



24  
25/11/85

**Universidad Nacional Autónoma de México**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**"EVALUACION DE LAS DIFERENTES MEDIDAS DE  
RESISTENCIA MECANICA Y OTRAS MEDICIONES  
FISICAS EN MEZCLAS DE MOLDEO EN VERDE"**

**T E S I S**

Que para obtener el Título de:  
**INGENIERO QUIMICO METALURGICO**

**p r e s e n t a**

**JOSE GUADALUPE MENDOZA LEON**

**México, D. F.**

**1985**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# I N D I C E

		Pág.
CAPITULO I	Introducción	1
CAPITULO II	Antecedentes	3
CAPITULO III	Experimentación	20
III.1	Selección de la muestra	21
III.2	Método de mezclado	23
III.3	Determinación de humedad	24
III.4	Preparación de la probeta norma	26
III.5	Resistencia en verde	32
III.6	Compactabilidad en verde	38
III.7	Densidad	39
III.8	Permeabilidad en verde	40
III.9	Moldabilidad	45
III.10	Dureza superficial	47
III.11	Prueba de estrellamiento	48
CAPITULO IV	Resultados	51
CAPITULO V	Discusión y conclusiones	81
V.1	Resistencia a la compresión	81
V.2	Resistencia al corte	83
V.3	Resistencia a la tracción	84
V.4	Compactabilidad	85
V.5	Permeabilidad	86
V.6	Moldabilidad	86
V.7	Peso de la probeta y densidad	87
V.8	Dureza	88
V.9	Índice de estrellamiento	88
BIBLIOGRAFIA		90

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

En el presente trabajo se estudian las propiedades mecánicas y físicas a varias mezclas de moldeo preparadas en forma sistemática, con el objeto de caracterizar a las mismas, iniciando así una evaluación de los diversos ensayos, comparándolos con los datos encontrados en la literatura.

Este trabajo forma parte de un proyecto muy extenso del laboratorio de arenas del Departamento de Metalurgia de la Facultad de Química, en el que se pretende conocer los comportamientos de los materiales con los que se trabaja, para así contar con una referencia de control del moldeo tanto en el taller de fundición como en los servicios externos.

La importancia del trabajo radica en la necesidad de adaptar tanto la tecnología del control de moldeo, así como la interpretación de datos reportados en la literatura de otros países a las condiciones de trabajo, tales como, equipo y materia prima usados en el país.

Para lograr lo anterior se escogieron materiales comerciales de un solo proveedor, los cuales están siendo caracterizados en

otros trabajos que integran el mismo proyecto. Las mezclas de -- moldeo aquí estudiadas cuentan con sólo tres elementos, y son; -- arena sílica, bentonita y agua, es decir, que no cuentan entre -- sus constituyentes con aditivos. Aunque se está consciente que -- las mezclas sin aditivos son poco usuales en el medio de la fundi -- ción, deben considerarse los datos presentados como un primer -- aporte.

Para la realización del trabajo se escogieron arbitrariamente mez -- clas que van del 2% al 12% de bentonita, tanto sódica como cálcica, con contenidos de humedad del 2% al 6%, y se escogieron como ensayos de laboratorio los más usuales en el medio de la fundi -- ción.

## CAPITULO II

## ANTECEDENTES

A lo largo de las dos últimas décadas se han realizado numerosos estudios en arenas y aditivos usados en arena de moldeo para fundición. De dichos estudios se han extraído muchos datos que son útiles para explicar el efecto que causan la bentonita y humedad en una u otra propiedad física, de la arena de moldeo. Así pues con el incremento en la adición de agua, la resistencia en verde inicialmente se incrementa hasta alcanzar un valor máximo y posteriormente decae. Al incrementar el contenido de bentonita se incrementa la resistencia, sin embargo el contenido de humedad al cual ocurre el máximo, es desplazado a la derecha acompañado por un incremento en el nivel de resistencia (fig. II.1), la permeabilidad y la dureza en verde se incrementan hasta un valor máximo y posteriormente decrecen conforme se aumenta el contenido de humedad, la resistencia a la comprensión en verde y la densidad a granel pueden ser relacionadas a capas de agua-arcilla, presente como una capa de unión la cual rodea los granos de arena. Esta teoría proporciona una explicación racional para explicar el efecto de la relación Agua-Bentonita en la resistencia a la comprensión en verde y densidad a granel.

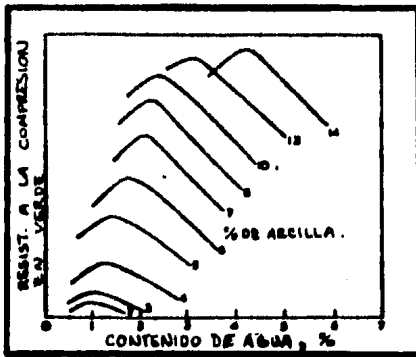


Fig. II.1 (ref. 1)  
Efecto de la humedad y de la bentonita sobre la resistencia a la compresión.

En un estudio realizado por Roshan,<sup>(2)</sup> las investigaciones llevadas a cabo para el estudio del mecanismo de mezclado confirman la existencia de capas moleculares de agua rígida al rededor de la superficie de la arcilla, relacionadas al punto crítico de transición en los valores de resistencia y densidad. El comportamiento de las arenas sintéticas de moldeo cuando se adicionan diferentes aditivos puede explicarse en términos de capas moleculares de agua básica presente al rededor de la superficie de la arcilla uniendo grano con grano.

Algunos resultados de esta investigación se muestran en la figura II.2, en dicha figura se grafican valores de resistencia a la compresión en verde y densidad para contenidos de Bentonita de 4%, 6% y 8%, obtenidos estos valores con probetas con tres apisonadas, contra el contenido de agua de la mezcla expresado como un porcentaje de Bentonita mas agua. Un estudio de ésta figura muestra si disminuye la relación Agua-Bentonita ( $\text{Agua} \div \text{Bentonita}$ ) ¿

la densidad decrece hasta alcanzar un mínimo a un 26% y posteriormente se incrementa. El punto crítico de transición ocurre al mismo valor en relación Agua-Bentonita, para todos los valores de contenido de Bentonita estudiados. Un estudio adicional de la misma figura indica que como la relación Agua-Bentonita decrece, la resistencia a la compresión en verde aumenta hasta alcanzar un máximo a una relación Agua-Bentonita de 20% y posteriormente disminuye. El máximo de resistencia a la compresión en verde ocurre a la misma relación Agua-Bentonita en todas las mezclas que se estudiaron. Esto muestra que el punto crítico de transición en los valores de resistencia y densidad ocurren a un contenido constante de agua expresado como un porcentaje de Bentonita más Agua. Lo cual confirma la creencia, en cuanto a la existencia de moléculas rígidas de agua unidas a la superficie de la arcilla.

El término de agua rígida se refiere a la capacidad de la arcilla para la absorción de agua sobre su superficie, y las capas moleculares absorbidas de agua dependerán entonces del tipo de Bentonita, ya que cada uno de estos responde con diferente rapidez a la absorción de agua y molienda.<sup>(3)</sup> Su estructura es similar a la del hielo.

Esta teoría fué propuesta originalmente por Grim y Cuthbert en el año de 1945, y después defendida por Wenninger en el año de 1970. Basada en un cuidadoso mezclado usando un molino de ruedas horizontales, los datos obtenidos por Roshan se obtuvieron usando un molino de ruedas verticales y un tiempo de 10 minutos, lo cual demuestra que es posible usar un molino de ruedas verticales para propósitos de estudio.

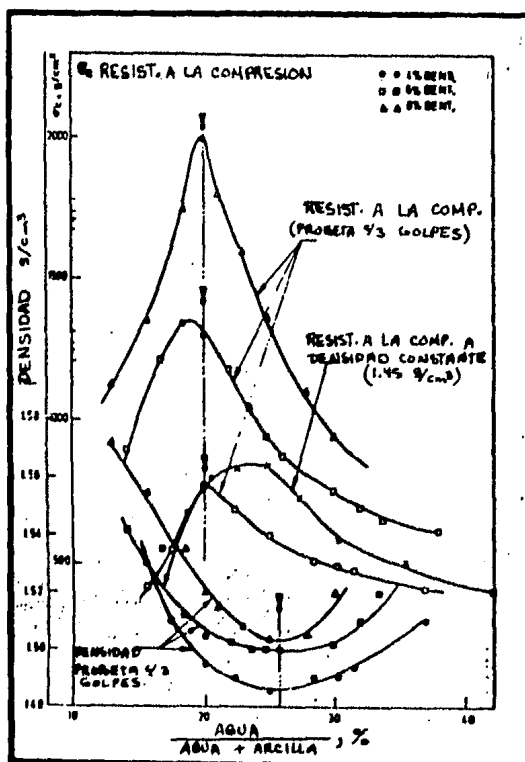


Weninger en 1968, propuso que se requiere de un contenido de humedad de aproximadamente 7%, para que se forme completamente la capa molecular en la superficie de la arcilla. Cuando tres capas - semejantes de moléculas de agua se asocian con la arcilla, la relación de humedad puede ser de 21%, y con cuatro capas semejantes la relación de humedad puede ser de 28%. Es visto de la fig. - - II.2 que el punto de transición en densidad y resistencia a la -- comprensión en verde ocurre a una relación de agua de 26% y 20%, respectivamente. Estos valores de contenidos de humedad corresponden a cerca de cuatro y tres capas moleculares respectivamente. El 7% de humedad requerido para formar una capa molecular completa sobre la superficie de la partícula de arcilla, es válido sólo en algunos casos. Para la Bentonita comercial usada en esta investigación, se toma una tolerancia debido a su contenido de minerales y otras sustancias de la arcilla.

De la figura II.2 se observa que por debajo de una relación de humedad correspondiente a cuatro capas moleculares, la densidad se incrementa. Esto indica la presencia de menos capas moleculares de agua rígida que originan que los granos deslicen contra otros, de esta forma se empaacan en una forma densa. Esto muestra tam- - bién que el contenido máximo de agua rígida existe a cuatro capas moleculares. A medida que el contenido de agua baja desde el punto de densidad mínima o máximo nivel de contenido de agua rígida la mezcla agua arcilla contrae, lo cual causa un empaquetamiento denso de arena cuando la misma energía de apisonado es aplicada. Este empaquetamiento denso de arena no sólo provoca un incremento

en densidad, sino que también causa un incremento en la resistencia a la compresión debido a la fricción mecánica y a que se incrementa el número de puntos de contacto, en el caso de una probeta densa. La resistencia a la compresión en verde se incrementa gradualmente hasta alcanzar un máximo a una relación Agua-Bentonita de 20%. El cual corresponde a tres capas moleculares de agua. A medida que se disminuye el contenido de agua de bajo de este punto, la resistencia a la compresión desciende, indicando que es menor de tres la capa molecular de agua en la superficie de arcilla, y es incapaz de proveer cohesión entre arcilla y arcilla o adhesión entre arcilla y grano de arena. Esta es la razón para que decaiga rápidamente la resistencia cuando disminuye la humedad, cuando se compara el decaimiento en la resistencia con el incremento en la humedad. Además esto indica el significado de una unión electroquímica, -- cuando es comparada a la fricción mecánica y se debe a los puntos de contacto entre los granos de arena.

Fig. II.2 (ref. 2) influencia de la relación Agua-Arcilla y contenido de Bentonita en resistencia a la compresión en verde, y densidad de arenas sintéticas de moldeo.



La discusión anterior se basa en probetas preparadas con tres apisonadas. En este caso el contenido de agua se encuentra por debajo del máximo nivel de contenido de Agua rígida. Esto compensa el efecto del incremento de la densidad, del cual resulta una mayor resistencia a la compresión.

Para eliminar este efecto y para retener aproximadamente el mismo espaciamiento grano a grano se preparan muestras a densidad constante y los resultados de estas pruebas se muestran también en la figura II.2. El estudio de esta figura indica que los puntos críticos de transición de ambos, en el caso de densidad (con tres apisonadas) y resistencia a la compresión (a densidad constante) ocurre a la misma relación Agua-Bentonita, correspondiendo al máximo nivel de agua rígida. Como la distancia entre los granos se mantiene aproximadamente constante en las muestras a densidad constante, la reducción en el contenido de agua causa la contracción en la unión, resultando una reducción en la adhesión de los granos. Esto provoca una reducción en resistencia por debajo del punto de mínima densidad o contenido máximo de agua rígida.

En la figura II.3 se grafican los valores de la resistencia a la compresión en verde, la resistencia al corte en verde, resistencia al rompimiento en verde y resistencia a la tracción en verde, contra el contenido de agua expresado como el porcentaje de agua más bentonita. De esta figura se observa que los puntos críticos de transición esencialmente ocurren al mismo contenido de humedad en todos los casos. Esto muestra que todas estas propiedades

son influenciadas en forma similar que a la resistencia a la compresión en verde, y que están relacionadas a la existencia de capas moleculares de agua en la superficie de la arcilla, esto demuestra que todas estas propiedades están interrelacionadas.

Fig. II.3

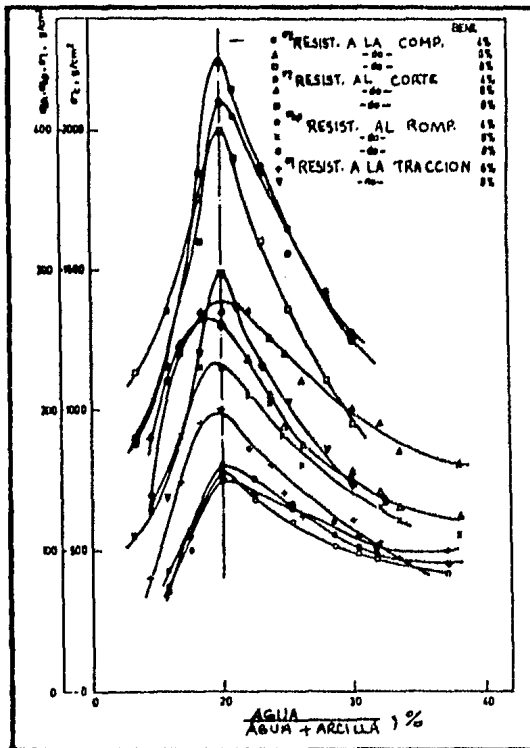


Fig-II.3 (ref. 2) Influencia de la relación Agua Arcilla y contenido de Bentonita en resistencia a la compresión, corte, rompimiento y tracción en verde de arenas sintéticas de molde.

La figura II.4, muestra una representación esquemática de la mezcla arcilla agua entre dos granos de arena, describiendo placas de arcilla y moléculas de agua. Con la adición de bentonita, el espaciamiento entre la arcilla y la superficie de los granos se -

incrementa, lo cual es evidente desde el punto de vista de los valores de densidad. Una visualización de este caso es mostrado en las figuras II.4a y II.4b, con la misma cantidad de agua presente al rededor de la superficie de la arcilla, el incremento en la distancia entre los granos de arena causa la reducción en la resistencia a la compresión y tracción.

De este estudio las conclusiones más importantes son:

1. La existencia de moléculas rígidas de agua al rededor de la superficie de la arcilla, y éstas están relacionadas con el punto crítico de transición en los valores de densidad y resistencia.
2. Para todas las propiedades mecánicas estudiadas el punto crítico de transición ocurre a la misma cantidad de capas moleculares de agua que rodean la superficie de la arcilla. Esto indica que todas las propiedades están interrelacionadas.

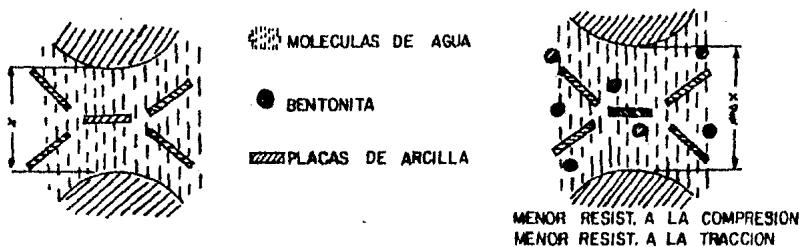


Fig. II.4 (ref. 2) Representación esquemática de la unión Agua-Arcilla entre dos granos de arena, las placas de la Arcilla y moléculas de agua.

Otro estudio interesante fue el que realizaron en el año 1975. -- Radhakrashnan, Prabnakar, Srinivasan y Seshandri <sup>(1)</sup>, en el cual

desarrollaron un trabajo sobre las propiedades mecánicas para mezclas de moldeo y proponen que estas pueden ser expresadas como -- una función de los porcentajes de Agua y Bentonita, para una arena dada. En dicho estudio los porcentajes de bentonita usada se encuentra en el rango de 4% a 10% en intervalos de 2% y una relación Agua-Bentonita de 0.2 a 1.0 con valores intermedios 0.3, 0.5 y 0.8.

En este estudio se obtuvieron resultados, los cuales relacionan algunas propiedades físicas con la relación agua bentonita, y se trata así de dar alguna explicación lógica que satisfaga el por que del comportamiento de las propiedades físicas en mezclas de moldeo en verde.

La influencia encontrada por los autores de la relación Agua-Bentonita y porcentaje de bentonita de las propiedades físicas en -- mezclas de moldeo en verde son mostradas y detalladas a continuación.

RESISTENCIA A LA COMPRESION EN VERDE, RESISTENCIA AL CORTE EN VERDE Y DUREZA EN VERDE.

- a) Para un contenido de Bentonita dada, la resistencia a la compresión en verde (fig. II.5), la resistencia al corte en verde (fig. II.6) o la dureza en verde (fig. II.7), se incrementan hasta alcanzar un máximo y subsecuentemente decrecen, al aumentar la relación agua-bentonita en el rango de contenido de bentonita estudiado, el valor máximo es alcanzado a una relación agua-bentonita de 0.3 aproximadamente.

- b) Para una relación de agua-bentonita dada, la resistencia a la compresión, la resistencia al corte o la dureza se incrementa al aumentar el contenido de bentonita. Esta variación puede atribuirse a las capas de unión entre agua y arcilla que rodean los granos de arena y al contenido de arcilla.

La curva de dureza en verde contra la relación de agua-arcilla es similar a la curva correspondiente a la compresión en verde, quizá la dureza y la resistencia estén influenciadas por los mismos factores.

Fig. II.5

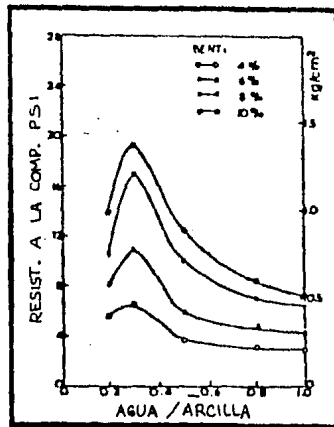


Fig. II.5 (ref. 1) Efecto de la relación agua-arcilla en resistencia a la compresión en verde.

