

8  
lej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**CARACTERIZACION DE BENTONITAS  
NACIONALES POR SUS PROPIEDADES  
MECANICAS.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO  
P R E S E N T A :  
ELEUTERIO SILVANO PEREA MEDEROS**



**MEXICO. D. F.**

**1987**



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.

Capítulo I	Introducción	1
II	Antecedentes	3
III	Experimentacion	25
IV	Resultados	31
V	Análisis de resultados y discusión	54
VI	Conclusión	74
VII	Apéndice 1	
	Bibliografía	

## I. INTRODUCCION

En el presente trabajo se estudian las propiedades mecánicas de 10 bentonitas de fundición accesibles en el Valle de México, tanto en estado de recepción como después de ser tratada a 500°C y 600°C, preparadas en forma sistemática en mezclas de moldeo, con objeto de caracterizar a las mismas.

Este trabajo es una continuación 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 poder contar con una referencia de control de moldeo que pueda ser útil en el Taller de Fundición.

La importancia de este trabajo radica en la necesidad de adaptar racionalmente la tecnología del control de moldeo, así como hacer una interpretación correcta de datos reportados en la literatura de otros países ya que las condiciones de materia prima, fundamentalmente y otras como equipo, forma de trabajo, son diferentes.

Para lograr lo anterior se escogieron materiales comerciales, 10 bentonitas de fundición encontradas en el mercado de materia prima para moldeo en el Valle de México y 2 bentonitas americanas (Southern y Western) de la International Minerals Corporation, las cuales están siendo caracterizadas en otros trabajos que integran el proyecto, las mezclas de moldeo aquí estudiadas cuentan con solo tres elementos, y son arena sílica, bentonita y agua, no cuentan entre sus constituyentes con aditivos; aunque, se está consciente que las mezclas sin aditivo son poco usuales en el medio de la fundición, deben considerarse los datos de la mezcla arena-bentonita-agua como la base del comportamiento de la mezcla.

Para la realización del trabajo se escogieron mezclas con el 6% de bentonitas

tanto sódica como cálcica con contenido de humedad del 8% al 1% por el método de desecación, y se escogieron como ensayos de laboratorio los más usuales en el medio de la fundición, siguiendo los estándares en equipo y procedimiento de la American Foundrymen's Society y que han sido reportados en la literatura para poder hacer comparaciones.

El objetivo fundamental del trabajo es la caracterización en sí de cada muestra, esto es, la obtención de promedios de su comportamiento en las pruebas y no el evaluar su calidad. Esto último se podrá hacer cuando las diferentes partes del proyecto sobre bentonitas se concluya y se definan las características de calidad requeridas para un uso determinado.

## II. ANTECEDENTES

Se menciona en varias publicaciones que la arena en verde se empezó a utilizar a inicios de siglo, cuando se descubrió que la arena natural de sílice servía para hacer moldes sin necesidad de secarlas previamente como se venía haciendo. Alrededor de 1920 se encontró que la arena sílica, sin arcilla o con poca arcilla, podía ser convertida en material de moldeo, agregando bentonita y agua, resultando una mezcla de menor arcilla y menor humedad que las naturales. A esta mezcla se le llama de moldeo en verde.

COMPOSICION DE LA ARENA DE MOLDEO EN VERDE:<sup>(1)</sup> Tres son los componentes principales: arena, bentonita y agua.

Arena.- Este término se aplica a un tamaño de partícula de un material granular entre las mallas 10 y 250\*. La arena de sílice es la más abundante de estos materiales y la más usada en fundición, etcétera. La arena para fundición se subdivide en la natural o con aglomerantes naturales y la lavada y secada o sin aglomerantes. La arena de sílice tiene una desventaja primordial que consiste en que cuando se calienta a cierta temperatura exhibe una expansión fuerte. Esto se debe al cambio de fase que sufre la sílice de alfa a beta; y ocurre a 573°C y se acompaña de una modificación de estructuras moleculares dentro de los granos individuales de sílice.

Si bien, la mayoría de las arenas son redondas, subangulares y angulares, esto no significa que los diferentes tamaños tengan la misma forma. En cuanto a superficie de los granos varían de lisas a rugosas.

DISTRIBUCION.- En el acomodamiento de los granos de la arena para formar el molde es de particular importancia tomar en cuenta que:

- a) La presencia de diferentes tamaños beneficia la estabilidad estructural y la resistencia de una arena con aglomerantes y compactada.

\* Malla Tyler.

b) Durante la molienda y el mezclado con aglutinantes hay tendencia de formar aglomerados de partículas de diversos tamaños que son perjudiciales ya que no participan de la unión grano a grano y consumen cantidades indebidas de agua y aglutinante.

c) Los patrones de distribución que se requieren en fundición no son similares a los de otros usuarios de gránulos o polvos, ya que las capas de bentonita-agua de las arenas, restringen la libertad de movimiento y orientación de que disfrutaban quienes usan los materiales en dos picos de distribución (60-70 % gruesa, 0 % media y 30-40 % fina).

Las distribuciones que se prefieren en fundición son los de una arena predominantemente compuesta de granos de tamaño medio con menores cantidades de gruesos y finos. (Ver figura II.1)<sup>(1)</sup>

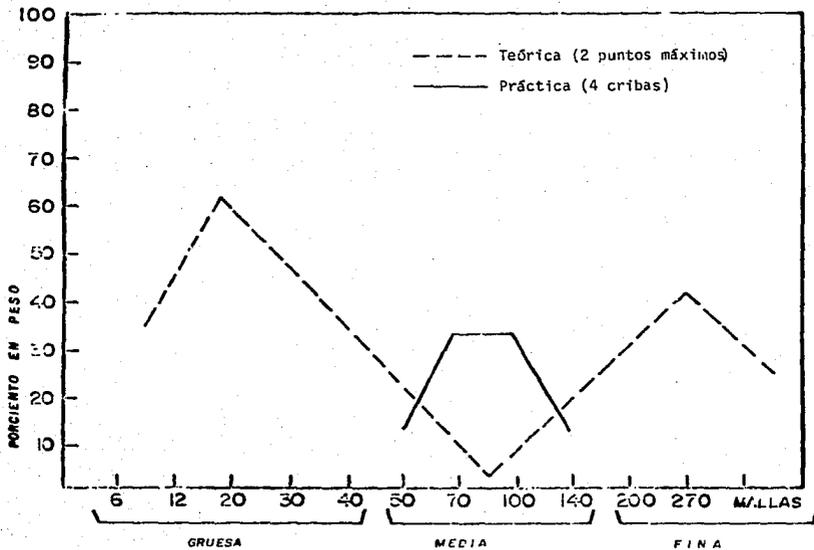


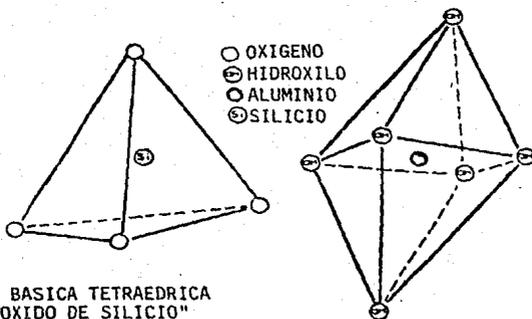
FIGURA 11.1 REF (1)

DIFERENCIA DE DISTRIBUCION ENTRE 2 PUNTOS MAXIMOS SEGUN LOS REQUERIMIENTOS TEORICOS Y LA DISTRIBUCION DE 4 MALLAS DESARROLLADA PARA SATISFACER LOS REQUERIMIENTOS PRACTICOS.

ARCILLA (BENTONITA).- Aunque diversos tipos de arcillas se emplean en los moldes en verde sobre todo si se usan arenas naturales, es la bentonita la que se usa en mayor cantidad. Una característica importante de las arcillas es el estar compuestas de "fragmentos cristalinos muy pequeños en la forma de hojas con diámetro promedio entre  $5.08 \times 10^{-4}$  cm y  $5.08 \times 10^{-5}$  cm, cuya presencia se relaciona con la plasticidad que desarrollan". Mineralógicamente hablando son productos de interperismo de rocas de silicatos que contienen silicato hidratado de alúmina. La mayoría de las bentonitas constan del mineral montmorillonita en combinación 10 a 20% de otros minerales como feldespato, cuarzo, gis y carbonato de calcio. Estructuralmente consiste de tres capas u hojas. Su celda unitaria es un octaedro de aluminio colocado entre dos tetraedros de silicio. (Ver figura II.2). La unión de las capas se debe a que algunos átomos de Magnesio y hierro reemplazan a los de aluminio en la capa octaedral adicionalmente, la sustitución establece deficiencia de cargas en la unidad estructural que deben ser balanceadas agregando otros átomos (cationes) al exterior de las capas de silicio. Por ejemplo, reemplazando el  $Al^{+++}$  con  $Mg^{++}$ , se establece una deficiencia de una carga positiva que tiene que ser balanceada, agregando externamente un ion cargado positivamente (cati6n) como sodio ( $Na^+$ ), potasio ( $K^+$ ), Calcio ( $Ca^{++}$ ) y Magnesio ( $Mg^{++}$ ).

De la misma manera, una sustituci6n interna de silicio ( $Si^{+++}$ ) por aluminio ( $Al^{+++}$ ) dentro de una capa 6xido de silicio debe de balancearse agregando un cati6n. Lo peque1o de las aberturas en las configuraciones hexagonales en las regiones superficiales de las capas de s6lica y, lo largo de su diámetro, hace que los iones  $Na^+$  y  $Ca^{++}$  se coloquen externamente. Un modelo se encuentra en la figura II.3 ref. (1).

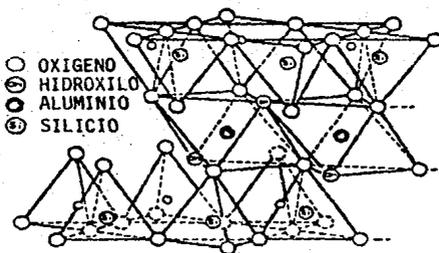
La capacidad de intercambiariones es una habilidad de los minerales arcillosos. Algunos cationes pueden prenderse mäs firmemente que otros, en un definido orden de preferencia; los cationes que poseen una valencia mäs alta pueden desplazar a los de menor valencia;  $Al^{+++}$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ , a  $K^+$ ,  $Na^+$ . Conforme



LA ESTRUCTURA BASICA TETRAEDRICA  
 DE LA "CAPA OXIDO DE SILICIO"  
 (TERMINADA MAS CORRECTAMENTE  
 "LA CAPA SILICIO-OXIGENO")

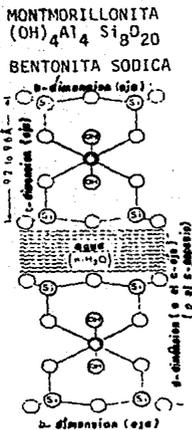
ESTRUCTURA OCTAEDRICA  
 "LA CAPA DE GIBBSITE"  
 $[Al(OH)_6]^{3-}$

FIGURA II.2 REF (1)

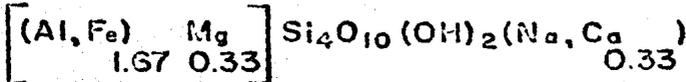
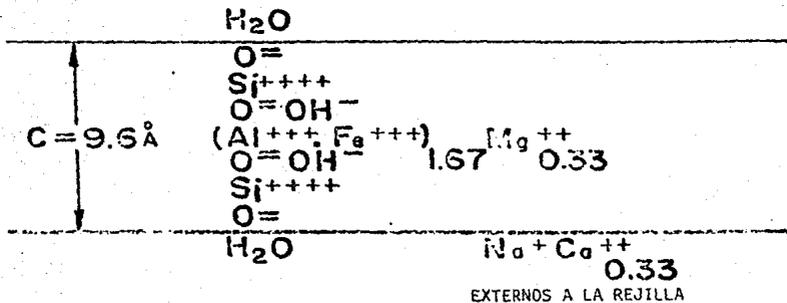
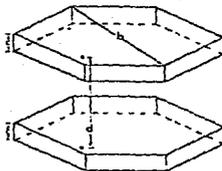


CATIONES INTERCAMBIABLES  $nH_2O$

CELDAS UNITARIA DE BENTONITAS O ARCILLAS



- (OXIGENO)
- ⊙ (HIDROXILO)
- ⊕ (ALUMINIO)
- ⊗ (SILICIO)



ESTRUCTURA DE RED DE LA MONTMORILLONITA (BENTONITA) (ROSS Y HENDRICKS)(1)

FIGURA 11.3 REF (1)

a ésto, la activación de las bentonitas con carbonato de sodio es más que una sustitución, una corrección de deficiencia de cationes y los de calcio que ya existían, permanecen inalterados.

COMPORTAMIENTO AL SUBIR LA TEMPERATURA.- El análisis térmico diferencial a las bentonitas se usa para determinar los cambios estructurales cuando se someten a incrementos progresivos de temperatura. La estructura de la montmorillonita desaparece entre 850°C y 900°C y, se transforma a "mullita", "cristobalita", o en el caso de las calcicas, a cordierita. El calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) promueve la creación de una estructura cristalina frágil (cristobalita) y el sodio ( $\text{Na}^+$ ) y el potasio ( $\text{K}^+$ ) impiden esa cristalización, promoviendo en cambio, plasticidad en caliente a temperaturas elevadas.

Las curvas de deshidratación al equilibrio de las bentonitas, pueden ser usadas para tener información adicional. La pérdida de peso a varias temperaturas indica las pérdidas de moléculas de agua que se mantenía unida electroquímicamente; la fijación de cationes adsorbidos y la expulsión de hidroxilos de las estructuras de las bentonitas.

De la referencia (2) M Rochier y F. Detert escriben al respecto del comportamiento térmico:

"Las arcillas son silicatos de aluminio hidratadas, caracterizadas principalmente por su estructura bidimensional (en laminillas). Están formados fundamentalmente por el ensamble de iones  $\text{O}^{++}$ , Si, Al e hidróxidos, constituyendo el motivo de la laminilla u hojilla elemental, en el caso de las arcillas montmorilloníticas, que son el constituyente normal de la bentonita, la neutralidad eléctrica de esta laminilla elemental es obtenida por la fijación de cationes alcalinos o alcalinotérreos: Na y Ca, principalmente el espacio entre dos laminillas consecutivas es ocupado por moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$  de la llamada "agua libre" o "agua hidrostópica". En los intersticios dejados por los iones situados en la

superficie de la laminilla puede igualmente existir moléculas de agua, llamada "agua zeolítica" o de "embebimiento", más o menos ligada a los iones que están alrededor. esta agua zeolítica no existe más que en ciertas especies arcillosas, las montmorilloníticas en particular. Consideramos entonces aquello que sucede cuando calentamos una arcilla a temperaturas cada vez mayores del ambiente; hasta una temperatura de alrededor de 100-110°C se produce la evaporación del agua libre (como consecuencia, el acercamiento de la laminilla entre sí). En este estado si la laminilla es dejada al aire libre, ella absorberá nuevamente agua de la atmósfera, con la cual de hecho es regresada a su estado inicial, sin la mínima alteración de su estructura y de sus propiedades. Por otra parte si el calentamiento se prosigue de los 110°C la desaparición del agua zeolítica se produce hasta una temperatura máxima del orden de 500°C, ésta eliminación parece ser mucho más progresiva que aquella del agua libre si, nuevamente, después de eliminar esta agua zeolítica uno deja la arcilla al aire libre, esta arcilla recuperará después del enfriamiento, el agua zeolítica perdida. Pero así como la pérdida de esta agua es menos rápida que la del agua libre, su retorno necesita también un cierto tiempo, el cual varía principalmente en función de la temperatura obtenida. Este fenómeno es por lo tanto reversible y la arcilla vuelve a recobrar sus propiedades iniciales. A partir de una cierta temperatura, dependiendo del tipo, de la composición y de la estructura de la arcilla, los iones  $\text{OH}^-$  se cambian entre ellos para formar moléculas de agua, frecuentemente llamada "agua de constitución", la formación de esta agua de constitución modifica de manera irreversible la estructura cristalina de la laminilla. La plasticidad y el poder cohesivo desaparecen, la arcilla que da lugar a la arcilla muerta o quemada, después del calentamiento de la arcilla a temperatura creciente se presenta una curva termogravimétrica caracterizada por las particularidades siguientes:

Como primer ejemplo la curva termogravimétrica de una bentonita sódica natural (figura II.4), desde temperatura ambiente hasta 150°, esta curva pone en evidencia una pérdida de masa relativamente importante de alrededor de 8% - correspondiente a la eliminación del agua libre, después entre los 150 y 530°C, nosotros vemos ahí una variación de pendiente, donde la ligera pendiente es traducida como la eliminación muy progresiva del agua zeolítica al rededor del 5%, la transformación irreversible de la estructura de la arcilla se alcanza a los 530°C para terminar finalmente a 700°C con, (en el caso presente), una pérdida de 3.5% de agua de constitución.

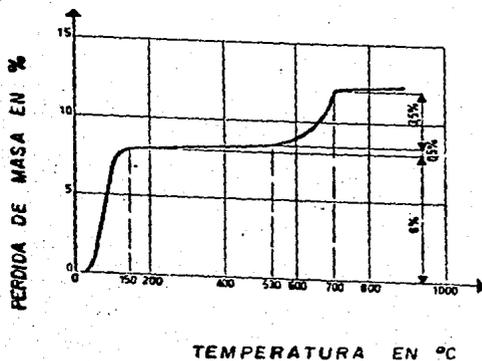


FIGURA II.4 REF(2)

Curva termogravimétrica de una bentonita sódica natural

El análisis termogravimétrico de 10 bentonitas usadas en el trabajo se efectuó en el departamento correspondiente de la Facultad de Química y los datos se encuentran en el Apéndice (1).

