Fernando.- Moldeo y Fundición.- Año 1.- No 5.-Abril 1979
- (V) Pappaterra Caballero José.- Moldeo y Fundición.- Año 2, No 9.- Febrero 1980.
- (VI) Flores José.- Moldeo y Fundición.-Año 1, No13.-Diciembre 1978.
- (VII) García Sosa Víctor M.- Moldeo y Fundición.- Año 2, No12.-Agosto de 1980.
- (VIII) García Sosa Víctor M.-Moldeo y Fundición.- Año 2, No 11.-Junio 1980
- (IX) Foundry Sand Handbook.- Seventh Edition.-1963.-American Foundrymen's Society.
- (X) Noguez Amaya Ma. Eugenia.- VIII Congreso Nacional y Exposición de la Industria de la Fundición.- S.M.F.-Julio-Agosto 1982.
- (XI) Pappaterra Caballero José.- Moldeo y Fundición.-Año 2, No 10.-Abril de 1980.
- (XII) García Sosa Víctor M.-Tecnología del Control de Arenas para Fundición.- Instituto Mexicano de Investigaciones Siderúrgicas.-Mayo de 1985.
- (XIII) Volkman A.P.- Modern Casting.-Julio 1970.