Fig. II.6

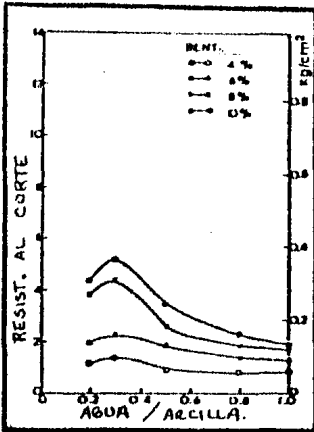


Fig. II.6 (ref. 1) Efecto de la relación agua-arcilla en resistencia al corte para arenas de moldeo en verde

Fig. II.7

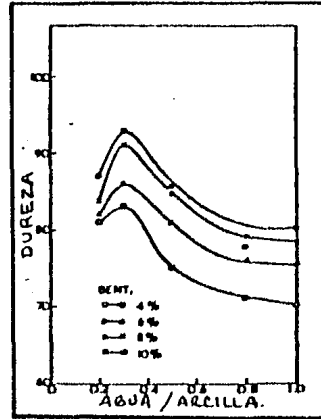


Fig. II.7 (ref. 1) Efecto de la relación agua-arcilla sobre la dureza en mezclas de moldeo en verde

#### PERMEABILIDAD EN VERDE

De la figura No. II.8, se observa que:

- a) Para un porcentaje dado de bentonita la permeabilidad en verde se incrementa al aumentar la relación agua-arcilla, hasta llegar a un punto máximo y decrece a medida que aumenta la relación agua-arcilla. En este estudio para todos los porcentajes de bentonita estudiados al máximo de permeabilidad es alcanzado a una relación agua-arcilla de aproximadamente 0.5.
- b) A una relación agua arcilla en particular, la permeabilidad en verde decrece a medida que se aumenta el contenido en bentonita.



Fig. II.8

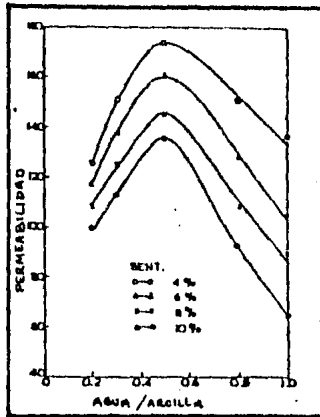


Fig. II.8 (ref. 1) Efecto de la relación agua arcilla en permeabilidad de arenas de moldeo en verde.

#### PROPIEDADES FISICAS EN MEZCLAS DE MOLDEO EN VERDE

##### DENSIDAD A GRANEL

Las curvas de densidad a granel contra relación agua-arcilla indican que (fig. II.9).

- a) Para un contenido particular de bentonita la densidad a granel decrece al aumentar la relación agua-arcilla hasta alcanzar un mínimo, para incrementarse subsecuentemente.
- b) La densidad a granel se incrementa ligeramente con el aumento del contenido de bentonita para una relación agua-arcilla dada.

A menor relación agua-arcilla, la reducción en densidad a granel se debe al aumento a la resistencia a ser apisonada. Mientras -- que a mayores relaciones agua-arcilla el incremento es debido al

aumento en movilidad y plasticidad de la capa de unión agua-arcilla.

Fig. II.9

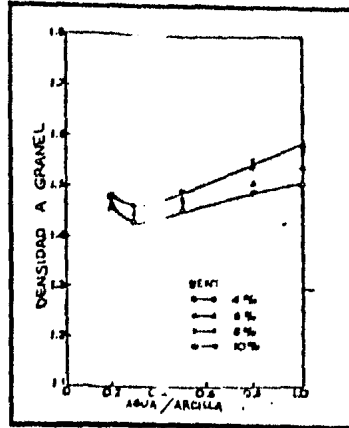


Fig. II.9 (ref. 1) Efecto de la relación agua arcilla en la densidad a granel en mezclas de moldeo en verde.

#### DENSIDAD DE LA PROBETA Y FLUIDEZ

El estudio de las figuras II.10 y II.11 indican que:

- 1) Para un contenido de bentonita dado la densidad de la probeta y la fluidez disminuyen al aumentar la relación agua-arcilla entre 0.2 y 0.5, y para una relación agua-arcilla mayor de -- 0.5 dichas propiedades no decrecen apreciablemente.
- 2) La densidad de la probeta y la fluidez decrecen con el incremento en el contenido de Bentonita para una relación agua-arcilla dada.

El rápido decaimiento en estas propiedades entre una relación -- agua-arcilla comprendida entre 0.2 y 0.3 es debido a que se incrementa la capa molecular de agua rígida. De esta manera aumenta --

el espaciamiento entre los granos adyacentes. Para una relación agua-arcilla mayor a 0.3 el orden en el arreglo de agua rígida y arcilla es destruido y la capa unión es prensada en los intersticios entre los granos de arena por el propio peso de la columna de arena que se encuentra por encima. Sin embargo, debido a la mayor cantidad de arcilla y agua (la gravedad específica de ambos es menor que la de la arena), el cambio en estas propiedades no es apreciable para una relación agua-arcilla superior a 0.5.

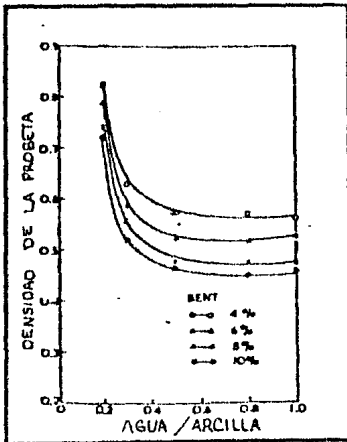


Fig. II.10 (ref.1) Efecto de la relación agua-arcilla sobre la densidad de arenas de moldeado en verde.

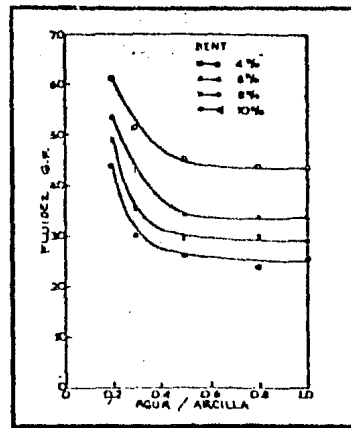


Fig. II.11 Efecto de la relación agua-arcilla en fluidez para mezclas de moldeado en verde.

#### COMPACTABILIDAD.

De la fig. II.12 se observa que:

- a) La compactabilidad a cualquier contenido de bentonita se incrementa rápidamente hasta llegar a una relación agua-arcilla de 0.5 y ésta se mantiene constante al aumentar la relación agua-arcilla.

b) La compactabilidad aumenta al incrementar el porcentaje de bentonita para una relación agua-arcilla dada.

El grado de compactación de la arena es inversamente proporcional a su compactabilidad y viceversa. La variación con respecto a la relación agua-arcilla de la compactabilidad fue obtenida basada en una medición gravimétrica. Estos cambios pueden ser explicados en términos de las capas de unión.

Fig. II.12

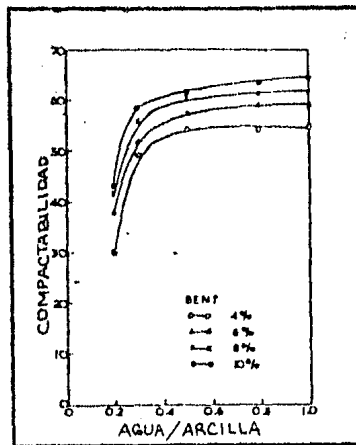


Fig. II.12 (ref.1) Efecto de la relación agua-arcilla sobre la compactabilidad en mezclas de moldeo en verde.

#### AGLUTINANTES.

Las propiedades de la mezcla bentonita arena son reportadas como la suma de los porcentajes de agua y arcilla, la resistencia a la compresión, la resistencia al corte en verde, la dureza en verde, la densidad a granel y la compactabilidad aumentan mientras que la permeabilidad, la densidad con arena cribada y la fluidez disminuyen cuando se aumenta el contenido total de mezcla para una

relación agua-arcilla dada. En el caso de la resistencia a la -- compresión en verde (fig. II.13), la resistencia al corte en verde y la permeabilidad, las gráficas son lineares. La pendiente - de estas gráficas decrece al incrementar la relación agua-arcilla excepto 0.3 para resistencia a la compresión en verde, resisten-- cia al corte en verde y dureza en verde y 0.5 para permeabilidad en verde.

Fig. II.13

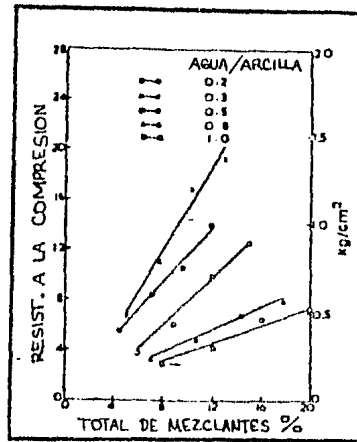


Fig. II.12 (ref.1) Efecto de la cantidad total de mezclantes sobre la resistencia a la compresión en mezclas de moldeado en verde.

Roshan <sup>(4)</sup> en 1975 realizó otra investigación para obtener una relación de diversas propiedades con el punto óptimo de la arena -- (Temper Point), con el fin de determinar la confiabilidad de estas pruebas para la determinación del punto óptimo de la arena, - tomando como punto de comparación, el valor máximo de resistencia a la compresión y el mínimo en densidad ya que cuando ocurren estos valores se dice que es el punto óptimo de la arena. Dicha investigación puede resumirse en la figura II.14, en la cual se indican los valores de cada propiedad en el punto óptimo, así como

la relación agua-arcilla a la cual encontró que ocurría este punto.

Fig. II.14

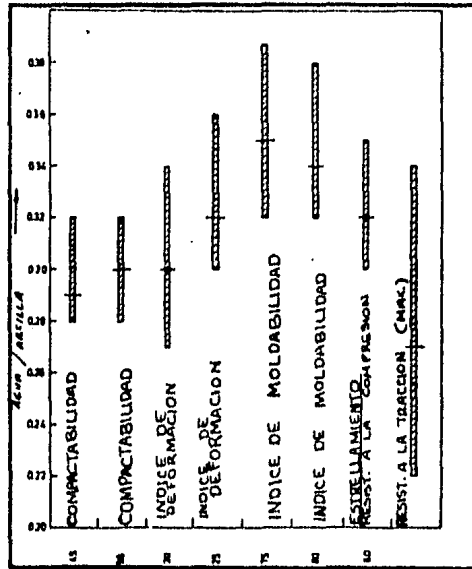


Fig. II.14 (ref.4) Representación esquemática de diferentes pruebas que demuestra el intervalo de relación agua-arcilla en el punto óptimo de la arena.

La figura II.14, para fines de comparación es muy útil ya que relaciona diferentes propiedades al punto óptimo así como también muestra un rango de relación agua-arcilla al cual podemos encontrar este punto.

Como se ha visto en el presente capítulo las investigaciones realizadas en cuanto a propiedades físicas y mecánicas en mezclas de moldeo en verde son muy coincidentes y todas ellas tratan de explicar el porque del comportamiento de estas.

## CAPITULO III

## EXPERIMENTACION

Con el objeto de obtener suficientes datos para poder establecer una base en cuanto a propiedades mecánicas y físicas de los materiales para moldeo en verde usados en la facultad de Química, se prepararon mezclas de arena que van del 2% al 12% de contenido de bentonita, tanto sódica como cálcica a intervalos de 2%, y contenidos de agua de 2, 3, 4, 5 y 6 por ciento para cada contenido de bentonita. A dichas mezclas se procedió a realizar las siguientes pruebas.

1. Contenido de humedad
2. Densidad
3. Compactabilidad
4. Permeabilidad
5. Resistencia a la compresión en verde
6. Resistencia al corte en verde
7. Resistencia a la tracción en verde
8. Moldabilidad
9. Determinación del índice de estrellamiento (Shatter)
10. Dureza en verde

Los métodos y equipo usados para cada una de estas pruebas así como de obtención de la mezcla son explicados a continuación.

### III.1 SELECCION DE LA MUESTRA

#### TAMAÑO DE PARTICULA DE LA ARENA

La fineza de una arena de fundición es determinada por el tamaño y distribución de sus partículas, el objeto de la determinación de la fineza es para determinar el porcentaje de los diferentes tamaños de los granos de arena.

La fineza de una arena tiene un papel importante dentro de las propiedades físicas de la arena para fundición, tales como, resistencia, permeabilidad, también tiene un gran efecto sobre el costo de la preparación de la mezcla ya que influye en la cantidad de material aglutinante requerido para producir las propiedades deseadas, la fineza de una arena tiene que ver también con el acabado superficial de la pieza. De aquí la importancia de esta prueba ya que de alguna manera ayuda a mantener constantes las propiedades deseadas.

#### PROCEDIMIENTO PARA EL ANALISIS DE MALLAS

Se toma una muestra de arena de 50 gramos y se coloca dentro de las cribas de norma y se colocan en serie, los cuales deberán embonar una con otra perfectamente. Se coloca la serie de cribas en la máquina "Ro - Tap" fig. III.1.1 y se hace accionar durante 15 minutos posteriormente se remueve la arena retenida en cada una de las cribas y se pesa, para calcular el porcentaje retenido en cada una de las mallas. La figura III.1.2 indica la distribución de la arena usada en este trabajo.



### CALCULO DEL INDICE DE FINEZA

Una vez calculado el porcentaje retenido en cada una de las mallas éste deberá ser multiplicado por el factor correspondiente a cada abertura de malla, el índice de fineza será determinado por la suma del producto del porcentaje retenido y el factor para cada malla, dividida entre la suma del porcentaje retenido total.

$$\text{INDICE DE FINEZA AFS} = \frac{(\sum \% \text{ Retenido} \times \text{Factor})}{\sum \% \text{ Retenido}}$$

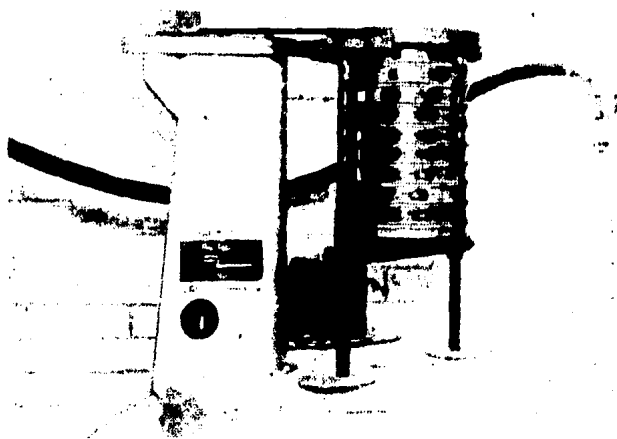


Fig. III.1.1 Aparato "ro-tap" para efectuar el análisis de mallas

En la fig. III.1.2 se indican los factores correspondientes a cada tamiz, la abertura de cada uno de estos, así como el cálculo correspondiente para la obtención del índice de fineza AFS para la arena usada en este trabajo.

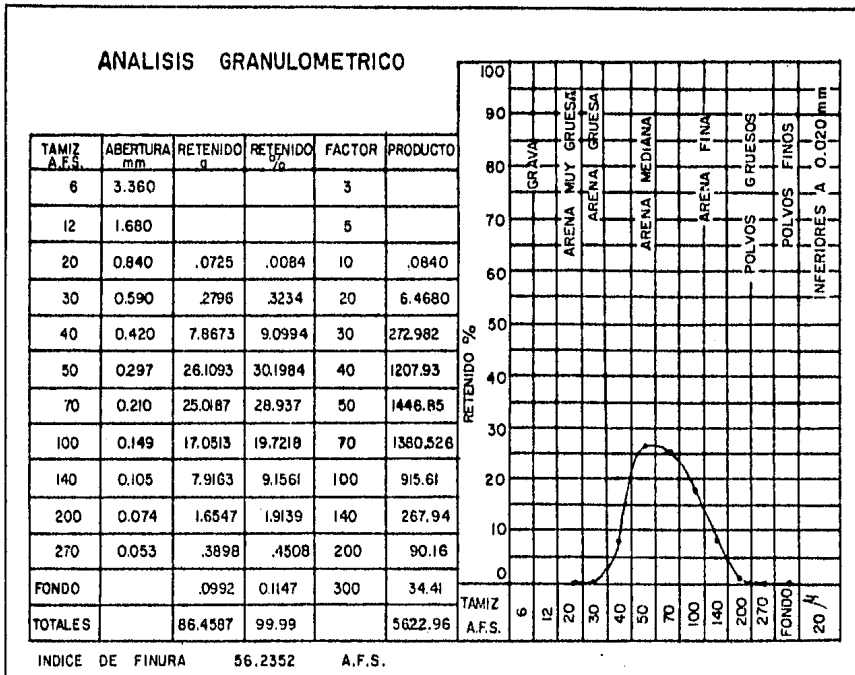


FIG. III.1.2

Fig. III.1.2 Distribución de la arena usada en este trabajo, así como la abertura de cada malla y los factores correspondientes a cada una.

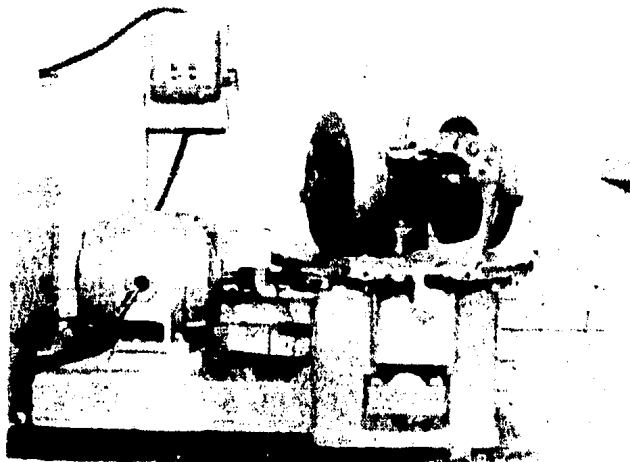
### III.2 OBTENCION DE LA MEZCLA (Métodos de Mezclado)

Las mezclas usadas en el presente trabajo fueron obtenidas usando un molino de laboratorio de ruedas verticales, como el mostrado en la figura III.2.1 y se siguieron dos métodos, estos se describen a continuación.

Método 1, empleado para las mezclas a base de bentonita cálcica.

El mezclado se realizó tomando como base de carga 3,000 gramos de sólidos es decir arena y bentonita, lo cual quiere decir que la carga total es superior a los 3,000 gramos debido al contenido de agua adicionada. Para obtener la mezcla el primer paso realizado es el mezclado de arena y agua con un exceso de 0.13% aproximadamente para compensar las pérdidas de agua por evaporación y por retención en las partes del molino. El tiempo de esta operación fue de un minuto y medio, al término del cual el molino fué destapado y la mezcla agua-arena removida con una espátula en las esquinas y partes difíciles para el mezclado, una vez realizada esta operación se adicionó el total de la bentonita calculada, tomando las precauciones necesarias para evitar pérdidas, posteriormente se realizó un mezclado final por dos minutos, al término del cual el molino se descargó haciendo pasar la mezcla a través de una malla metálica con abertura de  $\frac{1}{4}$  de pulgada y depositada en un recipiente hermético para ser probada posteriormente.

Fig. III.2.1 Molino tipo Simpson usado para la obtención de las mezclas de este trabajo.



Método 2, empleado para las mezclas a base de bentonita sódica.

En este método el mezclado se realizó tomando como base una carga total de 3,000 gramos, la cual incluye arena, bentonita y agua, también hubo variación en el tiempo de mezclado ya que para el mezclado de arena y agua también con un exceso del 0.13% se dió un tiempo de dos minutos y para el mezclado final ya con la adición de bentonita un tiempo final de tres minutos, las operaciones subsecuentes fueron las mismas que para el método 1, descrito anteriormente.

