

3  
log.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"CARACTERIZACION DE BENTONITAS NACIONALES POR SUS PROPIEDADES DE INTERCAMBIO IONICO"

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO  
P R E S E N T A :  
IGNACIO BELTRAN PIÑA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

México, D. F.

1988



## **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.

# C O N T E N I D O

	Pág.
CAPITULO I	
INTRODUCCION.	
CAPITULO II	
ANTECEDENTES.	3
II.1 Definición de arcillas.	4
II.2 Estructura molecular de la montmorillonita.	5
II.3 Intercambio iónico y adsorción.	8
II.4 Importancia del intercambio iónico.	9
II.5 Capacidad de intercambio iónico.	9
II.6 Causas de intercambio iónico.	13
II.7 Posición de los cationes intercambiables.	14
II.8 Efecto de la molienda en la capacidad de intercambio.	15
II.9 Métodos para la capacidad de intercambio catiónico.	16
II.10 Determinación de la capacidad de intercambio catiónico por adsorción de azul de metileno.	17
II.11 Interpretación del comportamiento mecánico de arcillas en la mezcla de moldeo.	18
II.12 Construcción de la gráfica básica.	19
CAPITULO III	21
PARTE EXPERIMENTAL.	
III.1 Explicación general.	22
III.2 Pruebas de capacidad de intercambio.	23
III.3 Determinación de arcilla por azul de metileno.	29
III.4 Métodos de ensayos a mezclas de arena con bentonita.	32

	Pág.
CAPITULO IV RESULTADOS.	34
CAPITULO V DISCUSION DE RESULTADOS.	52
CAPITULO VI CONCLUSIONES.	60
APENDICE.	63
BIBLIOGRAFIA.	71

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

## INTRODUCCION

La industria de la fundición ha utilizado durante muchos años, minerales de arcilla y arena para los procesos de moldeo en verde o en seco, sus propiedades dependen en gran medida de las características de las arcillas.

El control de las propiedades mecánicas y otras de las arcillas y de las arenas es esencial para valorar las características de una formulación de moldeo.

Este trabajo pertenece al proyecto de caracterización de las arcillas que se usan para la fundición. El proyecto en sí, tiene el propósito de estudiar las bentonitas nacionales accesibles al fundidor en el Valle de México y se concreta a valorar las propiedades de intercambio catiónico por métodos químicos tradicionales, a determinar el método de arcilla por azul de metileno, a realizar pruebas mecánicas en mezclas de éstas con arena de molde y analizar en su conjunto estos datos con los que aporta el análisis químico y la difracción de Rayos "X" de las bentonitas. Todos estos ensayos se realizaron en mezclas en estado de recepción. El estudio de estas características después de haber sufrido los cambios correspondientes a una elevación de temperatura serán motivo de otro trabajo.

Sabido es que para el fundidor el único método accesible en la planta es el de arcilla por azul de metileno, de ahí la importancia de que tiene el estudiar las técnicas de la caracterización mencionadas. Se tiene la expectativa de que con esto, se contribuya al conocimiento completo de las bentonitas y a dar un punto de referencia al evaluar la necesidad de usar otras técnicas de caracterización de estos materiales en la fundición.

## CAPITULO II

### ANTECEDENTES

## II.1 DEFINICION DE ARCILLAS.

Wilson en Sanders (1) define a las arcillas como "los productos del intemperismo sobre las rocas de silicatos, que contengan suficientes silicatos acuosos de aluminio en una condición tal que produzcan una masa plástica o semiplástica cuando se mezclan con agua".

La definición de Orton en Sanders (1), dice "una arcilla es un agregado terroso o rocoso, a veces constituido de un solo mineral, pero por lo general está formado por varios tipos. Contiene como su principal constituyente silicato de aluminio acuoso y cuando la cantidad de este mineral es tan poca que no imparte más sus características a la masa, ésta no se llama arcilla".

Grim la define en Sanders (1), como "las arcillas están formadas por fragmentos muy pequeños e innumerables que tienen forma de una hoja de papel y con un diámetro de  $5.08 \times 10^{-4}$  a  $5.08 \times 10^{-5}$  cm. Cada hojuela es una partícula de un mineral arcilloso. Los minerales no arcillosos en general son granulares y no en forma de hojuelas. Esto es importante porque ciertas propiedades de las arcillas, especialmente la plasticidad, están muy relacionadas con la presencia de partículas en forma de hojuelas".

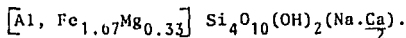
El tipo de arcilla que se utiliza principalmente en la fundición es la bentonita, que pertenece al grupo de las esmectitas y que consiste principalmente del mineral arcilloso montmorillonita y de 10 a 20 por ciento de minerales como feldespato, cuarzo, carbonato de calcio, mica, magnetita, trazas de vidrio volcánico, piritita y otros. Algunos de estos minerales influyen significativamente en las propiedades de la bentonita usada en mezclas de arena.



## II.2 ESTRUCTURA MOLECULAR DE LA MONTMORILLONITA.

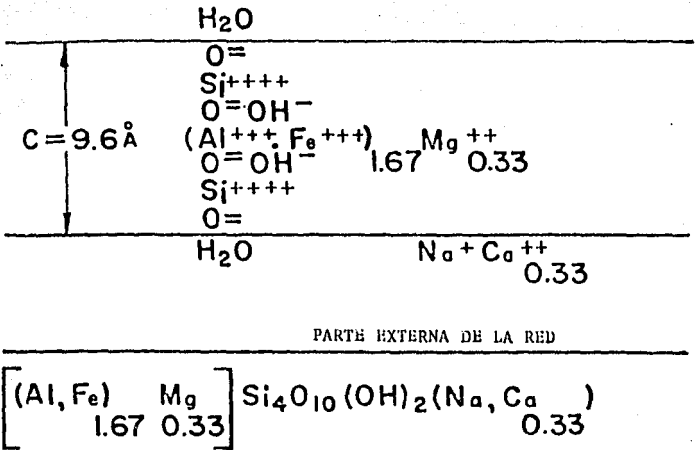
La montmorillonita es un mineral complejo, que consiste de tres capas: dos tetrahédricas de silicio y una capa octahédrica de aluminio que se encuentra entre las dos de silicio. El magnesio y el fierro pueden reemplazar átomos de aluminio en la capa octahédrica por sustitución isomórfica, si suponemos que el sistema está balanceado eléctricamente antes de la sustitución del ión. Cuando el  $Mg^{++}$  reemplaza al  $Al^{+++}$  hay una diferencia de una carga positiva la cual debe balancearse con un catión como  $Na^+$ ,  $K^+$ . En forma igual la sustitución del  $Si^{4+}$ , en las capas de silicatos por  $Al^{+++}$  debe balancearse con un catión. También puede suponerse que el protón  $H^+$  puede ser sustituido en el retículo.

El  $Na^+$  y el  $Ca^{++}$  se colocan externamente en el plano basal de la red, debido al tamaño de estos átomos, pero también pueden estar en los bordes de las capas fracturadas, se ha estimado que cerca del 80% de  $Na^+$  y  $Ca^{++}$  se encuentran en los planos basales y el 20% restante en los bordes de las capas. La fórmula estructural de la montmorillonita es:



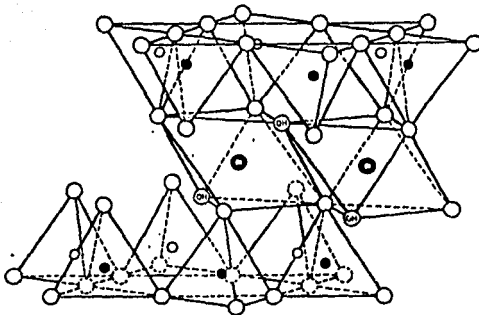
Las Figuras 1,2, y 3 muestran la estructura de la red de la montmorillonita (Bentonita) de acuerdo con (Ross y Hendricks) y (Marshall y Hendricks) en Grim (2).

F I G U R A 1



ESTRUCTURA DE RED DE LA MONTMORILLONITA (BENTONITA)  
 SEGUN (ROSS Y HENDRICKS) EN GRIM (2).

F I G U R A 2.

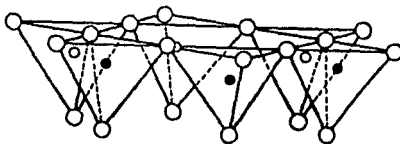


CATIONES INTERCAMBIABLES

 $\text{nh}_2\text{O}$ 

Estructura de la esmectita de acuerdo con (Marshall y Henricks en Grim (2)).

F I G U R A 3.



○ oxígeno ● hidróxilos ● Aluminio  
● Silicio.

Capa tetrahédrica de la esmectita (Marshall y Hendricks) en Grim (2).

### 11.3 INTERCAMBIO IONICO Y ADSORCION.

De acuerdo con Grim (2) los minerales de arcilla tienen la propiedad de adsorber ciertos aniones y cationes y retenerlos en un estado intercambiable; estos iones son intercambiables por otros aniones o cationes por tratamiento con iones semejantes en una solución acuosa. (la reacción de intercambio algunas veces también se lleva a cabo en medios no acuosos). La reacción de intercambio es estequiométrica y de ese modo se diferencia de una simple adsorción. Esta distinción sin embargo es algunas veces difícil ya que cada proceso de intercambio iónico es acompañado de una adsorción o desorción.

Los iones intercambiables son retenidos alrededor de la unidad estructural externa de la sílica-alúmina del mineral de arcilla y la reacción de intercambio generalmente no afecta el empaquetamiento de la estructura de la sílica-alúmina.

La propiedad de la capacidad de intercambio se mide en términos de miliequivalente por gramo o más frecuentemente por 100 gramos. Un equivalente de  $\text{Na}^+$  expresada como  $\text{Na}_2\text{O}$  sería una combinación en peso de 31, y 1meq/100g. sería igual a 0.031 por ciento de  $\text{Na}_2\text{O}$ . La capacidad de intercambio se determina en la neutralidad a un pH 7.

En los minerales de arcilla los cationes intercambiables comunes son  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$  en ese orden de abundancia general. Los aniones intercambiables más comunes en minerales de arcilla son  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{--}$ ,  $\text{NO}_3^-$ . La abundancia general de los aniones no es aún conocida.

Existe también el intercambio aniónico, muchos minerales de arcilla muestran reacción de intercambio aniónico. Las investigaciones de este intercambio puede ser una extensión asociada con los estudios de la adsorción de fosfato.

#### II.4 IMPORTANCIA DEL INTERCAMBIO IONICO.

La propiedad de intercambio iónico y la reacción de intercambio son de una importancia fundamental y valor práctico en todos los campos en los cuales los minerales de arcilla son usados y estudiados. Aunque la reacción de intercambio no siempre tuvo la misma importancia en los trabajos realizados en esos campos.

El intercambio iónico tiene una gran importancia donde las propiedades de las arcillas son importantes, porque las propiedades físicas de los materiales arcillosos dependen en -- gran parte de los iones intercambiables contenidos en la arcilla.

