

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE ARENAS EN
VERDE Y LA RELACION CON SUS PROPIEDADES TERMICAS”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A

RAUL ARELLANO ANGELES

1 9 7 7



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

CLAS Tesis 1977
ABO M-24
FECHA _____
PROG _____
S _____



QUINCE

JURADO ASIGNADO:

Presidente: KURT H. NADLER GUNDEISCHMER

Vocal: FERNANDO MALDONADO MENDOZA

Secretario: Ma. EUGENIA NOGUEZ AMAYA

Primer Suplente: MARCO ANTONIO CHAMORRO DIAZ

Segundo Suplente: MARCELINO MADRIGAL DUARTE

Sitio donde se desarrolló el tema: Laboratorio
de Metalurgia. Facultad de Química, U. N. A.M.

Nombre y firma del sustentante: _____

RAUL ARELLANO ANGELES

Nombre y firma del asesor: _____

M. en C. Ma. EUGENIA NOGUEZ AMAYA.

AL SEÑOR QUE ILUMINA MI CAMINO

A MIS PADRES:

MANUEL ARELLANO B.

RUTH ANGELES DE A.

A MIS HERMANOS:

YOLANDA ~ 1

CARLOS - 2

MANUEL - 3

NAZARIO - 4

GUILLERMINA - 5

LUCINA - 6

JOSE - 7

ANGEL - 8

NO MAMES

A ROCIO

A MIS PADRINOS

A LOS R.ÍP.:

JESUS SOLIS HERNANDEZ

JOSE LUIS GONZALEZ

MIGUEL E. AYUZO R.

A TODOS MIS MAESTROS Y AMIGOS

A LA MAESTRA Ma. EUGENIA NOGUEZ A.

A TODAS LAS PERSONAS QUE AYUDARON A QUE MI
FORMACION NO SOLO FUESE CIENTIFICA, YA QUE
GRACIAS A SU ORIENTACION Y MOTIVACION LO--
GRARON QUE MI VIDA TUVIERA UN VERDADERO --
SENTIDO DE SER.

GRACIAS A TODOS.

I N D I C E

INTRODUCCION

CAPITULO I ANTECEDENTES

- Propiedades físico-mecánicas.
- Cohesión como fundamento de la relación bentonita y agua.
- Variación de la densidad con la conductividad térmica de las arenas de moldeo.

CAPITULO II TRABAJO EXPERIMENTAL

- Secuencia de trabajo.
- Adaptación del Equipo.
- Pruebas de Desecación y de Variación de Humedad - agregada.

CAPITULO III DISCUSION DE RESULTADOS.

CAPITULO IV CONCLUSIONES.

APENDICE

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

Es un hecho admitido mundialmente que mas del 70 % de los defectos de las -- piezas colada en arena están asociados a las características de ésta.

En México, la producción de hierro y acero colado se realiza prácticamente usando el molde en arena y primordialmente usando el sistema: arena-bentonita-agua.

En el Departamento de Metalurgia de la División de Estudios Superiores se ha iniciado un proyecto de investigación sobre las arenas que tiene como principal motivo, en su primera etapa, caracterizar a los sistemas arena-bentonita-agua que pueden obtenerse con las materias primas nacionales en explotación comercial actualmente en cuanto a sus propiedades físicas, mecánicas y químicas se refiere.

Este trabajo se ha realizado como un estudio preliminar de éste proyecto con el objeto de comparar cualitativamente las propiedades térmicas y mecánicas-- obtenidas con diversas preparaciones elaboradas con un solo tipo de materias --- primas nacionales (arena juanita 40/45 y bentonita sódica, ambas del mismo proveedor).

Para lograr éste objetivo hubo necesidad de desarrollar técnicas para ensayar las arenas con las normas internacionales pero sin los instrumentos apropiados y normalizados. Hubo también necesidad de acondicionar un molino Simpson para su uso en la preparación de las arenas, y en general de establecer una rutina de obtención de ensayos en arenas sin las facilidades que existen en los laboratorios apropiados.

Como se describirá en el capítulo de resultados, paralelamente a este trabajo se desarrolló otro, cuyo objetivo fundamental fué el de estudiar el método de fusión y solidificación para la obtención de propiedades térmicas y el de obten-

ner datos de difusividad y conductividad térmicas para las preparaciones de arena usadas en este trabajo y que sirvieron para efectuar las comparaciones respectivas.

En los capítulos siguientes se expondrán brevemente algunos antecedentes sobre los ensayos físico-mecánicos, así como las interrelaciones con las propiedades térmicas que se mencionaron en la literatura; después se procederá a describir el trabajo involucrado, las comparaciones realizadas y por último una interpretación de las mismas.

CAPITULO I ANTECEDENTES

Las arenas de moldeo que usualmente se emplean en la fundición, se clasifican en dos grandes grupos:

Arenas naturales y arenas sintéticas.

Las naturales son aquellas de mas antiguo conocidas y su uso se remonta con la edad misma de la fundición de los metales. Tienen propiedades naturales de refractoriedad, debido a las arcillas y barros que además le imparten la plasticidad necesaria para poderse moldear con ella.

Las arenas sintéticas se preparan en el mismo taller a partir de arenas limpias o lavadas, mezclandolas con diferentes aditivos que le van a proporcionar las propiedades requeridas de refractoriedad, plasticidad, resistencia, etc. Algunos de estos aditivos pueden ser aglutinantes como resinas o cereales, bentonita, aceites, melaza o derivados del azúcar.

El molde en el que va a obtenerse la pieza debe reunir varios requisitos, ya que la calidad de la pieza obtenida estará en función de las características que tenga el molde.

Los requisitos son:

- Refractoriedad, para soportar las temperaturas elevadas de los metales fundidos.
- Permeabilidad, para permitir la salida del aire atrapado en la cavidad y gases disueltos en el metal.
- Resistencia mecánica, para evitar deformaciones o erosión en el manejo y durante la colada.
- Colapsibilidad, para permitir la libre contracción del metal durante la solidificación.
- Las principales propiedades que se controlan en una arena de moldeo

con las características anteriores medidas en forma convencional. A continuación se menciona el método norma A. F. S. (1) para medir las propiedades físicas que se determinan en este trabajo.

Determinación de Humedad (H)

Método Norma:

El contenido de humedad de una mezcla de arena se determina secando una muestra entre 104 y 110 °C hasta peso constante en una estufa calentada uniformemente, enfriandola a temperatura ambiente en un desecador y volviendo a pesarla en una balanza con una sensibilidad de ± 20 mg. El contenido de humedad debe expresarse en el porcentaje de la muestra original.

Debido a que el método norma requiere de mucho tiempo no se aplica --- para el control rutinario, entonces se emplean otros métodos para esta determinación, los cuales funcionan bajo el principio de evaporación de la humedad, la diferencia entre ellos es la forma como efectúan dicho proceso. Por ejemplo, en el método "por aire caliente forzado", se efectúa la evaporación haciendo pasar una corriente de aire caliente a través de la arena, en el método por "lámpara Infrarroja" se emplea una lámpara Infrarroja como fuente de calor para efectuar el secado de la muestra. Estos métodos se -- usan en arenas con material no volátil (excepción del agua) y / o materia les oxidables. Para muestras con estas características se emplea el método por carburo de calcio, el cual se basa en la combinación química entre la - humedad de la arena y el carburo de calcio, para formar acetileno, el volu- men y por lo tanto la presión del gas formado es proporcional a la humedad de la arena.

Determinación de la Resistencia a la Compresión y al Corte. (C y C')

Para determinar la resistencia a la compresión en verde se usa un Instrumento que registra una carga creciente en forma continua hasta que se produce la rotura de la probeta. La determinación se hace con una probeta de forma cilíndrica de 50.8 mm de diámetro por 50.8 mm de altura (2 x 2 - pulgadas), previamente preparada y apisonada. Las determinaciones se hacen para arenas de baja, media a elevada resistencia y para valores hasta de 8.172 kg.

La determinación de la resistencia al corte también se hace con una probeta de las características anteriores, mediante la aplicación de una carga uniforme a las dos mitades diametralmente opuestas de las superficies superior e inferior de la probeta. La carga se deberá aplicar a una velocidad constante y la disposición de la probeta debe ser horizontal de tal manera que la carga es aplicada a lo largo del eje de la probeta.

Existen dos tipos de Instrumentos para estas determinaciones, uno americano y otro europeo, en el primero se tienen dos aparatos independientes para cada determinación, en el segundo se encuentran integrados los dispositivos para hacer ambas determinaciones modificando las mordazas y la escala según la determinación que se desee realizar. Estas dos medidas nos representan la cohesión.

Cohesión como fundamento de la relación bentonita-agua (2,3,4)

La cohesión de la arena varía en función de:

- Contenido de agua
- Contenido de arcilla
- Granulometría de la arena
- Presencia de partículas finas.

Al analizar el proceso por el que la arena varía su cohesión al variar la humedad, se observa que para lograr el recubrimiento de los granos de arena con bentonita se requiere de una humedad suficiente para separar las hojuelas de bentonita, si se trabaja con una humedad baja no habrá dispersión de la bentonita, se forman terrones, agregados de bentonita que retienen el agua, por lo que la arena no adquiere plasticidad. Para trabajar con bajas humedades es conveniente partir de una arena en la que sus granos ya están recubiertos de bentonita; es conveniente pues, al tratar de obtener las propiedades de la arena lograr los diversos contenidos de humedad por desecación, es decir, partir de una humedad elevada, mezclar, determinar la humedad de la mezcla y hacer las determinaciones correspondientes, regresar toda la arena al molino, para tener siempre la misma carga, mezclar con el molino abierto un cierto tiempo para que haya evaporación del agua por frotamiento y exposición al aire, hacer determinaciones, regresar la arena al molino, mezclar nuevamente y repetir estas operaciones hasta -- que la arena no se pueda trabajar por falta de cohesión.

Al hacer estas determinaciones y partiendo de varias humedades, pasando los valores de resistencia al corte a cohesión se ve que se alinean en dos curvas. Estas curvas deben representar la variación exacta de la cohesión en función de la humedad. Además se ve que se modifican dando origen a curvas regulares.

Analizando la variación de cohesión contra humedad se ve que la curva es ascendente y se inicia en el origen, esta curva representa la fase de activación de la bentonita, la otra es la fase de dilución de la bentonita y en ella se pasa del estado adecuado de la arena para el moldeo al -- estado en que se hace pegajosa a las manos y al equipo.

Por el aspecto hiperbólico de la rama descendente, se grafican en papel logarítmico y a excepción de algunos casos raros dan origen a dos rec...

tas que se cortan. El ángulo en el que se cortan es sensiblemente igual a 90° , siendo la pendiente de cada recta de 45° por lo que hace pensar que se trata de una hipérbola equilátera.