### III.3 DETERMINACION DE HUMEDAD

El contenido de humedad de una mezcla de arena puede ser determinado por el secado de una muestra pesada previamente de una mezcla de arena húmeda y calentada uniformemente a una temperatura entre 105°C y 110°C, la muestra deberá enfriarse posteriormente

a temperatura ambiente en un desecador y pesada en una balanza -- con sensibilidad de  $\pm 20$  mgr. (El rango de temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$  a  $110^{\circ}\text{C}$  es estipulado porque a mayores temperaturas se puede alterar el agua de combinación química). El contenido de humedad puede expresarse en porcentaje de la muestra original húmeda. Este método es más aplicado para trabajos de investigación y actualmente no es muy común su uso como rutina de control.

Las determinaciones realizadas en el presente trabajo se hicieron usando un determinador de humedad del tipo "aire caliente forzado" fig. III.3.1, en el cual la muestra es secada por el paso directo de aire seco hasta que el agua sea totalmente evaporada. - La cantidad de humedad total es determinada por el peso de la muestra antes y después del calentamiento directo con aire caliente.

Las principales partes de éste aparato son: Un impulsor, un calentador eléctrico y una charola que cuenta con una criba, la abertura con que cuenta esta criba es de 500 mallas. Estas partes se ensamblan para formar la unidad y montadas en un pedestal, de tal forma que el aire pasa a través del tubo vertical y por medio de el calentador el aire es calentado a  $110^{\circ}\text{C}$  y directamente el aire calentado pasa a través de la muestra para que ésta sea secada. - El equipo empleado en este trabajo cuenta con termostato y termómetro para control de la temperatura.

Fig. III.3.1

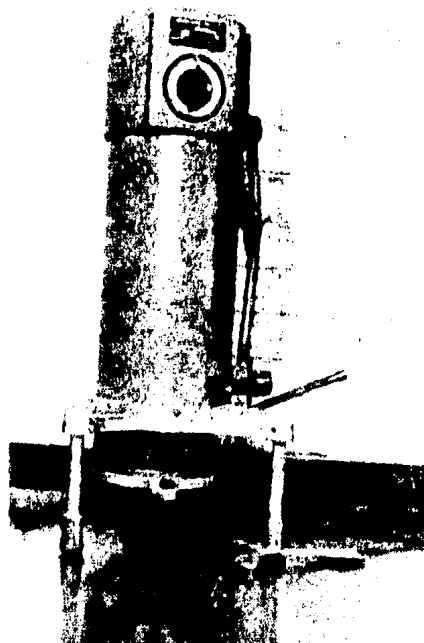


Fig. III.3.1 Determinador de humedad del tipo "aire caliente forzado"

En las determinaciones realizadas en el presente trabajo se siguió el método descrito antes, pero la balanza usada tenía una aproximación de 0.1 gramos, es por ello que estos datos no pueden considerarse muy exactos.

#### III.4 PREPARACION DE LA PROBETA DE NORMA

La probeta de norma A.F.S. para ensayos es de forma cilíndrica y de exactamente  $50.8 \text{ mm} \pm 0.025 \text{ mm}$ . ( $2 \text{ plg} \pm 0.001 \text{ plg}$ ) de diámetro y  $50.8 \text{ mm} \pm 0.795 \text{ mm}$ . ( $2 \text{ plg} \pm 1/32 \text{ plg}$ ) de altura, preparada

en el pisón norma para arena, esta probeta se utiliza para ensayos de permeabilidad, resistencia, etc., se emplea en tantos ensayos norma de A.F.S. que es de suma importancia hacer cada probeta cilíndrica de acuerdo con los procedimientos delineados aquí. De lo contrario los resultados de las pruebas serán poco fidedignos y su correlación confusa. La arena para fundición es sensible en su reacción a los procedimientos de prueba. En consecuencia es imperativo que las pruebas se realicen con el mayor cuidado y precisión, especialmente en casos de divergencia y cuando se hacen comparaciones, como los ensayos para la mayoría de las propiedades de mezclas de arena se hacen sobre la probeta de ensayo cilíndrica de norma A.F.S., es absolutamente necesario que las probetas sean preparadas de tal manera que los resultados de los ensayos puedan ser duplicados dentro de tolerancia razonables. Debe añadirse que si se ensayan dos mezclas diferentes para la comparación, se les debe ensayar al mismo tiempo bajo las mismas condiciones de humedad y temperatura.

#### ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO

Recipiente para la probeta. El recipiente para apisonar la probeta de norma (fig. III.4.1) es un tubo de acero endurecido (65 a 70 rockwell escala C), rígido de forma cilíndrica, con un diámetro interior de  $50.8 \text{ mm} \pm$  y una altura de  $120.45 \pm 0.178 \text{ mm}$ . la superficie interior del tubo es lisa (3 a 6 unidades "rms") y uniformemente circular dentro de  $0.025 \text{ mm}$ . El espesor de pared mínimo es de  $4.57 \text{ mm}$ . El tubo para la probeta debe mantenerse siem--

pre limpio. Cuando no está en uso, debe guardarse en un lugar seco o cubrirse con aceite para evitar la oxidación.

Pisón. El instrumento para apisonar la probeta de norma A.F.S. - consiste de una varilla de acero en cuyo extremo inferior se fija una cabeza apisonadora de acero endurecido con un diámetro de - - 50.65 mm. + 0.05 mm para producir un ajuste deslizante con el diámetro interior del tubo de la probeta.

Sobre la varilla se monta un peso de 6.350 Kg. + de tal manera -- que pueda deslizarse libremente por la varilla hacia arriba y hacia abajo por una distancia de 50.8 mm entre los soportes de ésta (fig. III.4.2). Para correlacionar el trabajo de ensayo con los resultados obtenidos en la fundición debe usarse un pison de altura variable de 6.350 Kg uno de altura constante y peso variable.- Esto duplicará las durezas de molde en una fundición particular - con mayor aproximación.

Uno de los pasos más importantes en el empleo del equipo para apisonar probetas es el de atender a que el pison esté montado y fijado a una base apropiada. El descuido de este detalle es con -- frecuencia responsable de que los resultados obtenidos de los ensayos realizados sobre la probeta cilíndrica de norma A.F.S. sean erráticos e incorrectos. Una forma de fijar el pison con seguridad es sobre un pedestal de concreto o un poste de madera o viga en I de 203 x 305 x 915 mm.

Por otro método, se fija el pison a una base especial fig.III.4.3



la cual consiste de una placa gruesa de metal conectada en un extremo a otra placa de metal de menor espesor por una tira de metal. Esta construcción resulta en una reacción de resorte voladizo que se dice independiza al pison del cimiento sobre el cual es tácolocado.

El peso total de la parte móvil del conjunto es de 7.938 Kg.  $\pm$  0.022 Kg. para pisones equipados con un excéntrico que alza el peso, la manija del excéntrico se mantiene en posición horizontal mientras se acciona el conjunto. El peso puede elevarse a mano con una palanca fijada al excéntrico y dejarse caer. Debe tenerse cuidado con ambos métodos para asegurar que el peso caiga sobre los 50.8 mm. especificados. El excéntrico debe inspeccionarse a intervalos regulares; y si se hubiese desgastado lo bastante para variar la distancia de caída a un valor que difiera de la cantidad especificada anteriormente, debe ser restituido a su tamaño apropiado o reemplazado.

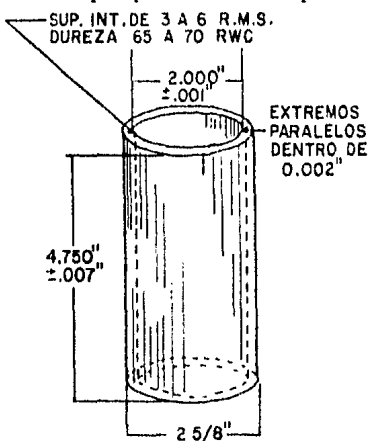


Fig. III.4.1 Tubo recipiente para la probeta norma A.F.S.

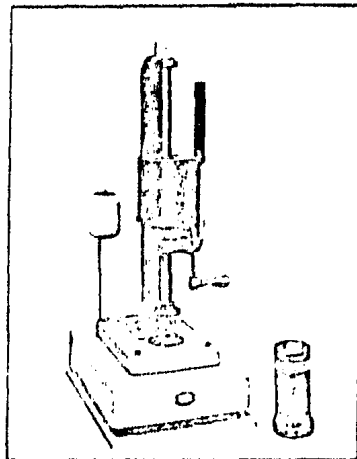
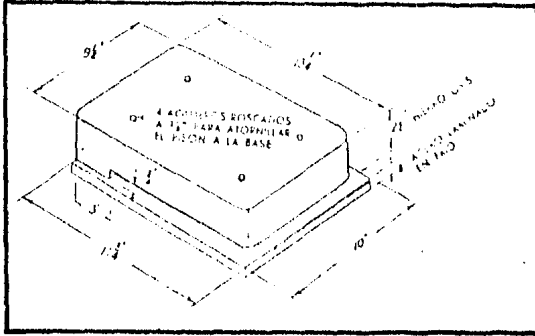


Fig. III.4.2 Instrumento para apisonar la probeta de norma A.F.S.

Fig. III.4.3 Base especial para un apisonador de arena.



El equipo para remover la probeta de arena comprimida del recipiente tubular consiste de un poste de metal de una longitud un tanto mayor que la del tubo de la probeta y montado verticalmente sobre un soporte. El poste tiene  $49.28 \text{ mm} \pm 0.58 \text{ mm}$  de diámetro en la superficie superior es plana y perpendicular al eje del tubo de la probeta y está endurecida para resistir al desgaste. Para guiar el tubo de la probeta, el poste removedor está habilitado con guías de  $25.4 \text{ mm}$  de longitud y de  $48.76 \text{ mm}$  a  $49.78 \text{ mm}$  en diámetro, colocados  $50.8 \text{ mm}$  de la cabeza del poste.

Cuando la muestra de arena se coloca en el tubo portaprobeta para el apisonado, éste se coloca sobre un pedestal de metal acoplado para evitar que la arena se escurra.

En la parte superior del bastidor se soporta al mecanismo apisonador y en la parte posterior de la varilla del pisón, sobre el soporte superior, hay una escala con tres marcas horizontales de tolerancia. La marca del centro corresponderá con la parte supe-

rior de la varilla del pison cuando una probeta de arena apisonada de exactamente 50.8 mm. de altura se encuentra en el tubo portaprobeta después del tercer golpe en el procedimiento normal y cuando la cabeza apisonadora descansa sobre la parte superior de la probeta. Las otras dos marcas están, respectivamente, a - - - 0.793 mm (1/32 plg), por encima y por debajo de la marca central para indicar la tolerancia permisible en el tamaño de la probeta para ensayos rutinarios. Para obtener los mejores resultados, -- los ensayos deben encarrilarse entre la marca de tolerancia superior a la línea cero.

#### PROCEDIMIENTO NORMA PARA PREPARAR PROBETAS.

Pesar una cantidad suficiente de arena humedecida de la muestra preparada para formar, cuando se apisone, una columna de 50.8 mm de altura, colocar la arena cuidadosamente en el recipiente tubular que descansa sobre el pedestal del tubo, colocar el pedestal y el tubo de la probeta con la arena en posición bajo el pisón, - teniendo cuidado de mantener el tubo en posición vertical para no estorbar la arena suelta en el tubo.

Bajar suavemente la cabeza del pisón dentro del recipiente tubular de la probeta hasta que lo sostenga la arena. Levantar lenta mente el peso del pisón a mano o por excéntrico, hasta la altura completa de 50.8 mm y entonces dejarlo caer. Repetir esto dos ve ces, haciendo un total de tres golpes. Un levantamiento rápido y descuidado del peso puede ocasionar que éste golpee contra el an llo de la varilla del pisón, levantando a éste último y por tanto

causando la caída del peso por más de 50.8 mm.

Aunque se consideran tres golpes como normal, es posible que el molde sea más duro o más blando que la dureza producida por este número de golpes. En tal caso, es permisible dar a la probeta el número de golpes que produzcan una dureza correspondiente con la del molde.

Nótese si la parte superior de la varilla corresponde con la línea central del marcador de tolerancia para trabajos de investigación o de comparación, o si queda dentro de las marcas de tolerancia de 0.793 mm (1/32 plg) para trabajos de control. Si la probeta no tiene la altura correcta, descártese y vuélvase a preparar colocando la cantidad de arena humedecida en el recipiente necesaria hasta obtener la probeta de norma exactamente.

### III.5 RESISTENCIA EN VERDE

La determinación de una arena para fundición puede ser determinada por pruebas de compresión corte, tracción o ruptura.

Todos los tipos de pruebas son usados para control y generalmente se consideran satisfactorias para tal propósito, sin embargo las pruebas de resistencia al corte y resistencia a la tracción pueden ser usadas más frecuentemente como una correlación de tales propiedades con la resistencia a la compresión sobre un rango de dureza de molde, ya que indica mejor como reaccionará la arena dentro de las condiciones de fundición. El buen entendimiento de la resistencia al corte y a la tracción de las arenas de moldeo

así como de las causas que controlan dichas propiedades es necesario para el mejor uso de la arena en verde.

### III.5.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION

La resistencia a la compresión de una arena es el máximo esfuerzo compresivo que una mezcla es capaz de soportar cuando es preparada, apisonada y probada acorde a un procedimiento norma.

El equipo usado en este trabajo es del tipo péndulo de peso muerto o de bajo rango, la figura III.5.1 muestra un equipo de este tipo, el cual consiste de un péndulo y un brazo opresor, los cuales están montados en una base. El péndulo y el brazo opresor están provistos con ahujeros en los cuales se insertan las mordazas para sujetar la probeta norma.

Fig. III.5.1

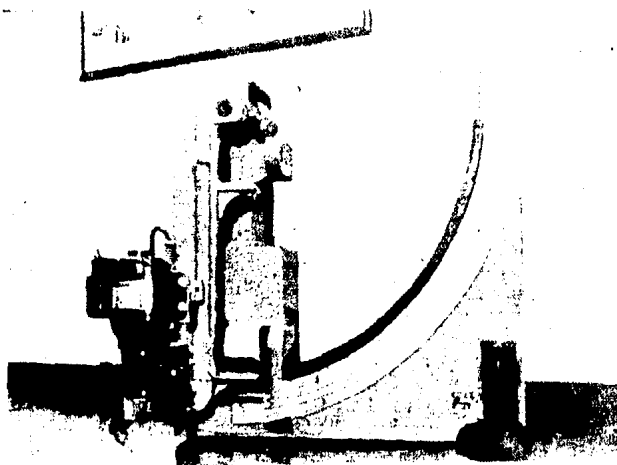


Fig. III.5.1 Máquina para determinar resistencia a la compresión y resistencia al corte del tipo de peso muerto o de bajo rango.

Un motor levanta el brazo opresor por el arco, forzando a la probeta a levantar al péndulo e incrementando así la carga sobre la

probeta hasta que ésta se rompe, al romperse la probeta se acciona automáticamente la reversa y regresa el peso y el brazo opresor a su posición inicial.

En la base se encuentra montada una escala graduada y la forma de ésta es la misma que describe la trayectoria del péndulo. Un aditamento magnético es colocado sobre la escala delante del péndulo, dicho aditamento se desplaza durante la prueba junto con el péndulo hasta el rompimiento de la probeta, en ese instante el péndulo regresará a su posición original dejando el aditamento magnético sobre la escala en la posición de máxima resistencia, indicando así el valor de resistencia a la compresión.

La máquina está diseñada para realizar pruebas de resistencia al corte y resistencia a la compresión tanto en verde como en seco, para lo cual habrá de cambiar las mordazas, ya que cada prueba requiere de mordazas especiales. La escala cuenta con dos rangos de carga, la inferior da un rango de 0 a 18.7 lb / plg<sup>2</sup> (12.89 N / cm<sup>2</sup>) para resistencia a la compresión y de 0 a 14.7 lb / plg<sup>2</sup> (10.14 N / cm<sup>2</sup>) para resistencia al corte, la superior da un rango de 0 a 93.5 lb / plg<sup>2</sup> (50.68 N / cm<sup>2</sup>) para resistencia al corte.

Si se excediera de 18.7 lb / plg<sup>2</sup> (12.89 N / cm<sup>2</sup>) la carga en la posición inferior, la probeta y las mordazas de compresión deberán cambiarse a la posición superior y la carga entonces, deberá leerse en la escala de compresión en seco. La rapidez de carga tiene gran efecto en los valores de resistencia obtenidos para lo

cual es necesario la calibración de la máquina para mantener la rapidez de carga uniforme, la rapidez de carga deberá ser de  $30 \pm 5 \text{ lb / plg}^2$  por minuto,  $20.08 \pm 3.45 \text{ N / cm}^2$  por minuto.

El procedimiento para realizar esta prueba es simplemente preparar una probeta norma de acuerdo a la sección III.4 y removerla del tubo recipiente mediante el desmontador para ser colocada en las mordazas para prueba, tomando la precaución de que la probeta quede bien sujeta, una vez realizado ésto se da marcha a la máquina hasta que la acción de la carga rompe la probeta, entonces, la máquina para accionar la reversa automáticamente. La máxima carga compresiva se lee directamente sobre la escala y es indicada por el aditamento magnético, en este trabajo cada prueba se realizó por triplicado para obtener un valor promedio.

### III.5.2 RESISTENCIA AL CORTE

La resistencia al corte en verde es la resistencia máxima al corte que puede desarrollar una mezcla de arena en estado húmedo.

El equipo empleado es el mismo que se usó para la prueba de resistencia al corte y sus características fueron señaladas en la sección III.5.2, las mordazas de corte tienen caras de discos semicirculares en lugar de caras placas circulares, como es el caso de resistencia a la compresión.

El procedimiento de esta prueba es el siguiente. Se prepara una probeta norma de acuerdo a la sección III.4, y después de retirada del tubo recipiente, se realiza la prueba mediante la aplica-

ción uniforme de una carga a las dos mitades diametralmente opuestas de las dos superficies planas de la probeta a razón de  $24 \pm 1 \text{ lb / plg}^2 / \text{min}$ ,  $1.69 \pm 0.35 \text{ kg / cm}^2 / \text{min}$ , aplicándose la carga a lo largo del eje de la probeta, la resistencia al corte será generalmente un promedio de tres a cinco ensayos.

### III.5.3 RESISTENCIA A LA TRACCION EN VERDE.

La resistencia a la tracción es la máxima resistencia que la mezcla es capaz de soportar cuando se prepara, y comprime de acuerdo con los procedimientos norma. "La resistencia a la tracción en verde" es la resistencia a la tracción de una mezcla de arena para fundición en condición humedecida.

La máquina utilizada para las determinaciones es del tipo universal de viga y es ilustrada en la figura III.5.3. La prueba de tracción deberá efectuarse aplicando una carga de tracción uniforme sobre una probeta norma, para lo cual la rapidez de carga no deberá exceder de  $1.29 \pm 43 \text{ N / cm}^2$  por minuto ( $30 \pm 10 \text{ Oz / plg}^2 / \text{min}$ ), los resultados para la prueba de tracción podrán expresarse en  $\text{Oz / plg}^2$  o  $\text{N / cm}^2$ . La probeta norma es apisonada en un tubo dividido en dos partes, diseñado para que la arena pueda separarse durante la prueba aproximadamente a la mitad de la probeta cuando ésta se rompe. La figura III.5.3-2 muestra una sección del dispositivo para la obtención de la probeta norma. Una vez preparada la probeta de acuerdo a la sección III.4 se coloca en el portatubos de la máquina y se sujeta firmemente con los tornillos, el tensor se coloca a los pernos que posee el tubo



de la probeta y se aplica la carga hasta que la probeta sea dividida en dos partes, una vez que ocurra esto la máquina para automáticamente y se acciona la reversa también automáticamente. El valor de resistencia a la tracción en  $02 \text{ kg/cm}^2$  se lee directamente del disco en la escala correspondiente a resistencia a la tracción, es conveniente realizar la prueba por triplicado para obtener un valor promedio.