UNIONES ELECTROQUIMICAS.- Las cargas no neutralizadas que promueve el asimiento de cationes a las superficies de la bentonita, también influyen en la posición de las moléculas de agua cuando se agrega humedad y se transforma en capas de bentonita-agua sobre los granos de arena.

La estructura de tres capas de las celdas unitarias de bentonitas resulta en la existencia de cargas similares en las superficies opuestas de las placas adyacentes y la repulsión ayuda en la separación y el acomodamiento de los cationes y moléculas de agua entre placas. Una vez en posición, los cationes sirven para contrarrestar la repulsión y limitar la expansión y contracción de los espacios de las placas cuando se añade o quita el agua.

Como se verá más adelante, las cargas superficiales sobre las placas de bentonita inducen efectos electroquímicos que forzan un alineamiento ordenado y rígido de moléculas de agua dentro de las primeras tres capas colocadas en la superficie de la placa. La existencia y la influencia de lo que se llama "unión por agua rígida" determina el potencial de moldeabilidad y la estabilidad térmica de las fundiciones aglutinadas con bentonitas.

INFLUENCIA ESPECIFICA DE LOS CATIONES SODIO Y CALCIO.- La predominancia de  $\text{Na}^+$  o  $\text{Ca}^{++}$  en una bentonita, influencia su contractabilidad, durabilidad, moldeabilidad, etcétera. Las placas de bentonitas cálcicas no pueden contraerse lo mismo que la bentonita sódica cuando responden a la pérdida de capas de moléculas de agua. El  $\text{Ca}^{++}$ , un catión divalente fuerte mantiene un espaciado de aproximadamente 2 capas moleculares de sales de eliminación de una de estas moléculas entre placas adyacentes. El catión monovalente de sodio, más débil,

permite que continúe la contracción con la eliminación de capas sucesivas hasta la desaparición total de ellas.

De la misma manera, a bajos niveles de humedad, el espaciamiento mayor de placas de bentonitas calcicas facilitan la introducción de capas de moléculas de agua durante el mezclado en el molino. Se necesita más energía y tiempo para acomodar un número igual de estas capas de agua, entre placas de bentonita sódica. El catión divalente igualmente promueve la desorción continua y progresiva pero con tiempo prolongado.

#### A G U A.-

Es un compuesto químico de un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno formando una molécula  $H_2O$  cuando está presente en los estados líquidos o gaseosos, las moléculas de agua deslizan libremente una en otra y hay tendencia a reunirse en forma ordenada. Sin embargo, cuando se inmoviliza ya sea por la acción de fuerzas externas de carácter electroquímico debidas a la temperatura, ellas se combinan para formar anillos de moléculas de forma hexagonal, es este acomodamiento ordenado de moléculas que causa al hielo expandirse y lograr una densidad menor que la del agua.

PROPIEDADES COMO UNION.- La atracción mutua de moléculas adyacentes es la que ocasiona la tensión superficial del agua líquida. Una atracción mucho más fuerte existe cuando las moléculas de agua se ponen en contacto con otras en una superficie sólida, cuando esto ocurre, el agua exhibe las propiedades de mojado y capilaridad; el agua moja, se extiende, trepa a la superficie y así sigue para unir una partícula sólida a otra.

La afinidad del agua por otras moléculas se demuestra por el fenómeno conocido como capilaridad, las moléculas de agua primero mojan y luego suben al interior de la pared.

El núcleo de los átomos de hidrógeno dentro de las moléculas de agua estable-

ce lazos fuertes (uniones electroquímicas) con los átomos de oxígeno del  $\text{SiO}_2$  en las superficies de las arenas y con los silicatos de las bentonitas, más aún, porque la molécula de agua es dipolar, la influencia electroquímica de las cargas sin neutralizar en la superficie puede extenderse a través de varias capas de moléculas de agua. Dentro de cada capa, las moléculas que la componen se alinean en un arreglo rígido y ordenado. En otras palabras, aunque existen a temperatura ambiente, las moléculas se comportan como si estuvieran congeladas en posiciones como las del hielo. De ahí el nombre de agua rígida. En esta condición, existe una unión muy fuerte entre capas adyacentes de las moléculas de agua y a una interface agua/sólido.

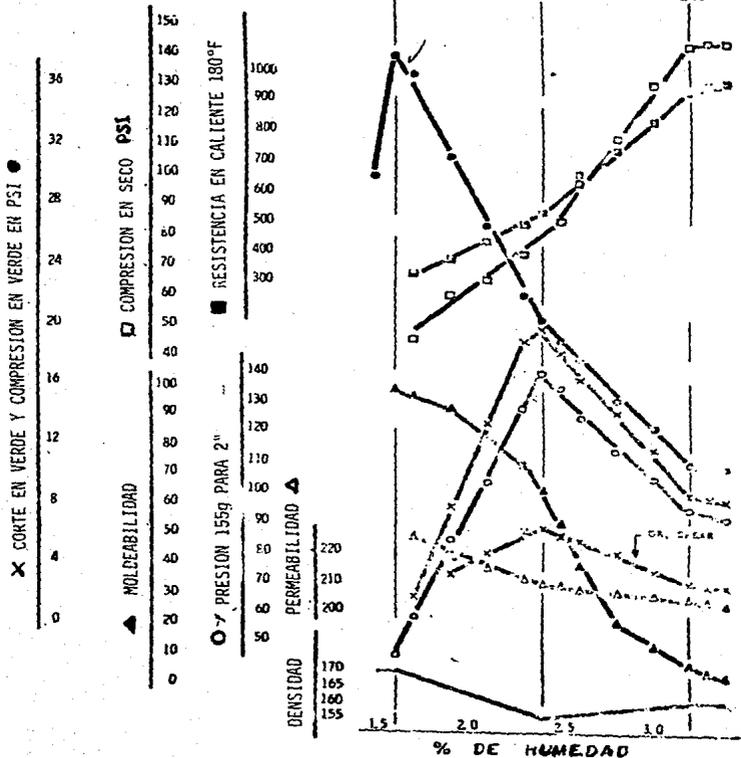
**PROPIEDADES COMO ENFRIADOR.**- El hecho de que el agua requiere una gran cantidad de calor para alcanzar su estado de vapor es la razón de que puede haber recirculación y reuso de arena de sistema de fundición. Sin agua para absorber y disipar el calor, no sería posible recircular la arena, ya que una vez seca, el sistema rápidamente se sobrecalienta y se requerirán tiempos de enfriamientos muy largos.

**PROPIEDADES COMO SOLVENTE.**- El agua disuelve muchos sólidos y gases que son capaces de influenciar las propiedades fisicoquímicas de las arcillas comunmente usadas en la unión de las arenas de fundición. Las aguas naturales frecuentemente contienen sales solubles como calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), etcétera que pueden promover el desplazamiento de los cationes presentes en la superficie de las arcillas y puede iniciar problemas en el procesamiento y control de un sistema de arena.

**PUNTO DE TEMPLE.**- Una de las características más significativas de las mezclas arena-bentonita-agua, es el acomodamiento durante el ensaye de algunas propie-

RELACION DE AGUA/ARCILLA BASE 5.4% DE  
ARCILLA EFECTIVA.

RELACION AGUA-ARCILLA BASE 6% DE  
ARCILLA AGREGADA



COMPARACION DE VARIOS ENSAYOS MECANICOS ENFATIZANDO EL ENSAYO DE COMPRESION CON PROBETA DE DENSIDAD CONSTANTE CONTRA LA COMPRESION EN PROBETA DE 3 GÓLPE, 6% BENTONITA SODICA, ARENA AFS 60

FIGURA 11.5 REF. (5)

dades físicas de las mismas, al variar la cantidad del último componente, (agua) y para cada contenido de bentonita. Técnicamente se puede definir un punto de temple cuando se alcanza la relación agua/arcilla que corresponde a la máxima resistencia y a la mínima densidad. Para mezclas de arena-bentonita-agua, sin otros aditivos, esto es aproximadamente 0.35. agua/arcilla.

Una arena bien preparada en su punto de temple producirá contornos agudos, limpios, definidos si tiene suficiente agua y aglutinante.

La arena subtemplada (antes de su condición de temple) es muy seca y tiende a romperse. La arena sobretemplada (después del temple) es muy húmeda y tiende a adherirse al modelo. La figura II.5 da la clave de las primeras deducciones de las relaciones entre el comportamiento físico-químico de los sistemas arcilla-agua y las mezclas de arena para fundición (arena-arcilla-agua).

Las curvas para mezclas con bentonitas sódicas se interpretan como la respuesta aproximada de esta última a la absorción de agua tal como se observa en exámenes del espaciamiento entre planos al absorber la bentonita el agua. (Ver figuras II.6 y II.7) tomadas de la referencia (1) o sea, la existencia de puntos críticos en las mezclas de arena se relaciona directamente a la eliminación de capas sucesivas de moléculas de agua de las partículas de bentonita con agua que unen los granos.

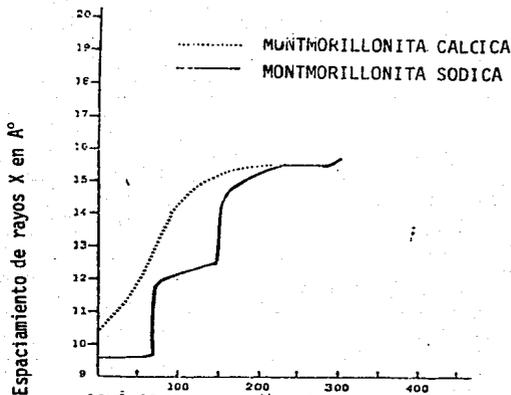


Fig. 11.6 ref. (5) Agua adsorbida Mg/g de arcilla.

Espaciamiento de rayos X en Montmorillonita como función del contenido de agua.

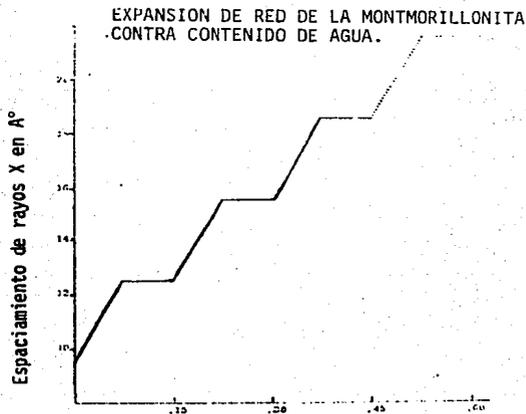


Fig. 11.7 ref. (5) Agua para Arcilla

Proyección idealizada de la relación Agua-Arcilla y número de capas moleculares pertinentes a explicar las relaciones fundamentales de la mezcla de Arenabentonita-agua.

En los ensayos con tres golpes se alcanzan valores muy altos de resistencia en verde a niveles de humedad coincidente con la presencia de dos capas moleculares de agua.

Abajo de este punto, las resistencias decrecen rápidamente al irse eliminando las segundas capas de las superficies de la bentonita y dentro de las mezclas. La inhabilidad aparente de las capas sencillas de agua para desarrollar uniones arcilla-agua, parece indicar que ellas están muy fuertemente ligadas a la superficie de las bentonitas. De lo anterior se desprende que no tienen la libertad electroquímica para responder a las cargas en las superficies de los granos. Se ha observado que hay separación de las capas de arcilla de los granos de arena cuando se muelen las mezclas a niveles de humedad inferiores a los requeridos por dos capas moleculares.

En conclusión de lo anteriormente expuesto, las adiciones de humedad y bentonita se transforman en capas que activan fuerzas y efectos electroquímicos. Las cargas superficiales se vuelven capaces de forzar una alineación muy ordenada y rígida de moléculas de agua dentro de las primeras capas ligadas a las placas de bentonita. Aunque existen a temperatura ambiente, la rigidez estructural de tales capas se aproxima a los arreglos moleculares del hielo. A este arreglo se le conoce como agua rígida.

Los granos de arena no poseen tantos puntos de carga por unidad de superficie como las placas de bentonita pero son igualmente capaces de participar en la unión electroquímica; las capas de "agua rígida" que unen la placa con placa, también sirven para unir las partículas agua-arcilla a las superficies de los granos. Con tres capas de agua rígida presentes, las placas adyacentes alcanzan su espacio máximo, las capas agua-arcilla desarrollan su máximo grosor y

las mezclas arena-bentonita-agua, desarrollan los puntos de mínima densidad y máxima resistencia.

En contraste a esta agua rígida, la cuarta capa de agua se llama a veces agua libre, ya que su comportamiento se aproxima a la del agua normal, no en posición rígida.

El ensayo de compactabilidad es una manera simple de evaluar el punto de temple. Este ensayo es particularmente sensible a cambios ligeros en contenido de humedad en el punto temper y bajo de él. El valor de compactabilidad de la mayoría de las mezclas en el punto temper existe aproximadamente a 45%.

Obviamente las medidas de compactabilidad son igualmente dependientes de la dispersión y la presencia de partículas de agua-arcilla en los puntos de contacto, sin embargo se puede aceptar que las medidas de compactabilidad son directamente relacionables a las razones agua-arcilla y al grado de implementación de la unión de agua rígida en los contactos arcilla-arcilla-grano de arena.

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

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.

La resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción se incrementan hasta alcanzar un máximo y subsecuentemente decrecen al aumentar una relación agua-bentonita en el rango de contenido de bentonita estudiado.

Para una relación de agua-bentonita dada, la resistencia a la compresión y tracción se incrementa al aumentar el contenido de bentonita.

ESTUDIOS SISTEMATICOS DE BENTONITA.- J. Navarrete, L. Fraufe y D. Siguin, en referencia (3) describen un trabajo que tiene como objetivo estudiar sistemáticamente el comportamiento tecnológico de 7 bentonitas clasificadas del 1 al 7, recogidas en fundiciones españolas listas para su empleo, y procedentes de diferentes países.

Las bentonitas se estudiaron tanto en estado de recepción como después de haberlas sometido a diferentes tratamientos térmicos previos de 2 hs a 400°C, 500°C y 600°C respectivamente y en mezclas de arena-bentonita-agua. Además se completó con el análisis térmico diferencial (ATD) y químico de las 7 bentonitas. Con el propósito de establecer relaciones de determinadas propiedades de las bentonitas al comportamiento de las mezclas arena-bentonita-agua, se mezclaron 3 Kg de arena tipo, 243 g de bentonita y (7-8)% de humedad, con ella se hacen los ensayos de humedad, resistencia a la compresión, en verde y en seco, resistencia a la tracción, y compactabilidad, después de sucesivos mezclados de 5 minutos durante los cuales la mezcla va perdiendo humedad, se repiten los anteriores ensayos y finalizan la operación de mezclado cuando el 1% de humedad no permita confeccionar las probetas de ensayo, por el bajo contenido de agua en ella.

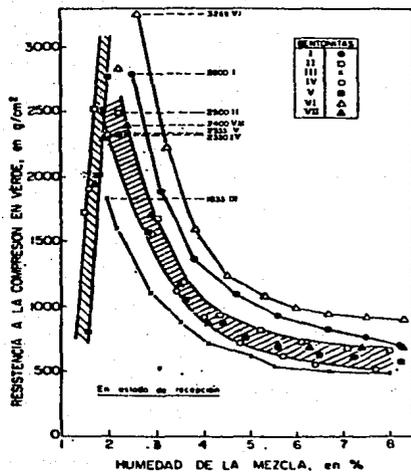
A continuación se reproducirá la interpretación resumida de ese estudio dada por los mismos autores:

RESISTENCIA A LA COMPRESION.- La figura II.8 muestra las curvas de resistencia a la compresión en verde, en función de la humedad, de mezclas con bentonitas en estado de recepción lo cual indica que las bentonitas 6 y 1 obtienen las máximas resistencias.

A 600°C la figura II.9 vuelve a aparecer una analogía de comportamiento de las

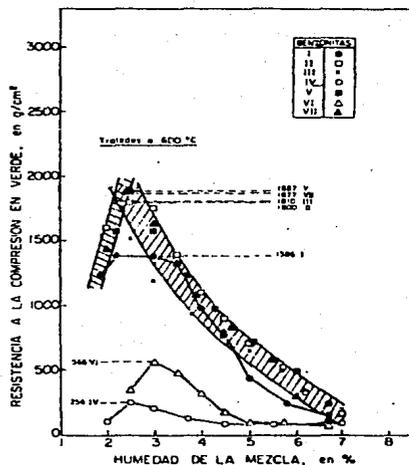
bentonitas 1,4 y 6 con acusadas caídas del valor máximo, pero por otro lado las bentonitas 2, 5 y 7 sufren una degradación manifiesta.

FIGURA II.8 REF (3)



—Comparación de las curvas de resistencia a la compresión en verde, en función de la humedad de las mezclas, con bentonitas en estado de recepción.

FIGURA II.9 REF (3)



—Comparación de las curvas de resistencia a la compresión en verde, en función de la humedad de las mezclas, con bentonitas tratadas previamente a 600°C durante 2 h.

RELACION COMPACTABILIDAD/RESISTENCIA A LA COMPRESION. En la Figura II.10 se comparan las curvas de resistencia a la compresión en verde en función de la compactabilidad de las mezclas en estado de recepción. El 45% de compactabilidad de las mezclas permite obtener con validez tecnológica, por la óptima preparación de la mezcla, un valor concreto de la resistencia a la compresión en verde, que da coherencia al criterio de selección.

