



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

LI
290

Facultad de Química

"PRUEBA DE ESTRELLAMIENTO (SHATTER) COMO
MEDIDA DE PLASTICIDAD DE LAS ARENAS
EN VERDE".

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P r e s e n t a :

JORGE ROGELIO MEDINA CABRERA

1 9 9 3



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	Pág.
CAPITULO I Introducción	1
CAPITULO II Antecedentes	2
II-1 La arcilla en la mezcla de moldeo	2
II-2 Plasticidad, Deformación y Tenacidad	4
II-3 Indice Shatter y Resistencia en Verde	8
II-4 Indice Shatter como Indice de Plasticidad	17
II-5 Indice Shatter y las medidas de fluidez y dureza de moldes.	17
II-6 La Plasticidad en suelos	20
II-7 Relación del Límite Líquido con pruebas - de Hinchabilidad y Sedimentación	26
II-8 Ensayo Shatter (Método Europeo)	28
CAPITULO III Experimentación	33
III-1 Selección de Bentonitas y preparación de mezclas	33
III-2 Determinación del Indice Shatter	36
III-3 Determinación de la Resistencia a la Com- presión	38
III-4 Compactabilidad en verde	40
III-5 Volumen de Sedimentación	42

	III-6 Índice de Hinchamiento	Pag.
		44
CAPITULO IV	Resultados y Discusión	46
CAPITULO V	Conclusiones	50
BIBLIOGRAFIA		72

I. INTRODUCCION.

El control de la mezcla de arena de moldeo para mejorar los productos y/o reducir costos, ha sido una preocupación constante de los fundidores.

En diversas ocasiones se ha recurrido a literatura de otras disciplinas - como la química, mecánica, etc. para interpretar comportamientos y poder avanzar en el conocimiento de los materiales de moldeo.

Recientemente (1) se ha observado que las mediciones de plásticidad en -- los laboratorios de mecánica de suelos pueden ser útiles y significativos en las bentonitas para fundición. Ahondando más sobre el comportamiento-plástico de las mismas, en este trabajo se pretende explorar las relaciones que existen entre las medidas de plasticidad que se ensayan en los laboratorios de arena para moldeo y las medidas de plásticidad de la arci--lla sola.

La medida fundamental relacionada con la plasticidad es la prueba de es--trellamiento o Shatter, que es un índice de la tenacidad, de la deforma--ción.

Esta es una prueba poco usual en las fundiciones americanas y mexicanas - y quizá también una prueba de difícil interpretación.

Este trabajo se concreta a explorar las relaciones posibles entre el Lími--te Líquido, Límite Plástico e Índice Plástico con el Índice de Estrella--miento Shatter.

Los resultados a los que se llegaron parecen indicar que hay una relación entre ellos y hacen preveer que está línea de investigación desarrollada--con más amplitud puede ser útil en el laboratorio de arenas de moldeo, en un futuro próximo.

II. ANTECEDENTES.

II-1 LA ARCILLA EN LA MEZCLA DE MOLDEO.

La bentonita es la arcilla que más se ha usado y se usa en las mezclas de arena para moldear.

Una descripción de la misma se encuentra en el apéndice 1.

Se puede decir siguiendo a Parkes (2), que la principal función de una bentonita es mantener unidos los granos de arena, desde que se apisona para hacer el molde, pasando por el sostenimiento del metal líquido cuando la pieza solidifica y hasta la facilidad de romperse durante el desmoldeo para sacar la pieza, permitiendo que la mezcla de arena pueda volverse a usar con un mínimo de adiciones.

La capacidad de la bentonita de provocar la adhesión de las partículas de arena no ha sido posible medirla hasta el momento. Cuando la mezcla de arena de moldeo con bentonita es apisonada se rompe, la fractura siempre ocurre entre la unión de los granos de bentonita no en la unión entre la arcilla y los granos de arena. Esto es, las fuerzas que unen la arcilla al grano de arena son superiores a las fuerzas que unen partícula de arcilla a otra partícula de arcilla, Piper (3), hace tiempo usó arcilla para unir dos capas de vidrio y midió la fuerza para separarlas, observó que invariablemente la fractura ocurría en la capa de arcilla y no en la interfaz arcilla-vidrio y el mismo resultado obtuvo cuando reemplazó el vidrio por metal.

De ahí se dedujo que cuando una mezcla de moldeo hecha con bentonita se rompe la fractura debe ser invariablemente entre capas de bentonita. Esto es lo que se observa en la práctica y significa que el factor relevan-

te en la resistencia del molde es la resistencia de la bentonita y por otro lado que el estado de la superficie de los granos de arena tienen que contribuir a esa unión.

Lo anterior es lo que nos hace pensar que las propiedades de la bentonita sola, deberan reflejarse en la mezcla de arena de moldeo.

Esto es, el Límite Plástico y el Límite Líquido que son medidas de plasticidad de la bentonita sola deben tener una relación en las medidas de plasticidad en las mezclas de arena de moldeo y esto es el punto principal de éste trabajo.

II-2 PLASTICIDAD, DEFORMACION Y TENACIDAD.

Cuando un sólido se somete a una carga externa puede ser deformado.

Un material se dice que está deformado plásticamente cuando esta deformación es permanente (4).

La forma clásica de medir un comportamiento de deformación es mediante una curva Tensión-Deformación obtenida tanto en un ensayo de tensión como de compresión. Esta se ilustra en la fig. 1 para materiales metálicos:

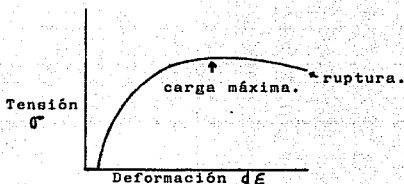


Fig. 1 Tensión-Deformación esquemática para un material metálico. (De Dieter (4)).

La tenacidad de un material es la habilidad para absorber energía en el rango plástico.

Es un concepto del que se dice es difícil de definir y captar. Una forma de considerarlo es como el área total de una curva que se puede expresar en la forma más simple como:

$$\text{Tenacidad} = \text{Tensión} \times \text{Deformación}$$

Las relaciones Tensión, Deformación en sólidos granulares unidos entre sí por una substancia ligante (arcilla) cuyo comportamiento depende del agua, son más complicadas y se acude siempre a las similitudes con los sólidos continuos, homogéneos -- isotrópicos para entenderlos.

De acuerdo a Terzaghi (5) se sabe que las curvas de tensión -- contra deformación de arcillas en su estado natural (inalteradas y sin confinar), siguen un comportamiento Tensión- Deformación con una curva similar a la esquemática, como se ilustra -- en la fig. 2:

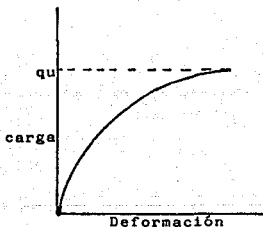


Fig. 2 Representación esquemática de la relación Tensión-Deformación en una arcilla siguiendo a Terzaghi (5).

Cuando se alcanza el valor de la resistencia a la compresión -- "qu" la probeta se rompe.

Un aspecto interesante de la experiencia con suelos es que al amasar o mezclar la arcilla con agua los valores de "qu" decre

cen con respecto al estado natural pero si la arcilla mezclada se deja en reposo y después se somete a la carga, su resistencia aumenta, sin llegar a los valores de las naturales inalteradas.

Se considera que esto se debe a la destrucción del ordenamiento estructural natural, que no se recupera.

En arenas de moldeo, arena sílica mezclada con bentonita, se han hecho mediciones de curvas Tensión-Deformación, para diferentes mezclas, que siguen el esquema que se ilustra en la -- fig. 3.

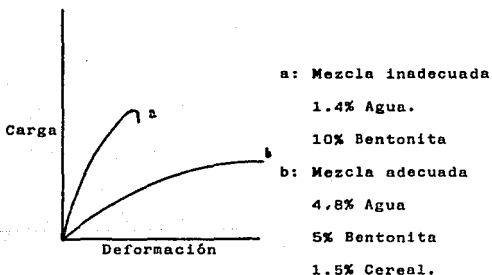


Fig. 3 Representación esquemática de una curva Tensión-Deformación en dos mezclas de moldeo en verde, aglutinadas con bentonita y con diferentes contenidos de -- agua. (6).

Este tipo de mediciones son relativamente difíciles, siendo --

más fácil medir los tipos de mezcla a) con el dispositivo comercial (máquina universal) que los tipos b).

Las mezclas b) son fáciles o más tenaces de deformarse como puede apreciarse en el área bajo la curva. La medición de tenacidad ha sido contemplada también con ensayos como el de impacto- "izod" usado en metales, sin embargo las cargas bajas que se deberían usar por la arena un material débil en donde las pérdidas de fricción fueran suficientemente bajas para ser ignoradas así como el hecho de que la energía absorbida para mover la mitad de la probeta rota fuera mayor que la requerida para cortar la pieza, hicieron desistir de este intento (6).

Cuando Graham (7) publicó por primera vez su descripción del aparato de índice "Shatter" (de estrellamiento) ofreció una solución interesante para medir tenacidad ya que la muestra a ensayar se rompía por impacto sin pérdidas de fricción, y la fuerza de ruptura se daba por la inercia de la caída de la pieza en el ensayo europeo original.

Por lo anterior se puede justificar el usar el Índice Shatter como medida de tenacidad y de allí poder deducir una "medida" de deformación en las arenas de moldeo, de la siguiente forma:

Índice Shatter (Tenacidad)=Resistencia a la Compresión x Deformación. De donde:

$$\text{Deformación} = \frac{\text{Índice Shatter}}{\text{Resistencia a la Compresión}}$$

II-3 INDICE SHATTER Y RESISTENCIA EN VERDE.

El índice Shatter fué originalmente usado por Graham (7) que lo describio como un índice de fluidez. Este es un término el cual tiene muchas definiciones, pero Graham buscaba un ensayo que determinara si una fluidez constante da como resultado una distribución de dureza constante en el molde, a condición de que la línea de aire y el número de sacudidas en una máquina fuera constante. Si la propiedad a controlar es definida como fluidez, entonces el índice Shatter si es un índice de fluidez aunque la relación es inversa, el índice Shatter es un índice de tenacidad y entre más alta la tenacidad más difícil es apisonar en una máquina de sacudidas y mayores las diferencias en dureza en la superficie del molde. Es dudoso el porque el ensayo ha sido tan ampliamente acceptado si solo fuera este su valor, su uso más grande esta en -- que en combinación con la resistencia en verde, es un índice de las propiedades de las mezclas de moldeo, la resistencia en verde de una arena es simplemente la carga que puede re--sistir una probeta sin fracturarse y esto es lo que la prueba por si misma revela, pero es de utilidad ya que nos indica si la parte superior del molde se rompera bajo una pre--sión ascendente cuando esté llenandose o se desplome bajo su propio peso cuando el soporte del molde es retirado.

El índice Shatter es bajo cuando la humedad es suficiente para dar un máximo de resistencia en verde, pero continua in--

crementandose al aumentar el contenido de humedad y disminuye la resistencia en verde.

Esta combinación de aumento de tenacidad y disminución de resistencia solo puede significar que hay un incremento rápido en la deformación.

Eventualmente al continuar incrementando la humedad, el índice Shatter empieza a caer, al mismo tiempo la resistencia en verde cae y la deformación cambia. Ver figuras 4 y 5.