Fig. III.5.3.1

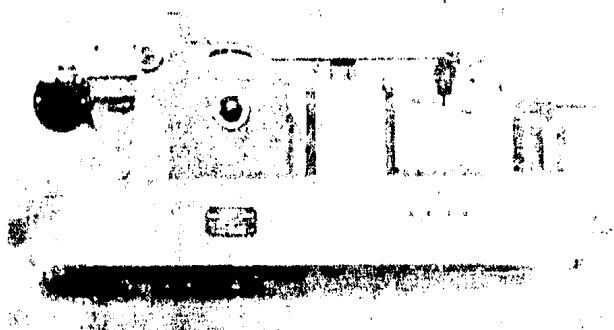


Fig. III.5.3.1 Máquina del tipo universal para determinar la resistencia a la tracción.

Fig. III.5.3.2

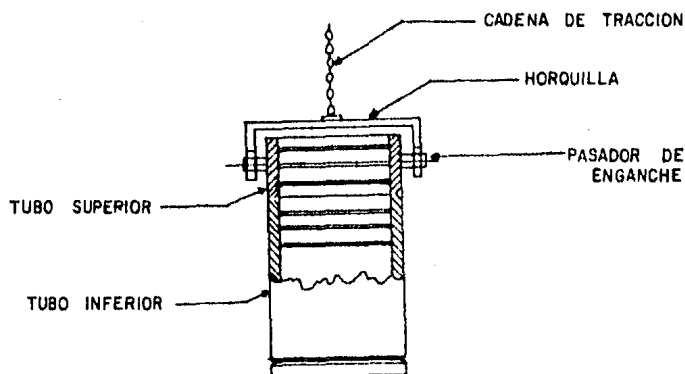


Fig. II.5.3.2 Sección del dispositivo para la obtención de la probeta norma, para la determinación de la resistencia a la tracción en verde.

### III.6 COMPACTABILIDAD EN VERDE

La prueba de compactabilidad determina el porcentaje que decrece en altura una masa de arena suelta por la influencia de la compactación. Los valores de compactabilidad son directamente relacionados a la acción de la arena en el moldeo y reflejan el grado óptimo de la arena en el moldeo.

La prueba es independiente de la gravedad específica de la arena y es por lo tanto superior para indicar el punto óptimo que el que indica la prueba de densidad a granel.

El procedimiento para la determinación es el siguiente. Se criba la arena de moldeo a través de una criba con abertura de 0.635 cm (1/4") directamente sobre un tubo para probeta, el cual ha sido lubricado previamente, el tubo deberá llenarse hasta sobre-

pasarlo y posteriormente retirar la arena excedente para dejarlo al raz, teniendo cuidado que la arena no sufra empaquetamiento -- previo a la prueba. La arena se apisona con tres golpes en el -- equipo norma y se mide el decremento en altura de la arena desde el tope del tubo. El decremento en altura es dividido entre la - altura inicial de la arena cribada y se expresa en porciento. El valor de compactabilidad puede ser leído directamente de una esca la de compactabilidad montada en el equipo apisonador norma, como fué el caso del presente trabajo.

La presencia de un exceso de humedad a la requerida para establecer el punto de mínima densidad de la mezcla bentonita-arena da - como resultado la existencia de agua libre en los puntos de con-- tacto dentro de la misma arena.

El agua libre inhibe la fluidez, incrementa el espaciamiento entre los granos adyacentes y disminuye el peso de la arena que puede ser cribada dentro de un recipiente de capacidad determinada.

El punto de mínima densidad de la mayoría de las mezclas de mol-- deo a base de arena-arcilla-agua se presenta aproximadamente al - 60 porciento de compactabilidad.

### III.7 DENSIDAD

La densidad de una probeta es la relación existente entre el peso de la muestra que se determinó experimentalmente para obtener la probeta dentro de especificaciones de norma y el volumen del cilindro.

$$\rho = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{volumen del cilindro}}$$

La determinación de densidad en el presente trabajo fue realizada tomando un peso constante de 165 gramos, y por medio de un aditamento especial montado en el equipo apisonador se lee directamente sobre la escala el valor correspondiente a la densidad de la muestra.

La densidad a granel es la relación entre el peso de la probeta para compactabilidad y el volumen del cilindro para obtener la probeta. En este trabajo esta prueba no se realizó debido a que no se tomaron las notas correspondientes a los pesos de las probetas en la prueba de compactabilidad.

$$\rho_3 = \frac{\text{Peso de la probeta de compactabilidad}}{\text{Volumen del tubo para probetas}}$$

La densidad a granel es entonces, la densidad de la mezcla sin ser apisonada.

### III.8 PERMEABILIDAD EN VERDE

La permeabilidad se define como la propiedad física de la masa moldeada de una mezcla de arena que permita el paso de gas a través de la misma. Se determina por la cantidad de aire que puede pasar a través de la muestra cilíndrica de norma AFS (50.8 mm X 50.8 mm) bajo una presión también normalizada. Las propiedades de ventilación de moldes y machos de arena dependen de las propiedades de permeabilidad. Una mezcla de arena de permeabilidad elevada tiene buenas propiedades de ventilación debido a su porosi-

dad. El tamaño de los granos en una arena para fundición, la forma y distribución de los mismos, el tipo y cantidad de material aglutinante, la densidad a que la arena se ha empacado y el porcentaje de humedad utilizado para humedecerla constituyen factores importantes para regular el grado de permeabilidad.

Es conveniente determinar la permeabilidad de una arena para fundición bajo cualquiera de varias condiciones. Cinco de éstas han sido aceptadas y definidas en la siguiente forma.

- 1) Permeabilidad base. La permeabilidad de los granos compactados de arena en seco sin contenido de arcilla u otra sustancia aglutinante.
- 2) Permeabilidad en verde. La permeabilidad de una masa de arena moldeada en condición humedecida.
- 3) Permeabilidad en seco. La permeabilidad de una masa de arena moldeada que contiene arcilla y/o aglutinantes según clasificación de la AFS y que ha sido secada completamente entre 104 y 110°C (220 - 230°F) y enfriada en un secador hasta la temperatura ambiente.
- 4) Permeabilidad horneada. La permeabilidad horneada de una masa de arena moldeada que ha sido secada o curada en horno o estufa a una temperatura mayor de 110°C y enfriada en un secador hasta la temperatura ambiente.
- 5) Permeabilidad de macho. La propiedad física que permite el -

paso de gas a través de una mezcla de arena moldeada que ha sido curada.

Para determinar la permeabilidad de las mezclas de arena para fundición se empleará la probeta de ensayo cilíndrica de norma AFS - de 50.8 mm X 50.8 mm (2 plg X 2 plg), según se describe en la sección III.4.

La permeabilidad se determina por la velocidad del flujo de aire bajo presión normal a través de la probeta de ensayo cilíndrica de norma AFS. El procedimiento para determinar la permeabilidad norma se utiliza para obtener datos de comparación o datos que se habrán de publicar. Las probetas deben prepararse con el mayor cuidado para asegurar resultados fidedignos. Para el ensayo de norma bajo cronómetro se emplea un instrumento sin orificio alguno. Este instrumento tiene un tambor flotante grabado en la superficie exterior con marcas calibradas de 0.1000 y 2000 cc, que suministra 2000 cc de aire (+ uno por cierto) bajo una presión de 10 gramos/cm<sup>2</sup> cuando el tambor se mueve desde la marca de calibración 0 hasta la de 2000.

Se prepara una probeta de acuerdo a la sección III.4, con la probeta en el extremo superior del tubo portaprobeta, colocar el tubo en el pocillo de mercurio en tanto se mantiene el tambor suspendido sobre el agua. Entonces, dejar asentar el tambor en el agua y abrir la válvula que permite que el aire que está dentro del tambor pase a través - - - - -

de la probeta. Con un cronómetro, medir el tiempo requerido para que una cantidad exacta de 2000 cc (122 plg<sup>3</sup>) de aire pase a través de la probeta y registrar el tiempo medido como dato. Es permisible usar volúmenes de aire menores de 2000 cc para ahorrar -- tiempo. Deben hacerse las correcciones adecuadas al calcular el valor de la permeabilidad. Mientras el aire pasa a través de la probeta y tan pronto la presión se mantenga fija, leer la presión indicada en el monómetro y registrarla en gramos por centímetro - cuadrado.

La permeabilidad se expresa como el volumen de aire en centíme- - tros cúbicos que pasa por minuto, bajo una presión de un gramo/ - cm<sup>2</sup>, a través de una probeta de un centímetro cuadrado de superfi- - cie transversal y un centímetro de altura. En la siguiente fórmu- - la, la permeabilidad es numéricamente igual al producto del núme- - ro de centímetros cúbicos de aire que pasan a través de una probe- - ta de arena para ensayo por la altura de la probeta en centíme- - tros, dividido por el producto de la presión en gramos/cm<sup>2</sup> y el - tiempo en minutos.

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

P = Número de permeabilidad

V = Volumen del aire que pasa a través de la probeta en cc

h = Altura de la probeta en centímetros

p = Presión del aire en gramos por cm

a = Superficie transversal de la probeta en cm

t = Tiempo en minutos

Debe hacerse la corrección necesaria para los cambios en la temperatura y en la presión barométrica.

El método realizado en este trabajo fue usando un medidor de Permeabilidad de Lectura Directa. Para la medición de la permeabilidad en verde y en seco de arenas para fundición, machos, pinturas y materiales de recubrimiento, refractarios y otras sustancias porosas. Se pueden obtener entonces lecturas directas de permeabilidad equivalentes a la norma de la AFS en forma automática o por medio de un cronómetro.

Un gasometro se mantiene libre de fricción debido a un sello de agua de 2.54 cm (una plg) de ancho en el cual flota el tambor del gasómetro. La presión de aire de 10 gramos/cm<sup>2</sup> es constante y precisa en cualquier momento y a cualquier nivel del tambor. Un motor sincrónico impulsa la manecilla del reloj de permeabilidad. La carátula del reloj es de 15.24 cm (6 plg) de diámetro, con escalas para lecturas de 2.6 a 500 de permeabilidad. Está provisto con una mira para que se puedan anotar con precisión las marcas de calibración que pasan sobre el tambor. La permeabilidad cronométrica norma puede determinarse utilizando la totalidad de los 2000 cc de aire.



Fig. III.8.1

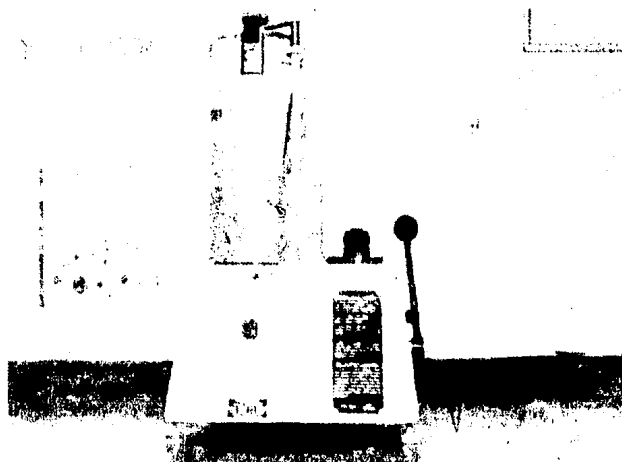


Fig. III.8.1. Este aparato mide la moldabilidad de lectura directa.

### III.9 MOLDABILIDAD

La mayoría de las pruebas para arenas de moldeo en verde son realizadas con arena compactada, la prueba de moldabilidad es un valor que tiene por objeto medir la propiedad de la mezcla de arcilla a granel, antes de sujetarse a sacudidos, apisonados o prensado. Esta mide la cohesión intergranular de la arena a granel y provee un índice de la capacidad de la arena a fluir al rededor del modelo.

El índice de moldabilidad es fuertemente afectado por la cantidad de agua en la mezcla y refleja el grado de activación de los aglutinantes y es sensible a la molienda y de alguna forma al tiempo de almacenaje, ya que estos factores afectan la cantidad de agua ligada a la arcilla.

El equipo requerido es un aparato dotado de una criba rotatoria -

para determinación del índice de moldabilidad como el mostrado en la figura III.9.1. La criba rotatoria deberá ser construida con una abertura de 8 mallas y con un diámetro de 7 pulgadas, la velocidad de operación deberá ser de 57 rpm.

Para realizar la prueba se coloca una charola debajo de la criba rotatoria para recolectar toda la arena que pase a través de la criba. Usando una criba con una abertura de  $7/8''$ . Se criba arena directamente de un recipiente sobre la balanza hasta obtener una muestra de 200 gramos, se transfiere la muestra dentro de la criba rotatoria y se hace rotar durante 10 segundos.

Fig. III.9.1

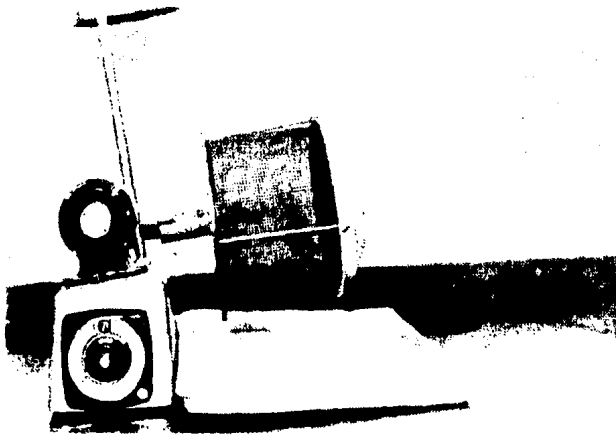


Fig. III.9.1 Aparato para determinar el índice de moldabilidad.

El índice de moldeabilidad se calcula dividiendo el peso de la arena que pasó a través de la criba rotatoria entre el peso original de la muestra y multiplicado por cien.

$$\text{Indice de moldabilidad} = \frac{\text{Peso de la arena que pasó a través de la criba}}{\text{Peso original de la muestra}}$$

### III.10 DUREZA SUPERFICIAL

La dureza superficial puede ser determinada por esta prueba y es la resistencia ofrecida por la superficie de un molde a la penetración de un objeto cuando se le aplica una carga.

La aplicación práctica de esta prueba es para estandarizar el grado de apisonado, la dureza puede controlarse por el ajuste de la máquina de moldeo y el proceso de moldeo. La máxima dureza del molde a la cual un molde podrá ser apisonado puede ser determinada por esta prueba. Una variación en la dureza del molde puede encontrarse en diferentes partes del mismo molde, lo cual indica el acompañamiento en variación en las propiedades de la arena.

El aumento en la dureza del molde a un rango óptimo da a la dureza dimensiones más exactas y reduce la penetración e hinchazón de la pieza, una dureza por debajo del rango óptimo causa rompimiento, costras, sopladuras, picaduras y penetración. La dureza podrá ser determinada de acuerdo al proceso del moldeo, el tipo de pieza y al metal.

Para determinar la dureza se requiere de un instrumento como el mostrado en la figura III.10.1, este está dotado de una carátula en que se encuentra una escala de 0 al 100. El principio de esta prueba es similar a la prueba de dureza Brinell. Un molde que no ofrece resistencia a la penetración de la bola tendrá una dureza

igual a cero, y uno que tenga la dureza capaz de resistir completamente la penetración tendrá una dureza igual a 100.

Fig. III.10.1

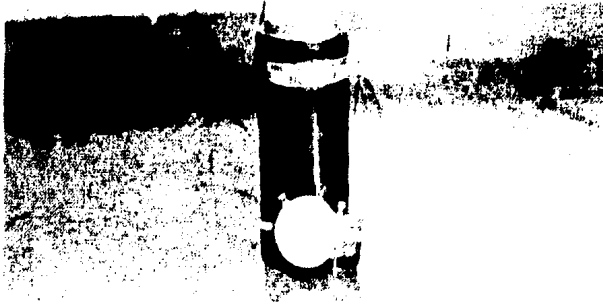


Fig. III.10.1 Instrumento para determinar la dureza superficial del molde.

Para determinar la dureza superficial de un molde se coloca el penetrador en contacto con la superficie del molde y se aplica la carga al penetrador presionando firmemente y se lee la profundidad de penetración directamente en la carátula ya que cada división de la carátula corresponde a una milésima de pulgada de profundidad. La prueba debe ser realizada inmediatamente después de retirar la probeta norma del tubo o bien después de que el modelo se ha retirado del molde.

### III.11 PRUEBA DE ESTRELLAMIENTO (Shatter)

La prueba de estrellamiento está incluida sólo en las series de

normas de Gran Bretaña. En muchas formas esta es una prueba satisfactoria y ésta se ha visto sustituida por pruebas más satisfactorias. Esta prueba provee un índice de la susceptibilidad de la arena al impacto y es una propiedad no fácilmente medible.

El índice de estrellamiento (Shatter) es definido como la proporción en peso de una probeta norma retenida por una malla con abertura de 0.5 pulgadas cuando ésta es estrellada por la caída de una esfera sólida desde una altura de 6 pies.

El aparato en el que se efectuó esta prueba es mostrado en la figura III.11.1 Este aparato cuenta con un sujetador magnético en el cual se colocan la esfera sólida, y una base para la probeta la cual deberá estar perfectamente alineada para que a su caída la esfera dé exactamente en el centro de la probeta.

Es necesario que al efectuar esta prueba se haga con el mayor de los cuidados ya que en esta prueba siempre se corre el riesgo de tener errores por mala operación. El índice de estrellamiento se calcula de la siguiente manera.

$$\text{Índice de estrellamiento} = \frac{\text{Peso de la arena retenida en la malla}}{\text{Peso de la probeta}}$$

Fig. III.11.1

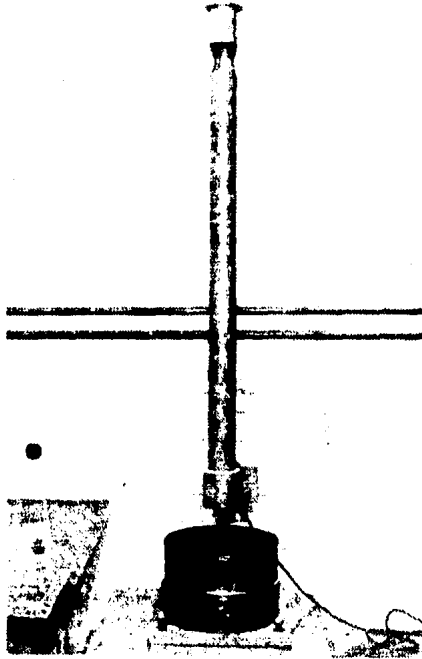


Fig. III.11.1 Aparato para determinar el índice de estrellamiento.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

Las pruebas efectuadas en el presente trabajo se realizaron de acuerdo a los métodos en el capítulo III y los resultados se presentarán a continuación.

#### BENTONITA CALCICA

Las tablas de IV.1 a IV.6, corresponden a los datos obtenidos para resistencias, cuando las mezclas fueron preparadas usando Bentonita Cálcica, y estos valores se encuentran graficados en la figura IV.1 en la cual se grafican las resistencias en sus tres variantes; compresión, corte y tracción contra el contenido de humedad teórico.