Analizando la rama ascendente o de la activación de la bentonita, se ve que la cohesión es proporcional a la humedad, es decir: $C \propto H$, ó introduciendo una constante, $C = M_1 H$, o $C/H = M_1$, esta ecuación representa la fase de activación de la arcilla, siendo M_1 la tangente de la recta que pasa por el origen. Para la rama descendente, la cohesión es inversamente proporcional a la humedad, es decir, $C \propto 1/H$ ó introduciendo una constante de proporcionalidad $C = K'/H$ ó bien, $C H = K'$, esta es la ecuación de la fase de dilución de las propiedades de la bentonita. Cuando la arena se humedece demasiado se hace pegajosa.

Se puede establecer la relación $C/H = M_2$ o C/H mínimo, es decir donde la arena pierde sus propiedades. La arena no puede emplearse abajo de $C/H = M_2$ ni en $C/H = M_1$ pues en estas condiciones la arena es seca, sin plasticidad y difícil de trabajar. Se trabaja la arena entre estos dos límites obteniendo, como se verá posteriormente, el C/H óptimo.

Resolviendo las ecuaciones para encontrar el punto de intersección, o sea, la cohesión máxima, se tiene:

$$C/H = M_1 \quad \text{----- 1}$$

$$C H = K' \quad \text{----- 2}$$

Despejando C en 1 tenemos:

$$C = M_1 H$$

Sustituyendo en 2:

$$(M_1 H) H = K' \quad ; \quad H^2 M_1 = K'$$

Despejando H resulta:

$$H = \sqrt{K' / M1}$$

Despejando H en 1

$$H = C/M1$$

Sustituyendo en 2 se tiene:

$$C^2/M1 = K'$$

Despejando C se obtiene:

$$C = \sqrt{K' M1}$$

Como se ve los valores K' y $M1$ permiten definir exactamente el efecto de la humedad sobre la cohesión en verde de la arena.

El contenido de bentonita sobre los factores C/H y $C H$ se han interpretado de la siguiente manera:

El $C H$ es proporcional al cuadrado del contenido de la bentonita, ---
 $C H = K' A^2$, sobre el C/H óptimo no hay prácticamente influencia y podría decirse que representa el grado de humectación, pues arriba de $C/H = M1$ la arena es seca y abajo de $C/H = M2$ es demasiado húmeda y pegajosa.

Aplicaciones del conocimiento de los factores $C H$ y C/H

A.- Calidad de una bentonita; como hay independencia entre el $C H$ y el análisis granulométrico y la presencia de partículas finas, los factores que pueden alterar el producto son la calidad y cantidad de una bentonita. La calidad de una bentonita puede juzgarse por el $C H_{10}$; $C H$ obtenido -- con la incorporación de 10 % de bentonita.

B.- Rendimiento del molino del taller; se ha visto que el $C H$ de una arena depende de la carga, esto se puede ilustrar si por ejemplo, para un molino de laboratorio el $C H$ máximo se obtiene con 2 kg. de carga siendo -

su capacidad nominal de 6 kg de arena. El motor del molino del laboratorio es de 1/3 H.P. manteniendo esta misma relación, un molino de 200 kg necesitaría un motor de 33 H. P.

Se ve pues que el molino del taller no podrá tener la eficiencia de mezclado que la del laboratorio.

Puede considerarse la eficiencia del molino del laboratorio como igual al 100 % y referir la del taller a él; así se puede definir la eficiencia del molino del taller como sigue:

$$E = \frac{C H \text{ taller}}{C H \text{ laboratorio}} \times 100$$

Esta eficiencia está comprendida normalmente entre 80 y 90 %. En caso de ser menor es indudable que hay algún desajuste en el molino. Si es mayor del 90 % puede ser que las cargas sean pequeñas por lo que se está desperdiciando energía.

Es conveniente controlar la eficiencia del molino del taller, pues permite detectar alguna falla ó anomalía.

C. Control diario de las arenas de moldeo: el exámen por separado de la cohesión y la humedad es difícil de efectuar; por ejemplo, si la cohesión aumenta, puede deberse a una regeneración elevada o a un desajuste en la humedad, es necesario analizar también ahora la curva humedad contra tiempo. Por lo que se ha visto, si una arena permanece constante, su C H también permanece. Si varía la humidificación varía también el C/H.

Es conveniente establecer los límites inferior y superior para el C H y el C/H y el $C H_{10}$, determinar estos valores y graficarlos. El análisis de estas curvas permite obtener conclusiones importantes, así, si el C H no varía pero el C/H sí, es debido a que el operador tiene problemas para controlar la humedad. Si varía el C H pero no el C/H puede deberse a la cali-

dad de la bentonita, por lo que debe vigilarse el $c H_{10}$, esto se verifica también con la curva de la eficiencia del molino que no debe variar. Si varía el $C H$ pero no la eficiencia del molino, será debido a desajustes en el molino.

D.- Control de las adiciones de Bentonita: puede variarse a voluntad el $C H$ de una arena haciendo uso de las ecuaciones enunciadas en párrafos anteriores, sobre todo $C H = K' A^2$.

Variación de la densidad con la conductividad térmica en la arenas de moldeo.

En la literatura sobre fundición se habla de que piezas que solidifican contra superficies de arena cuyas densidades de apisonamiento fueron preparadas a distintos valores, muestran diferentes cantidades de aleación solidificada por unidad de tiempo. Esto ha dado lugar a que se concluya que la densidad de la arena apisonada produce variaciones en la velocidad de solidificación, esto es, que hay una relación definida de la densidad con sus coeficientes de transferencia calórica. Rao B. B. y Williams D.C. (5) son los autores del estudio más reciente sobre la relación de dos parámetros: densidad y conductividad térmica. En su estudio se concluye que al incrementar la densidad aumenta la conductividad. Y al aumentar la humedad se incrementa la conductividad. Sin embargo, se observaron en sus ensayos contenidos de agua donde la conductividad térmica es sensible a cambios de humedad y rangos donde se observó completa insensibilidad, también se observó que las adiciones de harina de madera y carbón marino decrecen la conductividad.

CAPITULO II TRABAJO EXPERIMENTAL

Los ensayos experimentales de este trabajo se refieren al estudio de algunas propiedades físico-mecánicas utilizando aparatos no convencionales -- en mezclas de arena-bentonita-agua variando el contenido de bentonita a humedad constante y el contenido de humedad a bentonita constante. Las mezclas experimentadas y las propiedades determinadas a las mismas se describirán en el desarrollo de este capítulo.

El contenido de humedad de una mezcla de arena, puede variarse para -- su estudio, de dos maneras: la primera, modificando el % de agua adicionada desde el inicio de la preparación de la mezcla; la segunda, a partir de una mezcla con elevado contenido inicial de agua, ensayarla y con esa misma -- mezcla obtener una serie de mediciones, permitiendo la evaporación de la -- misma antes de cada operación. Este último método se conoce como "deshidratación". Ambos procesos se incluyen en este trabajo.

Simultáneamente a las propiedades físicas, se determinaron a las mismas mezclas las propiedades térmicas, difusividad " α " y conductividad -- " K ". Para el desarrollo de éstas últimas se empleó el método de fusión y solidificación. La experimentación no fué realizada directamente por el autor de este trabajo. El fundamento teórico y el trabajo experimental detallado sobre el mismo se encuentra en la referencia 6. Para los fines de este trabajo solo se tomaron en cuenta los resultados obtenidos por este método.

Este capítulo se divide en tres secciones:

- 1) Secuencia de Trabajo.
- 2) Estandarización del Equipo.

3) Prueba de Desecación y de Variación de Humedad Agregada.

A continuación se procede a desarrollar cada una de éstas secciones:

1) Secuencia de Trabajo

La secuencia de las experiencias que se realizaron en este trabajo se rigieron por las tres siguientes operaciones:

- A) Preparación de la mezcla.
- B) Preparación de la probeta para ensayo.
- C) Realización de las pruebas físico-mecánicas.

A continuación se hace una descripción de cada una de ellas.

A) Preparación de la mezcla.

Se pesó la cantidad de Arena Silica y Bentonita Sódica correspondiente al % en peso que se deseaba de cada una de ellas en la mezcla y se colocaron en un recipiente hermético (con el fin de evitar la absorción de -- humedad por la bentonita). Al mismo tiempo con una probeta (para análisis volumétricos) se tomaba un volumen de agua equivalente al % en peso de - la misma necesario para completar el 100 % de la mezcla.

La mezcla de arena y bentonita se colocaban en el interior del molino Simpson*, distribuyendo la carga uniformemente entre las ruedas del mismo. Se cerraba entonces el molino para evitar pérdidas por polvos y se --- ponía a funcionar por un tiempo determinado. Posteriormente y estando aún funcionando el aparato se adicionaba el agua por el alimentador central y se mantenía en operación por un tiempo previamente fijado.

Finalmente se abría la compuerta de desalojo del aparato y se hacía - pasar a través de una malla del núm. 5 la totalidad de la carga. Se colocaba en el interior de un recipiente hermético y se distribuía para su uso:

* El molino se detalla en el apéndice 1.

tres cuartas partes se utilizaron para determinar propiedades térmicas y - de la restante se tomó una muestra para determinar humedad y otra para practicar pruebas mecánicas de la mezcla.

B) Preparación de la probeta para ensayo.

Este procedimiento requirió del diseño del tubo que serviría como molde para la elaboración de la probeta. Tomando en consideración que la probeta tendría que presentar las dimensiones de la norma, se maquinaron dos tubos de acero. Uno de ellos era de una sola pieza y el otro bipartido (se mantenía unido por un anillo de acero que fijaba las dos partes). Los tubos mostraban un diámetro interior de 2 ± 0.001 pulg. y una altura de 12 cm.

El acabado interior de ambos fué pulido a espejo. En la base de ellos se colocó una placa circular del mismo material que penetraba 0.5 cm en el interior y servía como fondo. Se maquinó un pistón de acero que penetraba justamente en el interior de los mismos. Este era el dispositivo que transmitiría la fuerza aplicada a la arena por la máquina de tracción.

El tubo bipartido se utilizó para las pruebas de resistencia a compresión y densidad de la probeta. El tubo de una pieza se restringió a las pruebas de compresibilidad y densidad a granel, aunque en realidad fué muy poco usado.

Se colocaron de 150 a 170 g de muestra en el tubo bipartido, que servirá de molde para producir una probeta cilíndrica de 2 pulg de diámetro por 2 pulg. de altura, de acuerdo a la norma A. F. S. Se evitó el sacudir el molde para que la arena se distribuyera espontáneamente.

Se introdujo el pistón en el tubo y este dispositivo se colocó en las

mordazas de la máquina Universal de tracción. Se aplicó una carga de 202 kg. sobre el área circular de la probeta (ésta carga es equivalente a la aplicación de 10 kg/cm^2).