Los aglutinantes aumentan el índice Shatter, pero tienen un pequeño efecto en la resistencia en verde, su efecto sobre el índice Shatter es mucho más pronunciado que aquel de la arcilla, y la adición del 1% de estos lo elevaría en la mayoría de las arenas para fundición a 100. En consecuencia un control estricto de la adición es necesario o será difícil obtener moldes de dureza adecuada y uniforme cuando se apisona manualmente o se utilizan máquinas de moldeo o máquinas moldeadoras en serie por vibración. Los moldes apisonados por moldeadoras de alta presión son más densos y más duros en presencia de aglutinantes orgánicos por lo tanto arenas con un índice Shatter de 100 son usadas con frecuencia.

Conforme la dureza del molde se incrementa, la resistencia en verde también se incrementa, el índice Shatter aumenta y después se mantiene constante. Incrementando la resistencia en verde y manteniendo el índice Shatter constante, debe haber una caída en la deformación y por lo tanto la arena viene a ser más quebradiza y más difícil de desmoldear con un incremento de dureza del molde. Además cuando un modelo

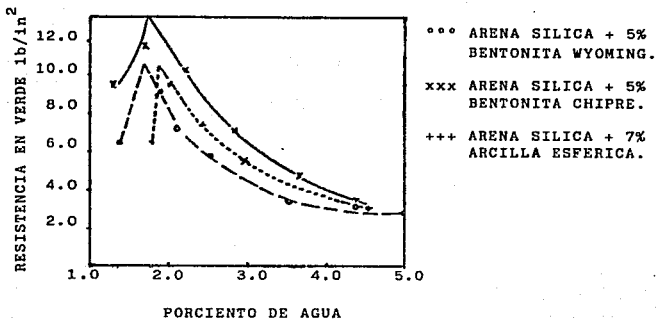


Fig. 4. Resistencia en verde de arenas sinteticas.

Tomado de Parkes (2).

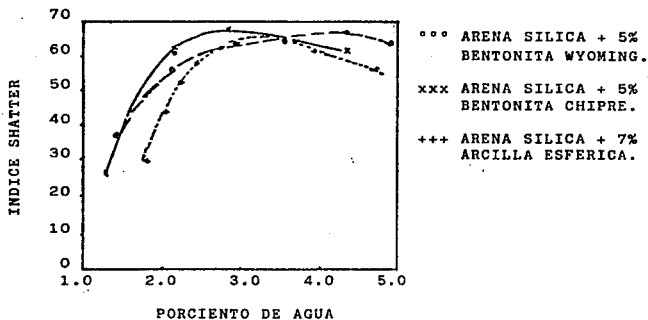


Fig. 5. Indice Shatter de arenas sinteticas.

Tomado de Parkes (2).

es golpeado o un molde sacudido para obtener un pequeño espacio entre el molde y el modelo y así ayudar al desmoldeo, el volúmen de arena entre el modelo y la caja debe ser reducido, se vuelve difícil obtener esta reducción cuando la densidad del molde se incrementa.

En ambos casos, el desmoldeo es más difícil conforme la dureza aumenta. Raramente hay dificultades al remover el modelo a partir del molde cuando es hecho por máquinas moldeadoras que no producen moldes muy duros, el desmoldeo de moldes hechos en máquinas prensadoras de alta presión es posible solo cuando la composición de la arena es ajustada convenientemente.

EJEMPLO DE CONTROL MEDIANTE EL INDICE SHATTER Y RESISTENCIA EN VERDE.

La falla del ensayo Shatter o Resistencia en verde consideradas en forma aislada para controlar una mezcla de arena para fundición fué patente en el caso de dos fundiciones reportadas por Parkes (8).

Las piezas coladas fueron de un diseño simple y no requerían corazones, la relación metal/arena era alta y una arena completamente sintética se usó en ambos casos. Una fundición adicional no suficiente arcilla para mantener su resistencia en verde constante y la otra lo necesario para mantener el Índice Shatter constante. Después de un tiempo ambas fundiciones tenían serios problemas porque los moldes se rompían durante la vibración y secciones pequeñas se quedaban adheridas al modelo cuan

do el molde era removido.

La causa del cambio en las propiedades de la mezcla de moldeo fué la misma en las dos fundiciones.

Cada una producía piezas bastante gruesas que debían de permanecer en el molde por algún tiempo antes del desmoldeo. Una gran proporción de arena, es fuertemente calentada y por lo tanto gran parte de la arcilla presente pierde sus propiedades de aglutinamiento.

La única arena nueva que entra al sistema es la que se requiere para mantenerlo lleno.

En consecuencia había un incremento de arcilla "inactiva" la cual tiene un efecto importante sobre las propiedades de la arcilla nueva que se agrega para mantener la mezcla en condiciones adecuadas. Este efecto, se demostró de la siguiente forma:

Una arena sintética fué preparada mezclando arena sílica con 5% de bentonita, se midió la resistencia en verde e Índice Shatter a diferentes contenidos de humedad, la arena se calentó a 800°C por un tiempo y al volver a mezclarse con agua se veía que las propiedades de aglutinamiento de la arcilla habían desaparecido, se agregó entonces 5% de bentonita nueva y la arena se volvió a mezclar y a ensayar como antes, las curvas obtenidas, de resistencia en verde contra humedad e Índice Shatter contra humedad mostraron que habían ocurrido tres cambios:

- 1) Todas las curvas se habían desplazado en dirección del mayor contenido de humedad.

2) La Resistencia en Verde se había incrementado.

3) El Indice Shatter habia bajado.

La arena fué calentada nuevamente y mezclada con agua y las propiedades de resistencia y Shatter volvieron a ser bajas.

Se le añadió 5% de bentonita nueva y se ensayo nuevamente.

El proceso fue repetido una vez más de tal manera que la mezcla final contenía 15% de arcilla "inactiva" y 5% de arcilla activa. Las resistencias en verde e Indice Shatter obtenidos se muestran en la figura 6 y 7.

Las fundiciones que se mencionaron anteriormente mantenian un buen control sobre su arena.

El contenido de humedad, permeabilidad, el polvo de carbon, todo se mantenía constante.

Una de ellas mantenía constante el Indice Shatter y la otra la resistencia en verde como anteriormente se dijo.

(Las figs. 6 y 7 lo ilustran.)

Debido a que la arcilla "inactiva" eleva la resistencia, la fundición que mantenía la resistencia constante fué reduciendo la cantidad de arcilla activa presente, el Indice Shatter por lo tanto iba cayendo más rápido como se muestra en la fig. 6. Una resistencia constante y una caída en el Indice Shatter significa una disminución en la deformación y por eso los moldes se rompian cuando eran sacudidos.

En la segunda fundición, el Indice Shatter se mantenía constante pero cuando la arcilla "inactiva" que reducía al Indice Shatter aumentaba, la cantidad de arcilla nueva también aumentaba.

Esto resultaba en un mayor incremento en la resistencia en verde que ya había sido aumentada por la arcilla "inactiva".

Un incremento en la resistencia en verde con un Índice Shatter-constante causa también una caída en la deformación por lo tanto la segunda fundición estaba en la misma dificultad que la primera.

Es inadecuado usar los dos ensayos en forma aislada, pero si ambos son usados juntos el control es mantenido.

Los parámetros de resistencia y deformación son necesarios para el control y no hay una medida simple que sea adecuada para medirlos juntos.

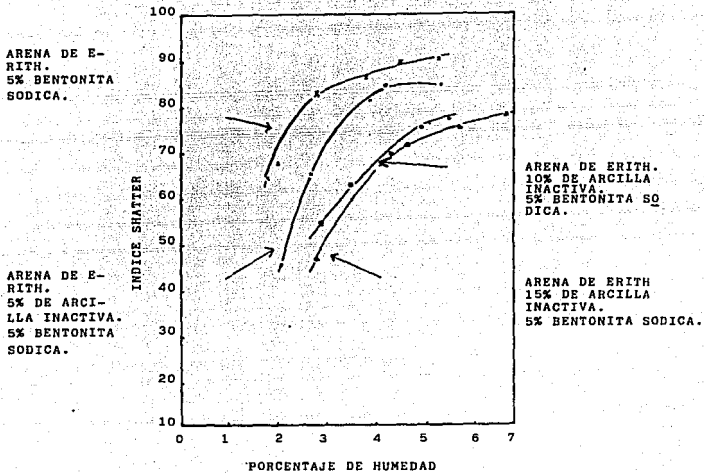


Fig. 6. Efecto de la arcilla inactiva en el Indice Shatter. (2)

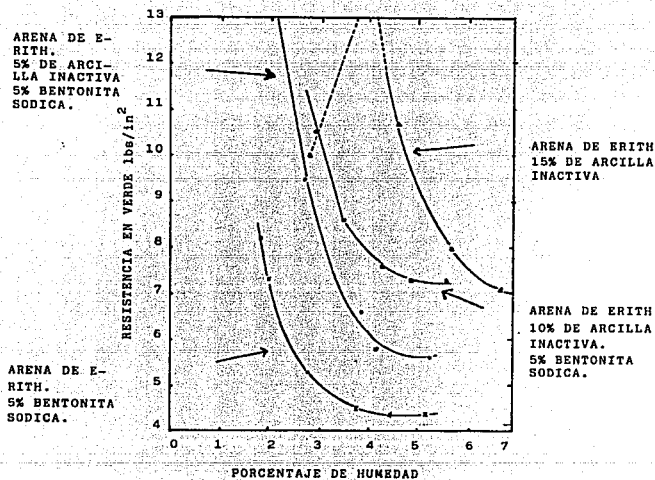


Fig. 7. Efecto de la arcilla inactiva en la Resistencia en Verde.

II-4 INDICE SHATTER COMO INDICE DE PLASTICIDAD.

La plasticidad de una arena aglutinada con arcilla esta influenciada predominantemente por su grado de compactación, el contenido de agua, el contenido de arcilla y la presencia de aditivos; esta puede ser expresada por el índice Shatter, ya que es una medida de tenacidad y afecta la deformación o plasticidad de una mezcla de arena para moldeo como se vio en el párrafo anterior.

II-5 INDICE SHATTER Y LAS MEDIDAS DE FLUIDEZ Y DUREZA DE MOLDES.

Graham (7) desarrollo un ensayo, el cual se hace con una probeta estandar y se usa para presentar la distribución de la dureza en un molde hecho en una máquina de sacudida-compactación. La dureza debe permanecer constante, si el número de sacudidas, la presión de la línea de aire y la de compresión permanecen constantes. El desarrolló el ensayo Shatter para este propósito y lo encontró satisfactorio. El Índice Shatter es un índice de tenacidad y esta incluido en los métodos estandar de ensayos para medir esta propiedad particular.

Los descubrimientos de Graham estan de acuerdo con el trabajo de otros investigadores como Davies y Kyle.

Se han llevado a cabo un número de ensayos en varios tipos de arenas incluyendo Shatter, densidad a granel y el de flujo sin compactación (fluidéz) siendo este la proporción existente de -

una arena sin compactar que pasa através de un tamiz.

Graham (7) encontró una relación definitiva entre todos estos ensayos excepto con el ensayo de fluidez Dietert y concluyó que la misma propiedad básica incluida la anterior, fue medida.