En general las propiedades plásticas de una arcilla de un ya cimiento son muy diferentes, dependiendo en si  $\text{Na}^+$  o  $\text{Ca}^{++}$  es el catión intercambiable.

Las bentonitas son generalmente usadas para varios propósitos además de fundición. Para algunas aplicaciones deben formar suspensiones tixotrópicas en agua (pinturas). Solamente las - bentonitas compuestas del mineral montmorillonita que llevan  $\text{Na}^+$  como el ión intercambiable, al mezclarse con agua dan sus pensiones de carácter thixotrópico pronunciado.

#### II.5 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO.

Al considerar la influencia de los factores, se ve que no hay valor simple de capacidad que sea una característica dada de los grupos de los minerales de arcilla. Cada grupo muestra - un rango de variación de capacidades. Puesto que la capaci- dad de intercambio catiónico de un tipo de mineral dado puede cambiar con tantos factores, los valores de capacidad son ri- gurosamente comparables solamente si ellos fueron obtenidos - por el mismo procedimiento estándar en material de textura y atributos estructurales comparables.

Sanders (1) reporta valores de capacidad de intercambio catiónico para bentonitas comercialmente puras, las cuales con tienen de 85% a 90% de montmorillonita y los valores reportados son normalmente de 60 a 100 meq/100 g. La bentonita sódica natural de mina en Eastern Wyoming y Western South Dakota muy raramente excede 75 meq/100 g. del catión de sodio y la relación  $\text{Na}^+$  a  $\text{Ca}^{++}$  varía entre 3:1 a 4:1. Cada miliequivalente de  $\text{Na}^+$  es igual a 0.031% de  $\text{Na}_2\text{O}$ . Cada miliequivalente de  $\text{Ca}^{++}$  es igual a 0.028% de  $\text{CaO}$ . Cada miliequivalente de  $\text{H}^+$  es igual a 0.001% de hidrógeno.

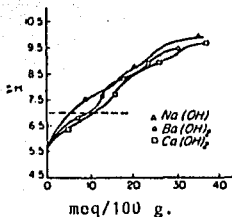
Las bentonitas cálcicas básicas naturales en Mississippi y Alabama tienen valores bajos de intercambio entre 75 y 85 meq/100 g. las cuales son prácticamente todas cálcicas con solamente trazas de cationes de sodio presentes y 1 a 2 meq/100g. de  $\text{K}^+$ .

Jackson en Grim (2) mostró que a muestras un pretratamiento de una solución de carbonato de sodio alcalina, les causó una capacidad alta, mientras que un pretratamiento con acetato de sodio y una solución buffer a pH 3.5 les causó una capacidad relativamente baja.

La capacidad de intercambio varía también con la naturaleza del catión. Las figuras 4 y 5 muestran curvas de titulación para caolinita y montmorillonita con cationes de diferentes estados de oxidación mostrando la gran diferencia posible de cationes monovalentes y divalentes. En ambos casos la capacidad de intercambio es elevada cuando es determinada con  $\text{Ca}^{++}$  que  $\text{Na}^{++}$ . Otros factores semejantes como tamaño de partícula, distorsión de la red, pueden también afectar la capacidad de intercambio catiónico.

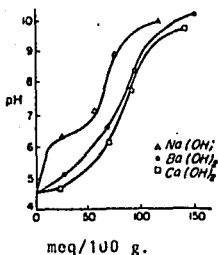
Los minerales de arcilla no son los únicos materiales con capacidad de intercambio catiónico. Todos los minerales inorgánicos de extrema finura tienen una pequeña capacidad de intercambio catiónico como un resultado de ligaduras rotas alrededor de los bordes. Esta capacidad se incrementa cuando el tamaño de partícula disminuye.

FIGURA 4



Curvas de titulación de hidrógeno para caolinita en Grim (2)

FIGURA 5



Curvas de titulación de hidrógeno para montmorillonita en Grim (2).

Investigaciones anteriores de muchos yacimientos indican que la reemplazabilidad de varios cationes varia con la naturaleza de la adsorción implicada, todos los otros factores son iguales. Varios trabajos realizados por diversos investigadores en caolinita, muscovita y montmorillonita muestran que no hubo una reemplazabilidad fácil.

Kelley en Grim (2) señala que el poder de reemplazamiento se incrementa cualitativamente cuando el número atómico se incrementa de la misma valencia.

También en iones de la misma valencia, la fuerza de reemplazamiento tiende a incrementarse conforme el tamaño del ión se incrementa, los iones más pequeños están menos ligados -- que los iones grandes. Una excepción del efecto del tamaño del ion ocurre en aquellos iones que tienen casi el mismo tamaño y las propiedades de coordinación en la hoja de oxígeno basal en las capas de los minerales de arcilla.

Wiegner y Jenny en Grim (2) sugieren que el tamaño de el ión hidratado, mejor que el tamaño del ión no hidratado, controlan la reemplazabilidad, de acuerdo con Wiegner (2) para iones de igual valencia, aquellos menos hidratados tienen mayor energía de reemplazamiento y son los más difíciles de mover cuando ya están presentes en la arcilla.

La magnitud de estimación de hidratación de varios iones varía con la base elegida de comparación. Valores de hidratación propuestos por varios investigadores y obtenidos en diferentes vías son dados en la (Tabla 1) muestra el orden de magnitud de la hidratación generalmente dada para iones comunes.

T A B L A 1

ION	RADIO IONICO A°				HIDRATACION, MOLES H <sub>2</sub> O				
	NO		HIDRATADO		E	F <sup>o</sup>	G	H	I
	A	B	C	D					
Li	0.68	0.78	10.03	7.3	12.6	10	15	11-13	13-14
Na	0.98	0.98	7.90	5.0	8.4	5	8	9-11	8-9
K	1.33	1.33	5.32	3.8	4.0	1	4	5-6	5
NH <sub>4</sub>	....	1.43	5.37	....	4.4	....	....	2-3	
Rb	....	1.49	5.09	3.6	....	0.5	....		
Cs	....	1.65	5.05	3.6	....	0.2	....		
Mg	0.80	0.78	....	10.8	13.3	33	21	20-23	
Ca	1.17	1.06	....	9.6	10.0	22	22	19-22	
Sr	1.34	1.27	....	9.6	8.2	21	....		
Ba	1.49	1.43	....	8.8	4.1	17	14	18-20	
Al	0.79	0.57	....	....	....	....	57		
La	1.30	1.22	....	....	....	....	30.5		

A, B, C, D, E, F, G, H, I.

Diferentes investigadores en Grim (2).



Wiegner y Jenny en Grim (2) y otros autores mostraron evidencias que todos los cationes son hidratados y que esta hidratación es importante en reacciones de intercambio. Estas evidencias se basan en investigaciones llevadas a cabo en alcohol y según ellos la solvatación es mejor que en agua.

Hendricks y sus colegas en Grim (2) presentaron evidencias, basadas en estudios cuidadosos de deshidratación, que el  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{K}^+$  y los iones trivalentes no son hidratados cuando son adsorbidos por los minerales de arcilla. Según ellos, el  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  se hidratan con  $6\text{H}_2\text{O}$ , y  $\text{Li}^+$  con  $3\text{H}_2\text{O}$ . Esto es contrario a las conclusiones de aquellos favoreciendo el concepto de hidratación, quienes consideran que  $\text{Li}^+$  y  $\text{Na}^+$  están entre los iones de más alta hidratación.

## II.6 CAUSAS DE INTERCAMBIO CATIONICO.

Las causas de la capacidad de intercambio catiónico de los minerales de arcilla son considerados de tres formas que son:

- 1.- Las ligaduras rotas alrededor de los bordes de las uniones de la sílica-alumina darían cargas elevadas no satisfechas, las cuales serían balanceadas por cationes adsorbidos. Las ligaduras rotas tenderían a estar en superficies que no tienen esfoliación.

El número de ligaduras rotas y por tanto la capacidad de intercambio debido a esta causa aumentaría a medida que el tamaño de partícula disminuye. También la distorsión de la red tendería a aumentar las ligaduras rotas y la capacidad de intercambio aumentaría cuando el grado de cristalinidad disminuyera.

- 2.- Sustitución en la estructura de la red, el aluminio trivalente puede ser sustituido por silicio tetravalente en las láminas tetrahedrales y de iones de baja valencia, principalmente magnesio, por aluminio trivalente en la -

lámina octahedral resultando cargas desbalanceadas en las uniones estructurales de algunos minerales. Algunas veces estas sustituciones son balanceadas por otras cargas en la red. Por ejemplo,  $\text{OH}^-$  por  $\text{O}^{2-}$  ó por las -- dos o tres posiciones posibles octahedrales, pero frecuentemente ellos son balanceados por cationes adsorbidos.

- 3.- El hidrógeno de hidróxilos expuestos; el hidrógeno puede ser reemplazado por un catión que puede ser intercambiable. Sin embargo parece probable que cada hidrógeno estaría relativamente retenido fuertemente si se compara con aquéllos asociados con ligaduras rotas y por consiguiente y el más importante, no reemplazable.

Mc Connel en Grim (2) sugirió para esmectita una estructura alternativa la cual tendría hidróxilos sobre la superficie del plano basal.

## II.7 POSICION DE LOS CATIONES INTERCAMBIABLES.

En los minerales de arcilla en los cuales los resultados de intercambio catiónico son por ligaduras rotas, los cationes intercambiables estarían alrededor de los bordes de las ho--juelas y en las unidades alargadas. En los minerales de arcilla en los cuales el intercambio es debido a la sustitución en la red, los cationes están en la superficie del plano basal. En esmectita y vermiculita cerca del 80% están en la superficie del plano basal y el resto en los bordes.

Brown en Grim (2) presentó datos de Rayos X indicando que, para montmorillonita bajo condiciones iguales de concentración arcilla-agua, los cationes adsorbidos entre la superficie del plano basal están la mitad entre la arcilla-mineral. Pezerat y Mering fundamentaron que el  $\text{Na}^+$  para montmorillonita está

en la cavidad hexagonal del plano tetrahedral en los materiales anhidros cuando hay una sola capa de agua presente y el calcio también está presente en la cavidad en la forma anhidra, pero está en la capa de agua cuando hay una simple capa de agua presente.

## II.8 EFECTO DE LA MOLIENDA EN LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO.

Sanders y otros (4) encontraron experimentalmente lo siguiente: la arcilla lavada en la malla proveniente de una mezcla de arena-arcilla-agua y la arcilla de la mezcla arena-arcilla-agua como tal, cuando se les determinó la capacidad de intercambio dan resultados similares. En ambos casos se registra menor capacidad de intercambio que en los ensayos que se conducen a las arcillas solas ya sea en estado de recepción o precalcínadas por las razones que se explican a continuación.