Desprendiendo el anillo que sujeta a las dos partes del tubo se puede fácilmente separar la probeta del dispositivo. La probeta está ahora en condiciones de ser ensayada.

La variación del peso de la muestra se debe a la diferente composición de la mezcla, o sea, al contenido de bentonita sódica y a la cantidad de agua presente.

Este método no se varió durante toda la experiencia y fué así como se pudo determinar las pruebas que se mencionarán.

C) Realización de la prueba mecánica.

Las pruebas a determinar tomando en consideración la importancia de las mismas y el equipo con que se cuenta para su realización fueron las siguientes:

- a) Resistencia a la Compresión " C " (lb/pg^2)
- b) Humedad " H " (%)
- c) Densidad de probeta " ρ " (gr/cm^3)
- d) Compresibilidad (%)
- e) Densidad a Granel " ρ_g " (gr/cm^3)

Dado que el equipo no es el convencional para cada una de estas pruebas es necesario explicar la manera como se realizaron en este trabajo:

a) Resistencia a la Compresión. La probeta obtenida se colocó nuevamente en las mordazas de la máquina de tracción y se aplicó una carga continua en kg sobre el área circular de la misma y se registró en la es-

cala adecuada la carga máxima soportada por la probeta, antes de su ruptura.

Teniendo el banco móvil en su posición de reposo, (una vez que se adaptó la máquina. Ver adaptación de la máquina en la sección 2 de este capítulo), se procede a ajustar las dos agujas de la máquina en el cero de la escala.

Se cerciora el operador de que la válvula del recipiente que contiene al aceite esté perfectamente cerrada. Se empuja hacia adelante la palanca que pone en movimiento al banco. Antes debe de ajustarse la velocidad de aplicación de la carga con el volante que tiene en la parte frontal. El banco sube junto con la probeta y cuando hace contacto con la parte fija del aparato la aguja empieza a registrar.

Cuando la probeta ha roto y la aguja loca ha quedado fija se retrocede la palanca quedando detenido el banco. Posteriormente se abre la válvula del aceite, descendiendo así el banco. Se procede a limpiar de terrones las mordazas y se toma nota de la carga máxima soportada por la probeta.

Cada prueba se realizó 5 veces para poder determinar su desviación estandar y coeficiente de variación. (Resultados en el apéndice 2).

La lectura obtenida en kg por toda el área de la probeta se convierte a kg/cm^2 y posteriormente a lb/plg^2 con el fin de comparar estos resultados con los obtenidos con el equipo específico para estas pruebas que generalmente viene calibrado en unidades inglesas.

b) Determinación del contenido de Humedad. Se pesaron en un vidrio de reloj 50 g (con una aproximación hasta centésimos) de la muestra (en adelante se llamará "muestra" a la mezcla de arena sílica, bentonita sódica y agua en distintos porcentajes) en una balanza analítica. Se introduje--

ron a la mufla a una temperatura de aproximadamente 110 °C durante una -- hora. Se hace notar que previamente se puso a peso constante el vidrio de reloj de la manera convencional. Posteriormente se colocó en el desecador por 15 min. y se volvió a pesar.

Por diferencia de pesos (antes y después de estar en la mufla) se --- calculó el porcentaje de humedad contenida en la muestra de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% H = \frac{P_o - P_f}{P_o} \times 100$$

en donde:

P_o = Peso de la muestra antes de llevarlo a la mufla.

P_f = Peso de la muestra después de estar en la mufla.

c) Densidad de la Probeta. La densidad de la probeta es la rela--- ción existente entre el peso de la muestra que se determinó experimen-- talmente para dar la probeta dentro de especificaciones de norma, y el volumen del cilindro que tiene esas dimensiones.

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

d) Compresibilidad. La prueba de compresibilidad se desarrolló de -- esta manera: el molde para probeta se llenó de la muestra, tratando de que la distribución fuera uniforme en su interior. Se adiciona un exceso de -- muestra con el fin de facilitar el acomodamiento de la misma en el interi-- or del molde. Este exceso se eliminó en dos partes rasando con una espátu-- la desde la parte central del montículo formado.

Se pone el pistón en su parte superior y se realiza la compresión en

la máquina de tracción aplicando la carga de 202 kg.

Se mide la altura de la probeta y por medio de la siguiente fórmula - se calcula el porcentaje de compresibilidad:

$$\% \text{ Compresibilidad} = \frac{H_o - H_f}{H_o} \times 100$$

en donde:

H_o = altura inicial de la muestra, que corresponde a la altura original del molde.

H_f = altura de la probeta una vez aplicada la carga.

e) Densidad a granel. Para ésta determinación se hizo uso de la probeta obtenida en la prueba de compresibilidad. Se pesó la probeta y se relacionó con el volumen del molde. A diferencia de la prueba de densidad de la probeta en el que el volumen correspondía al de la probeta norma.

$$\rho_{\text{granel}} = \frac{\text{Peso de la Probeta de Compresibilidad}}{\text{Volumen del molde.}}$$

2) Estandarización del Equipo.

Este proceso requirió la adaptación y en ciertos caso el diseño de -- piezas necesarias para ajustar lo mas posible las pruebas a la forma como convencionalmente se realizan.

Para entrar en detalle sobre la operacion se seguirá la secuencia -- de trabajo establecida anteriormente:

A) Preparación de la mezcla.

Llevó implícito la adaptación del molino al requerimiento deseado, a sí como la determinación de los parámetros de tiempo de molienda, carga y mezcla óptima de arena que producirían los valores más altos en sus propie

dades mecánicas. Se analizan cada uno de estos parámetros:

a) Sobre la adaptación del molino. Se diseñó un dispositivo alimentador y distribuidor de agua, de tal manera que la mezcla fuera lo más homogénea - posible. Se realizó con una manguera y quedó fijo al rotor del molino.

b) Sobre la adaptación de la máquina universal de tracción* Esta máquina presenta un rango de carga que se puede aplicar desde 1 000 kg hasta 20 000 kg.

Tomando en cuenta que la carga máxima a aplicar en esta experiencia -- fué de 202 kg, se seleccionó la carga mínima.

Se procede a arrancar el aparato. Para ajustar a cero las agujas de la carátula se empuja hacia adelante la palanca colocada en la parte lateral - inferior de la máquina. Con el volante de la parte frontal se regula velocidad de aplicación de la carga. Esta fué de 0.05cm/seg.

Al iniciarse el movimiento ascendente del banco, las agujas se desplazan una cierta distancia, ya que se debía vencer la inercia del banco. Al superarse esta resistencia, las agujas tienden a regresar a su posición original. La aguja loca se ajusta a cero con el botón que tiene la carátula en su parte central. La aguja fija se ajusta con la varilla colocada en la parte superior izquierda, se hace girar en el sentido en que se desee desplazar - la aguja.

Una vez realizada esta operación se selecciona la graduación conveniente para el rango que se necesita; para este trabajo la escala interior en - negro se tomó en cuenta; de esta forma cada división en ella representa 2 kg.

* Se detalla en el apéndice 1.

Siempre se dejaba 5 min. encendida antes de poder realizar cualquier ensayo, esto se hacía con el fin de purgar el aparato.

c) Sobre la estandarización de la muestra (Tiempo óptimo)

1) Determinación del tiempo óptimo de mezclado. Se describe en función de éstas etapas:

- Selección de una mezcla base. Para esta experiencia se utilizó la composición:

Bentonita Sódica	8 %
Agua	4 %
Arena sílica	<u>88 %</u>
	100 %

- Selección de una carga base. Para la prueba se utilizó una carga de 2 kg.

- Se cargó el molino con la mezcla de bentonita sódica y arena sílica, se puso en marcha, después de un tiempo determinado de molienda en seco, se adicionó el porcentaje de agua necesario para completar el 100%.

- Esta experiencia se repitió para distintos tiempos según la tabla 1.

- Las mezclas anteriores se pasaron por una malla del núm. 5 con el fin de eliminar los terrones que llegaran a formarse.

- Se determinó humedad y resistencia a la compresión así como la compresibilidad por los métodos descritos en la sección 1 de este capítulo.

- Los resultados se proporcionan en la tabla 1.

- Estos datos se graficaron y se presentan en la fig. 1

TABLA 1

Tiempo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Tiempo en seco	1 min.	1.5 min.	2.0 min.
Tiempo en Húmedo	1.5 min.	2.0 min.	3.0 min.
Tiempo Total	2.5 min.	3.5 min.	5.0 min.
$C' (lb/plg^2)$ <i>compres.</i>	5.83	5.97	5.55

(1) **Determinación de la carga óptima.** Para determinar la carga óptima se tomó como parámetros el tiempo y los componentes de la mezcla.

- El tiempo fué el óptimo obtenido en la prueba anterior (3.5 - minutos en total), el cual en toda la parte experimental y para cualquier prueba realizada a la muestra no se modificó.

- Los componentes de la muestra nuevamente fueron:

Bentonita Sódica	8 %
Agua	4 %
Arena sílica	88 %

- Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 2.

TABLA 2

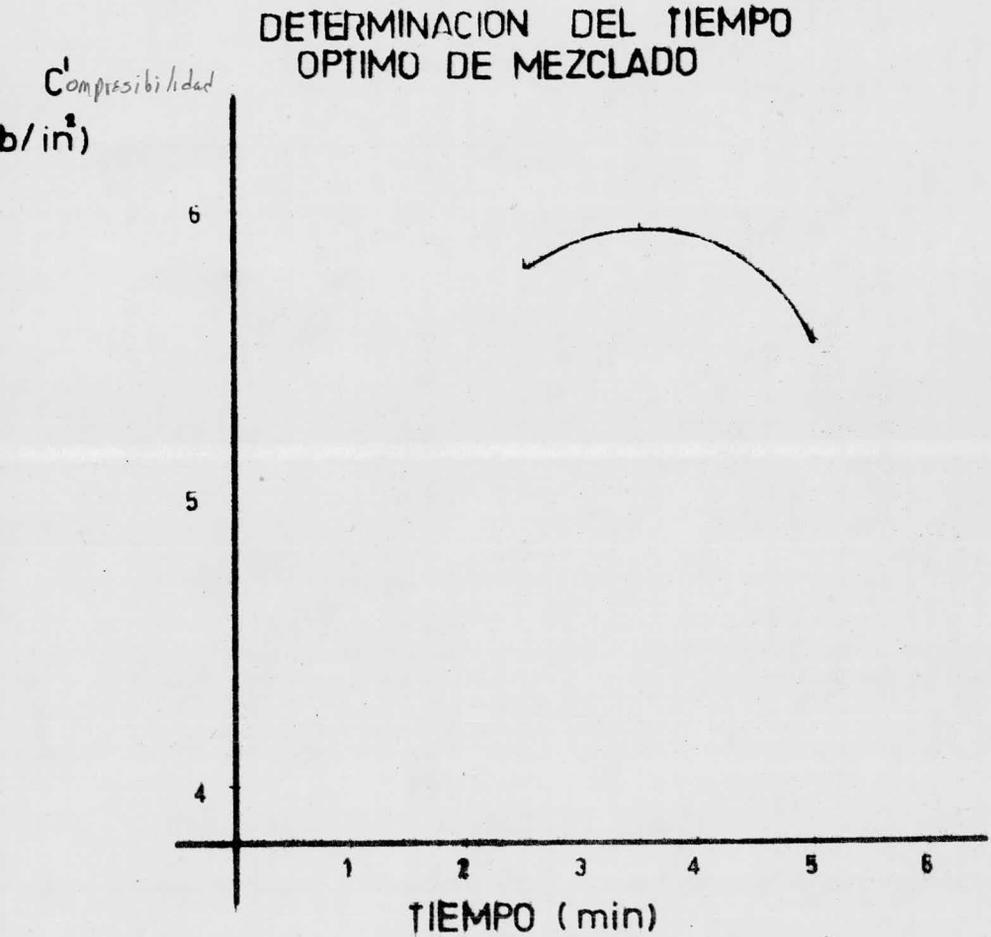
Carga (Kg)	1	2	3	4
$C' (lb/plg^2)$	3.8	6.31	7.72	7.7

Estos valores se grafican en la fig. 2.

