





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Química

ESTUDIO SOBRE LA INFLUENCIA DE LOS COMPONENTES DE FORMULACION EN EL TERMOFIJO DE UREA-FORMALDEHIDO Y SU CONTRIBUCION AL MODULO DE RUPTURA DEL MATERIAL REFORZADO CON BAGAZO DE CAÑA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

SERGIO ECHIVARRI HERNANDEZ

## JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE	PROF: JULIO TERAN ZAVALETA
VOCAL	PROF: EDUARDO VALADEZ CUENCA
SECRETARIO	PROF: ROLANDO A. BARRON RUIZ
1er. SUPLENTE	PROFA: MARGARITA GONZALEZ TERAN
2do. SUPLENTE	PROF: ERNESTO IBARRA NUÑEZ

Sitio donde se desarrolló el tema:

Centro de Investigación de Materiales (C.I.M.)

Sustentante:

\_\_\_\_\_

Sergio Echávarri Hdez.

Asesor del tema:

\_\_\_\_\_

Ing. Eduardo Valadez C.

A mis padres:

ANGEL ECHAVARRI NUÑEZ y  
CONSUELO HERNANDEZ DE ECHAVARRI

A mis hermanos:

---

CRISTINA  
FRANCISO  
JULIAN y  
CAROLINA

A mis familiares.

A mis maestros de la Facultad.

Al ING. EDUARDO VALADEZ CUENCA  
por su importante asesoramiento  
y colaboración.

A todos mis compañeros.

A Ma. del Pilar Torres:

"Hay momentos que no los podrá borrar el paso del tiempo, ni perderse en la oscuridad del-infinito.... y tú formas parte de ellos. "

## I N D I C E

1.- ANTECEDENTES	2
1.1.- Química de la resina	3
1.2.- Obtención Industrial de la resina de Urea- Formaldehído, y diagrama del proceso.	7
1.3.- Ventajas, desventajas y usos de la resina- de Urea-Formaldehído.	10
2.- <u>OBJETIVOS</u>	11
3.- <u>PLAN DE TRABAJO</u>	13
3.1.- Variable de formulación	14
3.2.- Diagrama experimental	17
3.3.- Material y equipo	18
4.- <u>DESARROLLO EXPERIMENTAL</u>	20
4.1.- Módulo de ruptura (Mr)	22
4.2.- Módulo de elasticidad a la ruptura (Mer)	24
4.3.- Módulo de tensión (Mt)	27
4.4.- Módulo de elasticidad a la tensión (Met)	28
4.5.- Contribución aparente por el termo-fijo de Urea-Formaldehído en los tableros aglomera- dos con bagazo de caña.	30
4.6.- Pruebas de ataque químico	31
4.7.- Prueba de combustibilidad	32
4.8.- Pruebas físicas al termofijo de Fenol-For- maldehído	33



5.- <u>RESULTADOS</u>	34
5.1.- Módulos de ruptura	35
5.2.- Módulo de elasticidad a la ruptura	39
5.3.- Módulo de tensión	41
5.4.- Módulo de elasticidad a la tensión	43
5.5.- Contribución aparente del termofijo de Urea-Formaldehído en el módulo de ruptura del tablero aglomerado a base de fibra de caña.	45
5.6.- Contribución aparente del termofijo de Urea-Formaldehído en el módulo de tensión del tablero aglomerado a base de fibra de caña.	49
5.7.- Efecto de la fracción agua.	52
5.8.- Efecto de la fracción catálisis	53
5.9.- Efecto de la fracción cera	54
5.10.- Efecto de la temperatura de polimerización	55
5.11.- Contracción lineal con el tiempo	56
5.12.- Ataque Químico	58
5.13.- Combustibilidad	59
5.14.- Análisis comparativo de las propiedades físicas de la resina de Urea-Formaldehído con la Fenol-Formaldehído.	60
5.15.- Análisis de las gráficas de Módulo de ruptura del plástico de Urea-Formaldehído.	65
5.16.- Correlación lineal de variables en los procesos de polimerización.	79
6.- <u>CONCLUSIONES</u>	83
7.- <u>BIBLIOGRAFIA</u>	89

1.- ANTECEDENTES

## 1.- ANTECEDENTES

Desde 1859, fecha en que se obtuvo el primer plástico a partir de la celulosa [5], la importancia de este tipo de material en la vida del hombre no ha cesado de aumentar, la irrupción de plástico en la vida moderna constituye un fenómeno de indudable trascendencia.

Hoy en día el ciudadano de los Países industrializados vive rodeado de objetos de plástico; ésta materia ha venido a sustituir a productos como el vidrio el algodón, de cerámica, la madera, los metales y demás fibras naturales, - incluso los mismos tejidos orgánicos.

