



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

---

**FACULTAD DE QUIMICA**

**“DETERMINACION DE PROPIEDADES TERMICAS  
EN ARENAS DE MOLDEO MEDIANTE EL  
METODO DE FUSION-SOLIDIFICACION”**

**ANSELMO LLANOS RIVERA**

**INGENIERO QUIMICO METALURGICO**

**1977**



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.

.. *Tesis 1977*  
no *M-240* ~~240~~ **232**  
ECHA \_\_\_\_\_  
1980 \_\_\_\_\_  
1 \_\_\_\_\_



JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Ing. Kurt Nadler Gundeischmer.

VOCAL: M en C. Fernando Maldonado Mendoza.

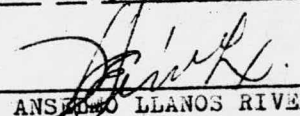
SECRETARIO: M en C. Ma. Eugenia Noguez Amaya.

PRIMER SUPLENTE: Ing. José Campos Caudillo.

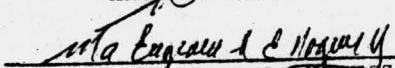
SEGUNDO SUPLENTE: Ing. Marcelino Madrigal D.

Sitio donde se desarrolló el tema. Laboratorio  
de Metalurgia. Facultad de química. U.N.A.M.

SUSTENTANTE:

  
ANSELMO LLANOS RIVERA.

ASESOR:

  
M en C. Ma. EUGENIA NOGUEZ AMAYA.



A MIS PADRES:

REYES LLANOS MARTINEZ

AURELIA RIVERA DE LLANOS

Cuyo esfuerzo y comprensión, ejemplo  
y alegría, llenan y motivan mi vida.

¡ Mi Eterna Gratitud !

A MIS HERMANOS:

FLAVIANO

JOSE

SOFIA

EUSTOLIA

Con Entrañable Cariño.

RESPETUOSAMENTE:

A TODOS MIS MAESTROS  
Y COMPAÑEROS.

IGUALMENTE:

A Ma. EUGENIA NOGUEZ AMAYA.

Por la gran calidad humana, y verdadera  
vocación de MAESTRO.

Mi reconocimiento, admiración y gratitud.

## S U M A R I O

### INTRODUCCION.

#### I. ANTECEDENTES.

##### A. FUNDAMENTO DEL METODO.

##### B. DESARROLLO DEL METODO.

1. Propiedades Térmicas de las Arenas de Moldeo.
2. Tiempos de Solidificación.
3. Variación de Temperatura en la Arena.

#### II. PARTE EXPERIMENTAL.

1. Descripción del Equipo.
2. Preparación de las Mezclas.
3. Desarrollo Experimental.

#### III. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

1. Presentación de Resultados.
2. Índice de Gráficas.
3. Discusiones.

#### IV. CONCLUSIONES.

#### V. APENDICE.

#### BIBLIOGRAFIA.

## INTRODUCCION

El objetivo de esta TESIS es analizar el comportamiento térmico del tipo de arena de moldeo en verde, preparada con materia prima nacional, (Juanita, Veracruz) - mediante el método conocido como FUSION-SOLIDIFICACION - propuesto por Adams y Taylor (I), que se describe ampliamente en el capítulo de Antecedentes.

Para lograr este objetivo, fué necesario establecer una serie de ajustes experimentales para su realización en el laboratorio, y así poder evaluar las ventajas y/o desventajas observadas durante el desarrollo del mismo.

El análisis que se hace, es propiamente cualitativo, esto es, los resultados obtenidos se interpretan de acuerdo a las tendencias que muestran los resultados experimentales; dado que, no se hace una valoración estricta de confiabilidad o grado de precisión de los datos logrados en este trabajo experimental.

Este estudio se realizó como parte del Proyecto de Arenas de la División de Estudios Superiores de Metalurgia; y un aspecto del mismo, se refiere a estudiar las posibles relaciones entre PROPIEDADES MECANICAS de una arena de moldeo en verde, con las PROPIEDADES TERMICAS; siendo las primeras, el fundamento del control de calidad de arenas en la fundición y las que resultan de mayor interés al fundidor en general. El comportamiento térmico de las arenas de moldeo ha recibido poca ó casi nula atención.

## I

## ANTECEDENTES

## A. Fundamento del Método.

Desde el punto de vista de flujo de calor, la característica más importante en los procesos de Solidificación es que el metal es mejor conductor que el molde. De aquí -- que el grado o velocidad de solidificación depende primordialmente de las propiedades térmicas del molde.

El proceso de transferencia de calor del metal al -- molde, se ilustra de manera sencilla como sigue:

Se considera que el molde en extensión es semi-infinito, esto es, la parte exterior del molde no se calienta durante la solidificación y el metal se vacía sin sobrecalentamiento, exactamente en su punto de fusión ( $T_m$ ). Se ilustra lo anterior, por los contornos aproximados de la -- Temperatura de solidificación del metal vaciado, frente al plano de la pared uniforme del molde. Ver ilustraciones al final de éste capítulo.

Cuando el metal es vaciado a su Temperatura de fu -- sión contra una pared plana y gruesa que está a una temperatura ( $T_0$ ); inicialmente la pared se calienta súbitamente hasta ( $T_m$ ), al tiempo  $t=0$ , aunque esto es transitorio y el problema de flujo térmico unidireccional se reduce a:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha_m \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{y } \alpha_m = \frac{K_m}{\rho_m C_m}$$

donde.

$\alpha_m$  = difusividad térmica del molde, ( $\text{cm}^2/\text{seg}$ ).

$K_m$  = conductividad térmica del molde, ( $\text{cal}/\text{cm}\text{-seg}^\circ\text{C}$ ).

$\rho_m$  = densidad del molde, ( $\text{g}/\text{cc}$ ).

$t$  = tiempo, ( $\text{seg}$ ).

$x$  = distancia desde la pared del molde, (cm), negativa dentro del molde.

las condiciones para la solución de esta ecuación son:

$$\begin{array}{ll} t=0 & T=T_0 \\ x=0 & T=T_m \\ x=- & T=T_0 \end{array}$$

para las condiciones anotadas, la ecuación establece que : la temperatura es función del tiempo, desde una distancia  $x$  constante de la superficie del molde.

la solución es;

$$\frac{T - T_m}{T_0 - T_m} = \text{erf} \frac{-x}{2\sqrt{\alpha m t}} \quad \text{-----} \quad (2)$$

donde.

erf, denota la función error ( tabulada ).

$$\text{erf}(0) = 0$$

$$\text{erf}(\infty) = 1 \quad \text{erf}(Z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^Z e^{-u^2} du$$

La cantidad de flujo térmico hacia el molde considerado en la interfase metal-molde es:

$$\frac{q}{A} = - K_m \frac{\partial T}{\partial x} \quad \text{-----} \quad (3)$$

$x$ , aumenta positivamente de izquierda a derecha; y es el calor que llega al molde. Diferenciando la ecuación (2) (flujo de calor),  $dT/dx$ .

$$\frac{dT}{dx} = - \frac{1}{\sqrt{\pi \alpha m t}} (T_m - T_0)$$

e igualando con la ecuación (3):

$$\begin{aligned} \frac{q}{A} &= - K_m \sqrt{\frac{1}{\alpha m t}} (T_m - T_0) \\ &= - \sqrt{\frac{K_m \rho_m C_p}{\pi t}} (T_m - T_0) \quad \text{-----} \quad (4) \end{aligned}$$

El calor que entra al molde solo proviene del calor, de fusión del metal que solidifica; ya que tanto el sólido como el líquido están a la temperatura  $T_m$ .  
entonces.

$$-\frac{q}{A} = \rho_s \cdot H \frac{\partial S}{\partial t} \quad \text{-----} \quad (5)$$

donde.

$S$  = espesor solidificado.

Combinando las ecuaciones (4) y (5), e integrando de  $S=0$  a  $t=0$  se tiene:

$$S = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \left( \frac{T_m - T_o}{\rho_s H} \right) \sqrt{K_m \phi_m C_p} \sqrt{t} \quad \text{-----} \quad (6)$$

METAL                      MOLDE

Esta ecuación predice la forma en que se combinan las propiedades térmicas del metal y del molde para determinar la velocidad de enfriamiento de un metal que se vacía sobre un molde relativamente aislado.

*Calores*  
El producto  $K_m \phi_m C_p$ , es una medida de la velocidad a la cual, el molde absorbe calor y se denomina: Difusividad térmica, o poder de enfriamiento del molde.

El problema del tiempo de enfriamiento (unidimensional), sirve para ilustrar varios aspectos importantes de solidificación, incluyendo figuras complejas. Es necesario considerar que los contornos de la pared del molde influyen sobre la habilidad de absorber calor.

El flujo térmico en superficies cóncavas será divergente y por tanto ligeramente más rápido; las convexas, - menos rápido que la pared plana.

Para formas muy simples, las diferencias no son tan grandes y una aproximación práctica es aceptar que un  $cm^2$  de la superficie del molde es capaz de absorber calor sin

tomar en cuenta rigurosamente su contorno o localización sobre la fundición. Con esta aproximación se puede reemplazar S en la ecuación (6) con  $V_s/A$ .

donde.

$V_s$  = volumen solidificado en el tiempo t.

A = area de la interfase metal-molde.

haciendo  $t=t_f$ , será el tiempo total de solidificación de una fundición de volumen V.

$$\frac{V}{A} = \sqrt{\frac{2}{\rho_s H}} \left( \frac{T_m - T_0}{H} \right) \sqrt{K_m \rho_m C_p t_f} \quad \text{----- (7)}$$

y  $t_f = \left( \frac{V}{A} \right)^2$ ; donde C, es una constante que depende de las propiedades del metal y del molde.

La ecuación (7), es la Regla de Chvorinov, utilizada para comparar el tiempo de solidificación en fundiciones de cuerpos simples; y establece que el tiempo total de solidificación de tales fundiciones es proporcional a la razón del volumen sobre el area al cuadrado  $\left( \frac{V}{A} \right)^2$ , de las fundiciones.



## B. Desarrollo del método.

### 1. Propiedades Térmicas de las Arenas de Moldeo.

Existen varios coeficientes que miden las propiedades térmicas de una arena de moldeo, Estos son:

a). Difusividad calórica,  $b$ ,

es una medida de la rapidez a la cual, el molde absorbe calor, y agrupa a dos coeficientes térmicos importantes que son: la Conductividad térmica y el Calor específico. la difusividad calórica se expresa así.

$$b = \sqrt{K_m \rho_m C_p}$$

donde.

$K_m$  = conductividad térmica.

$C_p$  = calor específico.

$\rho_m$  = densidad.

b). Difusividad térmica,  $\alpha$ , en  $\text{cm}^2/\text{seg}$ .

es, en general, la propiedad que controla la distribución de la temperatura en el material de moldeo, variando el tiempo.

la difusividad térmica se expresa así.

$$\alpha = \frac{K_m}{\rho_m C_p}$$

es, otra manera de agrupar a los términos de Conductividad, Calor específico y Densidad.

El Calor específico es ampliamente conocido. En la literatura se encuentran reportados los valores de densidad de mezclas de arenas de moldeo. Una recopilación de los datos, se encuentra en la Referencia No. 2.

Dada la pequeña variación del calor específico entre los diferentes tipos de mezclas de arenas de moldeo, no es del todo necesario determinarlo, sino más bien, con sultarlo en la literatura.

La densidad de un molde de arena apisonada, es fácilmente determinarla experimentalmente para cada tipo de mezcla; y es preciso obtener éste valor, para conocer sus propiedades térmicas.

Queda entonces, la necesidad de determinar: bien -- sea la Conductividad K, ó la Difusividad ( $\alpha$  ó b); ya que, - ambas propiedades estan muy relacionadas entre sí y se expresan en las ecuaciones respectivas.

El Método que propone Adams y Taylor (3), se basa - en el balance térmico entre la pieza o metal fundido y la superficie del molde; como se explicó en el inciso anterior. Esto es, conociendo los valores  $C_p$ ,  $\rho$ , y midiendo - experimentalmente el tiempo de solidificación, o tiempo - necesario para alcanzar una temperatura determinada en la superficie del molde. Así, de éste valor, es posible deducir la Conductividad térmica.

Se considera que, la influencia de la radiación en la experimentación, resulta despreciable, dado que, se utilizan modelos de baja emisividad como el Aluminio y el Zinc.

## 2. Tiempos de Solidificación.

Con el objeto de emplear la medición de la temperatura de solidificación, para conocer la Conductividad, es necesario definir la geometría de la pieza a emplear y el metal a fundir.