Luego preparo dos arenas por molienda, una arena negra para fundición con 4.6% de agua y otra con el 1.8%. La arena con el 4.6% tuvo un alto Indice Shatter pero un menor flujo sin compactar, así como una baja densidad antes de la compresión y por lo tanto una baja fluidez. La arena con el 1.8% la tuvo alta. Posteriormente realizo otra serie de experimentos sobre lo mismo.

Las conclusiones que se derivan de los resultados obtenidos--por numerosos investigadores dentro del tema de fluidez son los siguientes:

1) Cuando una arena es compactada por apisonamiento su movimiento permanece principalmente en la dirección de la fuerza aplicada, movimientos en ángulos rectos son pequeños y son --significativos solo cuando alguna forma contorneada es usada.

2) Como un resultado del flujo unidireccional de arena, los moldes no son uniformemente compactados y hay una amplia diferencia en las durezas en diferentes lugares de la superficie del molde.

- 3) Siempre que se usa algún modelo, las diferencias en las durezas se incrementan cuando la tenacidad de la arena también se incrementa.

Por consiguiente la medida de tenacidad la cual es más ampliamente usada en conjunción con las medidas de resistencia en verde como un índice de las propiedades de desmoldeo tiene un valor independiente de este.

El Ensayo Shatter es el ensayo más comunmente usado para determinar la tenacidad, sin embargo algunos autores presentan objeciones como son que el Índice Shatter no es realmente cuantitativo y que cuando se usa arena con un Índice Shatter excediendo el 85% las diferencias son tan pequeñas que el ensayo no es selectivo.

II-6 LA PLASTICIDAD EN SUELOS. (9)

En mecánica de suelos puede definirse la plasticidad como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar de formaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.

Atterberg hizo ver que, la plasticidad no era una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua.

Según su contenido de agua en orden decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia:

- 1.- ESTADO LIQUIDO, con las propiedades y apariencias de una suspensión.
- 2.- ESTADO SEMILIQUIDO, con las propiedades de un fluido viscoso.
- 3.- ESTADO PLASTICO, en que el suelo se comporta plásticamente.
- 4.- ESTADO SEMISOLIDO, en el que el suelo tiene apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado.
- 5.- ESTADO SOLIDO, en que el volumen del suelo no varía con el secado.

La frontera convencional entre los estados semilíquido y plástico fué llamada Límite líquido, a la frontera convencional entre los estados plástico y semisólido se les llamo Límite plástico.

A las fronteras, que definen el intervalo plástico del suelo se les ha llamado Límites de plasticidad.

Atterberg considera que la plasticidad del suelo quedaba determinada por el Límite líquido y por la cantidad máxima de arena que podía ser agregada al suelo, estando este con el contenido de agua correspondiente al Límite líquido, sin que perdiera por completo su plasticidad. Además encontró que la diferencia entre los valores de los límites de plasticidad -- llamado Índice plástico, se relacionaba fácilmente con la cantidad de arena añadida, siendo de mas fácil determinación por lo que sugirió su uso, en lugar de la arena, como segundo parámetro para definir la plasticidad.

Atterberg demostró que la plasticidad de una arcilla puede describirse en términos de dos parámetros, el Límite líquido y el Índice plástico.

El Límite líquido según se dijo, indica el contenido de agua para el cual el suelo tiene una cierta consistencia, con una resistencia al corte de 25 g/cm^2 .

DETERMINACION ACTUAL DEL LIMITE PLASTICO.

La prueba para la determinación del límite plástico, tal como Atterberg la definió, no especifica el diámetro al que debe llegarse, al formar el cilindro de suelo requerido. Terzaghi-

agregó la condición de que el diámetro sea de 3mm (1/8). La formación de los rollitos se hace usualmente sobre una hoja de papel totalmente seca, para acelerar la pérdida de humedad del material; también es frecuente efectuar el rolado sobre una placa de vidrio. Cuando los rollitos llegan a los 3mm, se doblan y presionan, formando una pastilla que vuelve a rolarse hasta que en los 3mm justos ocurra el desmoronamiento y agrietamiento; en tal momento se determinará rápidamente su contenido de agua, que es el Límite Plástico.

DETERMINACION ACTUAL DEL LIMITE LIQUIDO.

Esta determinación esta basada en el uso de la copa Casagrande (fig.8) que es un recipiente de bronce ó latón con un tacón sólido del mismo material; el tacón y la copa giran entorno a un eje fijo unido a la base del dispositivo, que es de hule duro ó micarta 221.

La altura de caída de la copa es, por especificación, de 1cm medido verticalmente desde el punto de la copa que toca la base misma, estando la copa en su punto más alto.

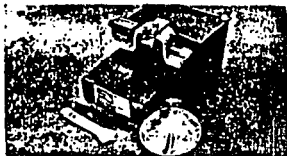


Fig. 8 Detalles de la copa de Casagrande.

Es importante que éste ajuste se haga con todo cuidado, usando un prisma metálico de 1 cm. de lado, para hacer la calibración; éste prisma se introduce entre base y copa, cuidando - que su arista superior quede en contacto con el punto de la copa que golpea la base. (En las copas usadas éste punto se delata por la brillantes causada por el desgaste).

La copa es esférica, con radio interior de 54 mm, espesor de 2 mm. y peso de 200 ± 20 g. incluyendo el tacón.

Sobre la copa se coloca la muestra del suelo y se procede a hacerle una ranura trapecial con las dimensiones mostradas - en la fig. 9.

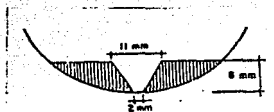


Fig. 9 Dimensiones de la ranura en la copa de Casagrande.

Para hacer la ranura debe usarse el ranurador laminar que aparece en la fig. 10. La copa se sostiene con la mano izquierda con el tacón hacia arriba y el ranurador se pasa a través de la muestra, manteniéndolo normal a su superficie, a lo largo del meridiano que pasa por el centro del tacón, con un movimiento de arriba hacia abajo.

En poco tiempo se adquiere la soltura necesaria para hacer -- una ranura apropiada, con una sola pasada suave del ranurador en una arcilla bien mezclada, sin partículas gruesas. En mezclas no uniformes o con partículas gruesas, los bordes de la ranura tienden a rasgarse, cuando esto sucede, la muestra del

suelo ha de volver a remodelarse con la espátula, colocándolo de nuevo y formando otra vez la ranura. En los suelos con arena o con materia orgánica no se puede formar la ranura con el ranurador, debiendo usarse entonces la espátula, utilizando - el ranurador sólo para verificar las dimensiones.



Fig. 10 Conjunto de la copa de Casagrande con ranurador laminar.

A partir de extensas investigaciones sobre los resultados obtenidos por Atterberg con su método original ya descrito y usando determinaciones efectuadas por diferentes operadores en varios laboratorios, se estableció que el Límite Líquido - obtenido por medio de la copa de Casagrande corresponde al - de dicho investigador, si se define como el contenido de agua del suelo para el que la ranura se cierra a lo largo de 1.27-cm (1/2"), con 25 golpes en la copa. Esta correlación permitió incorporar a la experiencia actual toda la adquirida previamente al uso de la copa.

De hecho, el Límite Líquido se determina conociendo 3 ó 4 contenidos de agua diferentes en su vecindad, con los correspondientes números de golpe y trazando la curva Contenido de agua - Número de golpes. La ordenada de esa curva relacionada a la abscisa de 25 golpes es el contenido de agua correspondiente al Límite Líquido. Se encontró experimentalmente (A. Casagrande) que usando papel semilogarítmico (con los contenidos de agua

en escala aritmética y el número de golpes en escala logarítmica), la curva anterior, llamada de fluidez, es una recta - cerca del Límite Líquido. En la Fig. 11 aparece esa curva y - el modo de determinar el Límite Líquido.

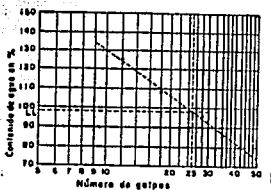


Fig. 11 Determinación del Límite Líquido en la curva de -
flujo.

La ecuación de la curva de flujo es:

$$W = F \log N C$$

W = Contenido de agua, como porcentaje del peso seco.

F = Índice de fluidez pendiente de la curva de fluidez, --
igual a la variación del contenido de agua correspondiente a un ciclo de la escala logarítmica.

N = Número de golpes. Si N es menor de 10, aproxímese a medio golpe; por ejemplo, si en el 6°. golpe se cerró la ranura 0.63 cm (1/4") y en el 7°. se cerró 1.9 cm (3/4"), repórtense 6.5 golpes.

C = Constante que representa la ordenada en la abscisa de un golpe, se calcula prolongando el trazo de la curva de fluidez.

II-7 RELACION DEL LIMITE LIQUIDO CON PRUEBAS DE HINCHABILIDAD Y SEDIMENTACION. (10)

Otra prueba que da indicaciones similares es la prueba de hinchamiento, esta prueba es usada para evaluar la cantidad de agua que la bentonita es capaz de absorber entre las partículas mientras se hinchan. Esta prueba solamente involucra diferentes cantidades de agua y bentonita.

Las bentonitas cálcicas muchas veces tienen un índice entre 6 y 10 ml; mientras que las bentonitas sódicas pueden dar valores entre 18 y 50 ml.

Valores intermedios pueden ocurrir en el caso de las mezclas-

de los productos.

. PRUEBA DE SEDIMENTACION.

Esta prueba es una extensión, relacionada con el Índice de Hinchamiento descrita anteriormente.

La prueba permite una evaluación selectiva entre las bentonitas sódicas y calcicas.

Debido a que la prueba refleja la influencia de los electrolitos sobre el comportamiento coloidal de la bentonita dispersa esta indica el grado de sensibilidad del mineral a contaminarse con iones.

Para obtener resultados reproducibles es muy importante estandarizar la técnica de dispersión del producto en agua.

Un alto índice de sedimentación indica una buena bentonita sódica repercutiendo en un mejoramiento en la resistencia a la compresión de una mezcla de arena y dicha bentonita ya que es capaz de soportar un máximo esfuerzo compresivo cuando es preparada, apisonada y probada acorde a un procedimiento norma.

II-8 ENSAYO SHATTER (METODO EUROPEO) (2)

El ensayo Shatter esta incluido en la serie de estandares de Gran Bretaña.

En muchos aspectos fué una prueba insatisfactoria y fué adoptada solamente provisionalmente en 1950 después de ensayos -- prolongados en el laboratorio y fundiciones, esperando con el tiempo fuera reemplazada por ensayos más satisfactorios.

. APARATO PARA LLEVAR A CABO EL ENSAYO.

Los componentes del aparato son presentados a continuación. - Fig. 12. El yunque E, de dos pulgadas de diámetro, esta rigidamente unido a la base D de la máquina, sostiene una cabeza removible F de tres pulgadas de diámetro, la cual impide el amontonamiento de la arena alrededor del yunque después del rompimiento de la probeta. La cabeza es removible para que el tamiz sea fácilmente levantado de la máquina.

El poste A removedor esta arriba del centro del yunque a una altura de seis pies dos pulgadas. Cuando una probeta es removida por empuje del contenedor hacia arriba sobre el poste separador, la parte inferior de la probeta esta a seis pies de la parte superior del yunque.

