

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

ESTUDIO DE UN METODO PARA HACER INCOMBUSTIBLE EL
CASCABILLO DE ARROZ, PARA USARLO COMO MATERIAL AISLANTE

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
POR



PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

JULIO FRANCISCO MARTINEZ URRUTIA

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1974

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DEPOSITO LEGAL
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO

AGRADECIMIENTO:

AL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA, ESPECIALMENTE -
AL LABORATORIO QUIMICO, EN CUYAS INSTALACIONES SE REALIZO EL -
TRABAJO EXPERIMENTAL. HABIENDO CONTADO EN TODO MOMENTO -
CON LA COLABORACION Y APOYO DE TODO EL PERSONAL, EN SUS DIS-
TINTOS NIVELES.

AL INGENIERO RODOLFO SOLIS OLIVA, ASESOR DE TESIS, QUIEN
CON SU AYUDA DESINTERESADA Y SU BASTA EXPERIENCIA HIZO POSIBLE
LA CULMINACION DEL PRESENTE TRABAJO.

AL INGENIERO EMILIO BELTRANENA, JEFE DEL CENTRO DE INVESTI-
GACIONES DE INGENIERIA.

A LA FACULTAD DE INGENIERIA.

12
08
T(8)

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

DE LA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Decano:	Ing. Hugo Quan Má
Vocal Primero:	Ing. Julio Campos Bonilla
Vocal Segundo:	Ing. Roberto Barrios
Vocal Tercero:	Ing. Leonel Aguilar Girón
Vocal Cuarto:	Br. Jaime Klussmann F.
Vocal Quinto:	Br. Edgar Daniel de León M.
Secretario:	Ing. José Luis Terrón C.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

Decano:	Ing. Hugo Quan Má
Examinador:	Ing. Gabriel Biguria
Examinador:	Ing. Rodolfo Solís
Examinador:	Ing. Carlos Rölz
Secretario:	Ing. José Luis Terrón C.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

Cumpliendo con lo establecido por la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración mi trabajo de tesis titulado:

ESTUDIO DE UN METODO PARA HACER INCOMBUSTIBLE EL
CASCABILLO DE ARROZ, PARA USARLO COMO MATERIAL AISLANTE

Tema que me fuera asignado por la Honorable Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería.

DEDICO ESTA TESIS:

A DIOS

A MIS PADRES:

JULIO ROBERTO MARTINEZ P.
CORONA ISABEL URRUTIA DE MARTINEZ

A MI ESPOSA:

SILVIA ADRIANA GONZALEZ DE MARTINEZ

A MIS HIJOS:

FRANCISCO ROBERTO MARTINEZ GONZALEZ
SILVIA IVETTE MARTINEZ GONZALEZ

A MIS HERMANOS:

CESAR AUGUSTO MARTINEZ URRUTIA
CARLOS LEONEL MARTINEZ URRUTIA
LIGIA ISABEL MARTINEZ URRUTIA

A MIS ABUELITOS, TIOS Y TIAS EN GENERAL

A MIS FAMILIARES Y AMIGOS

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1.- SUMARIO	1
2.- INTRODUCCION	2
3.- REVISION DE LITERATURA	4
4.- DEFINICIONES, ESPECIFICACIONES Y CALCULO DE MUESTRA	5
4.1 Definiciones	5
4.2 Especificaciones	6
4.3 Cálculo de muestra	25
5.- RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES DE INCOMBUSTIBILIDAD DE LA MUESTRA PILOTO	35
6.- TRATAMIENTOS DEL CASCABILLO DE ARROZ, OBTENCION DE RESULTADOS Y SELECCION DE LAS MUESTRAS CON MEJORES RESULTADOS	37
6.1 Tratamientos del cascabillo de arroz y obtención de resultados	37
6.2 Selección de las muestras con mejores resultados	45
7.- OBTENCION DE LAS PROPIEDADES FINALES EN LAS MUESTRAS SELECCIONADAS	48
8.- DISCUSION DE LOS RESULTADOS	51
9.- CONCLUSIONES	59
10.- RECOMENDACIONES	61
11.- BIBLIOGRAFIA	62
12.- APENDICES (Numerados del 1 al 36)	64

1.- SUMARIO

El trabajo experimental que se expone en esta tesis, tiene como objetivo reunir y exponer los datos y resultados de las diferentes pruebas realizadas con el cascabillo de arroz, al tratar de mejorar y aumentar sus cualidades de material aislante a temperaturas relativamente elevadas tomando en cuenta la naturaleza orgánica del material.

Para lograr tal objetivo, se usaron soluciones elaboradas a diversas concentraciones de productos químicos, con características conocidas de ignífugos, retardantes de la combustión y preservadores contra el fuego.

En base a las experiencias realizadas, se logró determinar que los productos químicos que mejor cumplen con tal propósito fueron:

- a) La mezcla de ácido bórico (60% en peso) y de tetraborato de sodio (borax 40% en peso).
- b) Urea 46%.

Se presentan además, los diferentes datos obtenidos con todos los productos químicos probados, así como las conclusiones y recomendaciones que a partir de este trabajo nos han parecido pertinentes de exponer.

2.- INTRODUCCION

Siendo Guatemala un país eminentemente agrícola, es necesario que los guatemaltecos empleemos todos nuestros recursos y conocimientos para lograr la industrialización de tales productos y sus derivados, pensando en aumentar las ganancias, al mismo costo, con la mejor utilización de los mismos.

• Siguiendo esta guía, se trató de obtener un material aislante e incombustible a altas temperaturas usando un derivado del arroz, de gran consumo este último en nuestro medio, tal derivado es la cascarilla o cascabillo del arroz, considerado hasta la fecha como material de desecho.

Este trabajo que podría llamarse preliminar, tiene por objeto probar una metodología ensayando un pequeño número de productos químicos de posible efecto ignífugo o retardante, para trazar posteriormente un plan completo de investigación y desarrollar una técnica de preservación que conlleve: Bajo costo, facilidad de aplicación y alta eficiencia.

Las causas que provocaron la idea de obtener un material aislante a partir del cascabillo de arroz, fue sin lugar a dudas el hecho de que dicho material se ha venido usando desde hace mucho tiempo como conservador de hielo, en los lugares donde la refrigeración es muy difícil o su costo es muy elevado.

Con este material se pensó obtener un aislante ideal en tuberías de vapor, estufas, condensadores, etc. para posteriormente con nuevas investigaciones, tratar de obtener planchas de diferentes gruesos utilizables en construcción especialmente en

tabiques o separaciones interiores, con lo cual se obtendría bajo costo en construcción y viviendas más seguras.

Puesto que las experiencias dieron los resultados satisfactorios que se esperaban, creemos sinceramente que el presente trabajo puede ser el comienzo de una serie de experimentos tendientes a la mejor explotación de los productos considerados como desecho.

3.- REVISION DE LITERATURA

El tema en cuestión ha venido siendo tratado en diferentes textos a partir de 1945, sin embargo tales experiencias se han enmarcado en el tratamiento de maderas contra el fuego, con la finalidad de obtener viviendas a bajo costo y con particulares propiedades de incombustibilidad (no inflamables) para mayor seguridad de sus habitantes, especialmente en países en que la construcción en madera es de uso general.

Por lo tanto, un definido estudio o referencia literaria al respecto de materiales fuera de la madera, como el que estamos tratando, no existe. Esto fue uno de los primeros escollos que dificultó el trabajo experimental ya que se hizo necesario diseñar un procedimiento de prueba que diera resultados apegados a la realidad y aplicables en todos los casos, dicho procedimiento que se expone más adelante, se basó primordialmente en normas establecidas por el ASTM (1), referentes a pruebas de incombustibilidad de maderas, en experiencias durante el trabajo de laboratorio y en sugerencias de los asesores, motivadas por su gran conocimiento del tema.

TESIS DE REFERENCIA
NO
SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA
BIBLIOTECA CENTRAL - USAC.

4.- DEFINICIONES, ESPECIFICACIONES Y CALCULO DE MUESTRA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

Dada la naturaleza poco común del presente trabajo, se presentan las siguientes definiciones para mejor comprensión de los datos expuestos posteriormente.

4.1.- Definiciones

Muestra: Es una cantidad pesada y medida de cascabillo de arroz, ya sea antes o después del tratamiento.

Humedad: Es el contenido de agua libre o molecular que se encuentra en la muestra.

Densidad específica: Se le llama así al volumen de agua desplazada en centímetros cúbicos, por cierta cantidad de gramos de la muestra.

Densidad aparente: Es el volumen en centímetros cúbicos que ocupa cierto número de gramos de la muestra.

Pruebas de incombustibilidad: Se determinaron por el porcentaje muestra residual (agua residual) o por el porcentaje de pérdida de peso que sufre la muestra al someterse durante 3 minutos a diferentes temperaturas que oscilaron entre 200 y 400 °C.

Conductividad térmica: Es la constante de proporcionalidad de la ley de Fourier.

$$\frac{q}{A} = -K \frac{dT}{dn}$$

A = Area de superficie isothermal.

n = Distancia medida normal a la superficie.

q = Velocidad de flujo de calor a través de la superficie y normal a la misma.

T = Temperatura.

K = Conductividad térmica.

Es una propiedad física de los materiales, que los identifica y diferencia. Es conocida como una de las propiedades de transporte del material.

Esta constante determina la oposición que presenta la muestra a la transmisión de calor por conducción a través de ella.

Retención de las muestras: Es la cantidad de material tratante que fue absorbido por el cascabillo de arroz durante los tratamientos por inmersión.

Cenizas: Es la cantidad de muestra que permanece como residuo, luego de someter el cascabillo de arroz a una temperatura de 550 °C durante una hora.

4.2.- Especificaciones

El trabajo experimental consistió básicamente de los siguientes aspectos:

a) Escoger el tipo de tratamiento.

En general, existen tres tipos de tratamientos que se han investigado y probado para aumentar la resistencia de materiales contra el fuego, estos métodos se exponen a continuación:

- 1) Tratamientos a presión, en los cuales la muestra se coloca en cilindros de tratamiento o en autoclaves y se impregnan con el ignífugo preservador bajo una fuerza o presión considerable.
- 2) Tratamientos sin presión, basados en la impregnación de las muestras con el ignífugo por medio de un proceso de inmersión breve o prolongada y en frío o en caliente, de la muestra dentro de una solución en que el soluto es el ignífugo y el solvente es agua en la mayoría de los casos.

- 3) Tratamientos por cubrimientos o formación de capas protectoras del ignifugo sobre la superficie del material, para lo cual se requiere que el ignífugo tenga características de adherencia y sea pintable.

Conociendo los tres métodos antes expuestos, se decidió utilizar el segundo, - merced a la sencillez de su aplicación y a lo barato que resulta, estableciéndose - que en las soluciones a emplearse se tendrá como solvente el agua, lo cual hace que los costos de tratamientos se reduzcan.

- b) Investigación de productos químicos con propiedades ignífugas:

Para investigar este aspecto, revisamos en la literatura, (2), (3), (4), que aunque todos tratan de la preservación de maderas contra el fuego, los productos químicos empleados son de características ignífugas por ellos mismos.

Los preservadores químicos o ignífugos, son sustancias que aplicadas en forma adecuada al cascabillo de arroz, lo hacen resistente al fuego, estos pueden ser puros o mezclas y varían de acuerdo a su naturaleza, costo y efectividad.

Los preservadores químicos deben cumplir ciertas características para considerarlos aptos a utilizarse en nuestra investigación; por lo tanto deberán ser: Inodoros, incoloros, no corrosivos, solubles en agua, fáciles de maniobrar y que se puedan con seguir en cantidades suficientes a precios adecuados.

El resultado de nuestra investigación reportó los siguientes productos químicos como retardantes del fuego: Cloruro de amonio, fosfato dibásico de amonio, fosfato monobásico de amonio, sulfato de amonio, tetraborato de sodio (bórax), ácido bórico, urea, fosfato de magnesio, cloruro de zinc, fosfato de sodio, cloruro de magnesio, incluyendo también algunas combinaciones y mezclas de los anteriores, tales co

mo: Acido bórico 60% y bórax 40%; bórax 67% y fosfato monobásico de amonio 33 %; cloruro de magnesio 45% y fosfato monobásico de amonio 55%; cloruro de zinc 54% y fosfato monobásico de amonio 46%.

De entre los anteriores ignífugos, se seleccionaron los que de acuerdo a las características expuestas cumplían en mejor forma con los objetivos de la investigación incluyendo como parte fundamental el costo de los mismos; los ignífugos seleccionados fueron:

- 1) Cloruro de magnesio.
- 2) Sulfato de amonio.
- 3) Cloruro de amonio.
- 4) Urea.
- 5) Acido bórico 60% y bórax 40%.
- 6) Cloruro de zinc.

Además se probó experimentalmente como ignífugos al sulfato doble de sodio y potasio (alumbre) y al agua de zunil, el primero por su alto contenido mineral y características de incombustible, y al segundo por tener un alto contenido de minerales y por ser un producto nacional que hasta el presente no se le ha encontrado uso industrial.

En el Apéndice 1, se exponen algunas características físicas de cada uno de los ignífugos escogidos.

Además de los productos químicos puros, existen mezclas de los mismos que se han comercializado, pero que por su costo y por la dificultad de conseguirlos en el mercado nacional, no fue posible utilizarlas, ejemplos de tales mezclas son:

- Nombre: Cloruro de zinc cromado.

Constituyentes: Cloruro de zinc cromado	80 partes.
Sulfato de amonio	10 partes.
Acido bórico	10 partes.

- Nombre: Minalith

Constituyentes: Difosfato de amonio	10 partes.
Sulfato de amonio	60 partes.
Tetraborato de sodio anhidro (bórax)	10 partes.
Acido bórico	20 partes.

- Nombre: Pyresote

Constituyentes: Cloruro de zinc	35 %
Sulfato de amonio	35 %
Acido bórico	25 %
Bicromato de sodio	5 %

Sin embargo, las propiedades de retardantes del fuego de casi todas estas mezclas, vienen siendo dadas por los siguientes productos químicos solubles en agua y retardantes del fuego: Fosfato de amonio, bórax, sulfato de amonio, silicato de sodio; los cuales son combinados con otros productos para darle a la mezcla propiedades de adherencia, darle apariencia, etc. Hasta la fecha, no se ha encontrado un compuesto insoluble en agua, que tenga igual o mejor efectividad como retardante que los productos antes mencionados.

c) Investigación de las condiciones típicas de los tratamientos.

El problema principal que se tuvo en esta fase, fue la investigación y determinación de cuales eran las variables que podrían llegar a influenciar el tratamiento, de forma que se tuviera que hacer una coordinación de las mismas a fin de obtener las condiciones óptimas de eficiencia y economía en los tratamientos.

Se llegó a establecer que tales variables, fuera de la que determina el ignífugo son:

- 1) Tiempo de duración del tratamiento.
- 2) Temperatura del tratamiento.
- 3) La concentración en la solución del ignífugo.

Con las primeras pruebas experimentales realizadas, se llegó a la conclusión que en cuanto al tiempo de tratamiento se notaba muy poca diferencia cuando los tratamientos se realizaban con diferencias de una y dos horas, por ello se tomaron como parámetros para el tiempo de tratamiento: 1 hora y 4 horas de duración.

En cuanto a las temperaturas, se trató de cubrir todo el margen permisible para el solvente, que es el agua, o sea entre 0 y 100 °C. habiéndose escogido: A temperatura ambiente (20 - 22 °C.), a 50 °C y a 90 °C. La primera porque evita costos de calentar o enfriar, la segunda como temperatura intermedia y la tercera como la máxima que se podría calentar para evitar la evaporación total del agua.

Con respecto a la concentración del ignífugo en la solución, se decidió empezar con un 10% en peso en la solución, ya que con cantidades menores la retención o adherencia de este en el cascabillo de arroz es en cantidades insignificantes, de 10% en peso se irá aumentando según lo permita la solubilidad en agua de los igni-

fugos.

d) Tratamientos de las muestras.

Luego de encontradas y especificadas las variables y cualidades de cada tratamiento, se iniciaron las experiencias siguiendo los pasos que se detallan a continuación:

- 1) Elaboración de la solución según la concentración del material químico (ignífugo) establecido.
- 2) Pesar la cantidad de cascabillo de arroz que se va a tratar. Esto se realizó de acuerdo a la densidad aparente de la muestra sin tratar que fue: 0.12 gr/cc. debido a que la solución debe cubrir completamente al cascabillo de arroz.

En resumen se utilizaron 20 gramos de cascabillo de arroz, que es lo necesario para cubrir los experimentos. Con respecto a la solución, se usaron 300 cc. por cada tratamiento.
- 3) Llevar la solución a la temperatura a que se va a realizar el tratamiento.
- 4) Mezclar el cascabillo con la solución.
- 5) Mantener la temperatura de la mezcla, agitando durante el tiempo que dure el tratamiento.

Es de notar que todo lo anterior se realizó a escala de laboratorio o sea tratando únicamente la cantidad de muestra necesaria para realizar a cabalidad los experimentos.

e) Secado de las muestras.

Para el secado, las muestras se colocaron sobre papel para eliminar el ignífugo no retenido y se utilizó aire ambiental, llegándose a establecer que un período de 72 horas es suficiente para secar las muestras.

El motivo por el cual el secado se realizó de esta forma, fue para evitar el aumento de los costos de tratamiento al usar aire caliente o un aparato mecánico.

f) Determinación de la retención de las muestras húmedas y secas.

Para encontrar la retención de las muestras húmedas, se procedió a escurrir las muestras luego de terminado el tiempo de tratamiento y a pesarlas, constituyendo la retención: La diferencia de peso antes y después del tratamiento. (Ver cálculo de muestra)

En cuanto a la retención seca, se procedió a pesar las muestras después de las 72 horas de secado, siendo la diferencia entre este peso y el peso antes del tratamiento, lo que constituye la retención, teniéndose para esto que involucrar la humedad antes y después del tratamiento. (Ver cálculo de muestra)

g) Determinación de la humedad de las muestras tratadas.

La determinación se realizó utilizando una estufa con termóstato regulador, y colocando la muestra durante una hora a 135 °C. La humedad o contenido de agua es la pérdida de peso que sufre la muestra y está constituida por la diferencia entre la muestra que entra y la que sale. (Ver cálculo de muestra)

La humedad es básica para todas las pruebas, ya que con esta obtenemos la discantidad de muestra seca que existe y determinamos además si esta cantidad fue dis

minuida durante las pruebas de incombustibilidad.

h) Determinación de las propiedades de incombustibilidad de las muestras.

Las pruebas de incombustibilidad se realizaron en una mufla de altas temperaturas, ya que no se pudo encontrar una estufa con termóstato que soporte las temperaturas a que se realizaron las pruebas.

Para llevar a cabo esta experiencia, se utilizó parte de lo que establece el método ASTM (1), que se refiere a las pruebas de incombustibilidad en madera, empleándose lo que era aplicable a nuestro caso, el método consistió en lo siguiente: Se introdujo a la mufla una cantidad pesada de muestra tratada conociéndose su humedad, manteniéndose dentro de la misma durante 3 minutos exactos a temperaturas constantes y diferentes que fueron: 200, 250, 300, 350 y 400 grados centígrados, luego se sacaron y se enfriaron en una desecadora. Se pesó la cantidad de muestra saliendo de la mufla para determinar posteriormente si la muestra se quemó, o si solamente desapareció total o parcialmente el contenido de agua original. (Para cada temperatura se usó muestra distinta).

Si el peso de la muestra saliendo es mayor que el peso seco (sin humedad) que entró, significa que la muestra no se quemó, en el caso contrario hubo parte de la muestra que cambió su constitución por el quemado y a ello se debe su pérdida de peso.

i) Selección de las muestras con mejores resultados en las pruebas de incombustibilidad.

Luego de haber realizado las pruebas de incombustibilidad de las muestras, -

que constituirían la primera parte de la investigación, se hizo necesario hacer una selección de las muestras que respondieron en mejor forma al tratamiento para seguir con éstas la segunda fase de la investigación.