En las tablas de la IV.7 a la IV.12 se tabulan los resultados obtenidos para las siguientes pruebas; obtención del peso de la probeta norma, compactabilidad, densidad, permeabilidad, índice de estrellamiento (shatter) y dureza superficial, así como también el contenido experimental de estos valores se graficaron en gráficos múltiples en las que se representan todas estas propiedades en una misma figura además de incluir la resistencia a la compresión. Las figuras de la IV.2 a la IV.6 representan los valores de las propiedades antes mencionadas contra el contenido de humedad teórico, siendo cada una de éstas para un contenido de bentonita dado.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

Las pruebas efectuadas en el presente trabajo se realizaron de acuerdo a los métodos en el capítulo III y los resultados se presentarán a continuación.

#### BENTONITA CALCICA

Las tablas de IV.1 a IV.6, corresponden a los datos obtenidos para resistencias, cuando las mezclas fueron preparadas usando Bentonita Cálcica, y estos valores se encuentran graficados en la figura IV.1 en la cual se grafican las resistencias en sus tres variantes; compresión, corte y tracción contra el contenido de humedad teórico.

En las tablas de la IV.7 a la IV.12 se tabulan los resultados obtenidos para las siguientes pruebas; obtención del peso de la probeta norma, compactabilidad, densidad, permeabilidad, índice de estrellamiento (shatter) y dureza superficial, así como también el contenido experimental de estos valores se graficaron en gráficos múltiples en las que se representan todas estas propiedades en una misma figura además de incluir la resistencia a la compresión. Las figuras de la IV.2 a la IV.6 representan los valores de las propiedades antes mencionadas contra el contenido de humedad teórico, siendo cada una de éstas para un contenido de bentonita dado.



la figura IV.7 muestra la representación del índice de estrellamiento contra el contenido de humedad teórico y la figura IV.8 la dureza superficial contra el contenido de humedad teórico ambos - para mezclas preparadas con bentonita cálcica.

#### BENTONITA SODICA

Las tablas de la IV.13 a la IV.17 corresponden a los resultados - obtenidos para resistencias, con mezclas preparadas con bentonita sódica y estos valores se grafican en la figura IV.9 en la cual - se representan las resistencias a la compresión, corte y tracción contra el contenido de humedad teórico.

En las tablas de la IV.19 a la IV.24 se encuentran los resultados obtenidos para las siguientes pruebas, obtención del peso de la - probeta norma, compactabilidad, densidad, permeabilidad, moldeabilidad, índice de estrellamiento (Shatter) y dureza superficial, - así como también el contenido de humedad experimental. Estos valores son graficados en las figuras de la IV.10 a la IV.15 en los cuales además de graficar cada una de estas propiedades contra el contenido de humedad, se incluye también la curva correspondiente a la resistencia a la compresión, cada una de estas figuras corresponde a un contenido de Bentonita Sódica en particular.

La figura IV.16 muestra una representación gráfica del comportamiento del índice de estrellamiento (Shatter), contra el contenido de humedad, para los contenidos de bentonita sódica estudiados.

En la figura IV.17 se grafican los valores de dureza contra el -- contenido de humedad para los valores de contenido de bentonita - sódica estudiados.

TABLA IV.1 RESISTENCIAS MECANICAS PARA 2 % BENTONITA CALCICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA AL CORTE (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCION (N/Cm <sup>2</sup> )
2	1.8	0.96	0.10	0.60
3	2	—	—	—
4	3.8	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—

TABLA IV.2 RESISTENCIAS MECANICAS PARA 4 % BENTONITA CALCICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA AL CORTE (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCION (N/Cm <sup>2</sup> )
2	2.0	3.27	0.83	1.12
3	2.8	2.05	0.42	0.52
4	4.2	1.58	0.34	1.21
5	5.2	1.21	0.27	—
6	6.0	1.11	0.27	—

TABLA IV.3 RESISTENCIAS MECANICAS PARA 6 % BENTONITA CALCICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA AL CORTE (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCION (N/Cm <sup>2</sup> )
2	2.2	6.96	1.38	2.76
3	3.2	5.07	1.03	1.55
4	4.2	3.76	0.72	0.98
5	4.8	2.65	0.55	0.90
6	6.2	2.21	0.48	0.86

TABLA IV. 4 RESISTENCIAS MECANICAS PARA 8 % BENTONITA CALCICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA AL CORTE (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCION (N/Cm <sup>2</sup> )
2	2.2	10.98	2.46	3.99
3	3.2	8.58	1.96	3.34
4	4.1	6.62	1.52	2.41
5	5.2	4.93	1.14	1.65
6	6.2	3.79	0.83	1.30

TABLA IV. 5 RESISTENCIAS MECANICAS PARA 10 % BENTONITA CALCICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA AL CORTE (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCION (N/Cm <sup>2</sup> )
2	2.2	13.10	3.10	5.58
3	3.2	11.41	2.76	4.89
4	4.2	9.37	2.21	3.79
5	5.2	8.24	1.96	2.31
6	6.4	7.07	1.65	2.24

TABLA IV. 6 RESISTENCIAS MECANICAS PARA 12 % BENTONITA CALCICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA AL CORTE (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCION (N/Cm <sup>2</sup> )
2	2.4		2.98	3.99
3	3.8	16.54	3.79	6.83
4	4.6	12.01	3.45	6.83
5	5.4	11.27	2.72	4.69
6	6.2	9.89	2.52	4.10

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	PESO DE LA PROBETA 51d 2 x 2 (In) (Gr)	COMPACTA - BILIDAD %	DENSIDAD g/Cm <sup>3</sup>	PERMEA - BILIDAD	MOLDA- BILIDAD %	PRUEBA SHATTER %	DUREZA (DIETER)
2	1.8	155	42.0	1.47	200.0	42.76	27.63	25
3	2.0	155	39.0	1.5	-	58.40	19.61	-
4	3.8	156	41.5	1.51	-	49.77	20.77	26
5	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-

TABLA IV-7 ALGUNAS MEDICIONES FISICAS PARA 2 % BENTONITA CALCICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	PESO DE LA PROBETA 51d 2 x 2 (In) (Gr)	COMPACTA - BILIDAD %	DENSIDAD g/Cm <sup>3</sup>	PERMEA - BILIDAD	MOLDA- BILIDAD %	PRUEBA SHATTER %	DUREZA (DIETER)
2	2.0	155	47.5	1.47	165.0	69.10	28.32	75
3	2.8	156	48.5	1.5	165.0	51.47	-	57.5
4	4.2	157	48.5	1.49	150.0	31.80	47.64	50
5	5.2	158	46.0	1.54	-	31.07	36.20	42
6	6.0	159	44.0	1.56	-	29.67	43.58	38

TABLA IV-8 ALGUNAS MEDICIONES FISICAS PARA 4 % BENTONITA CALCICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	PESO DE LA PROBETA Sd 2 x 2 (in) (Gr)	COMPACTA - BILIDAD %	DENSIDAD g/Cm <sup>3</sup>	PERMEA - BILIDAD	MOLDA - BILIDAD %	PRUEBA SHATTER %	DUREZA (DIETER)
2	2.2	153	44.0	1.46	165.0	75.80	38.82	85
3	3.2	155	54.5	1.49	160.0	35.90	50.06	80
4	4.2	157	54.5	1.54	140.0	23.17	48.47	78
5	4.8	159	54.0	1.55	133.0	19.93	48.43	68
6	6.2	161	52.0	1.57	125.0	19.03	47.14	62

TABLA IV-9 ALGUNAS MEDICIONES FISICAS PARA 6 % BENTONITA CALCICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	PESO DE LA PROBETA Sd 2 x 2 (in) (Gr)	COMPACTA - BILIDAD %	DENSIDAD g/Cm <sup>3</sup>	PERMEA - BILIDAD	MOLDA - BILIDAD %	PRUEBA SHATTER %	DUREZA (DIETER)
2	2.2	153	40.0	1.48	137.0	90.73	38.95	88
3	3.2	155	52.0	1.5	147.0	30.07	55.94	87
4	4.1	157	59.5	1.52	150.0	19.73	78.92	84
5	5.2	159	58.5	1.66	132.0	12.00	70.88	80
6	6.2	172	57.5	1.58	128.0	10.83	63.78	75

TABLA IV-10 ALGUNAS MEDICIONES FISICAS PARA 8 % BENTONITA CALCICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	PESO DE LA PROBETA Sd 2 x 2 (ln) (Gr)	COMPACTA-BILIDAD %	DENSIDAD g/Cm <sup>3</sup>	PERMEA-BILIDAD	MOLDA-BILIDAD %	PRUEBA SHATTER %	DUREZA (DIETER)
2	2-2	153-5	38-0	1.50	128-0	98-65	80-55	90
3	3-2	155	56-0	1.48	150-0	80-45	81-87	86
4	4-2	157	58-0	1.51	158-0	88-60	80-32	87
5	5-2	159	60-5	1.56	155-0	25-75	82-45	85
6	6-4	163	59-5	1.59	129-0	9-75	78-34	85

TABLA IV-11 ALGUNAS MEDICIONES FISICAS PARA 10 % BENTONITA CALCICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	PESO DE LA PROBETA Sd 2 x 2 (ln) (Gr)	COMPACTA-BILIDAD %	DENSIDAD g/Cm <sup>3</sup>	PERMEA-BILIDAD	MOLDA-BILIDAD %	PRUEBA SHATTER %	DUREZA (DIETER)
2	2-4	160	30-0	1.66	61-5	99-80	25-00	91
3	3-8	156	42-0	1.49	165-0	97-70	83-91	89
4	4-6	158	52-5	1.51	148-0	92-05	70-82	88
5	5-4	160	60-0	1.54	152-0	45-20	80-31	87
6	6-2	162	62-0	1.57	152-0	27-70	84-89	86

TABLA IV-12 ALGUNAS MEDICIONES FISICAS PARA 12 % BENTONITA CALCICA

TABLA IV-13 RESISTENCIAS MECANICAS PARA 2 % BENTONITA SODICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA AL CORTE (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCION (N/Cm <sup>2</sup> )
2	2.0	—	—	—
3	3.2	—	—	—
4	3.8	—	—	—
5	5.0	—	—	—
6	5.8	—	—	—

TABLA IV-14 RESISTENCIAS MECANICAS PARA 4 % BENTONITA SODICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA AL CORTE (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCION (N/Cm <sup>2</sup> )
2	2.0	3.46	0.69	0.65
3	3.0	2.65	0.62	0.56
4	4.2	2.21	0.45	0.65
5	5.2	1.85	0.41	0.31
6	6.2	1.79	0.34	0.31

TABLA IV-15 RESISTENCIAS MECANICAS PARA 6 % BENTONITA SODICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA AL CORTE (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCION (N/Cm <sup>2</sup> )
2	2.6	7.38	1.65	2.56
3	3.2	6.41	1.31	1.52
4	4.2	4.83	1.03	1.03
5	5.4	3.69	0.89	0.52
6	6.2	3.10	0.72	0.51



TABLA IV-16 RESISTENCIAS MECANICAS PARA 8 % BENTONITA SODICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA AL CORTE (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCION (N/Cm <sup>2</sup> )
2	2.2	11.51	2.31	4.34
3	3.4	8.34	2.00	3.14
4	4.2	7.24	1.83	2.62
5	5.2	5.96	1.45	1.55
6	6.4	5.31	1.24	1.17

TABLA IV-17 RESISTENCIAS MECANICAS PARA 10 % BENTONITA SODICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA AL CORTE (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCION (N/Cm <sup>2</sup> )
2	2.4	15.51	2.93	5.82
3	3.6	11.82	2.79	5.07
4	4.6	9.58	2.31	3.31
5	5.4	8.20	2.07	3.00
6	6.4	7.34	1.83	2.45

TABLA IV-18 RESISTENCIAS MECANICAS PARA 12 % BENTONITA SODICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA AL CORTE (N/Cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCION (N/Cm <sup>2</sup> )
2	2.6	17.82	3.79	6.55
3	3.6	14.82	3.48	6.76
4	4.4	12.44	3.31	6.10
5	5.4	10.06	2.58	4.14
6	6.4	9.79	2.62	3.31

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	PESO DE LA PROBETA STD 2 x 2 (In) (Gr)	COMPACTA - BILIDAD %	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>	PERMEA - BILIDAD	MOLDA- BILIDAD %	PRUEBA SHATTER %	DUREZA (DIETER)
2	2.6	155	41.5	1.81	185.0	17.45	39.03	-
3	3.2	157	41.0	1.92	188.0	52.35	65.61	-
4	3.8	159	41.0	1.84	-	49.50	55.47	-
5	5.0	161	40.0	1.88	-	51.85	56.21	-
6	5.8	163	40.0	1.57	-	44.15	58.40	-

TABLA IV-19 ALGUNAS MEDICIONES FISICAS PARA 2 % BENTONITA SODICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	PESO DE LA PROBETA STD 2 x 2 (In) (Gr)	COMPACTA - BILIDAD %	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>	PERMEA - BILIDAD	MOLDA- BILIDAD %	PRUEBA SHATTER %	DUREZA (DIETER)
2	2.0	155	47.5	1.50	186.0	73.35	65.61	81
3	3.0	157	51.0	1.82	177.0	34.95	72.42	67
4	4.2	159	51.0	1.84	170.0	25.85	73.21	76
5	5.2	161	49.5	1.57	168.0	21.80	66.68	75
6	6.2	163	48.5	1.59	150.0	18.05	70.92	73

TABLA IV-20 ALGUNAS MEDICIONES FISICAS PARA 4 % BENTONITA SODICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	PESO DE LA PROBETA S14 2 x 2 (in) (Gr)	COMPACTA - BILIDAD %	DENSIDAD g/Cm <sup>3</sup>	PERMEA - BILIDAD	MOLDA- BILIDAD %	PRUEBA SHATTER %	DUREZA (DIETER)
2	2.6	157	48.5	1.32	130.0	97.25	43.25	88
3	3.2	169	57.0	1.34	112.0	23.60	71.70	83
4	4.2	181	58.0	1.57	103.0	15.00	73.91	80
5	5.4	163	56.0	1.59	125.0	12.50	75.58	75
6	6.2	165	53.5	1.60	135.0	10.35	65.33	70

TABLA IV-21 ALGUNAS MEDICIONES FISICAS PARA 6 % BENTONITA SODICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	PESO DE LA PROBETA S14 2 x 2 (in) (Gr)	COMPACTA - BILIDAD %	DENSIDAD g/Cm <sup>3</sup>	PERMEA - BILIDAD	MOLDA- BILIDAD %	PRUEBA SHATTER %	DUREZA (DIETER)
2	2.2	155	42.0	1.50	147.5	95.95	59.42	89
3	3.4	158	59.5	1.52	165.0	17.40	82.91	87
4	4.2	160	-	1.53	147.5	6.85	61.08	84
5	5.2	162	61.0	1.56	128.0	6.25	84.28	79
6	6.4	166	61.0	1.60	112.0	7.65	75.12	80

TABLA IV-22 ALGUNAS MEDICIONES FISICAS PARA 8 % BENTONITA SODICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	PESO DE LA PROBETA S14 2 x 2 (in) (Gr)	COMPACTA - BILIDAD %	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>	PERMEA - BILIDAD	MOLEDA - BILIDAD %	PRUEBA SHATTER %	DUREZA (DIETER)
2	2.40	160	37.0	1.56	114.50	94.00	50.63	91
3	3.60	157	56.0	1.51	155.00	42.40	75.22	88
4	4.60	159	63.0	1.54	140.00	8.20	85.16	86
5	5.40	162	64.0	1.58	131.50	5.30	85.43	85
6	6.40	165	63.0	1.60	112.00	4.30	88.12	84

TABLA IV.23 ALGUAS MEDICIONES FISICAS PARA 10 % BENTONITA SODICA

% H <sub>2</sub> O TEORICO	% H <sub>2</sub> O REAL	PESO DE LA PROBETA S14 2 x 2 (in) (Gr)	COMPACTA - BILIDAD %	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>	PERMEA - BILIDAD	MOLEDA - BILIDAD %	PRUEBA SHATTER %	DUREZA (DIETER)
2	2.60	163	30.00	1.57	75.0	99.25	40.00	91
3	3.60	156	56.0	1.52	160.0	61.25	75.77	88
4	4.40	158	62.50	1.53	312.50	16.60	80.70	86
5	5.40	160	65.0	1.56	250.0	4.75	89.75	86
6	6.60	165	66.0	1.60	200.0	3.45	90.00	86