- Se cargó el molino de la misma manera y el agua fué adicionada en el tiempo fijado, y a en marcha el aparato.

- Las cargas que se ensayaron: 1, 2, 3, y 4 kg.

FIG. 1



TESIS: U.N.A.M.
R. Arellano A.
1977

- Se checaron sus propiedades mecánicas como en la prueba anterior y los resultados se mencionan en la fig. 2.

III) Determinación de la mezcla óptima. Principalmente tubo importancia para fijar los límites en los cuales se podían mezclar los componentes de la muestra de acuerdo a las propiedades mecánicas que presentaba. Esto evitó el que se hicieran pruebas innecesarias con mezclas bajas en contenido de bentonita sódica con respecto a la arena y al agua utilizada. Otro de los aspectos importantes es que la comparación de las propiedades mecánicas y térmicas se basaron a la mezcla cuyas características mecánicas eran mejores.

- El tiempo fué 3.5 min (1.5 en seco y 2 en húmedo) seleccionado de acuerdo a los resultados anteriores.

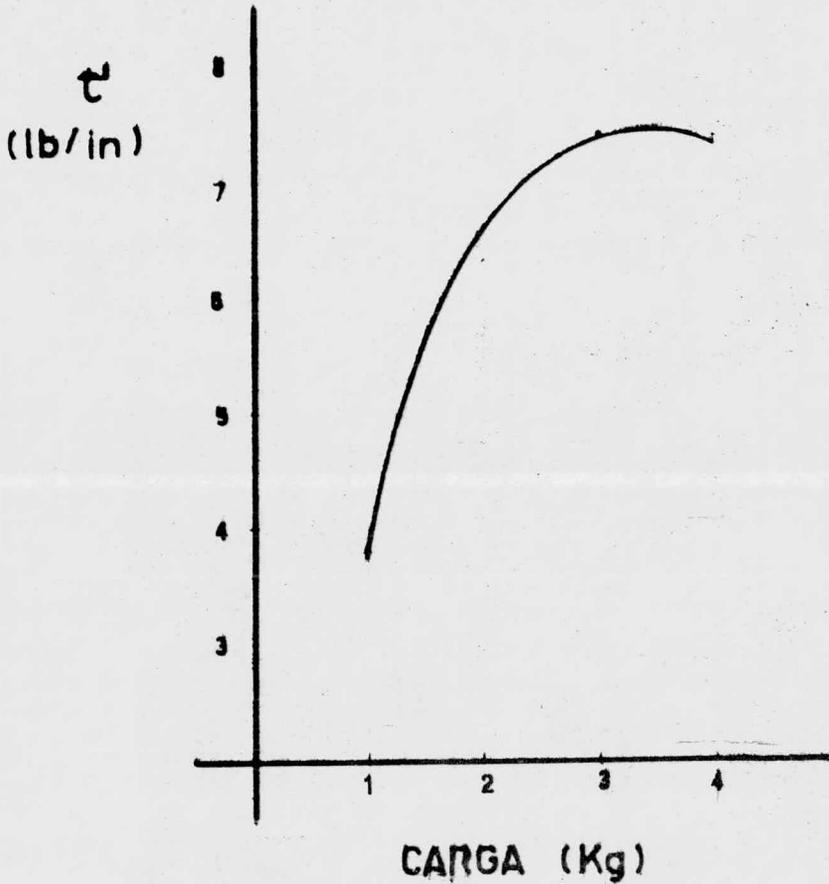
- La carga fué de 3 kg. seleccionada conforme a los resultados anteriores, siendo la óptima.

- Se utilizaron distintas formulaciones; manteniendo constante el porcentaje de humedad, se varió el contenido de bentonita de la siguiente manera:

M 1.	4 % Bentonita S.	M 5.	12 % Bentonita S.
	4 % Agua		4 % Agua
	93 % Arena Sílica		84 % Arena Sílica
M 2	6 % Bentonita S.	M 6.	14 % Bentonita S.
	4 % Agua		4 % Agua
	90 % Arena Sílica		82 % Arena Sílica

FIG. 2

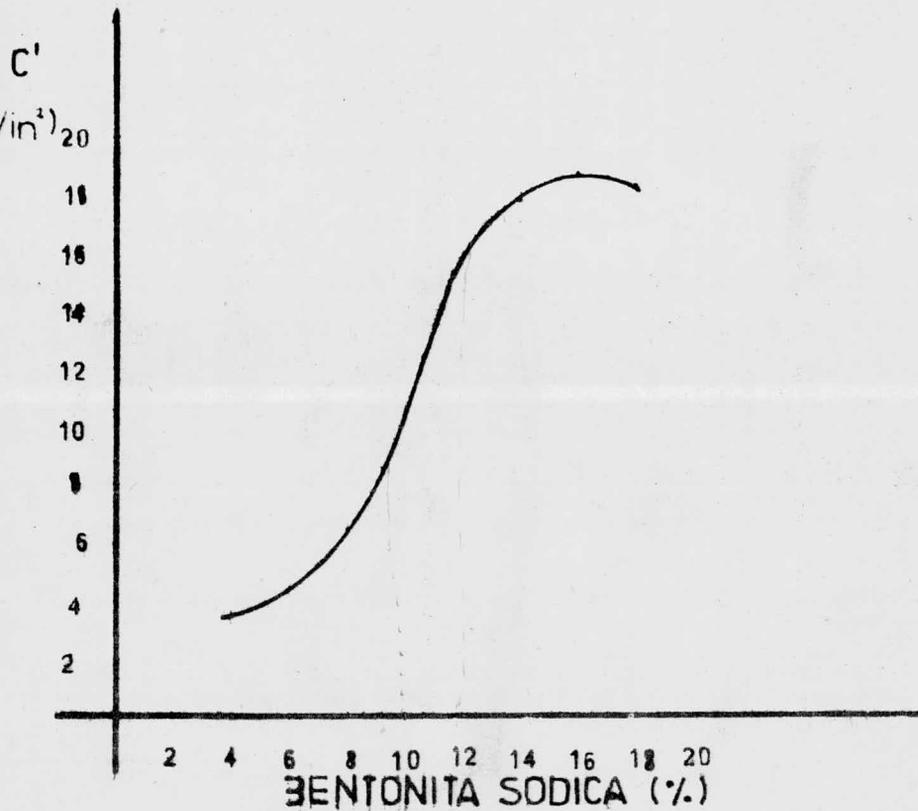
DETERMINACION DE LA
CARGA OPTIMA



TESIS: U.N.A.M.
R. Arellano A.
1977

FIG. 3

VARIACION DEL CONTENIDO DE
BENTONITA SODICA



TESIS: U.N.A.M.
R. Arellano A.
1977

M 3.	8 % Bentonita Sódica	M 7.	16 % Bentonita S.
	4 % Agua		4 % Agua
	88 % Arena Sílica		80 % Arena Sílica.
M 4.	10 % Bentonita Sódica	M 8.	18 % Bentonita S.
	4 % Agua		4 % Agua
	86 % Arena Sílica		78 % Arena Sílica.

- Se cargó el molino como en las anteriores experiencias y se procedió de la misma manera al adicionar el agua.

- Se tomaron también pruebas de cada muestra, los resultados se tabularon en la tabla 3.

TABLA 3

Cont. de B. S.	4	6	8	10	12	14	16	18
Humedad (%)	3	4	4	4	4	4	4	4
C' (lb/plg ²)	3.27	4.27	6.54	10.38	15.92	17.91	18.63	18.34
Arena S. (%)	93	90	88	86	84	82	80	78

Estos datos se grafican en la fig. n.ºm. 3

3) Prueba de Deseccación y de Variación de Humedad Agregada.

A) Prueba de Deseccación. La prueba de desecación se realizó con una muestra conteniendo 10 % de Bentonita Sódica, 8 % de Agua y el 82 % de Arena Sílica (40/45 A. F. S.).

Primeramente se cargó el molino con la mezcla anterior, tomando en cuenta el tiempo óptimo calculado y colocando 3 kg como carga óptima.

A esta muestra, una vez pasada por un tamiz del n.ºm. 5 se checkaron --

sus propiedades físicas, tales como; resistencia a la compresión, densidad, compresibilidad y densidad a granel. Se evitó tener pérdidas durante la operación, para lo cual fué necesario recuperar toda la arena del molino a al como de la máquina de tracción. La única pérdida que se tuvo fué la co respondiente a la muestra tomada para la determinación del contenido de humedad, debido a que una vez seca no era posible integrarla al resto de la mezcla que aún presentaba una humedad determinada.

Una vez recuperada la mayor carga posible se procedía a colocarla -- huevamente en el molino. Se mantenía la muestra durante 10 min. estando en funcionamiento el aparato. Se repetía el proceso de vaciado de la mezcla, nuevamente se tomaba una muestra de aproximadamente 200 g para determinación de humedad; se checaban las pruebas físicas para esta muestra y se anotaba en un cuadro de datos.

Se repetía la operación anterior para la mezcla que estuvo 10 min. dentro del molino. Los datos obtenidos se presentan en la tabla 4.

Estos datos se grafican en las figs. 4, 5, 6 y 7.