El poste separador es soportado por un brazo B sujeto a una columna C. La cabeza (tope) de esta columna debe estar sujeta a una pared u otro objeto rígido. Alternativamente, el-

brazo puede ser sujetado directamente a la pared.

El yunque proyecta a el centro de una malla de estandar británico de 0.5 pulgadas que tiene un plato de fondo.

. PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL INDICE SHATTER (METODO EUROPEO).

El contenedor de la probeta con la probeta en sí es empujado hacia arriba sobre el poste separador, la porción de prueba cae y se rompe cuando golpea el yunque.

La cabeza del yunque es removida permitiendo quitar la malla, la arena retenida es pesada. Esta cantidad debe incluir la arena que permanece en el yunque y esta debe ser transferida a la balanza y no a la malla.

Alternativamente, la arena que pasa directamente a la malla puede ser pesada y el sobrante determinado por diferencia.

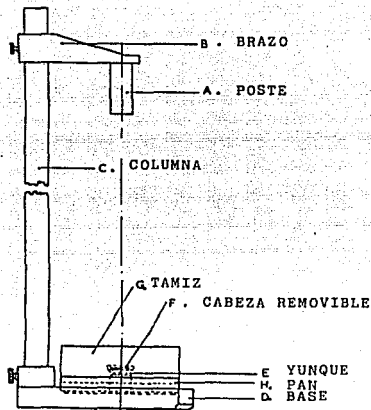


Fig. 12 Aparato para Ensayo Shatter (Método Europeo)

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL INDICE SHATTER (METODO AMERICANO) (11).

- a. Pasar arena a través de un tamiz con una abertura de $1/4$. - Poner esta arena en un contenedor herméticamente cerrado.
- b. Preparar una probeta A. F. S. de 2×2 ", usando la arena tamizada.
- c. Ensamblar el pan de 10 " de diámetro y el tamiz de prueba, - colocarlos sobre la base.

El yunque tiene que estar ensamblado a la base.

- d. Colocar la probeta sobre el yunque. Centrar la probeta en el yunque por medio del block localizador. Quitar el block localizador.
- e. Poner el switch en la posición ON. Colocar la bola de acero dentro del tope abierto del tubo vertical y subirlo contra el anillo de bronce. El solenoide debe sostener la bola.
- f. Poner el switch en posición OFF, haciendo que la bola de acero caiga sobre la probeta de arena.
- g. Quitar la bola de acero del tamiz. Levantar el pan y el tamiz, quitandolos de la base, inclinar el pan y tamiz 45° hacia la derecha e izquierda.
- h. Quitar el pan y pesar la arena que permanece en el tamiz. Dividir este peso entre el peso de la probeta. Mover el punto decimal dos lugares a la derecha y expresar la Resistencia Shatter como un porcentaje.
- i. Una Resistencia Shatter de aproximadamente 75% significa que la arena tiene gran tenacidad. Una Resistencia Shatter abajo del 30% significa que la arena es menos consistente o baja en tenacidad y tiene poca capacidad para ser empleada. El rango exacto de trabajo de la Resistencia Shatter-

debe ser determinada por cada tipo de arena. Usar tres resultados para obtener promedio.

El Ensayo Shatter británico ha sido usado en Europa por muchos años y se aplica en pocas fundiciones de Estados Unidos. Dieter (11) habla de que la probeta de ensayo no siempre golpea el yunque en la misma posición y que la velocidad a la cual la muestra deja el contenedor y empieza a caer podía también afectar los resultados; mas aun que la energía cinética no es suficiente para romper mezclas resistentes usadas en las fundiciones de acero, ya que un cono de arena permanece en el yunque, el ensayo no podría cubrir su rango teórico total. Por estas razones encontraron que colocando la arena en el yunque y dejando caer una bola de acero sobre él había suficiente energía cinética para romper las probetas débiles -- así como las resistentes de tal manera que la tenacidad podía ser medida en un rango más amplio.

El ensayo propuesto usa una bola de acero de 50 mm. de diámetro que recorre la distancia de 1 metro. Se usa un tamiz de 9.52 mm. de abertura y de 20.32 mm. de diámetro y un yunque de acero endurecido de 5 cm. de diámetro.

Por lo que en principio emplea el mismo principio que el ensayo Shatter británico. Las ventajas del nuevo ensayo incluyen la buena reproducibilidad, cobertura de un rango mas amplio de tenacidad y el de que pueden ser considerado como un equipo mas compacto.

III. EXPERIMENTACION.

EXPLICACION GENERAL.

Debido a que este trabajo es continuación del reportado en la referencia (1) se aprovecharon algunos datos obtenidos y se incorporaron 5 nuevas Bentonitas en el estudio, los ensayos realizados específicamente fueron:

- Determinación del Índice Shatter en mezclas con 2 y 4 por ciento de humedad.
- Determinación de volumen de Sedimentación e Índice de Hinchamiento.
- Determinación de Resistencia a la Compresión en verde, a mezclas con 2% y 4% de humedad.
- Determinaciones de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice Plástico en las mezclas faltantes (realizadas por un laboratorio comercial de mecánica de suelos).

III-1 SELECCION DE BENTONITAS Y PREPARACION DE MEZCLAS.

Se seleccionaron 15 muestras de bentonitas sodicas y cálcii--

cas las cuales se caracterizaron en el laboratorio de arenas y se usaron para hacer mezclas con arena silica de granulometria 50-55 de un proveedor local.

Se trabajó con dos mezclas de moldeo con diferente contenido de agua; la primera, con el contenido de agua del punto temper (2%) y la otra con un contenido de agua mayor (4%) donde el valor Shatter se hace constante como se menciona en el capítulo I.

La mezcla uno fué de 3 kg. con la siguiente composición:

2.760 kg. de arena.

0.180 kg. (6%) de bentonita.

60 ml. (2%) de agua.

La mezcla 2 fue también de 3 kg. con la siguiente composición;

2.700 kg. de arena.

0.180 kg. (6%) de bentonita.

120 ml (4%) de agua.

PREPARACION DE LA MEZCLA.

Se mezcló primero la arena y el agua durante 2 minutos, y despues se adicionó la bentonita y se mezclo durante 3 minutos - este tiempo de mezclado ha sido determinado como óptimo en el laboratorio.

Una vez obtenida la mezcla se prepararon probetas para determinar el Indice Shatter o de Estrellamiento y Resistencia a la Compresión de la siguiente manera.

Para conocer la cantidad de mezcla a utilizar para la formación de las probetas norma, se depositaron 165 g. en el recipiente y después de 3 golpes con el apisonador, se midió la densidad y peso de la probeta, este peso indicó la cantidad de mezcla que se debería depositar en el recipiente para obtener las probetas para compresión Dietert.

III-2 DETERMINACION DEL INDICE SHATTER.

El aparato en el que se efectuó ésta prueba es mostrado en la fig. 13. Este aparato cuenta con un sujetador magnético en el cual se coloca la esfera sólida y una base para la probeta la cual deberá estar perfectamente alineada para que a su caída la esfera dé exactamente en el centro de esta. Se colocó la probeta en la base y se dejó caer la esfera desde una altura de 6 pies, después del impacto la probeta se dispersó sobre un tamiz cuya abertura es de 0.5 pulgadas, el tamiz se inclinó hacia los lados aproximadamente un ángulo de 45°, la mezcla que pasó a través del tamiz y que se depositó en el pan se pesó y se restó del peso de la probeta, ésta diferencia se dividió entre el peso de la probeta, el resultado nos indicó el Índice Shatter o estrellamiento de la mezcla.

Fórmula para determinar el Índice Shatter:

$$\text{INDICE SHATTER} = \frac{\text{PESO DE LA MEZCLA EN EL PAN} - \text{PESO DE LA PROBETA}}{\text{PESO DE LA PROBETA}} \times 100$$



Fig. 13 Aparato para determinar el Indice Shatter.

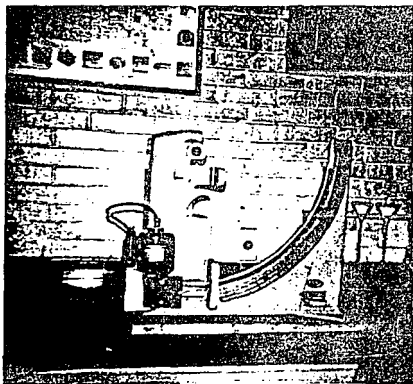


Fig. 14 Maquina para determinar Resistencia a la Compresion del tipo de peso muerto o de bajo rango.

III-3 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION.

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

El equipo usado en este trabajo es del tipo péndulo de peso -- muerto o de bajo rango, la fig. 14 muestra un equipo de este tipo, el cual consiste de un péndulo y un brazo opresor, los cuales estan montados en una base. El péndulo y el brazo opresor están provistos con agujeros en los cuales se insertan las mordazas para sujetar la probeta norma.

Un motor levanta el brazo opresor por el arco, forzando a la probeta a levantar al péndulo e incrementando así la carga sobre la probeta hasta que ésta se rompe, al romperse la probeta se acciona automáticamente la reversa y regresa el peso y el brazo opresor a su posición inicial.

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

El procedimiento para llevar a cabo la prueba es simplemente preparar una probeta norma y colocarla en las mordazas para prueba, tomando la precaución de que la probeta quede bien sujeta, una vez realizado esto se da marcha a la máquina hasta que la acción de la carga rompe la probeta, entonces, la máxima carga compresiva se lee directamente sobre la escala y es indicada por el aditamento magnético, esta prueba se -- realiza por triplicado para obtener un valor promedio.

III-4 COMPACTABILIDAD EN VERDE.

La prueba de compactabilidad determina el porcentaje que decrece en altura una masa de mezcla suelta por la influencia de la compactación. Los valores de compactabilidad son directamente relacionados a la acción de la mezcla en el moldeo y reflejan el grado óptimo de la misma. La prueba es independiente de la gravedad específica de la arena y es por lo tanto superior para indicar el punto óptimo que el que indica la prueba de densidad a granel.

El procedimiento para la determinación es el siguiente: se criba la mezcla de moldeo através de un tamiz con abertura de --- 0.635 cm. (1/4") directamente sobre un tubo formador de probetas el cual ha sido lubricado previamente, el tubo se llena hasta sobrepasarlo y posteriormente razarlo, teniendo cuidado de que la mezcla no sufra empaquetamiento previo a la prueba.

La mezcla se apisona con tres golpes en el equipo norma y se mide la diferencia en altura de la mezcla desde el domo del tubo. La diferencia en altura es dividido entre la altura inicial de la arena cribada y el resultado se expresa en porciento. El valor de la compactabilidad puede ser leído directamente en una escala montada en el equipo apisonador, como fué el caso en el presente trabajo.

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

El agua libre inhibe la fluidez, incrementa el espaciamiento entre los granos adyacentes y disminuye el peso de la mezcla que-

puede ser cribada dentro de un recipiente de capacidad determinada.

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

III-5 VOLUMEN DE SEDIMENTACION.

El índice de sedimentación es el volúmen de sedimento de una mezcla de agua (90 ml.), Bentonita (1 g.), Solución de Cloruro de Amonio 1N (10 ml), colocada en una probeta y agitada - por 5 min. y dejar asentarla por 72 horas.

PREPERACION DE LA SOLUCION DE CLORURO DE AMONIO.