Por lo tanto, la primera fase de las investigaciones la constituirían: La investigación de los tratamientos, los tratamientos mismos y las pruebas de incombustibilidad; mientras que la segunda fase la constituye la determinación de otras propiedades de las muestras seleccionadas tales como: Humedad, densidad específica, densidad aparente, cenizas, conductividad térmica.

Para seleccionar las muestras con mejores resultados se tomaron como base dos criterios, que en su orden fueron: Efectividad y costo. El proceso de selección fue el siguiente:

- 1) Efectividad: Entre todos los datos de incombustibilidad obtenidos se buscó minuciosamente cuales tratamientos proporcionaron los mejores resultados en cuanto a eficiencia, dependiendo de:
 - a) La máxima temperatura que soportaron sin quemarse, esto significa que quedaron todavía con un porcentaje de humedad.
 - b) Entre los que soportaron igual temperatura como máxima se escogieron los que contenían mayor cantidad de humedad, porque para llegar a quemarse se necesitaría remontar esta cantidad de agua primero. En otras palabras a mayor cantidad de agua después del tratamiento se tendrá mayor resistencia al quemado.
- 2) Costos: Se tomaron como base los tratamientos de mayor efectividad para crear una tabla de selección en la que se pusieron en el lado derecho la identificación del tratamiento, al centro los criterios de selección

ción que correspondían a costos y al final los datos de efectividad.

Los costos que se involucraron fueron los siguientes: Costo de transporte, costo de proporcionar calor durante los tratamientos, costo del material tratante o ignífugo y costo del tiempo de tratamiento. Los costos se determinaron de la siguiente forma:

Costo de Transporte: Únicamente es aplicable al agua de Zunil, y corresponde a la evaluación del costo incurrido por el traslado del agua desde el balneario aguas amargas de Zunil hasta la capital. Aunque este costo a primera vista parezca poco real, se determinó como la única forma de evaluación de este traslado.

Datos:

Distancia total: 420 Kms.

Gasto de combustible: 45 Kms/galón.

Precio del galón: 0.62 quetzales.

Luego costo del viaje: 5.79 quetzales. Trayendo 1 tonelada de agua de Zunil en el viaje, que equivale a 240 galones y por cada tratamiento se utilizaron 300 centímetros cúbicos, lo cual determina que el costo por tratamiento será de: 0.191 centavos de quetzal.

Costo de proporcionar calor durante los tratamientos: Para dar calor se utilizó mecheros de gas propano y como recipientes: Beakers de vidrio, en base a esto se evaluaron los costos, ya que como se explicó anteriormente los costos se realizaron sobre el trabajo real y experimental que se hizo, considerándose que el valor relativo de los tratamientos entre

si, sería el mismo aún a niveles industriales.

En este costo se involucraron dos clases de pérdidas de calor y una de dar calor neto, tales secciones se identifican así:

- a) Pérdida de calor por convección, debidas al enfrentamiento directo entre la llama (fuente de calor) y el aire. Este calor es el que sale del mechero pero que nunca llega a su destino constituyendo una pérdida de calor continua.
- b) Pérdidas de calor por conducción, son debidas al contacto del aire con el beaker caliente, esto se realiza durante todo el tratamiento.
- c) Calor neto dado, que es la cantidad de calor que es necesario proporcionar para subir la temperatura hasta la del tratamiento en cuestión, este calor únicamente se utiliza al principio del tratamiento.

Cálculo de las pérdidas de calor por convección: Se utilizó la siguiente fórmula:

$$Q = W.C_p.A.T.$$

donde:

Q = Transferencia de calor dentro del flujo, BTU/Hr.

W = Velocidad de flujo de aire en Lbs/Hr.

C_p = Calor específico del aire en BTU/lb. °F.

AT = Diferencia de temperatura en °F.

Datos:

Temperatura de la llama del mechero: $800^{\circ}\text{C} = 1472^{\circ}\text{F}$ (asumida).

Temperatura del aire: $25^{\circ}\text{C} = 77^{\circ}\text{F}$.

Velocidad másica del aire: Para calcularla tomamos las medidas del lugar donde se realizó el experimento, que fueron: $4 \times 2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$ metros, lo que equivale a 25 metros cúbicos = 883.75 pies cúbicos. La densidad del aire a esa temperatura es de: 0.0740 lbs/pie^3 con lo cual obtenemos que en la habitación existen 65.4 libras de aire, asumimos una renovación de aire de $1/4$ del total, provocada por la llama del mechero, ya que la habitación permaneció cerrada, por lo tanto la velocidad másica del aire fue: 16.35 lbs/hr.

Calor específico del aire: 0.25 BTU/lb. °F.

Con estos datos y aplicando la fórmula obtuvimos que las pérdidas de calor por convección fueron de: 5,702.06 BTU/hr. Este valor es el mismo, sea cual fuere la temperatura a que se haga el tratamiento.

Cálculo de las pérdidas de calor por conducción: Se utilizó la fórmula para cilindros, ya que en nuestro caso el beaker tiene esa forma. Es de notar que este calor tiene valores distintos dependiendo de la temperatura del tratamiento.

Fórmula:

$$Q = \frac{2\pi L K (T_1 - T_2)}{\ln R_2/R_1}$$

donde:

Q = Velocidad de flujo de calor a través de la superficie en BTU/hr.

L = Largo del cilindro en pies.

T_1 = Temperatura interna del beaker en $^{\circ}\text{F}$.

T_2 = Temperatura del aire.

K = Conductividad térmica del vidrio en: BTU.Pie/pie²Hr. $^{\circ}\text{F}$.

R_1 = Diámetro interno del beaker.

R_2 = Diámetro externo del beaker.

Datos:

Conductividad térmica del vidrio: 0.63 BTU.Pie/pie²Hr. $^{\circ}\text{F}$.

Largo del cilindro (beaker) = 13.5 cms = 0.443 pies.

Temperatura del aire: $T_2 = 25^{\circ}\text{C} = 77^{\circ}\text{F}$.

Temperatura del beaker: $T_1 =$ depende del tratamiento y puede ser: $90^{\circ}\text{C} = 194^{\circ}\text{F}$. ó $50^{\circ}\text{C} = 122^{\circ}\text{F}$.

Radio interno del beaker: 4.178 cms.

Radio externo del beaker: 4.440 cms.

Usando los datos y aplicando la fórmula llegamos a obtener los siguientes resultados:

Pérdidas de calor por conducción en los tratamientos a 90°C fueron: 3361.2 BTU/hr., mientras que a 50°C fueron: 1292.78 BTU/hr.

Cálculo del calor necesario para llevar las muestras de la temperatura ambiente a la temperatura del tratamiento.

Fórmula:

$$Q = W.Cp.AT$$

Datos:

Libras del producto a calentar: 1 libra aproximadamente.

Calor específico del agua a 60°C = 1.05 BTU/lb. °F.

Temperatura ambiente: $T_1 = 20^\circ\text{C} = 68^\circ\text{F}$.

Temperatura deseada: $T_2 = 90$ ó 50°C . según el caso.

Con los datos y aplicando la fórmula se obtuvo los siguientes resultados: Calor necesario para calentar a $90^\circ\text{C} = 132.3$ BTU para calentar a $50^\circ\text{C} = 54$ BTU.

Para obtener los datos de costos tenemos como base lo siguiente: Se utilizó gas propano cuyo valor calorífico es de: 21,000 BTU/libra y cuyo costose de 16,50 Q. por 100 libras de gas.

Con estos datos procedimos a elaborar la siguiente tabla:

Tiempo de tratamiento	Temperatura	BTU dados	Costo
1 hora	90°C	9,195.56	0.07225 Q.
1 hora	50°C	7,048.84	0.05538 Q.
4 horas	90°C	36,385.34	0.2859 Q.
4 horas	50°C	28,033.60	0.2203 Q.

Costo del material tratante: Se calculó en base a datos obtenidos directa

tamente en el mercado de consumo nacional en precios al por mayor, -
que son:

Sulfato de amonio:	0.12 Q. por libra.
Urea (46%):	0.29 Q. por libra.
Cloruro de amonio:	0.15 Q. por libra.
Acido bórico:	0.31 Q. por libra.
Bórax:	0.16 Q. por libra.
Cloruro de zinc:	0.57 Q. por libra.
Cloruro de magnesio:	0.13 Q. por libra.
Alumbre de potasio:	0.18 Q. por libra.

Se calculó en cada tratamiento cuantas libras de producto se empleó,
para obtener el costo del tratamiento en base al ignífugo utilizado.

Ejemplo:

Tratamiento con 10% en peso de urea.

Se utilizaron 300 cc. (cantidad general para todos los tratamien-
tos)

Luego, se usaron 30 gramos de urea, que equivalen a 0.066 libras
y cuyo costo es de: 0.0191 Q.

Costo del tiempo de tratamiento: La única forma que nos pareció facti-
ble para establecer este costo fue tomándolo como el costo de pagar por
la supervisión de un empleado para que mantenga la temperatura cons-
tante y con agitación; esto a nivel de laboratorio mientras que a nivel
industrial, el costo se identificaría como el costo de espera para la ven

ta o el costo del almacenamiento.

Al trabajador encargado de la supervisión, se le pagaría 60.00 -
quetzales, y tendría 4 tareas especiales una de las cuales será la super-
visión, por lo tanto el costo mensual de la misma será: 15.00 Q. que -
equivalen a 0.50 Q. diarios y que vendrían a dar: 0.0625 Q. por hora.

Con estos datos pasamos a producir la tabulación para seleccionar
los tratamientos más eficientes que se expone en le Apéndice 2.

- j) Nuevos tratamientos, en volúmenes mayores, de las muestras seleccionadas -
con los ignífugos respectivos.

Dado que la cantidad de muestra tratada originalmente fue muy pequeña, solo
lo necesario para realizar las pruebas de incombustibilidad, se hizo necesario reali-
zar nuevos tratamientos con las muestras seleccionadas para la segunda fase de la in-
vestigación. Estos tratamientos se hicieron con mayores volúmenes de cascabillo de
arroz, por requerirlo así las pruebas experimentales que constituyeron la finalización
de los experimentos.

Estos tratamientos se realizaron siguiendo el mismo procedimiento que se des-
cribió en el inciso d) de esta sección.

- k) Evaluación experimental de las propiedades finales en las muestras selecciona-
das.

Descripción de la forma como fueron determinadas dichas propiedades:

- 1) Humedad: Tal y como se especificó anteriormente, se utilizó para esto
una estufa con termóstato, colocando la muestra por una hora a 135°C.
constituyendo la humedad la pérdida de peso que sufre la muestra du-

rante el calentamiento.

- 2) Densidad específica: Para determinarla se utilizó un balón aforado de 25 centímetros cúbicos, en el cual se introdujo una cantidad pesada de muestra en gramos y luego se llenó con agua destilada hasta el aforo, utilizando para esta operación una bureta graduada en centímetros cúbicos, de forma que se pudo establecer la cantidad de agua exacta que fue vertida en el balón y al restar el volumen del balón menos la cantidad de agua vertida, se puede establecer el volumen desplazado, el resultado se obtuvo en gramos por centímetro cúbico.
- 3) Densidad aparente: Se usó una probeta** cuyo volumen era de: 17.525 centímetros cúbicos, por lo tanto solo se necesitaba determinar qué cantidad de gramos de muestra era necesaria para llenar completamente ese volumen sin ejercer sobre la misma ninguna presión, sino dejando que la misma se distribuya libremente según su caída o asentamiento.

Se obtuvo el peso en gramos de la muestra que ocupa el volumen antes expuesto, usando la misma probeta como tara, el resultado se expresó en gramos por centímetro cúbico.
- 4) Cenizas: Para establecerlas, se usó la mufla que también sirvió para las pruebas de incombustibilidad. En este caso las muestras se pusieron du-

** Cortada de tal forma que se pudo establecer que el volumen del cascabillo era igual al volumen total de la probeta; el cascabillo se agregó por medio de una espátula y se realizó por cargas distintas desde una altura aproximada de 1 cm. sobre la parte superior de la probeta.

rante una hora a 550°C. La diferencia entre el peso a la entrada y el peso a la salida lo constituyen las materias volátiles que se perdieron durante el calentamiento.

Las cenizas están constituidas por la cantidad de muestra remanente, la cual se expresó como porcentaje del total de la muestra.

- 5) Conductividad térmica: Para obtenerla, se hizo indispensable diseñar un aparato que permitiera encontrar esta característica del cascabillo de arroz en su estado natural, es decir en forma de grano, no en forma de planchas, como se le toma a la mayoría de los materiales.

Esto se realizó así para evitar que al ser comprimido el cascabillo se produzcan cambios en sus características naturales y porque nos interesa establecer si el material puede servir como aislante en el estado como sale del beneficio de arroz.

El aparato diseñado consta de 2 cilindros concéntricos, uno de los cuales, el interno, contiene la resistencia eléctrica fuente de calor, colocada en forma de círculos. El aparato tiene entre ambos cilindros un espacio, el cual permite introducir la muestra cuya conductividad térmica se va a medir, sin tener que formar bloques.

Para obtener la conductividad térmica, es necesario establecer en cada determinación la cantidad de calor dada y el cambio de temperatura entre las capas de los cilindros, es decir entre la capa que da el calor y la que lo recibe. Para encontrar la cantidad de calor dado, se acoplaron a la línea eléctrica un amperímetro y un voltímetro, además

del reóstato regulador de la corriente, de esta forma conociendo los voltios y los amperios de la corriente pasando, podemos establecer los watts y posteriormente los BTU por hora.

Para encontrar el cambio de temperatura entre las dos capas de los cilindros se utilizó un pirómetro, que transforma directamente el calor de las capas en grados de temperatura. El pirómetro es un aparato que se caracteriza por tener poca sensibilidad a bajas temperaturas y de que aumente dicha sensibilidad con el aumento de la temperatura, por lo tanto se hizo necesario calibrar el pirómetro para bajas temperaturas, (menores de 100°C.), la gráfica de dicha calibración se presenta en el Apéndice #4.

Con el pirómetro se tomaron las siguientes temperaturas: Temperatura de la capa externa del cilindro interno, temperatura en un punto intermedio de la capa de cascabillo de arroz, temperatura interna del cilindro externo; la diferencia de temperatura entre las orillas de la capa de cascabillo de arroz la constituye la diferencia entre la primera y la tercera de las temperaturas anteriormente mencionadas.

Para mejor ilustración del aparato utilizado presentamos: En el Apéndice #5, el diagrama eléctrico del aparato y sus conexiones y adaptaciones; en el Apéndice #6, se muestra y describe el aparato desde dos posiciones para mejor comprensión del mismo; en el Apéndice #7, se presenta una fotografía del aparato con todos los diferentes implementos usados.

4.3.- Cálculo de Muestra

Esta sección comprende una explicación ejemplarizada de todos los cálculos y operaciones efectuados para obtener los datos que se presentan durante todo el trabajo. Como muestra para ejemplarizar se tomó el tratamiento con cloruro de magnesio al 20% en peso, durante 1 hora de inmersión y a 90°C.

a) Humedad:

Datos tomados directamente: Peso de la muestra antes de entrar a la estufa, peso de la muestra saliendo de la estufa, peso de la tara utilizada en la prueba. Todos los pesos en gramos.

La humedad viene siendo dada por la pérdida de peso que sufre la muestra debido al agua que contenía originalmente y se evaporó (se supone que se evapora toda el agua original hasta llegar a sequedad completa.) Por lo tanto, la pérdida de peso multiplicada por 100 y dividida entre el peso inicial, nos dará el porcentaje de humedad de la muestra.

Ejemplo:

Peso antes de entrar a la estufa: 0.6054 g. (A)

Peso después de salir de la estufa: 0.4559 g. (B)

Diferencia: 0.1495 g. (C)

$$\% \text{ de humedad: } \frac{C \times 100}{A} = \frac{0.1495 \times 100}{0.6054} = 24.69\%$$

$$= 24.69 \text{ g. de agua/100g. de muestra húmeda.}$$

b) Datos de incombustibilidad:

Datos tomados directamente: Peso en gramos de muestra entrando a la

mufla, y el peso en gramos después de la prueba, siempre enfriado a una dese
cadora.

Otros datos utilizados: Humedad de la muestra entrando a la mufla.

Conociendo la cantidad de agua (humedad) que contiene la muestra antes de la prueba, podemos establecer que cantidad de muestra seca ingresó, de tal manera que si la diferencia entre el peso de muestra seca entrando y el pe
so de la muestra saliendo, nos da un valor negativo indica que la muestra no se quemó ya que le quedó todavía cierto contenido de agua que es necesario remover previo a iniciar su quemado, a esto le llamaremos: PORCENTAJE DE MUESTRA RESIDUAL O PORCENTAJE DE AGUA RESIDUAL. Si la diferencia proporciona un valor positivo, nos indica que no solo se removi6 la humedad durante la prueba, sino que vari6 el peso de la muestra seca debido a com
bustión de cierta cantidad de la misma; a esto le llamaremos: PORCENTAJE DE MUESTRA PERDIDA.

En conclusión, se le llamará Porcentaje de Muestra Residual o de Agua residual al porcentaje de muestra no quemada equivalente al porcentaje de agua no evaporada durante las pruebas de incombustibilidad que será caracte
rizado por el signo negativo; mientras que el porcentaje de muestra pérdida - será el porcentaje de muestra que desapareció durante las pruebas y que estará caracterizado por el signo positivo.

Ejemplo: Con cloruro de magnesio al 20% en peso en la solución, tal y como se especificó anteriormente y en la prueba de 250°C para incombustibilidad.

Peso de la tara:

41.9970 g.

Peso de la muestra + Tara entrando: 43.2626 g.

Peso de la muestra + Tara saliendo: 43.0436 g.

Peso de la muestra entrando: 1.2656 g.

Peso de la muestra entrando sin humedad = Peso de la muestra entrando
x Porcentaje de materia seca en la muestra.

Porcentaje de materia seca = $100 - \% \text{ de humedad} = 0.7531$

Peso de muestra seca entrando = $1.2656 \times 0.7531 = 0.9531 \text{ g. (A)}$

Peso de la muestra saliendo: 1.0411 g. (B)

Diferencia: A - B : -0.0935 g. (C)

Porcentaje de muestra residual o porcentaje de agua residual:

$$\frac{C \times 100}{A} = \frac{-0.0935 \times 100}{0.9531} = -9.81\% \text{ (no quemado)}$$

= gramos de muestra pérdida o residual/100 g. de muestra seca
entrando.

c) Densidad específica:

Datos tomados directamente: Peso de la tara, peso de la tara + la muestra, volumen de agua gastada, que es leída en la bureta hasta llegar al aforo del balón de 25 cc.

Ejemplo:

Peso de la muestra 0.5338 g. (A)

Volumen de agua gastado: 24.5 cc.

Volumen de agua desplazada: $25.0 - 24.5 = 0.5 \text{ cc. (B)}$

Densidad específica: $A/B = 0.5338/0.5 = 1.0676 \text{ g/cc.}$

d) Densidad aparente:

Datos tomados directamente: Volumen del recipiente utilizado, peso de la muestra que ocupa dicho volumen.

Ejemplo:

Peso de la muestra: 2.6618 g. (A)

Volumen del recipiente: 17.525 cc. (B)

Densidad aparente: $A/B = 2.6618/17.525 = 0.1519 \text{ g./cc.}$

e) Cenizas:

Datos tomados directamente: Peso de la tara, peso de la muestra entrando y peso de la muestra saliendo.

Otros datos utilizados: Humedad de la muestra entrando a la mufla.

Ejemplo:

Peso de la muestra entrando: 0.3744 g.

Humedad de la muestra entrando: 24.69 %

% de materia seca en la muestra: 75.31 %

Peso de la muestra seca entrando: $0.3744 \times 0.7531 = 0.2820 \text{ g. (A)}$

Peso de la muestra saliendo: 0.0707 g. (B)

% de cenizas:

$$\frac{B \times 100}{A} = \frac{0.0707 \times 100}{0.2820} = 25.07 \text{ \% en base seca.}$$

= g. de cenizas/100 g. de muestra seca entrando.

f) Retención de las muestras:

Datos tomados directamente: Peso de la tara, peso de la muestra antes del tratamiento, peso de la muestra después del tratamiento.