La mezcla inicial presentaba la siguiente formulación:

10 % Bentonita Sódica.
 8 % Agua
 82 % Arena sílica. (40/45)

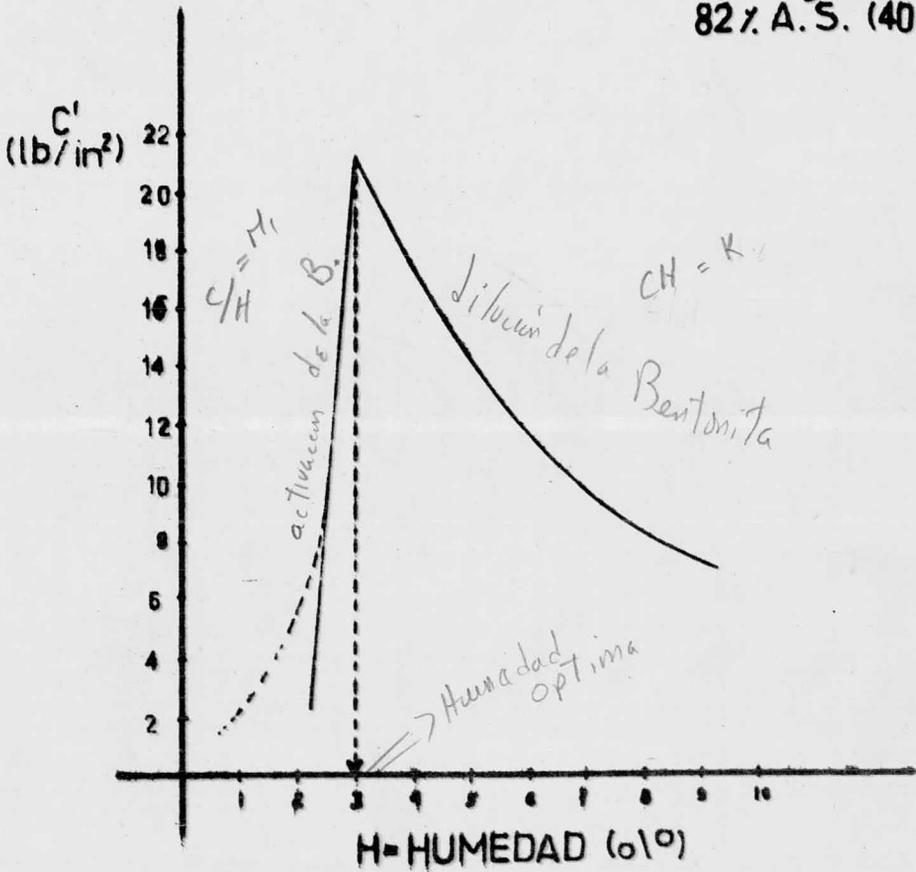
TABLA 4

Prueba	1	2	3	4	5	6	7
Peso (g)	3 000.0	2672.0	2617.5	2488.5	2382.8	2240.0	2149.0
Peso de la probeta (g)	165.2	165.2	164.5	164.0	161.2	156.2	161.2
Tiempo (min.)	3.5	10	10	10	10	10	10
Resist. a la compresión (lb/plg ²)	7.82	9.10	11.23	14.65	16.92	21.04	6.97
Humedad (%)	8.2	7.5	5.9	4.9	3.4	3.0	2.5
Compresibilidad (%)	33.70	42.78	40.00	46.86	54.17	70.34	81.39
Densidad de la probeta (g/cm ³)	1.603	1.603	1.597	1.592	1.565	1.516	1.565
Densidad a granel (g/cm ³)	0.55	0.69	0.62	0.73	0.83	1.16	1.33

FIG. 4

DESECACION

10% E. S.
8% Agua
82% A. S. (40/45)

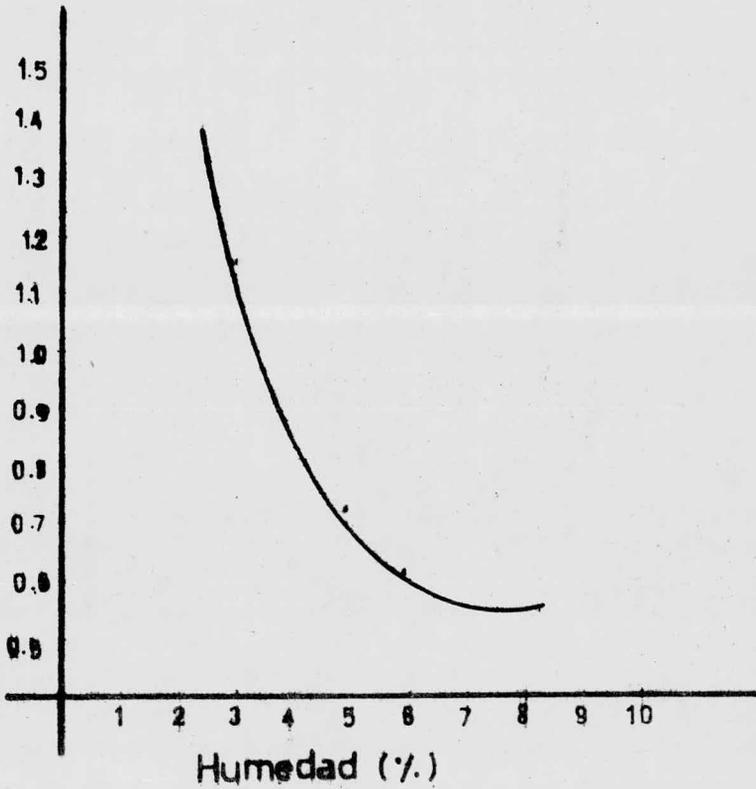


TESIS: unam.
R. ARELLANO A.
1977

FIG. 5

DESECACION

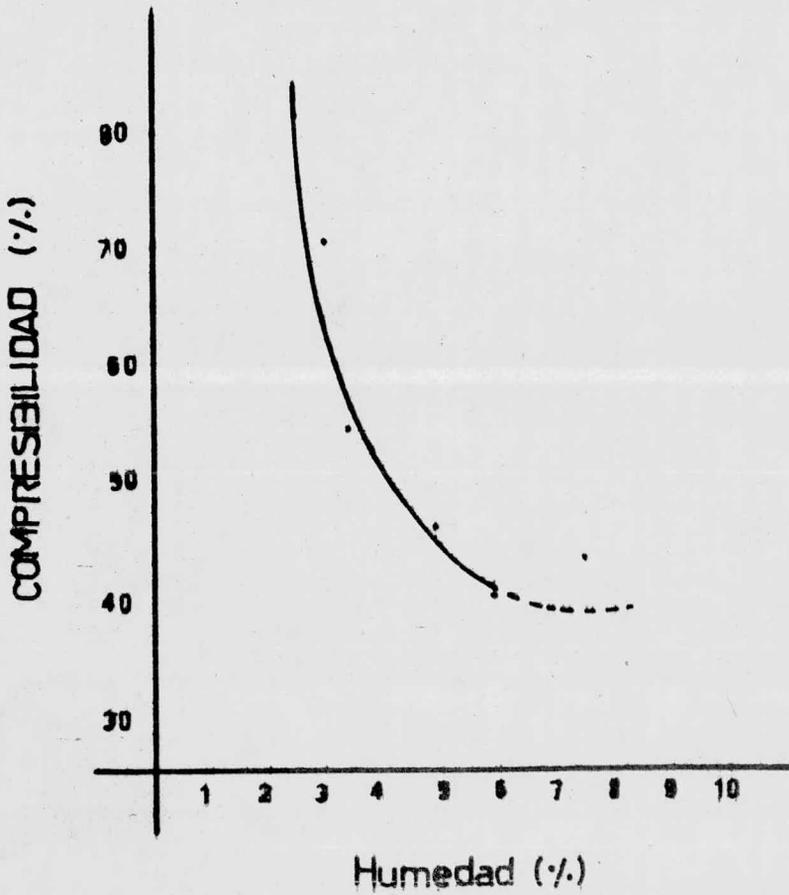
granel
(/cm³)



TESIS: U.N.A.M.
R. Arellano A.
1977

FIG. 6

DESECACION

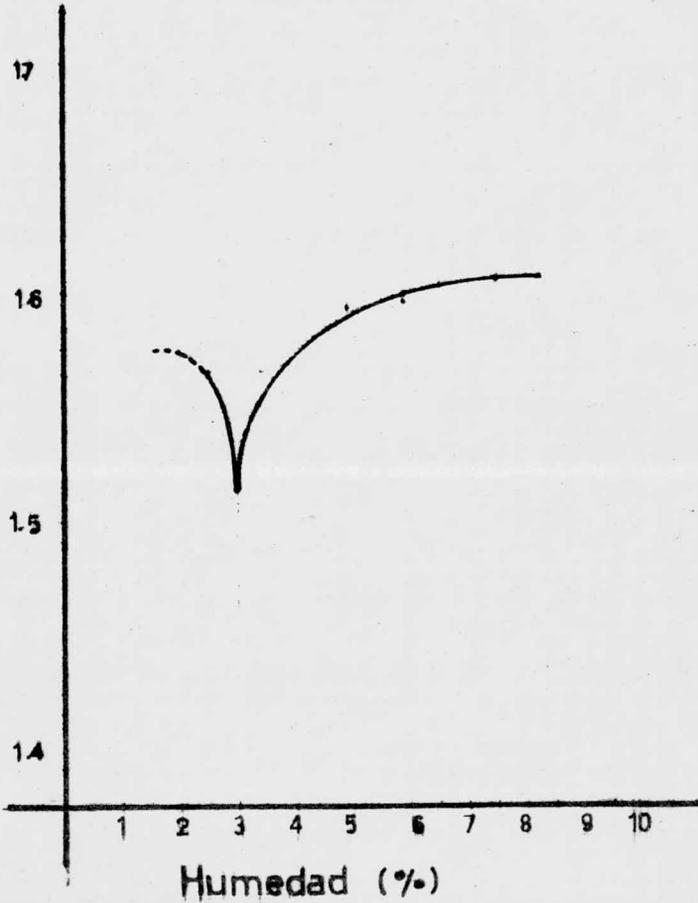


TESIS: U.N.A.M.
R. Arellano A.
1977

FIG. 7

DESECACION

ρ
(g/cm³)



TESIS: U.N.A.M.
R. Arellano A.
1977

B) Prueba de variación de humedad agregada.

Se con-

sideraron las pruebas físicas a partir de mezclas en las cuales el agua --
adicionada fué gradualmente aumentando. Para esto fué necesario repetir la
misma secuencia de operación. Debido a que las experiencias de este tipo --
se desarrollaron con mayor rapidez, ya que el método en sí lo permitía, --
fué posible ensayarlas de un mayor número de muestras con distintos con--
tenidos de aglutinante (bentonita). En el caso de la desecación se selec--
cionó como base una única formulación que por sus características corres--
ponde a una de las mezclas con mejores propiedades físicas.