Se pesan 53.5 g. de NH_4Cl y se colocan en un matraz aforado de un litro y se llena con agua destilada hasta la marca.

Es posible tener una evaluacion pronto por medio de las curvas de sedimentación después de 2, 4, 8, 24, 48 horas. En tal caso aún después de corto tiempo (2-8 horas) será posible juzgar - con aproximación las características de la Bentonita.

MATERIAL Y EQUIPO.

- Probeta graduada con capacidad de 100 ml.
- Agitador magnético.

PROCEDIMIENTO.

- Pesar 1g. de Bentonita en una balanza analítica.
- Colocar en la probeta con 90 ml. de agua.
- Agitar por 5 minutos hasta obtener una suspension homogenea agregar 10 ml. de una solución 1N de NH_4Cl y agitar nueva - mente.
- Esperar 72 horas y observar el volúmen de sedimentación.

EXPRESION DE RESULTADOS.

El volúmen de sedimento es reportado en términos de sustancia seca por la siguiente fórmula:

$$V = \frac{V' \cdot 100}{100 - M}$$

M= Contenido de humedad.

V'= Volúmen observado.

III-6 INDICE DE HINCHAMIENTO.

Esta prueba es usada para evaluar la cantidad de agua que la Bentonita es capaz de absorber entre las partículas mientras se hinchan, como se mencionó en el párrafo II-7. Este índice está relacionado con la capacidad de la Bentonita para retener agua bajo condiciones rígidas.

Esta prueba por lo tanto da indicaciones similares al límite líquido, involucrando diferentes cantidades de agua y Bentonita.

MATERIAL Y EQUIPO.

- Balanza Analítica con precisión de 0.01 g.
- Probeta graduada de 100 ml. con agua destilada.

(SE RECOMIENDA USAR AGUA DESIONIZADA EN UNA COLUMNA DE RESINAS).

- Espátula.

PROCEDIMIENTO.

Se pesan 2 g. de Bentonita de Húmedad Conocida* en la balanza de precisión y se agrega en pequeñas porciones con la espátula a la probeta conteniendo el agua destilada. Esperar hasta que la bentonita se deposite en el fondo para adicionar una nueva porción, la Bentonita absorbe agua y se hincha lentamente.

Después de adicionar toda la muestra (el tiempo total de adición debe ser menos de una hora) dejar asentar por dos horas-antes de leer el volumen del sedimento.

EXPRESION DE RESULTADOS.

El volumen de sedimento puede ser calculado con la siguiente fórmula que considera la humedad de la muestra inicial precisamente determinada:

$$V = \frac{V' \cdot 100}{100 - M}$$

V= Volumen de sedimento referido a la muestra seca (ml/2g).

V'= Volumen del sedimento leído en la probeta.

M= % de Húmedad contenido en la Bentonita antes de la prueba.

* Se necesita determinar la húmedad de la Bentonita en estado de llegada.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION.

Los resultados obtenidos en los ensayos realizados a las bentonitas se reportan en la tabla 1 y con ellos se construyeron una serie de gráficas, con el propósito de comparar las tendencias dentro de los parámetros encontrados. En la tabla 2 se muestra la clasificación de las bentonitas según el análisis.

Las gráficas 1, 2, 3 y 4 muestran las relaciones del Índice de Estrellamiento con diversas medidas de plasticidad que son: Límite Plástico, Índice Plástico y Límite Líquido.

Las gráficas 5 y 6 nos muestran la relación que hay entre Límite Líquido y el Límite Plástico contra una medida de la deformación que de acuerdo con lo expresado en el capítulo II-2 queda definida de la siguiente manera:

$$\text{Índice de Deformación} = \frac{\text{Índice Shatter}}{\text{Resistencia a la Compresión}}$$

La gráfica 1.a da una información de la variedad de bentonita y de las propiedades que imparten a la mezcla. La gráfica 1.b muestra además una tendencia de relación de la cual pocas mezclas se alejan. Esta tendencia parece indicar que las mezclas que aumentan su Índice Shatter son también las que poseen los valores más altos de Resistencia a la Compresión, los valores bajos tanto en Índice Shatter como en Resistencia son desplazados en forma parabolica. La gráfica 2.a muestra dos tendencias de comportamiento, las sodicas naturales o puras con Límite Líquido que podría definirse como arriba de 200 se

gun los datos de esta gráfica.

Se muestra una tendencia aproximada de a mayor Límite Líquido menor Índice Shatter para las Bentonitas con Límite Líquido menor de 200 y para las bentonitas mayores de 200 se podría hablar de una diversidad o bien de una leve tendencia en sentido contrario.

La gráfica 2.b parece mostrar que las de mayor de 200 tienden a tener valores altos de Índice Shatter al igual que las cálculas parecen tender a tener valores más altos de Índice Shatter mientras mayor es su Límite Líquido. En este caso el valor de 200 no hace una separación de comportamiento como la anterior.

Las gráficas 3.a y 3.b muestran una tendencia bastante similar a la 2.a y 2.b que representa el comportamiento del Índice Shatter con el Límite Líquido. Los valores de Índice Plástico en todas las muestras estudiadas son directamente proporcionales al Límite Líquido, su valor numérico es casi igual al del Límite Líquido.

La gráfica 4.a indica que el mayor Índice Shatter lo obtienen las mezclas que tienen una bentonita con un bajo Límite Plástico.

La gráfica 4.b no muestra ninguna tendencia, esto es con un mismo valor de Límite Plástico obtenemos un rango amplio de Índice Shatter de la mezcla. Estas tendencias encontradas resultan difícil de explicarlas ya que se están graficando grupos de valores que indican casos muy diferentes, por un lado la plasticidad de la arcilla y por otro un índice de tenacidad que es por si mismo un valor difícil de interpretar.

De aquí que se planeo desde un principio, comparar la plasticidad de estas arcillas con la deformación o mas bien con un Índice de Deformación que definimos en el capítulo II. Hay- que tener en cuenta que el límite plástico es una medida en- sí de una deformación con bajo contenido de agua, en la for- ma en como se ensaya. Por esta razón se procedio a elaborar- las gráficas de Índice de Deformación v.s. las medidas de -- plasticidad de la arcilla que se exponen a continuación, en- las gráficas 7, 8, 9 y 10. Las gráficas 5 y 6 son importan- tes mencionarlas por que había una intención especial en es- te trabajo de comprobar si el comportamiento de los valores de volumen de sedimentación y de índice de hinchamiento se - relacionaban directamente con los de límite líquido, lo cual representaría una forma mas accesible de obtener estos datos. La gráfica 5 muestra que efectivamente las sodicas con muy - altos valores de límite líquido tienen también altos volumenes de sedimentación pero la mayoría de sódico/cálcicas --- caen en un rango pequeño de sedimentación, entre 20 y 32, que daría lugar a confusiones si se quisiera usar este ensayo en vez de límite líquido.

La gráfica 6 nos muestra que los valores altos de límite lí- quido tienen un valor alto de índice de hinchamiento, pero la mayoría de sódicas y cálcicas se confunden a valores bajos. El volumen de sedimentación tiene una mejor relación con el - límite líquido que el índice de hinchamiento.

La gráfica 7 muestra una relación de índice de deformación co mo se definió para mezclas al 2% de humedad contra límite lí- quido, parece ya no existir un comportamiento diferente entre

sódicas y cálcicas sino solo una tendencia que consiste en que los de mayor límite líquido tienden a presentar valores más altos de deformación. La gráfica 8, presenta una tendencia similar a la del 2% con mayores valores de deformación a mayores valores de límite líquido, esto nos implica una relación similar a la anterior de plasticidad. La gráfica 9 muestra una -- tendencia más clara que las anteriores en una banda mas estrecha que nos indica que la mezcla tiene más deformación cuando el límite plástico de la arcilla es más bajo.

La gráfica 10 muestra la misma tendencia que la anterior, esto nos esta indicando que si lo que esta buscando es una mezcla con buena deformación la idea seria tener altos límite líquido y bajos límite plástico, en ambos casos la bentonita No. 8-cálcica, está fuera de este rango. Las gráficas 11.a y 11.b muestran una relación directamente proporcional de una con la otra esto es, las mezclas con alta resistencia tienen altos -- límites plásticos en ambos contenidos de humedad. Es claro -- que hay un compromiso en las propiedades en el sentido de que si lo que se busca es mayor resistencia se dice, entonces que lo que se busca es un alto límite plástico.

Pero si lo que se busca es una mayor deformación, el límite -- plástico debe ser bajo.

V. CONCLUSIONES.

Durante la realización de este trabajo ha quedado patente que el tomar como única medida física de la mezcla la resistencia mecánica de la mezcla no es correcto ni suficiente y que el - conjugar esta propiedad con un Índice de Deformación de la - mezcla, el control de la mezcla será mejor. Los valores obtenidos de los ensayos de Índice Shatter a los dos contenidos - de humedad no se relacionan con los Índices de Plasticidad ni con la Resistencia a la Tracción, ya que muestran una amplia dispersión.

Al relacionar las propiedades como son Deformación, Tenacidad y Resistencia por medio de la propuesta de un Índice de Deformación con la plásticidad de la arcilla sola, esto es con el Límite Líquido, Plásticidad y el Índice Plástico se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- 1) La medida del Índice de Deformación, a pesar de lo aproximado de su definición, fue un dato valioso.
- 2) Las mezclas con mayor Índice de Deformación deben tener en general alto Límite Líquido y bajo Límite Plástico.
- 3) El Límite Plástico muestra una relación aproximadamente directamente proporcional con la Resistencia a la Compresion ~~en verde a las dos humedades estudiadas.~~
- 4) Es claro que hay un compromiso entre la Resistencia y Deformación que podría llegar a predecirse con el Índice Plás-

tico de la arcilla sola.

- 4) El Volumen de Sedimentación es una mejor medida de Límite Líquido que el Índice de Hinchamiento.

Este trabajo mostró que sí existe una relación entre la plasticidad de la bentonita sola con la medida de plasticidad de las mezclas y también indica que los valores de plasticidad de la arcilla sola (Límite Líquido, Índice Plástico, Límite-Plástico) son buenos indicadores del comportamiento de la mezcla en Resistencia y Deformación. Este trabajo demuestra que ésta línea de investigación debe ser ampliada y precisada.

APENDICE I

BENTONITAS.

Las Bentonitas son arcillas constituidas por silicatos de aluminio hidratados, son minerales caracterizados por una estructura en hojuelas. Esta estructura unida a su gran fineza y a la facultad de absorber ciertos líquidos como el agua, que le dan sus propiedades de plasticidad.

En el interior de la estructura, fig. 12, no hay sustitución parcial de silicio (Si^{4+}) por aluminio (Al^{3+}). Puede haber también sustitución de aluminio (Al^{3+}) por magnesio (Mg^{2+}) o fierro (Fe^{2+}) o manganeso (Mn^{2+}).

Déficit que es compensado por iones positivos o cationes que, situados en la superficie de la hojuela son facilmente intercambiables con otros cationes provenientes, por ejemplo, de una solución salina, es lo que se llama intercambio de bases (bases por que, los cationes intercambiables son iones de metales alcalinos o alcalino térreos).