Adams y Taylor expresan la cantidad de calor total, que abandona una superficie semiesférica de la siguiente forma:

$$q = 2\pi R L K (T_s - T_o) \left( \frac{0.5}{R} + \frac{1}{\sqrt{\alpha t}} \right) + 2\pi R^2 K (T_s - T_o) \left( -\frac{1}{R} + \frac{1}{\sqrt{\alpha t}} \right) \quad \text{-----}(8)$$

al integrar esta ecuación en conexión con el balance de calor, se obtiene una expresión que relaciona el tiempo de solidificación de la fundición; con su peso, geometría y características térmicas del metal y del molde, y que permite cuantificarlos. Se expresa de la siguiente forma:

$$\frac{WH}{\pi R^2 \theta} = 4 \left(1 + \frac{L}{R}\right) \frac{(T_s - T_0) \sqrt{K \rho C_p}}{\sqrt{\pi \theta}} + 2 \left(1 + \frac{L}{2R}\right) \frac{(T_s - T_0)}{R} K \quad \text{-----}(9)$$

Esta ecuación (9), se ha modificado de acuerdo al modelo empleado en el presente trabajo. Se presenta en la siguiente forma:

$$\frac{WH}{\pi R^2 \theta} = 4(T_s - T_0) \frac{\sqrt{K \rho C_p}}{\sqrt{\pi \theta}} + 2 \left( \frac{T_s - T_0}{R} \right) K$$

y obteniendo experimentalmente los valores W, peso de metal fundido;  $\theta$ , tiempo total de solidificación y  $T_s$ , la temperatura del metal, en el momento de ser vaciado. Con estos datos, se despeja K, y su valor queda expresado en  $\frac{\text{cal}}{\text{cm seg}^{\circ}\text{C}}$ .

### 3. Variaciones de Temperatura en la Arena.

Si las propiedades de la arena no varían con la temperatura, un punto en el seno de la arena, a una distancia pequeña desde la superficie esférica fundida, experimentarían un aumento inicial en la temperatura con el paso del tiempo. De acuerdo con la siguiente expresión, que es la ecuación (2), que resulta para el flujo térmico en una pared esférica; y los datos de temperatura-tiempo obtenidos, dan un valor para la Difusividad térmica de la arena cuya expresión nuevamente es:

$$\frac{r - R}{2\sqrt{\theta}} = \sqrt{\alpha} \operatorname{erf}^{-1} \left( 1 - \frac{r}{R} \left( \frac{T - T_0}{T_s - T_0} \right) \right)$$

y reacomodando términos, se tiene:

$$\frac{T - T_0}{T_s - T_0} = \frac{R}{r} \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{r - R}{2\sqrt{\theta}} \right) \right)$$

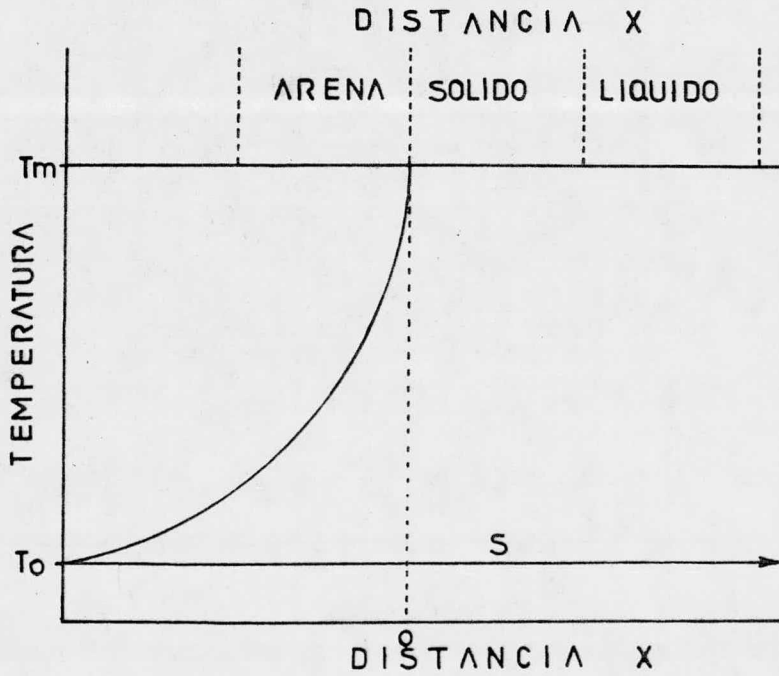
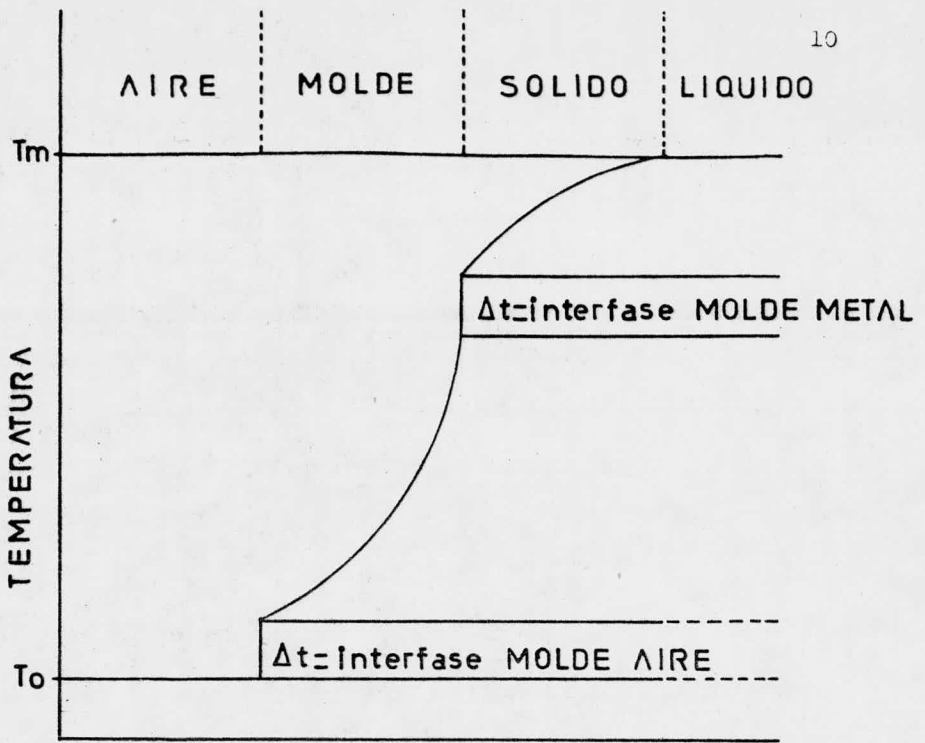
obteniendo igualmente los valores;

$T_s$ , temperatura en la interfase molde-metal.

$\theta$ , tiempo mínimo para que la arena comience a calentarse, ó tiempo máximo alcanzado por la arena.

$T$ , temperatura mínima para que la arena comience a calentarse, ó temperatura máxima alcanzada por la arena en un punto bien localizado.

De la misma forma, con estos datos, se despeja  $\alpha$ , y su valor queda expresado en;  $\frac{\text{cm}^2}{\text{seg}}$ .



## II

## PARTE EXPERIMENTAL

## 1. Descripción del Equipo.

a). Arena. La arena empleada en esta experimentación fué de sílice, llamada "Juanita" nacional, según norma 40/45A.F.S.

b). Aglutinante. Bentonita Sódica de Básicos Siderúrgicos.  
S. A.

c). Molde y Modelo. El molde se construyó con lámina negra-comercial, cal. 22 con las siguientes dimensiones:  $r=7.62\text{cm}$  altura  $h= 8.7\text{cm}$ . con volumen =  $1586\text{cm}^3$ . sin fondo.

Este molde se colocó sobre una base de madera, de un espesor =  $125\text{mm}$ ; sobre esta misma base, se adicionó un soporte del mismo material de  $10\text{cm}$ . de altura que fijó la posición y dirección de los termopares (horizontales).

Sobre el contorno circular del molde se hicieron dos perforaciones a una distancia específica, para la entrada - de los termopares.

El modelo se formó de una contrabase de madera con - una semiesfera de un volumen =  $55.08\text{cm}^3$  fijada al centro; y que permitió formar una cavidad para recibir el metal fundido. Ver Apéndice.

d). Horno. Es del tipo de resistencias; marca Linderbergh - con cámara de calentamiento y protegida con un refractario-especial; este horno está acoplado a un registrador de temperatura, tipo consola con un rango de calentamiento =  $200-1200\text{C}$ . y un control de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

Dentro de la cámara del horno, se colocó un crisol - de grafito, de un volumen aproximado de  $4.5\text{Kg}$ . de metal -- fundido.

El crisol de grafito se soportó sobre un anillo de -

hierro unido a dos varillas con extensiones hacia la parte superior del horno, permitiendo de este modo acoplarle una manera que facilitó el manejo y protección en el momento de vaciar el metal fundido.

e). Metal. El metal que se utilizó para todos los ensayos fué Aluminio de una pureza de 97.5% y de un análisis de la siguiente composición.

Si.....	0.3-0.6	.....	7.10
Fe.....	0.60	.....	0.18
Cu.....	0.35	.....	0.10
Mn.....	0.60	.....	0.05
Mg.....	0.10	.....	0.30
Zn.....	0.10	.....	0.10

Como se ve, la pureza es baja y por consiguiente cada vez que se fundió este metal, fué necesario eliminar todas las impurezas desgastándolo y retirando la escoria formada; aunque esto produjo una merma del mismo. Al efectuarse esta operación, el metal comenzaba a enfriarse, pero se cuidó de mantenerlo a una temperatura de 660°C. para adquirir la temperatura exacta y poder vaciarlo sobre el molde de arena.

Se verificó la temperatura del metal en el momento preciso de vaciarse y así eliminar el sobrecalentamiento.

El volumen de metal fundido fué pesado una vez en -- friado y su peso fué entre 180.0 y 200.0 gr. Estos pesos -- se registran para cada ensayo en la tabla No.1 de Datos.

f). Termopares. Los termopares que se emplearon, fueron de dos clases: Cromel-Alumel y de Hierro-Constantan.

Se colocaron los dos termopares dentro del molde; uno, en la arena; el otro, dentro del metal fundido. Este --

último, registró la temperatura de solidificación; el otro, la temperatura de la arena y su posición se mantuvo a una distancia siempre la misma, igual a 0.5mm. separado de la interfase.

La localización de ambos termopares representa una función de mucha importancia, ya que de este registro de temperaturas se derivan los cálculos de Difusividad, Conductividad y los Tiempos de Solidificación etc.

g). Registradores. Se empleó un registrador marca Hewlett-Packard de dos canales; mediante este aparato, se obtuvo el registro de las temperaturas y tiempos. Ver tabla de Datos No. 1 y 2.

Para cada determinación se obtuvo una gráfica específica. El registrador se mantuvo en las siguientes condiciones de operación:

1. Canal Rojo = Baño: 0-50 mv.
2. Canal Azul = Arena 0-20 mv.
3. Velocidad..... 2.5 cm/min.

Un ejemplo de la gráfica obtenida se encuentra en la figura No. 3.

h). Molino. Para la preparación de la arena, se empleó un molino (mezclador) de laboratorio marca Simpson, con un diámetro = 45cm. X 35.0cm. de altura; con una capacidad nominal = 0.0 Kg.

El mezclado se efectúa mediante dos poleas giratorias y excéntricas, accionadas por un motor de una potencia = 1.0 H.P. Trifásico y 40.0 R.P.M.

## 2. Preparación de las Mezclas.

---A. Para la preparación de la arena se empleo y fué necesario estandarizar el equipo experimental, y este, consis -



tió fundamentalmente en determinar la carga y el tiempo óptimos, ya que estos valores son los que corresponden a las condiciones óptimas para este mezclador. Ver gráficas A y B

Estas fueron:

a). tiempo de mezclado en seco = 1.5 min.

b). tiempo de mezclado en húmedo 2.0 min.

TIEMPO OPTIMO TOTAL ..... 3.5 min.

CARGA OPTIMA TOTAL ..... 3.0 Kg.

---B. Para la selección de las mezclas se escogieron los siguientes valores:

% BENTONITA SODICA.	% HUMEDAD.	% ARENA SILICE.
4.0 .....	2.5 ..	93.5
6.0 .....	4.0 ..	90.0
6.0 .....	5.0 ..	89.0
6.0 .....	6.0 ..	88.0
6.0 .....	8.0 ..	86.0
6.0 .....	10.0 ..	84.0
8.0 .....	4.0 ..	88.0
8.0 .....	8.0 ..	84.0
10.0 .....	4.0 ..	86.0
10.0 .....	5.0 ..	85.0
10.0 .....	6.0 ..	84.0
10.0 .....	8.0 ..	82.0
10.0 .....	10.0 ..	80.0
12.0 .....	4.0 ..	84.0
12.0 .....	5.0 ..	83.0
12.0 .....	6.0 ..	82.0
12.0 .....	8.0 ..	80.0
12.0 .....	10.0 ..	78.0
14.0 .....	4.0 ..	82.0

Esta selección de valores se elaboró en base a los resultados obtenidos del estudio de PRUEBAS MECANICAS. Como se lee en la Referencia No. 4.

Los porcentajes escogidos fueron:

% BENTONITA SODICA. ...	10.0	12.0
% HUMEDAD. ....	4.0	4.0
% ARENA SILICE .....	86.0	84.0

que constituyen los valores de mayor resistencia mecánica. De ahí, que resulta un estudio paralelo que permite ensayar la influencia de la humedad en las PROPIEDADES MECANICAS Y TERMICAS.

### 3. Desarrollo Experimental.

Con el mayor cuidado posible se colocan los 2.0 Kg de arena y se esparce sobre el molde de la contrabase que contiene la semiesfera y se apisona uniformemente cuidando que siempre sea el mismo para cada ensayo. La formación del molde y el apisonado se realiza en un tiempo de 10.0 minutos. Cuando está listo el molde, se procede inmediatamente a fijar los termopares dentro del molde.

Los termopares se fijan según correspondan a su localización dentro del molde; el termopar que registra la temperatura del metal fundido queda protegido con un capilar de material pyrex; y una vez frío el metal, se retira el termopar sin maltratarse.