El valor experimental de la máxima resistencia a la compresión en verde adolece de un grado de error elevado, debido a que se encuentra en una zona crítica de la curva, en la que pequeños cambios de humedad producen grandes variaciones de resistencia, ya que el máximo poder aglutinante se desarrolla cuando el agua rígida adherida a la superficie de las laminillas de arcilla está formada por una capa dimolecular, y con una disminución de la humedad se pasa a una capa monomolecular, ineficaz desde el punto de vista aglutinante con el resultado de provocar una vertiginosa caída de la resistencia, el paso a una capa trimolecular, por un incremento de la humedad, también disminuye de forma acusada la capacidad aglutinante, aunque no tan bruscamente.

Es en esta última zona de humedad donde se sitúa el 45% de compactabilidad, parte de la curva evidentemente menos crítica.

En estado de recepción, las bentonitas 3 y 6 siguen ocupando respectivamente, los mismos lugares de valores de resistencias, mínimo y máximo. Sin embargo, bajo tratamiento térmico previo a 600°C, se ordenan exactamente igual que en el apartado anterior figura II.10 y II.11.

RESISTENCIA A LA COMPRESION EN SECO.- El análisis de las curvas de resistencia inicial correspondiente a las bentonitas en estado de recepción figura II.12, nos indica que la bentonita 3, que ocupaba el último lugar en las curvas de resistencia a la compresión en verde ocupa ahora el primer lugar y la que tenía

la máxima resistencia a la compresión en verde ocupa ahora la mínima en seco, las demás tienen un comportamiento semejante, diferenciándose claramente las bentonitas 4 y 1, con valores más bajos para este ensayo, el calentamiento previo a solo 500°C ya aporta datos significativamente diferenciadores al ser tratados a 500°C, la bentonita 1,4 y 6 disminuye su resistencia en seco en más de un 80%, diferenciándose claramente de las otras, como se aprecia en la figura II.13. Los ensayos tecnológicos realizados tanto con las bentonitas en sí como con las mezclas de arena-bentonita-agua, ponen de manifiesto las analogías y diferencias de las bentonitas estudiadas y, por tanto, las dificultades que entraña la valoración de estos productos naturales comercializadas.



### III. EXPERIMENTACION

Se prepararon mezclas de arena al 6% de bentonitas sódicas y cálcicas, 8 mexicanas y 2 extranjeras con un contenido de humedad de 8% hasta el 1% por el método de desecación, a dichas mezclas se le realizaron las siguientes pruebas a temperatura ambiente y después de un tratamiento de calcinado a 500°C y 600°C por dos horas.

- 1° Contenido de humedad
- 2° Resistencia a la compresión
- 3° Resistencia a la compresión en seco
- 4° Resistencia a la tracción
- 5° Compactabilidad
- 6° Azul de metileno

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

Mezclado.- La eficiencia del mezclado se ve directamente reflejado en las diferentes propiedades mecánicas que se le efectúan a la arena; de ahí su importancia.

Con base a la eficiencia predeterminada del molino de Simpson del laboratorio de arenas, se tomaron 6000g base sólidos secos. Sobre esta cantidad se calculan los porcentajes que deben ser adicionados para efectuar la mezcla.

Se calcula el % de humedad que debe tener la mezcla en base al peso total de los sólidos secos.

Primero se mezcla la arena y el % total de agua durante 2 minutos, al término de éstas, se adiciona la bentonita y se deja que se mezclen durante 3 minutos; al final la mezcla es pasada a través de una criba metálica de .63 mm de abertura.

tura y conservada en un recipiente cerrado herméticamente hasta ser utilizada. En los ensayos mencionados, realizadas las pruebas, la arena es regresada al molino para mezclarla nuevamente durante cinco minutos, en los cuales la mezcla va perdiendo humedad, se repiten los ensayos y se finaliza la operación de mezclado cuando el porcentaje de humedad de la mezcla no permita confeccionar las probetas de ensayos, por el bajo contenido de agua en ella. Nótese que el tiempo final de mezclado fue de 40 minutos y que por lo tanto, las mezclas de distintas humedades tuvieron distintos tiempos de mezclados.

Humedad.- Para determinar la humedad de una mezcla se usaron los dos métodos; 1°. METODO POR AIRE CALIENTE FORZADO. Este método se emplea para dirigir aire caliente a través de una muestra de arena hasta que la humedad de la muestra se evapore completamente. La cantidad de humedad perdida durante la operación se determina pesando la muestra antes y después de dirigir el aire caliente a través de la misma. El contenido de humedad se calcula entonces como porcentaje utilizando el peso de humedad perdido y el peso original de la muestra. Se toma una muestra de 50 g y se coloca dentro de una charola cuyo fondo está hecho de tela metálica para filtro de 500 mallas. Estas partes se arman como unidad y se montan sobre un pedestal fundido de tal manera que el ventilador pueda tomar aire. Este aire pasa a través del tubo vertical y sobre los elementos calefactores que calientan al aire de admisión a 110°C y entonces queda expuesta la muestra durante 10 minutos (método norma A.F.S.).

2°. METODO DE LA LAMPARA INFRARROJA. Este método utiliza una lámpara infrarroja como fuente de calor para secar la humedad de la muestra, se pesan 50 g y se coloca en la charola con malla metálica, la cual a su vez se coloca sobre la lámpara durante 10 minutos; se saca y se pesa calculando la humedad como porcentaje utilizando el peso original y el peso perdido de la muestra. (Método norma A.F.S.).

## COMPACTABILIDAD

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. El procedimiento para la determinación norma A.F.S., es el siguiente: se pone un tubo patrón para la obtención de las probetas en un pedestal de cuba, montado sobre una base de ajuste. Se coloca debajo de una tolva de llenado que tiene acoplado una criba de .635 cm de abertura. Este arreglo elimina variaciones en el llenado del tubo patrón, se pasa la arena a través de la criba y se llena el tubo hasta que se esté desparramando, entonces cuidadosamente, se quita el exceso de arena con una espátula, quedando la altura idéntica a la altura del tubo. Cuidadosamente se coloca el tubo bajo la cabeza del embolo del apisonador y se da tres apisonadas. Después de apisonar, se observa a través de la parte superior de la varilla del embolo y se lee la compactabilidad en por ciento desde la escala, colocada en la parte superior del aparato de compactación. El aparato usado es un pisón de marca DIETERT accesorio DIETERT 315-C1 del Apisonador 315 DIETERT.

## RESISTENCIA A LA COMPRESION

La resistencia a la compresión de una arena es la máxima fuerza de compresión que una mezcla de arena es capaz de soportar cuando es preparada, compactada y probada, acorde con el procedimiento norma que se describe a continuación: Poner la probeta estándar entre las mordazas indicadas que están ya colocadas en la máquina del tipo del péndulo de peso muerto, enseguida conectar el interruptor y empezar a aplicar la carga, hasta el momento de la ruptura; en ese instante el péndulo regresará a su posición original dejando el aditamento magnético sobre la escala en la posición de máxima resistencia, indican-

do así el valor de la resistencia a la compresión.

#### RESISTENCIA A LA COMPRESION EN SECO

La resistencia a la compresión en seco es la máxima resistencia a la compresión que puede desarrollar una mezcla de arena humedecida.

Se aplica una probeta de arena de forma cilíndrica de 50.8 mm de diámetro x 50.8 mm de altura preparada de acuerdo al procedimiento norma, se retira el tubo de la probeta por medio de un poste extractor y se procede en la siguiente forma: la probeta es secada sobre un platillo plano y rígido en un horno ventilado a una temperatura no menor de 10°C ni mayor de 110°C durante dos horas, se retira la probeta del horno y se permite que se enfríe en un secador hasta temperatura ambiente. Después de esto, es colocada en la máquina de tipo universal hasta que la cabeza de compresión esté en contacto con la probeta. Se aplica la carga hasta que la probeta se rompa, una vez que ocurra esto, la máquina acciona la reserva automáticamente. -el valor de la resistencia a la compresión en seco se lee directamente del disco en la escala correspondiente a resistencia a la compresión en seco, la prueba se realiza por triplicado para obtener un valor promedio-.

#### RESISTENCIA A LA TRACCION

La resistencia a la tracción de una mezcla de arena de moldeo es la resistencia máxima que la mezcla es capaz de soportar, cuando se le prepara y ensaya de acuerdo con el procedimiento norma A.F.S.

La máquina utilizada para las determinaciones es del tipo universal de viga. La probeta norma es apisonada en un tubo dividido en dos partes, diseñado para que la arena pueda separarse durante la prueba, cuando ésta se rompe. Una vez preparada la probeta se coloca en el portatubo 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 ésto, la máquina para, y se acciona la reversa automáticamente. El valor de la resistencia a la tracción en  $OZ/plg^2$  se lee directamente del disco en la escala correspondiente a resistencia a la tracción. La prueba se realiza por triplicado para obtener un valor promedio.

#### DETERMINACION DE LA ARCILLA TOTAL POR AZUL DE METILENO

Para la determinación de la arcilla total disponible para los propósitos de unión en una mezcla, se usa el método de azul de metileno que consiste en: Tomar una muestra de 5g de mezcla seca, se coloca en un vaso de precipitado de acero inoxidable en 50 ml de una solución al 2% de pirofosfato tetrasódico, el recipiente es luego pasado a un agitador ultrasónico y sujeto a 5 minutos de acción para romper los apelmamientos y dispersar la arcilla, adicionar el 80% de la solución de azul de metileno estimado para la titulación y agitar durante dos minutos, tomar una gota de la solución titulada y hacer la prueba del halo sobre un papel filtro; si no aparece el halo, adicionar 1 ml más de la solución de azul de metileno y volver a agitar durante dos minutos, si aparece el halo agitar dos minutos adicionales, si con ese tiempo desaparece el halo, volver a adicionar solución de azul de metileno y agitar nuevamente así, hasta que el halo no desaparezca con los dos minutos adicionales de agitado. En este momento registramos los mililitros de solución de azul de metileno gastados para alcanzar el halo, que corresponden a la cantidad de arcilla presente en la muestra.

#### METODO PARA DETERMINAR EL FACTOR

Se efectuó el ensayo de azul de metileno para cada arcilla y después de cada tratamiento a 500°C y 600°C. Determinando primero el factor y después el % de arcilla a una muestra de la mezcla sometida a desecación que más se acomodó al tiempo de experimentación sin tomar en cuenta el contenido de humedad total

de esta.

Pesar 0.3 g de la arcilla muestra seca y previamente tratada, después mezclar 4.7 g de la arena patrón que se usó en la experimentación según el procedimiento con el pirofosfato y sometiéndolo a la agitación ultrasónica antes de titular.

METODO PARA EL TRATAMIENTO DE LA BENTONITA A TEMPERATURA DE 500°C y 600°C usando la estufa de marca LINDBERG con intervalo de temperatura de 200°C 1200°C.

Se ponen 500 g de bentonita en un bote limpio y cerrado para evitar proyecciones, el cual es colocado en la estufa, se gira la perilla a la temperatura deseada durante 2 horas. Registrada esta temperatura, la mufla se apaga y se abre para que se enfríe a temperatura ambiente, después de este tratamiento, se toma la muestra a peso deseado para ser trabajada en los ensayos correspondientes

#### IV. RESULTADOS

Los resultados se presentan en las páginas posteriores de la forma siguiente:

- 1° Los resultados de las pruebas de las mezclas de arena con estas bentonitas se encuentran, graficados y tabulados en forma consecutivas IV.3 al IV.12 indicando claramente los datos de estado de recepción y después de haber tratado las bentonitas a 500°C y 600°C.
- 2° Las bentonitas se numeran del 3 al 12, ya que las bentonitas 1 y 2 que se refiere en el texto, no fueron probadas en este trabajo, sino en la referencia (4).
- 3° Se hace una descripción para cada bentonita, de los datos específicos de las pruebas a que fueron sometidas en este estudio.

RESISTENCIAS MECANICAS PARA 6% DE BENTONITA SODICA N.º 3  
EN ESTADO DE RECEPCION

32

H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	17
2	11.3	7.8	9.1	6.3	12	8.3	36
3	7.6	5.2	3.9	2.7	52	35.8	53
4	6.0	4.1	4.5	3.1	68	46.9	57
5	5.2	3.6	3.6	2.5	89	61.4	58
6	4.8	3.3	3.6	2.5	108	74.5	56
7	4.6	3.2	3.2	2.2	125	86.2	55
8	4.5	3.1	1.9	1.3	134	92.4	54

A 500 °C

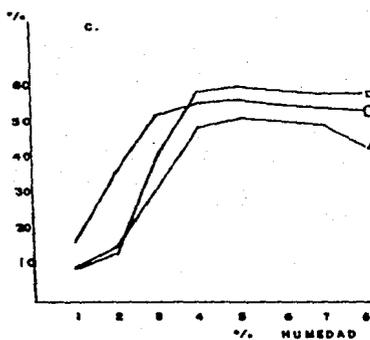
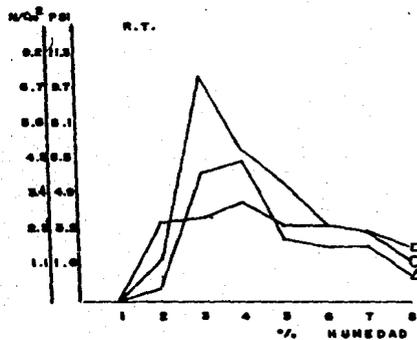
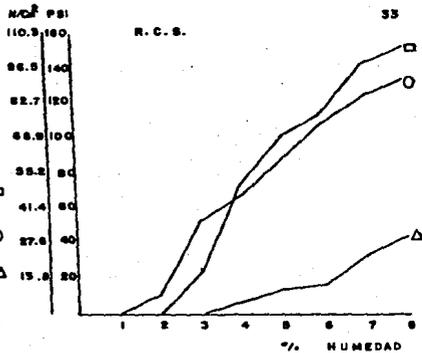
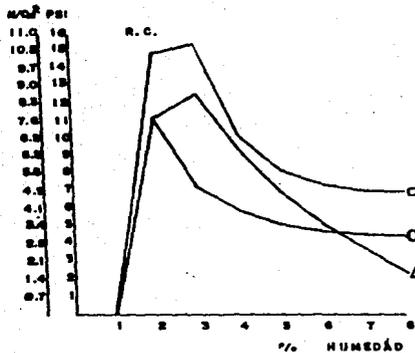
H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	10
2	15.0	10.3	1.9	1.3	0	0.0	14
3	15.6	10.8	11.0	7.6	24	16.5	41
4	10.5	7.2	7.1	5.5	74	51.0	59
5	8.4	5.8	5.5	3.8	102	70.3	61
6	7.5	5.2	3.6	2.5	114	78.6	60
7	7.1	4.9	3.2	2.2	142	97.9	59
8	7.0	4.8	2.6	1.8	152	104.8	59

A 600 °C

H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	10
2	11.0	7.6	0.6	0.4	0	0.0	15
3	12.7	8.8	5.8	4.0	0	0.0	32
4	9.6	6.6	6.5	4.5	8	5.5	49
5	7.1	4.9	2.9	2.0	14	9.7	52
6	5.3	3.7	2.6	1.8	17	11.7	51
7	3.9	2.7	2.6	1.8	34	23.4	50
8	2.5	1.7	1.2	0.8	44	30.3	44

ARCILLA TOTAL POR AZUL DE METILENO

	ml	% arcilla total	factor
E.R.	19	4.2	27
500°C	27	5.4	30
600°C	16	6.4	15



BENTONITA SODICA No. 3

R.C.: RESISTENCIA A LA COMPRESION

R.C.S.: RESISTENCIA A LA COMPRESION EN SECO

R.T.: RESISTENCIA A LA TRACCION

C.: COMPACTABILIDAD

○ = ESTADO DE RECEPCION

□ A 300 °C

△ A 600 °C

CURVAS DE RESISTENCIAS DE ENSAYOS MECANICOS

GRAFICA IV-3

**RESISTENCIAS MECANICAS PARA 6% DE BENTONITA CALCICA N.º 4 EN  
ESTADO DE RECEPCION**

H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
1	5.0	3.4	0.6	0.4	0	0.0	11
2	3.5	9.3	7.1	5.5	7	4.8	26
3	8.7	6.0	3.9	2.7	36	24.8	49
4	5.9	4.1	4.5	3.1	56	38.6	54
5	5.0	3.4	3.6	2.5	78	53.8	55
6	4.2	2.9	2.9	2.0	91	62.7	53
7	3.2	2.2	3.2	2.2	109	75.0	51
8	3.3	2.3	2.6	1.8	125	86.2	50

A 500 °C

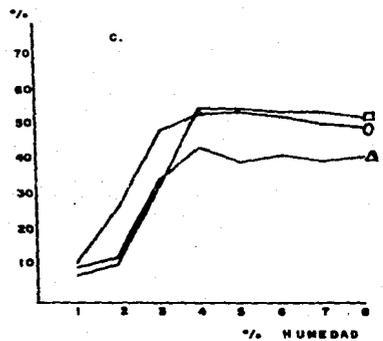
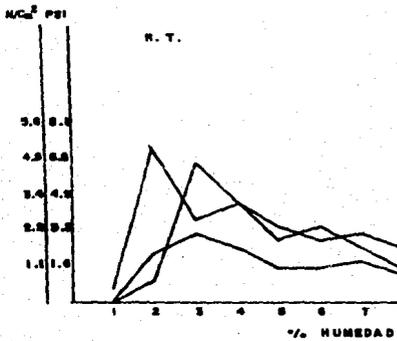
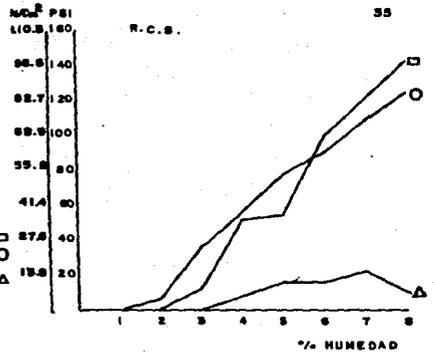
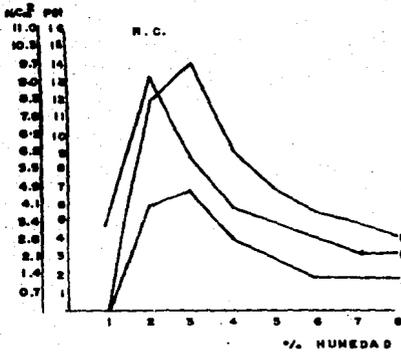
H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	08
2	2.0	8.3	1.0	0.7	0	0.0	11
3	14.3	9.9	6.5	4.5	12	8.3	33
4	9.3	6.4	4.6	3.2	52	35.8	55
5	7.1	4.9	2.9	2.0	54	37.2	55
6	5.7	3.9	3.6	2.5	99	68.3	54
7	5.0	3.5	2.6	1.8	122	84.1	54
8	4.3	3.0	1.6	1.1	142	97.9	53