La arena sílica con un pH esencialmente neutro se vuelve más ácida cuando es sujeta a molienda y reducción de tamaño o agitada rigurosamente en el estado húmedo. Esta misma situación se encuentra cuando la arena y el agua se someten a la molienda, se sugiere en ambos casos que se forma el ácido metasilícico ( $H_2SiO_3$ ) como resultado de las fuerzas de atrición.

" Se percibió claramente que las mezclas arena-arcilla mostraron un pH significativamente más bajo que las arcillas solas, lo que sugiere que un ácido se forma. Fue también obvio que el ión  $Na^+$  se redujo en 10 por ciento total en la arcilla extraída y determinada de la mezcla y que el  $Ca^{++}$  se incrementó en las arcillas sódicas. Este grado de capacidad de intercambio no podría ser el resultado del agua simple usada, ya que su dureza es menor que 200 ppm. El grado de dureza del agua podría afectar si acaso la capacidad de intercambio por solo 1meq/100 g. así que otro fenómeno ocurrió ".

Los autores dan la hipótesis de que los iones  $\text{Na}^+$  son reemplazados de los sitios de intercambio por el calcio de los minerales accesorios a la bentonita para reaccionar preferencialmente con el ácido metasilícico y formar metasilicato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ).

Tal reacción parece ocurrir en un ambiente alcalino pero también el metasilicato de calcio puede ser encontrado si se baja el pH.

Sea válida o no la hipótesis anterior el hecho es que las mezclas de arena-arcilla-agua preparadas en el molino exhiben un pH menor y la proporción de iones solubles cambia.

Bajo ese criterio las bentonitas de  $\text{Na}^+$  al ser reusadas en un sistema se vuelven poco a poco bentonitas  $\text{Ca}^{++}$ . Aún más, esta condición se acelera con el tiempo de molienda, adiciones ácidas y usando agua dura para su templado.

## II.9 METODOS PARA LA DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO.

Existen varios métodos que se han empleado para esta determinación. De acuerdo con un trabajo previo a éste (3) y tomado como referencia.

- 1.- Por desplazamiento de los cationes existentes en la arcilla por tratamiento con cationes más básicos que no se encuentran en las arcillas nativas, principalmente cloruro de bencil-trimetil-amonio o acetado de amonio. Una vez que se alcanza el equilibrio, se determinan por un lado en el sobrenadante los iones desplazados y por otra parte, la arcilla en forma  $\text{NH}_4$  se convierte a forma sódica o cálcica usando una alta concentración del ión y el  $\text{NH}_4$  desplazado de la solución se determina usando una destilación microkjeldahl.

## II.10 DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO POR ABSORCION DE AZUL DE METILENO.

La adsorción de azul de metileno se ha usado ampliamente para determinar la capacidad de intercambio catiónico, sin embargo, aunque algunos autores aseguran que ésta es una prueba lo suficientemente exacta y que puede compararse con el método convencional de acetato de amonio y que puede establecerse como un método estándar, otros hacen una serie de aclaraciones con respecto a éste, ya sea que se haga como valoración visual o bien que se determine el exceso de azul de metileno en el sobrante en forma colorimétrica. Algunos autores encontraron que la cantidad de azul de metileno adsorbido depende del catión presente y del grado de dispersión de la arcilla. Brindley y otros investigadores han asentado claramente que los iones de azul de metileno reemplazan más fácilmente a los iones  $\text{Na}^+$ , que a los iones  $\text{Ca}^{++}$  extendiéndose este comportamiento para los iones divalentes; ellos inducen como causa probable la expansión de la rejilla cristalina de la montmorillonita, esto es, el grado de expansión de las montmorillonitas divalentes es considerablemente menor que el de las monovalentes y podría considerarse que esto es lo que retarda la entrada de los iones grandes de azul de metileno (5) (6). Aunque la reacción entre el azul de metileno y la arcilla si es de intercambio, no es solo ésta la que gobierna el proceso, sino en gran medida la accesibilidad de los sitios de intercambio, que dependen del grado de dispersión en la arcilla; estos autores sugirieron que la reacción de intercambio está antecedida por una adsorción superficial de azul de metileno en la montmorillonita, también encontraron que el reemplazamiento del catión por azul de metileno no es estequiométrico. Para que esta reacción pueda usarse como una medida de la capacidad de intercambio debe suponerse que la reacción precede a la adsorción física o que la cantidad adsorbida es despreciable respecto a la que entra a los sitios de intercambio. De-

bido a que para una misma montmorillonita sustituida con diferentes cationes se obtienen diferentes patrones de Rayos X, ellos concluyeron que existen otros factores además de -- los cationes intercambiables y del pH, que determinan la -- orientación y la asociación química del azul de metileno en -- las intercapas de la arcilla.

#### II.11 INTERPRETACION DEL COMPORTAMIENTO MECANICO DE ARCI- LLAS EN LA MEZCLA DE MOLDEO: GRAFICA BASICA.

En los años sesentas se llevaron a cabo varios programas de -- investigación respecto a la preparación mecánica de las arenas de moldeo y su relación con las propiedades mecánicas de las mismas, su relación con el ensayo de compactabilidad y -- con los conceptos básicos del comportamiento físico-químico de los sistemas arena-bentonita-agua.

Todo esto mostró la evidente dependencia de la resistencia a la compresión en verde y las medidas de compactabilidad con -- un grupo de relaciones agua/arcilla, afectados por:

- a) La cantidad y distribución de las partículas de agua/arcilla sobre los granos de arena entre los cuales se encuentran y
- b) Las porciones agua/arcilla que influyen en los potenciales de unión de tales partículas.

Estas consideraciones llevaron a los investigadores a realizar una serie de estudios y experimentaciones sistemáticas -- que concluyeron con la construcción de una gráfica en la que se encuentran las relaciones compactabilidad, resistencia a la compresión en verde y humedad para las mezclas simples y que constituye una gráfica básica para el control de las mezclas en el taller.

## II.12 CONSTRUCCION DE LA GRAFICA BASICA.

Se realizó trazando resultados de ensayo a la compresión con tra medidas de humedad después de someter las muestras de arena-bentonita-agua a una molienda y variando los contenidos de bentonita de 3 a 8%.

El resultado fue una familia de curvas en donde se nota un incremento en las medidas de resistencia en verde que indica la incorporación y transformación de cada % de adición de bentonita en capas más completas de agua/arcilla sobre la superficie de los granos.

Se escribió el No. 55 sobre la línea del 7% de bentonita para indicar que a una arena de esa granulometría el 7% fue suficiente para cubrir totalmente todas las superficies de los granos y el mismo concepto indica el No. 75 sobre la línea de 8% de bentonita.

Se usaron líneas punteadas para el trazo de las curvas de 3 y 4% de bentonita, para indicar que no había suficiente arcilla presente para establecer relaciones agua/arcilla normales en puntos de mínima densidad y enfatizar que, parte de su humedad total estuvo como películas de agua puestas directamente sobre la superficie de los granos.

Se sobreimpusieron líneas rectas para interceptar las diferentes curvas de resistencia con valores iguales de relaciones agua/arcilla y de compactabilidad.

Esta manera de construir la Gráfica evidencia que a valores iguales de agua/arcilla las mezclas de alta y baja resistencia responden en forma semejante el ensayo de compactabilidad y también que con los valores de resistencia por sí solos no se obtiene información sobre la efectividad de la relación -- agua/arcilla.

Un valor de compactabilidad de 60% o ligeramente menor se obtiene en los puntos de densidad mínima y/o puntos de máximo

contenido de agua rígida para la mayoría de las mezclas, sin que exista una conversión completa de 4 a 3 capas, de ahí que naya una línea de 55% de compactabilidad.

La gráfica así construída nos proporciona una medición de la eficiente utilización de la bentonita adicionada.

La gráfica básica y su forma de empleo se encuentra en el (Apéndice 1).



**CAPITULO III**  
**PARTE EXPERIMENTAL**

### III.1 EXPLICACION GENERAL.

Este trabajo se llevó a cabo con doce bentonitas, diez de las cuales son nacionales y que se encuentran en el Valle de México para los fundidores de esta zona y dos de Estados Unidos; de este grupo de bentonitas siete son clasificadas como sódicas y cinco son clasificadas como cálcicas; a cada una de ellas se le determinó:

- 1.- Capacidad de intercambio iónico.
- 2.- Arcilla por azul de metileno.
- 3.- Resistencia a la compresión.
- 4.- Compactabilidad.

Con los datos de resistencia a la compresión y compactabilidad se utilizó la gráfica básica como se indica en el Apéndice 1, para determinar arcilla efectiva y eficiencia de molienda, los que se reportan en la Tabla # 16.

Las muestras en estado de recepción de las doce bentonitas -- fueron enviadas para su análisis químico y diez de éstas para análisis por difracción de Rayos X a los laboratorios especializados y los resultados se muestran en los Apéndices 2, 3 y 4 respectivamente.

En la capacidad de intercambio iónico se empleó el método de desplazamiento de los cationes por tratamiento con acetato de amonio y determinando en el sobrenadante los iones desplazados por titulación con EDTA.

El método utilizado para la determinación de sodio y potasio fue el método clásico de flamometría.

Para calcio y magnesio se utilizó el método volumétrico con EDTA.

El método para determinar arcilla por azul de metileno es el tentativo-estándar de American Poundrymen's Society (7).

Los métodos para los ensayos de resistencia a la compresión y compactabilidad son los métodos estándar de American Foundrymen's Society (7).

Material es usado s.

La arena usada para este trabajo fue:

Una arena A.F.S. 60, pH 6 y de forma subangular.

Las bentonitas se usaron en estado de recepción y se clasificaron a conveniencia, los datos de origen y procedencia se encuentran archivados en el Laboratorio de Arenas del Departamento de Metalurgia en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El agua fue: agua simple de la llave, con un análisis de dureza total 116 y pH 7.8.

### III.2 PRUEBAS DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO.

Determinación de sodio y potasio por flamometría.

Para la determinación de estos elementos fue necesario preparar soluciones estándar de los mismos y calibrar el aparato (fotoflamómetro) con estas soluciones, antes de proceder al intercambio de acetato de amonio y leer el contenido respectivo de la solución iónica.

Preparación de las soluciones estándar de sodio y potasio.

Solución de sulfato de sodio.- Se pesan 229mg. de sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) se colocan en un matraz aforado de 1000 ml. y se afora a la marca con agua deionizada, la concentración de  $\text{Na}^+$  en esta solución es de 100 ppm.

Solución de sulfato de potasio.- Pesar 185 mg. de sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ) y colocarlos en un matraz aforado de 1000 ml. Disolver con agua deionizada hasta llegar a la marca, la concentración de  $K^+$  en esta solución es también de 100 ppm.

Material y equipo usado.

- 1.- Dos vasos de precipitado de 250 ml.
- 2.- Dos frascos de cristal color ámbar de 1000 ml.
- 3.- Doce vasos de precipitado de 50 ml.
- 4.- Un vidrio de reloj.
- 5.- Un embudo.
- 6.- Una espátula.
- 7.- Fotoflamómetro Corning 400.