Otros datos utilizados: Humedad de la muestra entrando, humedad de la muestra después del tratamiento.

Ejemplo:

Peso de la muestra antes del trat. 20.00 g. (A)

Peso de la muestra después del trat. 46.20 g. (B)

Diferencia: 26.20 g. (C)

% de retención húmeda:

$$\frac{C \times 100}{A} = \frac{26.2 \times 100}{20} = 131.0 \% = \frac{\text{g. de ignifugo húmedo retenido}}{100 \text{ g. de muestra húmeda entrando.}}$$

Retención seca:

Peso de la muestra antes del tratamiento: 20.00 g.

Humedad de la muestra antes del tratamiento: 10.57 g.

% de materia seca en la muestra antes del tratamiento: 89.43 g.

Peso de la muestra seca antes del tratamiento:

$$20.00 \times 0.8943 = 17.886 \text{ g. (A)}$$

Peso de la muestra después del tratamiento: 28.6 g.

Humedad de la muestra después del tratamiento: 24.69 g.

% de materia seca en la muestra después del trata.: 75.31 %

Peso de la muestra seca después del tratamiento:

$$28.6 \times 0.7531 = 21.539 \text{ g. (B)}$$

Diferencia: B - A: 3.6530 g. (C)

% de retención seca:

$$\frac{C \times 100}{A} = \frac{3.653 \times 100}{17.886} = 20.42 \% = \frac{\text{g. de ignífugo retenido seco}}{100 \text{ g. de muestra seca tratada}}$$

g) Conductividad térmica:

La conductividad térmica se obtuvo a partir de la fórmula:

$$Q = \frac{K(2\pi L) AT}{L_N r_o / r_i}$$

ó

$$Q = \frac{K \times A \times AT}{x}$$

con:

$$A = 2 \text{ RmL}$$

$$Rm = \frac{r_o - r_i}{L_N r_o / r_i}$$

donde:

Q = Velocidad de flujo de calor a través de la superficie y en dirección normal a la superficie, en BTU/hr.

K = Conductividad térmica del material en: BTU.pie/hr.pie².°F.

L = Longitud del cilindro.

AT = Diferencia de temperatura entre la capa externa del cilindro interno y la capa interna del cilindro externo.

Ri = Radio del cilindro interno.

Ro = Radio del cilindro externo.

x = Grueso de la pared del cascabillo.

Datos tomados durante cada corrida:

- Lectura en °C, dada por el pirómetro, indicando la temperatura en la capa externa del cilindro interno.
- Lectura en °C, dada por el pirómetro, indicando la temperatura en un punto medio de la capa de cascabillo de arroz.

- Lectura en °C, dada por el pirómetro, indicando la temperatura en la capa interna del cilindro externo.

Datos generales para todas las corridas:

- Tiempo de duración de la prueba, que es igual al tiempo durante el cual se dió calor: 1 hora.
- Voltaje dado a la resistencia fuente de calor: 47 voltios.
- Amperaje o intensidad de la corriente: 2 amperios.
- Longitud del aparato, que es la longitud del cilindro: 15.2 cms. que equivalen a 0.4987 pies.
- Diámetro del cilindro interno: 13.83 cms.
- Diámetro del cilindro externo:

Puesto que el cilindro externo, presentaba ciertas deformaciones en su circunferencia, para obtener el diámetro fue necesario medir distintos puntos del espacio dejado para cascabillo de arroz, para obtener un promedio de más confianza y luego poder conocer el diámetro del cilindro externo que fue: 19.23 cms.

En el Apéndice #8, se presentan esta serie de datos obtenidos por la medición del espacio dejado para el cascabillo de arroz.

Forma de utilización del aparato:

Para utilizar el aparato diseñado, se llenó completamente con cascabillo de arroz el espacio existente entre los dos cilindros, de forma que la longitud del cilindro fuera la misma que la altura llena de cascabillo. Se dejó transcurrir una hora con calentamiento constante, es decir con el mismo volta-

je y amperaje de corriente eléctrica pasando, lo cual fue posible lograrlo por medio de un reóstato acoplado a la línea.

Transcurrida la hora de calentamiento se procedió a determinar las distintas lecturas de temperatura con el pirómetro.

Obtención de los datos necesarios para utilizar en la fórmula:

Las unidades de la conductividad térmica fueron inicialmente:

Watts. cm/cms². °C que luego fueron transformados a las unidades de BTU.pie /hr. pie². °F que son de uso más generalizado en nuestro medio.

Obtención del Ln ro/ri.

Sabiendo que el valor de ro = 7.015 cms. radio externo del cilindro interno.

ri = 9.615 cms. radio interno del cilindro externo.

Obtenemos que: Ln ro/ri = 0.3150.

Obtención del calor dado:

Tenemos como datos: Los voltios y los amperios de la corriente pasando y con lo cual aplicando la ley de Joule tenemos:

$$Q = E \times I \times T$$

E = Voltaje.

I = Intensidad.

T = Tiempo.

Obtenemos como valor nominal para el calor dado, la cantidad de 94 Watts en una hora. Esto es energía eléctrica dada que se convierte en calor, sin embargo parte de este calor se pierde por radiación y falta

de aislamiento del aparato mismo y por lo tanto hubiese sido necesario realizar una calibración del aparato para determinar la cantidad de calor aprovechada. Para llevar a cabo dicha calibración hubiésemos necesitado encontrar un material granulado o en polvo, capaz de entrar en nuestro aparato y que a la vez se le conociera la conductividad térmica con por lo menos un 95% de confianza. Sin embargo, pese a los esfuerzos e investigaciones que se efectuaron no fue posible localizar un material con dichas características.

No contando con tan valioso apoyo, tuvimos que asumir el orden de estas pérdidas, lo cual se hizo en base a las pérdidas de calor que se encontraron en un tipo de aislamiento a base de fibra de vidrio en condiciones semejantes a las de nuestro experimento, en las que se tenía un 32% de pérdidas de calor; por lo tanto nos pareció lógico asumir un 30% de pérdidas de calor en nuestro aparato.

Por lo consiguiente el valor del calor utilizado en nuestro aparato vendrá a ser: $94 \times 0.7 = 65.8$ Watts por hora.

Cálculo final de la conductividad térmica:

Para ilustrar esta sección tomamos como ejemplo los datos para el tratamiento con cloruro de magnesio al 20% en peso en la solución durante 1 hora a 90°C, tal y como se ha venido haciendo.

Datos tomados con el pirómetro:

- Temperatura externa del cilindro interno: 160 °C.
- Temperatura media: 77 °C.
- Temperatura interna del cilindro externo: 55 °C.

Luego $AT = 105$ °C.

Aplicando estos datos en la fórmula obtenemos los siguientes valores de conductividad térmica en este tratamiento:

$$K = 0.00207 \text{ Watts. cm/cm}^2. \text{ } ^\circ\text{C. que equivale a:}$$
$$0.1196 \text{ BTU.pie/pie}^2.\text{hr.}^\circ\text{F.}$$

Por lo tanto se convino que los datos obtenidos de conductividad térmica para todos los tratamientos probados, presentaban un índice del valor dicha conductividad del cascabillo de arroz, sin llegar a un valor absoluto, sino más bien un valor relativo de comparación entre los datos tomado bajo la misma base, constituyendo una forma de evaluar el comportamiento de los datos entre sí.

Es necesario hacer mención que es probable que el valor real de la conductividad térmica del cascabillo de arroz sea sensiblemente menor.

5.- RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES DE INCOMBUSTIBILIDAD EN LA MUESTRA PILOTO

La muestra piloto está constituida por el cascabillo de arroz en su estado natural, es decir sin tratamiento alguno, al cual se le hicieron las mismas pruebas experimentales que a todas las muestras tratadas, con la intención de tener una base de comparación y establecer si fueron mejoradas sus características de incombustibilidad.

Los datos que se presentan a continuación fueron procesados y obtenidos en la forma que se estableció en la parte inicial de esta tesis.

Datos de la Muestra Piloto:

% de humedad:	10.57
% de muestra pérdida a 400 °C:	45.57
% de muestra pérdida a 350 °C:	25.71
% de muestra pérdida a 300 °C:	0.97
% de muestra residual a 250 °C:	-0.16 (agua residual)
% de muestra residual a 200 °C:	-3.13 (agua residual)

Nota: Tal y como se estableció anteriormente, el porcentaje de muestra pérdida, -
identificará la temperatura a la cual la muestra se quemó perdiendo parte -
de su peso inicial y correspondiéndole signo positivo. El porcentaje de mues-
tra residual, identificará la temperatura a la cual la muestra no se quemó -
permaneciendo parte de su peso inicial y le corresponderá un signo negati-

vo.

Correspondiendo este porcentaje negativo a la cantidad de agua (humedad) residual que permaneció en la muestra después de la prueba.

6.- TRATAMIENTOS DEL CASCABILLO DE ARROZ, OBTENCION DE RESULTADOS Y SELECCION DE LAS MUESTRAS CON MEJORES RESULTADOS

6.1.- Tratamientos del cascabillo de arroz y obtención de resultados:

En esta sección se expondrán todos los tratamientos realizados al cascabillo de arroz, con los diversos ignífugos retardantes del fuego, y se expondrán los datos de incombustibilidad obtenidos para los distintos tratamientos, así como una gráfica representativa de la tendencia de los mismos datos para cada ignífugo probado.

a) Ignífugo: Agua de Zunil

Tratamientos realizados:

- | | | |
|----|------------------------------|------------------------------------|
| 1) | Porcentaje del ignífugo: | 100 %. |
| | Tiempo de inmersión: | 1 hora. |
| | Temperaturas de tratamiento: | Temperatura ambiente, 50°C y 90°C. |
| 2) | Porcentaje del ignífugo: | 100 % |
| | Tiempo de tratamiento: | 4 horas. |
| | Temperatura del tratamiento: | Temperatura ambiente, 50°C y 90°C. |

Total de tratamientos: 6.

En el Apéndice 9, se presentan los datos de incombustibilidad obtenidos para los tratamientos con Agua de Zunil.

En el Apéndice 10, se expone una gráfica representativa de uno de los 6 tratamientos con Agua de Zunil cuyas ordenadas son: Temperatura en la prueba de incombustibilidad contra el porcentaje de muestra perdida o residual que se obtuvo du

rante las pruebas.

b) Ignífugo: Acido Bórico 60% y bórax 40%.

Tratamientos realizados:

- | | | |
|----|------------------------------|------------------------------------|
| 1) | Porcentaje del ignífugo: | 10% en peso en la solución. |
| | Tiempo de tratamiento: | 1 hora. |
| | Temperaturas de tratamiento: | Temperatura ambiente, 50°C y 90°C. |
| 2) | Porcentaje del ignífugo: | 10 % en peso en la solución |
| | Tiempo de tratamiento: | 4 horas. |
| | Temperaturas de tratamiento: | Temperatura ambiente, 50°C y 90°C. |
| 3) | Porcentaje del ignífugo: | 20 % en peso en la solución. |
| | Tiempo de tratamiento: | 1 hora. |
| | Temperaturas de tratamiento: | 50 °C y 90 °C. |
| 4) | Porcentaje del ignífugo: | 20 % en peso en la solución. |
| | Tiempo de tratamiento: | 4 horas. |
| | Temperaturas de tratamiento: | 50 °C y 90 °C. |
| 5) | Porcentaje del ignífugo: | 30 % en peso en la solución. |
| | Tiempo de tratamiento: | 1 hora. |
| | Temperatura de tratamiento: | 90 °C. |

Total de tratamientos: 11.

En el Apéndice 11 y 12 se presentan los datos de incombustibilidad para las muestras tratadas. En el Apéndice 13, la gráfica de un tratamiento escogido con el ignífugo en cuestión.

c) Ignífugo: Acido bórico 40 % y Bórax 60 %.

Tratamientos realizados:

- | | | |
|----|------------------------------|--------------------------------|
| 1) | Porcentaje del ignífugo: | 10 % en peso en la solución. |
| | Tiempo de tratamiento: | 1 hora. |
| | Temperatura de tratamiento: | Temp. ambiente, 50 °C y 90 °C. |
| 2) | Porcentaje del ignífugo: | 10 % en peso en la solución. |
| | Tiempo de tratamiento: | 4 horas. |
| | Temperaturas de tratamiento: | Temp. ambiente, 50 °C y 90 °C. |
| 3) | Porcentaje del ignífugo: | 30 % en peso en la solución. |
| | Tiempo de tratamiento: | 1 hora. |
| | Temperatura de tratamiento: | 90 °C. |

Total de tratamientos: 7.

En el Apéndice 12 y 13 se muestran los datos de incombustibilidad obtenidos, mientras en el Apéndice 15, la gráfica respectiva.

d) Ignífugo: Cloruro de magnesio.

Tratamientos realizados:

- | | | |
|----|------------------------------|--------------------------------|
| 1) | Porcentaje del ignífugo: | 10 % en peso en la solución. |
| | Tiempo de tratamiento: | 1 hora. |
| | Temperaturas de tratamiento: | Temp. Ambiente, 50 °C y 90 °C. |
| 2) | Porcentaje del ignífugo: | 10 % en peso en la solución. |
| | Tiempo de tratamiento: | 4 horas. |
| | Temperatura de tratamiento: | Temp. Ambiente, 50 °C y 90 °C. |

- | | | |
|----|------------------------------|--------------------------------|
| 3) | Porcentaje del ignífugo: | 20 % en peso en la solución. |
| | Tiempo de tratamiento: | 1 hora. |
| | Temperaturas de tratamiento: | Temp. Ambiente, 50 °C y 90 °C. |
| 4) | Porcentaje del ignífugo: | 20 % en peso en la solución. |
| | Tiempo de tratamiento: | 4 horas. |
| | Temperaturas de tratamiento: | Temp. Ambiente, 50 °C y 90 °C. |
| 5) | Porcentaje del ignífugo: | 30 % en peso en la solución. |
| | Tiempo de tratamiento: | 1 hora. |
| | Temperaturas de tratamiento: | Temp. Ambiente, 50 °C y 90 °C. |
| 6) | Porcentaje del ignífugo: | 30 % en peso en la solución. |
| | Tiempo de tratamiento: | 4 horas. |
| | Temperaturas de tratamiento: | Temp. Ambiente, 50 °C y 90 °C. |

Total de tratamientos: 18.

En el Apéndice: 16, 17, 18 se exponen los datos de incombustibilidad obtenidos para los tratamientos con cloruro de magnesio.

En el Apéndice 19, se presenta una gráfica típica del comportamiento de los datos anteriores con la coordenadas: Temperatura de la prueba de incombustibilidad contra el porcentaje de muestra perdida o residual que se tuvo a dichas temperaturas.

e) Ignífugo: Sulfato de amonio.

Tratamientos realizados:

- | | | |
|----|-----------------------------|------------------------------|
| 1) | Porcentaje del ignífugo: | 10 % en peso en la solución. |
| | Tiempo de tratamiento: | 1 hora. |
| | Temperatura de tratamiento: | Temp. Ambiente, 50°C y 90°C. |

- | | |
|------------------------------|--------------------------------|
| Tiempo de tratamiento: | 1 hora. |
| Temperaturas de tratamiento: | Temp. Ambiente, 50 °C y 90 °C. |
| 2) Porcentaje del ignífugo: | 10 % en peso en la solución. |
| Tiempo de tratamiento: | 4 horas. |
| Temperaturas de tratamiento: | Temp. Ambiente, 50 °C y 90 °C. |
| 3) Porcentaje del ignífugo: | 25 % en peso en la solución. |
| Tiempo de tratamiento: | 1 hora. |
| Temperaturas de tratamiento: | Temp. Ambiente, 50 °C y 90 °C. |
| 4) Porcentaje del ignífugo: | 25 % en peso en la solución. |
| Tiempo de tratamiento: | 4 horas. |
| Temperaturas de tratamiento: | Temp. Ambiente, 50 °C y 90 °C. |

Total de tratamientos: 12.

En el Apéndice 24 y 25, se exponen los datos de incombustibilidad para los -
tratamientos anteriores, en el Apéndice 26, se muestra la gráfica representativa de
uno de los tratamientos realizados con alumbre.

g) Ignífugo: Cloruro de amonio.

Tratamientos realizados:

- | | |
|------------------------------|--------------------------------|
| 1) Porcentaje del ignífugo: | 10 % en peso en la solución. |
| Tiempo de tratamiento: | 1 hora. |
| Temperatura de tratamiento: | Temp. Ambiente, 50 °C y 90 °C. |
| 2) Porcentaje del ignífugo: | 10 % en peso en la solución. |
| Tiempo de tratamiento: | 4 horas. |
| Temperaturas de tratamiento: | Temp. Ambiente, 50 °C y 90 °C. |

- | | | |
|----|------------------------------|--------------------------------|
| 3) | Porcentaje del ignífugo: | 20 % en peso en la solución. |
| | Tiempo de tratamiento: | 1 hora. |
| | Temperatura de tratamiento: | Temp. Ambiente, 50 °C y 90 °C. |
| 4) | Porcentaje del ignífugo: | 10 % en peso en la solución. |
| | Tiempo de tratamiento: | 4 horas. |
| | Temperaturas de tratamiento: | Temp. Ambiente, 50 °C y 90 °C. |

Total de tratamientos: 12.

En el Apéndice 27 y 28, se exponen los datos de incombustibilidad obtenidos para estos tratamientos. En el Apéndice 29, se muestra la gráfica representativa de la tendencia de estos datos.

h) Ignífugo: Cloruro de zinc.

Tratamientos realizados:

- | | | |
|----|------------------------------|--------------------------------|
| 1) | Porcentaje del ignífugo: | 10 % en peso en la solución. |
| | Tiempo de tratamiento: | 1 hora. |
| | Temperaturas de tratamiento: | Temp. Ambiente, 50 °C y 90 °C. |
| 2) | Porcentaje del ignífugo: | 10 % en peso en la solución. |
| | Tiempo de tratamiento: | 4 horas. |
| | Temperaturas de tratamiento: | Temp. Ambiente, 50 °C y 90 °C. |

Total de tratamientos: 6.

En el Apéndice 30, se presentan los datos de incombustibilidad para estos tratamientos.

En el Apéndice 31, se muestra una gráfica representativa de la tendencia de los datos con uno de los tratamientos.

En el Apéndice 35, se muestra la gráfica representativa del comportamiento - de los datos de incombustibilidad por medio de unos de los tratamientos efectuados.

6.2.- Selección de las muestras con mejores resultados.

Esta fase se llevó a cabo tal y como se expuso en el inciso i) de la sección 4.2, habiéndose escogido 23 tratamientos entre los 108 totales como los tratamientos más eficientes en los datos de incombustibilidad y entre los cuales se tendrá que escoger usando el criterio de costos, para determinar cuales tratamientos son los más eficientes a menor costo y seleccionarlos para la segunda fase de la investigación, - los 23 tratamientos seleccionados usando el criterio de eficiencia fueron:

Ignífugo	% en peso del ignífugo en sol.	Tiempo de tratamiento	Temperatura de tratamiento
Agua de Zunil	100	1 hora	Temp. Ambiente
Agua de Zunil	100	1 hora	90 °C.
Agua de Zunil	100	1 hora	50 °C.
Agua de Zunil	100	4 horas	Temp. Ambiente
Agua de Zunil	100	4 horas	90 °C.
Agua de Zunil	100	4 horas	50 °C.
60% Acido Bórico 40% Bórax	10	4 horas	Temp. Ambiente
60% Acido Bórico 40% Bórax	10	1 hora	Temp. Ambiente
60% Acido Bórico 40% Bórax	30	1 hora	90 °C.
Urea	10	1 hora	Temp. Ambiente

Ignífugo	% en peso del ignífugo en sol.	Tiempo de tratamiento	Temperatura de tratamiento
Urea	10	1 hora	50 °C.
Urea	30	1 hora	90 °C.
Urea	30	4 horas	Temp. Ambiente
Cloruro de Magnesio	10	4 horas	90 °C.
Cloruro de Magnesio	10	1 hora	90 °C.
Cloruro de Magnesio	20	4 horas	90 °C.
Cloruro de Magnesio	20	1 hora	90 °C.
Cloruro de Magnesio	20	1 hora	50 °C.
Cloruro de Magnesio	30	4 horas	90 °C.
40% Acido Bórico 60% Bórax	10	1 hora	Temp. Ambiente
40% Acido Bórico 60% Bórax	10	4 horas	Temp. Ambiente
40% Acido Bórico 60% Bórax	10	4 horas	50 °C.
40% Acido Bórico 60% Bórax	10	1 hora	50 °C.