A 600 °C

H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	10
2	6.0	4.1	2.2	1.5	0	0.0	13
3	6.9	4.8	3.2	2.2	0	0.0	34
4	4.2	2.9	2.6	1.8	8	6.2	44
5	3.0	2.1	1.6	1.1	16	11.0	40
6	2.0	1.4	1.6	1.1	18	12.4	42
7	2.0	1.4	1.9	1.3	21	14.5	40
8	1.8	1.2	1.2	0.8	10	6.9	41

**ARCILLA TOTAL POR AZUL DE METILENO**

	ml	% arcilla total	factor
E.R.	23	5.5	2.5
500°C	23	5.5	2.5
600°C	9	2.8	1.9



ORTONITA CALCICA No- 4

R.C. = RESISTENCIA A LA COMPRESION

R.C.S. = RESISTENCIA A LA COMPRESION EN SECO

R.T. = RESISTENCIA A LA TRACCION

C = COMPACTABILIDAD

○ = ESTADO DE RECEPCION

□ A 300 °C

△ A 600 °C

CURVAS DE RESISTENCIAS DE ENSAYOS MECANICOS

GRAFICA IV-4

36

**RESISTENCIAS MECANICAS PARA 6% DE BENTONITA SODICA N° 5 EN  
ESTADO DE RECEPCION**

H <sub>2</sub> O %	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP EN SECO		COMPACTA BILIDAD %
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	10
2	16.4	11.3	2.6	1.8	4	2.8	21
3	11.0	7.6	7.8	5.4	36	24.8	53
4	7.7	5.3	3.9	2.7	64	44.1	57
5	6.1	4.2	2.9	2.0	85	58.6	55
6	5.4	3.7	2.9	2.0	99	68.3	56
7	4.8	3.3	1.2	0.8	118	81.3	55
8	4.6	3.2	1.9	1.3	141	97.2	52

A 500 °C

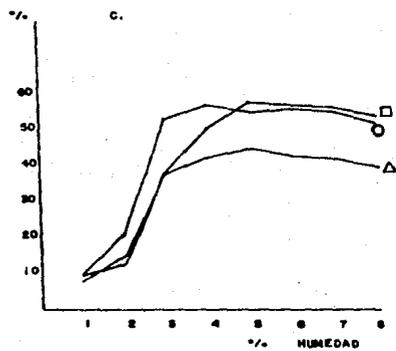
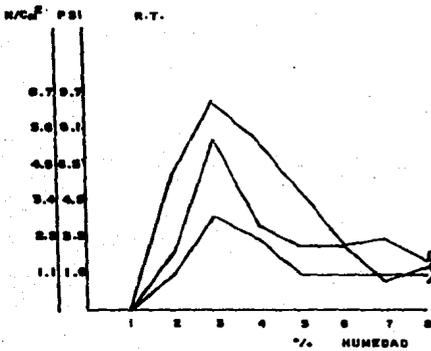
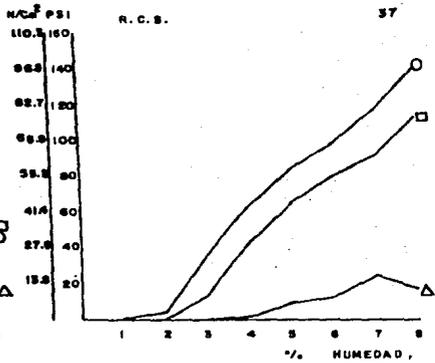
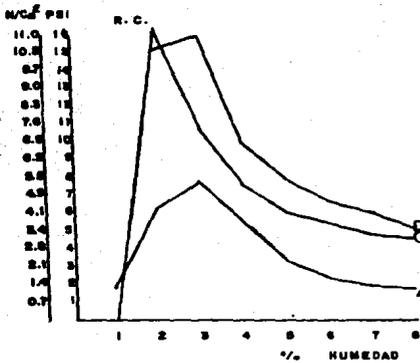
H <sub>2</sub> O %	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP EN SECO		COMPACTA BILIDAD %
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	08
2	15.3	10.5	6.2	4.3	0	0.0	15
3	16.0	11.0	9.4	6.5	14	9.7	38
4	10.0	6.9	7.8	5.4	43	29.6	51
5	7.9	5.4	5.5	3.8	66	45.5	58
6	6.7	4.6	2.9	2.0	81	55.8	57
7	6.1	4.2	3.2	2.2	92	63.4	56
8	5.2	3.6	2.2	1.5	114	76.6	54

A 600 °C

H <sub>2</sub> O %	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP EN SECO		COMPACTA BILIDAD %
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
1	1.8	1.2	0.0	0.0	0	0.0	10
2	6.3	4.3	1.6	1.1	0	0.0	13
3	7.9	5.5	4.2	2.9	0	0.0	38
4	5.4	3.7	3.2	2.2	2	1.4	43
5	3.4	2.3	1.6	1.1	10	6.9	45
6	2.4	1.7	1.6	1.1	14	9.7	43
7	2.0	1.4	1.6	1.1	26	17.9	42
8	1.8	1.2	1.6	1.1	18	12.4	40

**ARCILLA TOTAL POR AZUL DE METILENO**

	ml	% arcilla total	factor
E.R.	21	5.2	28
500°C	26	5.0	31
600°C	12	3.4	21



**CURVAS DE RESISTENCIAS DE ENSAYOS MECANICOS**

BENTONITA SODICA No. 5

R.C.: RESISTENCIA A LA COMPRESION

R.C.S.: RESISTENCIA A LA COMPRESION EN SECO

R.T.: RESISTENCIA A LA TRACCION

C: COMPACTABILIDAD

○ ESTADO DE RECEPCION

□ A 500

△ A 800

GRAFICA IV-5

RESISTENCIAS MECANICAS PARA 6% DE BENTONITA CALCICA N°6 EN  
ESTADO DE RECEPCION

H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
1	3.1	2.1	0.6	0.4	0	0.0	25
2	7.9	5.4	3.9	2.7	12	8.3	40
3	5.4	3.7	4.2	2.9	60	41.4	50
4	4.2	2.9	3.2	2.2	100	68.9	50
5	3.8	2.6	2.9	2.0	125	86.2	51
6	3.6	2.5	2.6	1.8	136	93.8	52
7	3.4	2.3	1.2	0.8	148	102.0	52
8	3.3	2.3	1.0	0.7	142	97.9	51

A 500 °C

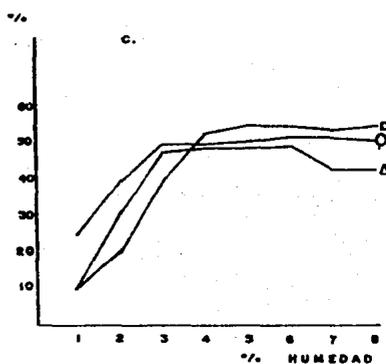
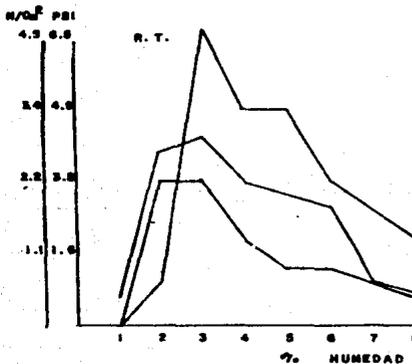
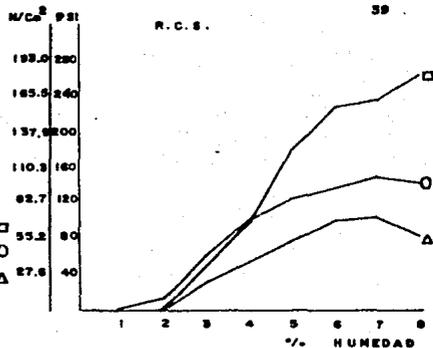
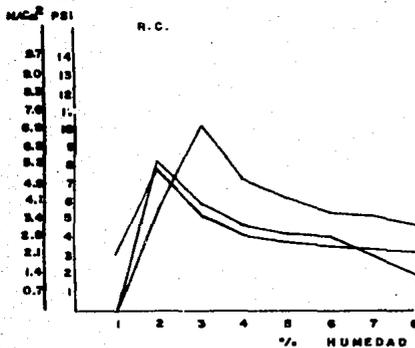
H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	10
2	5.5	3.8	1.0	0.7	0	0.0	20
3	10.2	7.0	7.1	5.5	48	33.1	40
4	7.4	5.1	4.9	3.4	99	68.3	53
5	6.3	4.3	4.9	3.4	176	121.3	55
6	5.5	3.8	3.2	2.2	230	158.6	55
7	5.3	3.7	2.6	1.8	234	161.3	54
8	4.9	3.4	1.9	1.3	264	182.0	55

A 600 °C

H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	10
2	8.2	5.7	3.2	2.2	0	0.0	30
3	6.0	4.1	3.2	2.2	32	22.1	48
4	4.9	3.4	1.9	1.3	54	37.2	49
5	4.2	2.9	1.2	0.8	77	53.1	49
6	4.0	2.8	1.2	0.8	100	68.9	50
7	3.0	3.1	1.0	0.7	104	71.7	47
8	2.0	1.4	0.6	0.4	84	57.9	43

## ARCILLA TOTAL POR AZUL DE METILENO

	ml	% arcilla total	factor
E.R.	20	7.0	17
500°C	17	6.0	17
600°C	15	9.0	10



BENTONITA CALCICA No. 5

R. C.: RESISTENCIA A LA COMPRESION

R. C. S.: RESISTENCIA A LA COMPRESION EN SECO

R. T.: RESISTENCIA A LA TRACCION

C.: COMPACTABILIDAD

○ ESTADO DE RECEPCION

□ A 500 °C

△ A 600 °C

CURVAS DE RESISTENCIAS DE ENSAYOS MECANICOS

GRAFICA IV-8

RESISTENCIAS MECANICAS PARA 6% DE BENTONITA SODICA N° 7 EN ESTADO DE RECEPCION

H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMPEN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
%							%
1	0.0	0.0	0.1	0.1	0	0.0	2.0
2	6.9	4.8	2.6	1.8	9.4	6.4.8	4.2
3	5.8	4.0	1.2	0.8	15.8	108.9	5.0
4	4.7	3.2	1.2	0.8	19.3	133.1	5.2
5	4.3	3.0	1.6	1.1	21.9	151.0	5.2
6	4.1	2.8	1.2	0.8	24.5	168.9	5.1
7	4.0	2.8	1.6	1.1	25.9	178.6	5.3
8	4.0	2.8	1.0	0.7	28.0	193.0	5.3

## A 500 °C

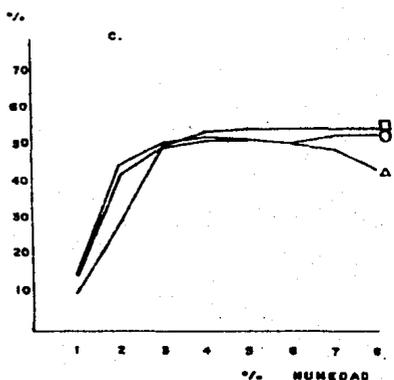
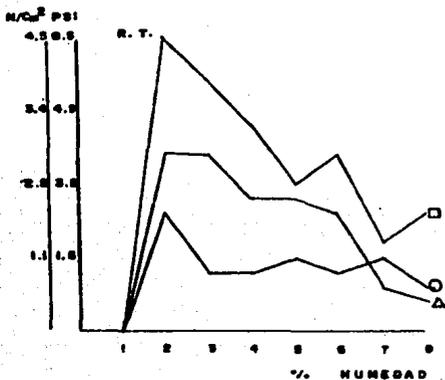
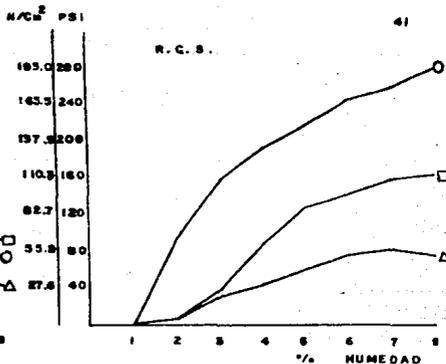
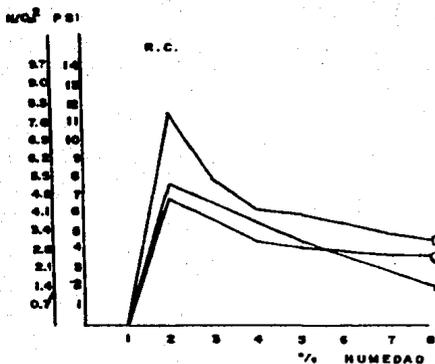
H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMPEN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
%							%
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	1.0
2	1.5	7.9	6.5	4.5	6	4.1	2.8
3	8.0	5.5	5.5	3.8	3.7	25.5	5.0
4	6.4	4.4	4.5	3.1	8.8	60.7	5.4
5	6.1	4.2	3.2	2.2	13.0	89.6	5.5
6	5.7	3.9	3.9	- .7	14.3	98.6	5.5
7	5.1	3.5	1.9	1.3	16.0	110.3	5.5
8	4.7	3.2	2.6	1.8	16.4	113.1	5.5

## A 600 °C

H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMPEN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
%							%
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
2	7.8	5.4	3.9	2.7	0.6	4.1	4.4
3	6.6	4.6	3.9	2.7	3.4	23.4	5.1
4	5.6	3.9	2.9	2.0	4.4	30.3	5.3
5	4.7	3.2	2.9	2.0	6.2	42.7	5.2
6	3.9	2.7	2.6	1.8	7.6	52.4	5.1
7	3.1	2.1	1.0	0.7	8.2	56.5	4.9
8	2.2	1.5	0.6	0.4	7.6	52.4	4.4

## ARCILLA TOTAL POR AZUL DE METILENO

	ml	% arcilla total	factor
E.R.	2.0	8.0	1.5
500°C	1.6	5.4	1.7
600°C	1.3	7.1	1.1



BENTONITA SODICA No-7

R.C.: RESISTENCIA A LA COMPRESION

R.C.B.: RESISTENCIA A LA COMPRESION EN DECO

R.T.: RESISTENCIA A LA TRACCION

C: COMPACTABILIDAD

○ : ESTADO DE RECEPCION

□ A 800 °C

△ A 600 °C

CURVAS DE RESISTENCIAS DE ENSAYOS MECANICOS

GRAFICA 19-7

**RESISTENCIAS MECANICAS PARA 6% DE BENTONITA CALCICA N.º 8 EN ESTADO DE RECEPCION**

H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	%	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	
1	2.0	1.4	0.3	0.2	0	0.0	28
2	6.5	4.5	3.9	2.7	6	4.1	48
3	4.3	3.0	3.2	2.2	67	46.2	51
4	3.5	2.4	2.6	1.8	110	75.8	50
5	3.2	2.2	1.0	0.7	142	97.9	50
6	3.0	2.1	0.6	0.4	160	110.3	49
7	3.1	2.1	1.0	0.7	163	112.4	51
8	3.0	2.1	1.0	0.7	152	104.8	51

A 500 °C

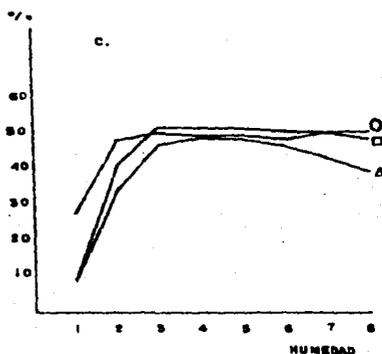
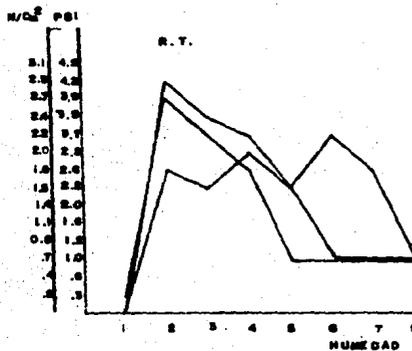
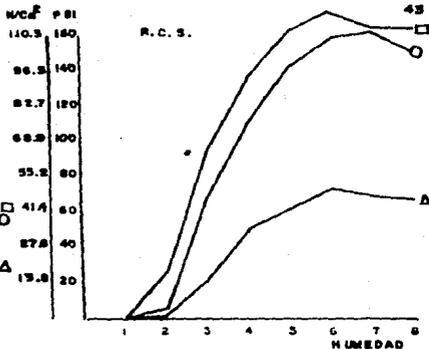
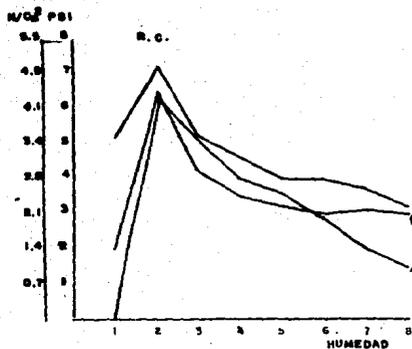
H <sub>2</sub> O	RESISTENCIAS A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	%	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	
1	5.2	3.6	0.0	0.0	0	0.0	10
2	7.2	5.0	2.6	1.8	27	18.6	41
3	5.2	3.6	2.2	1.5	94	64.8	52
4	4.6	3.2	2.9	2.0	136	93.8	52
5	4.0	2.8	2.2	1.5	162	111.7	52
6	4.0	2.8	3.2	2.2	174	120.0	51
7	3.7	2.6	2.6	1.8	165	113.8	51
8	3.2	2.2	1.0	0.7	164	113.1	49