En la montmorillonita, que es la especie minera lógica de las bentonitas, el catión más frecuentemente intercambiable es el calcio (Ca^{2+}), o más raramente el ión sodio (Na^{+}) es fácilmente intercambiable por el catión hidrógeno (H^{+}), litio (Li^{+}), potasio (K^{+}), estroncio (Sr^{2+}), bario (Ba^{2+}).

Estos iones intercambiables tienen una gran importancia pues su naturaleza determina en gran parte las propiedades de la arcilla.

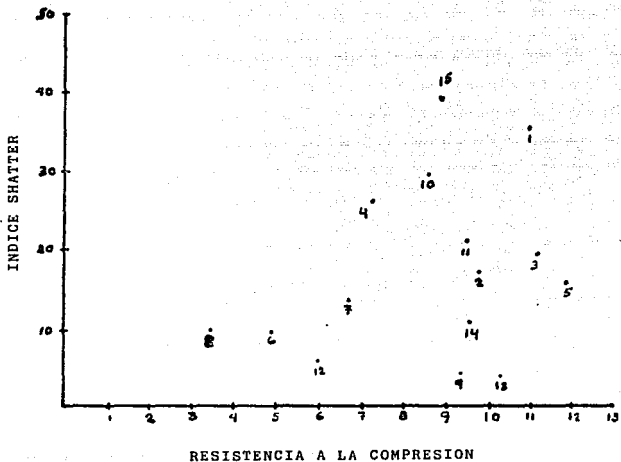
Las bentonitas activadas son arcillas tratadas con una sal de sodio (Na^+).

Cuando se añade agua a ciertas arcillas se comprueba que la -- distancia que separa a 2 hojuelas sucesivas o más exactamente 2 conjuntos sucesivos de hojuelas se separan provocando una ex pan si ón de la arcilla.

A la inversa si se pone ésta arcilla en una atmósfera seca o -- se calienta a temperatura moderada pierde el agua y los paquetes de hojuelas tienden a acercarse. Este fenómeno es revers ible mientras la arcilla no se someta a un calentamiento muy in ten so.

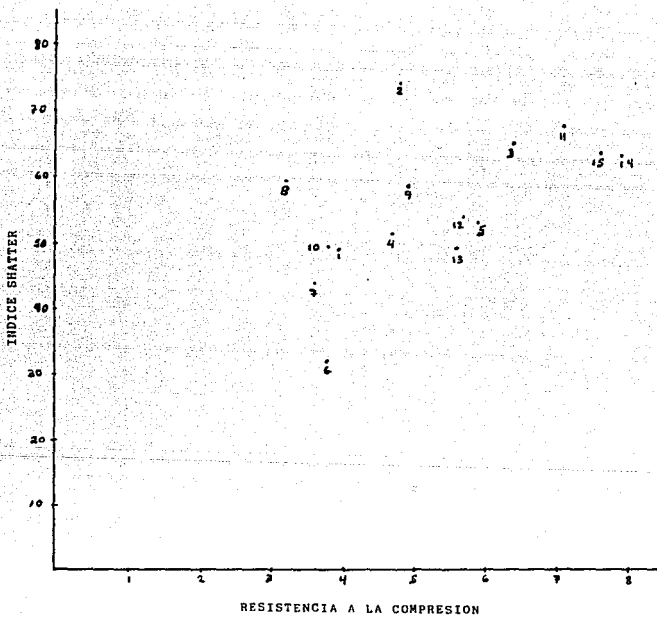
La penetración de moléculas de agua entre las hojuelas de arci lla se hace posible debido a que los enlaces entre las hojuelas son muy débiles. En consecuencia mientras más débiles sean -- los enlaces el agua penetra más fácilmente; por ejemplo, ésta hidratación es más importante en las montmorillonitas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

El valor de la separación interfoliar, la proporción de hojuelas separadas por una o varias capas de agua, así como el núme ro de capas de moléculas absorbidas varía con la naturaleza mi neralógica de la arcilla, la cantidad de agua y la naturaleza de catión intercambiable. No parece sin embargo, sea cual sea la arcilla que se puedan separar todas las hojuelas y que quedan siempre agrupadas en paquetes más o menos importantes. -- Las bentonitas sódicas se dispersan más o se dividen en paquetes más pequeños y más numerosos que las bentonitas cálcicas.



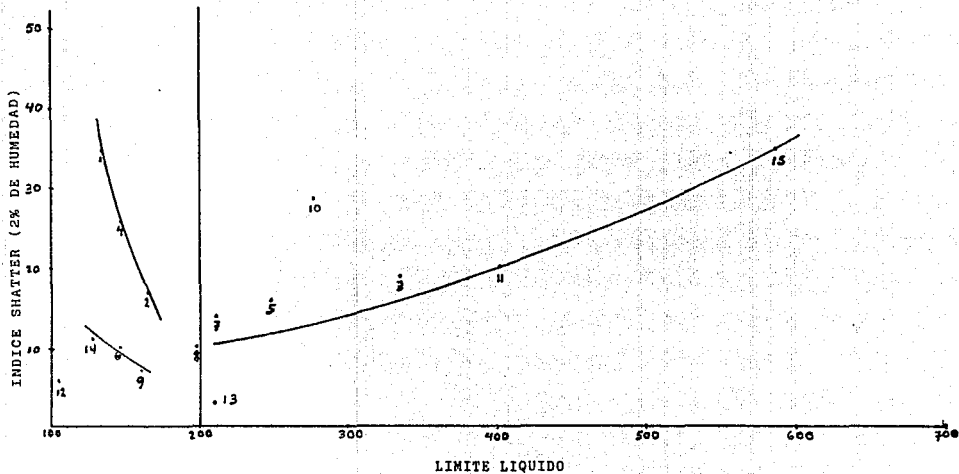
Gráfica 1.a

Indice Shatter v.s Resistencia a la Compresión en una mezcla al 2% de humedad de la bentonita sola (Al temper).



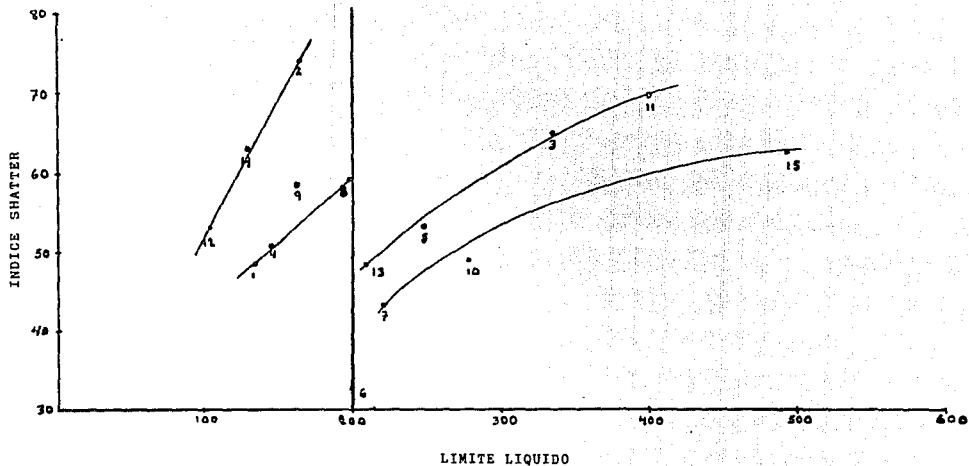
Gráfica 1.b

Índice Shatter v.s Resistencia a la Compresión en una mezcla al 4% de humedad de la bentonita sola.

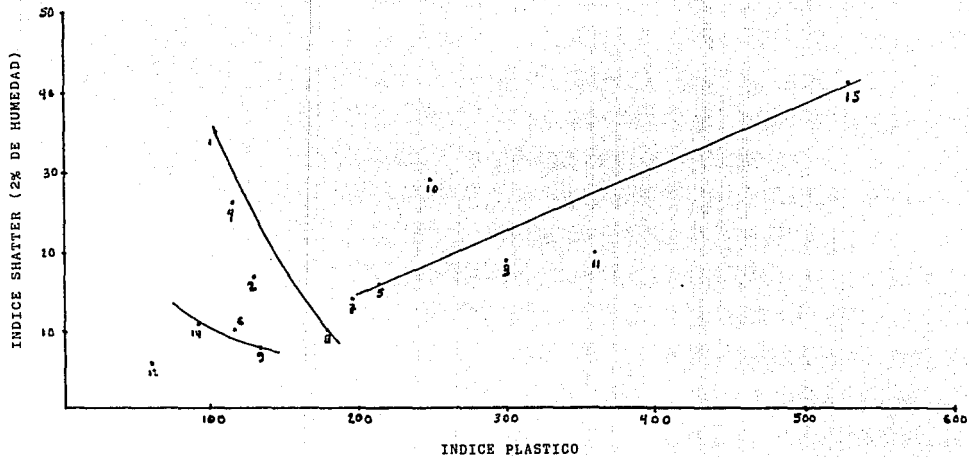


Gráfica 2.a

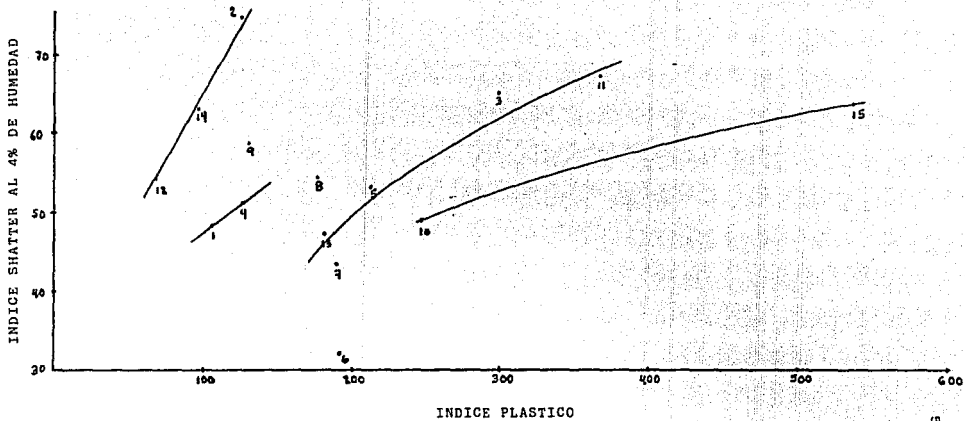
Índice Shatter de una mezcla con 2% de humedad v.s Límite Líquido de la bentonita sola.



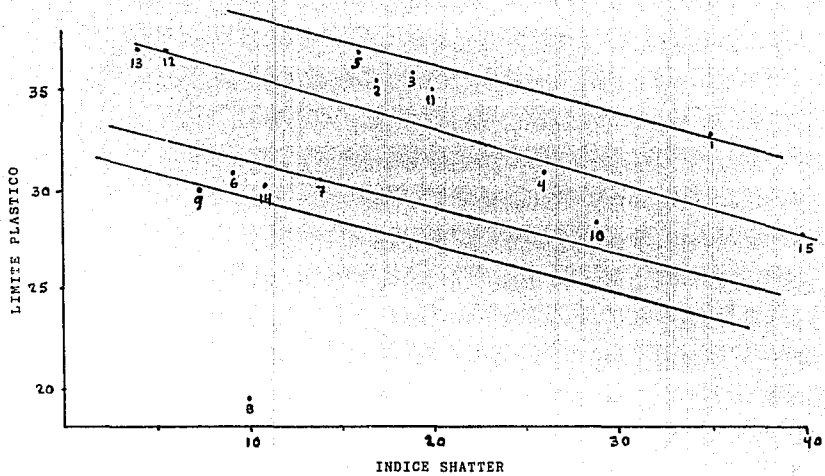
Gráfica 2.b Índice Shatter de una mezcla con 4% de humedad v.s Límite Líquido de la bentonita sola.