A cada uno de estos tratamientos se le encontró el costo de tratamiento según los lineamientos descritos en el inciso i) sección 4.2.

Los resultados obtenidos se exponen en el Apéndice 2 y 3, en los que el primero contiene los datos reales y el segundo los datos unitarios, ambos apéndices se identifican con tablas de selección.

Habiéndose aplicado los dos criterios básicos de selección: Efectividad en incombustibilidad y costos, se seleccionaron ó tratamientos como los que presentaron mejores resultados y a los que se les consideró aptos para pasar a la segunda fase de

la investigación, tales tratamientos por el orden de selección son:

Ignífugo	% en peso del ignífugo en solución	Tiempo de tratamiento	Temperatura de tratamiento
1) Cloruro de Magnesio	20	1 hora	90 °C.
2) Urea	10	1 hora	50 °C.
3) Agua de Zunil	100	1 hora	90 °C.
4) 60% Acido Bórico 40% Bórax	30	1 hora	90 °C.
5) 60% Acido Bórico 40% Bórax	10	1 hora	Temp. Ambiente
6) 40% Acido Bórico 60% Bórax	10	1 hora	Temp. Ambiente

7.- OBTENCION DE LAS PROPIEDADES FINALES EN LAS MUESTRAS SELECCIONADAS

7.1.- Propiedades de la muestra piloto.

Estas propiedades se obtuvieron siguiendo lo que se estableció en el inciso k) de la sección 4.2 y posteriormente en la sección 4.3, las cuales para la muestra sin tratamiento fueron:

Humedad:	10.57 % = g. de agua/100 g., de muestra húmeda
Densidad específica:	1.193 g./c.c.
Densidad aparente:	0.12 g./c.c.
Conductividad térmica:	0.00211 Watts. cms/cm ² . °C.
Rango: <u>49 á 152 °C.:</u>	0.1219 BTU pie/pie ² . Hr. °F.
Cenizas: 22.41 %	

7.2.- Propiedades de las muestras seleccionadas.

a) Muestra tratada con: Cloruro de Magnesio al 20% en peso en la solución, durante 1 hora a 90 °C.

Humedad:	33.40 %
Densidad específica:	1.0676 g./cc.
Densidad aparente:	0.15 g./cc.
Conductividad térmica:	0.00207 Watts. cm/cm ² . °C.
Rango: 55 a 160 °C.:	0.1196 BTU.pie/pie ² .hr.°F.
Cenizas: 28.35 %	

b) Muestra tratada con: Urea (46%), al 10% en peso en la solución, durante 1 hora a 50 °C.

Humedad: 20.44 %
Densidad específica: 1.1664 g./cc.
Densidad aparente: 0.12 g./cc.
Conductividad térmica: 0.00189 Watts. cms/cms². °C.
Rango: 50 a 165 °C. 0.1092 BTU.pie/pie².hr.°F.
Cenizas: 22.72 %

c) Muestra tratada con: Agua de Zunil al 100% en peso, durante 1 hora a 90 °C.

Humedad: 10.26 %
Densidad específica: 0.9496 g./cc.
Densidad aparente: 0.12 g./cc.
Conductividad térmica: 0.00203 Watts. cms/cms². °C.
Rango: 53 a 160 °C.: 0.1173 BTU.pie/pie².hr.°F.
Cenizas: 22.22 %

d) Muestra tratada con: Acido bórico 60% y bórax 40% en un total de 30% en peso en la solución, durante 1 hora a 90 °C.

Humedad: 14.05 %
Densidad específica: 1.1081 g./cc.
Densidad aparente: 0.15 g./cc.
Conductividad térmica: 0.00192 Watts. cms/cms². °C.
Rango: 52 a 165 °C.: 0.1110 BTU.pie/pie².hr.°F.
Cenizas: 43.96 %

- e) Muestra tratada con: Acido Bórico 60% y Bórax 40% en un total de 10 % en peso en la solución, durante 1 hora a temperatura ambiente.

Humedad: 15.54 %
Densidad específica: 1.0457 g./cc.
Densidad aparente: 0.12 g./cc.
Conductividad térmica: 0.00194 Watts. cms/cms².°C.
Rango: 50 a 162 °C.: 0.1121 BTU.pie/pie².hr.°F.
Cenizas: 26.79

- f) Muestra tratada con Acido Bórico 40% y Bórax 60% en un total de 10 % en peso en la solución, durante 1 hora a temperatura ambiente.

Humedad: 13.84 %
Densidad específica: 1.1175 g./cc.
Densidad aparente: 0.13 g./cc.
Conductividad térmica: 0.00197 Watts. cms./cms².°C.
Rango: 55 a 165 °C.: 0.1138 BTU.pie/pie².hr.°F.
Cenizas: 27.83%.

8.- DISCUSION DE LOS RESULTADOS

En esta sección colocamos los comentarios y discusiones que nos han parecido dignos de mención, individualizados por cada uno de los productos químicos utilizados como retardantes.

a) Agua de Zunil

La muestra del agua de Zunil fue colectada directamente del balneario "Aguas Amargas de Zunil", situado en el departamento de Quezaltenango, donde se encuentran los nacimientos en caudales de mediano flujo, saliendo de ellos a una temperatura de 75 grados centígrados aproximadamente, dichas aguas son utilizadas en la actualidad por las personas originarias del lugar o sus alrededores, indígenas en la mayoría, considerándolas con determinadas propiedades curativas. Dado lo anterior, se ha establecido en el lugar un balneario con piletas individuales para uso público.

Para establecer el contenido mineralógico del agua de Zunil, se le realizó un análisis químico, donde se comprobó su origen netamente volcánico, los resultados de dicho análisis se exponen en el Apéndice # 36.

A pesar de no haberse obtenido con este ignífugo unas retenciones satisfactorias, mostró en las pruebas de incombustibilidad una buena resistencia al quemado en todas las muestras tratadas, sobre todo a 300 °C, aunque presenta la incongruencia de reducir esta resistencia a los 250 °C. para luego aumentarla a 200 °C. Esta característica permaneció aún durante la repetición de

las pruebas. Debido a esta resistencia y a su bajo costo, se le seleccionó para la segunda fase de la investigación.

Con la conductividad térmica pudimos notar que se disminuyó el valor que posee la muestra originalmente, lo cual indica que los tratamientos por inmersión fueron eficientes en este aspecto, aunque la reducción del valor de k fue bastante pequeño.

En conclusión podemos decir que el agua de Zunil, puede considerarse como un ignífugo natural, de bajo costo y utilizable en pruebas de incombustibilidad por inmersión.

Inconvenientes del uso de Agua de Zunil: Tiene marcada tendencia corrosiva debido al contenido de ácido sulfúrico, eso pudo notarse durante las experiencias, ya que despinta los números de los termómetros que se introducen dentro del agua, sobre todo en caliente.

b) Acido Bórico (60%) y Bórax (40%).

Las fórmulas químicas de ambos compuestos son:

Acido bórico: H_3BO_3

Bórax o tetraborato de sodio: $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$

En ambos casos se utilizó productos en polvo y de calidad industrial, por tener precios más bajos y porque conservan las propiedades características del compuesto puro aún en calidad industrial, que para nuestro caso es lo importante.

En general, dio buenos resultados al 10 y al 30% en peso de la mezcla en las soluciones tratantes, sobre todo este último en las condiciones de 1 ho-

ra y 90 °C., no habiéndose realizado a 4 horas por el incremento demasiado grande en el costo de tratamiento.

En cuanto a las retenciones varían desde el 5 al 40%, siendo esto un índice de la eficiencia de los tratamientos por inmersión, aunque los datos de incombustibilidad obtenidos no sean de la magnitud descrita en la literatura (8).

De esta mezcla de ignífugos se escogieron dos tratamientos como los más eficientes a menor costo, con estos tratamientos se continuó la segunda fase de la investigación, tales fueron:

- a) 30% en peso en la solución, tratamiento de 1 hora a 90 °C.
- b) 10% en peso en la solución, tratamiento de 1 hora a temperatura ambiente.

En cuanto a la conductividad térmica obtenida para los dos tratamientos anteriores, se pudo establecer que constituyen las muestras que mejor respondieron en estas pruebas, ya que fueron junto con la urea, las muestras que más redujeron el valor original de la conductividad térmica para el cascabillo de arroz, habiéndose logrado un aumento del valor de incombustibilidad y una reducción en la conductividad.

La densidad aparente y las cenizas se incrementaron respecto a la muestra piloto debido a la retención que tuvo la muestra en los tratamientos, mientras que la densidad específica disminuyó, debido a que el incremento en peso está dado por sustancias solubles en agua.

Dado lo anterior, se determinó que el mejor ignífugo en el presente es-

tudio lo constituyó la muestra del 30% en peso en la solución tratante.

c) Acido Bórico (40%) y Bórax (60%)

Habiéndose conocido los resultados satisfactorios de las muestras tratadas con ácido bórico (60%) y bórax (40%), se decidió tratar con el inverso de dichas concentraciones, con vías puramente experimentales.

Se obtuvieron algunos resultados satisfactorios, aunque se pudo comprobar que las retenciones eran menores que las tenidas con la muestra invertida en concentraciones, dichos valores oscilaron entre 6 y 19%, notándose que en el caso en que fue mayor la retención, los resultados de incombustibilidad fueron completamente desfavorables.

De este tipo de tratamiento se seleccionó para la segunda fase del experimento, el tratamiento al 10% en peso durante 1 hora a temperatura ambiente. La conductividad térmica obtenida para esta prueba resultó ser menor que la de la muestra piloto, por lo tanto dio los resultados esperados.

En este caso también aumentó la densidad aparente y las cenizas debido al material retenido, mientras que la densidad específica disminuyó por ser lo retenido soluble en agua.

d) Cloruro de Magnesio

Su fórmula química es: Cl_2Mg . Tiene la particularidad de ser un producto higroscópico, debido a ello nunca se pudieron secar completamente las muestras ya que siempre absorbe humedad del ambiente. Cuando se hicieron las pruebas de humedad y de incombustibilidad, se secó momentáneamente, para luego volver a humedecerse.

Las retenciones variaron desde el 6 al 27%. La propiedad de higroscopía ayuda a la mayor incombustibilidad del material, ya que para llegar a quemarse la cascarilla de arroz, será necesario evaporar la cantidad de agua que contiene y luego pasar a quemar el material, debido a ello es que se obtuvieron buenos resultados sobre todo en los tratamientos al 20%, habiéndose escogido para pasar a la segunda fase de la investigación el tratamiento de 20% en peso, durante 1 hora a 90 °C.

En cuanto a las pruebas de conductividad térmica, se notó que fue la muestra que provocó menor disminución en dicho factor con respecto a la muestra piloto, esto es debido probablemente a la cantidad de agua que tiene la muestra.

La densidad aparente y las cenizas aumentaron, mientras que la densidad específica disminuyó por las razones expuestas en los ignífugos anteriores.

Se pudo notar durante los experimentos que las muestras tratadas con cloruro de magnesio producen muy poco humo al quemarse y que cambian fácilmente de color durante las pruebas de incombustibilidad pasando a café oscuro sin que estén quemadas.

e) Urea (46%)

Su fórmula química es: $\text{CO}(\text{NH})_2$. Se utilizó urea al 46% en peso, porque este es el único producto de precio favorable que se puede conseguir en el mercado nacional.

La urea es muy soluble en agua y durante los tratamientos y pruebas de incombustibilidad proporcionó resultados satisfactorios, oscilando las retencio

nes entre 7 y 40%.

Debido a los resultados obtenidos, se seleccionó el tratamiento de 10% en peso en la solución tratante durante 1 hora a 50 °C, para pasar a la segunda fase de la investigación. En la evaluación de la conductividad térmica para esta muestra se encontró que fue la que produjo mayor disminución en el valor original de la misma, en otras palabras, fue la que mejor respondió al tratamiento en este aspecto.

Al igual que los tratamientos antes expuestos, para este caso aumentó el valor de la densidad aparente y el de las cenizas, disminuyendo el valor de la densidad específica. El inconveniente de este tratamiento consiste en que al aumentar la temperatura en las muestras tratadas, despiden un penetrante olor a amoníaco, lo cual es corrosivo.

f) Cloruro de Zinc

Fórmula química: Cl_2Zn . Es un producto medianamente higroscópico, venenoso y sumamente caro, además que es difícil de conseguir en el mercado nacional, de allí que solo se realizara una prueba al 10% en peso a diferentes tiempos y temperaturas.

Su efectividad en las pruebas de incombustibilidad fue demasiado baja, en algunos casos más que la muestra piloto, por lo que ninguno de los tratamientos fue seleccionado para la fase final de experimentos.

g) Sulfato de Amonio

Su fórmula química es: $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$. Se utilizó ya que según las investigaciones realizadas en la literatura (2), es uno de los productos que mejores

resultados proporciona en el tratamiento de maderas contra el fuego.

Aunque fue uno de los productos que dio mejores retenciones, que oscilaron entre 13 y 78 %, los resultados obtenidos para las pruebas de incombustibilidad de la cascarilla de arroz, fueron totalmente deficientes, por lo cual se le consideró no apto para pasar a la segunda fase de la investigación.

Como una ventaja de la utilización de sulfato de amonio puede decirse que no produce humo al quemarse, lo cual podría utilizarse en otras experiencias.

h) Sulfato doble de Aluminio y Potasio (Alumbre)

Su fórmula química es: $K_2Al_2(SO_4)_4 \cdot 24H_2O$. Se utilizó con la intención de investigar si sus cualidades de ignífugo era posible transferirlas al cascabillo de arroz por medio de la inmersión de este en soluciones concentradas de alumbre.

Los resultados obtenidos fueron muy poco satisfactorios en las pruebas de incombustibilidad, aunque las retenciones en seco variaron entre 7 y 65 %, además presenta bastante dificultad para solubilizarse en agua. Por todas estas razones ninguno de los tratamientos efectuados con alumbre fue seleccionado para la segunda fase de investigaciones.

i) Cloruro de Amonio

Fórmula química: $ClNH_4$. Es un producto que aunque es de poco costo, es difícil conseguirlo en el mercado nacional. Su efectividad en las pruebas de incombustibilidad fue muy pobre, determinando esto que ninguno de los tratamientos realizados con él fuera seleccionado.

Además tiene una desventaja que consiste en que las muestras tratadas al quemarse producen mucho humo blanco espeso y denso que mancha las superficies de los objetos que toca.

9.- CONCLUSIONES

- 1.- Los tratamientos por inmersión del cascabillo de arroz en soluciones concentradas conteniendo los ignífugos, dieron resultados satisfactorios lo cual se demuestra con las retenciones en seco que se obtuvieron.
- 2.- Los ignífugos que proporcionaron mejores retenciones en seco fueron:
 - a) Sulfato de Amonio.
 - b) Cloruro de Amonio.
 - c) Urea.
- 3.- Los resultados obtenidos, tanto en las pruebas de incombustibilidad como en las de conductividad térmica, indicaron que los tratamientos por inmersión proporcionaron al cascabillo de arroz suficiente protección ignífuga, como para considerarlo un aislante en un rango de temperatura entre 0 y 100 °C.
- 4.- El tratamiento más eficiente obtenido con los ignífugos probados en este estudio fue: Mezcla de Acido Bórico 60% y Bórax 40% en un total de 30% en peso en la solución tratante, durante 1 hora a 90 grados centígrados.
- 5.- Como consecuencia de las retenciones, se pudo observar que las muestras tratadas presentan una disminución en la densidad específica mientras que la densidad aparente y las cenizas aumentan.
- 6.- Los ignífugos que dieron mejores resultados en las pruebas de incombustibilidad fueron:
 - a) Cloruro de Magnesio.

- b) Urea.
- c) Agua de Zunil.
- d) Acido Bórico 60% y Bórax 40%.
- e) Acido Bórico 40% y Bórax 60%.

7.- Durante las pruebas para obtener la conductividad térmica, se pudo establecer que el cambio de temperatura entre la capa de cascabillo de arroz que recibe la mayor cantidad de calor y el otro extremo con un grosor de 2.6 cms. fue: para la muestra piloto: 103 °C.

para las muestras tratadas osciló entre 105 y 115 °C.

lo cual demuestra el valor aislante del cascabillo de arroz.

8.- Los ignífugos que proporcionaron mejores resultados en la disminución del valor de la conductividad térmica fueron:

- a) Urea.
- b) Acido Bórico 60% y Bórax 40%.

10.- RECOMENDACIONES

- 1.- Para futuras experiencias en las que se necesite impregnar el cascabillo de arroz con cualquiera de los materiales probados en este estudio, se recomienda la utilización del método de inmersión del cascabillo en frío o en caliente, dentro de soluciones conteniendo el material en cuestión.
- 2.- Para futuras pruebas de incombustibilidad en otros materiales, se recomienda la utilización de los ignífugos que en este trabajo proporcionaron los mejores resultados, especialmente el agua de Zunil, por ser un producto nacional y de fácil adquisición.
- 3.- Se recomienda la utilización del cascabillo de arroz tratado con los ignífugos considerados en este estudio, como aislante en un rango de temperatura de 0 a 100 °C.
- 4.- Se recomienda la investigación profunda de otras posibles formas de utilización del agua de Zunil, a partir del conocimiento de sus características y de su análisis, que se expone en este estudio.

Segunda edición.

Editorial Salvat, Barcelona, 1966.

12.- A P E N D I C E S

Numerados del 1 al 36.

APENDICE I

CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS IGNIFUGOS ESCOGIDOS

IGNIFUGO	CALIDAD	FORMULA	FORMA FISICA	DENSIDAD A 20 oC. (g./cc)	SOLUBILIDAD EN AGUA (g/100 g. DE Agua)	PUNTO DE EBULLICION oC.	PUNTO DE FUSION oC.
Sulfato de Amonio	Industrial	$(NH_4)_2SO_4$	Escamas	1.769	70.6 a 0 oC. 103.3 a 100 oC.	---	280
Cloruro de Magnesio	Industrial	$MgCl_2$	Polvo	2.325	52.8 a 0 oC. 73.0 a 100 oC.	1412	712
Cloruro de Amonio	Industrial	NH_4Cl	Polvo	1.530	29.4 a 0 oC. 77.3 a 100 oC.	520	320
Urea (100%)	Industrial	$H_2N-CO-NH_2$	Escamas	1.335	100.0 a 17 oC. 119.3 a 25 oC.	---	132.7
Cloruro de Zinc	Para Analisis	$ZnCl_2$	Polvo	2.91	432.0 a 25 oC. 615.0 a 100 oC.	732	283
Acido Bórico	Industrial	H_3BO_3	Polvo	1.435	2.7 a 0 oC. 40.25 a 100 oC.	---	185
Tetraborato de Sodio (Bórax)	Industrial	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	Polvo	1.730	1.3 a 0 oC. 20.3 a 60 oC.	200	75
Sulfato doble de Aluminio y potasio	Industrial	$Al_2(SO_4)_3 \cdot K_2SO_4 \cdot 24H_2O$	Terrón	1.760	3.0 a 0 oC. 109.0 a 90 oC.	---	92

APENDICE 2 (CONTINUACION)

IGNIFUGO	% del Ignifugo en la solución	Tiempo de Tratamiento	Temperatura de tratamiento oc.	Costo de Transporte (q)	Costo proporcional calor (q)	Costo del Ignifugo (q)	Costo del tiempo de tratamiento (q)	Total	Temperatura máxima que soportó oc.	% de agua en la muestra después de la prueba de Incom
60% Acido Bórico 40% Bórax	30	1 H.	90	0.0000	0.0722	0.0496	0.0625	0.1843	350	0.88
Urea (46%)	10	1 H.	Ambiente	0.0000	0.0000	0.0192	0.0625	0.0817	300	2.82
Urea (46%)	10	1 H.	50	0.0000	0.0554	0.0192	0.0625	0.1371	300	0.54
Urea (46%)	30	1 H.	90	0.0000	0.0722	0.0575	0.0625	0.1922	300	2.81
Urea (46%)	30	4 H.	Ambiente	0.0000	0.0000	0.0575	0.2500	0.3075	300	2.84
Cloruro de Magnesio	10	4 H.	90	0.0000	0.2859	0.0086	0.2500	0.5445	300	2.60
Cloruro de Magnesio	10	1 H.	90	0.0000	0.0722	0.0086	0.0625	0.1433	300	4.01
Cloruro de Magnesio	20	4 H.	90	0.0000	0.2859	0.0172	0.2500	0.5531	300	7.16

APENDICE 3

TABLA DE SELECCION CON LOS TRATAMIENTOS MAS EFICIENTES Y DATOS UNITARIOS.