A 600 °C

H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	%	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	10
2	6.3	4.3	4.2	2.9	2	1.2	34
3	5.1	3.5	3.6	2.5	22	15.2	47
4	4.0	2.8	3.2	2.2	50	34.5	49
5	3.6	2.5	2.2	1.5	62	42.7	49
6	2.9	2.0	1.0	0.7	74	51.0	47
7	2.0	1.4	1.0	0.7	70	48.3	44
8	1.5	1.0	1.0	0.7	68	46.9	40

**ARCILLA TOTAL POR AZUL DE METILENO**

	ml	% arcilla total	factor
E.R.	15	6.0	15
500°C	13	5.6	14
600°C	11	9.9	7



BENTONITA CALCICA No- 5

R.C. = RESISTENCIA A LA COMPRESION

R.C.S. = RESISTENCIA A LA COMPRESION EN SECO

R.T. = RESISTENCIA A LA TRACCION

C. = COMPACTABILIDAD

○ = ESTADO DE RECEPCION

□ = 500 °C

△ = 600 °C

CURVAS DE RESISTENCIAS DE ENSAYOS MECANICOS

GRAFICA IV- 8

RESISTENCIAS MECANICAS PARA 6% DE BENTONITA SODICA N.º 9 EN ESTADO DE RECEPCION

H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
1	3.7	2.6	0.6	0.4	0	0.0	20
2	3.4	9.0	3.9	2.7	2	1.4	41
3	9.6	6.6	2.9	2.0	37	25.5	52
4	7.0	4.8	2.2	1.5	98	67.6	52
5	4.6	3.2	1.2	0.8	123	84.8	51
6	3.9	2.7	1.2	0.8	142	97.9	50
7	3.8	2.6	1.5	1.1	146	100.7	51
8	3.3	2.3	1.2	0.8	161	111.0	52

A 500 °C

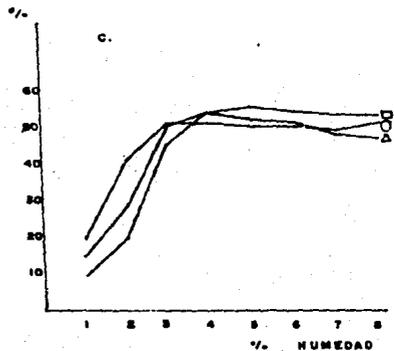
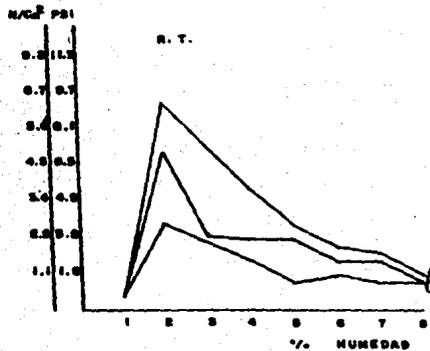
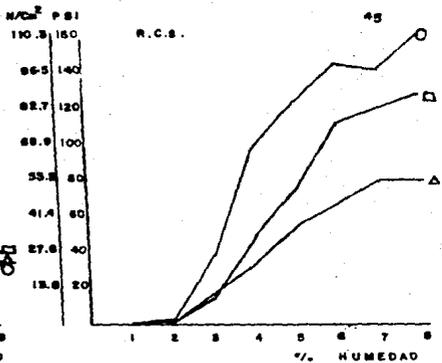
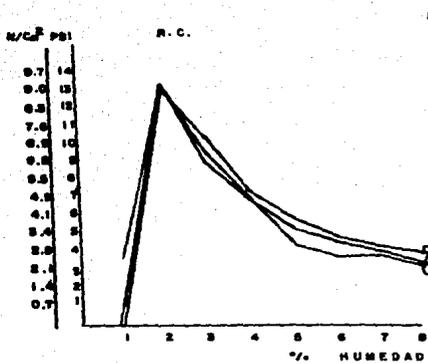
H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
1	0.0	0.0	0.6	0.4	0	0.0	10
2	3.5	9.3	7.1	5.5	0	0.0	20
3	0.5	7.2	8.1	5.6	14	9.7	46
4	7.5	5.2	3.2	2.2	48	33.1	55
5	6.0	4.1	3.2	2.2	75	51.7	56
6	5.0	3.4	2.2	1.5	112	77.2	55
7	4.4	3.0	2.2	1.5	120	82.7	54
8	4.0	2.8	1.2	0.8	128	88.2	54

A 600 °C

H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	15
2	3.3	9.2	9.4	6.5	0	0.0	28
3	9.1	6.3	7.5	5.2	16	11.0	51
4	7.0	4.8	5.5	3.8	34	23.4	55
5	5.4	3.7	3.9	2.7	54	37.2	53
6	4.7	3.2	2.9	2.0	66	45.5	52
7	4.1	2.8	2.6	1.8	80	55.2	49
8	3.5	2.4	1.6	1.1	80	55.2	48

## ARCILLA TOTAL POR AZUL DE METILENO

	ml	% arcilla total	factor
E.R.	24	6.3	23
500°C	20	5.5	22
600°C	19	7.3	16



**CURVAS DE RESISTENCIAS DE ENSAYOS MECANICOS**

BENTONITA SODICA No. 9

R. C. = RESISTENCIA A LA COMPRESION

R. C. S. = RESISTENCIA A LA COMPRESION EN SECO

R. T. = RESISTENCIA A LA TRACCION

C = COMPACTABILIDAD

○ = ESTADO DE RECEPCION

□ = A 500

△ = A 600

GRAFICA IV-9

48

**RESISTENCIAS MECANICAS PARA 6% DE BENTONITA SODICA N° 10 EN ESTADO DE RECEPCION**

H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
%							%
1	5.4	3.7	0.6	0.4	4	2.8	20
2	10.2	7.0	7.1	5.5	47	32.4	48
3	6.9	4.8	4.9	3.4	126	68.9	51
4	5.3	3.7	3.6	2.5	158	108.9	52
5	4.7	3.2	2.9	2.0	228	157.2	53
6	4.1	2.8	2.2	1.5	259	178.6	52
7	4.0	2.8	1.6	1.1	285	196.5	52
8	4.0	2.8	1.0	0.7	313	215.8	51

A 500 °C

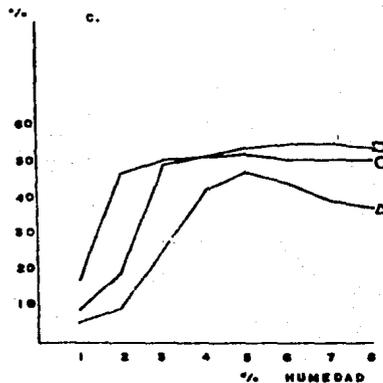
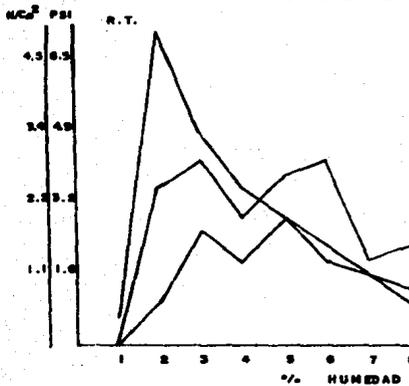
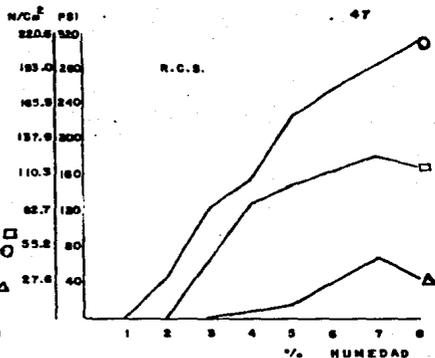
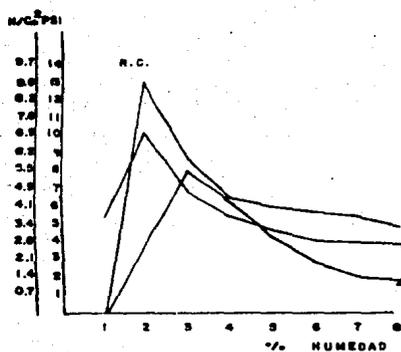
H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
%							%
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	10
2	3.0	9.0	3.6	2.5	4	2.8	20
3	8.9	6.1	4.2	2.9	66	45.5	50
4	6.6	4.6	2.9	2.0	129	88.9	53
5	6.0	4.1	3.9	2.7	151	104.1	55
6	5.7	3.9	4.2	2.9	169	116.5	56
7	5.4	3.7	1.9	1.3	185	127.5	56
8	4.9	3.4	2.2	1.5	175	120.6	55

A 600 °C

H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
%							%
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	6
2	3.8	2.6	0.9	0.6	0	0.0	10
3	8.0	5.5	2.5	1.7	0	0.0	26
4	6.4	4.4	1.9	1.3	10	6.9	43
5	4.5	3.1	2.9	2.0	16	11.0	48
6	2.8	1.9	1.9	1.3	44	30.3	45
7	2.0	1.4	1.6	1.1	68	46.9	40
8	1.8	1.2	1.2	0.8	48	33.1	38

**ARCILLA TOTAL POR AZUL DE METILENO**

	ml	% arcilla total	factor
E. R.	20	6.6	18
500 °C	19	5.7	20
600 °C	10	12.0	5



**CURVAS DE RESISTENCIAS DE ENSAYOS MECANICOS**

BENTONITA SODICA No- 10

R.C. = RESISTENCIA A LA COMPRESION

R.C.S. = RESISTENCIA A LA COMPRESION EN SECO

R.T. = RESISTENCIA A LA TRACCION

C. = COMPACTABILIDAD

O = ESTADO DE RECEPCION

□ A 500 °C

△ A 400 °C

RESISTENCIAS MECANICAS PARA 6% DE BENTONITA SODICA N° 11 EN  
ESTADO DE RECEPCION

H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
%							%
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	15
2	3.5	9.3	10.3	7.1	27	18.6	43
3	9.0	6.2	7.7	5.3	88	60.7	58
4	7.4	5.1	6.2	4.3	133	91.7	57
5	6.6	4.6	5.2	3.6	154	106.2	58
6	6.1	4.2	4.9	3.4	154	106.2	57
7	5.7	3.9	3.9	2.7	165	113.8	58
8	5.7	3.9	2.6	1.8	178	122.7	57

A 500 °C

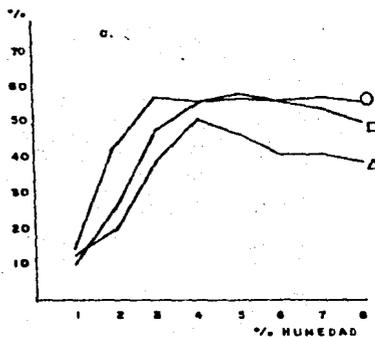
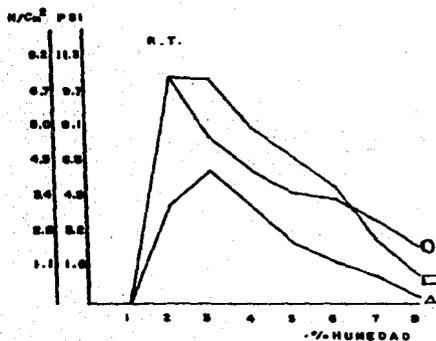
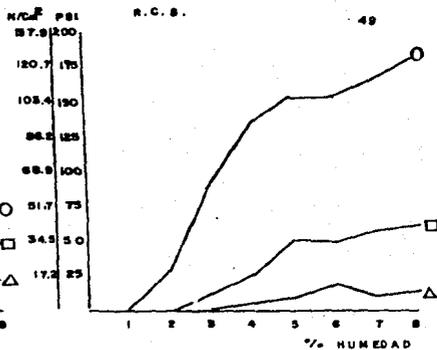
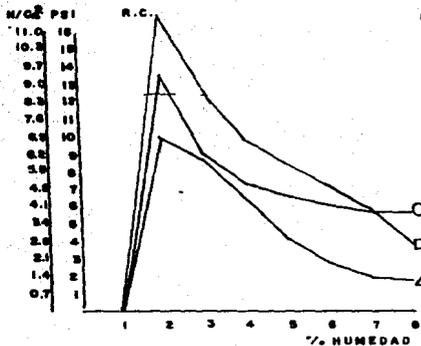
H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
%							%
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	10
2	6.9	1.7	0.3	7.1	0	0.0	26
3	2.8	8.8	0.3	7.1	14	9.7	49
4	9.8	6.8	8.1	5.6	26	17.9	57
5	8.5	5.9	6.9	4.8	52	35.8	59
6	7.3	5.0	5.5	3.8	50	34.5	57
7	5.9	4.1	2.9	2.0	58	40.0	55
8	3.9	2.7	1.2	0.8	62	42.7	51

A 600 °C

H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP. EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	PSI	N/Cm <sup>2</sup>	
%							%
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	13
2	9.9	6.8	4.5	3.1	0	0.0	20
3	8.7	6.0	6.2	4.3	0	0.0	40
4	6.5	4.5	4.5	3.1	4	2.8	52
5	4.1	2.8	2.6	1.8	10	6.9	48
6	2.8	1.9	1.9	1.3	20	13.8	42
7	2.0	1.4	1.2	0.8	12	8.3	42
8	1.8	1.2	0.3	0.2	14	9.7	40

ARCILLA TOTAL POR AZUL DE METILENO

	ml	% arcilla total	factor
E. R.	26	5.0	31
500°C	24	5.8	25
600°C	18	3.0	8



R.C. = RESISTENCIA A LA COMPRESION

R.T. = RESISTENCIA A LA TRACCION

R.C.B. = RESISTENCIA A LA COMPRESION EN SECO

C = COMPACTABILIDAD

○ = ESTADO DE RECEPCION

□ = A 500

△ = A 600

BENTONITA SODICA No - 11

GRAFICA IV-11

CURVAS DE RESISTENCIAS DE ENSAYOS MECANICOS

50

**RESISTENCIAS MECANICAS PARA 6% DE BENTONITA CALCICA N°.12 EN ESTADO DE RECEPCION**

H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/CM <sup>2</sup>	PSI	N/CM <sup>2</sup>	PSI	N/CM <sup>2</sup>	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	10
2	16.0	11.0	7.5	5.2	0	0.0	24
3	13.4	9.2	9.1	6.3	4.0	27.6	49
4	8.9	6.1	7.1	5.5	7.8	53.8	57
5	6.9	4.8	4.9	3.4	13.0	89.6	57
6	4.7	3.2	3.2	2.2	13.8	95.1	54
7	3.5	2.4	2.9	2.0	14.8	102.0	51
8	3.3	2.3	1.2	0.8	14.5	100.0	49

A 500 °C

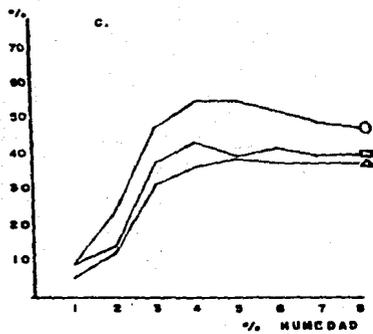
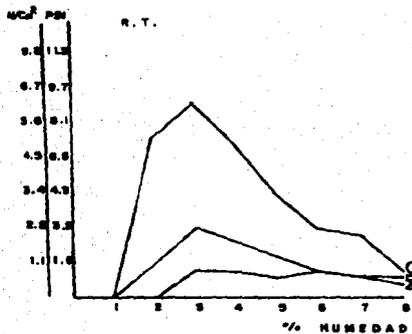
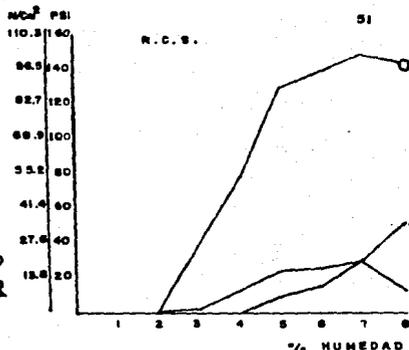
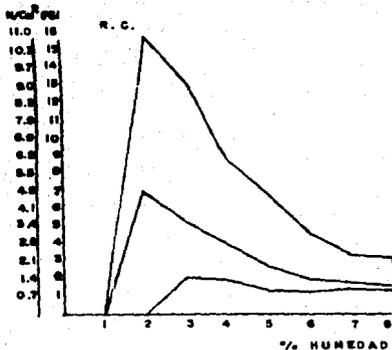
H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/CM <sup>2</sup>	PSI	N/CM <sup>2</sup>	PSI	N/CM <sup>2</sup>	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	10
2	7.1	4.9	1.6	1.1	0	0.0	15
3	5.5	3.8	3.2	2.2	2	1.4	39
4	4.1	2.8	2.6	1.8	12	8.3	45
5	2.9	2.0	1.9	1.3	25	17.2	41
6	2.1	1.4	1.2	0.8	26	17.9	43
7	1.9	1.3	1.0	0.7	3.0	20.7	41
8	1.7	1.2	1.0	0.7	1.4	9.7	41

A 600 °C

H <sub>2</sub> O	RESISTENCIA A LA COMPRESION		RESISTENCIA A LA TRACCION		RESISTENCIA A LA COMP EN SECO		COMPACTA BILIDAD
	PSI	N/CM <sup>2</sup>	PSI	N/CM <sup>2</sup>	PSI	N/CM <sup>2</sup>	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	06
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	13
3	2.1	1.4	1.2	0.8	0	0.0	33
4	2.0	1.4	1.2	0.8	0	0.0	38
5	1.4	1.0	1.0	0.7	1.0	6.9	40
6	1.3	0.9	1.2	0.8	1.6	11.0	39
7	1.5	1.0	1.0	0.7	3.1	21.4	39
8	1.4	1.0	0.6	0.4	5.2	35.8	39

**ARCILLA TOTAL POR AZUL DE METILENO**

	ml	% arcilla total	factor
E.R.	26	5.7	2.7
500°C	12	8.0	9
600°C	6	9.2	4



BENTONITA CALCICA No. 12

R. C. = RESISTENCIA A LA COMPRESION

R. C. S. = RESISTENCIA A LA COMPRESION EN SECO

R. T. = RESISTENCIA A LA TRACCION

C. = COMPACTABILIDAD

○ ESTADO DE RECEPCION

□ A 500 °C

△ A 600 °C

CURVAS DE RESISTENCIAS DE ENSAYOS MECANICOS

GRAFICA IV-12

Bentonita sódica No. 3. Esta bentonita está en el grupo de valores bajos con un valor de resistencia a la compresión de  $5.2 \text{ N/cm}^2$  y  $2.7 \text{ N/cm}^2$  de resistencia a la tracción en estado de recepción, 4.2% de arcilla azul de metileno (A.M.), en estado de recepción. En cuanto a la compactabilidad cumple con el intervalo de 45% a 50% que corresponde a un punto óptimo de 2.5 a 3% de humedad en E.R.