Para el termopar de la arena, el mayor cuidado consiste en colocarlo a la distancia correspondiente y para esto, se establecen marcas fijas para obtener el mejor funcionamiento posible.

En seguida se desgasifica el baño del metal fundido introduciendo una pequeña cantidad de compuesto orgánico (DESTASSER-200), que propicia la expulsión de una gran can

tividad de gases; se retira la escoria formada debida a las impurezas, y solo hay que esperar a que el metal fundido - adquiera la temperatura exacta requerida que es de  $660^{\circ}\text{C}.$ , para vaciarlo sobre el molde.

Se vacía con cuidado el metal fundido sobre el molde de arena hasta llenar la cavidad previamente formada; se - retira el metal sobrante.

Se estima que el tiempo total empleado desde la preparación de la mezcla de arena, hasta la obtención de la - gráfica, es de 55.0 minutos para cada preparación.

## III

## RESULTADOS Y DISCUSIONES.

Este capítulo se divide en tres partes:

- 1.- Presentación de Resultados.
- 2.- Índice de Gráficas.
- 3.- Discusiones.

## I. Presentación de Resultados.

Los datos obtenidos en las experiencias descritas en el capítulo anterior, se interpretaron según dos métodos analíticos descritos en el capítulo I; estos son:

- A.- Método de Temperatura de Arena.
- B.- Método de Tiempos de Solidificación.

Método de Temperatura de Arena.

La ecuación básica de este análisis es la siguiente:

$$\sqrt{\alpha} = \operatorname{erf}^{-1} \left[ 1 - \frac{r}{R} \left( \frac{T - T_0}{T_s - T_0} \right) \right] \frac{2 \sqrt{-\theta}}{r - R}$$

Donde:

$r$  = distancia desde el centro de la semiesfera, separada de la interfase. en cm.

$R$  = radio del molde en cm.

$T$  = temperatura de la arena en °C.

$T_0$  = temperatura ambiente en °C.

$T_s$  = temperatura de fusión en °C.

$-\theta$  = tiempo en que la arena alcanza la temperatura  $T$ .  
en °C.

$\alpha$  = difusividad en  $\text{cm}^2/\text{seg}$ .

$\operatorname{erf}$  = error función.

Método de Tiempos de Solidificación.

La ecuación básica de este análisis es la siguiente:

$$\frac{W H}{\Pi R^2 \Theta} = 4 (T_s - T_o) \frac{\sqrt{K C_p \rho}}{\sqrt{\Pi \Theta}} + 2 \frac{(T_s - T_o) K}{R}$$

Donde:

W = Peso de Metal fundido.

H = Entalpía.

$\Theta$  = Tiempo total de Solidificación.

$T_s$  = Temperatura de fusión.

$T_o$  = Temperatura ambiente.

K = Conductividad Térmica.

$\rho$  = Densidad de la arena.

$C_p$  = Calor específico.

Valores constantes:

$$H = 172.0 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} = 95.47 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

$$R = 3.12 \text{ cm.}$$

$$T_o = 22 \text{ }^\circ\text{C.}$$

$$\rho = 1.3 \text{ g/cc.}$$

$$C_p = 0.27 \frac{\text{Btu}}{\text{lb } ^\circ\text{F}} = 0.269 \frac{\text{cal}}{\text{g } ^\circ\text{C}} \quad 0.27 \frac{\text{cal}}{\text{g } ^\circ\text{C}}$$

$$\Pi = 3.1416$$

De esta ecuación se calculó la Conductividad por iteración.

Los resultados obtenidos se encuentran en la Tabla de Resultados No. 3.

Con los resultados obtenidos se construyeron las gráficas que se presentan a continuación.

Las gráficas obtenidas en cada ensayo se leyeron a dos niveles de temperatura de la arena llamadas: Máxima -- (250°C), y Mínima (180°C), escogidas arbitrariamente. Las lecturas de estos valores se muestran en la tabla de Datos No. 2.

Para cada uno de estos niveles, se hicieron los cálculos correspondientes y se obtuvieron los resultados que se encuentran en la tabla de Resultados No. 1.

Una vez obtenidos los valores de Difusividad, se procedió a calcular la Conductividad térmica empleando la relación:

$$K = \alpha \rho C_p.$$

donde.

$K$  = Conductividad térmica.

$\rho$  = Densidad de la arena = 1.3 g/cc.

$C_p$  = Calor específico de la arena.

La densidad de la arena se calculó como se indica en el Apéndice No. 1.

El calor específico de la arena se tomó de la Referencia No. 5.

Los resultados se muestran en la tabla de Resultados No. 2.

TABLA DE DATOS No. 1.

PREPARACION		TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (seg)	PESO (g) METAL
%	%			
B.SOD.	HUM.	METAL	SOLIDIP.	FUNDIDO.
4.0	2.5	623	690	219.00
4.0	2.5	623	690	209.00
6.0	4.0	623	696	208.35
6.0	4.0	628	570	198.90
8.0	4.0	624	636	198.95
8.0	4.0	626	738	197.80
10.0	4.0	628	720	211.10
10.0	4.0	626	540	186.55
10.0	5.0	628	552	210.85
10.0	6.0	624	756	195.20
10.0	8.0	626	540	201.52
10.0	10.0	624	582	210.80
12.0	4.0	628	528	205.80
12.0	5.0	628	738	211.15
12.0	6.0	626	660	196.20
12.0	8.0	626	540	201.52
12.0	10.0	631	720	199.80
14.0	4.0	626	654	210.95
8.0	8.0	624	552	198.90

TABLA DE DATOS No 2.

PREPARACION		TEMPERATURAS (°C)			TIEMPO (seg) EMPLEADO POR LA	
%	%	METAL.	ARENA.		ARENA EN CALENTARSE.	
B.SOD.	HUM.	TOTAL	MAX.	MIN.	MAXIMA.	MINIMA.
4.0	2.5	623	230	83	726	120
4.0	2.5	623	231	82	510	12
6.0	4.0	623	237	72	678	30
6.0	4.0	628	149	89	564	66
8.0	4.0	624	194	97	636	30
8.0	4.0	626	245	85	432	6
10.0	4.0	628	130	92	516	54
10.0	4.0	626	252	88	452	12
10.0	5.0	628	155	92	546	42
10.0	6.0	624	171	90	750	60
10.0	8.0	625	191	94	672	21
10.0	10.0	624	195	94	576	15
12.0	4.0	628	119	92	510	78
12.0	5.0	629	223	96	708	12
12.0	6.0	626	100	90	630	63
12.0	8.0	626	110	94	534	42
12.0	10.0	631	207	97	690	30
14.0	4.0	626	158	90	624	55
8.0	8.0	624	168	85	540	12



TABLA DE DATOS No. 3.

PREPARACION		TEMPERATURAS (°C)		TIEMPO (seg).
%	%	INICIAL	FINAL.	TOTAL.
B.SOD.	HUM.			
4.0	2.5	82	83	114
4.0	2.5	73	83	78
6.0	4.0	72	81	72
6.0	4.0	79	89	162
8.0	4.0	81	85	48
8.0	4.0	84	97	168
10.0	4.0	85	91	216
10.0	4.0	84	88	66
10.0	5.0	84	91	204
10.0	6.0	85	90	180
10.0	8.0	88	94	144
10.0	10.0	91	94	144
12.0	4.0	81	91	252
12.0	5.0	94	96	120
12.0	6.0	82	90	330
12.0	8.0	88	94	324
12.0	10.0	91	97	144
14.0	4.0	81	90	180
8.0	8.0	82	85	162

TABLA DE RESULTADOS No. 1.

PREPARACION		TEMPERATURAS (°C)		DIFUSIVIDAD EN ARENA (cm <sup>2</sup> /seg)			
%	%	DE LA ARENA.		CON VALORES DE TEMPERATURAS.			
B.SOD.	HUM.	MAXIMA.	MINIMA.	MAXIMA.	MINIMA.		
4.0	2.5	230	83	0.250 x 10 <sup>-3</sup>	0.529 x 10 <sup>-3</sup>		
4.0	2.5	231	82	0.289 "	1.089 "		
6.0	4.0	237	72	0.289 "	2.79 "		
6.0	4.0	149	89	0.166 "	0.784 "		
8.0	4.0	194	79	0.210 "	1.909 "		
8.0	4.0	245	85	0.47 "	0.084 "		
10.0	4.0	130	92	0.151 "	1.089 "		
10.0	4.0	252	88	0.457 "	4.664 "		
10.0	5.0	155	92	0.169 "	1.29 "		
10.0	6.0	171	90	0.144 "	0.90 "		
10.0	8.0	195	94	0.198 "	2.714 "		
10.0	10.0	191	94	0.225 "	4.81 "		
12.0	4.0	130	92	0.156 "	0.729 "		
12.0	5.0	223	96	0.225 "	4.788 "		
12.0	6.0	100	90	0.094 "	1.004 "		
12.0	8.0	110	94	0.104 "	1.376 "		
12.0	10.0	207	97	0.21 "	1.927 "		
14.0	4.0	158	90	0.144 "	0.967 "		
8.0	8.0	168	86	0.196 "	4.489 "		

TABLA DE RESULTADOS No. 2.

PREPARACION		TEMPERATURAS (°C)		CONDUCTIVIDAD CON REGISTRO		
%	%	DE LA ARENA.		DE TEMP. EN ARENA (cal/cm-seg°C)		
B.SOD.	HUM.	MAXIMA.	MINIMA.	MAXIMA.	MINIMA.	
4.0	2.5	230	83	0.875 x 10 <sup>-4</sup>	1.851 x 10 <sup>-4</sup>	
4.0	2.5	231	82	1.01 "	3.811 "	
6.0	4.0	237	72	1.01 "	9.765 "	
6.0	4.0	149	89	0.581 "	2.744 "	
8.0	4.0	194	97	0.735 "	6.65 "	
8.0	4.0	245	85	1.645 "	0.294 "	
10.0	4.0	130	92	0.528 "	3.811 "	
10.0	4.0	252	88	0.591 "	4.515 "	
10.0	5.0	155	92	0.504 "	3.15 "	
10.0	6.0	171	90	0.693 "	9.49 "	
10.0	8.0	195	94	0.787 "	16.83 "	
10.0	10.0	191	94	1.59 "	16.31 "	
12.0	4.0	119	92	0.546 "	2.55 "	
12.0	5.0	223	96	0.787 "	16.73 "	
12.0	6.0	100	90	0.329 "	3.504 "	
12.0	8.0	110	94	0.364 "	4.816 "	
12.0	10.0	207	97	0.735 "	6.744 "	
14.0	4.0	158	90	0.504 "	3.384 "	
8.0	8.0	168	86	0.686 "	15.71 "	

TABLA DE RESULTADOS No. 3.

PREPARACION		TEMPERATURA (°C)	TIEMPO TOTAL	CONDUCTIVIDAD.
%	%	DE FUSION	SOLIDIF.(seg)	(cal/cm-seg°C)
B.SOD.	HUM.	METAL.		
4.0	2.5	623	690	0.62 x 10 <sup>-3</sup>
4.0	2.5	623	690	0.574 "
6.0	4.0	623	696	0.560 "
6.0	4.0	628	570	0.28 "
8.0	4.0	624	636	0.565 "
8.0	4.0	626	739	0.50 "
10.0	4.0	629	720	0.547 "
10.0	4.0	626	540	0.60 "
10.0	5.0	628	552	0.72 "
10.0	6.0	624	756	0.465 "
10.0	8.0	624	690	0.567 "
10.0	10.0	624	582	0.73 "
12.0	4.0	628	738	0.718 "
12.0	5.0	628	528	0.541 "
12.0	6.0	626	660	0.535 "
12.0	8.0	626	540	0.682 "
12.0	10.0	631	720	0.493 "
14.0	4.0	626	654	0.585 "
8.0	4.0	624	552	0.656 "

## 2. Índice General de Gráficas.

### ---A. Para la Difusividad.

#### Gráfica No. 1.

Difusividad contra contenidos de Humedad. Para Temperaturas Mínimas, manteniendo constante los valores de 10 y 12 % de Bentonita Sódica.

#### Gráfica No. 2.

Difusividad contra contenidos de Humedad. Para Temperaturas Máximas, manteniendo constante los valores de 10 y 12 % de Bentonita Sódica.

#### Gráfica No. 3.

Difusividad contra contenidos de Bentonita Sódica. Para Temperaturas Máximas y Mínimas, manteniendo constante los valores de 4 % de Humedad.

### ---B. Para la Conductividad.

#### Gráfica No. 4.

Conductividad contra contenidos de Humedad. Para Temperaturas Mínimas, manteniendo constante los valores de 10 y 12 % de Bentonita Sódica.

#### Gráfica No. 5.

Conductividad contra contenidos de Humedad. Para Temperaturas Máximas, manteniendo constante los valores de 10 y 12 % de Bentonita Sódica.

#### Gráfica No. 6.

Conductividad contra Temperaturas. Para contenidos de 6 % de Bentonita Sódica, y 4 % de Humedad.

Gráfica No. 7.

Conductividad contra contenidos de Bentonita Sódica. Para Temperaturas Máximas y Mínimas, manteniendo constante el contenido de 4 % de Humedad.

Gráfica No. 8.

Conductividad contra contenidos de Humedad. Para Temperatura de Solidificación ( $660^{\circ}\text{C}$ ), Temperatura de fusión; -- manteniendo constante los valores de 10 y 12 % de Bentonita Sódica.