IGNIFUGO	% del Ignifugo en la solución	Tiempo de Tratamiento	Temperatura de tratamiento oc.	Costo de Transporte	Costo de proporcionar calor	Costo del Ignifugo	Costo del tratamiento	Total	Temperatura máxima que soportó oc.	% de agua en la muestra después de la prueba de Incom
Agua de Zunil	100	1 H.	Ambiente	1.00	0.00	0.00	1.00	2.00	300	1.01
Agua de Zunil	100	1 H.	90	1.00	1.30	0.00	1.00	3.30	300	2.85
Agua de Zunil	100	1 H.	50	1.00	1.00	0.00	1.00	3.00	300	1.35
Agua de Zunil	100	4 H.	Ambiente	1.00	0.00	0.00	4.00	5.00	300	2.22
Agua de Zunil	100	4 H.	50	1.00	3.98	0.00	4.00	8.98	300	3.27
Agua de Zunil	100	4 H.	90	1.00	5.16	0.00	4.00	10.16	300	2.94
60% Acido Bórico 40% Bórax	10	4 H.	Ambiente	0.00	0.00	1.92	4.00	5.92	300	2.24
60% Acido Bórico 40% Bórax	10	1 H.	Ambiente	0.00	0.00	1.92	1.00	2.92	300	1.59

APENDICE 3 (CONTINUACION)

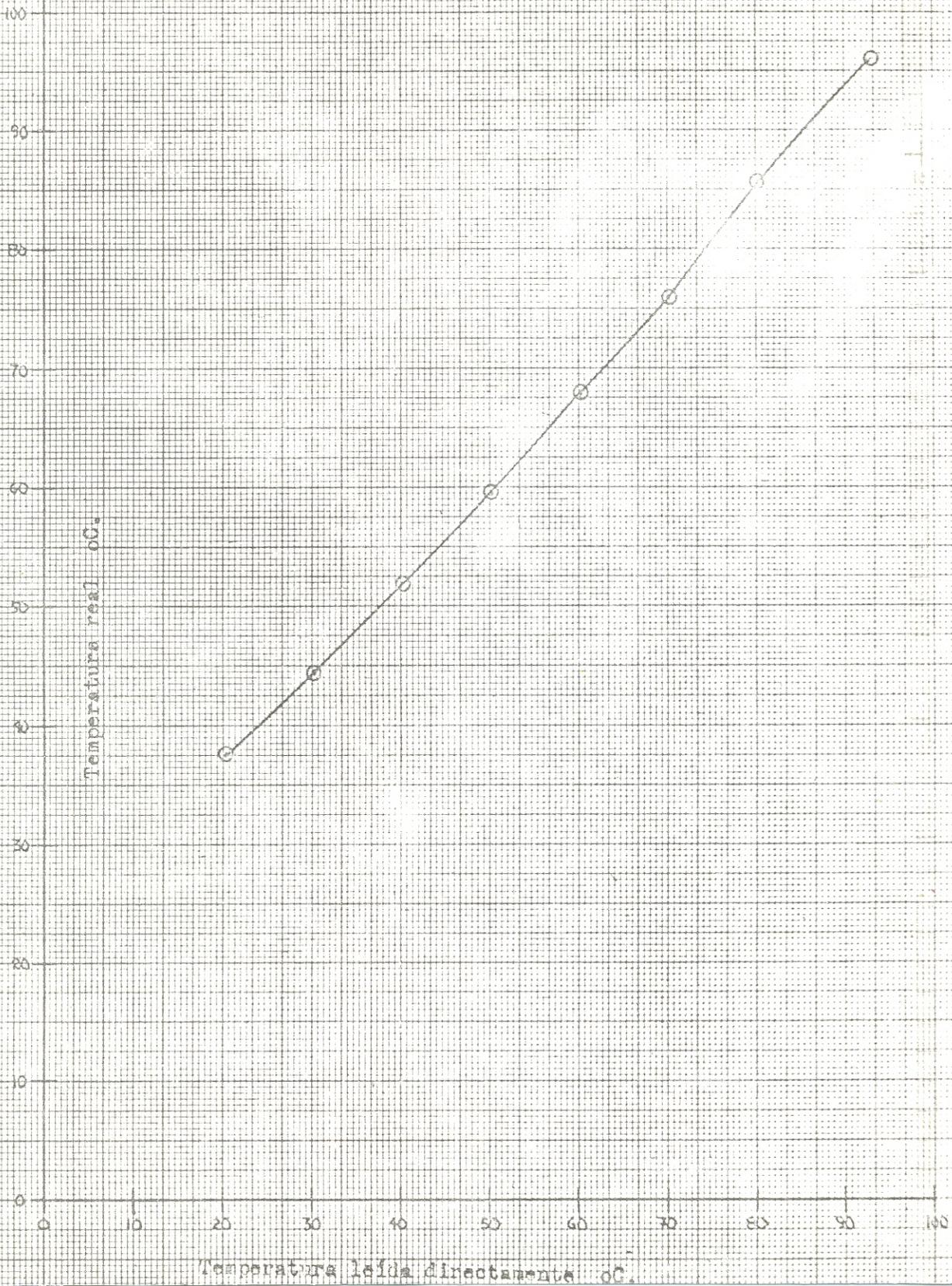
IGNIFUGO	% del Ignifugo en la solución	Tiempo de Tratamiento	Temperatura de tratamiento oc.	Costo de Transporte	Costo de proporcionar calor	Costo del Ignifugo	Costo del tiempo de tratamiento	Total	Temperatura máxima que soporte oc.	% de agua en la muestra después de la prueba de Incom
60% Acido Bórico 40% Borax	30	1 H.	90	0.00	1.30	5.777	1.00	8.07	350	0.88
Urea (46%)	10	1 H.	Ambiente	0.00	0.00	2.23	1.00	3.23	300	2.82
Urea (46%)	10	1 H.	50	0.00	1.00	2.23	1.00	4.23	300	2.39
Urea (46%)	30	1 H.	90	0.00	1.30	6.69	1.00	8.99	300	2.81
Urea (46%)	30	4 H.	Ambiente	0.00	0.00	6.69	4.00	10.69	300	2.84
Cloruro de Magnesio	10	4 H.	90	0.00	5.16	1.00	4.00	10.16	300	2.60
Cloruro de Magnesio	10	1 H.	90	0.00	1.30	1.00	1.00	3.30	300	4.01
Cloruro de Magnesio	20	4 H.	90	0.00	5.16	2.00	4.00	11.16	300	7.16

APENDICE 3 (CONTINUACION)

IGNIFUGO	% del ignifugo en la solución	Tiempo de Tratamiento	Temperatura de tratamiento	Costo de transporte	Costo de proporcionar calor	Costo del ignifugo	Costo del tiempo de tratamiento	Total	Temperatura máxima que soportó oc.	% de agua en la muestra después de prueba
Cloruro de Magnesio	20	1 H.	90	0.00	1.30	2.00	1.00	4.30	300	7.81
Cloruro de Magnesio	20	1 H.	50	0.00	1.00	2.00	1.00	3.00	300	4.85
Cloruro de Magnesio	30	4 H.	90	0.00	5.16	3.00	4.00	12.16	300	5.07
40% Acido Bórico 60% Bórax	10	1 H. Ambiente		0.00	0.00	1.69	1.00	2.69	300	1.36
40% Acido Bórico 60% Bórax	10	4 H. Ambiente		0.00	0.00	1.69	4.00	5.69	300	1.13
40% Acido Bórico 60% Bórax	10	4 H.	50	0.00	3.98	1.69	4.00	9.67	300	0.20
40% Acido Bórico 60% Bórax	10	1 H.	50	0.00	1.00	1.69	1.00	3.69	300	0.08

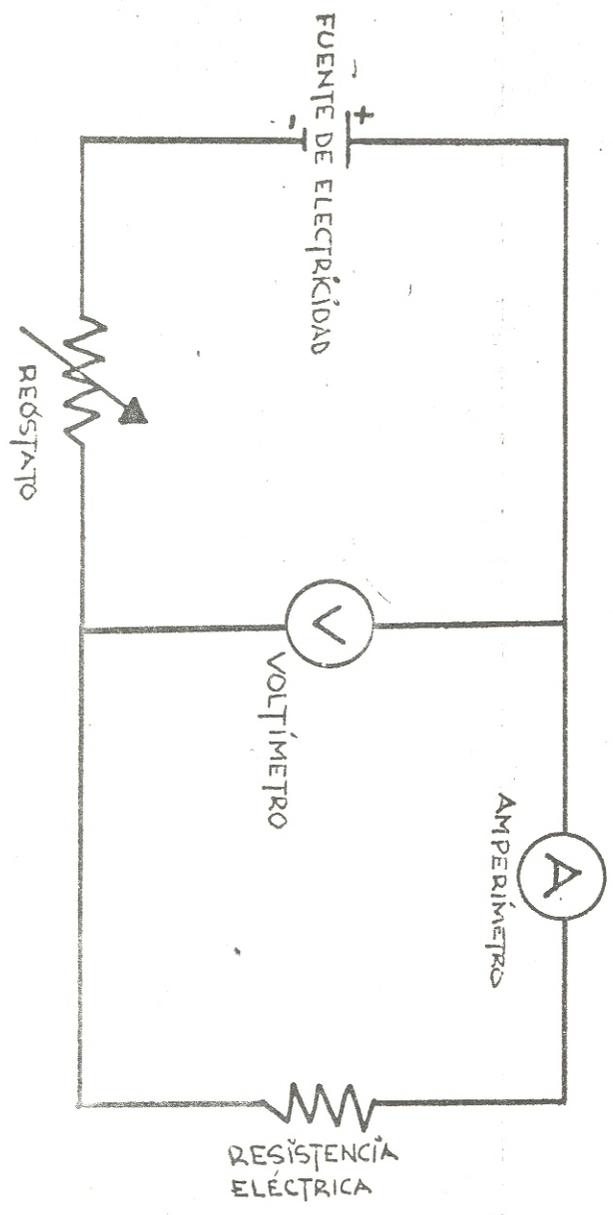
APENDICE 4

GRAFICA DE CALIBRACION DEL PIROMETRO
PARA BAJAS TEMPERATURAS.



APENDICE 5

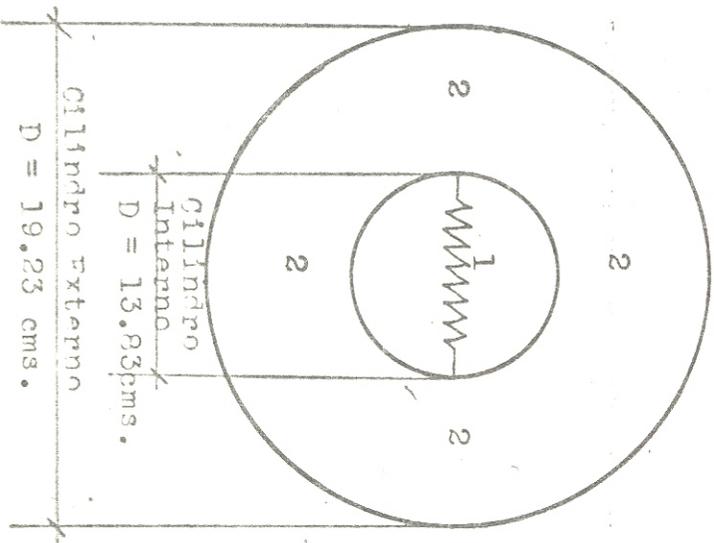
DIAGRAMA ELECTRICO DEL APARATO UTILIZADO PARA MEDIR LA CONDUCTIVIDAD TERMICA.



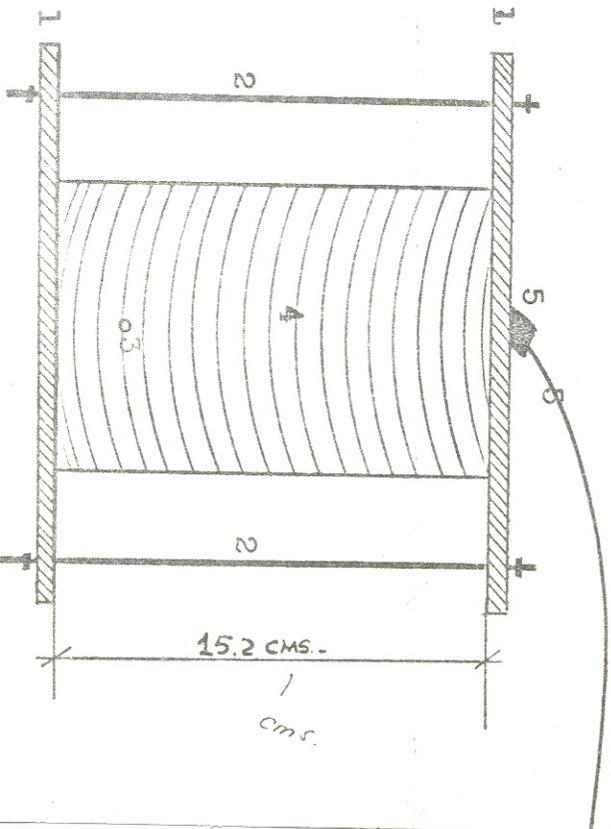
APENDICE 6

DESCRIPCION DEL APARATO UTILIZADO PARA
MEDIR LA CONDUCTIVIDAD TERMICA

CORTE HORIZONTAL



VISTA EXTERIOR

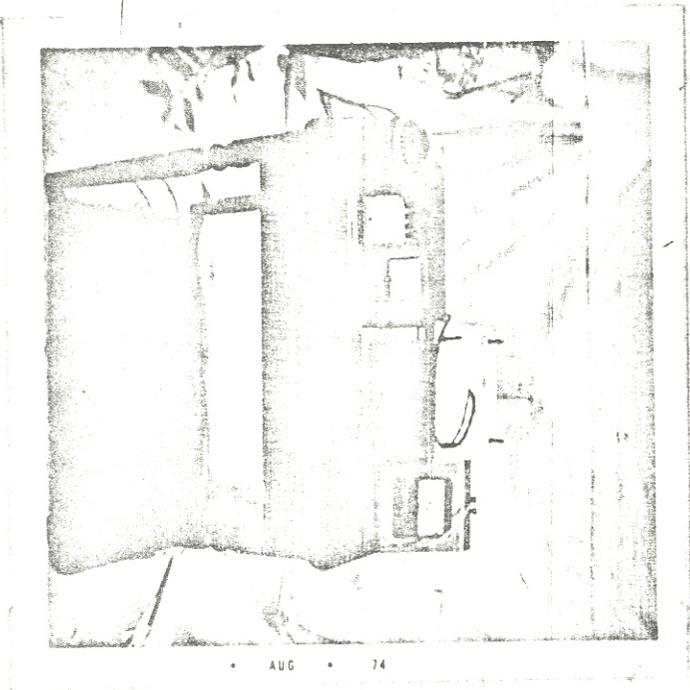


- 1: Planchas de asbesto aislantes.
- 2: Tornillos para asegurar el aparato.
- 3: Salida de los alambres desde el aparato hacia el pirómetro.
- 4: Cilindro externo (fino visible)
- 5: Condón que conduce la electricidad hacia la resistencia eléctrica en el interior.

1: Resistencia eléctrica dentro del cilindro interno.

APENDICE 7

FOTOGRAFIA DEL APARATO Y LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS.



APENDICE 8

MEDIDAS DEL ESPACIO DEJADO ENTRE AMBOS CILINDROS PARA INTRODUCIR EL CAS - CABILLO DE ARROZ, TOMADAS A INTERVALOS CONSTANTES.

Intervalo #	Espacio en cms.	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$
1	2.55	-0.0505	0.00255
2	2.75	0.1495	0.02235
3	2.71	0.1095	0.01199
4	2.70	0.0995	0.00990
5	2.71	0.1095	0.01199
6	2.95	0.3495	0.12215
7	2.88	0.2795	0.07812
8	2.80	0.1995	0.03980
9	2.83	0.2295	0.05267
10	2.46	-0.1405	0.01974
11	2.46	-0.1405	0.01974
12	2.35	-0.2505	0.06275
13	2.42	-0.1805	0.03258
14	2.39	-0.2105	0.04431
15	2.45	-0.1505	0.02265
16	2.43	-0.1705	0.02907
17	2.56	-0.0405	0.00164
18	2.56	-0.0405	0.00164
19	2.50	-0.1005	0.01010
20	2.55	-0.0505	0.00255
52.01		0.0000	0.59829

$\bar{x} = 2.6005$, Varianza = 0.0299 , Desviación Standard = 0.1729

APENDICE 9

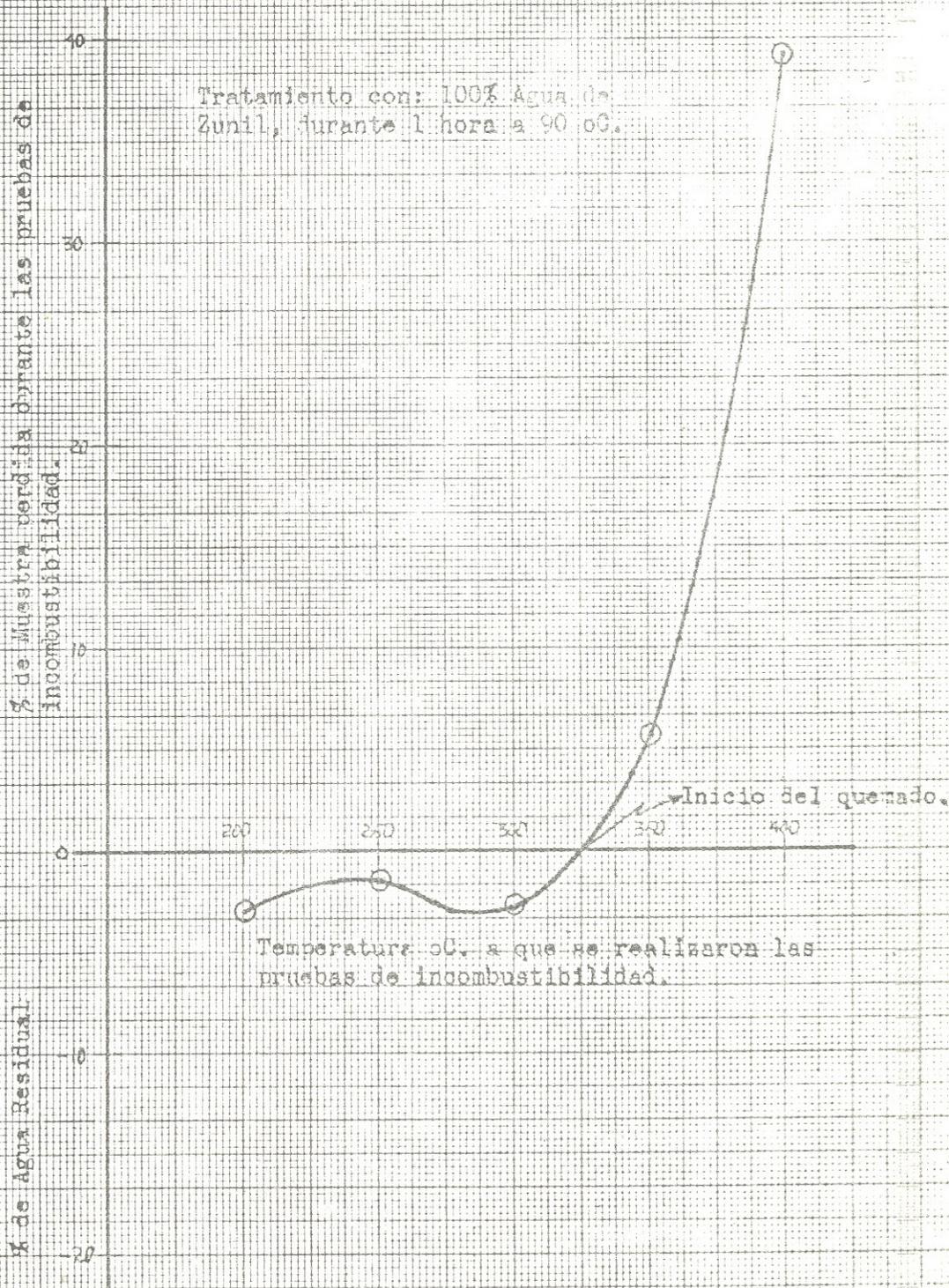
MUESTRA TRATADA CON: AGUA DE ZUNIL

Al 100 % EN PESO EN LA SOLUCION

	Tiempo de Tratamiento: 1 Hora			Tiempo de tratamiento : 4 Horas		
	Temperat. Ambiente	50 oC.	90 oC.	Temperatura Ambiente	50 oC.	90 oC.
% de Retención Húmeda	147.5	148.5	126.0	155.5	151.5	154.0
% de Retención Seco	3.02	1.86	2.16	4.86	0.06	0.54
% de Humedad	8.33	9.36	9.54	8.06	9.61	9.79
Datos de Incombustibilidad						
% de Muestra Residual a 400 oC. (Perdida)	37.29	33.96	39.18	39.20	21.96	26.22
% de Muestra Residual a 350 oC. (Perdida)	9.23	4.11	5.61	3.69	5.58	9.56
% de Muestra Residual a 300 oC. (Perdida)	-1.01	-1.35	-2.85	-2.22	-3.22	-2.94
% de Muestra Residual a 250 oC. (Perdida)	-0.91	-1.99	-1.29	-1.20	-1.57	-1.99
% de Muestra Residual a 200 oC. (Perdida)	-1.11	-2.14	-2.98	-2.40	-2.99	-3.67

APENDICE 10

GRAFICA REPRESENTATIVA DE LOS DATOS
OBTENIDOS PARA EL "AGUA" DE ZUNIL.