La gran variedad de plásticos existentes responde a marcadas diferencias entre los compuestos que los constituyen; los distintos polímeros pueden diferenciarse entre sí - por su constitución química, física o su estructura polimolecular.

Dentro de este mundo plástico y materiales sintéticos se encuentran las resinas de Urea-Formaldehído y fenólicas. La resina de Urea-Formaldehído es objeto de nuestro estudio, pertenece a la sub-familia de los Uroplásticos (9) y la cual como su nombre lo indica se compone de Formaldehído y Urea, que reaccionan dando un polímero termofijo el cual es usado como polvo moldeable o como resina para aglomerar - partículas.

Esto último es el polímero que será caso de estudio y donde se observará su comportamiento como plástico no reforzado; y al cual se hará un análisis en lo que se refiera a sus componentes como parte de la formulación de los tableros aglomerados a partir de fibra natural.

Se analizará también la influencia de estos componentes (catálisis, cera y agua) en las propiedades físicas del termofijo, con el objeto de llegar a una formulación óptima para la cual éstas propiedades tengan los máximos valores.

Para llegar a una formulación de resina óptima se harán gráficas de la propiedad en estudio en función de alguno de los componentes utilizados, de esta forma tendremos información para decidir la formulación que nos dará la máxima resistencia en los tableros aglomerados y también aquellos puntos en los cuales muestra deficiencias el material y no es conveniente utilizar:

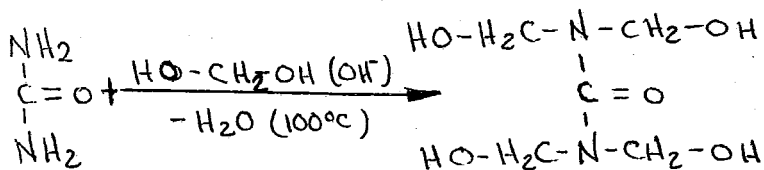
### 1.1.- Química de la resina

En la química de la resina se consideran tres procesos catalíticos para obtenerla (9) :

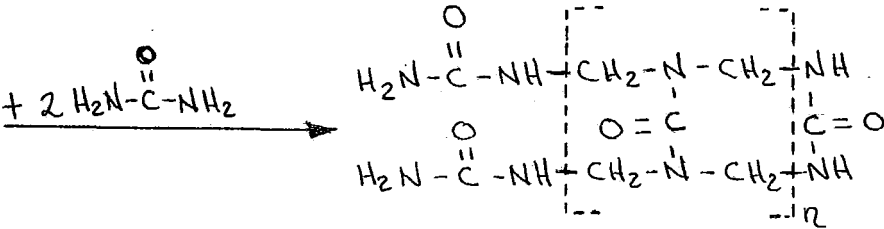
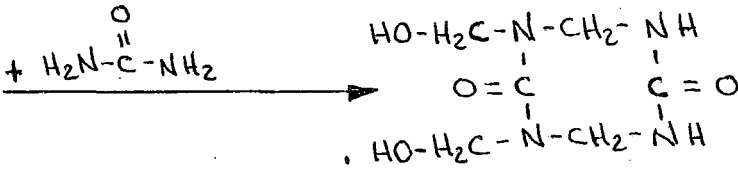
- a) Catálisis alcalina no amoniacal
- b) Catálisis ácida
- c) Catálisis alcalina amoniacal

a) Catálisis alcalina no amoniacal:

Se pueden usar alcalis fuertes y débiles, así como bases orgánicas, o bien sales que por hidrolisis den reacción alcalina o sea las formadas por una base fuerte y un ácido débil, así:



Tetrametilol-Urea.



La tetrametilol-urea puede eliminar agua por el lado derecho de modo que sus dos oxidrilos reaccionen con hidrógenos de una molécula vertical de urea formándose un ciclo cerrado; sin embargo los dos oxidrilos del lado izquierdo pueden reaccionar con una molécula de urea creciendo en forma de cadena abierta; pero a su vez los hidrógenos de los NH del lado derecho es posible que reaccionen con oxidrilos metilólicos de moléculas de tetrametilol-urea en forma abierta entre las cadenas, creciendo ahora como cadenas abiertas que se van entrecruzando y al contrario de los hidrógenos de los amígenos del lado izquierdo pueden de momento reaccionar con oxidrilos de una sola molécula de tetrametilol-urea y desarrollarse en ese instante formando de nuevo ciclos cerrados y de estas dos formas es como se van integrando los entrecruzamientos de las cadenas unas veces en forma abierta y otras en ciclos.