---C. Para Tiempo y Carga Optimos.

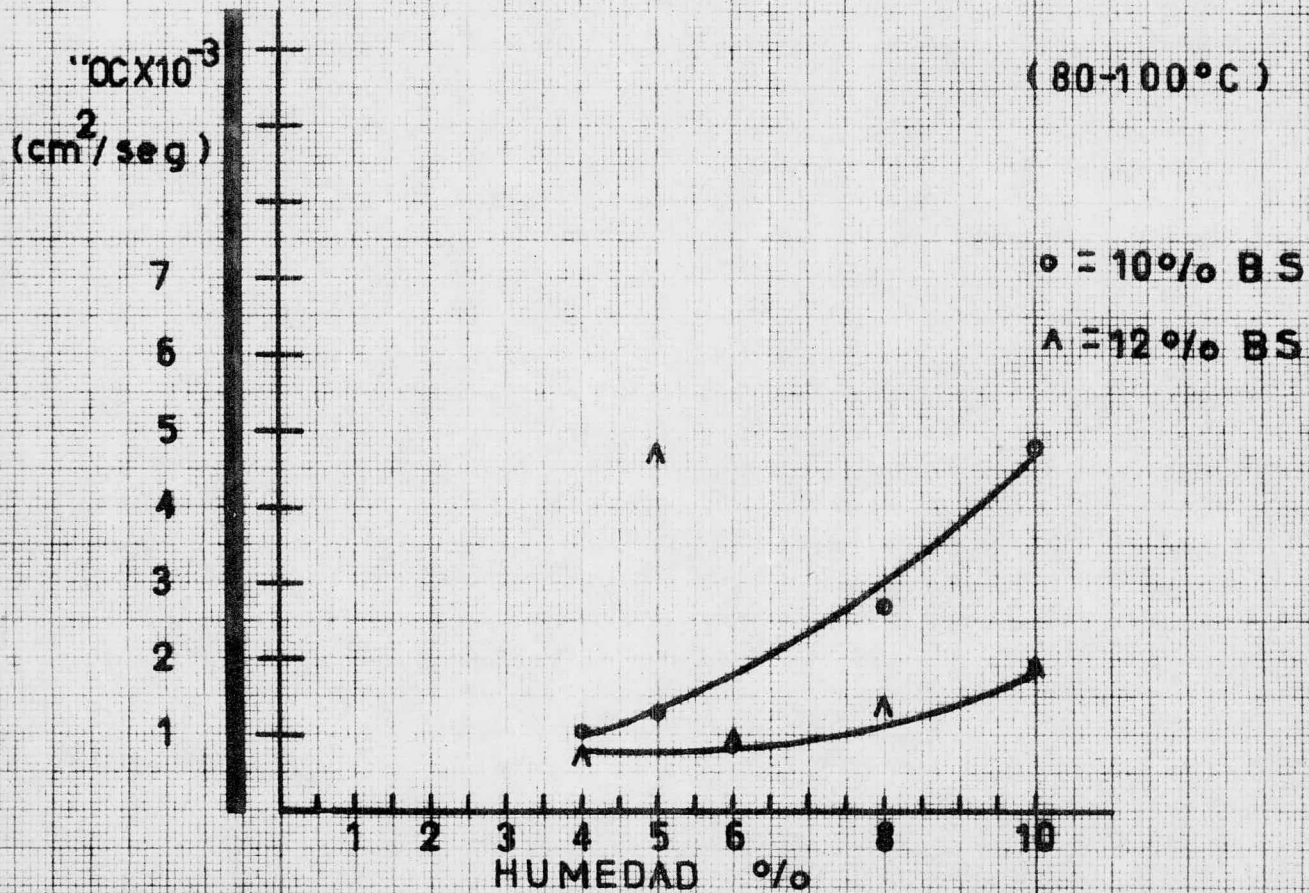
Gráfica A.

Resistencia a la Compresión ( $\text{lb}/\text{in}^2$ ), contra Tiempo (min) para determinar el Tiempo Optimo.

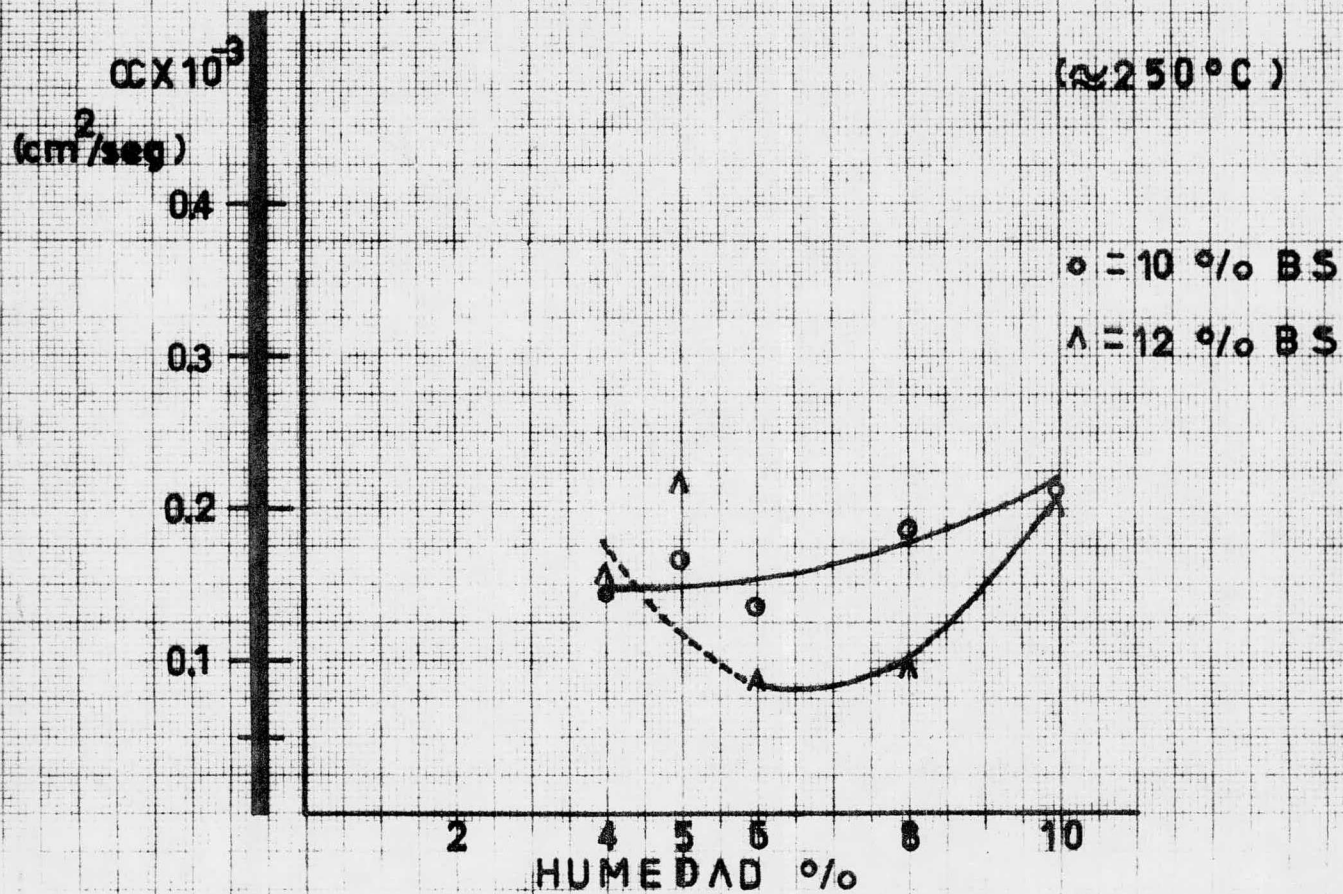
Gráfica B.

Resistencia a la Compresión ( $\text{lb}/\text{in}^2$ ), contra Carga (Kg) , para determinar la Carga Optima.

## GRAFICA N.º 1



## GRAFICA No 2





## GRAFICA No 3

 $\alpha \times 10^{-3}$   
( $\text{cm}^2/\text{seg}$ )

20

15

10

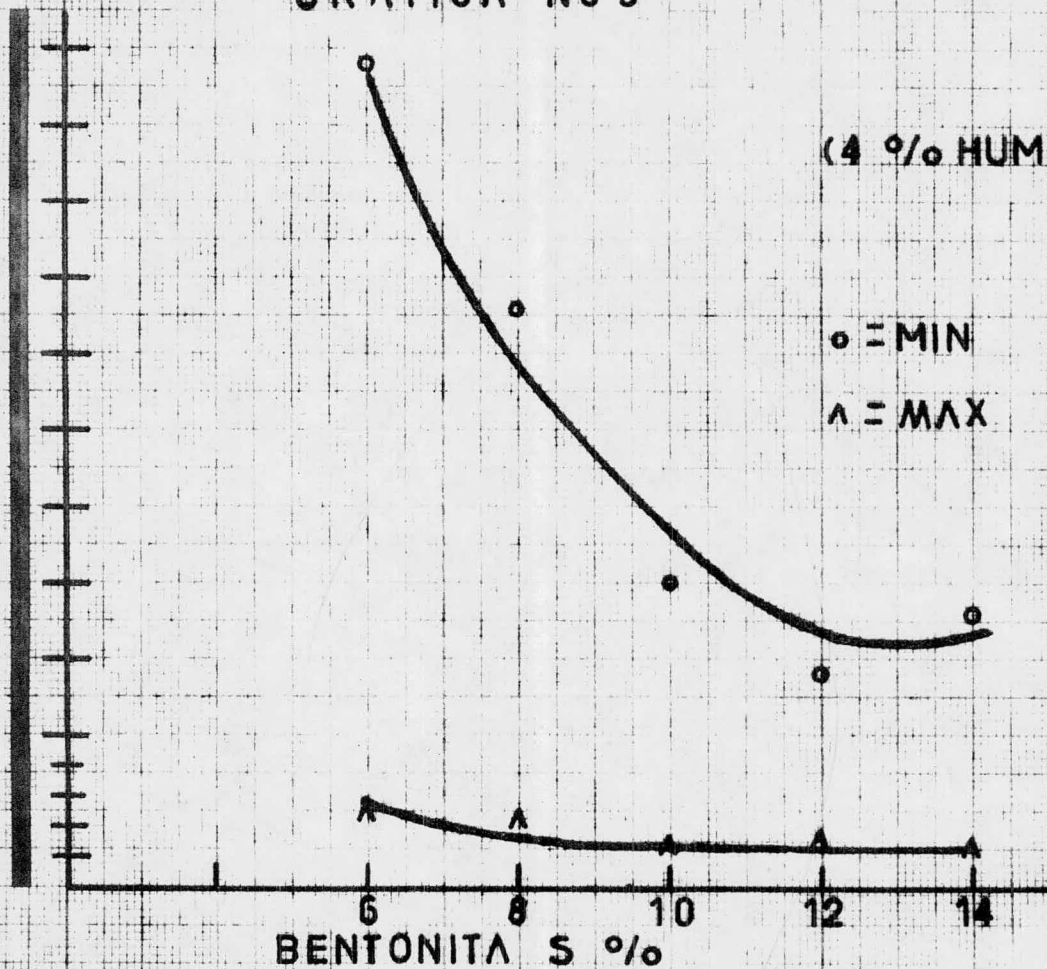
0.5

(4 % HUMEDAD)