#### Calibración del Fotoflamómetro.

Para la calibración de este aparato se prepararon soluciones de sulfato de sodio y potasio con concentraciones equivalentes de 10, 20, 30, 40, 50, 50, 70, 80 y 90 ppm., el ajuste a cero del aparato se hace con agua deionizada y el ajuste a 100 con la solución de sodio o potasio a 100 ppm. Las concentraciones de estas soluciones se leen en una gráfica y para obtener los datos de ésta se hace lo siguiente: se colocan 20 ml. de las soluciones arriba mencionadas en vasos de precipitado de 50 ml. y se colocan de uno en uno en el atomizador del aparato provisto de un filtro de interferencia para sodio o potasio. La emisividad en la flama se mide y esto -- produce una lectura en el aparato.

Procedimiento.

Se toman 5 g. de las mezclas ó 0.5 g. de las bentonitas a estas muestras se les agrega 10 ml. de acetato de amonio 1 N, y se colocan en un aparato de ultrasonido durante 5 minutos con el objeto de lograr una mejor dispersión y luego se dejan reposar durante 24 horas, para después filtrarlas y lavarlas muy bien con agua desionizada, hecho ésto se procede a leer directamente en el fotoflamómetro.

Los resultados de estas lecturas están reportados en las tablas 1 y 2 para bentonitas solas y en las tablas 8 y 9 para las mezclas de arena con bentonita.

Las gráficas de calibración del fotoflamómetro se encuentran en los (Apéndices 5 y 6).

Cálculos:

El resultado que nos da el aparato lo leemos en las gráficas y ésto nos da en ppm., por lo que se debe pasar a meq/100 g. de muestra.

Forma de transformar ppm. a meq/100 g. de muestra.

Ejemplo: (Tabla 1 bentonita # 2).

22.5 ppm de  $\text{Na}_2\text{O}$

$\text{Na}_2\text{O} = 62$

ppm = mg./l.

$2e^-$  intercambiables

meq =  $\frac{\text{peso en gramos}}{\text{peso equivalente}}$

0.0225 g. de  $\text{Na}_2\text{O}$

meq =  $\frac{0.0225 \text{ g. de } \text{Na}_2\text{O}}$

= 0.7258 meq. de  $\text{Na}_2\text{O}$  en 0.5 g.

$62 / (2 \times 1000)$

de donde 145.16 meq. en 100 g. como se trabajó en un volumen de 100 ml. Esto nos da 14.5 meq/100 g. de muestra.

Ejemplo: (Tabla 2 bentonia # 1).

2.0 ppm de  $K_2O$

$K_2O = 94$

meq de  $K_2O = \frac{0.002}{94/(2 \times 1000)} = 0.04246 \text{ } 2e^- \text{ intercambiables}$

0.04246 meq. en 0.5 g. por lo tanto 8.49 meq de  $K_2O$  en 100g.  
se trabajó a un volumen de 100 ml. de donde tenemos que es  
0.849=0.85 meq/100 g. de muestra.

#### Determinación de Calcio más Magnesio por EDTA.

Para la determinación de estos iones se prepararon las soluciones estándar de acetato de amonio para el intercambio y la solución de EDTA., así como agua regia y las soluciones de ácido clorhídrico al 1%, solución buffer de amonio al 2% y preparar los indicadores de E.N.T. y Murecida. Para después proceder a titular los iones sobrenadantes en la solución iónica.

#### Preparación de las soluciones.

Agua Regia .- Para preparar esta solución se combinan 10 ml. de ácido nítrico ( $HNO_3$ ) y 30 ml. de ácido clorhídrico (HCL), o de 1:3 partes.

Acetato de Amonio .- Se pesan 7.7 g. de Acetato de Amonio ( $NH_4CH_3COO$ ) en una balanza analítica se colocan en un matraz aforado de 100ml. para tener una solución de 1 N.

Solución Buffer de Amonio al 2%. - Se pesan 2g. de Cloruro de Amonio ( $NH_4Cl$ ) y se agregan 2 ml. de Hidróxido de Amonio ( $NH_4OH$ ) por cada 100 ml de solución.

Solución de EDTA.- Se pesan 10g. de Sal Disódica y se disuelve en un litro de agua desionizada.

Solución de ácido clorhídrico al 1% .- Se colocan 10 ml. de ácido clorhídrico en un matraz aforado de 1000 ml. y se disuelve con agua desionizada hasta la marca.

Se usó una mezcla de Ericromo negro T al 1% en cloruro de sodio (NaCl) como indicador.

**Material usado:**

- 1.- trece vasos de precipitado de 250 ml.
- 2.- doce matraces Erlenmeyer de 250 ml.
- 3.- doce embudos.
- 4.- una bureta de 50ml.
- 5.- papel filtro Whatman No. 42
- 6.- papel pH.
- 7.- agitadores de vidrio.

**Procedimiento:**

Se pesan 5 g. de mezcla o 0.5 g. de bentonita sola se le agrega 10 ml de acetato de amonio y se coloca en el ultrasonido durante 5 minutos después de los cuales se dejan reposar estas soluciones durante un día para filtrarlas y lavarlas muy bien con agua desionizada hasta un volumen determinado se colocan en una parrilla a evaporación total después se les agregan 20 ml. de agua regia y se vuelve evaporar a sequedad nuevamente después se disuelve con ácido clorhídrico al 1% se les agregan 5 ml. de solución buffer de amonio al 2% para ajustar el pH a 9 se le ponen unos granos de indicador ericromo negro T y se obtiene una solución de color vino se procede a titular con la solución de EDTA hasta un vire verde azul.

Los resultados de estas titulaciones se encuentran en las -- Tablas 3 y 10 , en la Tabla 3. se encuentran los resultados obtenidos para las bentonitas solas y en la Tabla 10

para las mezclas de arena con bentonita.

Cálculos:

Ejemplo: (Tabla 3 bentonita # 10)

$$\text{meq} = \text{Vol.} \times \text{N.} \quad \text{Vol.} = 4.5 \text{ ml}$$

$$\text{N} = 0.1$$

Por lo tanto meq de CaO + MgO =  $4.5 \times 0.1 = 0.45$  en 0.5 g.

$$\text{de donde } \frac{100 \times 0.45}{0.5} = 90 \text{ meq/100 g.}$$

Vol. = volumen.

N = normalidad.

meq = miliequivalente.

#### Determinación de CaO.

Para la determinación de CaO se prepararon las mismas soluciones que para la determinación de CaO más MgO con excepción de la solución buffer al 2%, pero se preparó una solución de hidróxido de sodio al 30%.

Preparación de la solución de hidróxido de sodio.- Se pesan 30g. de hidróxido de sodio (NaOH) y se colocan en un matraz aforado de 100 ml. y se le llena hasta la marca con agua deionizada.

Material usado:

- 1.- trece vasos de precipitado de 250 ml.
- 2.- doce matraces Erlenmeyer de 200 ml.
- 3.- doce embudos.
- 4.- una bureta de 50 ml.
- 5.- papel Whatman No. 42.
- 6.- papel pH
- 7.- agitadores de vidrio.



### Procedimiento

Se pesan 0.5 g. de bentonita sola ó 5.0 g. de mezcla de arena con bentonita, se le agrega 10 ml. de acetato de amonio y se coloca en el ultrasonido durante 5 minutos y se dejan reposar durante 24 horas para después filtrarlas lavarlas con agua desionizada hasta un volumen determinado después se colocan en una parrilla para evaporarlas en forma total, luego se les agrega 20 ml. de agua regia y se vuelven a evaporar a sequedad, una vez terminada la evaporación se disuelve con agua desionizada a un volumen aproximado de 50 ml. se ajusta el pH a 14 con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) y valorar con EDTA usando como indicador murexida.

Los resultados obtenidos de estas titulaciones se pueden observar en las tablas 4 y 11, los resultados reportados en la tabla 4 son los obtenidos para las bentonitas solas y los reportados en la tabla 11 son los de las mezclas de arena con bentonita, y en las tablas 5 y 12 se reportan los resultados de magnesio por diferencia, en la 5 para bentonitas solas y en la 12 para mezclas de arena con bentonita.

Cálculos:

Ejemplo: (tabla 5 bentonita #4)

$$\text{Meq} = \text{Vol} \times N$$

$$\text{Vol} = 1.5 \text{ ml.}$$

$$N = 0.1$$

$$\text{meq de CaO} = 1.5 \times 0.1 = 0.15 \text{ en } 0.5 \text{ g.}$$

$$\text{por lo que} = \frac{0.15 \times 100}{0.5} = 30 \text{ meq/100 g. de muestra.}$$

### III.3 DETERMINACION DE ARCILLA POR AZUL DE METILENO

Para determinar arcilla por azul de metileno en bentonitas solas se siguió el método de azul de metileno propuesto por la A.F.S., estos resultados fueron usados para las mezclas respectivas.

Se prepararon también las soluciones de azul de metileno y de pirofosfato de sodio.

Preparación de la solución de azul de metileno.- para preparar esta solución se pesan 3.739 g. de cristales de azul de metileno (cloruro de metilhimona,  $C_{16}H_{18}N_3SCl \cdot 3H_2O$  grado U.S.P. (libre de Zinc), y se colocan en un matraz aforado de 1000 ml. se le adicionan aproximadamente 500 ml. de agua desionizada a 20°C. Se agita durante 24 horas en un agitador magnético, transcurrido este tiempo se afora el matraz con agua desionizada, se pasa la solución a un contenedor de cristal - café obscuro para almacenar y dejar reposar durante 12 horas antes de ser usada.

Solución de pirofosfato de sodio.- esta solución se prepara - colocando 2 g. de pirofosfato de sodio previamente pesados en un matraz aforado de 100 ml. y disolviendo con agua desionizada.

Material y equipo usado:

- 1.- Un vidrio de reloj.
- 2.- Un vaso de acero inoxidable de 250 ml.
- 3.- Agitador de vidrio.
- 4.- Balanza analítica (Bosch) con 0.01 g. de exactitud.
- 5.- Aparato de ultrasonido (Dieter modelo No.536).
- 6.- Reloj para medir el tiempo.
- 7.- Aparato de titulación (Dieter modelo No.535-A) el cual consta de; un recipiente para la solución de azul de metileno, un agitador mecánico montado sobre un motor de 1550 rpm. (Tyline modelo No.107) y una bureta de 50 ml. graduada.

#### Procedimiento estandar para determinar arcilla por azul de metileno.

Se pesan 0.3 g. de bentonita, previamente secada en una mufla a 120°C, se le agrega 4.7 g. de arena nueva más 5 g. de carbú

ro se silicio, todo esto se coloca en un recipiente de acero inoxidable adicionandole 50 ml. de pirofosfato de sodio y -- después se coloca en un limpiador ultrasónico durante 7 minutos; se le agrega 10 ml. de azul de metileno, se lleva a agitación durante 2 minutos, después se toma una gota de esta - suspensión con un agitador de vidrio y se coloca sobre una - hoja de papel filtro (W hatman No.42), si la aureola no aparece alrededor de la gota se le agrega nuevamente azul de metileno a la suspensión en cantidades de 1 ml. y se agita nuevamente por un tiempo de 2 minutos, hasta que la aureola aparezca, después de aparecer se agita nuevamente por 2 minutos para confirmar el punto final, con esta prueba se da a conocer el volumen consumido en una cantidad de bentonita conocida.