El eslabón mínimo es la tetrametilol-urea encerrada dentro del paréntesis punteado y con sub-índice "n" y al tratarse de una relación 4.2 si se tiene el número de moles de ureas mayor o igual al número de moles de formaldehído se ob

tendrán termoplásticos, pero si es lo contrario se obtendrán termofijos, de modo que:

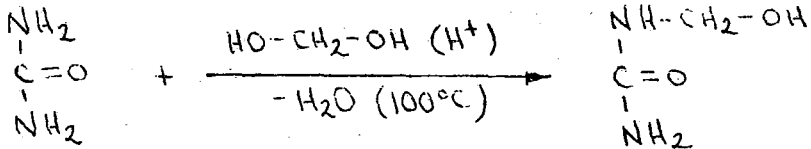
Si  $n_4 \geq n_2$  será termoplástico

Si  $n_4 < n_2$  será termofijo.

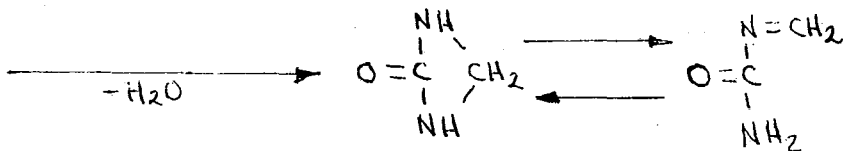
La catálisis alcalina no amoniacal por simple condensación al irse eliminando moléculas de agua que se van evaporando por la temperatura de operación  $100^\circ\text{C}$ . desplazan el equilibrio hacia los productos.

#### b) Catálisis ácida:

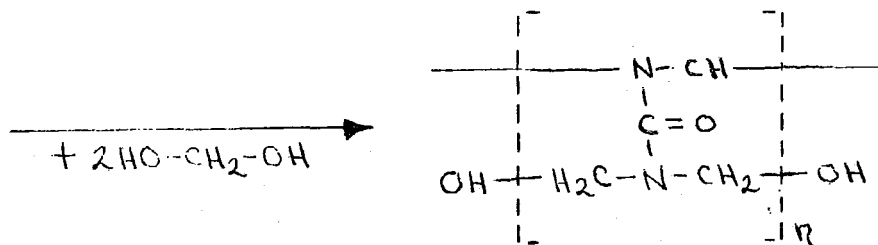
Se logra mediante ácidos minerales y orgánicos fuertes y débiles, o bien por sales que por hidrólisis den reacción ácida que se forman por un ácido fuerte y una base débil.



Monometilol



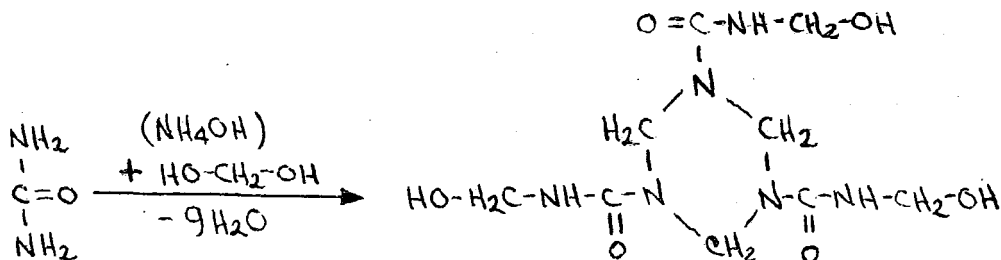
Formar Holzer

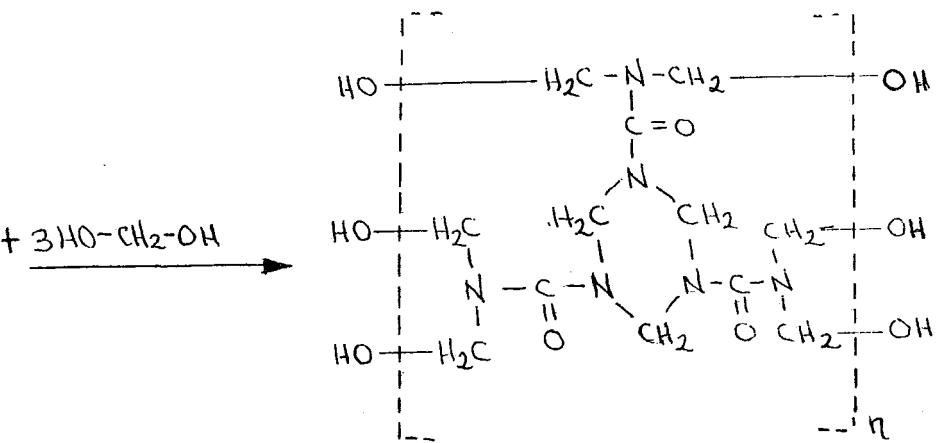


Desde que se forma la estructura Holzer (13) al abrirse la doble ligadura del grupo azometílicos y al eliminarse dos moléculas de agua con los hidrógenos del amígeno inferior y los axidrilos de dos moléculas de formaldehido se forma el eslabon mínimo por un proceso mixto de adición en el nitrógeno superior y por condensación a través del nitrógeno inferior siendo así la tetrametilen-urea el esqueleto de cada eslabón.