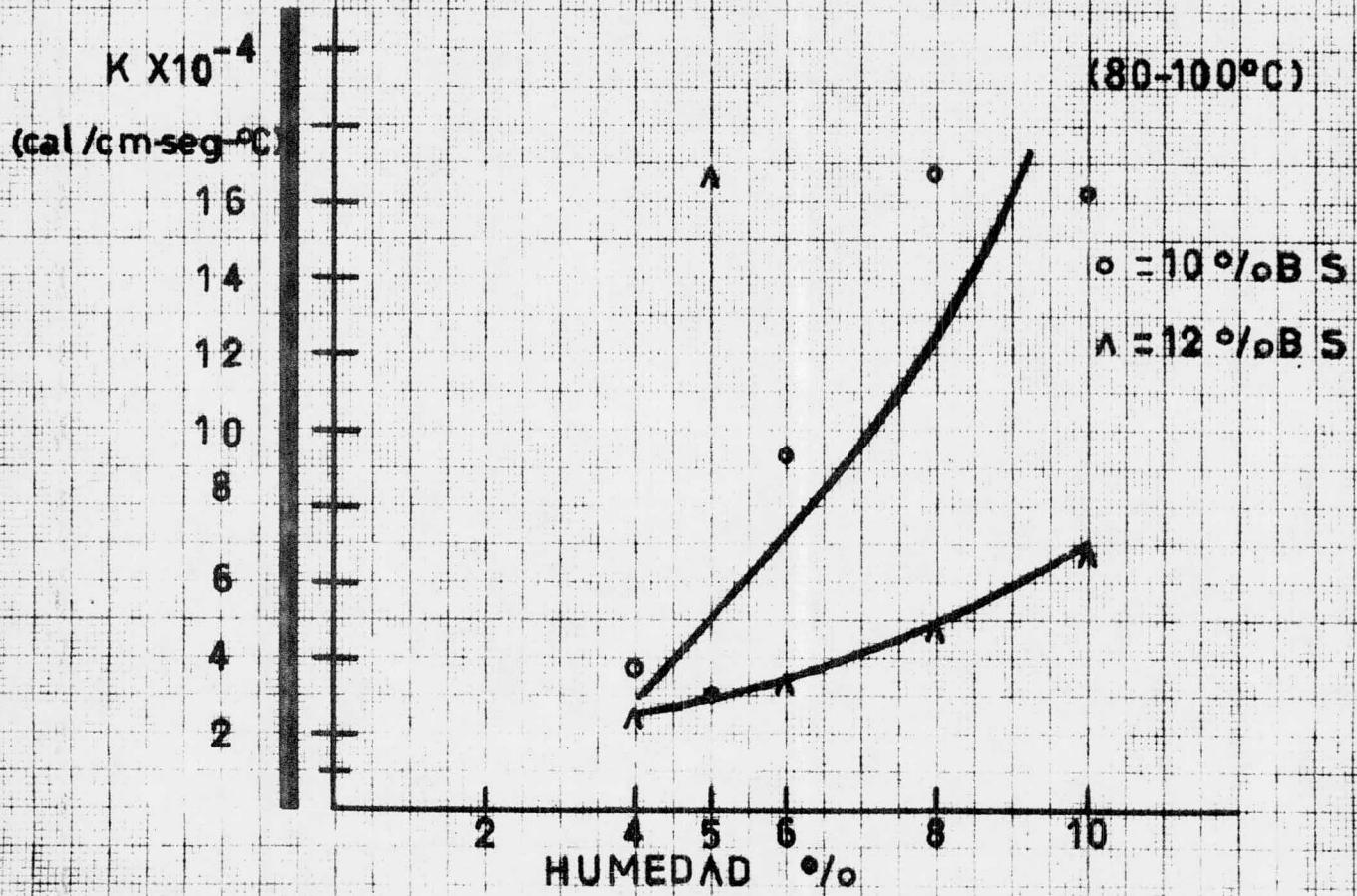
○ = MIN

△ = MAX

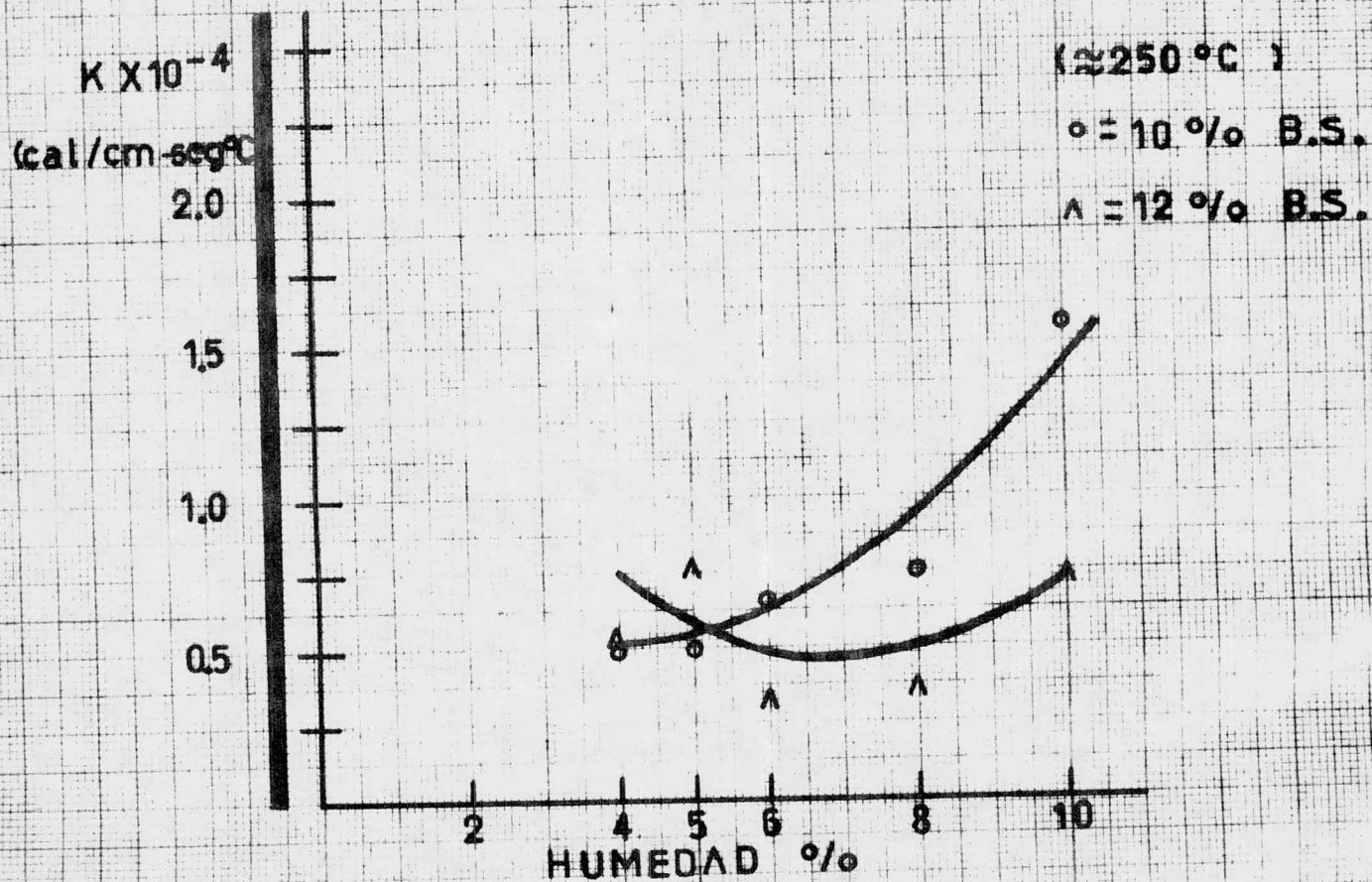
BENTONITA S %



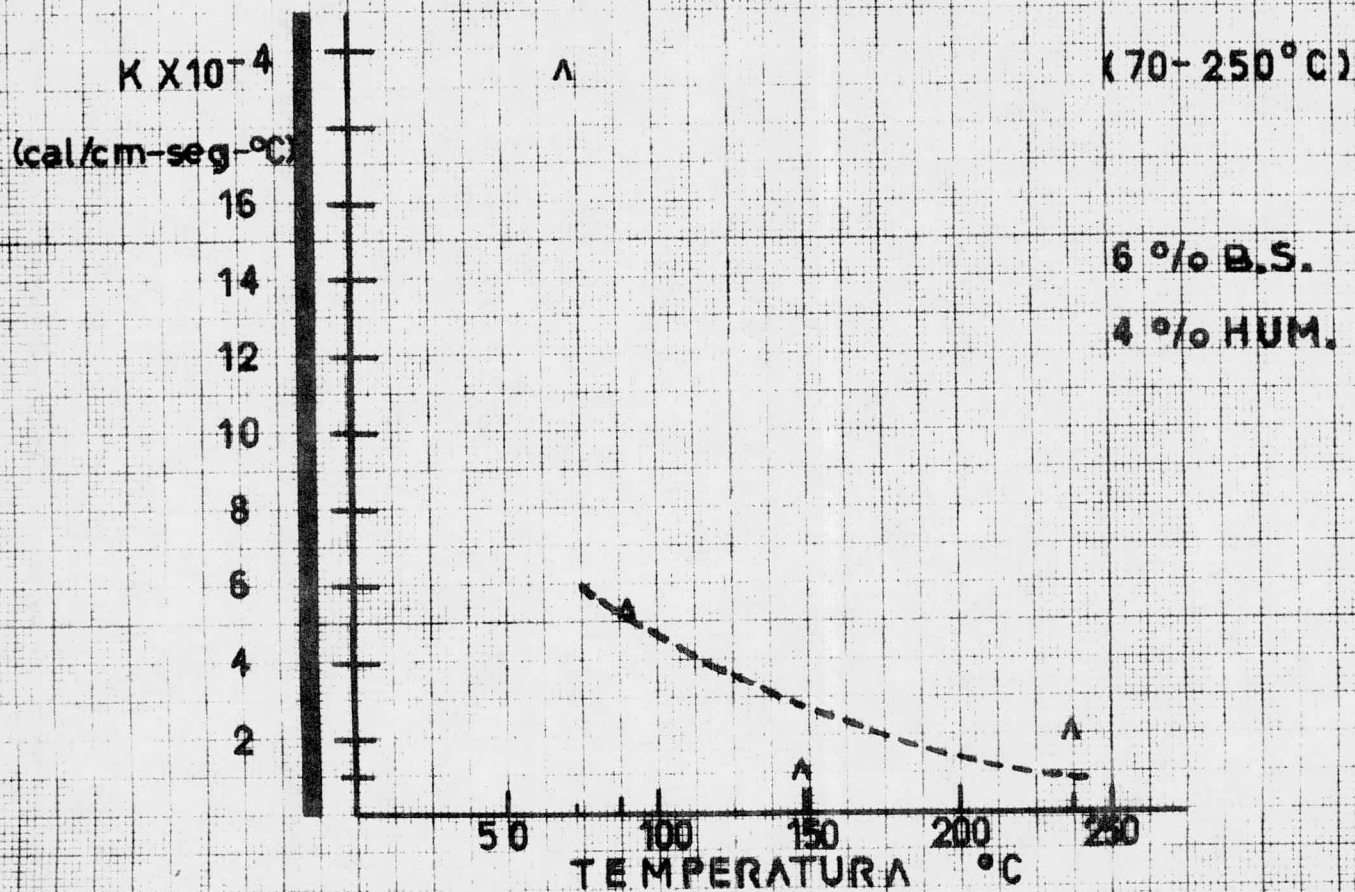
# GRAFICA No 4



## GRAFICA N.º 5



## GRAFICA No 6





## GRAFICA N°7

 $K \times 10^{-4}$   
(cal/cm-seg°C)

8

7

6

5

4

3

2

1

\* =  $T_s$  (660°C)

o = MIN (80-100°C)

^ = MAX ( $\approx$ 250°C)