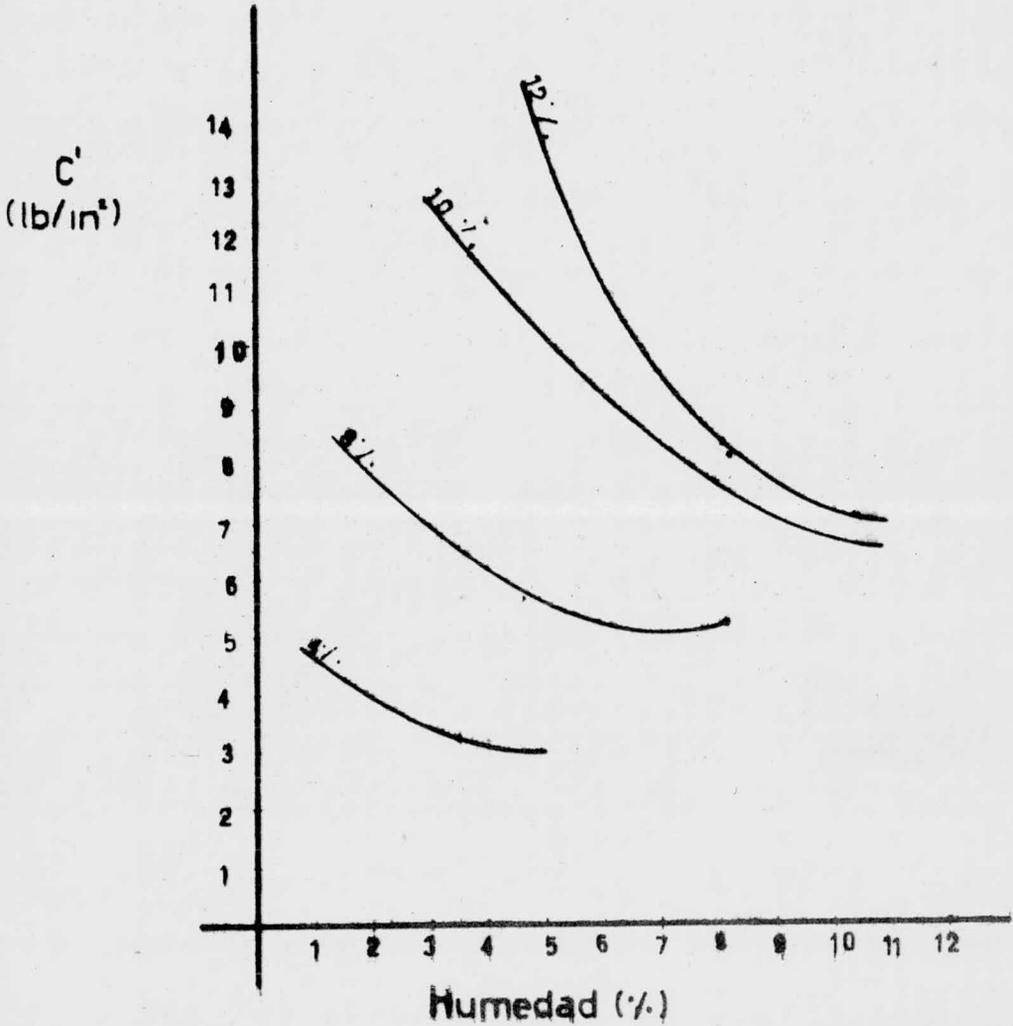
A continuación se presenta una tabla conteniendo los valores encontrados
en esta prueba. (Tabla 5 y Fig. 8)

MEZCLA			PESO (g)	C'		H (%)	PESO ESP. g/cm ³	PESO ESP. A GRANEL g/cm ³
B. S. (%)	Agua (%)	A. S. (%)		lb/plg ²	kg/cm ²			
4	2	94	150.2	3.79	0.266	2.3	1.46	0.92
4	2.5	93.5	150.2	3.52	0.246	2.6	1.45	0.88
4	3	93	152.7	3.23	0.227	3.5	1.48	0.83
6	4	90	155.7	4.21	0.296	4.4	1.51	-
8	4	88	157.2	5.65	0.355	4.6	1.52	0.85
8	8	84	164.2	5.26	0.370	8.1	1.59	0.87
10	3	87	156.7	10.95	0.770	3.4	1.52	0.89
10	4	86	156.7	12.28	0.864	4.0	1.52	0.72
10	6	84	161.7	7.86	0.550	6.3	1.57	0.65
10	8	82	165.2	8.14	0.572	8.2	1.60	0.63
10	10	80	169.2	5.61	0.395	10.5	1.64	0.62
12	4	84	156.7	7.72	0.543	4.9	1.52	-
12	5	83	158.2	11.93	0.839	5.3	1.53	-
12	6	82	163.2	12.63	0.880	6.4	1.58	-

(continúa tabla de datos)

12	8	80	167.2	8.42	0.592	8.1	1.62	-
12	10	78	167.2	7.02	0.493	10.4	1.62	-
14	4	82	156.7	17.55	1.234	4.5	1.52	0.88
16	4	80	157.7	18.74	1.318	4.2	1.53	0.94
18	4	78	160.2	18.39	1.293	4.3	1.55	1.09

FIG. 8



TESIS: U.N.A.M.
R. Arellano A.
1977

CAPITULO III DISCUSION DE LOS RESULTADOS.

En este capítulo se procede a discutir sobre las limitaciones de la experimentación y fundamentalmente se procede a interpretar los resultados obtenidos en este trabajo.

a) Adaptación del molino. El molino Simpson trabajó perfectamente aun cuando en ocasiones el tiempo en que estuvo funcionando llegó a ser de 10 min. continuos. El mantenimiento del mismo fué mínimo ya que se facilitaba mucho su limpieza, puesto que se podía desmontar su pared circular y quedar las ruedas al descubierto. El alimentador y distribuidor de agua fué en el curso de la experiencia modificado. Los extremos de la manguera fueron cortados diagonalmente con el fin de evitar que la muestra se introdujera en el interior de la misma. Era necesario en cada prueba checar que las ruedas hicieran contacto con la base del molino.

Cuando el contenido de agua en la mezcla era muy elevado (mas del 60 % del contenido de bentonita sódica), la muestra casi formaba un lodo que ascendía por las cuchillas y era necesario abrir el molino y distribuir nuevamente la mezcla. Si el contenido de agua era muy bajo, la eficiencia del molino disminuía considerablemente; puesto que en la parte inferior de las cuchillas la bentonita, cuya finura era mucho mayor que la de la arena tendía a agruparse. Nuevamente era necesario parar el molino y con una espátula y brocha se provocaba la distribución de la misma. En todas las ocasiones se observó un residuo de muestra sin mezclar.

El hecho de aumentar la bentonita no afecta a la preparación de una mezcla uniforme a menos que la cantidad agregada sea muy desproporcional al

contenido de agua, por lo cual la probabilidad de que el aglutinante (bentonita sódica) afectará a la homogeneización se explica desde el punto de vista de la humedad que presenta.

b) Discusión sobre la estandarización y uso de la máquina universal de tracción. Realmente en el uso de la máquina no existieron inconvenientes. Lo que sería un tanto problemático es la sensibilidad y precisión de las mediciones hechas debido a que la máquina está diseñada para grandes cargas. Es satisfactorio describir los resultados como muy aproximados a los obtenidos con el equipo específico para cada ensayo en un laboratorio de control de calidad de arenas. (Ver comparación de resultados en el apéndice 3).

c) Discusión sobre la estandarización de la muestra.

Determinación del tiempo óptimo. El criterio para seleccionar la carga de 2 kg. Inicialmente y el porcentaje de cada uno de los componentes se basó en las experiencias realizadas mas frecuentemente en el laboratorio y en el taller. Los resultados obtenidos se encuentra en la tabla 1 y la figura 1.

Realizando un análisis de la curva presentada, claramente se ve que el tiempo correspondiente a 3.5 min. en total de molienda proporciona una mezcla con la máxima resistencia a la compresión para esa formulación. Todas las experiencias se realizaron con este parámetro, por lo que se considera como el tiempo óptimo de mezclado y todas las experiencias se realizaron con el parámetro ya fijo.

d) Discusión sobre la determinación de la carga óptima. Para esta experiencia se tomó en cuenta la cantidad que se necesitaría para hacer las muestras requeridas para ensayo de propiedades físicas, mecánicas y térmicas de

la arena.

La capacidad del molino en cuanto a volumen era una limitación que había que considerar para poder seleccionar la carga.

El otro factor a considerar para obtener la carga óptima será la resistencia a la compresión que produciría cada una de ellas, es decir, la carga con mayor resistencia a la compresión sería considerada como la óptima. Los resultados se presentan en la tabla 2 y la figura 2.

Como se puede apreciar fácilmente, cargas de un kilogramo no son recomendables dada la baja resistencia que presentan a un esfuerzo de compresión, las de 2 kg ya presentan una mayor resistencia. Las de 3 y 4 kg. dieron valores muy semejantes y aun mejores que para la de 2 kg.; por lo que no se siguió probando con cargas mayores. Ambos valores fueron aceptables. La de 4 kg. representaba un desperdicio de material de 1 1/4 kg. aproximadamente. Tomando en cuenta que solo se contaba con una cantidad limitada de materias primas como son arena sílice 40/45 y bentonita sódica; se optó por trabajar con cargas de 3 kg.

Es probable que adicionando cargas mayores a 4 kg. se incremente la resistencia a la compresión de esa mezcla, por lo cual, parte de futuras investigaciones partirán de este tipo de pruebas.

e) Sobre la determinación de la mezcla óptima. Considerando el tiempo de 3.5 min. en total de molienda y la carga de 3 kg. se varió el contenido de bentonita sódica. La humedad se mantuvo también constante y el porcentaje de arena sílice se ajustó al 100 %. La humedad fué del 4 %, los resultados de resistencia a la compresión se encuentran en la tabla 3 y fig. 3.

Analizando la curva se ve que la mezcla aumenta en resistencia a la compresión conforme se incrementa el contenido de bentonita. A partir de un 10 % de bentonita sódica el ascenso es muy considerable hasta llegar al

14 % en donde se mantiene constante y ya con 18 % presenta una disminución. Con base a esta gráfica se seleccionó como mezcla óptima para relacionar con propiedades térmicas a las muestras conteniendo 10 y 12 % de bentonita sódica.

La discusión sobre la posible relación entre propiedades térmicas y mecánicas se describe mas adelante.

Se podría completar aun mas la curva si adicionamos mayores contenidos de bentonita lo que presenta un futuro trabajo.