APENDICE 11

MUESTRA TRATADA CON: ACIDO BORICO (60%) Y BORAX (40%)

A1 10 % EN PESO EN LA SOLUCION

	Tiempo de Tratamiento: 1 Hora		
	Temperat. Ambiente	50 oc.	90 oc.
% de Retención Húmeda	142.5	138.5	140.25
% de Retención Seco	8.61	12.26	9.66
% de Humedad	13.65	11.15	9.82
% de Muestra Residual a 400 oc. (perdida)	32.83	26.22	31.32
% de Muestra Residual a 350 oc (perdida)	10.59	2.15	6.48
% de Muestra Residual a 300 oc (perdida)	-1.59	0.78	2.48
% de Muestra Residual a 250 oc (perdida)	-3.23	-2.44	0.04
% de Muestra Residual a 200 oc (perdida)	-3.95	-3.32	-1.72

	Tiempo de tratamiento : 4 Horas		
	Temperatura Ambiente	50 oc.	90 oc.
	159.7	151.0	151.5
	9.49	5.71	19.12
	12.02	11.85	13.74
	32.42	20.59	16.18
	5.41	2.22	3.46
	-2.24	0.69	-0.70
	-3.06	-0.24	-0.87
	-7.53	-5.41	-5.67

Datos de Incombustibilidad

APENDICE 11 A

MUESTRA TRATADA CON: ACIDO BORICO 60% Y BORAX 40%

A1 20 % EN PESO EN LA SOLUCION

	Tiempo de Tratamiento: 1 Hora	
	Temperat. Ambiente	50 oc. 90 oc.
% de Retención Húmeda	-----	182.5 182.4
% de Retención Seco	-----	21.22 28.56
% de Humedad	-----	12.22 13.23
% de Muestra Residual a 400 oc. (perdida)	-----	30.86 13.21
% de Muestra Residual a 350 oc (perdida)	-----	12.00 5.85
% de Muestra Residual a 300 oc (perdida)	-----	2.58 1.55
% de Muestra Residual a 250 oc (perdida)	-----	2.37 1.00
% de Muestra Residual a 200 oc (perdida)	-----	-4.28 -5.33

	Tiempo de tratamiento : 4 Horas	
	Temperatura Ambiente	50 oc. 90 oc.
	-----	168.0 194.5
	-----	20.47 37.68
	-----	13.46 14.20
	-----	10.54 19.85
	-----	7.02 3.24
	-----	1.38 2.74
	-----	0.20 -0.10
	-----	-5.33 -6.93

Datos de Incombustibilidad

APENDICE 12

Muestra tratada con:
60% Acido Bórico
40% Bórax

Al 30 % en peso en la solución.

Tiempo de Tratamiento: 1 hora

Temperatura de Tratamiento: 90 °C.

% de Retención Húmeda:	151.25
% de Retención Seca:	40.22
% de Humedad:	17.91
% de Muestra perdida a 400 °C:	27.57
% de Agua residual a 350 °C:	-0.88
% de Agua residual a 300 °C:	-2.82
% de Agua residual a 250 °C:	-7.44
% de Agua residual a 200 °C:	-12.35

Muestra tratada con:
40% Acido Bórico
60% Bórax

Al 30 % en peso en la solución.

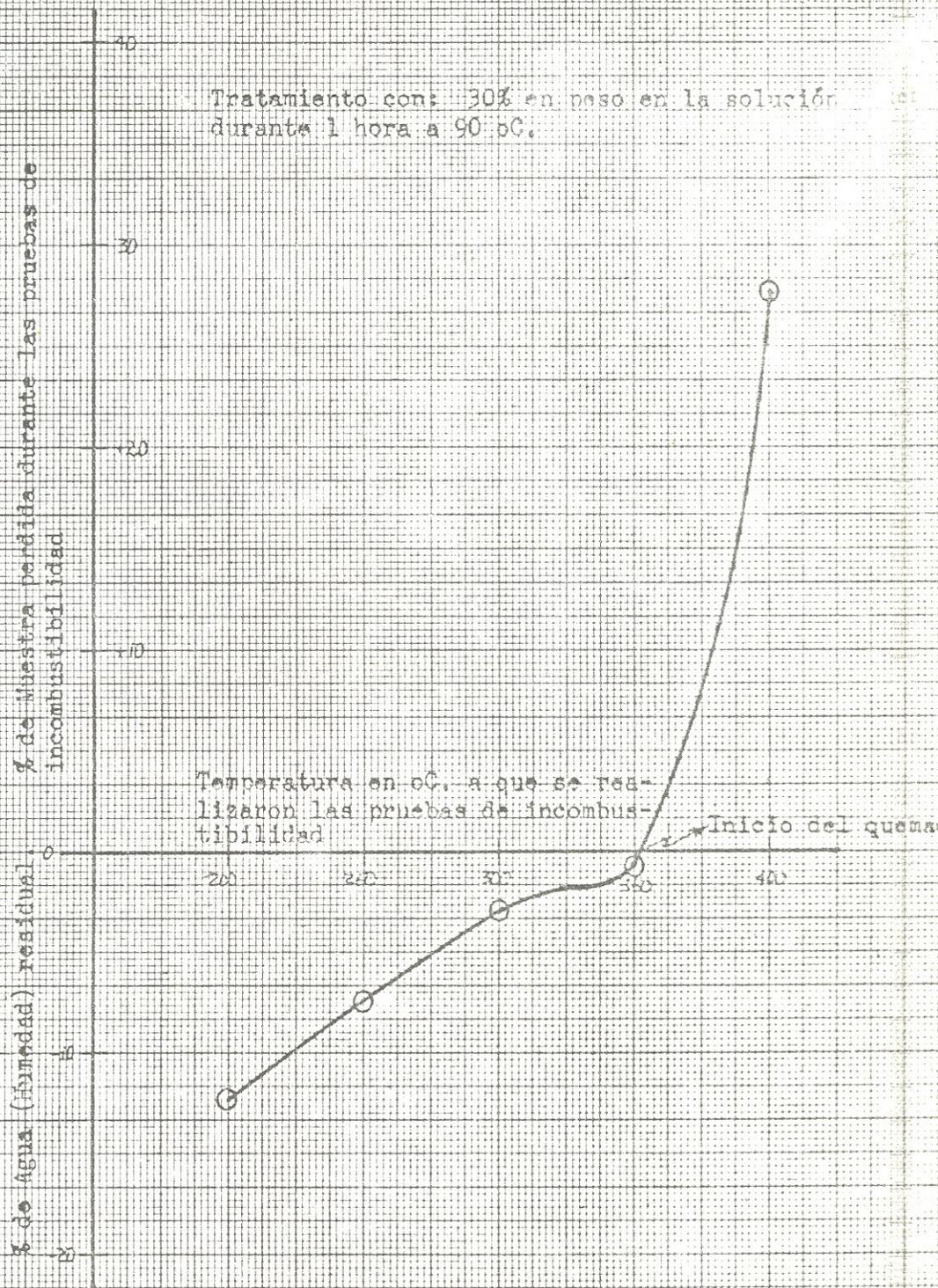
Tiempo de tratamiento : 1 Hora

Temperatura de Tratamiento: 90 °C.

% de Retención Húmeda:	123.5
% de Retención Seca:	18.98
% de Humedad:	13.48
% de Muestra perdida a 400 °C:	28.09
% de Muestra perdida a 350 °C:	2.50
% de Muestra perdida a 300 °C:	0.18
% de Agua residual a 250 °C:	-2.54
% de Agua residual a 200 °C:	-4.23

APENDICE 13

GRAFICA REPRESENTATIVA DE LOS DATOS DE INCOMBUSTIBILIDAD OBTENIDOS PARA LA MEZCLA DE :
60% ACIDO BORICO Y 40% BORAX



APENDICE 14

MUESTRA TRATADA CON: ACIDO BORICO 40% Y BORAX 60%

A1 10 % EN PESO EN LA SOLUCION

	Tiempo de Tratamiento: 1 Hora		
	Temperat. Ambiente	50 oc.	90 oc.
% de Retención Húmeda	127.5	146.50	152.25
% de Retención Seco	8.22	9.13	13.96
% de Humedad	11.58	10.05	9.99
% de Muestra Residual a 400 oc. (perdida)	29.43	29.20	22.40
% de Muestra Residual a 350 oc (perdida)	10.98	5.55	5.33
% de Muestra Residual a 300 oc (perdida)	-1.36	-0.08	1.09
% de Muestra Residual a 250 oc (perdida)	-2.35.	-1.13	-0.17
% de Muestra Residual a 200 oc. (perdida)	-5.67	-2.32	-2.01

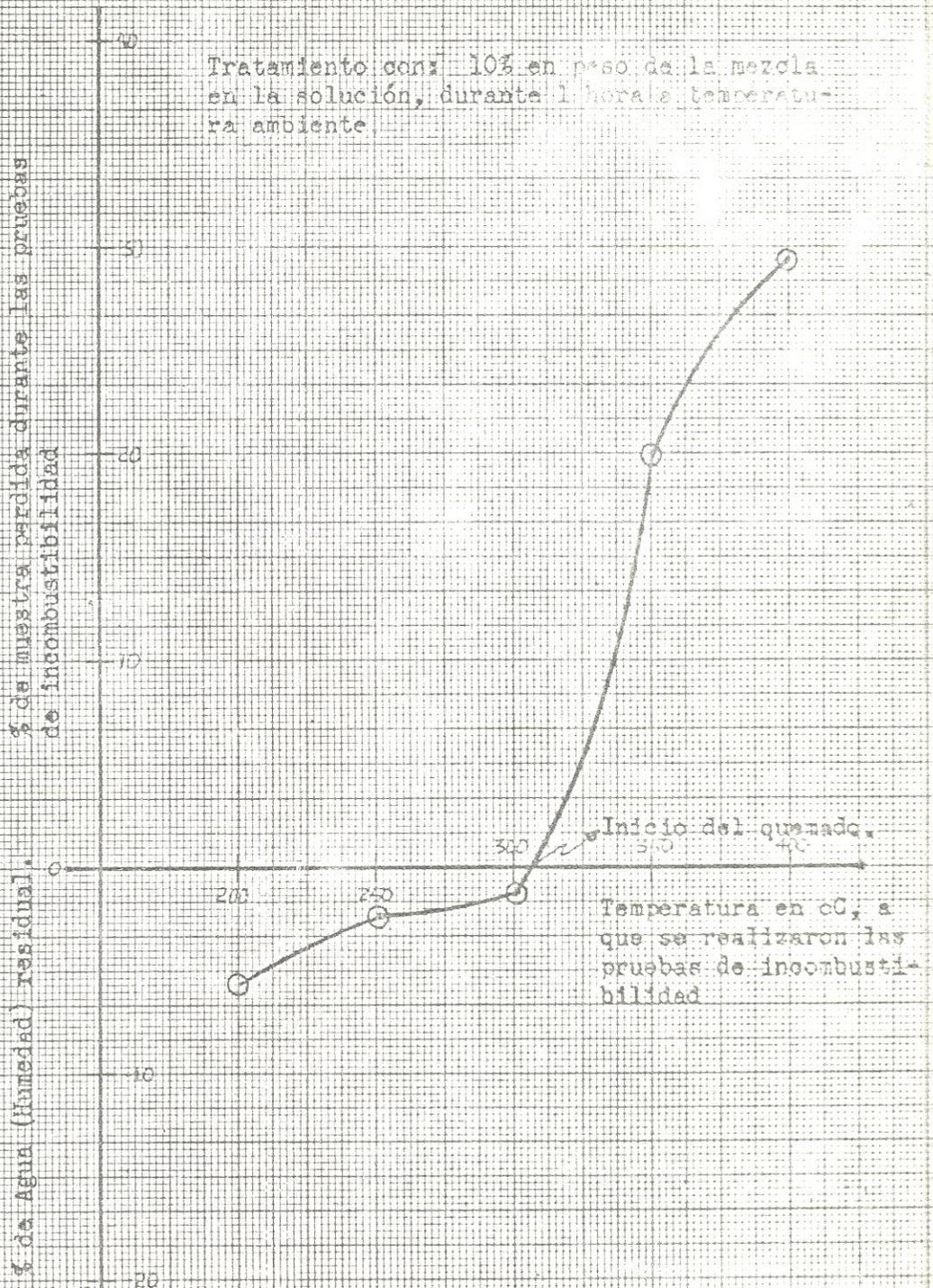
	Tiempo de tratamiento : 4 Horas		
	Temperatura Ambiente	50 oc.	90 oc.
	120.75	165.25	150.25
	7.83	6.83	17,20
	13.24	11.33	12.66
	21.66	27.65	26.43
	5.53	2.96	3.70
	-1.13	-0.20	0.99
	-2.75	-0.24	-2.84
	-7.06	-0.56	-3.25

Datos de Incombustibilidad

Datos de Incombustibilidad

APENDICE 15

GRAFICA REPRESENTATIVA DE LOS DATOS DE INCOMBUSTIBILIDAD OBTENIDOS PARA LA MEZCLA DE :
40% ACELLO PORICO Y 60% BORAX.



APENDICE 16

MUESTRA TRATADA CON: CLORURO DE MAGNESIO

A1 10 % EN PESO EN LA SOLUCION

	Tiempo de Tratamiento: 1 Hora		
	Temperat. Ambiente	50 oc.	90 oc.
% de Retención Húmeda	151.25	156.0	142.5
% de Retención Seco	8.41	6.45	8.09
% de Humedad	16.42	17.93	20.44
% de Muestra Residual a 400 oc. (Perdida)	30.59	33.71	29.77
% de Muestra Residual a 350 oc (Perdida)	25.15	23.37	25.71
% de Muestra Residual a 300 oc (Perdida)	5.73	4.48	-4.01
% de Muestra Residual a 250 oc (Perdida)	-2.41	-6.77	-4.21
% de Muestra Residual a 200 oc (Perdida)	-9.44	-10.84	-13.76

	Tiempo de tratamiento : 4 Horas		
	Temperatura Ambiente	50 oc.	90 oc.
	142.0	148.5	155.75
	10.38	10.36	21.44
	12.45	18.26	25.10
	38.02	36.17	34.91
	26.89	24.23	25.31
	10.81	7.20	-2.60
	4.86	-3.20	-9.54
	-3.15	-7.95	-15.33

Datos de Incombustibilidad

APENDICE 17

MUESTRA TRATADA CON: CLORURO DE MAGNESIO

A1 20 % EN PESO EN LA SOLUCION

	Tiempo de Tratamiento: 1 Hora		
	Temperat. Ambiente	50 oC.	90 oC.
% de Retención Húmeda	149.25	174.50	131.00
% de Retención Seco	18.71	25.53	20.42
% de Humedad	18.96	24.40	24.69
% de Muestra Residual a 400 oC. (Perdida)	31.86	31.56	28.74
% de Muestra Residual a 350 oC. (Perdida)	25.88	26.08	19.54
% de Muestra Residual a 300 oC. (Perdida)	12.06	-4.85	-7.81
% de Muestra Residual a 250 oC. (Perdida)	-1.81	-10.34	-9.81
% de Muestra Residual a 200 oC. (Perdida)	-8.30	-17.55	-15.09

	Tiempo de tratamiento : 4 Horas		
	Temperatura Ambiente	50 oC.	90 oC.
	150.50	156.75	144.75
	16.64	28.27	36.93
	21.86	21.43	28.28
	32.05	33.47	30.50
	19.66	29.43	15.50
	8.94	11.30	-7.16
	-7.07	-6.02	-14.05
	-12.61	-10.00	-24.83