4

6

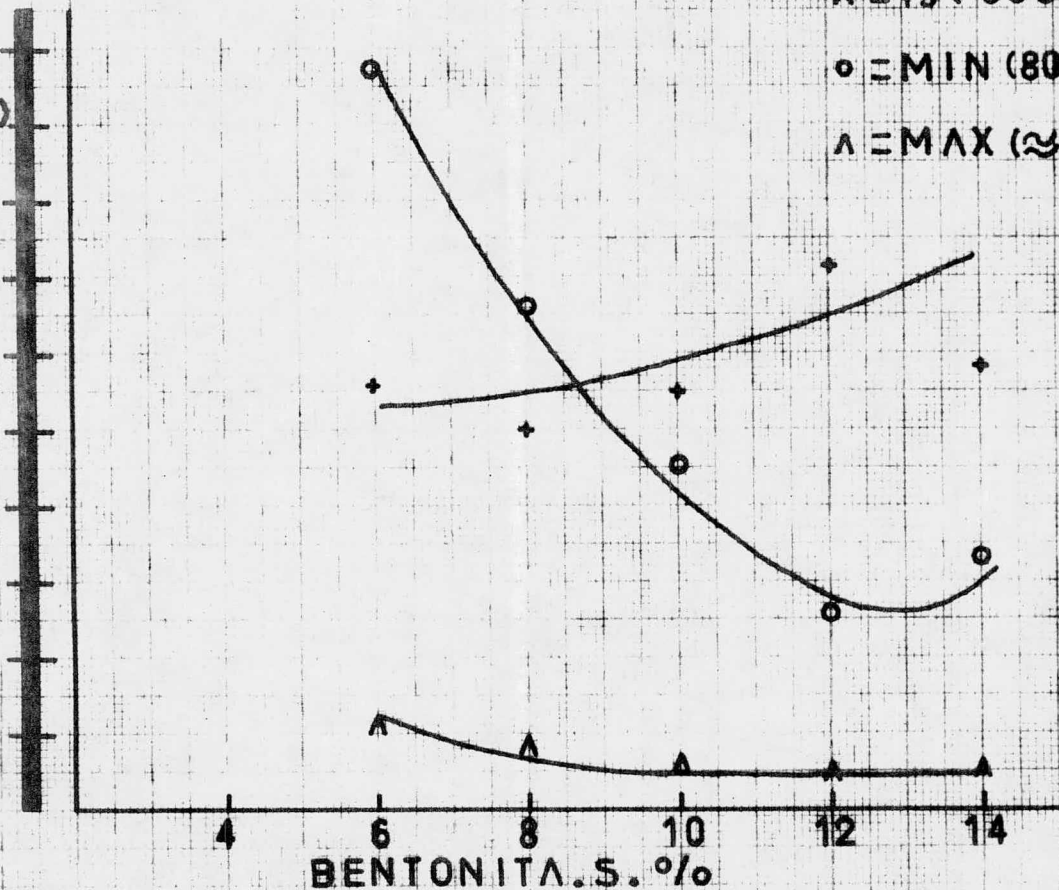
8

10

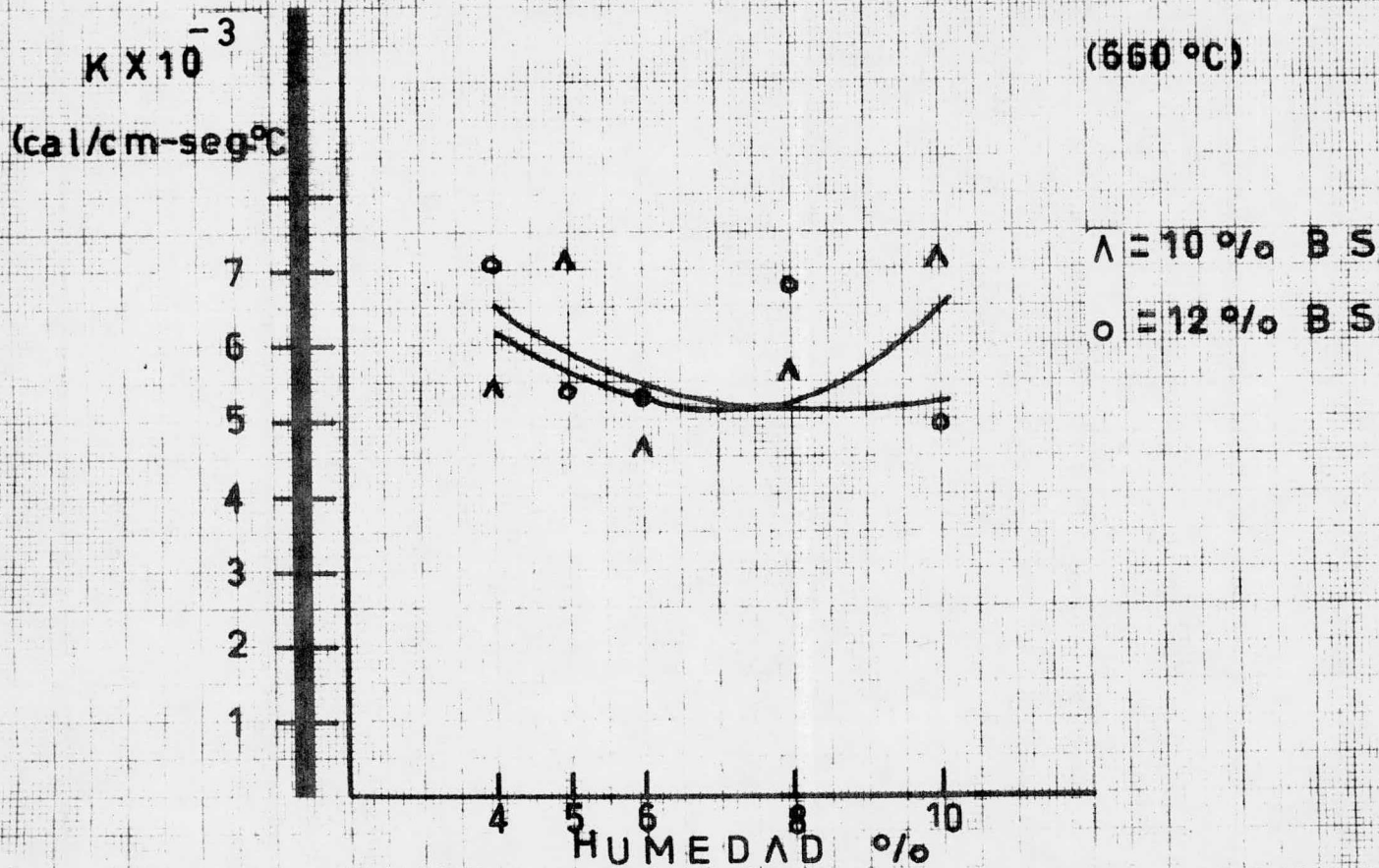
12

14

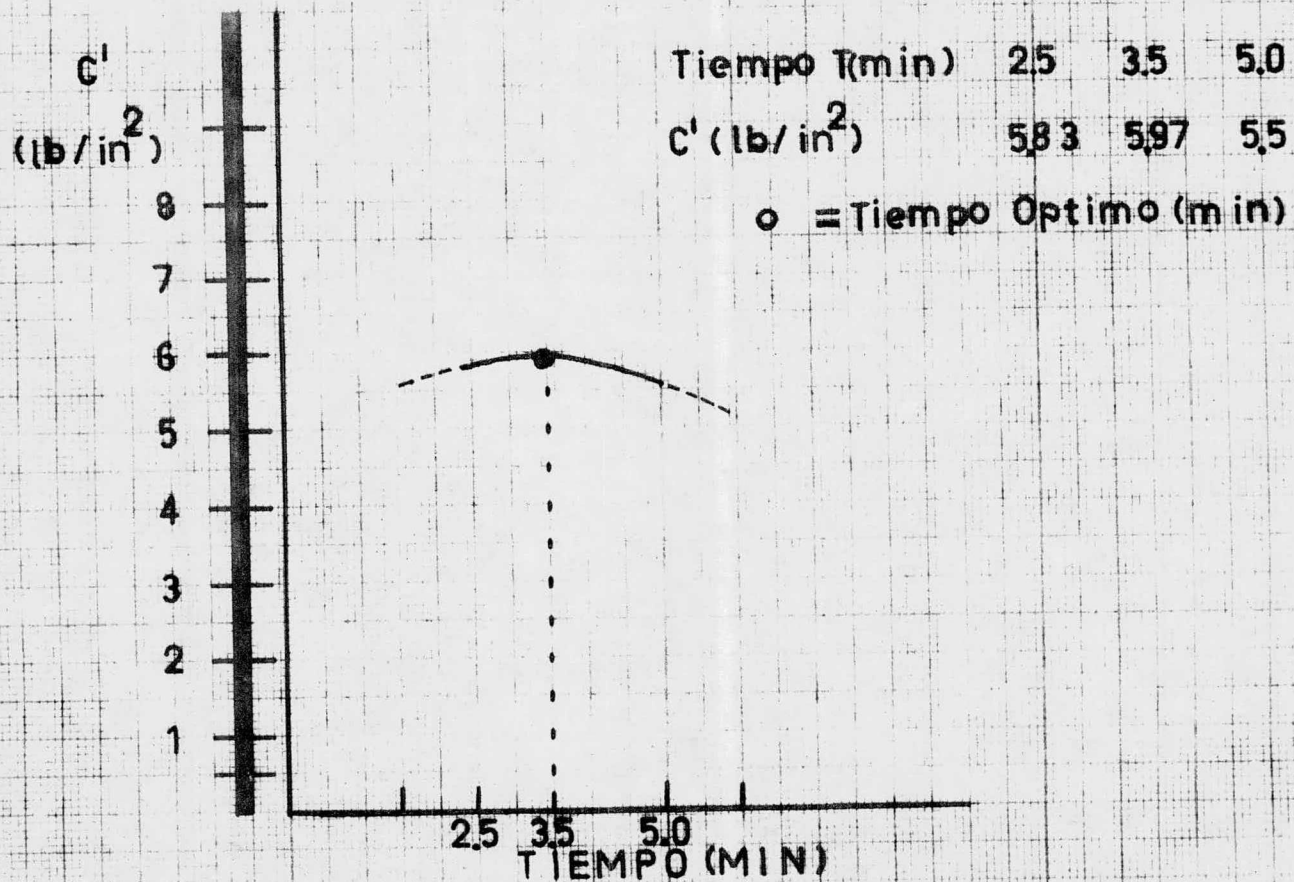
BENTONITA.S. %



## GRAFICA No 8



## GRAFICA A

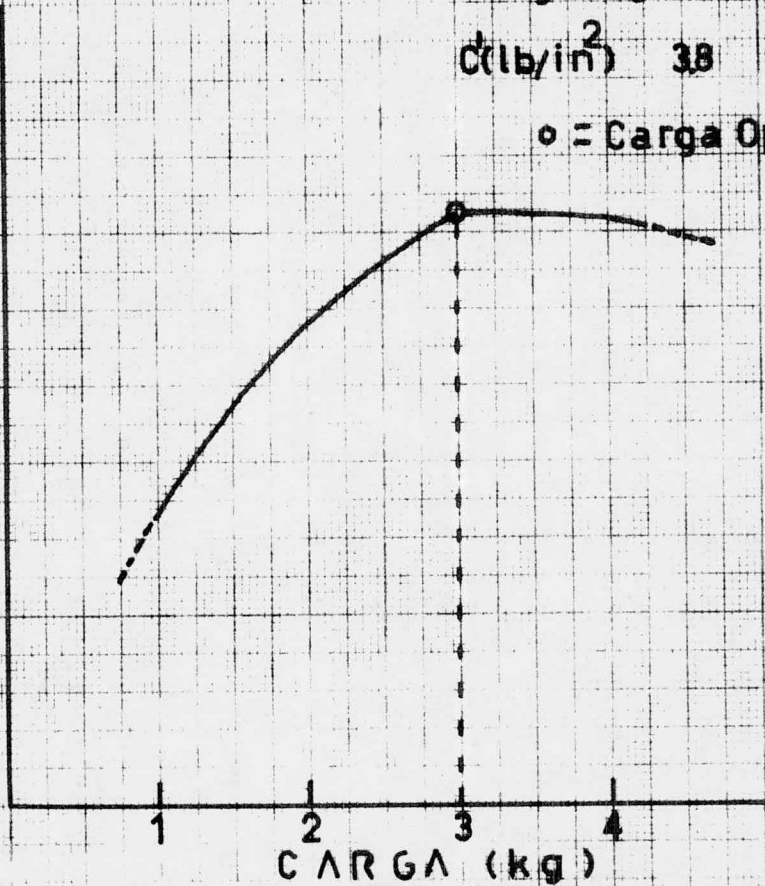


## GRAFICA B

 $C'$   
(lb/in<sup>2</sup>)8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1

Carga (kg)	1	2	3	4
$C'$ (lb/in <sup>2</sup> )	3.8	6.31	7.72	7.7

○ = Carga Optima (kg)



CARGA (kg)



### 3. Discusiones.

Se da una interpretación que permite evaluar el comportamiento de la arena y la influencia de la humedad y/o Bentonita Sódica con respecto a la Difusividad y Conductividad térmicas. Los resultados obtenidos a partir de las determinaciones experimentales, fueron interpretados en forma cualitativa o sea, el esfuerzo de este trabajo, como se indica al principio del mismo, estuvo enfocado hacia la obtención de observaciones generales de comportamiento, y no a la obtención de datos exactos para cada ensayo.

Algunos puntos reportados y graficados, pueden considerarse extraños,; queda abierta una futura experimentación en trabajos posteriores para la aclaración de los mismos.

#### Gráfica No. 1.

Temperatura: Mínima. (80-100°C).

% Bentonita S.	% Humedad.	Difusividad (cm <sup>2</sup> /seg)	
10.0 .....	4.0 ...	1.089 X 10 <sup>-3</sup>	"
10.0 .....	5.0 ...	1.300 X 10 <sup>-3</sup>	"
10.0 .....	6.0 ...	0.900 X 10 <sup>-3</sup>	"
10.0 .....	8.0 ...	2.700 X 10 <sup>-3</sup>	"
10.0 .....	10.0 ...	4.810 X 10 <sup>-3</sup>	"

Temperatura: Mínima. (80-100°C).

% Bentonita S.	% Humedad.	Difusividad (cm <sup>2</sup> /seg)	
12.0 .....	4.0 ...	0.730 X 10 <sup>-3</sup>	"
12.0 .....	5.0 ...	4.780 X 10 <sup>-3</sup>	"
12.0 .....	6.0 ...	1.004 X 10 <sup>-3</sup>	"
12.0 .....	8.0 ...	1.370 X 10 <sup>-3</sup>	"
12.0 .....	10.0 ...	1.920 X 10 <sup>-3</sup>	"

## Gráfica No. 2.

Temperatura: Máxima (250°C).

% Bentonita S.	% Humedad.	Difusividad (cm <sup>2</sup> /seg)	
10.0 .....	4.0 ...	0.150 X 10 <sup>-3</sup>	"
10.0 .....	5.0 ...	0.169 X 10 <sup>-3</sup>	"
10.0 .....	6.0 ...	0.144 X 10 <sup>-3</sup>	"
10.0 .....	8.0 ...	0.198 X 10 <sup>-3</sup>	"
10.0 .....	10.0 ...	0.225 X 10 <sup>-3</sup>	"

Temperatura: Máxima (250°C).

% Bentonita S.	% Humedad.	Difusividad (cm <sup>2</sup> /seg)	
12.0 .....	4.0 ...	0.156 X 10 <sup>-3</sup>	"
12.0 .....	5.0 ...	0.225 X 10 <sup>-3</sup>	"
12.0 .....	6.0 ...	0.940 X 10 <sup>-3</sup>	"
12.0 .....	8.0 ...	0.104 X 10 <sup>-3</sup>	"
12.0 .....	10.0 ...	0.210 X 10 <sup>-3</sup>	"

Para Gráficas 1 y 2.

Para estos valores obtenidos, se nota claramente como se reporta en la literatura (3), que a mayores contenidos de humedad, la Difusividad aumenta; similarmente para contenidos de 10 y 12 % de Bentonita Sódica.

Para los dos distintos niveles de temperatura, se -- observa que mediante el método Fusión-Solidificación, desarrollado en este trabajo, la tendencia que siguen los valores obtenidos, presentan una relación cualitativa muy clara.

Gráfica No. 3.

Temperatura: Mínima (80-100 °C).