Bentonita cálcica No. 4 pertenece al grupo de valores altos, obteniendo la máxima resistencia a la compresión de  $9.3 \text{ N/cm}^2$  y una buena resistencia a la tracción de  $5.5 \text{ N/cm}^2$ , con 5.5% de arcilla A.M., en estado de recepción, el punto temper solamente en E.R., cumple en el intervalo de 45 a 50% con un 2.5 a 3% de humedad.

Bentonita sódica No. 5 pertenece al grupo de valores medios con valores de resistencia a la compresión de  $3.7 \text{ N/cm}^2$  como la resistencia a la compresión de  $3.7 \text{ N/cm}^2$  como la resistencia más baja en E.R., en resistencia a la tracción de  $2.9 \text{ N/cm}^2$ , el porcentaje de arcilla es de 7.0% A.M., en cuanto a compactabilidad cumple en estado de recepción y a  $600^\circ\text{C}$  en el intervalo de 45 a 50% con un 2.5 a 3% de humedad.

Bentonita cálcica No. 6 Está en el grupo de valores bajos con valor de resistencia a la compresión de  $3.7 \text{ N/cm}^2$  como la resistencia mas baja en E.R., en resistencia a la tracción de  $2.9 \text{ N/cm}^2$ , el porcentaje de arcilla es de 7.0% A.M., en cuanto a compactabilidad cumple en estado de recepción y a  $600^\circ\text{C}$  en el intervalo de 45 a 50% con un 2.5 a 3% de humedad.

Bentonita sódica No. 7 pertenece al grupo de valores bajos con valores de resistencia a la compresión de  $4.8 \text{ N/cm}^2$ , de resistencia a la tracción de

1.8 N/cm<sup>2</sup> como la mínima, en compactabilidad esta bentonita aparece en los tres tratamientos en E.R. a 500 y 600°C en el intervalo de 45 a 50% con un 2.5 a 3% de humedad y con 8% de arcilla A.M.

Bentonita cálcica No. 8 pertenece al grupo de valores bajos con valores de resistencia a la compresión de 4.5 N/cm<sup>2</sup> y de resistencia a la tracción de 2.7 N/cm<sup>2</sup>, con 6% de arcilla A.M., en cuanto a la compactabilidad aparece en los tres tratamientos en E.R. a 500 y 600°C en un intervalo de 45 a 50% con un 2.5 a 3% de humedad.

Bentonita sódica No. 9 se encuentra en el grupo de valores altos con un valor de resistencia a la compresión de 9.0 N/cm<sup>2</sup> pero con un valor de resistencia a la tracción bajo de 2.7 N/cm<sup>2</sup>, con 6.3% de arcilla A.M., en cuanto a compactabilidad cumple en los tres tratamientos en E.R. a 500 y 600°C en el rango de 45 a 50% y 2.5 a 3% de humedad.

Bentonita sódica No. 10 se encuentra en el grupo de valores medio con 7.0 N/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión y 5.5 N/cm<sup>2</sup> de resistencia a la tracción, 6.6% de arcilla A.M., en cuanto a la compactabilidad aparece solamente en E.R. y a 500°C en el rango de 45 a 50% y un 2.5 a 3% de humedad.

Bentonita sódica No. 11 pertenece al grupo de valores altos con la máxima resistencia a la compresión de 9.3 N/cm<sup>2</sup> y 7.1 N/cm<sup>2</sup> de resistencia a la tracción en E.R., con 5.0% de arcilla A.M. y en compactabilidad cumple en el E.R. a 500°C en el rango de 45 a 50% y 2.5 a 3% de humedad.

Bentonita cálcica No. 12 pertenece al grupo de valores altos con 9.2 N/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión y 6.3 N/cm<sup>2</sup> de resistencia a la tracción, 5.7% de arcilla A.M., en cuanto a la compactabilidad solamente el E.R. cumple con el intervalo de 45 a 50% y un 2.5 a 3% de humedad.

## V. ANALISIS DE RESULTADOS Y DISCUSION

### 1° RESISTENCIA A LA TRACCION:

Observando la figura No. V.1 y la Tabla V, se tiene que la bentonita No.11 en estado de recepción tiene la máxima resistencia a la tracción con un valor de  $(7.1 \text{ N/cm}^2)$  seguida muy cerca de la bentonita No. 12 con valor de resistencia de  $(6.3 \text{ N/cm}^2)$ , y un grupo de bentonitas Nos. 4, 5 y 10 con valores medios de resistencia como son  $(5.5 \text{ N/cm}^2)$ ,  $(5.4 \text{ N/cm}^2)$  y  $(5.5 \text{ N/cm}^2)$ ; finalmente un grupo de bentonitas Nos. 1, 2, 3, 6, 7, 8 y 9 con valores de resistencia más bajos en estado de recepción como son  $(2.8 \text{ N/cm}^2)$ ,  $(2.6 \text{ N/cm}^2)$ ,  $(2.7 \text{ N/cm}^2)$ ,  $(2.9 \text{ N/cm}^2)$ ,  $(1.8 \text{ N/cm}^2)$ ,  $(2.7 \text{ N/cm}^2)$  y  $(2.7 \text{ N/cm}^2)$ . Con la mínima resistencia la bentonita No. 7 de  $(1.8 \text{ N/cm}^2)$ .

En la figura No. V.3 y la Tabla V al ser tratadas a  $600^\circ\text{C}$  y comparada con respecto al estado de recepción se encuentra que las bentonitas No. 3, 7, 8 y 9 del grupo bajo, tienen un ligero aumento en su resistencia a la tracción de  $(2.7 \text{ N/cm}^2 \text{ a } 4 \text{ N/cm}^2)$ ,  $(1.8 \text{ N/cm}^2 \text{ a } 2.7 \text{ N/cm}^2)$ ,  $(2.7 \text{ N/cm}^2 \text{ a } 2.9 \text{ N/cm}^2)$  y  $(2.7 \text{ N/cm}^2 \text{ a } 6.5 \text{ N/cm}^2)$ . Analizando estos aumentos observamos que la bentonita No. 9 es la que obtiene el mayor aumento de resistencia a la tracción.

Sin embargo este aumento de resistencia se va a considerar "aparente". No existe otra explicación fuera de que se encuentra en lo permisible dentro de los límites de variación de la experimentación incluyendo la homogeneidad de la muestra, por otro lado las bentonitas Nos. 4, 5, 6, 10, 11 y 12 de los grupos medio y alto tienen una degradación de  $(5.5 \text{ N/cm}^2 \text{ a } 1.5 \text{ N/cm}^2)$   $(5.4 \text{ a } 2.9 \text{ N/cm}^2)$ ,  $(2.9 \text{ a } 2.2 \text{ N/cm}^2)$ ,  $(5.5 \text{ a } 0.6 \text{ N/cm}^2)$  y  $(7.1 \text{ a } 3.1 \text{ N/cm}^2)$  y  $(6.3 \text{ a } 0.8 \text{ N/cm}^2)$ ; analizando ésto encontramos que las bentonitas No. 4, 10 y 11 obtienen una degradación considerable, pero la bentonita No.12 es la más notable de estas, obteniendo la mínima resistencia a la tracción a

600°C, y la máxima resistencia la obtiene la bentonita No. 9 a 600°C. Después del tratamiento a 500°C. Estos valores muestran en algunos casos ascensos que, como en el caso anterior, los consideramos sin variación considerable con respecto al estado de recepción, atribuible al error experimental. Los ascensos están indicando que las bentonitas No. 4, 5, 10, 11 y 12 han sufrido algún cambio en su constitución.

Lo anterior concuerda en lo general observando la Tabla de variación que aporta el análisis termogravimétrico, Apéndice (1), en el sentido de que no hay cambios considerables en las bentonitas a 500°C de temperatura, sólo la No. 3 exhibe una pérdida de peso menor de 1% a 400°C, todas las demás son de 1%. Hay que recordar que los cambios con la temperatura disminuyen sus propiedades de aglutinación, nunca la aumentan. Los descensos en valor de resistencia ocurren, y nos indican cambios de estructura en agua zeolítica que conforme a la termogravimetría sólo existen ya cerca de los 600°C en las bentonitas mencionadas.

## 2° RESISTENCIA A LA COMPRESION EN VERDE:

La figura No. V.4 y la Tabla V, muestran las curvas de resistencia a la compresión en verde en función de la humedad con bentonitas en estado de recepción. Se encuentra la siguiente similitud en valores entre las bentonitas No. 4, 9, 11 y 12 con las máximas resistencias a la compresión con valores de  $(9.3 \text{ N/cm}^2)$ ,  $(9.0 \text{ N/cm}^2)$ ,  $(9.2 \text{ N/cm}^2)$ , seguidas de un grupo de bentonitas No. 1,2,5 y 10 con valores medios muy semejantes de  $(7.0 \text{ N/cm}^2)$ ,  $(7.6 \text{ N/cm}^2)$  y  $(7.0 \text{ N/cm}^2)$ , finalmente el grupo de bentonitas 3,6, 7 y 8 con las resistencias más bajas de  $(5.2 \text{ N/cm}^2)$ ,  $(3.7 \text{ N/cm}^2)$ ,  $(4.8 \text{ N/cm}^2)$  y  $(4.5 \text{ N/cm}^2)$ , comparando con los datos de resistencia a la tracción se puede decir que las bentonitas 11 y 12 (de procedencia americana), siguen en este ensayo a la cabeza del grupo con los valores más altos, incorporándoseles la

la 4 y la 9; con valores medios siguen la No. 5 y la 10, incorporándose la 1 y la 2, quedando claramente un grupo de bentonitas que dió valores bajos en ambos ensayos: y son 3 sódica, 6 cálcica-7 sódica y 8 cálcica. (2 cálcicas y 2 sódicas).

En la figura No. V.6 Tabla V al ser tratada a 600°C y comparada con respecto al estado de recepción se encuentra que las bentonitas No. 3, 6, 7 y 9 tienen un aumento en la resistencia dentro de los límites de aceptación de (5.2 a 8.8 N/cm<sup>2</sup> y (9.0 a 9.2 N/cm<sup>2</sup>); las bentonitas No. 5, 8 y 11 con una degradación de resistencia dentro del límite de aceptación, de (7.6 a 5.5/cm<sup>2</sup>), (4.5 a 4.3 N/cm<sup>2</sup>) y (9.3 a 6.8 N/cm<sup>2</sup>) y con una degradación drástica que indican algún cambio en su estructura de constitución en las bentonitas No. 4, 10 y 12 de (9.3 a 4.1 N/cm<sup>2</sup>) (7.0 a 2.6 N/cm<sup>2</sup>) y (9.2 a 1.4 N/cm<sup>2</sup>). Los valores obtenidos después del tratamiento a 500°C se pueden considerar como en caso anterior dentro de los límites de variación experimental, en algunos que ya se describieron esta variación es considerable con el 90% en su valor.

De lo anterior queda establecido que hay bentonitas de los tres grupos que varían considerablemente, éstas son en primer lugar la 3, 6, 7 y 8 del grupo bajo, la 9 y la 11 del grupo alto y, la 5 del grupo medio con una degradación drástica, aparece la 4 y 12 del grupo alto así como la 10 del grupo de valor medio.

### 3° RESISTENCIA A LA COMPRESION EN SECO:

De la gráfica No. V.7 y la Tabla V obtenemos que la bentonita No. 10 tiene la máxima resistencia a la compresión en seco con valor de (215.8 N/cm<sup>2</sup> y la mínima resistencia la obtiene la bentonita No. 4 con valor de (86.2 N/cm<sup>2</sup>), se pueden agrupar las bentonitas en dos grupos, primer grupo, las bentonitas No. 7 y 11 con valores promedios de (122.7 a 193.4 N/cm<sup>2</sup>) y

el segundo grupo con las bentonitas No. 3, 4, 5, 6, 8, 9 y 12 con valores de resistencia en el rango de (112.4 a 92.4 N/cm<sup>2</sup>), en estado de recepción la variación de resistencia no es muy grande a excepción de las bentonitas No. 7 y 10 con valores de (193 N/cm<sup>2</sup> y 215.8 N/cm<sup>2</sup>).

Al analizar la comparación de resistencias a la compresión en seco en estado de recepción y tratadas a 600°C, la gráfica No. V.9 y la Tabla V nos indican un descenso en todas las bentonitas, en algunos casos drásticos observamos que en todas se rebasa el 50% de descensos, en las bentonitas No. 6, 8 y 9 de (102.0 a 71.7 N/cm<sup>2</sup>), (112.4 a 51.0 N/cm<sup>2</sup>) y (111 a 55.2 N/cm<sup>2</sup>) y con una degradación mayor de 60% las bentonitas 3, 4, 5, 7, 10, 11 y 12 de (92.4 a 30.3 N/cm<sup>2</sup>) (86.2 a 14.5 N/cm<sup>2</sup>), (97.2 a 17.9 N/cm<sup>2</sup>), (193 a 56.5 N/cm<sup>2</sup>), (215.8 a 46.9 N/cm<sup>2</sup>), (122.7 a 13.8 N/cm<sup>2</sup>) y (102.0 a 35.8 N/cm<sup>2</sup>) se observa que las bentonitas NO. 7, 10 y 11 tienen la degradación más drástica.

Se puede concluir que todas las bentonitas se degradan en comparación con el estado de recepción.

Después del tratamiento a 500°C se observa que todas las bentonitas tienen un comportamiento semejante al de tracción y compresión con valores que son considerados dentro de los límites de error experimental, ya que algunos se incrementan y otros disminuyen, los que se incrementan no hay forma de explicar el comportamiento, y los que se degradan se concluye por medio de la literatura que estas bentonitas tienden a cambiar su constitución, apoyados en los resultados del Apéndice (1).

#### 4° COMPACTABILIDAD

En las gráficas V.10, V.11 y V.12 se observa que a medida que se aumenta el contenido de humedad, la compactabilidad aumenta hasta llegar a un valor máximo y posteriormente permanece aproximadamente constante. Esta es una obser

vación general para los valores de compactabilidad observados del 45% al 50% que corresponden a un punto óptimo de 2.5 a 3.0% de humedad, se encuentra en la zona "tempers" de las bentonitas.

Todas las curvas en esta zona y en estado de recepción, se localizan las bentonitas 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11. Después del tratamiento a 500°C permanecen en esa zona las bentonitas 7, 8, 9, 10 y 11. Después del tratamiento a 600°C permanecen en esa zona las bentonitas 6, 7, 8 y 9.

Estos datos nos señalan nuevamente que son las bentonitas 4, 5, 10, 11 y 12 las que sufrieron un cambio apreciable en mayor o menor medida coincidiendo con las observaciones de los otros ensayos.

#### 5° ARCILLA AZUL DE METILENO:

Los datos obtenidos se encuentran en el capítulo 4, para cada una de las bentonitas, después de cada uno de los tratamientos, y el análisis de los resultados del % de arcilla se encuentra en la Tabla V.2.

Hay que tomar en cuenta para analizarlos que todas las mezclas se hicieron al 6% en peso de arcilla, porque idealmente en estado de recepción se esperaba tener un valor de 6 o tender a él; después del tratamiento a temperatura, los cambios en valor deberfan de indicar los respectivos en constitución de la arcilla. Los resultados a 500°C, exceptuando la bentonita 12, representan valores de 6 o cercanos a éste, que normalmente nos indican que no hay cambio en la acción de las bentonitas.

Los resultados a 600°C muestran valores en general mucho más altos de 6, canalizando drásticamente los encontrados, usando el factor en estado de recepción como se muestra en la Tabla V.2.

A la vista de estos últimos datos, es claro que los valores a 500°C no sufren cambios apreciables como se esperaba y, sin embargo, los valores a 600°C indican ahora claramente un cambio en las bentonitas 4, 5, 10, 11 y 12, como en los ensayos anteriores. Es de hacer notar que las bentonitas 4 y 5

aun con los valores propios, muestran en este caso descensos considerables.