Procedimiento para las mezclas de arena con arcilla de la prueba de arcilla por azul de metileno.

Tomar 5 g. de muestra y secarlos a una temperatura de 110°C - por una hora, y se colocan en un recipiente de acero inoxidable de 250 ml. y se le adicionan 50 ml. de pirofosfato de sodio solución al 2% y se coloca en el limpiador ultrasónico - por 5 minutos luego se retira la suspensión y se sigue el -- mismo procedimiento que el estandar antes mencionado.

Los resultados se encuentran en las tablas 6 y 13 , en la - tabla 6 se encuentran reportados los resultados de las bentonitas solas y en la 13 los de las mezclas de arena con bentonita.

Cálculos:

Ejemplo (tabla 6 bentonita #4)

meq = ,Vol X N

Vol = 27 ml.

meq = 27 X 0.01 = 0.27 meq en 0.3 g.

N = 0.01

por lo tanto  $\frac{0.27 \times 100}{0.3} = 90$  meq/100 g. de muestra.

0,3

### III.4 METODOS SD ENSAYOS MEZCLAS DE ARENA CON BENTONITA

Para realizar estos ensayos fue necesario preparar las mezclas de arena con las diferentes bentonitas y formar las probetas - para ser ensayadas. Estas mezclas se prepararon con 6% de bentonita y 2% de humedad.

#### Preparación de las mezclas

Se ponen 2760 g. de arena en el molino chileno con una capacidad de 3 kilos y se le agrega 60 ml. de agua, se mezcla por un tiempo de 2 minutos, después de este tiempo se detiene el molino para agregar 180 g. de bentonita y se continúa el mezclado durante 3 minutos más hasta un tiempo total de mezclado de 5 minutos, la mezcla se pasa por una criba que ha sido previamente colocada sobre un recipiente de plástico; cuando esta ha pasado totalmente al recipiente, éste se cierra herméticamente e inmediatamente se trabajan las mezclas para la medición de las propiedades mecánicas como compactabilidad y resistencia a la compresión, posteriormente a la prueba de azul de metileno y capacidad de intercambio iónico.

#### Equipo utilizado para determinar compactibilidad

- 1.- Apisonador de arena (Dietert No.315) el cual incluye: un tubo de espécimen y base (No.315-30), tamiz de malla No.4 y tolva de llenado (No.315-9).
- 2.- Espátula y brocha.

#### Procedimiento

La muestra de arena es pasada a través de una tolva de llenado con un tamiz al tubo del espécimen, el cual ha sido colocado sobre su base y este recibe la arena hasta estar completamente lleno, después se elimina el exceso de arena de la parte superior del tubo con una espátula seccionando diametralmente-

con una línea la boca del tubo y retirando a uno y otro lado el material sobrante. El tubo es colocado debajo del apisonador que ha sido calibrado a cero.

La parte superior del tubo se hace coincidir con la del apisonador e inmediatamente se aplican los tres golpes con un intervalo de 1 segundo entre golpe y golpe, después se hace la lectura en la escala de porciento de compactibilidad.

#### Equipo utilizado para la prueba de resistencia a la compresión

- 1.- Máquina Universal de esfuerzos (Dietert Modelo 400), la cual incluye: un motor de 1700 rpm, un tubo de espécimen y pedestal (No.315-30), y mordazas.
- 2.- Tolva de llenado (Dietert No.315-9)
- 3.- Dos cajas petri.
- 4.- Balanza granataria.
- 5.- Espátula y brocha.

#### Procedimiento

Después de haber formado la probeta estandar en el apisonador, se pone esta entre las mordazas indicadas que deben estar ya colocadas en la máquina de prueba, enseguida se conecta el interruptor y empieza a plicar la carga hasta el momento de la ruptura, en ese momento anotamos el valor directamente de la escala del aparato cuyas unidades están en  $\text{lb/in}^2$ .

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

T A B L A # 1

RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE SODIO POR EL METODO DE FLAMOMETRIA EN BENTONITAS SOLAS.

Bentonita	Lecturas de $\text{Na}_2\text{O}$	ppm de $\text{Na}_2\text{O}$	meq/100g. $\text{Na}_2\text{O}$
1.- cálcica b	27	18.0	11.6
2.- sódica b	33	22.5	14.5
3.- sódica f.	30	20.0	12.9
4.- cálcica f.	30	20.0	12.9
5.- sódica q	25	16.0	10.3
6.- cálcica a	20	13.0	8.4
7.- sódica u	25	16.0	10.3
8. cálcica t	20	13.0	8.4
9.- sódica t	25	15.5	10.0
10.- sódica tb	25	16.0	10.3
11.- sódica (W)	24	15.5	10.0
12.- cálcica (S)	22	14.0	9.0

Nota:

Estas determinaciones se hicieron a un volumen de 100 ml.

T A B L A # 2

RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE POTASIO POR EL METODO DE FLANOMETRIA EN BENTONITAS SOLAS.

Bentonita	Lecturas de $K_2O$	ppm de $K_2O$	meq/100g. de $K_2O$
1.- cálcica b	3	2.0	0.85
2.- sódica b	3	2.0	0.85
3.- sódica f	3	2.0	0.85
4.- cálcica f	3	2.0	0.85
5.- sódica q	2	1.0	0.43
6.- cálcica a	3	2.0	0.85
7.- sódica a	7	4.0	1.70
8.- cálcica t	4	2.5	1.06
9.- sódica t	4	2.5	1.06
10.- sódica tb	7	4.0	1.70
11.- sódica (W)	4	2.5	1.06
12.- cálcica (S)	2	1.0	0.43

## NOTA:

Estas determinaciones se hicieron a un volumen de 100 ml.



T A B L A # 3

RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE Ca + Mg POR EL METODO DE METODO DE TITULACION CON EDTA EN BENTONITAS SOLAS.

Bentonita	Volumen en (ml)	ppm de Ca+Mg	meq/100g. de Ca+Mg
1.- cálcica b	4.5	108	90
2.- sódica b	4.5	108	90
3.- sódica f.	3.5	84	70
4.- cálcica f.	5.5	132	110
5.- sódica q	3.2	77	64
6.- cálcica a	4.9	118	98
7.- sódica a	2.4	58	48
8.- cálcica t	3.4	82	68
9.- sódica t	8.7	209	174
10.- sódica tb	2.2	53	44
11.- sódica (W)	3.9	94	78
12.- cálcica (S)	6.7	161	134

## T A B L A # 4

RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE CALCIO POR EL METODO DE  
TITULACION CON EDTA EN BENTONIAS SOLAS.

Bentonita	Volumen en (ml.)	ppm de CaO	meq/100g. de CaO
1.- cálcica b	2.6	73	52
2.- sódica b	1.8	50	36
3.- sódica f	1.6	45	32
4.- cálcica f	4.0	112	80
5.- sódica q	1.8	50	36
6.- cálcica a	3.1	87	62
7.- sódica a	1.6	45	32
8.- cálcica t	2.3	64	46
9.- sódica t	6.4	179	128
10.- sódica tb	1.7	48	34
11.- sódica (W)	1.9	53	38
12.- cálcica (S)	4.7	132	94

T A B L A # 5

## RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE MAGNESIO POR DIFERENCIA.

Bentonita	Volumen en (ml.)	ppm de MgO	meq/100g. de MgO
1.- cálcica b	1.9	38	38
2.- sódica b	2.7	54	54
3.- sódica f	1.9	38	38
4.- cálcica f	1.5	30	30
5.- sódica q	1.4	28	28
6.- cálcica a	1.8	36	36
7.- sódica a	0.8	16	16
8.- cálcica t	1.1	22	22
9.- sódica t	2.3	46	46
10.- sódica tb	0.5	10	10
11.- sódica (W)	2.0	40	40
12.- cálcica (S)	2.0	40	40

## T A B L A # 6

RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE ARCILLA POR EL METODO DE AZUL DE METILENO EN BENTONITAS SOLAS.

Bentonita	A.M. en (ml)	A.A.M en ppm	A.A.M. en meq/100g. de m.
1.- cálcica b	32.5	121.5	108.3
2.- sódica b	32.5	121.5	108.3
3.- sódica f	31.0	115.9	103.3
4.- cálcica f	27.0	100.9	90.0
5.- sódica q	32.0	119.6	106.7
6.- cálcica a	20.0	74.8	66.7
7.- sódica a	22.0	82.3	73.3
8.- cálcica t	19.0	71.0	63.3
9.- sódica t	28.5	104.7	95.0
10.- sódica tb	22.5	82.3	75.0
11.- sódica (W)	31.5	117.8	105.0
12.- cálcica (S)	29.0	108.4	96.7

T A B L A # 7

RESULTADOS DE LA SUMA DE IONES INTERCAMBIABLES, ARCILLA POR AZUL DE METILENO EN meq/100 g. Y ARCILLA A.F.S. EN % PARA BENTONITAS SOLAS.

Bentonita	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Total	A.A.M.	A.F.S.
1.-cálcica b	11.6	0.85	38	52	102.5	108.3	78
2.-sódica b	14.5	0.85	54	36	105.4	108.3	92
3.-sódica f	12.9	0.85	38	32	83.8	103.3	96
4.-cálcica ç	12.9	0.85	30	80	123.8	90.0	77
5.-sódica q	10.3	0.43	28	36	74.7	106.5	91
6.-cálcica a	8.4	0.85	36	62	107.3	66.7	63
7.-sódica a	10.3	1.70	16	32	60.0	73.3	78
8.-cálcica t	8.4	1.06	22	46	77.5	63.3	60
9.-sódica t	10.0	1.06	46	128	185.1	95.0	94
10.-sódica tb	10.3	1.70	10	34	56.0	75.0	85
11.-sódica(W)	10.0	1.06	40	38	89.1	105.0	93
12.-cálcica(S)	9.0	0.43	40	94	143.4	96.7	59

## T A B L A # 8

RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE SODIO POR EL METODO DE FLAMOMETRIA EN MEZCLAS DE ARENA AL 6% DE BENTONITA.

Bentonita	Lecturas	ppm de $\text{Na}_2\text{O}$	meq/100g. de $\text{Na}_2\text{O}$
1.- cálcica b	15	10	0.64
2.- sódica b	26	17	1.10
3.- sódica f	26	17	1.10
4.- cálcica f	22	14	0.90
5.- sódica q	20	13	0.84
6.- cálcica a	16	10	0.64
7.- sódica a	20	13	0.84
8.- cálcica t	15	10	0.64
9.- sódica t	19	12.5	0.85
10.- sódica tb	18	12	0.81
11.- sódica (W)	18	12	0.81
12.- cálcica (S)	18	12	0.81

Nota:

Estas determinaciones se hicieron en un volumen de 100 ml.