% Humedad.	% Bentonita S.	Difusividad (cm <sup>2</sup> /seg).	
4.0 ....	6.0 .....	2.790 X 10 <sup>-3</sup>	"
4.0 ....	8.0 .....	1.909 X 10 <sup>-3</sup>	"
4.0 ....	10.0 .....	1.089 X 10 <sup>-3</sup>	"
4.0 ....	12.0 .....	0.729 X 10 <sup>-3</sup>	"
4.0 ....	14.0 .....	0.967 X 10 <sup>-3</sup>	"

Temperatura: Máxima (250 °C).

% Humedad.	% Bentonita S.	Difusividad (cm <sup>2</sup> /seg).	
4.0 ....	6.0 .....	0.289 X 10 <sup>-3</sup>	"
4.0 ....	8.0 .....	0.210 X 10 <sup>-3</sup>	"
4.0 ....	10.0 .....	0.151 X 10 <sup>-3</sup>	"
4.0 ....	12.0 .....	0.156 X 10 <sup>-3</sup>	"
4.0 ....	14.0 .....	0.154 X 10 <sup>-3</sup>	"

Como era de esperarse nuevamente, basados en los reportes de la literatura, ésta gráfica ilustra claramente - como a mayores contenidos de Bentonita Sódica, la Difusividad presenta una tendencia hacia valores menores.

También se aprecia cómo con contenidos de 10 y 12 % de Bentonita Sódica, aparece una pequeña inflexión; al aumentar a 14 % de Bentonita Sódica, la dirección queda indefinida.

A temperaturas mínimas, ésta inflexión es acentuada. Para temperaturas máximas, se aprecian valores que parecen mantenerse constantes, a partir del 10 % de Bentonita Sódica.

Este comportamiento es similar al observado en la -- gráfica No. 7, y se analizará posteriormente.

## Gráfica No. 4.

Temperatura: Mínima ( 80-100°C ).

% Bentonita S.	% Humedad.	Conductividad (cal/cm-seg°C)	
10.0 .....	4.0 ....	$3.80 \times 10^{-4}$	"
10.0 .....	5.0 ....	$3.15 \times 10^{-4}$	"
10.0 .....	6.0 ....	$9.49 \times 10^{-4}$	"
10.0 .....	8.0 ....	$16.83 \times 10^{-4}$	"
10.0 .....	10.0 ....	$16.31 \times 10^{-4}$	"

Temperatura: Mínima ( 80-100°C ).

% Bentonita S.	% Humedad.	Conductividad (cal/cm-seg°C)	
12.0 .....	4.0 ....	$2.5 \times 10^{-4}$	"
12.0 .....	5.0 ....	$16.7 \times 10^{-4}$	"
12.0 .....	6.0 ....	$3.5 \times 10^{-4}$	"
12.0 .....	8.0 ....	$4.8 \times 10^{-4}$	"
12.0 .....	10.0 ....	$4.7 \times 10^{-4}$	"

Tanto para contenidos de 10 y 12 % de Bentonita Sódica, se nota claramente que el trazo de la curva de Conductividad, tiende hacia valores mayores conforme se aumentan los contenidos de Humedad.

Con temperatura Mínima (80-100°C), el valor de la Conductividad con 10 % de Bentonita Sódica, se incrementa ligeramente más rápido hacia valores más altos. A 10 % de Bentonita Sódica, los valores son más altos que para 12 % de Bentonita Sódica.

Según B. Rao y D.C. Williams, el agua aumenta el área de contacto, debido al incremento de las fuerzas de adhesión agua-arena. Siendo el valor de la Conductividad del agua más de 20 veces mayor que la del aire, hay un incremento de la Conductividad térmica de la mezcla. Adicio

nes 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 area de contacto entre los granos, posteriores-  
adiciones incrementarían, en pequeñas proporciones a la -  
Conductividad térmica de la mezcla. Este efecto no se a -  
precia en esta experimentación; únicamente, para 12 % de -  
Bentonita Sódica, y temperaturas de 660°C.

## Gráfica No. 5.

Temperatura: Máxima (250°C).

% Bentonita S.	% Humedad.	Conductividad (cal/cm-seg °C)	
10.0 .....	4.0 ...	0.528 X 10 <sup>-4</sup>	"
10.0 .....	5.0 ...	0.504 X 10 <sup>-4</sup>	"
10.0 .....	6.0 ...	0.693 X 10 <sup>-4</sup>	"
10.0 .....	8.0 ...	0.787 X 10 <sup>-4</sup>	"
10.0 .....	10.0 ...	1.59 X 10 <sup>-4</sup>	"

Temperatura: Máxima (250°C).

% Bentonita S.	% Humedad.	Conductividad (cal/cm-seg °C)	
12.0 .....	4.0 ...	0.546 X 10 <sup>-4</sup>	"
12.0 .....	5.0 ...	0.787 X 10 <sup>-4</sup>	"
12.0 .....	6.0 ...	0.329 X 10 <sup>-4</sup>	"
12.0 .....	8.0 ...	0.364 X 10 <sup>-4</sup>	"
12.0 .....	10.0 ...	0.735 X 10 <sup>-4</sup>	"

En esta gráfica, se aprecian valores muy semejantes a la gráfica anterior; o sea, con aumentos de humedad, la Conductividad crece tanto para contenidos de 10.0 y 12.0 % de Bentonita S.

Al comparar estos valores de Conductividad contra contenidos de humedad, los valores obtenidos por K.L Narayama y G. Rama-Krishnan, y también con Anastacio Juárez. C. (Ver Referencias No. 7 y 8); vemos que son similares, aunque no deja de observarse que para variaciones pequeñas de humedad la Conductividad se afecta muy sensiblemente.

Gráfica No. 6.

Bentonita S.	Humedad.	Temperatura.	Conductividad.
%	%	°C	(cal/cm-seg°C)
6.0	4.0	72	$9.70 \times 10^{-4}$
6.0	4.0	89	$2.70 \times 10^{-4}$
6.0	4.0	149	$0.60 \times 10^{-4}$
6.0	4.0	237	$1.01 \times 10^{-4}$

Se observa que para esta gráfica existe una doble tendencia de los valores de la Conductividad.

A bajas temperaturas (72°C), los valores son altos.

A temperaturas intermedias (149°C), alcanzan un mínimo y vuelven a aumentar.

Para valores mayores, no se tienen datos, puesto que el rango de calentamiento en la arena se mantuvo entre estos valores.

Estas cantidades se han comparado con los resultados reportados en la literatura: R.D. Pehlke y A.J. Kirt y Ma - rotto C.Carlos. (ver Referencias 9 y 10), se comprueba que hay concordancia entre éstos, y los ya reportados anteriormente.

Aunque este trabajo no tuvo el propósito de estudiar concretamente el efecto de la temperatura, los resultados y discusiones que se incluyen, corresponden al rango de temperaturas ensayadas para este experimento. A esto se debe que se incluya una sola gráfica como ejemplo del valor de Conductividad frente al registro de temperaturas. Para los contenidos: 4 % de Bentonita S. y 2.5 % de Humedad; igualmente, para los contenidos: 10 y 4; 12 y 4 % de Bentonita S y 4 % de Humedad respectivamente, se sigue observando, que las tendencias son las mismas anotadas anteriormente.

Gráfica No. 7.

Temperatura: Mínima (80-100°C).

% Bentonita S.	% Humedad.	Conductividad (cal/cm-seg°C)	
6.0	4.0	$9.765 \times 10^{-4}$	"
8.0	4.0	$6.650 \times 10^{-4}$	"
10.0	4.0	$4.515 \times 10^{-4}$	"
12.0	4.0	$2.550 \times 10^{-4}$	"
14.0	4.0	$3.384 \times 10^{-4}$	"

Temperatura: Máxima (250°C).

% Bentonita S.	% Humedad.	Conductividad (cal/cm-seg°C)	
6.0	4.0	$1.010 \times 10^{-4}$	"
8.0	4.0	$0.735 \times 10^{-4}$	"
10.0	4.0	$0.591 \times 10^{-4}$	"
12.0	4.0	$0.546 \times 10^{-4}$	"
14.0	4.0	$0.504 \times 10^{-4}$	"

Tiempos de Solidificación: (630.0 seg).

% Bentonita S.	Tiempo de S. (seg)	Conductividad (cal/seg°C)	
6.0	630.0	$5.60 \times 10^{-4}$	"
8.0	630.0	$5.00 \times 10^{-4}$	"
10.0	630.0	$5.47 \times 10^{-4}$	"
12.0	630.0	$7.18 \times 10^{-4}$	"
14.0	630.0	$5.85 \times 10^{-4}$	"

Aquí aparecen 3 curvas; dos, corresponden a los rangos de temperaturas: máxima y mínima, y la tercera, pertenece a los rangos de Tiempos de Solidificación. Ver tabla de Resultados No. 3), tomados a 630.0 seg.

Para los dos niveles de temperatura y exactamente - con 10 y 12 % de Bentonita S, hay un decremento de la Conductividad, al aumentar el contenido de aglutinante. Este



efecto puede deberse principalmente a un fenómeno de absorción de humedad por parte de la Bentonita que rodea al grano de arena.

Ahora bien, para la curva obtenida por Tiempos de Solidificación, se nota claramente que estos valores no presentan la tendencia anterior tan claramente.

Por tanto, lo que esta última serie de valores indica, es que: a niveles más altos de Temperatura ( $66^{\circ}\text{C}$ ) las diferencias entre los valores de Conductividad a distintos niveles de Bentonita Sódica, son mínimas.

## Gráfica No. 8.

Temperatura de Solidificación (660°C).

% Bentonita S.	% Humedad.	Conductividad (cal/cm-seg°C)	
10.0 .....	4.0 ....	$0.547 \times 10^{-3}$	"
10.0 .....	5.0 ....	$0.72 \times 10^{-3}$	"
10.0 .....	6.0 ....	$0.465 \times 10^{-3}$	"
10.0 .....	8.0 ....	$0.567 \times 10^{-3}$	"
10.0 .....	10.0 ....	$0.73 \times 10^{-3}$	"

Temperatura de Solidificación (660°C).

% Bentonita S.	% Humedad.	Conductividad (cal/cm-seg°C)	
12.0 .....	4.0 ....	$0.718 \times 10^{-3}$	"
12.0 .....	5.0 ....	$0.541 \times 10^{-3}$	"
12.0 .....	6.0 ....	$0.535 \times 10^{-3}$	"
12.0 .....	8.0 ....	$0.682 \times 10^{-3}$	"
12.0 .....	10.0 ....	$0.493 \times 10^{-3}$	"

Para 10 y 12 % de Bentonita S. respectivamente, el valor de Conductividad presenta un ligero decremento, al ir aumentando el contenido de Humedad, desde 4 hasta 8 %; a partir de este valor, y unicamente para 12 % de Bentonita S, la Conductividad disminuye; como anteriormente se ha tratado de explicar esta tendencia. Aunque, para 10% de Bentonita, a partir de 6 % de humedad, la Conductividad se va incrementando, debido a las adiciones de agua, pues, la humedad influye notablemente sobre el comportamiento de la Conductividad.

## Gráficas A y B.

Los valores de la gráfica A, corresponden al tiempo Optimo de mezclado, obtenido para la preparación de las muestras ensayadas. Fué de 3.5 minutos.

Del mismo modo, los valores de la gráfica B, pertenecen a la carga Optima de mezclado, y fué una de las variables que se mantuvo constante para todos los ensayos.- Fué de 3.0 Kg. Ver Referencia No. 4.

Punto de inflexión en la temperatura de la arena.

En las gráficas de la temperatura de arena se observó un punto de inflexión después de cierto tiempo de haber vaciado el metal, a una temperatura en la arena alrededor de 70-80°C.

Se hizo un intento por relacionar el tiempo que dura la inflexión con el contenido de humedad de la muestra; al considerar que a este nivel de temperatura el agua se evapora, y el contenido de humedad sería el responsable directo de esta inflexión. Los valores se han presentado en la tabla de Datos No. 3.

Como se ve, no hay ninguna relación, ni siquiera -- cualitativa, entre el tiempo que dura la inflexión y la humedad.

TABLA COMPARATIVA DE DATOS.

Aunque una comparación de valores de Difusividad y Conductividad es muy difícil, debido, a la cantidad de variables que intervienen y que no se especifican siempre con toda claridad en la literatura; se seleccionaron algunos de ellos que coincidían en la composición de la mezcla, - esto es: 4.0 % de Bentonita Sódica y 2.5 % de Humedad y a 650°C aproximadamente.

AUTOR.	REF.	"K" (cal/cm-seg°C)	"α" (cm <sup>2</sup> /seg)
M.C.Adams	(1)(Inglaterra)	... 1.40 X 10 <sup>-3</sup>	
Seshadri	(11)(India)	..... 0.90 X 10 <sup>-3</sup>	..... 2.5 X 10 <sup>-3</sup>
Pehlke	(2)(U.S.A.)	..... 2.30 X 10 <sup>-3</sup>	..... 3.8 X 10 <sup>-3</sup>
Narayama	(7)(India)	..... 0.61 X 10 <sup>-3</sup>	..... 1.9 X 10 <sup>-3</sup>
Virolle	(12)(Francia)	.....	..... 2.0 X 10 <sup>-3</sup>
Juárez C.	(8)(U.N.A.M.)	..... 0.60 X 10 <sup>-3</sup>	..... 1.7 X 10 <sup>-3</sup>
Marotto C.	(10)(U.N.A.M.)	..... 0.60 X 10 <sup>-3</sup>	..... 1.7 X 10 <sup>-3</sup>
Este Trabajo	(U.N.A.M.)	..... 0.62 X 10 <sup>-3</sup>	..... 1.8 X 10 <sup>-3</sup>

Se nota una relación muy semejante entre los valores de Difusividad y Conductividad para el presente estudio, y los desarrollados por U.N.A.M. posiblemente debido al control de las preparaciones, es decir, igual naturaleza química; mismo tamaño de grano; mismo aglutinante; e igual control de humedad, etc.