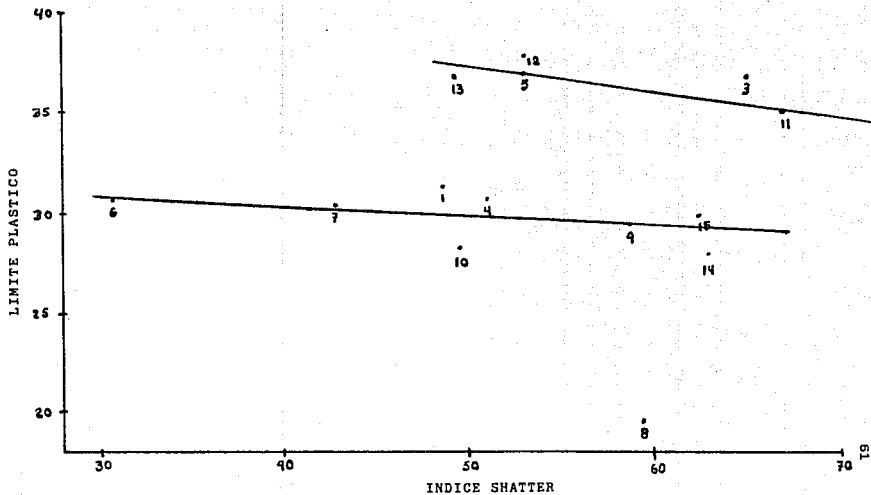
Gráfica 3.a Índice Shatter de la mezcla con 2% de humedad v.s Índice Plástico de la Bentonita sola.



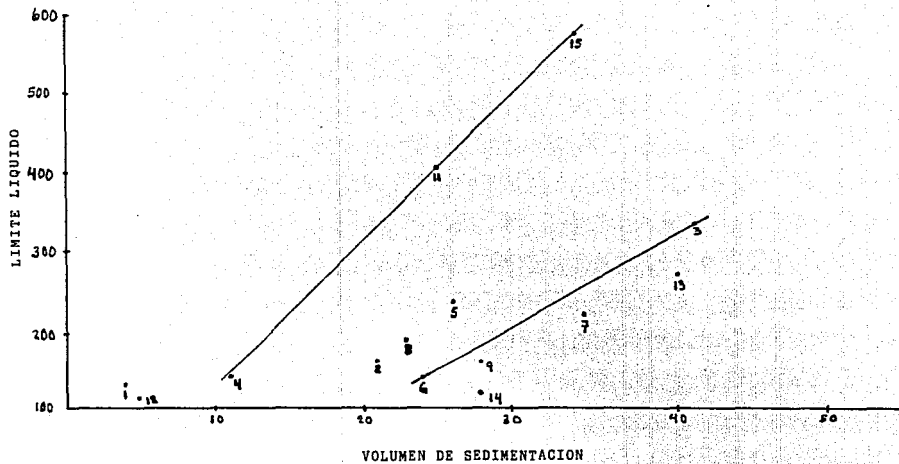
Gráfica 3.b Índice Shatter de la mezcla con 4% de humedad v.s Índice Plástico de la Bentonita sola.



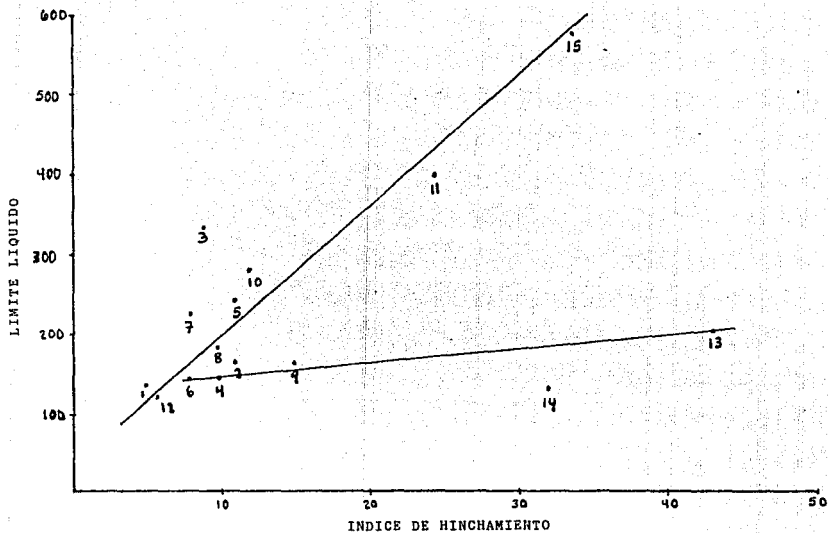
Gráfica 4.b Límite Plástico de la Bentonita sola v.s Índice Shatter de la mezcla con 2% de humedad.



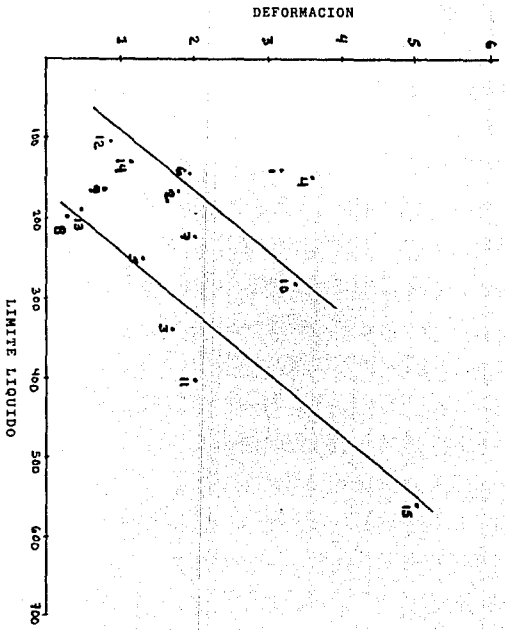
Gráfica 4.b Límite Plástico de la Bentonita sola v.s Índice Shatter de la mezcla con 4% de humedad.



Gráfica 5. Límite Líquido v.s volúmen de sedimentación de la Bentonita sola.

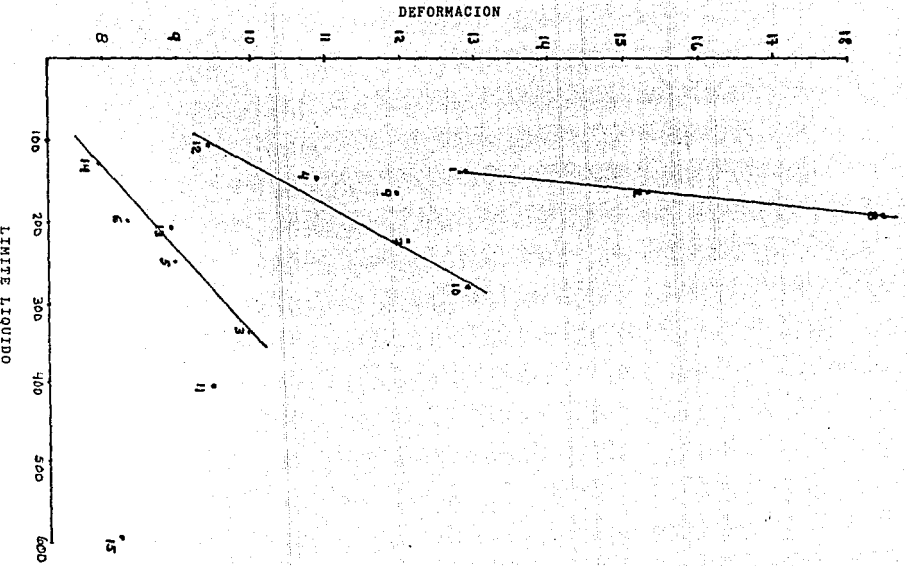


Gráfica 6. Límite Líquido v.s Índice de Hinchamiento de la Bentonita sola.

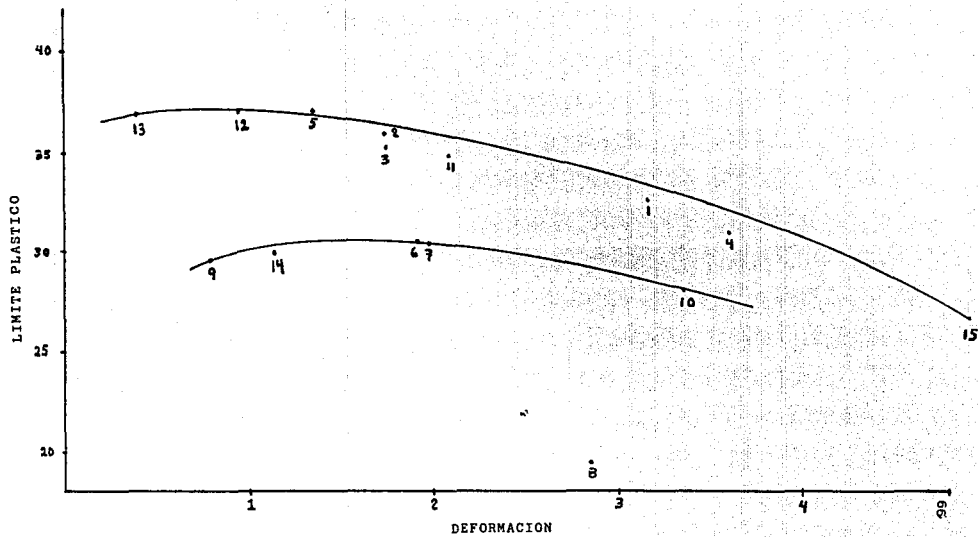


Gráfica 7.

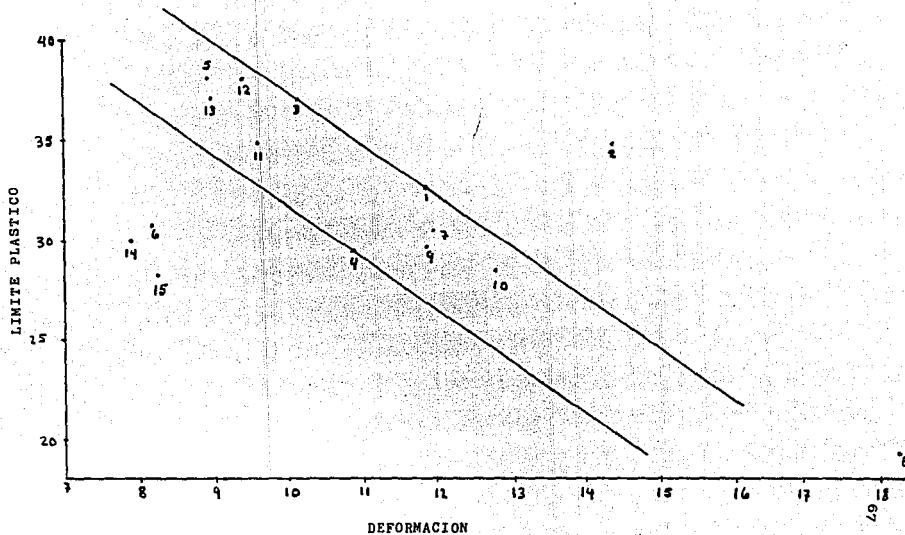
Deformación de la mezcla con el 2% de humedad v.s. Límite Líquido de la bentonita sola.