### c) Catálisis alcalina moniacal:

Lo encerrado dentro del paréntesis punteado de las reacciones que se muestran a continuación, es el eslabón mínimo en el cual mediante seis puentes de metileno van formando al polimero en forma de mosaicos, pudiendo haber uniones de tipo 1 con 1, 2 con 2, 3 con 3, etc., hasta 6 y también todas las combinaciones posibles entre esas seis posiciones como factorial de 6.





Ciclo-trimetilen-2,4,6-hexametilol triurea, 1,3,5.

1.2.- Obtención industrial de la resina de Urea-Formaldehído y diagrama del proceso.

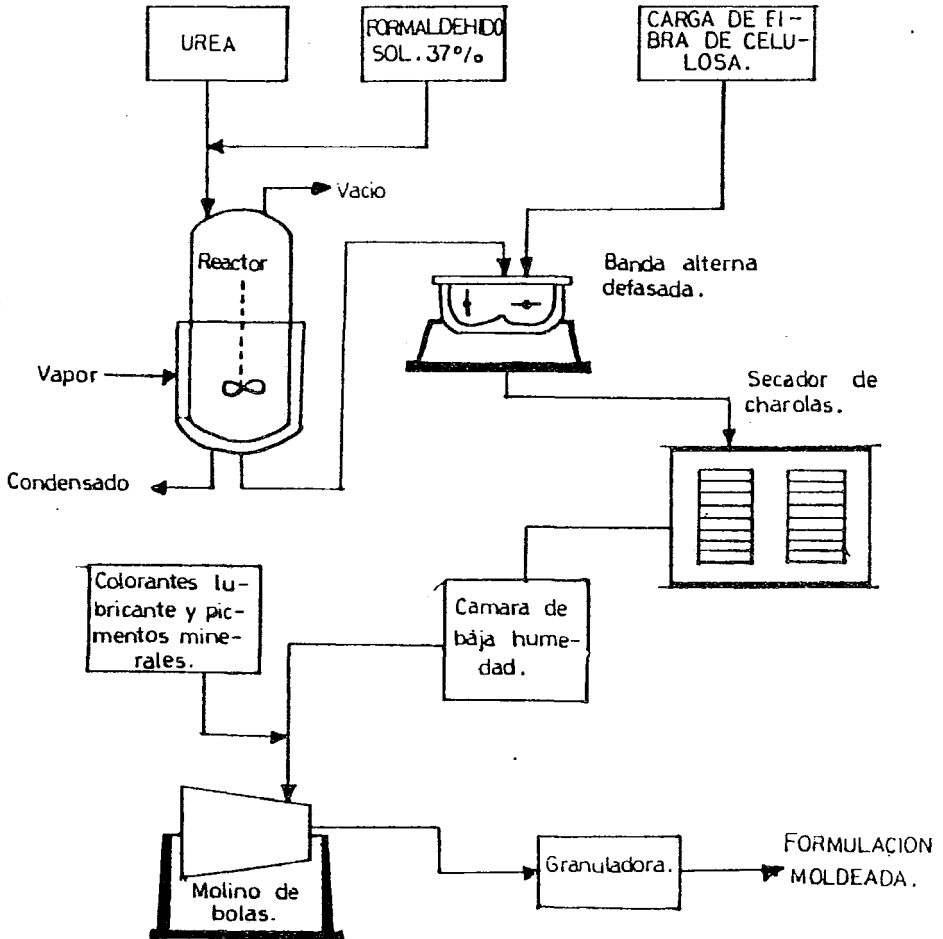
Como ya se dijo de la resina de Urea-formaldehído - puede obtenerse por tres procesos catalíticos, los cuales industrialmente los utilizan con cargas de celulosa siendo el proceso el siguiente:

En un reactor de acero inoxidable se agregan los reactivos de urea y formaldehído en cantidades equimoleculares en solución química al 37%, más el catalizador correspondiente, se hace pasar vapor saturado a través del reactor y se pone a funcionar el agitador central de ancla, todo esto debe hacerse manteniendo cerrada la válvula que comunica a vacío, con el objeto de que el formaldehído esté a reflujo, de manera que al sacar muestras a intervalos de regulares se alcance una viscosidad igual a la de la glicerina, en este momento debe disminuir el reflujo de vapor así como el número de revoluciones del agitador para después abrir la válvula que comunica al vacío y hacer pasar el jarabe ligero por evaporación del agua formada en jarabe espeso, con una viscosidad equivalente a la miel de abeja y así caliente



cerrar la válvula que da al vacío, se pone a presión atmosférica abriendo la válvula de la tapa del reactor y poder drenar el jarabe viscoso a una mezcladora de doble banda - alternada y defasada  $90^\circ$  en su movimiento, habiéndose previamente vaciado fibra de celulosa para empaparla con la solución espesa; cuando la mezcla está uniforme se pasa a charolas galvanizadas y se llevan al interior de un horno que contiene tres plataformas huecas y calentadas por vapor sobresaturado para quitar el contenido de humedad y poder transferir el producto a una cámara de baja humedad -  $15^\circ\text{C}$  de donde se sacan lotes que van a dar a un molino de bolas en donde se agrega exceso de formaldehído en forma de sales trioxano, más lubricante de estearato de calcio y talco con pigmentos minerales o colorantes orgánicos ambos insolubles en agua, de modo que cuando la mezcla se encuentra homogénea como polvo impalpable pase a una granuladora de briguetas cilíndricas compactas de una pulgada de diámetro y otra de altura, quedando así de esta manera los cristales de la resina listos para formar artículos moldeados, (15).

# DIAGRAMA DEL PROCESO



### 1.3.- Ventajas, desventajas y usos de la resina de urea formaldehído.

Como ventajas están: Buenas propiedades como aislante, estable a temperaturas altas, resistencia a los agentes orgánicos, obtenible en todos los colores (opacos, traslúcidos y transparentes).

Desventajas.- Baja resistencia a los choques y aparición de manchas de repolimerización.

Usos:- Como empaque decorativo de exhibición, partes de maquinaria, como adhesivos para laminados, gabinetes de radio y televisión baratos.

Además de los usos mencionados este polímero se utiliza en la fabricación de objetos puramente de plástico, también como agente aglutinante de materiales fibrosos, que como se ha usado en estudios anteriores a éste, en la fabricación de materiales compuestos a base de fibras naturales - como el bagazo de caña, que son aglomerados con el termofijo añadido en solución catalizada y sometido a un proceso de prensado en caliente.

En este estudio se analizará al polímero como formulación para tableros aglomerados con fibra de Caña; pero como polímero preparado in vitro y polimerizado en masa, desprendiéndose de esto las propiedades físicas puramente del sustrato polimérico y no del material compuesto.

## 2.- OBJETIVOS

## 2.- OBJETIVOS DE ESTE ESTUDIO

- 2.1.- Estudiar las propiedades físicas del termofijo de Urea-formaldehído en base a su formulación usada en la fabricación de tableros aglomerados sin ser un material compuesto.
- 2.2.- Determinar los módulos de ruptura y tensión - paralela a la superficie determinando el % - aparente de contribución en el material reforzado.
- 2.3.- Determinar la contribución en las propiedades físicas del termofijo de acuerdo a cada componente de la formulación de resina catalizada.
- 2.4.- Estudiar y comparar las propiedades del termofijo de urea-formaldehído con el de fenol-formaldehído preparados bajo polimerización en - masa no acuosa.
- 2.5.- Concluir sobre la optimidad de las formulaciones sobre las propiedades físicas del termofijo pensando en su aplicación a materiales reforzados con fibras naturales.

### 3.- PLAN DE TRABAJO

### 3.- PLAN DE TRABAJO

A continuación y teniendo en cuenta los objetivos - planteados se presenta un desarrollo gráfico de eventos en - que se visualizan todas las variables de formulación en la - obtención de los materiales plásticos de Urea-formaldehído - en solución acuosa que serán sometidos a prueba.

#### 3.1.- Variables de formulación.

FRACCION AGUA ( $f_a$ )

FRACCION CATALISIS ( $f_{cat.}$ )

FRACCION CERA ( $f_c$ ).

MASA CONSTANTE DE RESINA ( $m_r$ ).

FRACCION AGUA.- Cierta cantidad de agua destilada - dentro de un intervalo de 0.0625 a 0.25

FRACCION CATALISIS.- Mezcla de sulfato de amonio e hidróxido de amonio en una relación en masa de 1:1 en un intervalo de 0.0062 a 0.05.