TABLA IV.24 ALGUAS MEDICIONES FISICAS PARA 12 % BENTONITA SODICA

BENTONITA CALCICA

I RESISTENCIA A LA COMPRESION  
 II RESISTENCIA AL CORTE  
 III RESISTENCIA A LA TRACCION

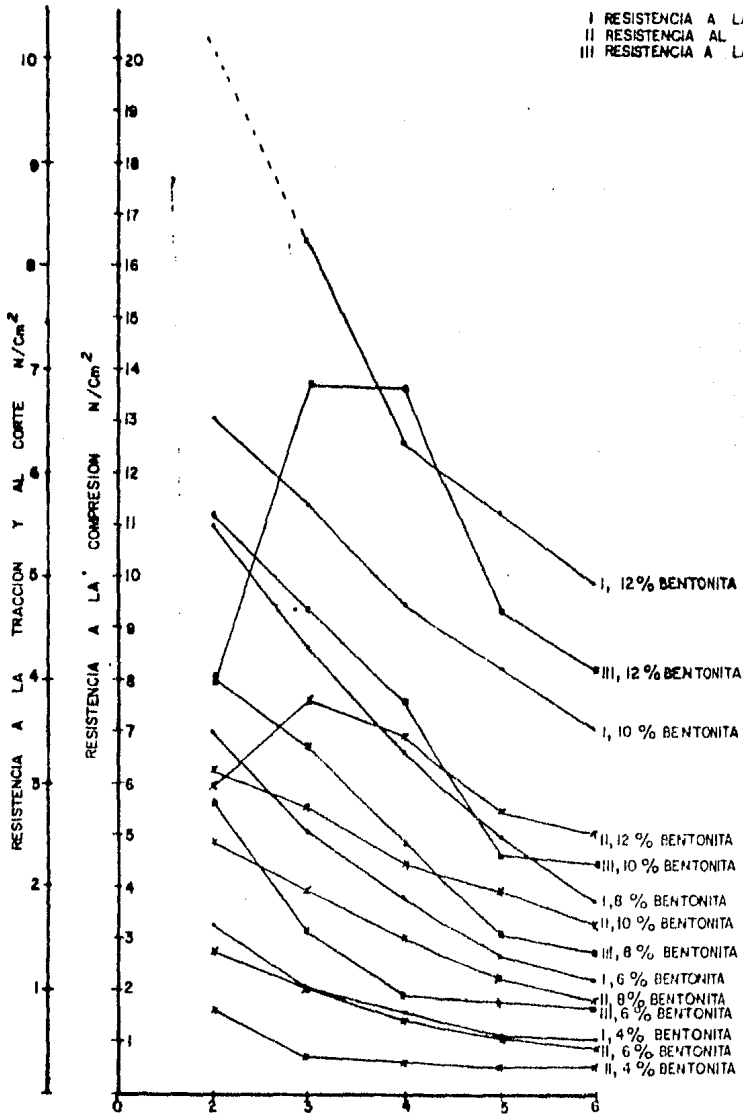


FIG. IV. I

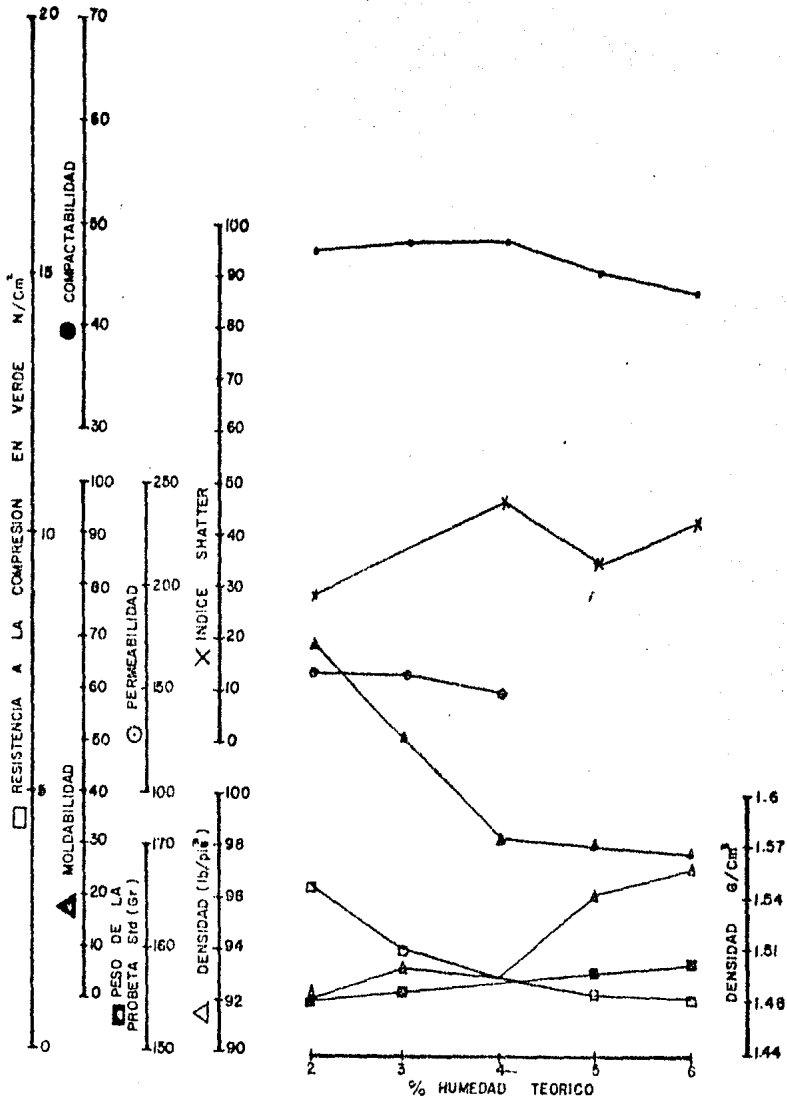


FIGURA IV. 2 4 % BENTONITA CALCICA

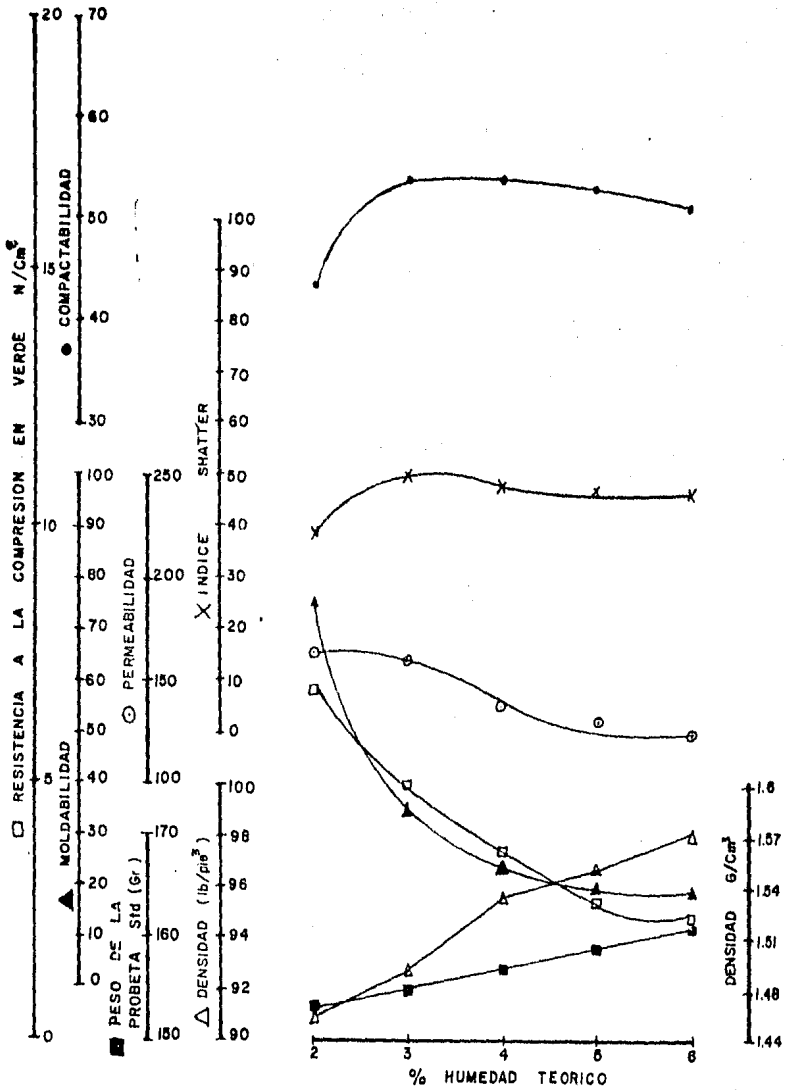


FIGURA IV.3 6 % BENTONITA CALCICA

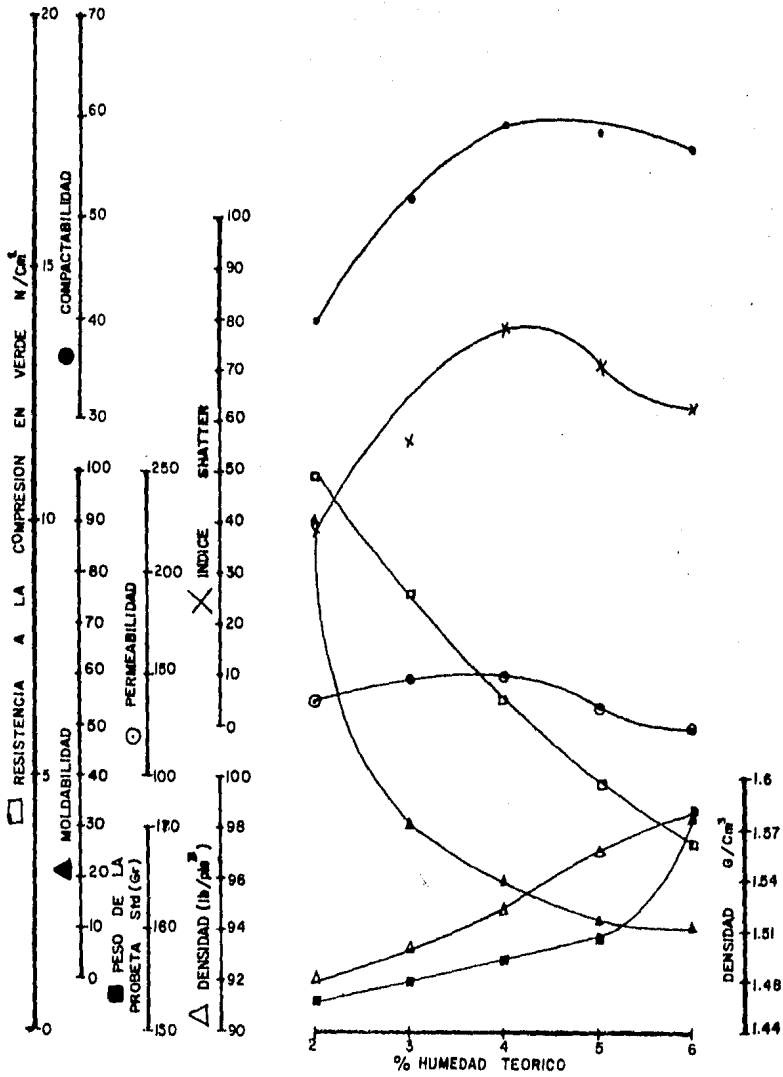


FIGURA IV.4 8 % BENTONITA CALCICA



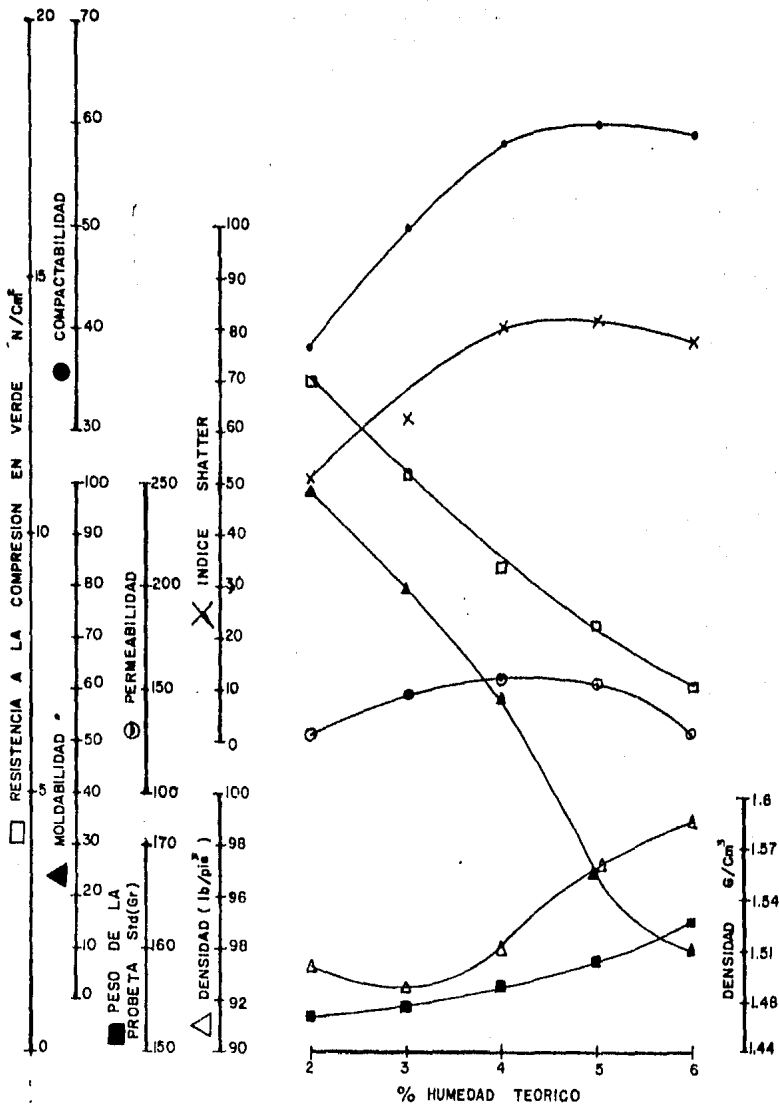


FIGURA IV.5 10 % BENTONITA CALCICA

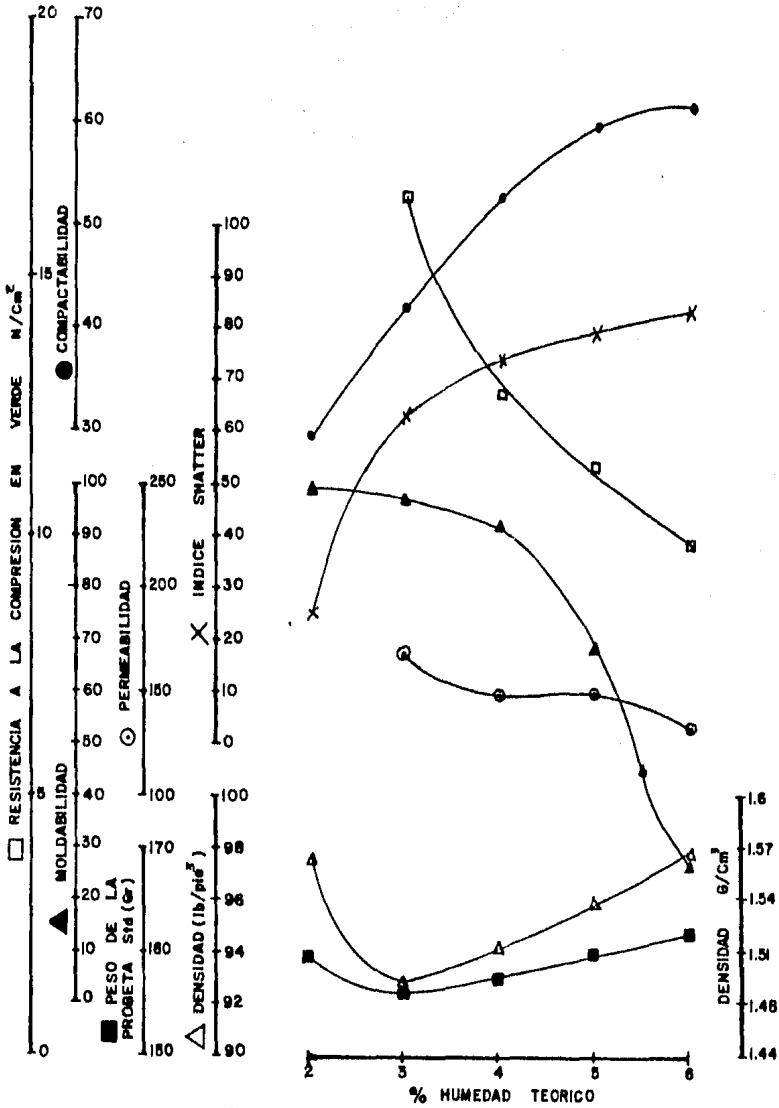


FIGURA IV. 6 12 % BENTONITA CALCICA

BENTONITA CALCICA

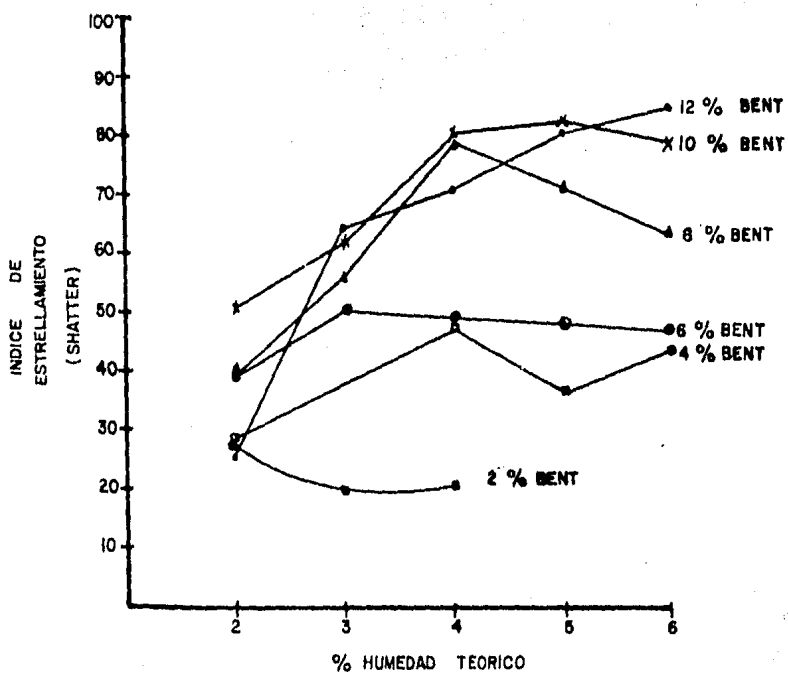


Fig. IV. 7

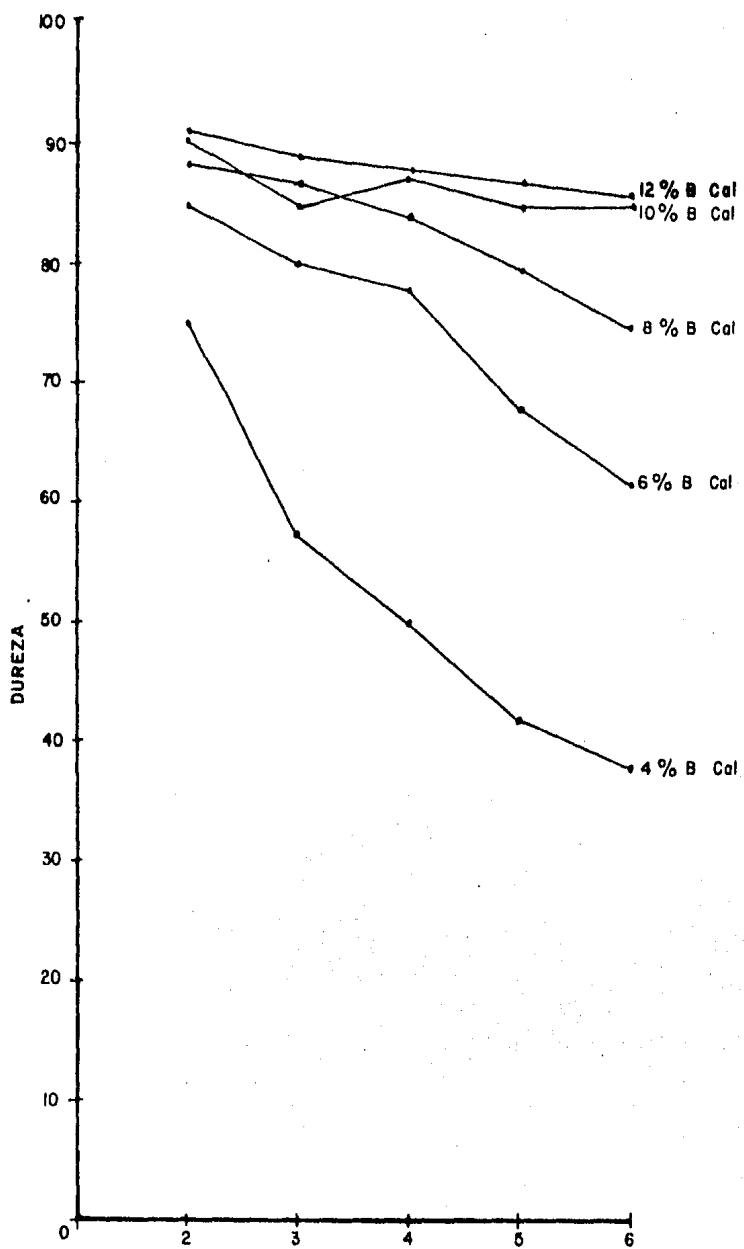
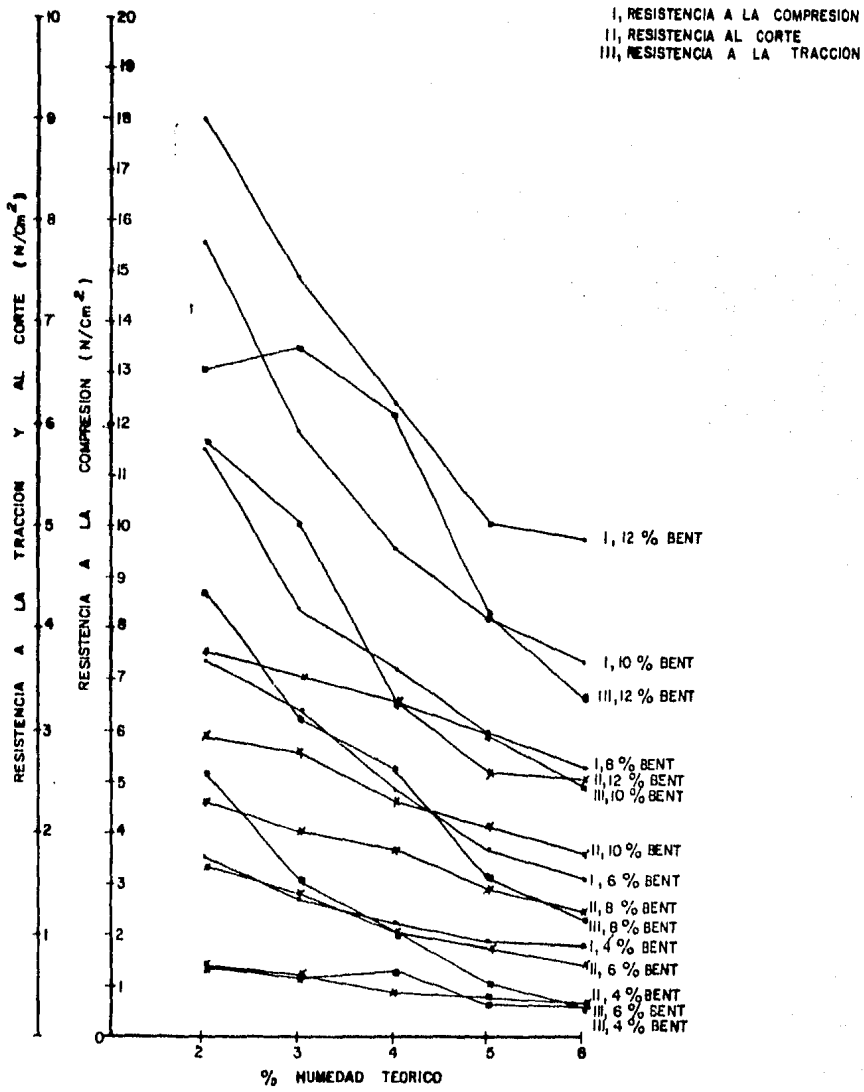