No DE MUESTRA			Ca	Na	Na	Ca	Na	Ca	Na	Ca	Na	Na	Na	Ca
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MAXIMA RESISTENCIA A LA COMPRESION	E. R		7.0	7.4	5.2	9.3	7.6	3.7	4.8	4.5	9.0	7.0	9.3	9.2
	500 °C				10.8	6.3	11.0	7.0	7.9	5.0	9.3	9.0	11.7	3.8
	600 °C				8.8	4.1	5.5	4.1	5.4	4.3	9.2	2.6	6.8	1.4
MAXIMA RESISTENCIA A LA TRACCION	E. R		2.8	2.6	2.7	5.5	5.4	2.9	1.8	2.7	2.7	5.5	7.1	6.5
	500 °C				7.6	0.7	6.5	5.5	4.5	1.8	5.5	2.5	7.1	2.2
	600 °C				4.0	1.5	2.9	2.2	2.7	2.9	6.5	0.6	3.1	0.8
MAXIMA RESISTENCIA A LA COMPRESION EN SECO	E. R				92.4	86.2	97.2	102.0	105.0	112.4	111.0	215.8	122.7	107.0
	500 °C				104.8	97.9	78.8	182.0	85.1	113.8	88.2	127.5	42.7	20.7
	600 °C				50.3	14.5	17.9	71.7	56.5	51.0	55.2	46.8	15.8	35.6

TABLA V. 1

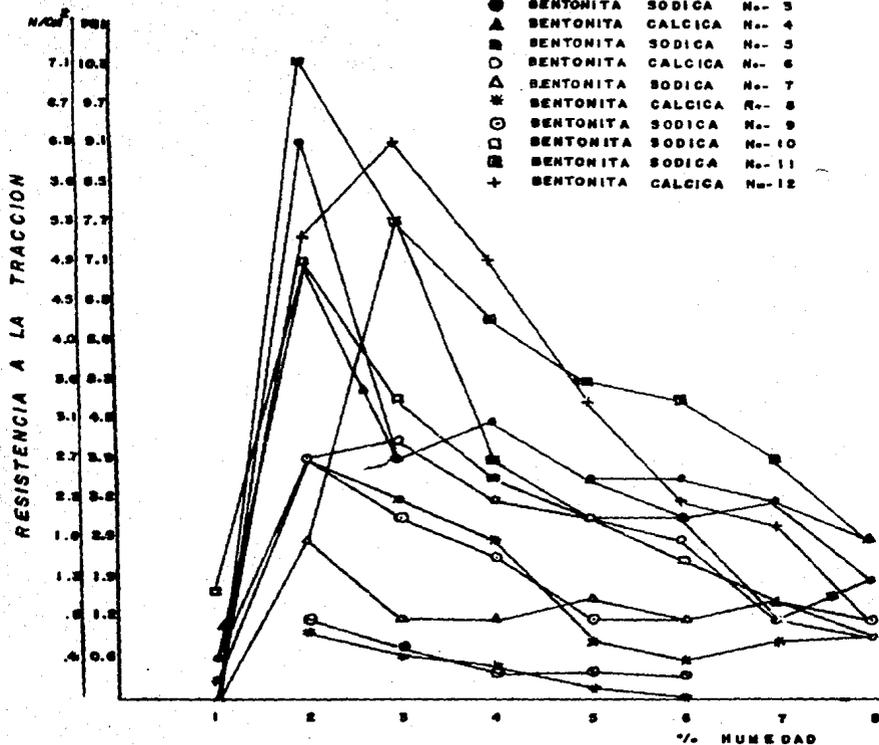
Comparación de resultados de resistencia en los puntos de resistencia de tracción, compresión, máxima de resistencia en seco en las 12 bentonitas.

TABLA V- 2

PORCENTAJE DE ARCILLA OBTENIDA POR EL METODO DE AZUL DE METILENO

NUMERO DE MUESTRA	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
E. R	4.2	5.5	5.2	7.0	8.0	6.0	6.3	6.6	5.0	5.7
500 °C	5.4	5.5	5.0	6.0	5.4	5.6	5.5	5.7	5.8	8.0
600 °C	6.4	2.8	3.4	9.0	7.1	9.9	7.3	12.0	13.0	9.2
500 °C	6.0	5.5	5.6	6.0	6.4	5.2	5.2	6.3	4.6	2.7
600 °C	3.5	2.1	2.6	5.3	5.2	4.4	4.9	3.3	3.5	1.3

(1) DATOS CALCULADOS CON EL FACTOR EN ESTADO DE RECEPCION  
500 Y 600 °C EN %

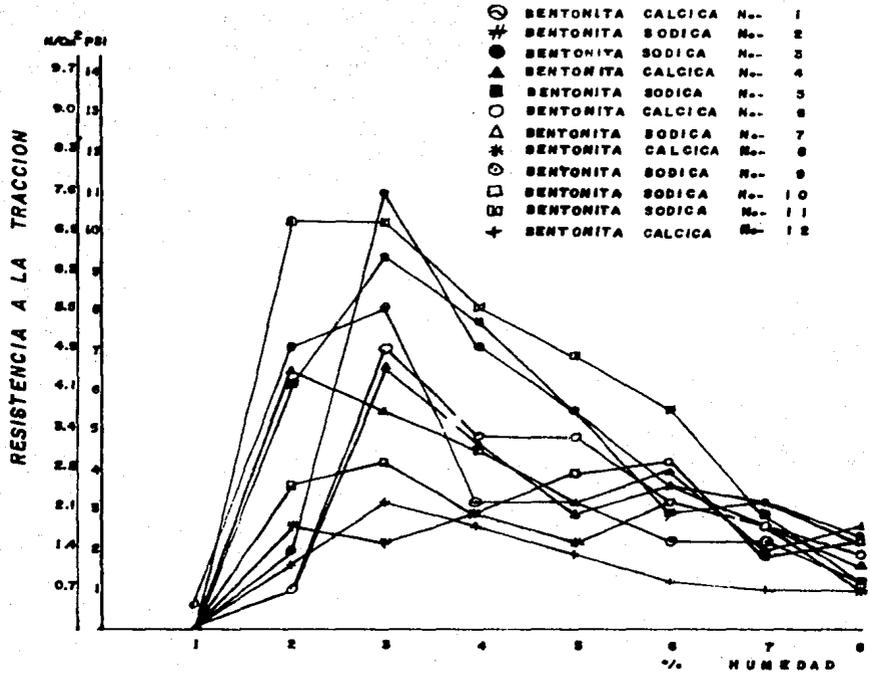


COMPARACION DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA TRACCION VS HUMEDAD

DE LAS 12 BENTONITAS

ESTADO DE RECEPCION

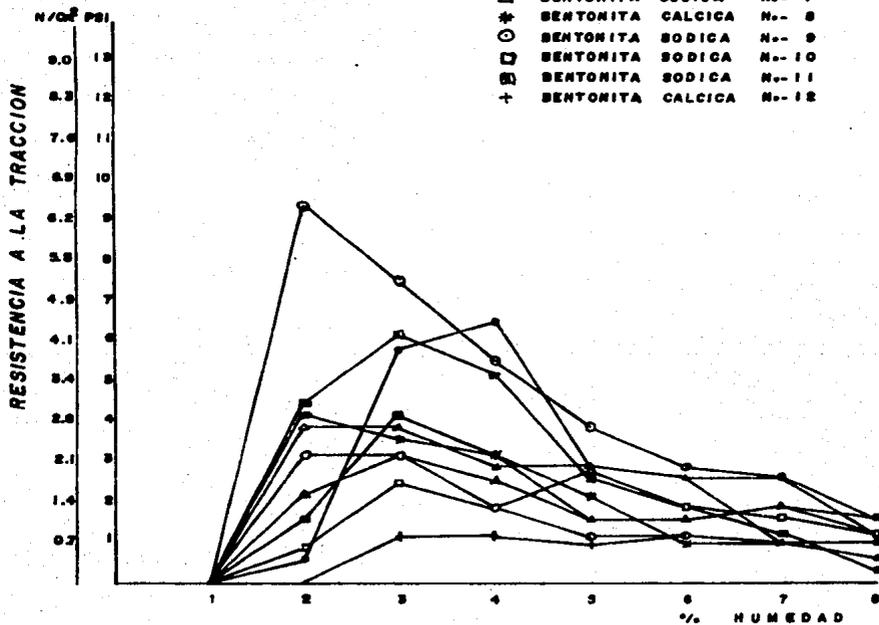
GRAFICA V-1



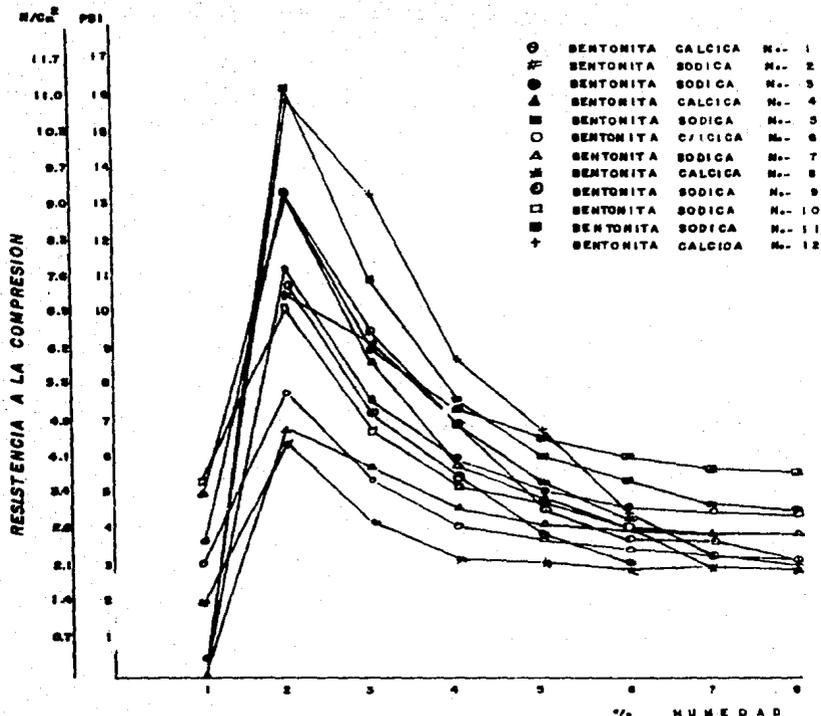
COMPARACION DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA TRACCION VS HUMEDAD DE LAS 12 BENTONITAS

A-500 °C

GRAFICA V-2



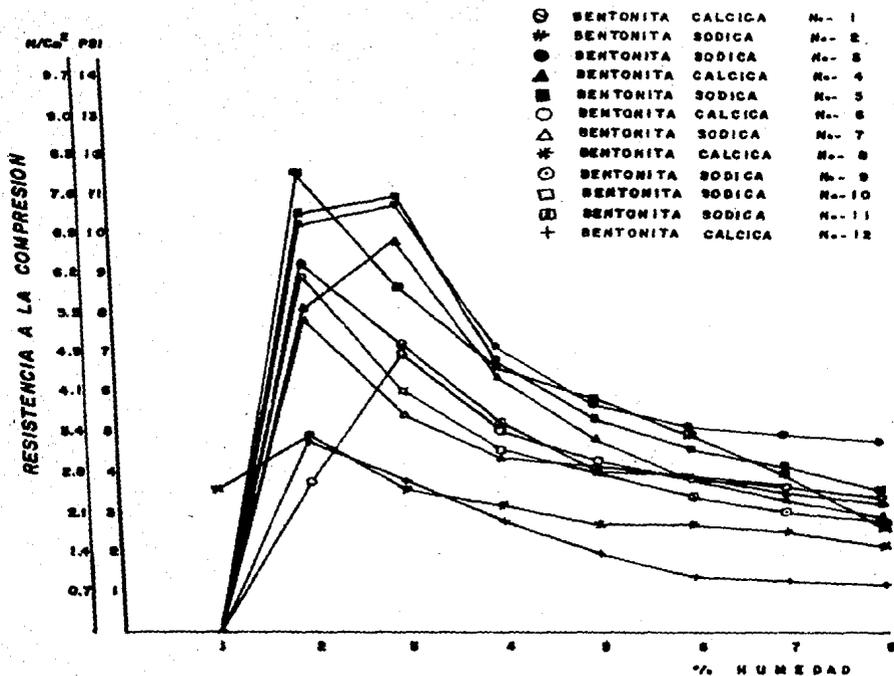
COMPARACION DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA TRACCION VS HUMEDAD  
DE LAS 12 BENTONITAS



COMPARACION DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION VS HUMEDAD  
DE LAS 12 BENTONITAS

ESTADO DE RECEPCION

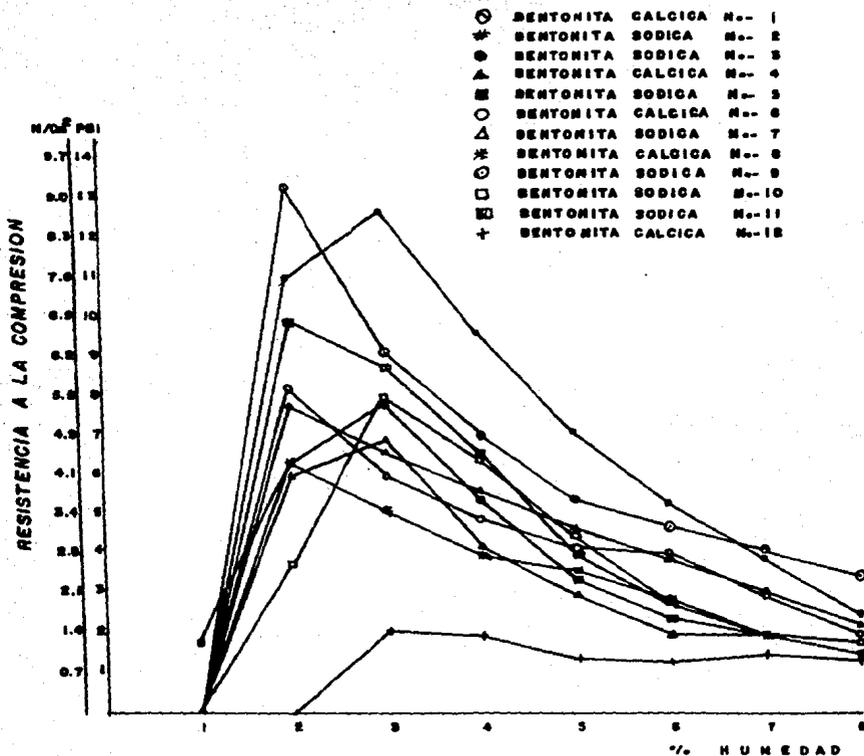
GRAFICA V-6



COMPARACION DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION VS HUMEDAD DE LAS 12 BENTONITAS

A-300 °C

GRAFICA V-3

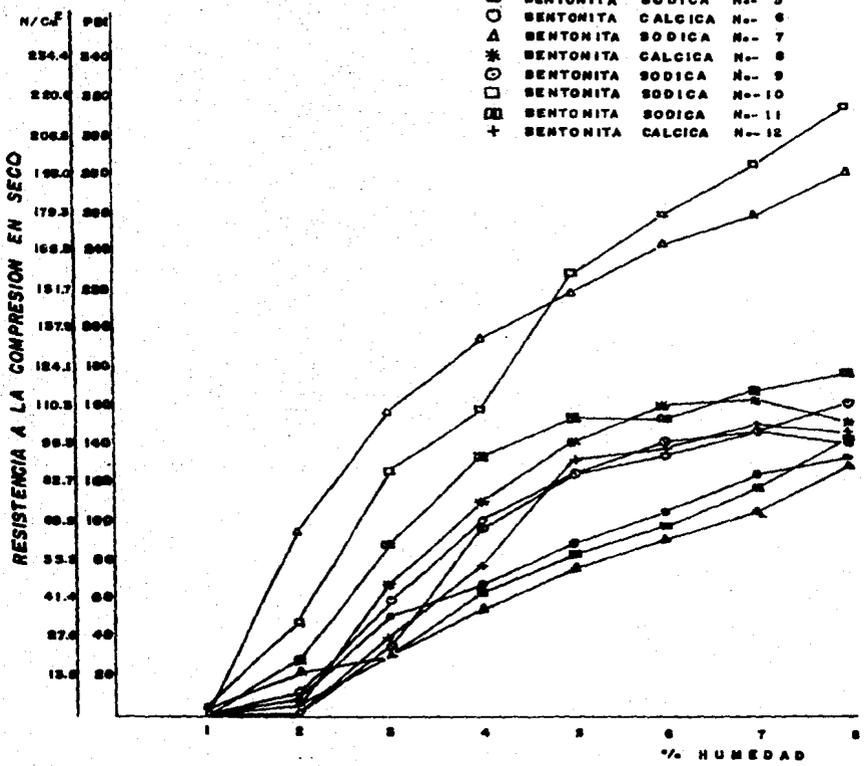


COMPARACION DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION VS  
HUMEDAD DE LAS 12 BENTONITAS

A-800 °C

GRAFICA V-6

- ⊕ BENTONITA CALCICA N.- 1
- \* BENTONITA SODICA N.- 2
- BENTONITA SODICA N.- 3
- ▲ BENTONITA CALCICA N.- 4
- BENTONITA SODICA N.- 5
- BENTONITA CALCICA N.- 6
- △ BENTONITA SODICA N.- 7
- \* BENTONITA CALCICA N.- 8
- ⊙ BENTONITA SODICA N.- 9
- BENTONITA SODICA N.- 10
- ⊞ BENTONITA SODICA N.- 11
- + BENTONITA CALCICA N.- 12