FRACCION CERA:- Emulsión de cera en el intervalo - 0.0 a 0.125

MASA CONSTANTE DE RESINA.- 80 g. de resina líquida - de Urea-formaldehído.

NOTA: El concepto de fracción que se maneja, es en relación con la cantidad constante de resina utilizada y no en base a la masa total de reaccionante.

EJEMPLO: La fracción cera ( $f_c$ ) estará dada por la masa de la emulsión de cera utilizada en la formulación dividida entre la masa de la resina ( $m_r$ ) que se conserva como base de cálculo para la preparación de las formulaciones.

$$f_c = \frac{m_c}{m_r}$$

La fracción cera ( $f_c$ ) así considerada tiene la siguiente relación con una fracción de cera total ( $F_c$ ) o sea, tomando en cuenta la masa de todo el sistema:

$$F_c = \frac{m_c}{m_c + m_a + m_{cat} + m_r} = \frac{\text{masa de un componente}}{\text{Masa total}}$$

$$f_c = \frac{m_c}{m_r}$$

$$m_c = m_r f_c$$

$$f_a = \frac{m_a}{m_r}$$

$$m_a = m_r f_a$$

$$f_{cat} = \frac{m_{cat}}{m_r}$$

$$m_{cat} = m_r f_{cat}$$

$$f_r = \frac{m_r}{m_r} = 1$$

$$m_r = f_r m_r$$



Sustituyendo se tiene:

$$F_c = \frac{\frac{m}{r} f_c}{\frac{m}{r} f_c + \frac{m}{r} f_a + \frac{m}{r} f_{cat} + \frac{m}{r} f_r} = \frac{f_i}{\sum f_i}$$

$$f_i = \frac{f_i}{1 + \sum_{i=2}^n f_i}$$

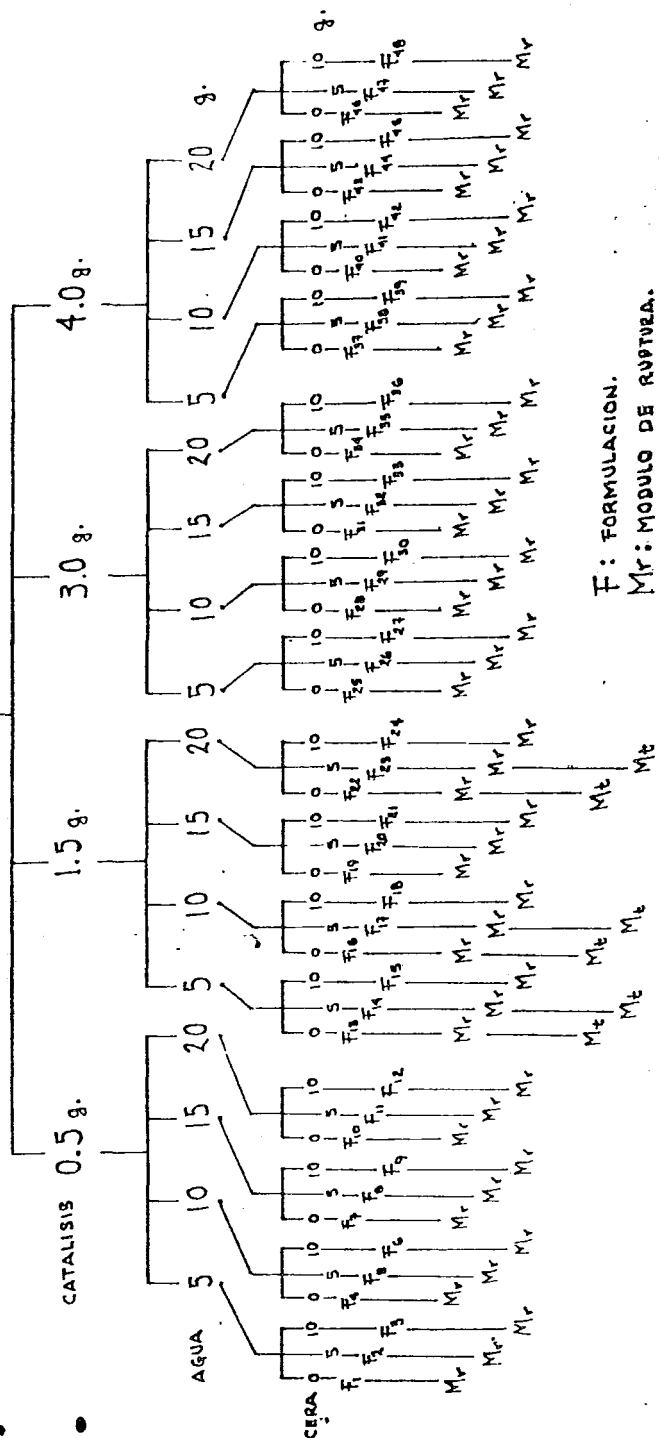
Generalizando para cualquier componente la fracción peso total ( $F_i$ ), en términos de las fracciones en peso parciales ( $f_i$ ) para cada componente en base a una sustancia, será:

$$F_i = \frac{f_i}{1 + \sum_{i=2}^n f_i} \quad \sum F_i = 1$$

$$\sum f_i \neq 1$$

# DIAGRAMA EXPERIMENTAL

RESINA 80.0 g.