Datos de Incombustibilidad

Datos de Incombustibilidad

APENDICE 18

MUESTRA TRATADA CON: CLORURO DE MAGNESIO

A1 30 % EN PESO EN LA SOLUCION

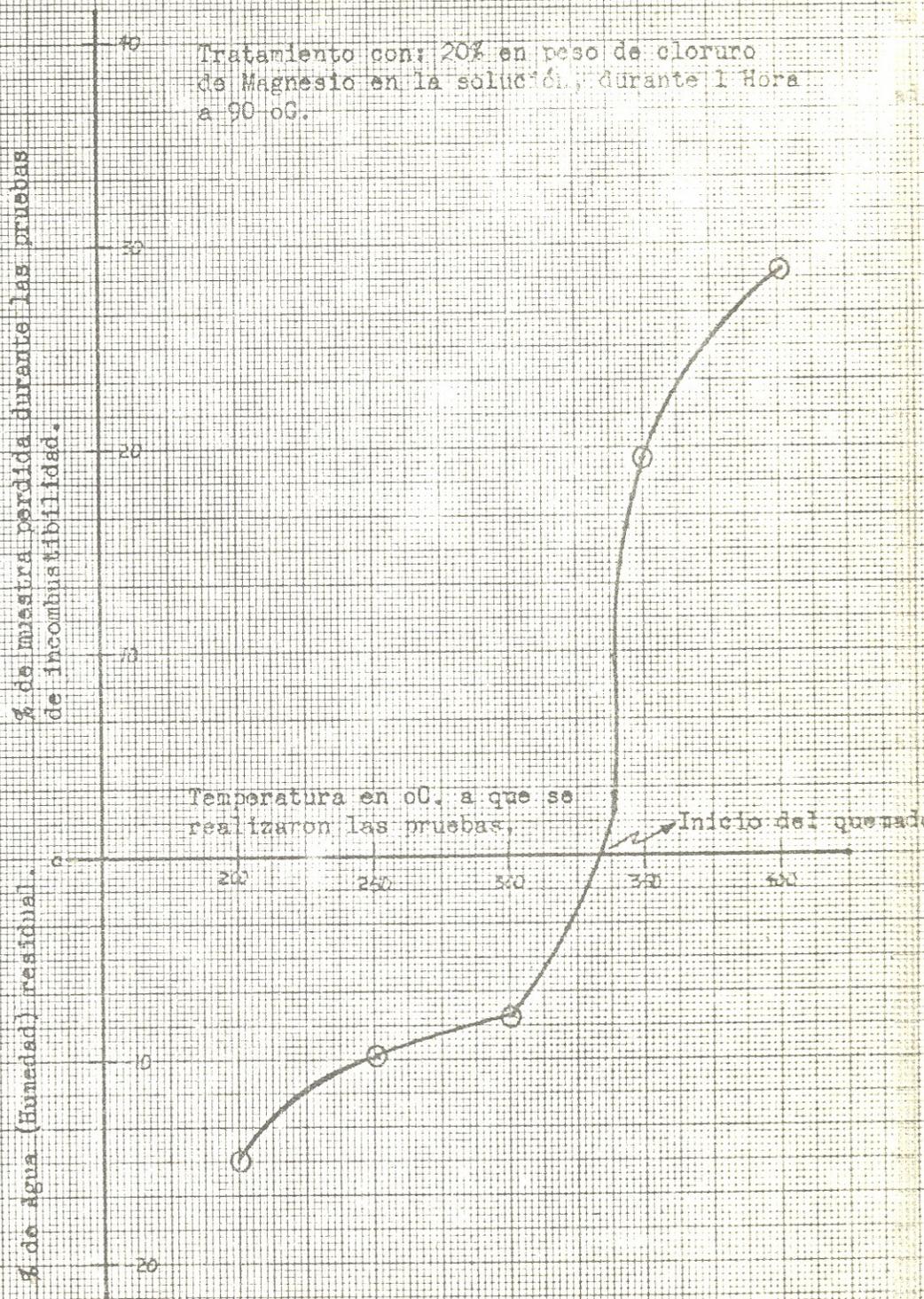
	Tiempo de Tratamiento: 1 Hora		
	Temperat. Ambiente	50 oc.	90 oc.
% de Retención Húmeda	164.00	148.75	142.50
% de Retención Seco	21.47	28.09	26.57
% de Humedad	26.97	27.61	28.36
% de Muestra Residual a 400 oc. (Perdida)	30.36	30.49	31.76
% de Muestra Residual a 350 oc (Perdida)	13.32	12.86	19.10
% de Muestra Residual a 300 oc (Perdida)	2.03	0.23	2.08
% de Muestra Residual a 250 oc (Perdida)	-11.91	-12.86	-13.74
% de Muestra Residual a 200 oc (Perdida)	-16.45	-19.17	-21.22

	Tiempo de tratamiento : 4 Horas		
	Temperatura Ambiente	50 oc.	90 oc.
	188.00	175.75	156.25
	29.32	27.29	32.12
	22.12	26.44	27.95
	31.48	30.55	28.42
	22.27	24.18	12.77
	4.52	9.85	-5.07
	-3.73	-8.36	-14.05
	-7.91	-14.63	-18.98

Datos de Incombustibilidad

APENDICE 19

GRAFICA REPRESENTATIVA DE LOS DATOS DE INCOMBUSTIBILIDAD OBTENIDOS PARA LOS TRATAMIENTOS CON CLORURO DE MAGNESIO.



APENDICE 20

MUESTRA TRATADA CON: SULFATO DE AMONIO

A1 10 % EN PESO EN LA SOLUCION

	Tiempo de Tratamiento: 1 Hora		
	Temperat. Ambiente	50 oc.	90 oc.
% de Retención Húmeda	139.00	121.00	131.00
% de Retención Seco	15.34	13.66	14.17
% de Humedad	8.70	10.46	10.46
% de Muestra Residual a 400 oc. (perdida)	37.35	41.10	31.29
% de Muestra Residual a 350 oc (perdida)	29.59	24.35	23.69
% de Muestra Residual a 300 oc (perdida)	8.28	0.45	3.71
% de Muestra Residual a 250 oc (perdida)	3.00	-0.09	-0.74
% de Muestra Residual a 200 oc (perdida)	1.80	-1.87	-3.73

	Tiempo de tratamiento : 4 Horas		
	Temperatura Ambiente	50 oc.	90 oc.
	156.50	172.50	180.50
	15.59	16.14	31.50
	11.27	11.61	10.91
	28.49	36.73	32.24
	20.71	26.06	21.16
	2.51	13.96	15.66
	-2.03	-3.89	-1.80
	-2.81	-5.70	-2.74

Datos de Incombustibilidad

Datos de Incombustibilidad

APENDICE 21

MUESTRA TRATADA CON: SULFATO DE AMONIO

A1 20 % EN PESO EN LA SOLUCION

Datos de Incombustibilidad	Tiempo de Tratamiento: 1 Hora		
	Temperat. Ambiente	50 oc.	90 oc.
% de Retención Húmeda	150.00	165.00	122.25
% de Retención Seco	21.56	22.39	21.67
% de Humedad	9.78	11.01	10.81
% de Muestra Residual a 400 oc. (perdida)	29.11	31.52	31.32
% de Muestra Residual a 350 oc (perdida)	22.07	22.61	26.09
% de Muestra Residual a 300 oc (perdida)	1.04	5.21	2.36
% de Muestra Residual a 250 oc (perdida)	-1.26	-3.49	-3.14
% de Muestra Residual a 200 oc (perdida)	-2.36	-4.34	-4.81

Datos de Incombustibilidad	Tiempo de tratamiento : 4 Horas		
	Temperatura Ambiente	50 oc.	90 oc.
	151.00	168.50	165.00
	26.69	33.40	42.53
	10.44	10.30	9.60
	43.01	27.78	29.50
	18.29	19.32	20.74
	9.68	3.36	8.35
	-2.07	-1.73	-1.58
	-4.02	-2.04	-2.68

APENDICE 22

MUESTRA TRATADA CON: SULFATO DE AMONIO

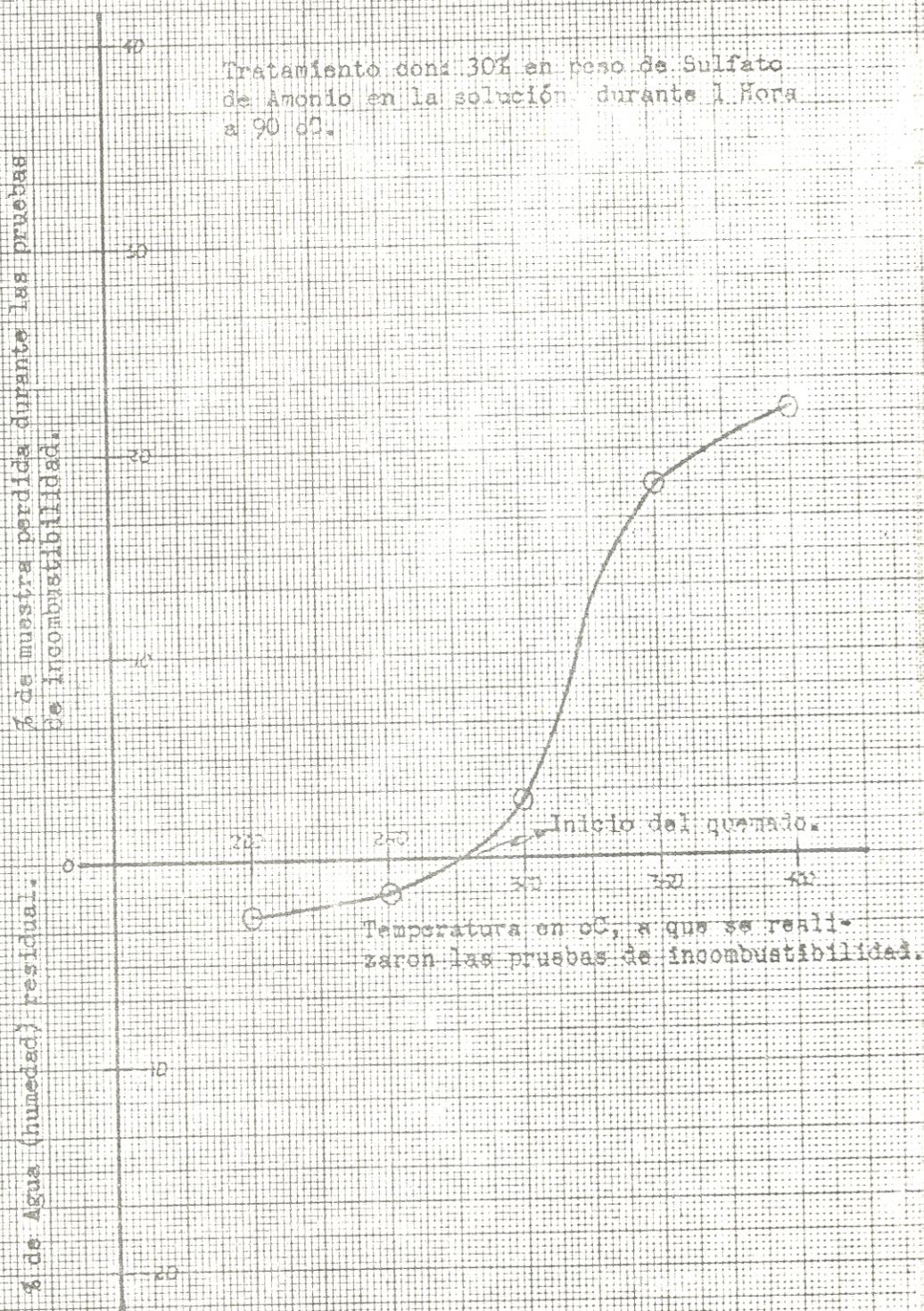
A1 130 % EN PESO EN LA SOLUCION

Datos de Incombustibilidad	Tiempo de Tratamiento: 1 Hora		
	Temperat. Ambiente	50 oc.	90 oc.
% de Retención Húmeda	123.50	195.50	153.50
% de Retención Seco	24.66	35.48	36.82
% de Humedad	8.81	8.73	8.52
% de Muestra Residual a 400 oc. (perdida)	31.54	37.25	21.91
% de Muestra Residual a 350 oc (perdida)	23.73	25.81	18.29
% de Muestra Residual a 300 oc (perdida)	5.07	2.51	2.95
% de Muestra Residual a 250 oc (perdida)	-0.66	-0.78	-1.68
% de Muestra Residual a 200 oc (perdida)	-0.77	-0.79	-2.58

Datos de Incombustibilidad	Tiempo de tratamiento : 4 Horas		
	Temperatura Ambiente	50 oc.	90 oc.
	136.50	176.50	195.00
	31.42	48.44	78.46
	9.42	8.13	7.48
	27.91	27.60	24.09
	19.97	17.68	14.76
	0.90	2.09	1.39
	-1.72	-1.20	-1.84
	-4.62	-2.33	-1.95

APENDICE 23

GRAFICA REPRESENTATIVA DE LOS DATOS DE INCOMBUSTIBILIDAD OBTENIDOS PARA LOS TRATAMIENTOS CON: SULFATO DE AMONIO



APENDICE 24

MUESTRA TRATADA CON: SULFATO DOBLE DE ALUMINIO Y POTASIO (ALUMBRE)

A1 10 % EN PESO EN LA SOLUCION

Datos de Incombustibilidad	Tiempo de Tratamiento: 1 Hora		
	Temperat. Ambiente	50 oc.	90 oc.
% de Retención Húmeda	128.40	136.00	134.00
% de Retención Seco	7.46	7.85	11.43
% de Humedad	10.94	8.14	9.41
% de Muestra Residual a 400 oc. (perdida)	37.51	38.84	34.25
% de Muestra Residual a 350 oc (perdida)	4.99	10.86	20.25
% de Muestra Residual a 300 oc (perdida)	2.03	5.66	5.27
% de Muestra Residual a 250 oc (perdida)	0.02	3.17	2.63
% de Muestra Residual a 200 oc (perdida)	-2.62	0.43	-1.84

Datos de Incombustibilidad	Tiempo de tratamiento : 4 Horas		
	Temperatura Ambiente	50 oc.	90 oc.
	144.50	155.00	162.00
	12.94	10.31	18.53
	12.55	14.22	14.87
	22.39	31.88	36.50
	10.18	7.68	11.12
	2.19	2.39	2.75
	-0.67	-1.42	-0.89
	-2.39	-3.22	-3.35

APENDICE 25

MUESTRA TRATADA CON: SULFATO DOBLE DE ALUMINIO Y POTASIO (ALUMERE)

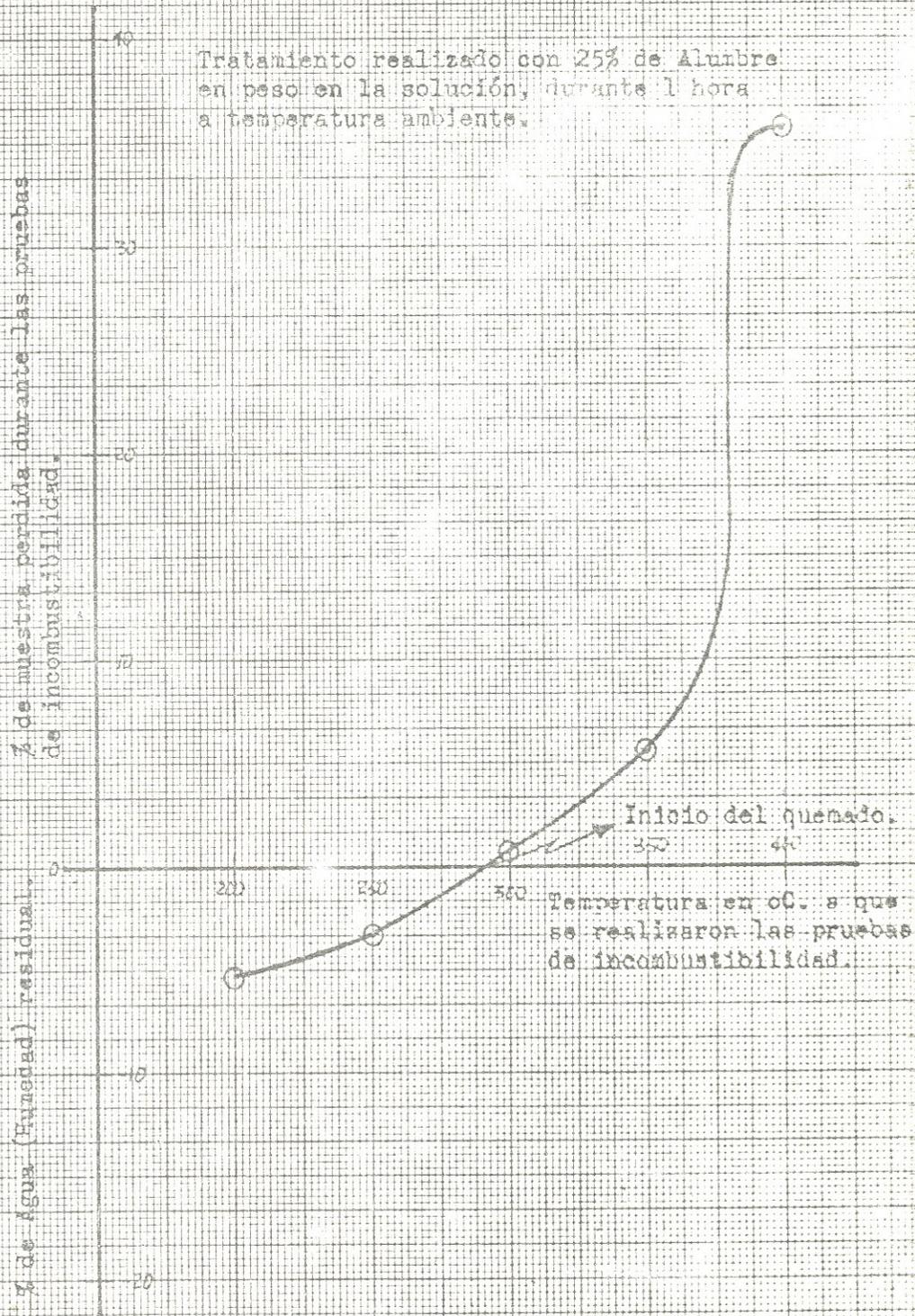
A1 25 % EN PESO EN LA SOLUCION

Datos de Incombustibilidad			
	Tiempo de Tratamiento: 1 Hora		
	Temperat. Ambiente	50 oc.	90 oc.
% de Retención Húmeda	163.50	152.00	155.50
% de Retención Seco	40.28	27.14	31.56
% de Humedad	16.93	14.83	15.65
% de Muestra Residual a 400 oc. (perdida)	35.66	24.22	29.70
% de Muestra Residual a 350 oc (perdida)	5.42	7.79	16.47
% de Muestra Residual a 300 oc (perdida)	0.81	1.66	1.79
% de Muestra Residual a 250 oc (perdida)	-3.33	-1.53	-1.34
% de Muestra Residual a 200 oc. (perdida)	-5.28	-3.96	-6.83

Datos de Incombustibilidad			
	Tiempo de tratamiento : 4 Horas		
	Temperatura Ambiente	50 oc.	90 oc.
	178.50	174.50	188.50
	51.88	35.02	65.16
	15.54	18.13	14.87
	25.30	31.00	36.92
	6.82	14.78	12.63
	0.92	1.36	6.35
	-3.14	-0.28	0.81
	-6.47	-7.18	-2.85

APENDICE 26

GRAFICA REPRESENTATIVA DE LOS DATOS DE INCOMBUSTIBILIDAD OBTENIDOS PARA LOS TRATAMIENTOS CON: SULFATO DOBLE DE ALUMINIO Y POTASIO. (ALUMBRE)



APENDICE 27

MOESTRA TRATADA CON: CLORURO DE AMONIO

A1 10% EN PESO EN LA SOLUCION

	Tiempo de Tratamiento: 1 Hora		
	Temperat. Ambiente	50 oc.	90 oc.
% de Retención Húmeda	146.5	153.0	145.50
% de Retención Seco	16.92	15.95	15.74
% de Humedad	10.82	12.86	12.65
% de Muestra Residual a 400 oc. (perdida)	36.93	39.01	42.70
% de Muestra Residual a 350 oc (perdida)	30.72	27.05	25.61
% de Muestra Residual a 300 oc (perdida)	17.22	9.95	8.53
% de Muestra Residual a 250 oc (perdida)	0.86	1.53	-2.91
% de Muestra Residual a 200 oc. (perdida)	-1.29	-2.54	-2.94

	Tiempo de tratamiento : 4 Horas		
	Temperatura Ambiente	50 oc.	90 oc.
	140.50	142.0	147.50
	14.40	13.17	24.10
	10.65	12.94	12.09
	36.30	38.79	42.16
	29.53	26.34	29.98
	14.47	7.70	8.52
	-0.72	-0.97	-1.24
	-2.78	-2.73	-1.83