## T A B L A # 9

RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE POTASIO POR EL METODO DE  
FLANOMETRIA EN MEZCLAS DE ARENA CON 6% DE BENTONITA.

Bentonita	Lecturas	ppm de $K_2O$	meq/100g de M. $K_2O$
1.- cálcica b	4	2.5	0.11
2.- sódica b	3	2.0	0.09
3.- sódica f	4	2.5	0.11
4.- cálcica f	2	1.0	0.04
5.- sódica q	3	2.0	0.09
6.- cálcica a	3	2.0	0.09
7.- sódica a	5	3.0	0.13
8.- cálcica t	3	2.0	0.09
9.- sódica t	5	3.0	0.13
10.- sódica tb	5	3.0	0.13
11.- sódica (W)	2	1.0	0.04
12.- cálcica (S)	5	3.0	0.13

Nota:

La determinación de estas mezclas se trabajó a un volumen  
de 100ml.

## T A B L A # 10

RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE Ca + Mg EN MEZCLAS DE ARENA  
CON 6% DE BENTONITA POR EL METODO DE TITULACION CON EDTA.

Bentonita	Volumen en (ml.)	ppm de Ca + Mg	mcq/100g. de M. Ca + Mg
1.- cálcica b	2.4	57.6	4.8
2.- sódica b	2.2	52.8	4.4
3.- sódica f	2.1	50.4	4.2
4.- cálcica f	3.5	84.0	7.0
5.- sódica q	2.3	55.2	4.6
6.- cálcica a	3.4	81.6	6.8
7.- sódica a	2.4	57.6	4.8
8.- cálcica t	2.6	62.4	5.2
9.- sódica t	2.2	52.8	4.4
10.- sódica tb	2.1	50.4	4.2
11.- sódica (W)	2.3	55.2	4.6
12.- cálcica (S)	3.8	91.2	7.6



## T A B L A # 11

RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE CALCIO EN MEZCLAS DE ARENA  
CON O<sub>2</sub> DE BENTONITA POR EL METODO DE TITULACION CON EDTA.

Bentonita	Volumen en (ml.)	ppm de CaO	meq/100g. de M. CaO
1.- cálcica b	1.1	30.8	2.2
2.- sódica b	1.0	28.0	2.0
3.- sódica f	1.3	36.4	2.6
4.- cálcica f	2.5	70.0	5.0
5.- sódica q	1.1	30.8	2.2
6.- cálcica a	2.0	56.8	4.0
7.- sódica a	1.1	30.8	2.2
8.- cálcica t	1.3	36.4	2.6
9.- sódica t	1.0	28.0	2.0
10.- sódica tb	1.0	28.0	2.0
11.- sódica (W)	1.0	28.0	2.0
12.- cálcica (S)	2.6	72.8	5.2

T A B L A # 12

RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE MAGNESIO POR DIFERENCIA  
EN MEZCLAS DE ARENA CON 6% DE BENTONITA.

Bentonita	Volumen (ml.)	ppm de MgO	meq/100g. de M. MgO
1.- cálcica b	1.3	26.0	2.6
2.- sódica b	1.2	24.0	2.4
3.- sódica f	0.8	16.0	1.6
4.- cálcica f	1.0	20.0	2.0
5.- sódica q	1.2	24.0	2.4
6.- cálcica a	1.4	28.0	2.8
7.- sódica a	1.3	26.0	2.6
8.- cálcica t	1.2	26.0	2.6
9.- sódica t	1.2	24.0	2.4
10.- sódica tb	1.1	22.0	2.2
11.- sódica (W)	1.3	26.0	2.6
12.- cálcica (S)	1.2	24.0	2.4

## T A B L A # 13

RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE ARCILLA POR EL METODO DE AZUL DE METILENO EN MEZCLAS DE ARENA CON 6% DE BENTONITA

Bentonita	A.M. en (ml.)	A.A.M. en ppm	A.A.M. en meq/100g.
1.- cálcica b	26	97.2	5.2
2.- sódica b	28	104.7	5.6
3.- sódica f	27	100.9	5.4
4.- cálcica f	24	89.7	4.8
5.- sódica q	25	93.5	5.0
6.- cálcica a	18	67.3	3.6
7.- sódica a	21	78.5	4.2
8.- cálcica t	17	63.6	3.4
9.- sódica t	19	71.0	3.8
10.- sódica tb	21	78.5	4.2
11.- sódica (W)	27	100.9	4.8
12.- cálcica (S)	24	89.7	5.0

T A B L A # 14

RESULTADOS DE LA SUMA DE IONES INTERCAMBIABLES Y ARCILLA POR AZUL DE METILENO EN MEZCLAS DE ARENA CON 6% DE BENTONITA EN meq/100g. DE MUESTRA.

Bentonita	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Total	A.A.M.
1.-cálcica b	0.64	0.11	2.2	2.6	5.55	5.2
2.-sódica b	1.10	0.09	2.0	2.4	5.59	5.6
3.-sódica f	1.10	0.11	2.6	1.6	5.41	5.4
4.-cálcica f	0.90	0.04	5.0	2.0	7.94	4.8
5.-sódica q	0.84	0.09	2.2	2.4	5.53	5.0
6.-cálcica a	0.64	0.04	4.0	2.8	7.48	3.6
7.-sódica a	0.84	0.13	2.2	2.6	5.77	4.2
8.-cálcica t	0.64	0.09	2.6	2.6	5.93	3.4
9.-sódica t	0.81	0.13	2.0	2.4	5.34	3.8
10.-sódica tb	0.77	0.13	2.0	2.2	5.10	4.2
11.-sódica (W)	0.77	0.04	2.0	2.6	5.41	4.8
12.-cálcica(S)	0.77	0.13	5.2	2.4	8.50	5.0

T A B L A # 15

Bentonita	Resistencia a la compresión		Compactabilidad (%)	% de arcilla efectiva (%)	% de A.A.M. (%)	Máxima eficiencia (%)
	(PSI)	N/cm <sup>2</sup>				
1.-cálcica b	11.8	8.11	45	2.16	4.9	45
2.-sódica b	12.0	8.3	45	2.20	5.2	43
3.-sódica f	13.4	9.2	43	2.44	5.1	48
4.-cálcica f	11.3	7.8	44	2.06	5.3	39
5.-sódica q	14.7	10.1	45	2.82	4.7	60
6.-cálcica a	6.4	4.4	44	----	5.4	--
7.-sódica a	8.8	6.0	43	----	5.7	--
8.-cálcica t	5.6	3.9	44	----	5.3	--
9.-sódica t	10.0	6.9	48	1.82	4.0	46
10.-sódica tb	8.9	6.1	48	----	5.6	--
11.-sódica (W)	12.7	8.8	47	2.40	5.1	48
12.-cálcica(S)	12.0	8.3	40	2.10	5.0	42

T A B L A # 16

COMPARACION DE RESULTADOS A LA COMPRESION PARA MEZCLAS DE ARENA CON 6% DE BENTONITA A 5 Y 40 MINUTOS DE MEZCLADO.

Bentonita	5 minutos		40 minutos	
	PSI	N/cm <sup>2</sup>	PSI	N/cm <sup>2</sup>
1.- cálcica b	11.8	8.11	10.1	6.9
2.- sódica b	12.0	8.3	10.7	7.38
3.- sódica f	13.4	9.2	11.3	7.8
4.- cálcica f	11.3	7.8	13.5	9.3
5.- sódica q	14.7	10.1	16.4	11.3
6.- cálcica a	6.4	4.4	7.9	5.4
7.- sódica a	8.8	6.0	6.9	4.8
8.- cálcica t	5.6	3.9	6.5	4.5
9.- sódica t	10.0	6.9	13.4	9.0
10.- sódica tb	8.9	6.1	10.2	7.0
11.- sódica (W)	12.7	8.8	13.5	9.3
12.- cálcica (S)	12.0	8.3	16.0	11.0

**CAPITULO V**  
**DISCUSION DE RESULTADOS**

La discusión se centrará en los resultados obtenidos de intercambio iónico.

Se analizarán también los resultados de azul de metileno y propiedades físicas que indican la cantidad de arcilla en las mezclas.

Todas las mezclas utilizadas en este trabajo contienen un % de humedad y bentonita constante por lo que el único efecto visible es el de las diferentes arcillas utilizadas, ya que las arcillas son un material de comportamiento variable y son afectadas por los muchos factores, como el tipo de arcilla, el desarrollo en su formación y son diferentes dependiendo del lugar de localización.

El análisis por intercambio iónico se realizó como una medida de la caracterización de estas arcillas y los resultados obtenidos nos muestran datos muy importantes como se observa en la Tabla (7) de las bentonitas solas y la Tabla (14) de las mezclas ensayadas. Según la Tabla (7) para las bentonitas sódicas se ve que los resultados obtenidos son diferentes para cada una de ellas ya que se tienen valores desde 56 meq/100 g. hasta 185 meq/100 g. y para las bentonitas cálcicas los resultados obtenidos también fueron muy diferentes ya que varían -- desde 77.5 meq/100g. hasta 123 meq/100 g. Con estos datos se puede conocer un poco más la naturaleza de nuestras bentonitas. Sanders (1) reporta datos de que las bentonitas tienen de 60 a 100 meq/100 g. y atribuye al tener más de 100 meq/100 g. a la finura de la partícula.

Grim (2) argumenta que este tipo de arcillas pertenece al grupo de las esmectitas y su capacidad de intercambio es de 80 a 150 meq/100g. y también atribuye esta variación al tamaño de partícula, cristalinidad y tiempo de tratamiento. En la misma Tabla # 7 se encuentran datos de la finura de las bentonitas reportados como arcilla A.F.S. que como se puede contem-



plar no aparentan ninguna relación de la finura con el total de equivalentes.

I.- El primer aspecto a tratar será el hecho de que en las Tablas 7 y 14 resalta que los equivalentes de intercambio de CaO y MgO son notablemente superiores a los de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ . Esto se observa ya desde las Tablas 3 y 10 por lo que se induce a pensar que estos materiales podrían comportarse en todos los casos como bentonitas cálcicas, sin embargo al analizar los datos proporcionados por el análisis químico (Apéndice 4), se observa que solo las bentonitas 7, 9 y 10 tienen mayor proporción de CaO y que bien pudieran llamarse por esto, cálcicas y que la bentonita 8 que es cálcica es reportada con contenidos de sodio ligeramente mayores (4.9%  $\text{Na}_2\text{O}$  y 4.74% CaO).

Por otra parte, el contenido de CaO y MgO del análisis químico sumado es también definitivamente superior en todos los casos.