F: FORMULACION.  
 Mr: MODULO DE RUPTURA.  
 Mt: MODULO DE TENSION.

### 3.3.- Material y equipo

Aquí se describe las características más importantes del material, equipo y sustancias utilizadas.

RESINA DE UREA-FORMALDEHIDO.- Distribuída comercialmente por Industrias Resistol, S.A. donde se le conoce con el nombre de resina RR-843 y RR-813 con más porcentaje de formol libre ésta última, de un color que varía entre blanco y beige con las especificaciones siguientes:

Contenido en sólidos	64-68%
Viscosidad aprox. 25°C.	3-6 poise
pH aproximado 25°C.	8.0-8.6
Densidad aprox. 25°C.	1.275-1.285 g/cm <sup>3</sup>
Formol libre	1.0 máx.

RESINA DE FENOL-FORMALDEHIDO.- Es también distribuída por Resistol, donde se conoce por resina RR-5561 de un color café oscuro y la cual cataliza con ácido clorhídrico concentrado o con una mezcla de  $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  y alta temperatura del orden de 150°C.

CERA.- Emulsión de cera estable en medio ácido o alcalino, líquido color blanco distribuido por Industrias Resistol, S.A., y conocida con el nombre de Resimul 1535 con las especificaciones siguientes:

Contenido en sólidos	24 - 46 %
pH 25°C	7 - 9
Viscosidad aprox. 25°C.	1 - 3 poise
Tamaño de partícula	0.5 - 1.5 micras

ACIDO SULFURICO  $H_2SO_4$

Pureza 95 - 98 %<sup>3</sup>

Densidad 1.73 g/cm<sup>3</sup>

ACIDO CLORHIDRICO HCl

Pureza 36 - 38 %<sup>3</sup>

Densidad 1.19 g/cm<sup>3</sup>

ACIDO NITRICO  $HNO_3$

Pureza 69 - 70 %<sup>3</sup>

Densidad 1.93 g/cm<sup>3</sup>

HIDROXIDO DE SODIO NaOH

SULFATO DE AMONIO  $(NH_4)_2SO_4$

HIDROXIDO DE AMONIO  $NH_4OH$

MAQUINA DE PRUEBAS UNIVERSALES "INSTRON" MOD. 1125

ESTUFA DE 10 - 250°C. MARCA "EQUIPAR"

BALANZA DE CAPACIDAD DE 310 g. MARCA "OHAUS"

CRONOMETRO DE 15 MIN. MARCA "PARK".

4.- DESARROLLO EXPERIMENTAL

#### 4.- DESARROLLO EXPERIMENTAL.

En base al diseño gráfico experimental, se elaboraron cada una de las formulaciones con sus respectivos componentes y una vez listas se metieron a una estufa para lograr su polimerización controlando la temperatura ( $70^{\circ}\text{C} \pm 3$ ) así como también el tiempo (1 hr.)

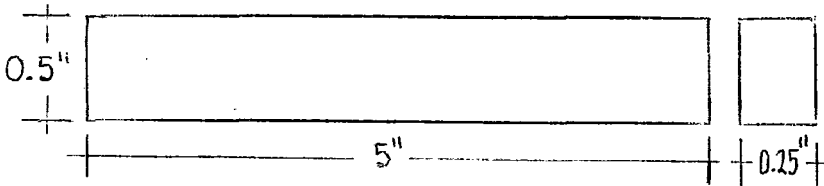
Una vez polimerizado el material se obtienen las probetas de acuerdo con las especificaciones mercadas por las normas del ASTM No. D-790-71 y D-638-72 dejándose un tiempo de curado de 72 horas, para estabiliar peso.

Durante el tiempo de curado las probetas sufren deformaciones (pandeamiento) debido a la pérdida de agua, motivo por el cual era necesario poner un peso encima de ellas para evitarlas; de tal forma que cuando se probaran todas tuvieran las mismas dimensiones.

De esta forma se elaboraron las formulaciones que abarcan de la F<sub>1</sub> hasta la F<sub>48</sub>.