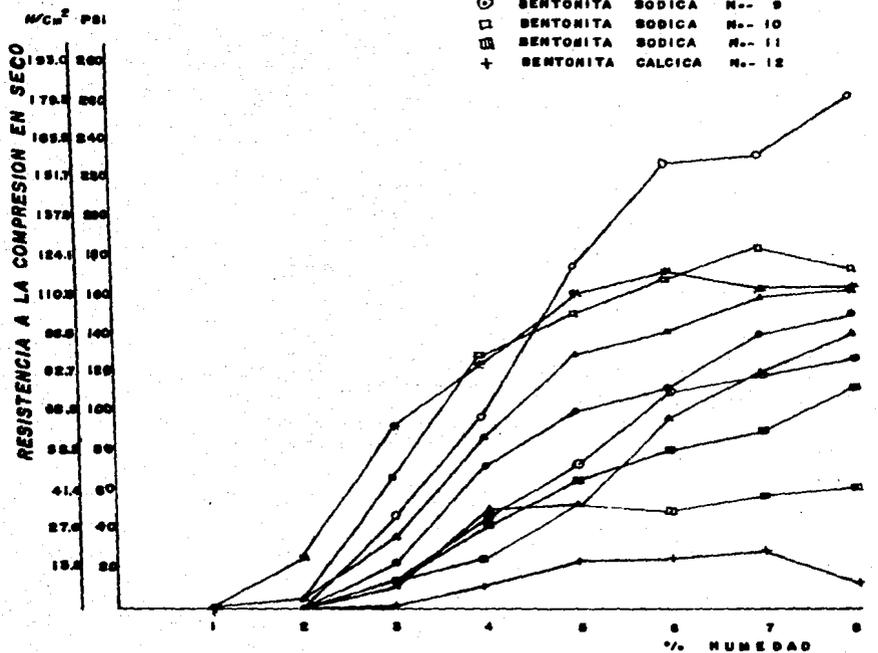


COMPARACION DE RESULTADOS DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION EN SECO VS HUMEDAD DE LAS 12 BENTONITAS

ESTADO DE RECEPCION

GRAFICA V-7

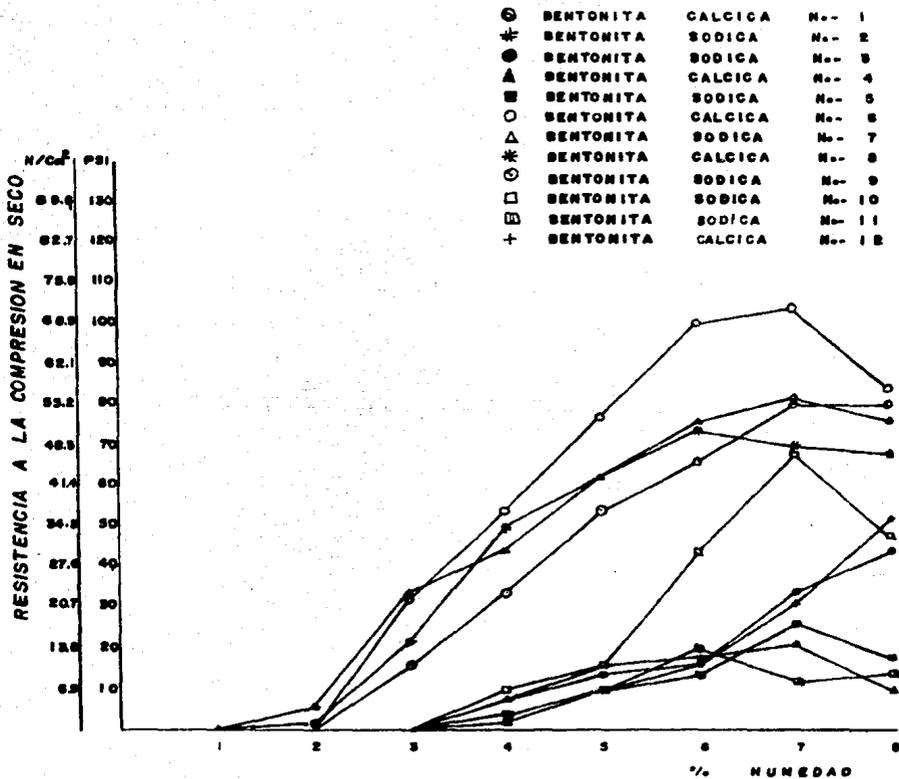
⊙	BENTONITA	CALCICA	N-- 1
✱	BENTONITA	SODICA	N-- 2
●	BENTONITA	SODICA	N-- 3
▲	BENTONITA	CALCICA	N-- 4
■	BENTONITA	SODICA	N-- 5
○	BENTONITA	CALCICA	N-- 6
△	BENTONITA	SODICA	N-- 7
*	BENTONITA	CALCICA	N-- 8
⊖	BENTONITA	SODICA	N-- 9
□	BENTONITA	SODICA	N-- 10
▣	BENTONITA	SODICA	N-- 11
+	BENTONITA	CALCICA	N-- 12



COMPARACION DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION EN SECO  
VS HUMEDAD DE LAS 12 BENTONITAS

A- 800 °C

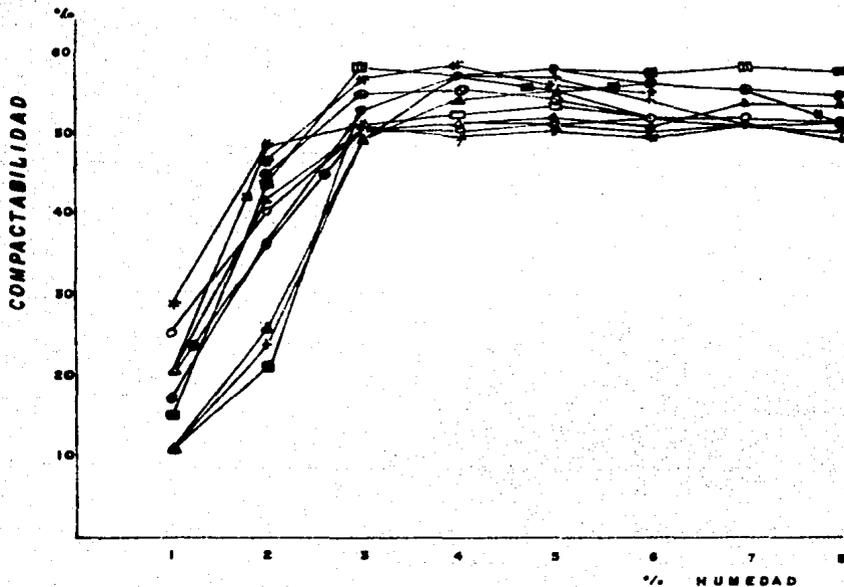
GRAFICA V- 8



COMPARACION DE RESULTADOS DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION EN SECO VS HUMEDAD DE LAS 12 BENTONITAS  
A- 600 °C

GRAFICA V-9

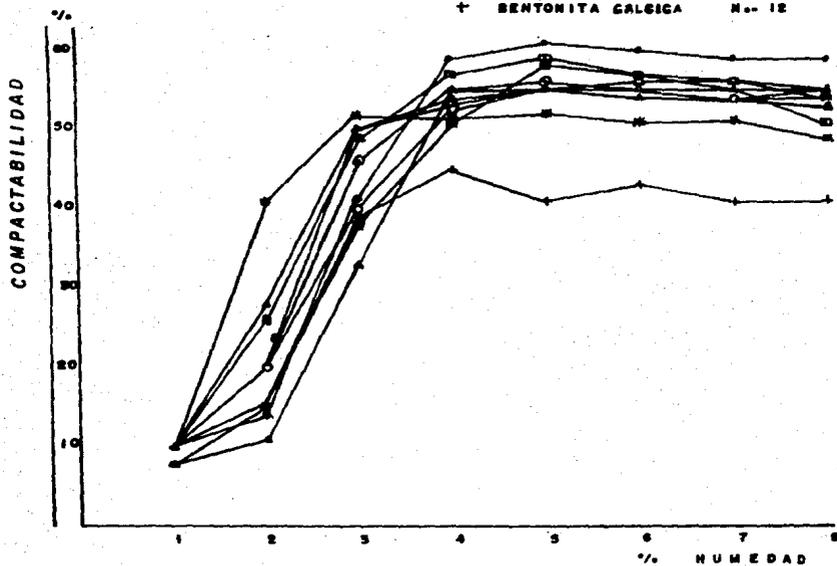
⊙	BENTONITA	CALCICA	Nº- 1
✱	BENTONITA	SODICA	Nº- 2
●	BENTONITA	SODICA	Nº- 3
▲	BENTONITA	CALCICA	Nº- 4
■	BENTONITA	SODICA	Nº- 5
○	BENTONITA	CALCICA	Nº- 6
△	BENTONITA	SODICA	Nº- 7
✱	BENTONITA	CALCICA	Nº- 8
⊙	BENTONITA	SODICA	Nº- 9
□	BENTONITA	SODICA	Nº- 10
▣	BENTONITA	SODICA	Nº- 11
+	BENTONITA	CALCICA	Nº- 12



COMPARACION DE RESULTADOS DE COMPACTABILIDAD VS HUMEDAD  
DE LAS 12 BENTONITAS  
ESTADO DE RECEPCION

GRAFICA V- 10

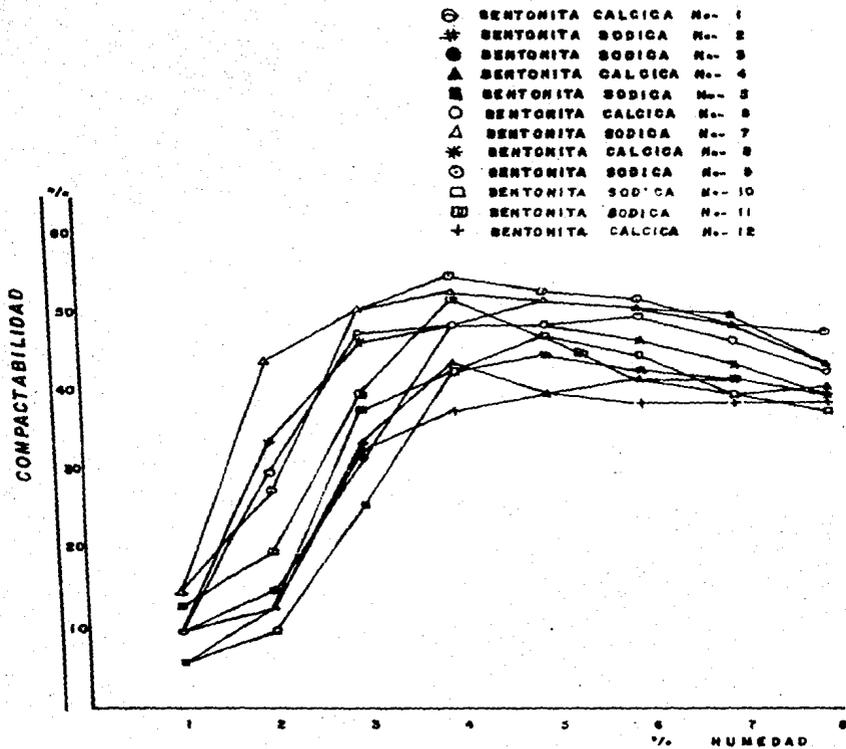
○	BENTONITA CALCICA	N.- 1
✦	BENTONITA SODICA	N.- 2
●	BENTONITA SODICA	N.- 3
▲	BENTONITA CALCICA	N.- 4
○	BENTONITA SODICA	N.- 5
○	BENTONITA CALCICA	N.- 6
△	BENTONITA SODICA	N.- 7
*	BENTONITA CALCICA	N.- 8
○	BENTONITA SODICA	N.- 9
□	BENTONITA SODICA	N.- 10
■	BENTONITA SODICA	N.- 11
+	BENTONITA CALCICA	N.- 12



COMPARACION DE RESULTADOS DE COMPACTABILIDAD VS HUMEDAD  
DE LAS 12 BENTONITAS

A- 500 °C

GRAFICA V. II



COMPARACION DE RESULTADOS DE COMPACTABILIDAD VS HUMEDAD  
DE LAS 12 BENTONITAS

A - 600 °C

GRAFICA V- 12

## CONCLUSIONES

Del análisis anterior podemos resumir el comportamiento de estas bentonitas, de la manera que se dirá a continuación, antes, se hará mención de algunas ca racterísticas generales que resultan de este estudio de caracterización.

- 1°. Los resultados de las pruebas que se practicaron a las bentonitas y sus mezclas en estado de recepción no son suficientes para caracterizar su naturaleza y su comportamiento. Los datos de 600°C en este estudio fueron de cisivos para conocer realmente las bentonitas.
- 2°. El comportamiento de nuestras bentonitas y mezclas en los ensayos mecánicos fue en términos generales el que ha sido reportado en todos los trabajos de arena de moldeo hasta el presente.  
Es de hacerse notar que los datos obtenidos en resistencia a la compresión en verde fueron más conclusivos que los de resistencia a la tracción.
- 3°. Los datos obtenidos después del tratamiento a 500°C nos mostraban ascensos en sus propiedades de resistencia en algunos casos muy considerables que no pueden ser explicados más que como valores aceptados dentro de los límites de error de experimentación o de la homogeneidad de la muestra con la que se trabajó. No es posible pensar en una razón técnica que pueda justificar ese aumento de resistencia.
- 4°. Los valores obtenidos por el método de arcilla azul de metileno nos llevan a la conclusión de que no hay ningún cambio en la acción de las bentonitas a 500°C. Sin embargo los valores a 600°C en algunos casos fueron tan altos con respecto al estado de recepción que no fue posible aceptarlos co

mo válidos, se tomó la decisión de usar el factor de cálculo del porcentaje de arcilla en estado de recepción para calcular el porcentaje a 600°C, usando éste, los valores fueron claramente indicativos de las características de las bentonitas coincidiendo con la de sus demás ensayos.

- 5°. Los datos obtenidos por la compactabilidad y la resistencia a la compresión en seco no nos aportan nada para esta caracterización.

En cuanto a la caracterización de las bentonitas, éstas se pueden agrupar en tres categorías en estado de recepción, las de valores altos, valores medios y la de valores bajos.

Las de valores altos son: 4 cálcica, 9 sódica, 11 cálcica y 12 sódica.

Las de valores medios son: 5 sódica, 10 sódica.

Las de valores bajos son: 3 sódica, 6 cálcica, 7 sódica y 8 cálcica.

Después de su tratamiento a 600°C todas las pruebas son conclusivas en que las bentonitas 4,5,10,11 y 12 sufrieron un cambio apreciable en su constitución que coincide con los valores reportados en un análisis de curvas termogravimétricas. Hay que hacer notar que el análisis termogravimétrico que se reportó para este trabajo, parecería indicarnos que otras bentonitas como la 3, 6 y 7 podrían igualmente haberse manifestado un cambio de constitución a las temperaturas que trabajamos, sin embargo, esto no es así, será necesario en un trabajo posterior rehacer el trabajo gravimétrico de algunas, junto con sus propiedades mecánicas para caracterizar a estas tres bentonitas.

**RESULTADO DE LA TERMOGRAVIMETRIA DE 10 BENTONITAS**

N	Pi (g) Pf (g)	mg perdido	temperatura °C	% perdido	Termogravimetria Diferencial temperatura °C
3		2.5	100	9.090	100
	27.5	0.2	410	0.727	
		0.4	630	1.454	680
	23.9	0.5	700	1.818	
4		2.1	105	7.924	85
	26.5	0.25	610	0.943	
		0.95	705	3.584	670
	23.2				
5		3.0	120	5.008	80-110
	59.9	0.2	560	0.333	
	45.9	0.8	700	1.335	670
6		1.5	95	5.639	
	26.6	0.4	615	1.503	
	23.8	0.9	710	3.383	670
7		2.0	120	7.434	90
	26.9	0.3	570	1.115	
	24.0	0.6	690	2.230	670
8		1.6	130	5.442	
	29.4	0.4	590	1.360	80-110
	26.6	0.9	720	3.061	680
9		1.9	90	7.011	90
	22.3	2.9	660	10.700	730
10		2.1	110	7.241	90-110
	29.0	0.6	600	2.068	
	25.7	0.6	720	2.068	670
11		1.6	100	16.00	80-120
	10.0	0.6	640	6.00	
12		3.7	150	12.672	100-150
	29.2	0.2	615	0.684	660
		2.0	740	6.849	720

Pi= Peso inicial      Pf= Peso final      (g)=gramos

## REFERENCIAS

1. AMERICAN FOUNDRYMENS SOCIETY. "Processing and controlling clay-bonde a Foundry Sands" Fert Course 386, 1971 CAP. I a IV
2. MICHEL ROCHIER eT FRANCOISE DEFERT. "Destruction des argiles para la Chlaeur controle de Cette Destruction dans les sable en circuit". Foundrie 324 -Jun-1973 p. 217-223.
3. J. NAVARRETE L. FROUFE Y D. SIGUIN. "Evaluación de las características aglutinantes de las Bentonitas usadas en Fundición" Rev. Metal CENIM Vol. 19 (1983) Núm. 6 página 335-342
4. JOSE GUADALUPE MENDOZA LEON. Tesis: "Evaluación de las Diferentes medidas de resistencia mecánica y otras mediciones físicas en mezclas de moldeo en verde. 1985 Universidad Nacional Autónoma de México.
5. "SAND-BENTONITE-WATER TESEARCH AND BASIC CLAY WATER CONCEPTS" C"S" Wenninger and W.J. Lang A.F.S. Transactions 39-44.