FIG. IV. 8  
DUREZA PARA BENTONITA CALCICA

BENTONITA SODICA



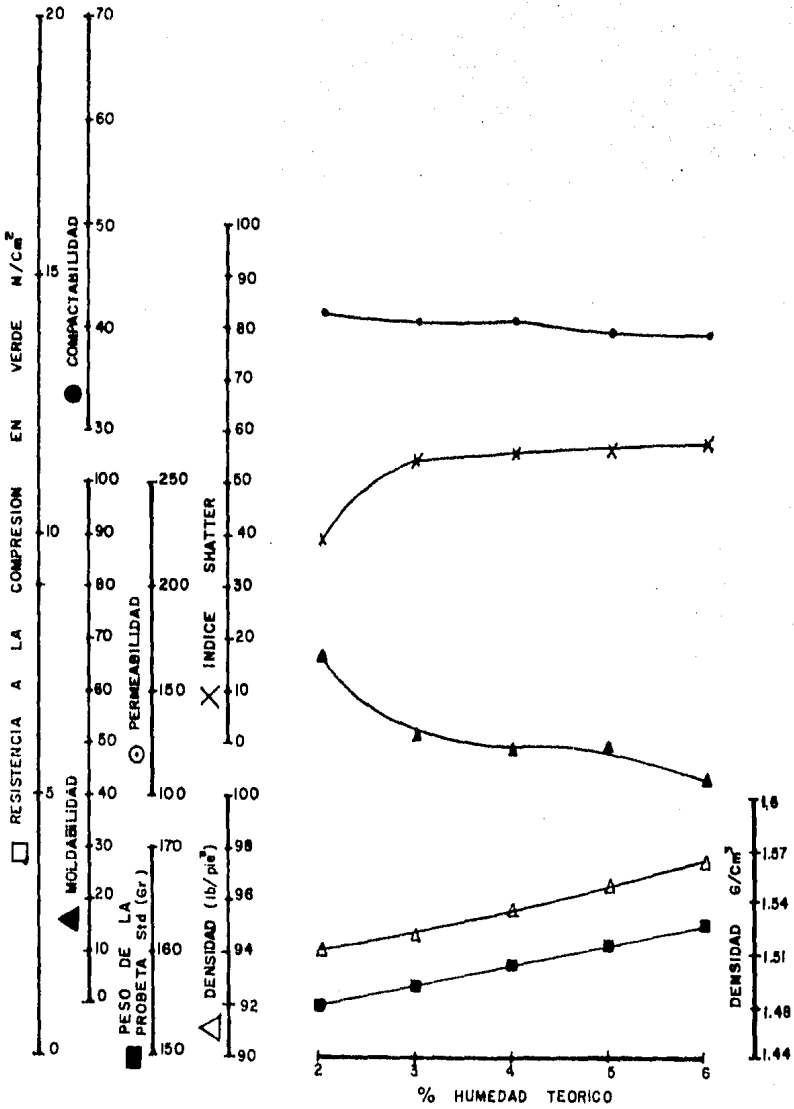


FIGURA IV.10 2 % BENTONITA SODICA

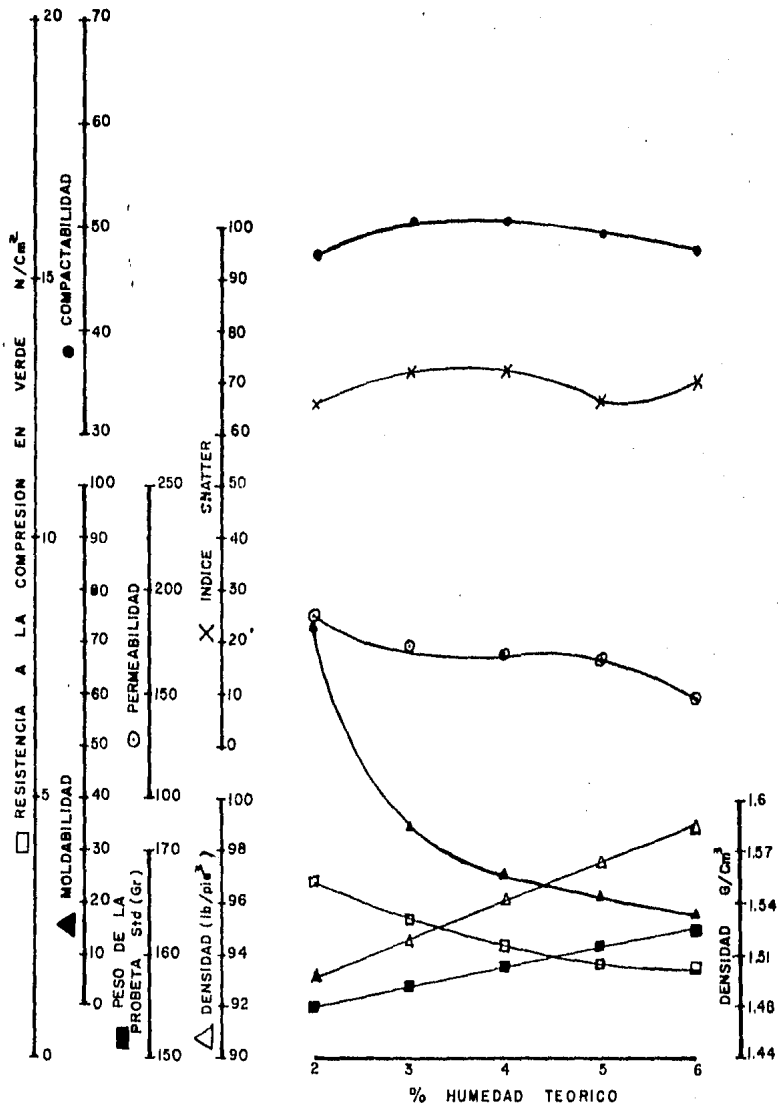


FIGURA IV.11 4 % BENTONITA SODICA

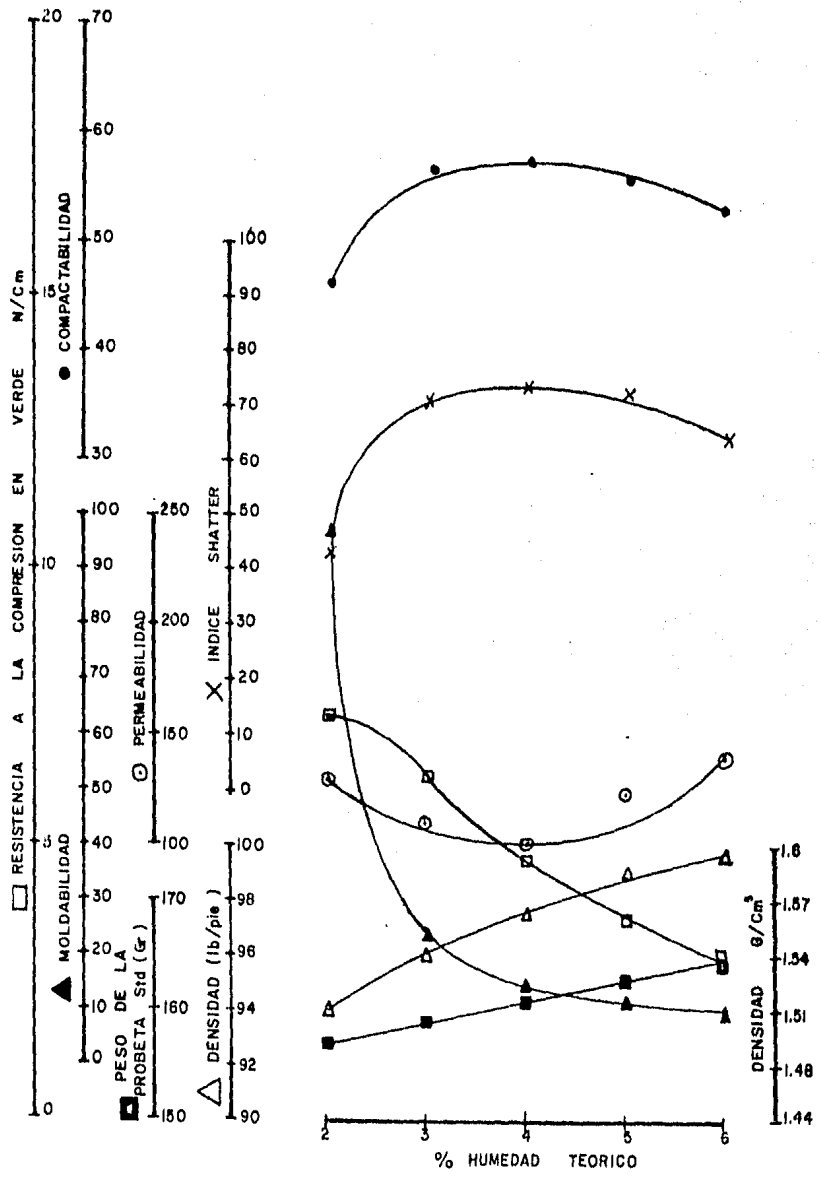


FIGURA IV.12 6% BENTONITA SODICA



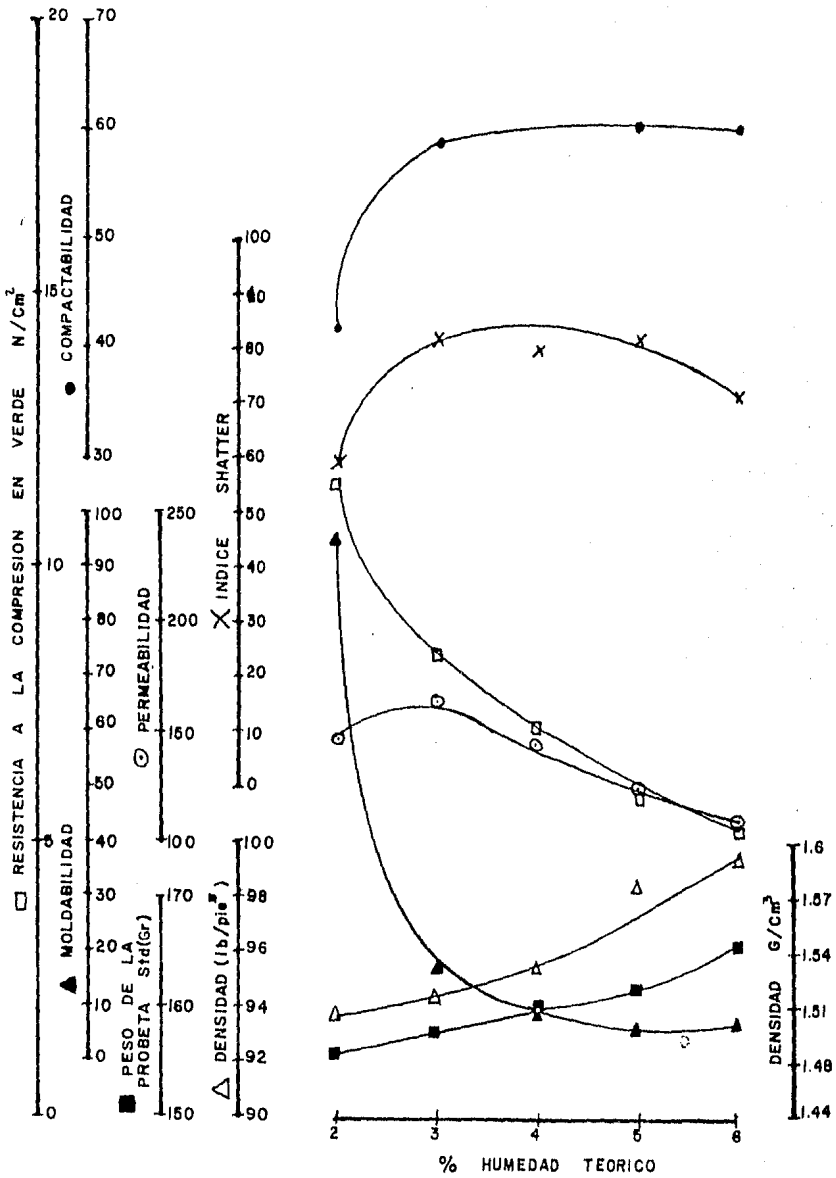


FIGURA IV.13 8% BENTONITA SODICA

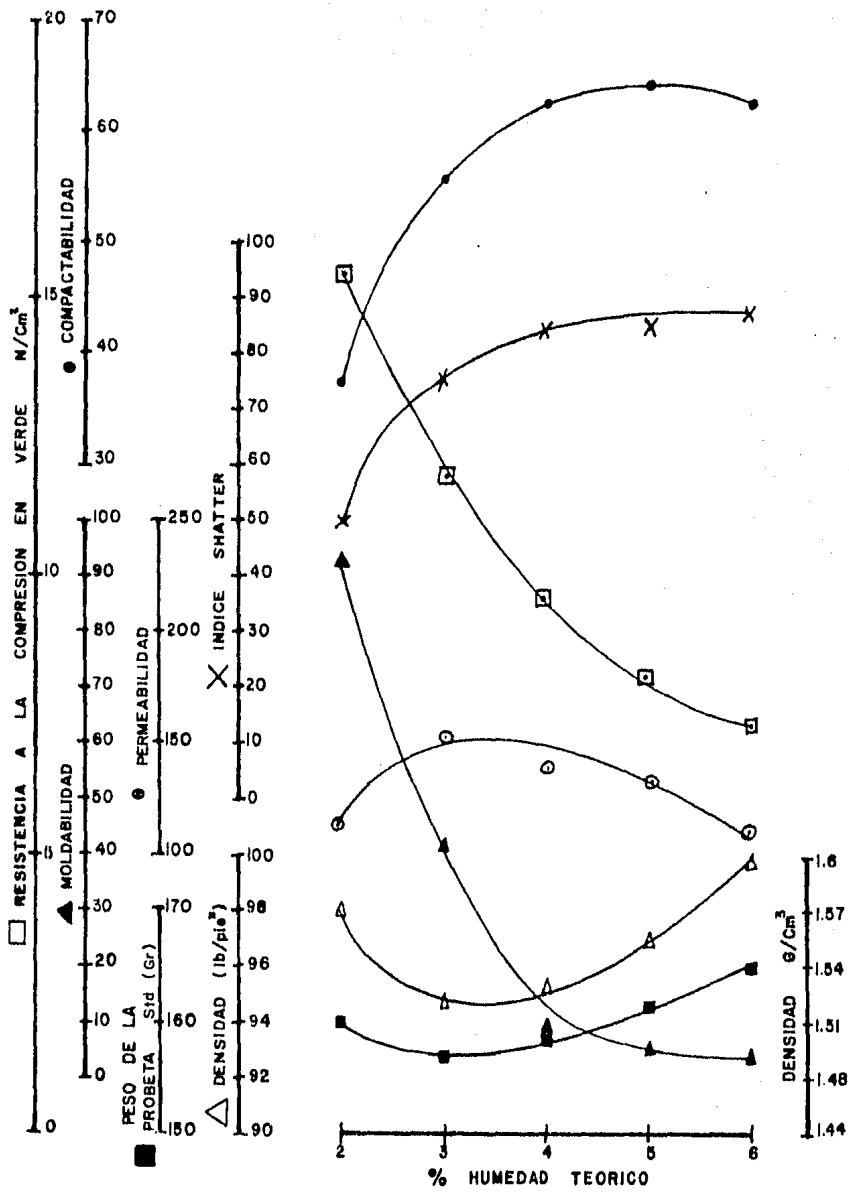


FIGURA IV.14 10 % BENTONITA SODICA

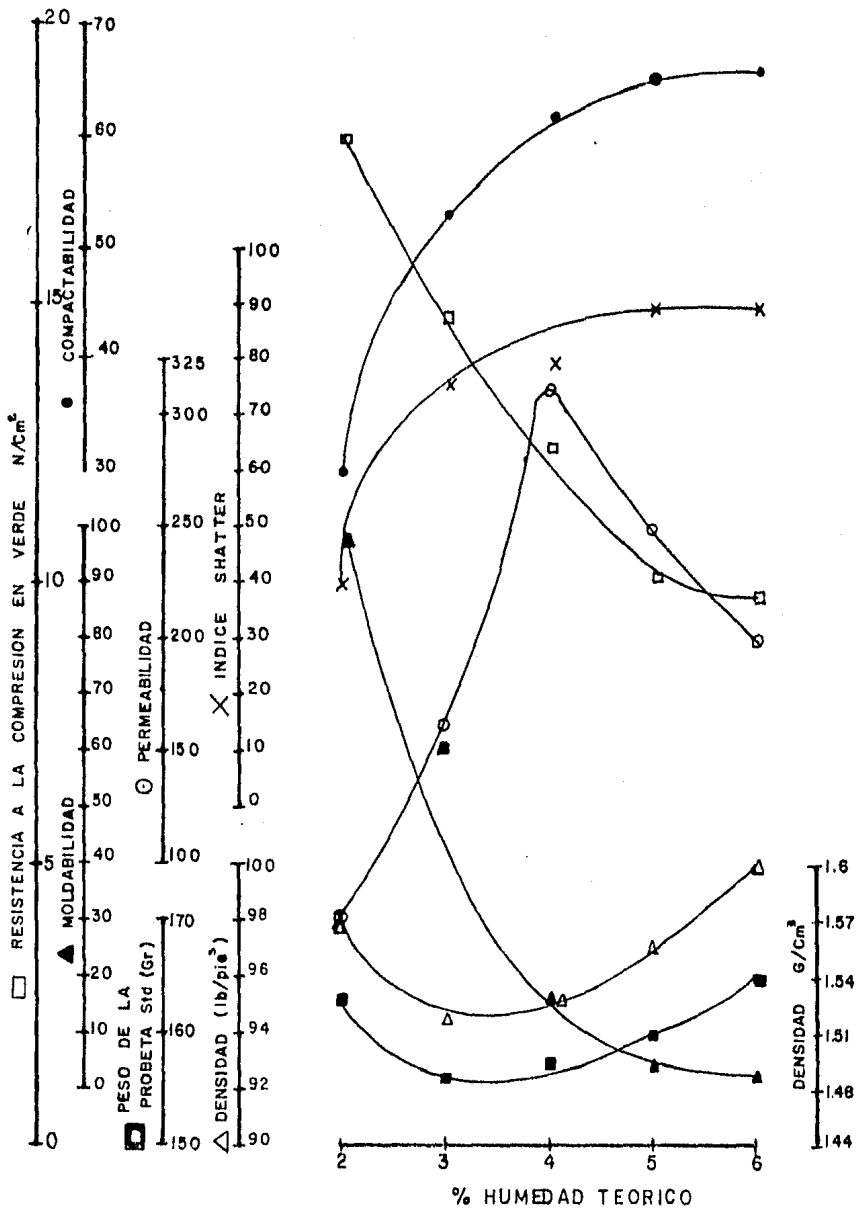


FIGURA IV.16 12% BENTONITA SODICA

BENTONITA SODICA

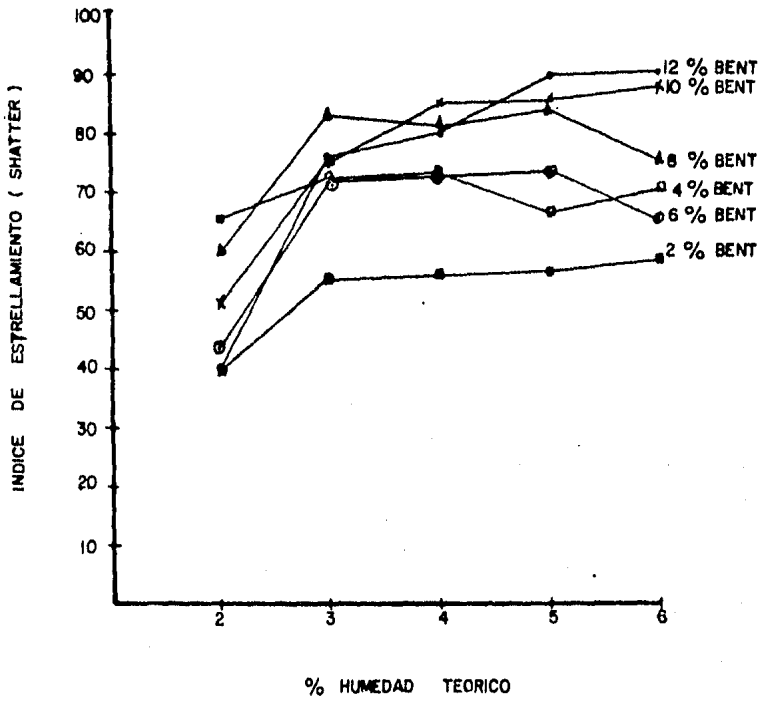


Fig. IV.16

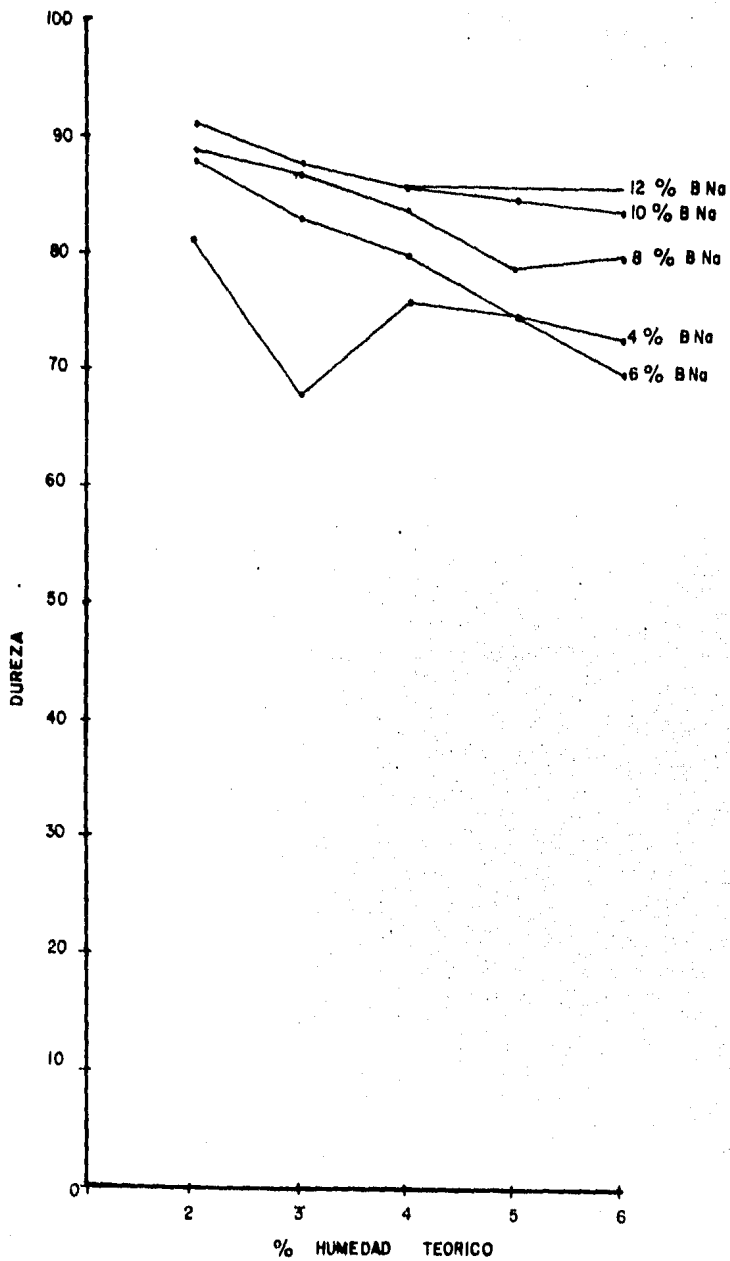


FIG. IV.17  
DUREZA PARA BENTONITA SODICA

## CAPITULO V

### DISCUSION Y CONCLUSIONES

En el presente capítulo se discutiran los resultados obtenidos, - en la serie de experimentos realizados y que ya fueron explicados en el capítulo III. La discusión será presentada de acuerdo al - ensayo realizado con el fin de seguir un orden.

#### V.1 Resistencia a la compresión.

- a) De las figuras IV.1 y IV.9 se observa que a medida que se aumenta el contenido de humedad, la resistencia a la compresión disminuye para un contenido de bentonita dado, pudiéndose señalar que, el valor máximo obtenido ocurre al menor contenido de humedad estudiado.
- b) Para un contenido de humedad dado, la resistencia a la compresión se ve incrementada conforme se aumenta el contenido de bentonita de la mezcla.

Se ha indicado en el capítulo II, que conforme se aumenta el contenido de humedad la resistencia a la compresión aumenta - hasta alcanzar un valor máximo y posteriormente desciende. - Este comportamiento no se encontró en ninguno de los casos de las mezclas estudiadas en este trabajo, sin embargo se puede afirmar que observamos el mismo comportamiento, sólo que en - este trabajo se omitieron los contenidos de humedad del comportamiento ascendente, sólo se registró la segunda parte de

la curva es decir el descenso después del punto máximo. Esto es, los contenidos de humedad experimentados inician en relaciones --

$$(AGUA \div AGUA + ARCILLA \times 100)$$

de 50, 33, 25, 20, 16 y 14 para contenidos de 2%, 4%, 6%, 8%, 10% y 18% de bentonita respectivamente, o bien, expresados en relación agua  $\div$  arcilla de 1, 0.5, 0.33, 0.25, 0.20 y 0.16 siguiendo el mismo orden.

En las figuras II.1 y II.5 se reportan valores máximos al 20 en relación (agua  $\div$  agua arcilla) y 0.25 en relación (agua  $\div$  arcilla) y sólo se reportan mezclas de 4, 6, 8 y 10% de bentonita, de lo anterior se ve claramente que se omitió la experimentación del comportamiento ascendente.

No se encontraron datos en la literatura de contenidos de 12% de bentonita, estos aunque a menores valores de relación de humedad, corresponden a un comportamiento máximo descendente.

c) Los valores numéricos encontrados coinciden con los de la referencia 1 y son más bajos que los reportados por la referencia 2 según se muestra en la table V.1

Tabla V.1 Comparación de valores de resistencia a la compresión de las referencias con los de obtenidos en este trabajo.

<u>%Bentonita</u>	<u>Ref. 1</u> <u>(N/cm<sup>2</sup>)</u>	<u>Ref. 2</u> <u>(N /cm<sup>2</sup>)</u>	<u>Este trabajo</u> <u>(N/cm<sup>2</sup>)</u>
2			0.7
4	3.44	7.0	3.44
6	6.89	12.7	7.0

<u>% Bentonita</u>	<u>Ref. 2<sup>1</sup>)</u> <u>(N/cm<sup>2</sup>)</u>	<u>Ref. 2<sup>2</sup>)</u> <u>(N/cm<sup>2</sup>)</u>	<u>Este trabajo</u> <u>(N/cm<sup>2</sup>)</u>
8	11.72	19.8	11.0
10	13.09	-	15.0
12	-	-	17.9

Esta coincidencia de valores con la referencia 1, sugiere pensar que se uso materia prima de similar calidad, además de sobreentender una efi--ciencia de molienda buena y similar también.

Destaca entonces el contraste con los datos de la referencia 2 -- que casi duplican los valores y para los que la única explicación será la diferencia en calidad de la materia prima: Bentonita, -- arena y agua.

#### V.2 Resistencia al corte.

Las figuras IV.1 y IV.9 muestran que:

- a) A medida que aumenta el contenido de humedad para un contenido de bentonita dado la resistencia al corte disminuye, sólo--mente se observa para 12% de bentonita cálcica que el valor de resistencia al corte aumenta hasta alcanzar un máximo y --posteriormente decae, hecho que corresponde a lo reportado en la figura II.6, pero ese comportamiento sólo ocurrió para ese contenido de bentonita cálcica .
- b) La resistencia al corte aumenta a medida que se incrementa el porcentaje de bentonita para un contenido de humedad dado.



c) Los valores numéricos encontrados experimentalmente en este trabajo son similares a los reportados en la referencia 1 y más bajos que los de la referencia 2, ver tabla V.2.

Tabla V.2 Comparación de valores de resistencia al corte de las referencias con los obtenidos en este trabajo.

<u>% Bentonita</u>	<u>Ref. 1 (N/cm<sup>2</sup>)</u>	<u>Ref. 2<sup>2</sup> (N/cm<sup>2</sup>)</u>	<u>Este trabajo (N/cm<sup>2</sup>)</u>
2	-	-	0.10
4	1	1.5	0.23
6	1.37	2.52	1.38
8	2.75	4.41	2.45
10	3.44	-	3.10
12	-	-	3.79

Nuevamente se puede afirmar que este comportamiento es atribuible a la materia prima usada en cada trabajo.

### V.3 Resistencia a la tracción.

Las figuras IV.1 y IV.9 indican que:

a) A medida que se aumenta el contenido de humedad la resistencia a la tracción disminuye con excepción de las mezclas preparadas con 12% de bentonita, en las cuales se observa que ocurre un máximo a un contenido de humedad de 3% aproximadamente. Este comportamiento corresponde al señalado por la referencia 2 en la figura II.3.

b) Para un contenido de humedad dado el valor de resistencia a la tracción aumenta cuando se incrementa el contenido de bentonita, comportamiento coincidente con los mostrados por la referencia 2 figura II.3.

#### V.4 Compactabilidad.

Haciendo un análisis de las figuras IV.2 a la IV.6 y IV.10 a IV.15 se observa que:

- a) A medida que se incrementa el contenido de humedad la compactabilidad aumenta hasta llegar a un valor máximo y posteriormente permanece aproximadamente constante. El comportamiento también se observa en la literatura fig. II.12.
- b) Se observa también que para un contenido de humedad por debajo de 3.5 a 4% la compactabilidad decrece conforme se aumenta el contenido de bentonita. Mientras que para contenidos de humedad superiores a 4% el valor de compactabilidad aumenta al incrementar el contenido de bentonita. Este comportamiento no lo señala la figura II.12 en la cual para cualquier contenido de humedad la compactabilidad aumenta cuando el contenido de bentonita es incrementado.