En la literatura revisada no se encontraron datos similares de MgO en las bentonitas, o de estudios que relacionen la presencia de MgO con algún comportamiento, por lo que el análisis químico subsecuente del comportamiento de estas bentonitas proporcionará elementos para inferir la influencia de la presencia de MgO que desde ahora se resalta.

II.- Con el auxilio de los análisis por difracción de Rayos X (Apéndices 2 y 3), se puede ahondar un poco más en la naturaleza de las bentonitas estudiadas, todas se identifican como montmorillonitas. También todas son sódicas o probablemente sódicas a excepción de la bentonita # 1 que es clasificada como probablemente cálcica con otros materiales no identificados. Las bentonitas 4, 6 y 8 son clasificadas como probablemente sódicas y las bentonitas 2, 3, 5, 7, 9 y 10 son clasificadas como sódicas.

Comparando los datos de difracción de las bentonitas 7,8,9 y 10 con sus análisis químicos, se observa que son diferentes a lo esperado de acuerdo a su clasificación, así tenemos que la bentonita # 7, sódica, tiene un análisis de CaO (3.93%) contra 3.4% de Na<sub>2</sub>O y es clasificada como montmorillonita sódica en Rayos X, por lo que se podría esperar comportamiento de sódica en general.

La # 8, cálcica, con ligera preponderancia de Na<sub>2</sub>O ya mencionado, es clasificada como montmorillonita probablemente sódica - con carbonato de calcio, por lo que podría esperarse un comportamiento como cálcica.

La # 9, sódica, con notoria preponderancia de iones CaO (10.11%) y 3.2% de Na<sub>2</sub>O, es clasificada como montmorillonita sódica con carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) por lo que su comportamiento puede ser el de cálcica.

La # 10, sódica, con una cantidad ligeramente mayor de CaO -- (3.48%) y 3.2% de Na<sub>2</sub>O, es clasificada también como montmorillonita y se esperaría un comportamiento como tal.

Los resultados de difracción de Rayos X como era de esperarse, permiten valorar los resultados de análisis químico, ya que solo el caso del predominio de CaO de más de 6% (bentonita # 9) -- fue significativo para poder esperar un cambio de comportamiento de bentonita, o para decirlo en otra forma, para clasificarla correctamente.

III.- Analizando la Tabla 7, comparando resultados de intercambio iónico con los de arcilla por azul de metileno se ve -- que no son iguales, solo aproximadamente, en las bentonitas sódicas la arcilla por azul de metileno es mayor, exceptuando la # 9 y en las cálcicas es menor, exceptuando la # 1. Esto concuerda con la observación de C.V. Brindley (6) de que el méto-

do de azul de metileno no es estequiométrico y los iones divalentes son más difícilmente reemplazados por la molécula orgánica. Esto significa que en las bentonitas cálcicas se observaría un descenso en miliequivalente por el método de azul de metileno comparado con los obtenidos con la suma de intercambio. Solo dos (la # 1 y la # 9) de las doce bentonitas, tienen un comportamiento diferente al que debería de esperarse. Esto podría explicarse para el caso de la bentonita cálcica # 1 por impurezas o materiales no identificados en su composición química según nos lo muestra el análisis por difracción de Rayos X -- (Apéndice 3), aunque su análisis químico y sus resultados de capacidad de intercambio muestran un predominio de iones divalentes. Para la bentonita sódica # 9 que contiene carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) como lo muestra el Apéndice 4 de los mismos análisis de Rayos X y el Apéndice 2 nos muestra que contiene más calcio que sodio en su composición química como ya se había hecho notar.

Resalta nuevamente el que en todas las bentonitas estudiadas en sus resultados de capacidad de intercambio muestran un predominio de iones divalentes y que la observación de G.W. Brindley fue hecha con reservas.

IV.- De los datos experimentales de la Tabla 14 en la determinación de iones en las mezclas de arcillas con arena, se observan diferencias apreciables de los valores de intercambio, con los de arcilla por azul de metileno.

En las bentonitas cálcicas 4,6,8 y 12 y para las sódicas 7,9, 10 y 11, sus valores de arcilla por azul de metileno son considerablemente menores. Este resultado, con reservas, se explicaría con la observación de G.W. Brindley ya mencionada para las bentonitas cálcicas; para las sódicas es de hacerse notar que en su composición contienen más calcio que sodio y se podría

concluir que se comportan como cálcicas. Se nota también que todas las demás bentonitas que son sódicas a excepción de la # 1, muestran un descenso ligero en su valor de arcilla por azul de metileno con relación al de intercambio. Esto podría interpretarse como un descenso de iones intercambiables no relevante ya que en algunos casos es muy ligero, o también podría interpretarse como ya se hizo notar para las bentonitas solas, como un resultado de la predominancia de iones divalentes CaO y MgO en su composición, (Apéndice 2) y por tanto explicables con el criterio de G.W. Brindley ya expuesto.

Otra observación resalta al considerar lo que se esperaría de resultados de intercambio en las mezclas con 6% de bentonita y es que todas mostrarán aproximadamente 6 meq/100 g., sin embargo las cálcicas # 4, 6 y 12 presentan resultados considerablemente mayores, esta observación ya había sido mencionada por C.A. Sanders (4) quien dió una explicación, sugiriendo la formación de ácido metasilícico en el mezclado y la formación de metasilicato de sodio, dejando libres los sitios que ocupaban los iones sodio con el calcio de los minerales que acompañan a las arenas. Esto da por resultado que en las bentonitas de sodio se disminuyan los equivalentes en las mezclas y en las bentonitas de calcio, que tienen iones sodio, se incrementen los equivalentes. De acuerdo con el trabajo realizado por Olga Moncayo Velázquez (3) lo anterior es una hipótesis no comprobada aún que abre muchas interrogantes en el comportamiento químico de las mezclas de arena y que si bien no satisface, no hay por el momento otra explicación.

V.- Los resultados para la resistencia a la compresión obtenidos en estas mezclas de arena y arcilla son muy bajos con respecto a los reportados en la gráfica básica que son de -- 36 PSI, ( $24.7 \text{ N/cm}^2$ ) para esta misma composición, con 2% de humedad y 6% de bentonita. Los resultados para la resistencia a la compresión de estas mezclas en la Tabla 15 son de

5.6 PSI la más baja y 14.7 PSI la más alta. La explicación que dan los autores de la gráfica básica a las diferencias en los resultados son en el sentido de que son afectados por la eficiencia en el mezclado; ésto es, si se tuviera una eficiencia de mezclado del 100% deberíamos de obtener los mismos valores que ellos reportan; sino, será necesario medir la eficiencia con base al valor de la arcilla efectiva y de la arcilla total. El valor de la arcilla total es el que se obtiene por el método de azul de metileno. Estos valores de eficiencia se reportan en la Tabla 15. Los resultados obtenidos en estas arcillas establecen que la eficiencia en el mezclado del laboratorio es variable para cada mezcla con arcilla y ésto se puede atribuir al sinnúmero de factores que afectan al comportamiento de las arcillas. Hay arcillas en las cuales no se pudo obtener el valor de eficiencia de mezclado por dar valores muy bajos. Por otro lado, la eficiencia en el mezclado se relaciona con el tiempo de tratamiento en el molino, Froufe L. Siguin D. y otros (8), comparan la diferencia fundamental entre los resultados de resistencia obtenidos durante 5 minutos de mezclado comparados con los que obtienen a 45 ó 100 ó 120 minutos. Los datos de este trabajo se realizaron con 5 minutos de mezclado; en un trabajo previo, (9), se determinaron las resistencias de mezclas similares a éstas a 40 minutos de mezclado, los datos como se ve en la Tabla 16, no difieren apreciablemente, por lo que se tomó la determinación de hacerlos con los 5 minutos que se usan normalmente en planta. El dato de resistencia más alto es para la mezcla con la arcilla # 5, sódica, y el más bajo para la mezcla con la arcilla # 8, cálcica, la arcilla # 5, podría considerarse por este alto valor, la más aceptable; además de su análisis químico, su análisis por Rayos X, su capacidad de intercambio y su comportamiento en general fueron coherentes con su clasificación, lo que no sucedió en muchas otras.

Respecto a los valores de compactabilidad encontrados, puede decirse que en general corresponden al 45% que adquieren su punto temper que es el estado en que se están probando.

## CAPITULO VI CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

- 1.- Todas las bentonitas estudiadas tanto nacionales como extranjeras, muestran un predominio de iones ( $\text{CaO}$  y  $\text{MgO}$ ) en su intercambio catiónico, aunque algunas estén clasificadas como sódicas. La presencia del  $\text{MgO}$  en ellas, no tuvo ningún efecto apreciable. Todas a excepción de la # 1 -- fueron reportadas en difracción de Rayos X como montmorillonitas sódicas o probablemente sódicas.
- 2.- La bentonita # 9 clasificada como sódica, debería ser re-clasificada como cálsica por su comportamiento en el intercambio; ésto se corroboró por su análisis de Rayos X y su análisis químico.

Las demás bentonitas clasificadas como sódicas exhiben en general los comportamientos esperados para ellas y en su análisis químico tienen preponderancia de  $\text{Na}_2\text{O}$ . El contenido en ellas de un 0.2% a 0.4% de  $\text{CaO}$  mayor que  $\text{Na}_2\text{O}$  no influye en forma definitiva en su comportamiento.

- 3.- Los resultados de difracción de Rayos X y el análisis químico de las muestras aportaron datos que fueron fundamentales para la interpretación del comportamiento de intercambio.
- 4.- Los resultados de intercambio catiónico y arcilla por azul de metileno son aproximadamente iguales. Las diferencias entre ellas se pudieron explicar con base al comportamiento y argumentos reportados. Por lo que se confirma la bondad del método de azul de metileno.

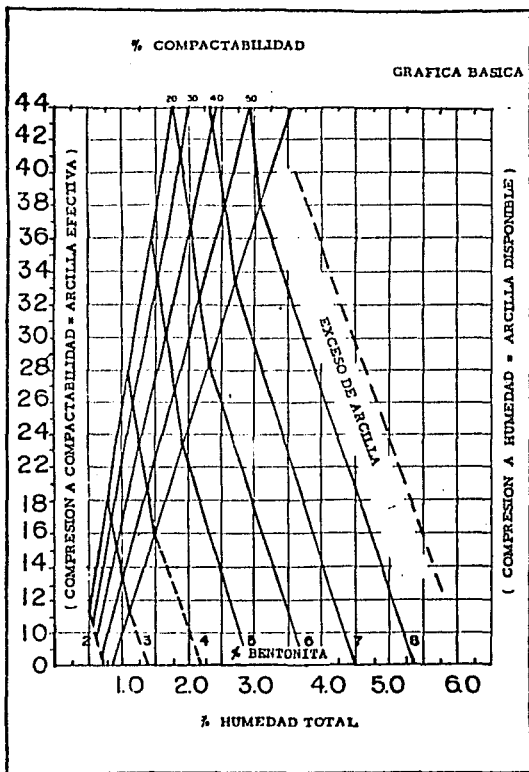
ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA



- 5.- La bentonita sódica # 5, al exhibir la resistencia más alta y una coherencia de su naturaleza de intercambio, análisis y comportamiento, podrá ser clasificada como una de las mejores.
  