Esto mismo no ocurre para el resto de valores, ya que no se especifica claramente, qué tipo de variables determinaron una mayor influencia en las propiedades térmicas de la arena ensayada.

## V

## A P E N D I C E

1. FIGURA No. 1.

MODELO Y MOLDE.

2. FIGURA No. 2.

DIMENSIONES DEL MOLDE Y CALCULO DE VOLUMEN  
Y DENSIDAD DE LA ARENA.

3. FIGURA No. 3.

ILUSTRACION DE CURVA EXPERIMENTAL.

FIGURA No 1

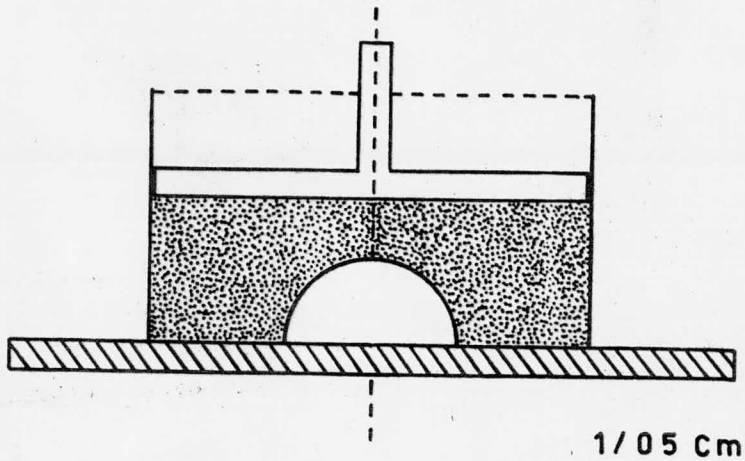
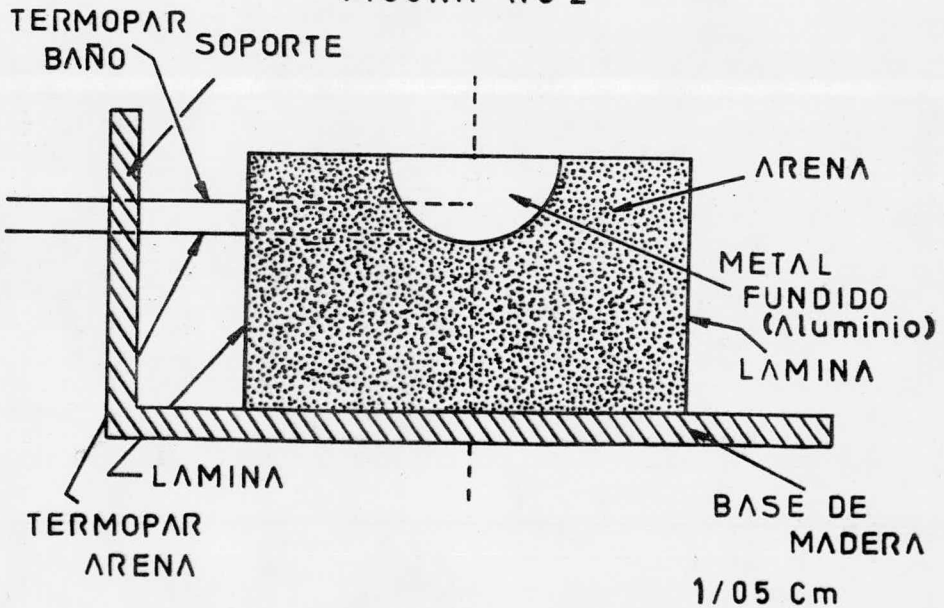
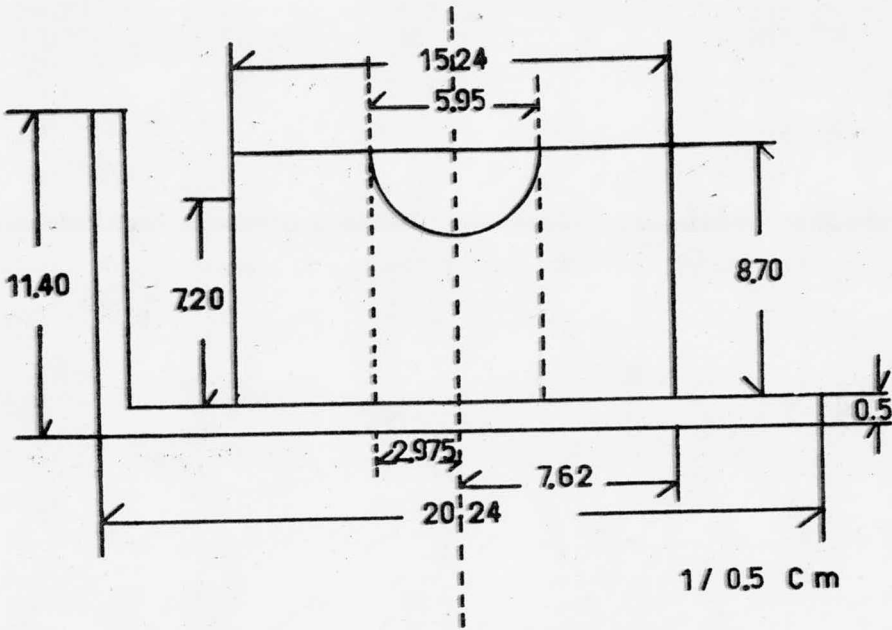


FIGURA No 2





### AREA VOLUMEN Y DENSIDAD DE LA ARENA

A) MOLDE

B) SEMIESFERA

Datos:

Datos:

$$\phi = 15.24 \text{ cm.}$$

$$\phi = 5.95 \text{ cm.}$$

$$R = 7.62 \text{ cm.}$$

$$r = 2.975 \text{ cm.}$$

$$h = 8.70 \text{ cm.}$$

$$A = \pi R^2 = 182.4 \text{ cm}^2$$

$$A = \pi r^2 = 52.84 \text{ cm}^2$$

$$V = \pi R^2 h = 1586.89 \text{ cm}^3$$

$$V = \frac{2}{3} \pi r^3 = 51.80 \text{ cm}^3$$

C) Densidad de la Arena.

$$\text{Volumen de Arena} = 2000 \text{ g.}$$

$$V_a = V_m - V_{sem}$$

$$= 1586.89 - 51.80$$

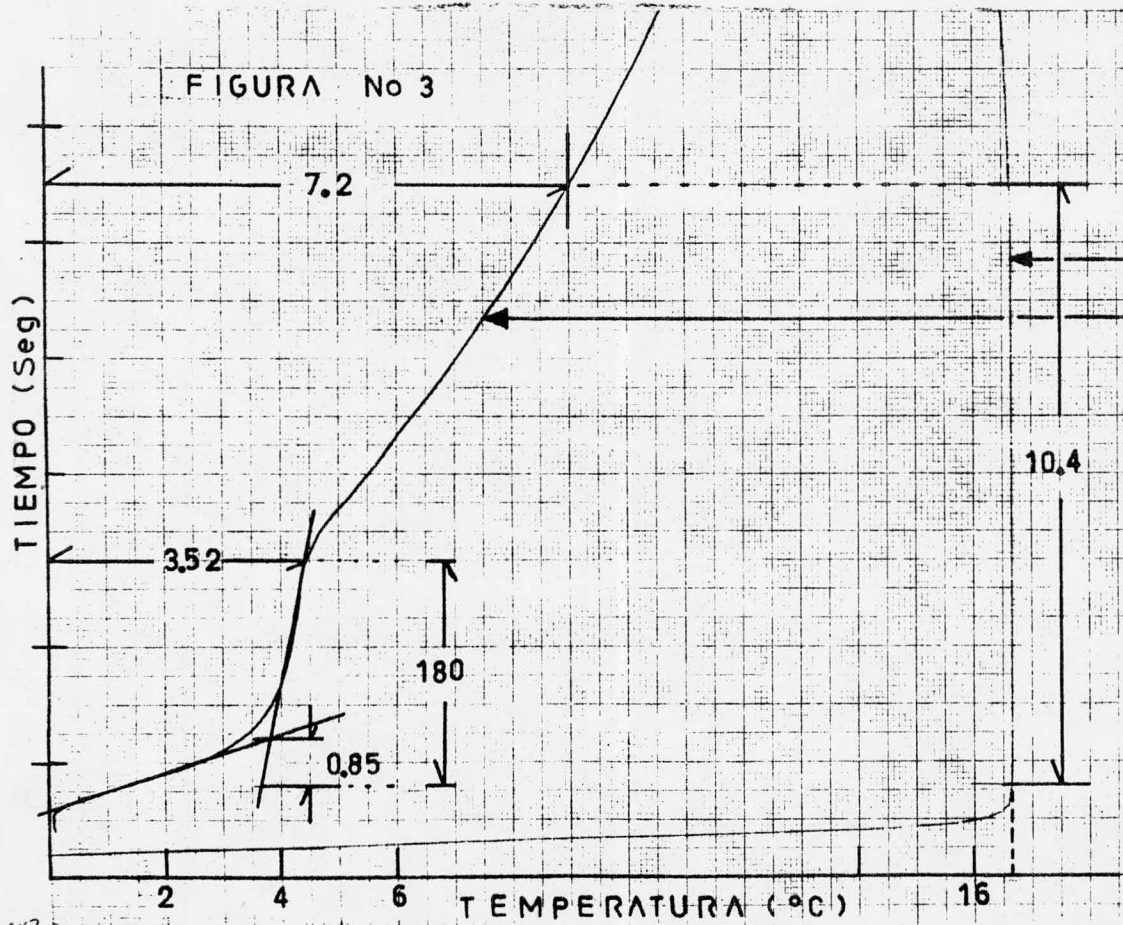
$$\rho_a = M/V = 2000 / 1535.09 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_a = 1.3 \text{ g/cm}^3$$

FIGURA No 3

CARGA = 3.0 Kg  
14.0% BENTONITA S.  
4.0% HUMEDAD

C-ROJO = BANO 50MV  
C-AZUL = ARENA 20MV  
V = 2.5 Cm/Min



AK-2



## IV

## CONCLUSIONES

1. El Método de FUSION-SOLIDIFICACION desarrollado en el presente trabajo, es sencillo en cuanto a la manipulación experimental y rápido en su realización. La interpretación de los datos es directa; esto significa que es apropiado para la obtención de datos térmicos de la arena de moldeo.

2. Los datos térmicos obtenidos, presentan una serie de tendencias muy claras de comportamiento en cuanto a las variables estudiadas. Estas son:

\_\_\_\_\_ La Difusividad aumenta al aumentar el contenido de Humedad.

\_\_\_\_\_ La Conductividad aumenta al aumentar el contenido de Humedad.

\_\_\_\_\_ La Difusividad disminuye conforme se aumenta el contenido de Bentonita Sódica.

\_\_\_\_\_ La Conductividad disminuye conforme se aumenta el contenido de Bentonita Sódica.

\_\_\_\_\_ Para la preparación: 6% de Bentonita Sódica con 4% de Humedad y a bajas temperaturas ( 250 C), la Conductividad disminuye al ir aumentando la Temperatura hasta cierto límite (ensayado).

## B I B L I O G R A F I A

1. C.M. Adams, and H.F. Taylor.  
"Flow of heat from sand castings by conduction, radiation and convection!"  
A.F.S. Trans, 1957.
2. R.D. Pehlke and M.J. Kirt.  
"Determination of material thermal properties using computers techniques!"  
Cast Metals Research. jurnal, vol 9 (June 1973)
3. C.M. Adams and H.F. Taylor. Op. cit.
4. Raúl Arellano A.  
"Estudio de las propiedades mecánicas de arenas-  
en verde y la relación con sus propiedades tér-  
micas"  
Tesis. Facultad de Química, U.N.A.M. 1977.
5. C.M. Adams and H.F. Taylor. Op. cit.
6. B.B. Rao and D.C. Williams.  
"Effect of variation in rammed sand density and-  
varius additives on thermal conductivity of gre-  
en sand mixtures".  
Modern Casting, vol 49 (March 1966).
7. K.L. Narayama and G. RamaKrishnan.  
"Thermal properties of bentonite bonded homoge-  
neous sand mixes".  
Brit. Found. 1976.
8. A.J. Juárez C.  
"Influencias de la preparación del sistema de --  
moldeo sobre las propiedades térmicas del mismo"  
Tesis. Facultad de química, U.N.A.M. 1977.

9. R.D. Pehlke and M.J. Kirt. Op. cit.
10. C. Marotto Cabrera.  
"Determinación de las propiedades térmicas de las arenas de moldeo".  
Tesis. Facultad de Química, U.N.A.M. 1977.
11. M.R. Seshadri and A. Ramachandran.  
"A transient heat flow method of determining thermal properties of mould materials".  
A. Brit, Found, 1962.
12. X. Virolle, R. Chevriot and M. Jeancolas.  
"Experimental study of the thermal diffusivity of molding materials".  
Cast Metals Research. journal, vol 3 (March 1967).