El descenso en la resistencia para un contenido del 18 % de Bentonita sódica se podría explicar desde el punto de vista de la baja cantidad de agua en proporción al aglutinante. La bentonita necesita de mayor cantidad de agua para poder reaccionar y dispersarse homogéneamente por sobre los granos de arena.

f) Sobre la prueba de desecación. Los datos de la tabla 4 se graficaron relacionando distintas propiedades. En la figura núm. 4 se presentan los valores de humedad contra resistencia a la compresión. Analizando la variación de la resistencia a la compresión se presenta una primer fase en la cual esta propiedad se incrementa conforme la humedad también aumenta. Esta fase corresponde a la activación de la bentonita. Después de un cierto valor máximo se aprecia un descenso en los valores de resistencia. Esta fase corresponde a la dilución de la bentonita.

Es importante hacer notar que el comportamiento de esta muestra está en concordancia con las obtenidas en otros laboratorios y por otros investigadores. Con este tipo de gráficas podemos determinar la humedad óptima para una mezcla en el laboratorio y en el taller como se mencionó al hablar del --

uso de los factores C H y C/H.

La fase de activación con la bentonita se explica de esta manera; los granos de arena al ser recubiertos por la bentonita tienden a agruparse aumentando la cohesión de los mismos; el agua ayuda a la dispersión y a la activación del aglutinante cuando se adicionan cantidades necesarias para la mejor homogeneización de la misma. Si el contenido de agua se aumenta la bentonita pierde sus propiedades de aglutinante y pasa a actuar junto con el exceso de agua como lubricante provocando la separación de los granos de arena.

En la gráfica num. 5 se presenta el comportamiento de la densidad a granel contra la humedad. Se hace notar que conforme la humedad disminuye se incrementa la densidad a granel de la probeta. Esto se puede explicar debido a que al disminuir la humedad se necesita mayor cantidad de arena para llenar el molde y poder realizar la prueba de compresibilidad; debido a esto fué necesario aumentar el peso de la muestra que de acuerdo a la siguiente expresión nos provocó un aumento de la densidad:

$$\rho = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{gravedad} \times \text{volumen del cil.}}$$

Siendo constante el valor de la gravedad y del volumen la única variable posible de modificación es el peso de la muestra, por lo que el incremento de este valor repercute en una variación proporcional a la densidad.

En la figura 6 se presentan los valores de humedad contra compresibilidad. El incremento que presenta la compresibilidad con el descenso del contenido de humedad en la muestra se puede explicar por el hecho de que: una compresibilidad del 0 % representaría el caso en el cual la arena que ocupa el volumen total del molde no desciende en sus dimensiones al aplicarse --

sobre ella la carga de 10 kg/cm^2 . De tal manera que conforme la humedad disminuye la muestra cada vez mas seca va ocupando un volumen menor, es decir, para llenar el mismo recipiente o molde será necesario aumentar la cantidad de muestra. Al aumentar la cantidad de muestra se tendrá una compactación espontánea mucho mayor que al inicio de la prueba, de esta forma, los granos tienden a acomodarse más homogéneamente en el interior del molde, por lo cual los espacios desocupados entre ellos disminuyen, lo que impide que al aplicar la fuerza de compresión los granos se aproximen aun mas.

Los valores de compresibilidad correspondientes al 7 y 8 % de humedad -- presentan una divergencia con respecto a la tendencia que presenta la curva. Estos valores mas que representar un comportamiento real diferente se consideran como fallas de la experiencia, que puede ser debida a un desajuste del equipo o manipulación errónea del mismo.

Por último se presenta en la figura 7 los valores de humedad contra densidad de la probeta.

El comportamiento de la mezcla conforme se deseca presenta un abatimiento en la densidad de la probeta hasta un cierto límite. La explicación que -- se puede dar a esto está basada en la consideración de que siendo el peso la variable que nos regula los valores de densidad, una muestra de gran contenido de humedad presenta una expansión debido a la disgregación de la bentonita mayor, por lo que la cantidad de la misma necesaria para formar la probeta de 2 pig de diámetro por 2 pig de altura es aun mayor. Conforme la humedad decrece el agua en exceso que presenta la muestra se va eliminando de -- tal manera que en el punto en el cual la humedad es de 3 %, el peso y por consiguiente la densidad de la probeta presenta un mínimo. Esta densidad corresponde a la humedad óptima que para esta muestra se determinó anteriormente y que produjo el valor mas alto de resistencia a la compresión. La activación

Óptima de la bentonita para esta muestra se presenta con un 3 % de humedad. El incremento de la densidad para valores menores al 3 % de humedad se explica por el grado de desecación que ya presenta la muestra. La cantidad necesaria para formar la probeta aumenta debido a que al aplicar la carga de compresión no presenta la arena un acomodo considerable, es decir, que prácticamente es necesario agregar un peso de arena que por sí mismo ocupe el volumen de la probeta norma. Lo que ocasiona un aumento del peso de la muestra y por lo tanto un aumento en la densidad de la probeta.

g) Sobre la prueba de variación de humedad agregada. En la tabla 5 y la figura 8 se muestra la representación gráfica de estos valores. Se aprecia un incremento de la resistencia a la compresión para valores altos de contenido de bentonita sódica. El objeto de ésta fué determinar el comportamiento en la resistencia a la compresión de las muestras cuando se variaba la cantidad de bentonita y el contenido de humedad, en la figura 8 se puede apreciar para cada muestra que conforme el porcentaje de bentonita aumenta y la humedad disminuye, la resistencia a la compresión aumenta. De tal manera que si se desea una resistencia determinada con ésta gráfica se puede seleccionar que cantidad de aglutinante y que porcentaje de humedad deben mezclarse con la arena.

Por ejemplo si se desea obtener una mezcla que presente una resistencia a la compresión de 11 lb/plg^2 se puede seleccionar entre el uso de una muestra con 10 % de bentonita sódica o bien una conteniendo 12 % de Bentonita sódica. Para el primer caso será necesario proveer una humedad del 4 % y para el segundo una del 5 % como lo indica la gráfica. Ahora el criterio de selección se deberá basar en el conjunto de las propiedades físicas que presentan

cada una de ellas.

La realización de esta gráfica como ya se mencionó, confirmó que la mezcla óptima correspondía verdaderamente a mezclas conteniendo 10 y 12 % de bentonita sódica con 3 y 4 % de humedad respectivamente.

h) Relación entre propiedades térmicas y mecánicas.

Los valores de conductividad y difusividad térmica para las mezclas conteniendo 10 y 12 % de bentonita sódica junto con los valores de resistencia a la compresión se tabularon en la tabla 6. Estos mismos valores ya graficados se presentan en la figuras 9 y 10.

Estas gráficas muestran claramente que conforme la humedad aumenta, se incrementa la densidad, la resistencia a la compresión disminuye y las propiedades térmicas difusividad y conductividad aumentan su valor.

Según B. Rao y Bottorf, la explicación al aumento de las propiedades térmicas se justifica en base a la interacción granular de la arena, es decir cuando la arena se encuentra seca el área de contacto entre granos es muy pequeña en comparación que cuando presenta un alto porcentaje de humedad ya que solo contiene aire entre los mismos como medio propagador del calor. Como la conductividad térmica del aire es muy pequeña en comparación con la de los granos sólidos y estos se encuentran en contacto en solo una pequeña área entonces la conductividad de la mezcla es muy baja. Cuando se adiciona el agua, los granos se agrupan entre ellos por este medio, o sea, el agua aumenta el área de contacto debido al incremento de las fuerzas de adhesión agua-arena. Siendo el agua mas de 20 veces mayor en su conductividad térmica que la del aire, se presenta por lo tanto un incremento de la conductividad térmica de la mezcla. Adiciones posteriores de agua producirán según se

observa en la gráfica mayores incrementos en la conductividad térmica.

Según los autores antes mencionados después de que la muestra presenta suficiente agua para incrementar al máximo el área de contacto entre -- granos, posteriores adiciones aumentaría solo en muy pequeñas proporciones la conductividad térmica de la muestra. Este efecto no es observado en esta experimentación.

TABLA 6

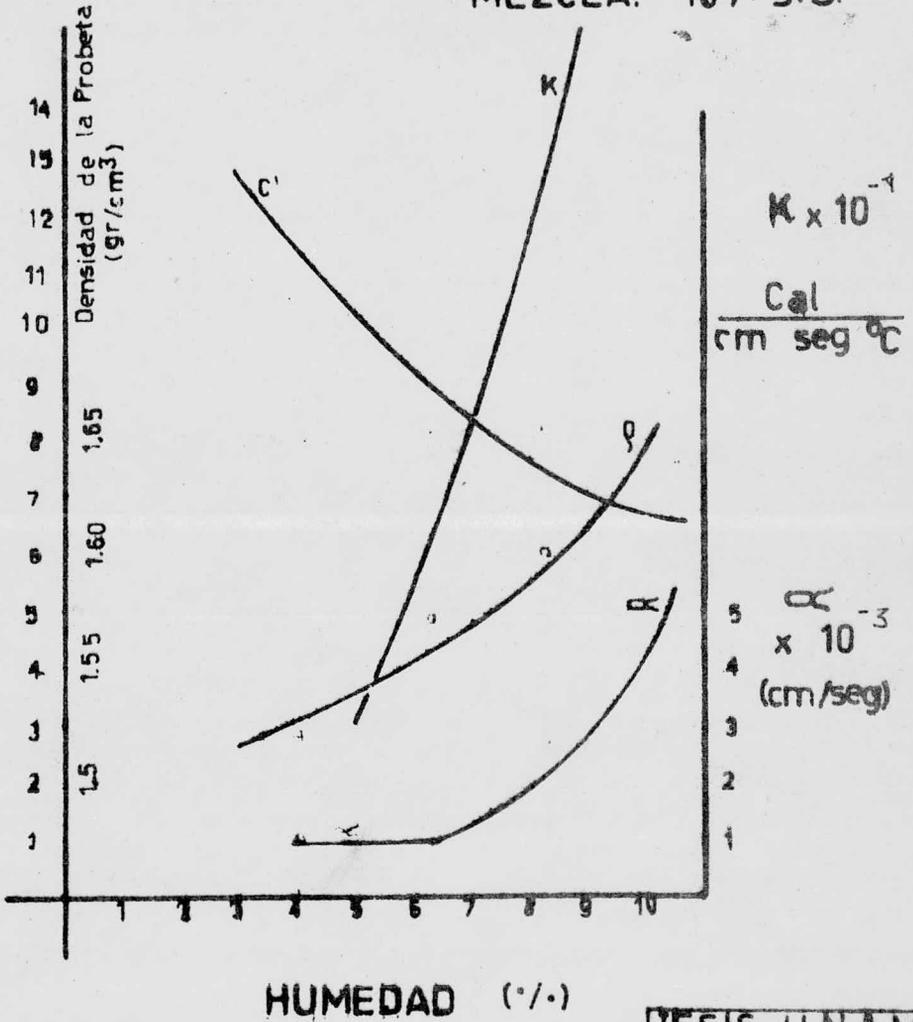
Mezcla			C ¹	H	Peso E.	Difusiv. T.	Conduct. T.
% B, S,	% Agua	% A. S.	(lb/plg ²)	(%)	(g/ cm ³)	(cm ² /seg x10 ⁻³)	$\frac{x .0001}{(cal/cm seg ^\circ C)}$
10	4	86	12.28	4.0	1.52	1.089	3.811
10	6	84	7.86	6.3	1.57	0.900	9.490
10	8	82	8.14	8.2	1.60	2.714	16.830
10	10	80	5.61	10.5	1.64	4.810	16.310
12	4	84	7.72	4.9	1.52	0.729	2.550
12	5	83	11.93	5.3	1.53	4.788	16.730
12	6	82	12.63	6.4	1.58	1.004	3.514
12	8	80	8.42	8.1	1.62	1.376	4.816
12	10	78	7.02	10.4	1.62	1.927	6.744

FIG. 9

PROPIEDADES MECANICAS
Y TERMICAS

MEZCLA: 10 / 3.S.