- 6.- Por lo anteriormente expuesto, se aprecia la utilidad de usar solamente el método de azul de metileno y las pruebas mecánicas como ensayos de rutina en la Planta de Fundición, debido a que éstos por si solos aportan la información allí requerida, esto es, cantidad y efectividad de arcilla en uso, sin embargo los métodos de intercambio catiónico son valiosos por la información detallada que proporciona y unidos a los métodos de difracción de Rayos X y análisis químico aportan una caracterización definitivamente más amplia de las bentonitas, que permite preveer y planear el uso que puedan tener éstas en fundición.

**COMPILING WILL****APPENDIX**

## ( A P E N D I C E I )



## APENDICE (I)

## Explicación del uso de la Gráfica.

Conociendo los valores de resistencia a la compresión y de humedad de la Gráfica y extendiendo horizontalmente el punto de la resistencia a la compresión hasta interceptar con la línea vertical de la humedad; después se procede a -- leer en las líneas inclinadas que nos indican el porcentaje de arcilla disponible. Conociendo los datos de compactabilidad y de resistencia a la compresión. Esta última se -- lee como se indica arriba y donde se intercepta con la línea de compactabilidad, se lee el porcentaje de arcilla -- efectiva, en la línea inclinada de la Gráfica.

## APENDICE (2)

## RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS REALIZADOS A LAS BENTONITAS.

Bentonita	% Na <sub>2</sub> O	% K <sub>2</sub> O	% CaO	% MgO
1.- cálcica b	3.5	3.12	4.03	6.4
2.- sodica b	3.6	2.04	3.07	7.6
3.- sódica f	3.5	0.96	3.47	4.2
4.- cálcica f	3.6	1.18	5.56	4.5
5.- sódica q	3.6	0.96	2.90	4.9
6.- cálcica a	3.1	2.89	5.22	4.2
7.- sódica a	3.4	1.88	3.93	3.6
8.- cálcica t	4.9	3.25	4.74	6.4
9.- sódica t	3.2	1.67	10.11	5.6
10.- sódica tb	3.2	1.47	3.48	4.6
11.- sódica (W)	3.2	1.06	3.54	5.3
12.- cálcica (S)	3.2	1.42	6.55	5.4

## Nota:

Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Metalurgia por el método de adsorción atómica por el I.Q.M. Moisés G.F.

## APENDICE (3)

RESULTADOS DE LOS ANALISIS EFECTUADOS A LAS BENTONITAS POR  
DIFRACCION DE RAYOS X.

## Bentonita.

- 1.- cálcica b..           montmorillonita probablemente cálcica  
                           $\alpha$  - cuarzo  
                          probablemente cristobalita  
                          señales de difracción de 8.378 A, 2.942 A,  
                          1.975 A no identificadas.
- 2.- sódica b .           montmorillonita sódica  
                          cristobalita  
                          probablemente feldespato  
                          señales de difracción de 7.493 A, 3.299 A,  
                          2.976 A no identificadas.
- 3.- sódica f.           montmorillonita sódica  
                          cristobalita  
                           $\alpha$  - cuarzo  
                          probablemente feldespato.
- 4.- cálcica f.           montmorillonita probablemente sódica  
                          carbonato de calcio  
                          cristobalita.  
                          probablemente - cuarzo  
                          señales de difracción de 7.461 A, 3.727 A,  
                          no identificadas.
- 5.- sódica q.           montmorillonita sódica  
                          cristobalita  
                          feldespato.

## APENDICE (4)

RESULTADOS DE LOS ANALISIS EFECTUADOS A LAS BENTONITAS POR  
DIFRACCION DE RAYOS X.

## Bentonita.

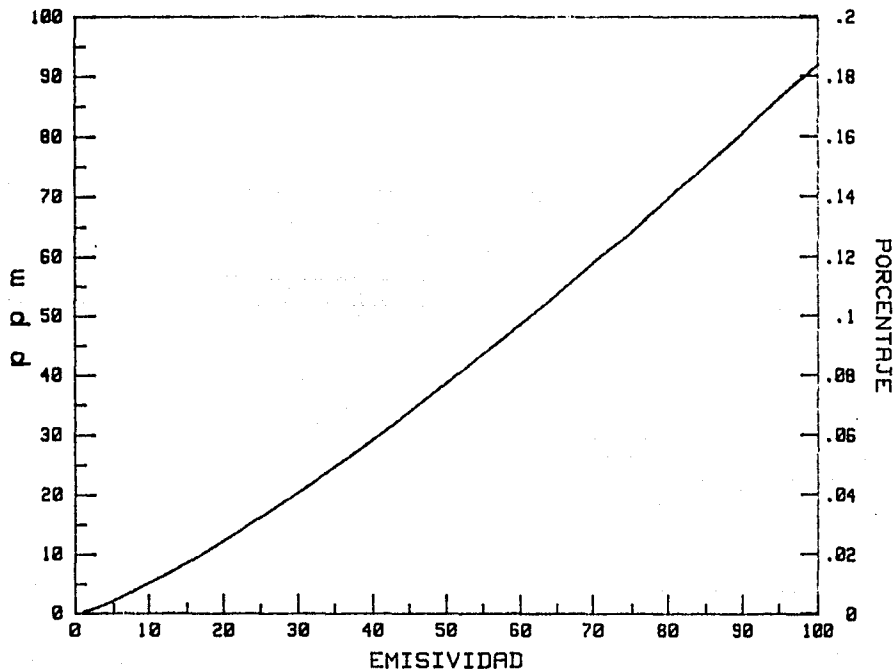
- 6.- cálcica a .           montmorillonita probablemente sódica  
                                   $\alpha$  - cuarzo  
                                  probablemente cristobalita  
                                  probablemente feldespato  
                                  señales de difracción de 2.909 A, 2.645 A,  
                                  1.668 A, 1.417 A no identificadas.
- 7.- sódica a .           montmorillonita sódica  
                                  cristobalita  
                                   $\alpha$  - cuarzo  
                                  probablemente feldespato.
- 8.- cálcica t.           montmorillonita probablemente sódica  
                                   $\alpha$  - cuarzo  
                                  probablemente cristobalita  
                                  carbonato de calcio  
                                  feldespato  
                                  señal de difracción de 8.837 A no identifica-  
                                  cada.
- 9.- sódica t           montmo. llonita sódica  
                                   $\alpha$  - cuarzo  
                                  carbonato de calcio  
                                  probablemente feldespato  
                                  señales de difracción de 7.525 A, 2.873 A,  
                                  2.049 A, 1.433 A no identificadas.
- 10.- sódica tb           montmorillonita sódica  
                                   $\alpha$  - cuarzo  
                                  cristobalita  
                                  probablemente feldespato  
                                  señales de difracción de 8.837 A, 7.755 A,  
                                  no identificadas.

## Nota:

Estos análisis se hicieron en el Laboratorio de Posgrado  
por la M. en C. Ma. Castellanos.

# APENDICE (5)

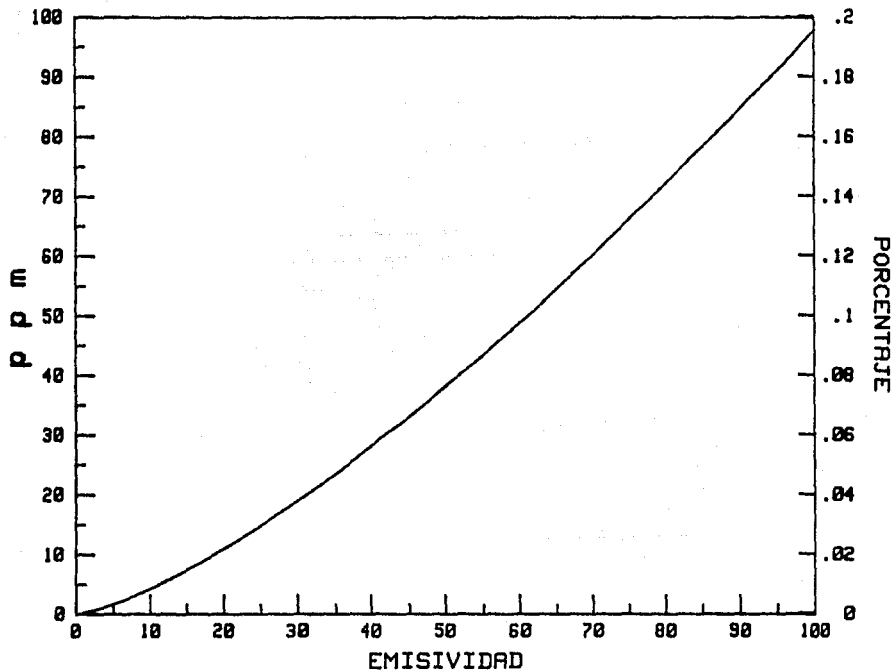
## CURVA DE CALIBRACION PARA LA DETERMINACION DE SODIO





APENDICE (6)

CURVA DE CALIBRACION PARA LA DETERMINACION DE POTASIO



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- C.A. Sanders y R.L. Dolman: "Bonding Clay Technology Current Concepts"  
A.F.S. Transactions, 78: 57-72 (1970).
- 2.- R.E. Grim: Clay Mineralogy,  
Mc Graw-Hill, Book Co, N.Y., 185-233 (1953).
- 3.- "Moncayo Velázquez Olga Rufina: "Comparación del Método azul de metileno y los de capacidad de intercambio iónico en mezclas de arena de moldeo".  
Tesis, Facultad de Química-U.N.A.M. - México 1986.
- 4.- C.A. Sanders y R.L. Dolman : "Durability of Bonding Clays-Part V Durability Characteristics of Twenty-Mine Commercial Clays",  
A.F.S. Transactions., 76: 334-348 (1968).
- 5.- G.W. Brindley y T.D. Thompson: "Methylene Blue Absorption by montmorillonites determinations of Surface Areas and Exchange Capacities with Different Initial Cation Saturations"  
Israel Journal of Chemistry 8: 409-415 (1976).
- 6.- Pham Thi Hang y G.W. Brindley: "Methylene Blue Absorption by Clay Minerals. Determination of Surface Areas and Cation Exchange Capacities",  
Clay y Clay Minerals., 18: 203-212 (1970).
- 7.- American Foundrymen's Society: "Mold and Core Test Handbook"  
First Edition - Des Plaine, Illinois (1980).
- 8.- Siguin D., Froufe, L. y Llorente, I. : "Desarrollo de altas resistencias a la compresión en verde y su reproductibilidad"  
Colada, 5 (1972), 10 467-475
- 9.- Silvano Perea Mederos: "Caracterización de Bentonitas Nacionales por sus propiedades mecánicas"  
Tesis, Facultad de Química - U.N.A.M. - México 1987.