Datos de Incombustibilidad

Datos de Incombustibilidad

APENDICE 28

MUESTRA TRATADA CON: CLORURO DE AMONIO

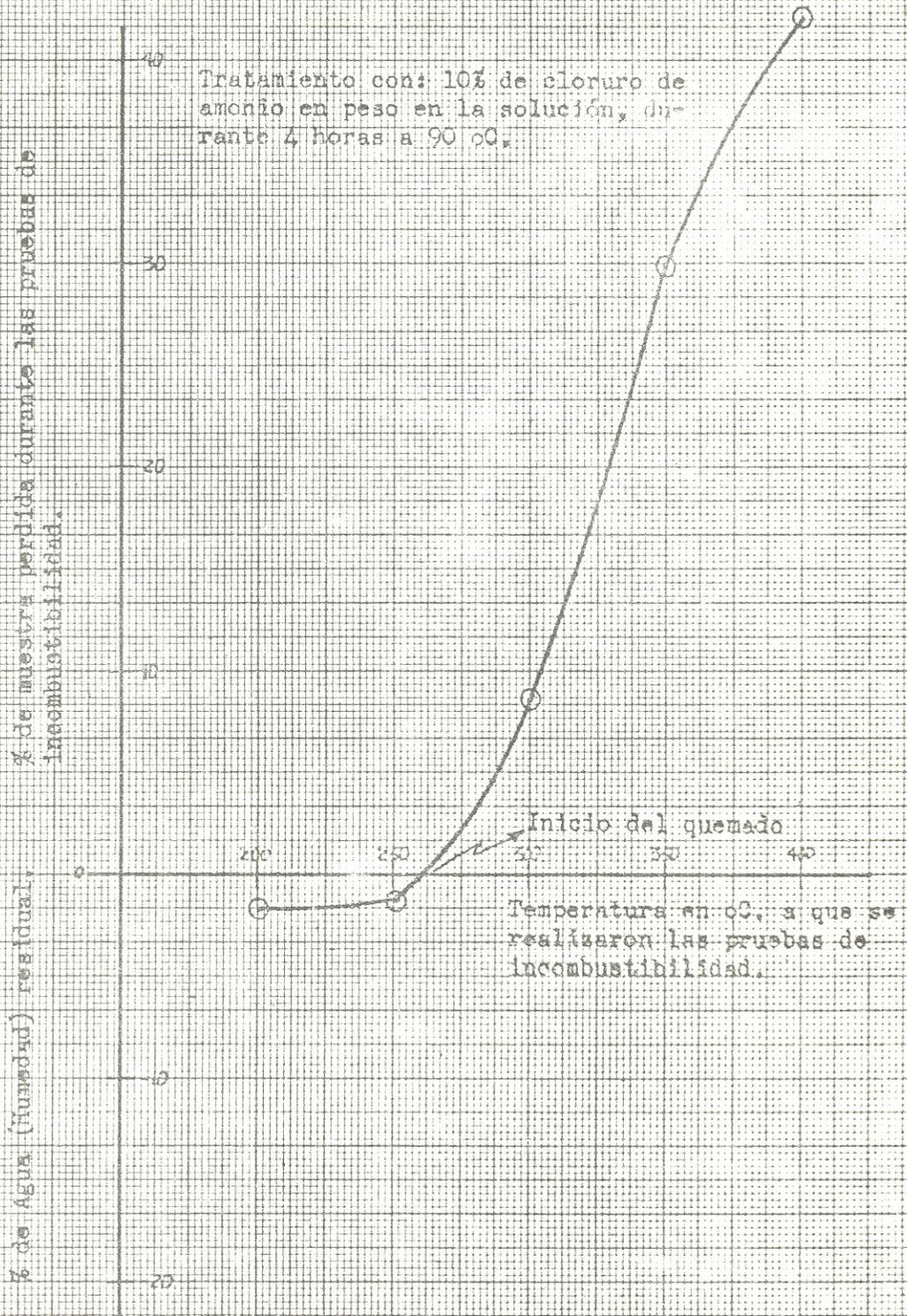
A1 20 % EN PESO EN LA SOLUCION

Datos de Incombustibilidad	Tiempo de Tratamiento: 1 Hora		
	Temperat. Ambiente	50 oc.	90 oc.
% de Retención Húmeda	152.31	170.00	149.23
% de Retención Seco	24.29	29.67	32.74
% de Humedad	9.97	10.79	11.05
% de Muestra Residual a 400 oc. (perdida)	40.07	39.08	48.56
% de Muestra Residual a 350 oc (perdida)	30.34	24.20	21.86
% de Muestra Residual a 300 oc (perdida)	12.06	7.00	10.26
% de Muestra Residual a 250 oc (perdida)	-0.52	-0.90	-0.66
% de Muestra Residual a 200 oc (perdida)	-2.51	-2.66	-3.42

Datos de Incombustibilidad	Tiempo de tratamiento : 4 Horas		
	Temperatura Ambiente	50 oc.	90 oc.
	155.38	148.46	165.77
	33.50	30.97	45.94
	10.54	11.73	11.40
	41.06	38.29	43.84
	29.81	28.41	30.22
	10.18	12.62	15.62
	2.78	-1.83	2.42
	-2.39	-5.73	-4.37

APENDICE 29

GRAFICA REPRESENTATIVA DE LOS DATOS DE INCOMBUSTIBILIDAD OBTENIDOS PARA LOS TRATAMIENTOS CON: CLORURO DE AMONIO.



APENDICE 30

MUESTRA TRATADA CON: CLORURO DE ZINC

A1 10 % EN PESO EN LA SOLUCION

	Tiempo de Tratamiento: 1 Hora		
	Temperat. Ambiente	50 °C.	90 °C.
% de Retención Húmeda	161.15	224.23	154.23
% de Retención Seco	16.83	23.43	24.69
% de Humedad	12.65	15.21	15.22
% de Muestra Residual a 400 °C. (perdida)	29.19	28.48	27.66
% de Muestra Residual a 350 °C. (perdida)	27.70	22.89	21.47
% de Muestra Residual a 300 °C. (perdida)	11.30	18.63	13.08
% de Muestra Residual a 250 °C. (perdida)	1.17	0.11	-4.44
% de Muestra Residual a 200 °C. (perdida)	-2.73	-1.47	-4.70

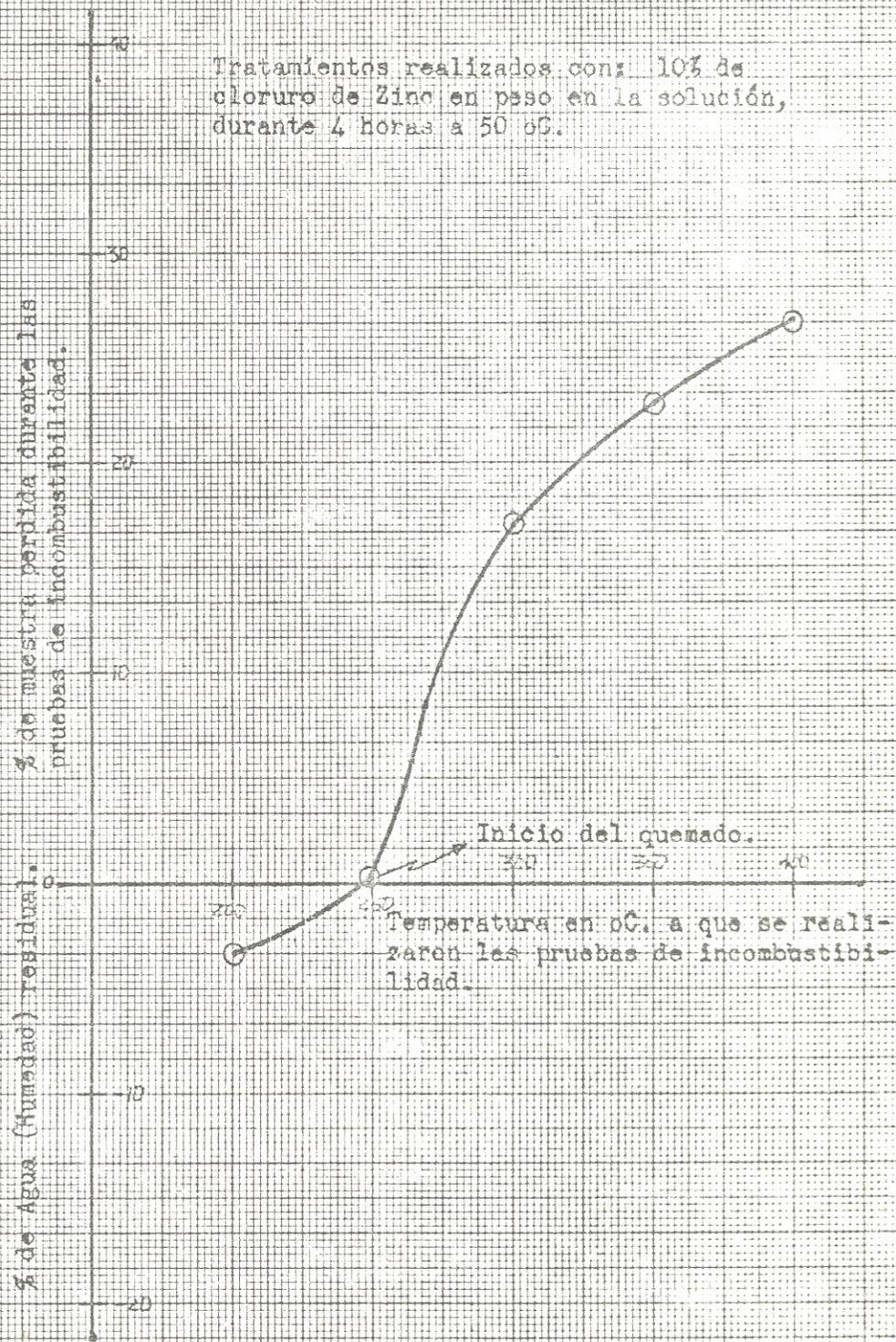
Datos de Incombustibilidad

	Tiempo de tratamiento : 4 Horas		
	Temperatura Ambiente	50 °C.	90 °C.
	183.25	165.77	143.08
	24.50	18.98	26.50
	10.10	13.27	19.85
	30.46	26.77	24.31
	25.27	22.85	19.09
	13.20	17.08	15.47
	5.36	0.15	-1.22
	-0.27	-3.33	-10.55

Datos de Incombustibilidad

APENDICE 31

GRAFICA REPRESENTATIVA DE LOS DATOS DE INCOMBUSTIBILIDAD OBTENIDOS PARA LOS TRATAMIENTOS CON: CLORURO DE ZINC.



APENDICE 32

MUESTRA TRATADA CON: UREA (46%)

A1 10 % EN PESO EN LA SOLUCION

	Tiempo de Tratamiento: 1 Hora		
	Temperat. Ambiente	50 oc.	90 oc.
% de Retención Húmeda	135.75	139.75	136.75
% de Retención Seco	11.28	9.17	8.25
% de Humedad	11.34	13.79	12.98
% de Muestra Residual a 400 oc. (Perdida)	36.67	36.77	45.32
% de Muestra Residual a 350 oc (Perdida)	16.91	3.26	5.12
% de Muestra Residual a 300 oc (Perdida)	-0.54	-2.38	0.47
% de Muestra Residual a 250 oc (Perdida)	-3.94	-7.02	-6.85
% de Muestra Residual a 200 oc (Perdida)	-5.89	-9.48	-8.23

	Tiempo de tratamiento : 4 Horas		
	Temperatura Ambiente	50 oc.	90 oc.
	135.00	125.50	121.00
	9.11	8.19	15.64
	9.44	11.03	12.73
	33.77	43.58	27.09
	5.60	7.30	12.67
	4.31	3.90	3.09
	-0.80	-0.75	-4.43
	-2.77	-5.32	-7.03

Datos de Incombustibilidad

Datos de Incombustibilidad

APENDICE 33

MUESTRA TRATADA CON: UREA (46%)

A1 20 % EN PESO EN LA SOLUCION

	Tiempo de Tratamiento: 1 Hora		
	Temperat. Ambiente	50 oc.	90 oc.
% de Retención Húmeda	138.75	157.25	143.50
% de Retención Seco	22.40	26.20	32.80
% de Humedad	10.64	11.65	7.58
% de Muestra Residual a 400 oc. (perdida)	34.49	30.15	39.72
% de Muestra Residual a 350 oc (perdida)	11.54	7.67	12.28
% de Muestra Residual a 300 oc (perdida)	1.12	0.81	6.07
% de Muestra Residual a 250 oc (perdida)	-4.23	-5.97	-1.14
% de Muestra Residual a 200 oc (perdida)	-5.14	-6.57	-2.03

	Tiempo de tratamiento : 4 Horas		
	Temperatura Ambiente	50 oc.	90 oc.
	135.25	143.00	137.75
	16.24	17.96	34.24
	11.72	13.53	13.63
	23.70	32.97	45.57
	12.77	11.97	16.28
	3.65	2.07	2.06
	-1.37	-5.38	-2.38
	-6.29	-6.23	-6.68

Datos de Incombustibilidad

Datos de Incombustibilidad

APENDICE 34

MUESTRA TRATADA CON: UREA (46%)

A1 30 % EN PESO EN LA SOLUCION

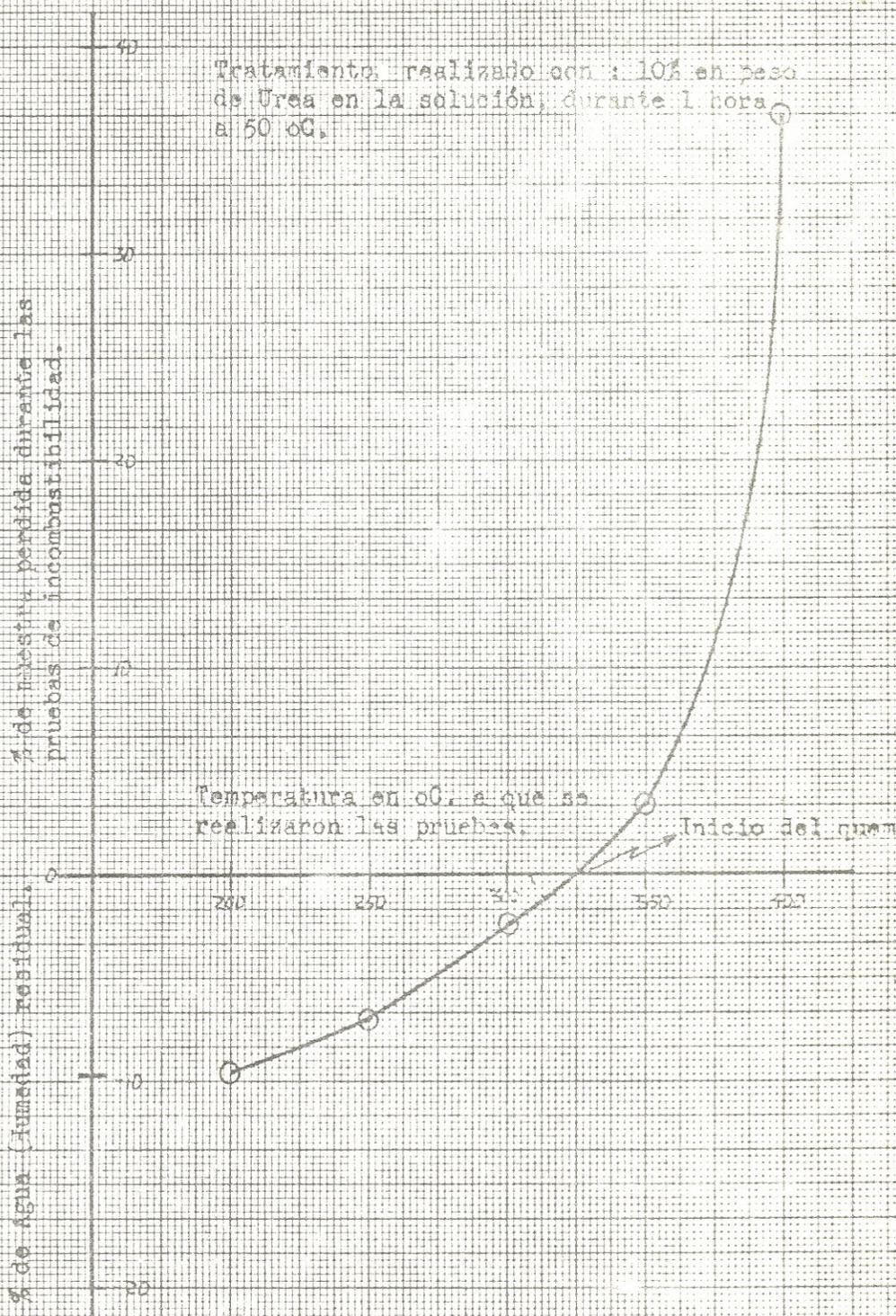
	Tiempo de Tratamiento: 1 Hora		
	Temperat. Ambiente	50 oc.	90 oc.
% de Retención Húmeda	143.75	178.00	156.75
% de Retención Seco	35.53	41.22	39.37
% de Humedad	7.83	11.06	14.19
% de Muestra Residual a 400 oc. (perdida)	37.84	52.98	37.80
% de Muestra Residual a 350 oc (perdida)	17.73	16.89	13.58
% de Muestra Residual a 300 oc (perdida)	2.58	4.14	-2.81
% de Muestra Residual a 250 oc (perdida)	-2.06	-3.93	-6.60
% de Muestra Residual a 200 oc (perdida)	-3.06	-6.58	-10.97

	Tiempo de tratamiento : 4 Horas		
	Temperatura Ambiente	50 oc.	90 oc.
	136.50	176.50	144.00
	24.59	32.98	51.22
	13.79	12.88	12.18
	29.08	30.64	50.03
	15.30	11.88	16.70
	-2.84	8.34	3.26
	-6.76	-4.11	-4.61
	-9.41	-10.18	-8.25

Datos de Incombustibilidad

APENDICE 35

GRAFICA REPRESENTATIVA DE LOS DATOS DE INCOMBUSTIBILIDAD OBTENIDOS PARA LOS TRATAMIENTOS CON: UREA (46%).



INFORMACION

Muestra: Agua de Zunil
 Denominación: Análisis Mineralógico y Dureza
 Procedencia: Zunil Depto. Quezaltenango
 Suministrada: Sr. Julio F. Martinez
 Ordenada: Sr. Julio F. Martinez
 Análisis: Químico de la muestra suministrada

ANALISIS QUIMICO

Informe No. 4F-384

Análisis No. 74-586

CARACTERES

Color: Incolora
 Olor: Inodora
 Sabor: Acida
 Aspecto: Muy Limpia Transparente
 Sedimento: No Contiene
 Determinación ph: 2.4

Partes por mill

Insolubles en el Agua	0.00	"	"	"
<u>DUREZA TOTAL</u> (Expresada en CaCO ₃)	-- --	"	"	"
<u>ALCALINIDADES</u> (Expresada en CaCO ₃)		"	"	"
De Hidróxido (OH)	-- --	"	"	"
De Carbonato (CO ₃)	-- --	"	"	"
De Bicarbonato (H-CO ₃)	-- --	"	"	"
Acidez (Expresada en H ₂ SO ₄ libre)	906.30	"	"	"
<u>SOLIDOS TOTALES</u>				
Residuo Fijo a 103° C.	2,909.00	"	"	"
Residuo calcinado	1,589.00	"	"	"
Pérdida por calcinación	320.00	"	"	"

ANALISIS MINERAL

Sílice (SiO ₂)	1,026.00	"	"	"
Oxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	200.00	"	"	"
Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	572.00	"	"	"
Oxido de calcio (CaO)	557.00	"	"	"
Oxido de Magnesio (MgO)	9.30	"	"	"
Oxido de Sodio (Na ₂ O)	8.67	"	"	"
Oxido de Potasio (K ₂ O)	-- --	"	"	"
Cloro (Cl)	9.92	"	"	"
Sulfatos (SO ₄)	887.50	"	"	"
Nitratos (NO ₃) (Reacción directa)	0.00	"	"	"
Nitritos (NO ₂)	0.00	"	"	"
Amoniaco (NH ₃) (Reacción directa)	0.00	"	"	"
Fosfatos (P ₂ O ₅)	5.00	"	"	"
Azufre (S) (Libre)	10.00	"	"	"
Acido Sulhídrico (H ₂ S) (Libre y combinado)	0.00	"	"	"
Materia Orgánica (Valorada en medio ácido y expresada en Oxígeno consumido)	0.00	"	"	"

CONCLUSION: El Agua es de tipo mineral y contiene Acido Sulfúrico Libre en 906.3 p.p.m. Se hace notar que los compuestos de Azufre predominan en el Agua y también el Azufre libre.



JULIO FRANCISCO MARTINEZ URRUTIA

Vo.Bo.



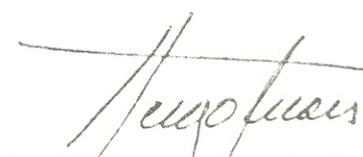
ING. RODOLFO SOLIS OLIVA
ASESOR

Vo.Bo.



ING. JUAN FRANCISCO MENCHU
DIRECTOR DE LA ESCUELA
DE INGENIERIA QUIMICA.

IMPRIMASE:



ING. HUGO QUAN MA
DECANO