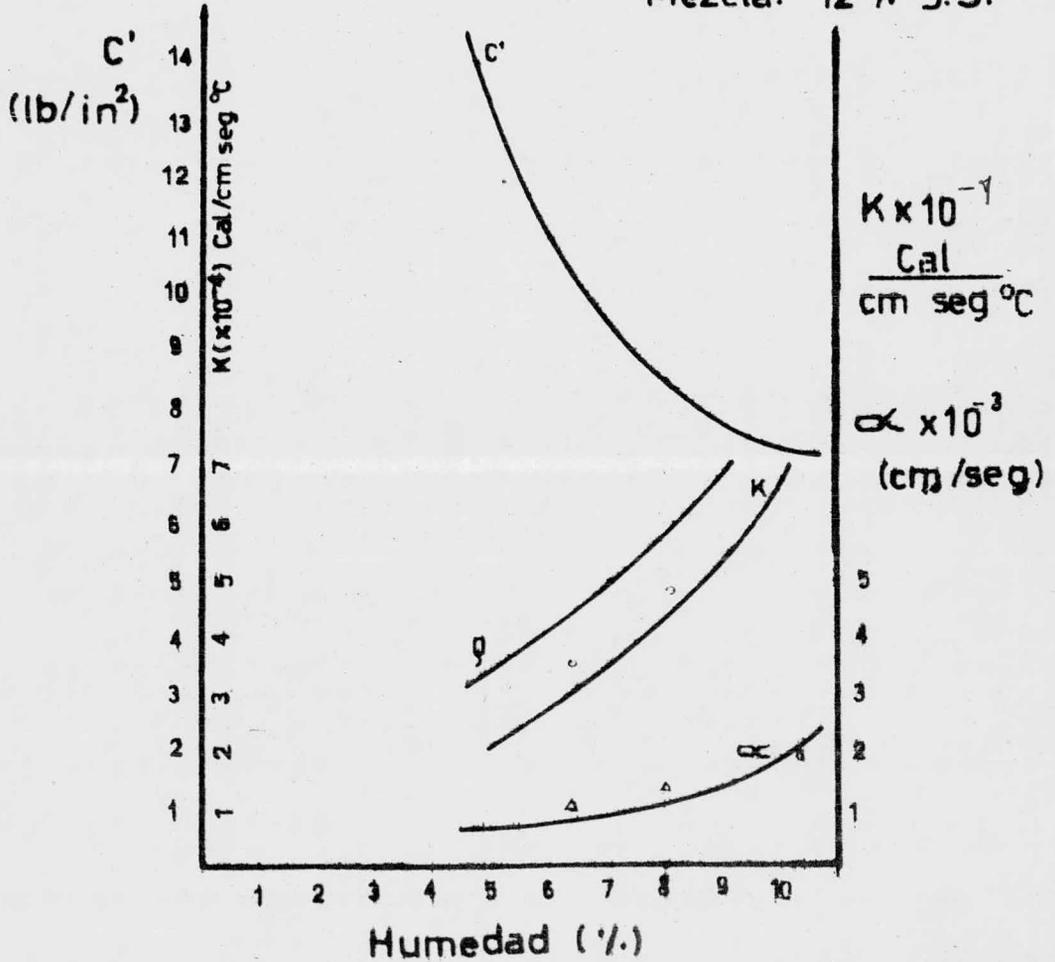
C'
(lb/in²)



TESIS: U.N.A.M.
H. Arellano A.
1977

FIG. 10
 PROPIEDADES MECANICAS
 Y TERMICAS

Mezcla: 12 % 3.S.



TESIS: U.N.A.M.
R. Arellano A.
1977

CAPITULO IV CONCLUSIONES.

1) Los ensayos de resistencia a la compresión, compresibilidad y humedad realizados en instrumentos no convencionales a mezclas de arena-bentonita---agua producen valores, que son explicados en base a los conocimientos de las interacciones de los granos de bentonita con la arena y el agua. Los resultados obtenidos en forma resumida son:

En la prueba de Desecación:

a) La resistencia a la compresión aumenta al incrementarse el contenido de humedad, hasta un valor de 3 % (equivalente a la humedad óptima para la activación de la bentonita).

b) La densidad a granel aumenta gradualmente conforme la humedad también se incrementa. (el límite sería aquel en el cual la muestra al ser comprimida presenta la misma altura que el molde).

c) La compresibilidad presenta un comportamiento semejante al de la anterior propiedad.

d) La densidad disminuye hasta el punto de máxima resistencia a la compresión y corresponde a la humedad óptima determinada.

En la prueba de variación de humedad agregada a distintos contenidos de bentonita.

a) Para cualquier contenido de bentonita, conforme aumenta el contenido de humedad, disminuye la resistencia a la compresión.

b) A un mismo nivel de contenido de humedad, al aumentar el contenido de bentonita, aumenta el valor de resistencia a la compresión.

c) Se obtienen valores equivalentes de resistencia cuando se usa una mezcla con bajo contenido de bentonita y agua que con altos contenidos de --

agua.

2) La comparación de las propiedades térmicas con la densidad y la resistencia a la compresión indica claramente tendencias generales de comportamiento.

Conforme la densidad aumenta, aumenta la conductividad y difusividad térmicas. Al aumentar el contenido de humedad no se observó un punto en el cual la humedad no tenga efecto sobre la densidad y la conductividad, como es a veces reportado en la literatura.

Al aumentar la resistencia a la compresión disminuye la conductividad y la difusividad térmica.

Los valores de conductividad son apreciablemente mayores para altos contenidos de bentonita.

Se recomienda que se repitan éstos ensayos de propiedades térmicas en una prueba de desecación.

A P E N D I C E S.

APENDICE 1 (Continuación)

Calculo de la eficiencia (E) del Molino del Laboratorio.

Se consideró el molino Speedmuller del Laboratorio de Control de Calidad de Arenas de "Básicos Siderúrgicos, S.A." como el que presentaba el 100 % de eficiencia. Con base a este molino y con pruebas de humedad y resistencia a la compresión realizadas en una mezcla conteniendo 10% de B. S., 4 % de agua y 86 % de A. S., se calculó el $C H_{10}$ del molino de referencia. Estas mismas -- pruebas se realizaron en el molino del laboratorio de prueba y se calculó el $C H_{10}$ de este aparato. Relacionando estos factores se calculó la eficiencia del molino del laboratorio de prueba, de la siguiente manera:

$$E_{MP} = \frac{C H_{10} MP}{C H_{10} MR} \times 100$$

en donde:

$$C H_{10} MP = 49.12$$

$$C H_{10} MR = 56.84$$

Sustituyendo valores se obtiene:

$$E_{MP} = \frac{49.12}{56.84} \times 100 = 86.4 \%$$

Como se puede apreciar el valor queda dentro de los límites aceptables para la eficiencia de un molino.

APENDICE 2.

Calculo de la Desviación Estándar y Coeficiente de Variación.

Para los valores obtenidos en el Lab. de Met.

B. S.	MUESTRA		RESISTENCIA A LA COMPRESION					\bar{x}	S	C. V. (%)
	agua	A. S.	1	2	3	4	5			
8	4	88	7.71	6.32	6.32	6.32	7.02	6.74	0.626	9.28
10	4	86	12.64	12.64	11.93	11.93	11.93	12.21	0.388	3.18
12	4	84	7.02	8.42	8.42	7.72	7.02	7.72	0.700	9.06

Se realizaron los calculos con las siguientes fórmulas:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$S = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$C. V. = \frac{S}{\bar{x}} \times 100$$

$$n = 5$$

S= desviación estándar

\bar{x} = media aritmética

C.V.= coeficiente de variación.

APENDICE 3

Comparación de resultados de propiedades físico-mecánicas.

MUESTRA %			RESISTENCIA A LA COMPRESION lb/plg ²		ERROR %
B. S.	Agua	A. S.	Laboratorio de "Básicos Sid.S.A."	Laboratorio de Met. U. N. A.M.	
8	4	88	11.50	5.61	48.8
10	4	86	12.92	12.28	4.9
12	4	84	15.92	14.04	9.53
14	4	82	18.77	17.75	5.43

Se observa que excepto el valor de C' para 8 % de B.S., 4 % de agua y --- 88 % de A. S. todos los valores son muy próximos, es decir la confiabilidad de los resultados obtenidos con equipo no convencional es bastante aceptable.

Se agradece la colaboración de la empresa "Básicos Siderúrgicos, S. A." porque sus aportaciones de materia prima, permitieron la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- 1) "Manual de Arenas para Fundición"
American Foundrymen's Society. Primera Edición. en español.
1967. pgs. 26-28 ; 36-38.
- 2) Tecnología del Control de Calidad de las Arenas de Fundición.
Curso 005. Sociedad Mexicana de Fundidores. Ing. Víctor García S.
1976.
- 3) "Uso de la cohesión y la Humedad para controlar las caracterís-
ticas de una arena de moldeo". D. Boenisch Glesserei, Vol. 53
pag. 565 (1966)
- 4) "Control sistemático de la arena de moldeo". C.E. Wenninger,
The British Foundrymen, vol 63, pg. 406 (Dec. 1970)
- 5) "Efectos de la variación de la densidad de la arena y varios a-
ditivos en la conductividad de mezclas de arena en verde".
Modern Casting, Vol. 49, Num. 3, pgs. 79-88 (marzo 1966).
- 6) "Determinación de las propiedades térmicas de arena por el méto-
do fusión-solidificación". A. Llanos Trujillo, Tesis (1977).