- c) Los valores de compactabilidad observados de 50% corresponden a un punto óptimo de 3 - 4% de agua que se encuentra defasado del punto "temper", medido éste como el máximo de resistencia a la compresión, esto lo explica la literatura como un efecto del ensayo mismo ya que la coincidencia ocurre sólo cuando se

ensaya la resistencia a densidad constante.

#### V.5 Permeabilidad

De las figuras IV.2 a IV.6 y IV.10 a IV.15 se observa que:

- a) Para un contenido de bentonita dado la permeabilidad se incrementa hasta alcanzar un máximo y posteriormente decrece, este máximo se encuentra aproximadamente en un rango de contenido de humedad comprendido entre 3 y 4% en los casos de bentonita cálcica mientras que en la sódica se observa para contenidos de 4 y 6% que esta propiedad disminuye al incrementarse el contenido de agua mientras que para 8, 10 y 12% si se observa un aumento en permeabilidad al aumentar el contenido de agua hasta llegar a un máximo para posteriormente decaer.
- b) La forma de la curva es similar a las reportadas por la literatura fig. II.8, para todos los casos de bentonita cálcica, adquiriendo una forma "errónea" en los contenidos de 2,4, 6 y 12% de bentonita sódica que puede atribuirse a error experimental probablemente debido a un desajuste del aparato.

#### V.6 MOLDABILIDAD

De las figuras IV.2 a IV.6 y IV.10 a IV.15 se observa que:

- a) Para un contenido de bentonita dado la moldabilidad disminuye a medida que el contenido de agua es incrementado.
- b) Para contenidos de bentonita inferiores a 8% se observa un rápido decaimiento en esta propiedad al aumentar el contenido -

de humedad, mientras que en las mezclas con 15 y 12% de bentonita se observa que esta disminución no es tan rápida, notándose al principio un ligero decaimiento hasta un contenido de agua aproximadamente de 4% y posteriormente si decrece rápidamente.

- c) En todos los casos para un contenido de agua de 2% se observa que al aumentar el contenido de bentonita el índice de moldabilidad aumenta, pero a contenidos superiores de agua se observa un descenso en esta propiedad con respecto al incremento del contenido de bentonita. Nuevamente los contenidos de bentonita de 10 y 12% no asumen este comportamiento observado en las mezclas de 4, 6 y 8% de bentonita.

#### V.7 PESO DE LA PROBETA Y DENSIDAD.

De las figuras IV.2, IV.3 y IV.4, IV.10, IV.11, IV.12 y IV.13 se observa que:

- a) A medida que se aumenta el contenido de humedad para un contenido de bentonita en particular, se observa un aumento en la densidad de la probeta. Lo mismo que en el peso de la probeta ya que este puede considerarse semejante a la densidad ya que se tiene un volumen constante.
- b) Para las mezclas con contenidos de bentonita de 10 y 12% figuras IV.5, IV.6, IV.14 y IV.15 se observa que al aumentar el contenido de agua, la densidad disminuye hasta un valor mínimo y posteriormente se incrementa. Este mínimo ocurre aproximadamente a un contenido de agua de 3% para estos casos. El

comportamiento observado aquí, corresponde al señalado por la literatura en la figura II.2 en la cual se marca el punto de mínima densidad para indicar el punto al cual ocurre el punto óptimo de la arena.

#### V.8 DUREZA

De las figuras IV.8 y IV.17 se observa que:

- a) A medida que se aumenta el contenido de humedad para un contenido de humedad para un contenido de bentonita en particular la dureza superficial disminuye.
- b) Para un contenido de humedad dado la dureza superficial aumenta a medida que el contenido de bentonita se incrementa, tal como ocurrió en las pruebas de resistencia a la compresión -- realizadas en este trabajo.

#### V.9 INDICE DE ESTRELLAMIENTO

Haciendo un análisis de las figuras IV.7 y IV.16 se observa que:

- a) El índice de estrellamiento aumenta a medida que se incrementa el contenido de humedad para un contenido de bentonita en particular, este aumento del índice de estrellamiento alcanza un valor máximo y posteriormente sufre un descenso poco significativo.
- b) Al variar el contenido de Bentonita para un contenido de agua en particular se observa una variación totalmente aleatoria. Esta es una razón que hace suponer el porque esta prueba tie-

ne poca aceptación como método de control, debido a que como se explicó en el capítulo III presenta un gran número de problemas para su realización.

Resumiendo hay cuatro características importantes a recalcar del estudio experimental.

1. Haciendo una comparación entre el comportamiento observado para las mezclas preparadas a base de bentonita cálcica y las preparadas con bentonita sódica, se observan comportamientos similares.
2. En términos generales se observaron los comportamientos con máximos y mínimos aunque a valores numéricos diferentes que no son siempre concordantes con los expresados en la literatura, se aporta el comportamiento de mezclas de 2% y 12% de bentonita para los que no hay valores reportados en la literatura.
3. Las pruebas de resistencia a la tracción y al corte se muestran más sensibles a la determinación del punto óptimo de la arena, que la prueba de resistencia a la compresión.

El comportamiento de la dureza superficial se encontró similar al de la resistencia a la compresión por lo que no sería útil para determinar el punto óptimo.

4. La prueba de índice de estrellamiento de acuerdo a los resultados obtenidos no es de gran ayuda para evaluar una mezcla, ya que presenta una gran cantidad de problemas para su realización y los resultados que se obtienen son muy aleatorios.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- A.Radhakrishnan,K.V. Prabhakar, Dr.M.N.Srinivasan y Dr.M.R.Seshandri Physical Properties of Bentonite-bonded Moulding Sand.  
Foundry trade journal Julio 1975 p.95-104
- 2.- Roshan,H.M. "Bonding Mechanism in Synthetic Molding Sands",AFS Transaction 1975,p.201-205
- 3.- Wenninger C.E ,Lang W.J."Sand-Bentonite Water Research and Basic clay Water Concepts".A F S Transaction ,1969 p.39-44
- 4.- Roshan H."Temper Point of Moulding Sands"Foundry trade journal Septiembre 1975 p.333-343 .
- 5.- A F S Mold and Core Test Handbook  
Seccion 1,Foundry Sands and Clays  
Seccion 3,Preparing Foundry Sand Mixtures for Testing.  
Seccion 4,Particle Size distribution of Foundry Sand Mixtures.  
Seccion 5,Determining Moisture in Foundry Sand Mixtures.  
Seccion 6,Permeability of Foundry Sands.  
Seccion 8,Miscellaneous Green Sand Properties.  
Seccion 7,Strength of Foundry Sand Mixtures.
- 6.- Apuntes sobre "Influencia de los aditivos sobre los defectos por dilatacion de las arenas y sobre otras propiedades". por Ing. Victor M. Garcia Sosa y Matilde Valdez Bajo.