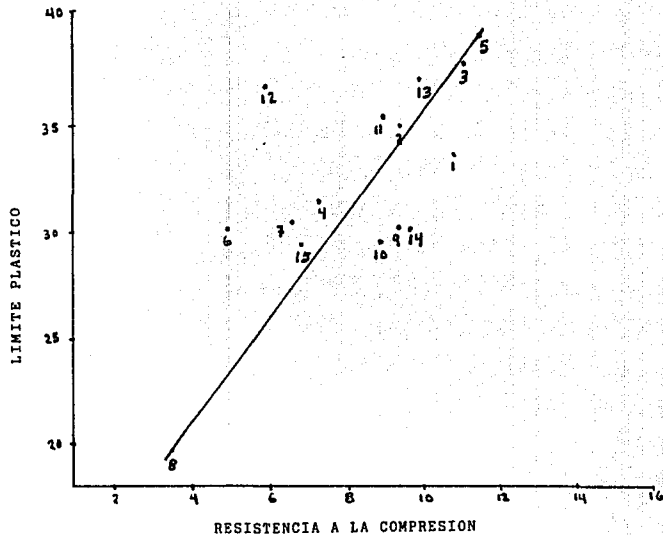
Gráfica 8. Deformación de la mezcla con el 4% de humedad v.s. Limite Líquido de la bentonita sola.



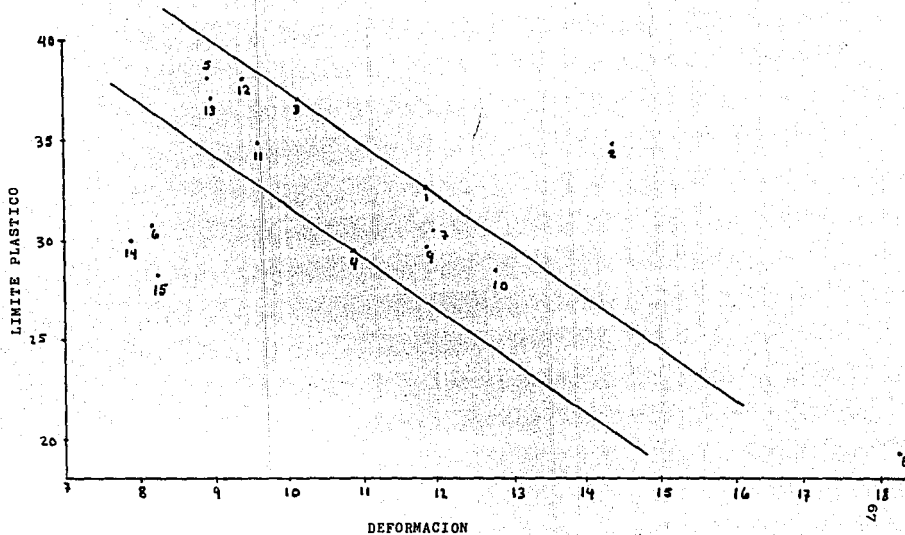
Gráfica 9. Límite Plástico de la bentonita sola v.s Deformación de la mezcla con 2% de humedad.



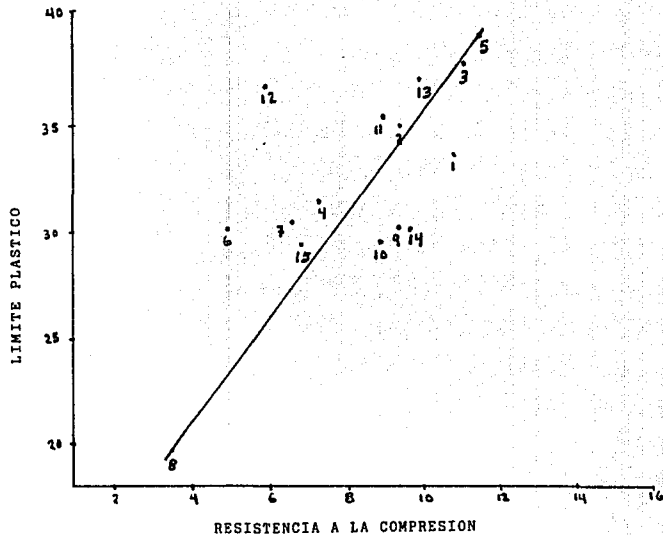
Gráfica 10. Límite Plástico de la bentonita sola v.s Deformación de la mezcla con 4% de humedad.



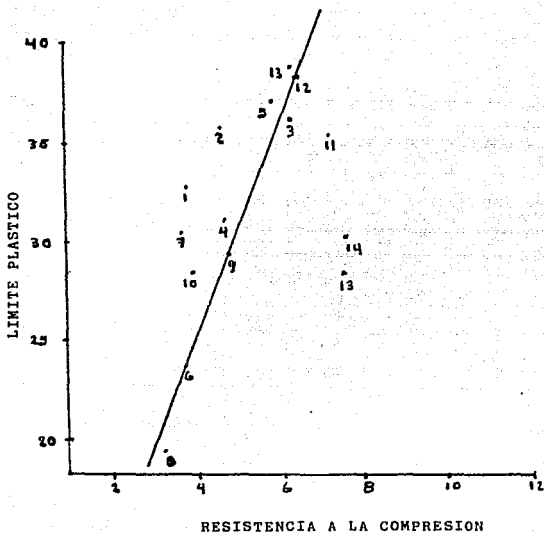
Gráfica 11.a Límite Plástico de la mezcla v.s Resistencia a la
Compresión de la mezcla con 2% de humedad.



Gráfica 10. Límite Plástico de la bentonita sola v.s Deformación de la mezcla con 4% de humedad.



Gráfica 11.a Límite Plástico de la mezcla v.s Resistencia a la
Compresión de la mezcla con 2% de humedad.



Gráfica 11.b Límite Plástico de la bentonita sola v.s Resistencia a la Compresión de la mezcla con el 4% de humedad.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

BENTONITA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
MAX. RES. COMPRESION N/cm ² AL 2% DE HUMEDAD.	11	9.8	11	7.2	12	5	6.7	3.5	9.4	8.6	9.5	6	9	9.6	10
MAX. RES. COMPRESION N/cm ² AL 4% DE HUMEDAD.	3.76	4.8	6.4	4.7	5.9	3.8	3.6	3.2	4.9	3.8	7.1	5.7	7.6	7.9	5.6
HUMEDAD REAL DE LA MEZCLA	1.8	2	1.4	2	2	1.6	1.6	1.8	1.8	1.8	2	2	2	2	1.8
COMPACTABILIDAD AL TEMPER.	37	30	33	41	30	38	38	32	24	36	25	32	42	33	25
DENSIDAD DE LA MEZCLA	93	94	96	97	98	98	96	95	98	97	98	97	95	97	98
LIMITE LIQUIDO	136.3	165	336.5	146	249.5	200	221	198	163	276	402	105	597.5	126	215.9
LIMITE PLASTICO	32.9	35.4	36	31	37	31	30.3	19.4	29.7	28.2	35	37	28	30	37
INDICE PLASTICO	103	129	300	115	213	179	191	179	133	248	367	69	178.9	96	569.5
VOLUMEN DE SEDIMENTACION.	4	21	41	11	26	24	35	23	28	55	22	5	32	28	43
INDICE SHATTER AL 2% DE HUMEDAD.	35	17	19	26	16	10	14	10	7.6	29	20	5.8	40	11	4
INDICE SHATTER AL 4% DE HUMEDAD.	48.5	74	65	51	53	31.7	43.6	59.13	58.7	49.2	67.6	53.8	63.4	63	49.2
INDICE DE HINCHAMIENTO.	5	11	9	10	11	8	8	10	15	12	24	5	34	32	50
DEFORMACION AL 2% DE HUMEDAD.	3.18	1.73	1.72	3.6	1.33	2	2.08	2.85	0.80	3.37	2.10	0.96	4.94	1.14	.4
DEFORMACION AL 4% DE HUMEDAD.	12.8	15.4	10.15	10.85	8.96	8.34	12.1	18.4	11.97	12.9	9.52	9.43	8.34	7.97	3.78

TABLA I RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EFECTUADOS A LAS 15 BENTONITAS.

BENTONITA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Na ⁺ . Meq/100 g E.R	11.6	14.5	12.9	12.9	10.3	8.4	10.3	8.4	10	10.3					
Ca ⁺⁺ meq/100 E.R	52	36	32	80	36	62	32	46	128	34			11		
Mg ⁺ meq/100 E.R	18.2	12.0	13.6	6.0	6.2	12.8	6.2	9.4	6.6	4.0			4		
Tipo de Bentonita según proveedor	C	S	S	C	S	C	S	C	S	S	S	C	S	C	C
Límite Líquido	136.3	165	336.5	146	249.5	200	221	198	163	276	402	105.9	215.9	126.5	597.5
Clasificación propuesta.	C	C	S	C	S	S	S	C	C	S	S	C	S	C	S

C= Calcica

S= Sodica

TABLA II Clasificación de las bentonitas de acuerdo al proveedor comercial y al Límite Líquido tomando como base 200.

BIBLIOGRAFIA.

- 1) M. E. Noguez. G. Salas T. Robert.
"Aplicación del Límite Líquido en la caracterización de materiales de moldeo en la fundición". XI Congreso y Exposición, Monterrey, N. L. 1991.
- 2) Parkes W. B. "Clay Bonded Foundry Sand"
Applied Science Publishers LTD 1971.
London.
- 3) Piper G. H Proc. Inst. British Foundry
Men (1938-1939) 32, P. 33-41 Citado en -
Parkes Op. cit.
- 4) Dieter G. E. "Mechanical Metallurgy" 2a.
Ed. Mc. Graw Hill 1976.
- 5) Terzhagi y Pecn P. "Mecánica de Suelos en
la Ingeniería Práctica" Ed. El Ateneo Bue
nos Aires; 1958.
- 6) Parkes W. B. And Gooding R. G.
"Shatter Test Use For Controlling Clay Bon
ded Sand" September 1960

Modern Casying P. 60-67.

- 7) Granam E. L. "The flowability of Moulding sand with special reference to the Shatter Test" Foundry trade Journal Vol. 84 (1948)
Citado en (2) p. 365-367.
- 8) Parkes W. B. "Control of the Moulding Properties of Clay Bonded Sand by means of -- the green strength and Shatter Tests".
Bcira Res. Report No. 513 p. 736, 744.
- 9) Juárez Badillo E. Rico Rodríguez A.
"Mecánica de Suelos". Tomo I
Ed. Limusa 1976.
- 10) CIATF "Temporaly International Regulations on the methods of the bentonites used as - Bonding Clay for Froundry" 1975
Jivorno Switzerlad.
- 11) H. W. Dietert, A. L. Graham "Shatter Tou--ghness of Moulding Materials" Modern Casting. Sept. 1968 P. 68-94.