#### 4.1.- Módulo de Ruptura.

Se hizo a las 48 formulaciones de acuerdo con la norma D-790-71 del ASTM, en donde se recomienda para esta prueba un tipo de probeta en forma de barra de 5 x 0.5 x 0.25 plgs. tal y como se muestra a continuación:



Probeta para Módulos de Ruptura.

Las pruebas de ruptura se hicieron con la máquina de pruebas universales (INSTRON MOD. 1125) la cual proporciona gráficas del comportamiento del material y los cambios estructurales que sufre durante la prueba; así como la carga máxima soportada del material.

La ecuación para el cálculo del Módulo de Ruptura viene dada en la norma de acuerdo al tipo y forma del material de manera que:

$$M_r = \frac{3 P L}{2 b d^2}$$

donde:

$M_r$  = Módulo de Ruptura ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ).

$P$  = Carga máxima soportada (kg).

$L$  = Espacio entre los soportes (10 cm).

$b$  = Ancho de probeta (cm).

$d$  = Espesor de probeta (cm).

NOTA: Los parámetros  $b$  y  $d$  son valores promedio de una serie de probetas, la distancia entre los soportes es constante para todas las pruebas (10 cm), la cual viene dada también en la norma y es función de las dimensiones de la probeta (3)

La carga máxima soportada que se registra para cada formulación es un valor promedio de varias pruebas; de tal forma que metiendo todos los valores constantes, se llega a una ecuación en función solamente de la carga, que es:

$$M_r = P (30.1245) = \text{Kg}/\text{cm}^2$$

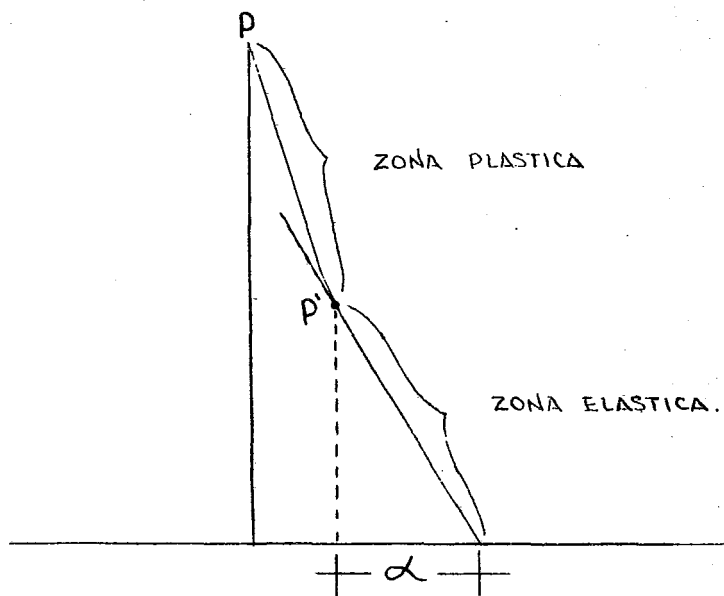
Con la cual se obtienen todos los valores de las 48 formulaciones que se presentan en la sección 5.1.



#### 4.2.- Módulo de Elasticidad a la Ruptura (Mer).

Esta propiedad se hizo solamente para las formulaciones que se escogieron como óptimas a partir del análisis gráfico de Módulo de Ruptura.

El cálculo se hizo con la ayuda de las gráficas proporcionadas por la máquina de pruebas universales (INSTRON), y teniendo en cuenta que el material sufre en determinado momento una deformación elástica que es posible calcularla mediante el trazo de una línea recta en las gráficas de Ruptura y en la zona hasta donde deja de coincidir con la gráfica de carga, en ese punto el material tiene un comportamiento elástico para dar paso a la zona de deformación plástica



donde:

P = Carga máxima a la ruptura (Kg)

P' = Carga máxima a la elasticidad (Kg)

$\alpha$  = Distancia de zona elástica leída encarga (cm).

La ecuación utilizada para el cálculo del módulo de elasticidad a la ruptura ( $M_{er}$ ) se desprende de:

$$M_{er} = \frac{L^3 m}{4b d^3} \quad \text{-----} \quad (1)$$

Donde:

$M_{er}$  = Módulo de elasticidad a la ruptura ( $NW/cm^2$ )

L = Espacio entre los soportes (cm)

d = Espesor de la probeta (cm)

b = Ancho de la probeta (cm)

m = Pendiente de la gráfica

$$m = \frac{P' G}{J} \quad \text{-----} \quad (2)$$

Donde:

P' = Carga máxima en el límite elástico (kg)

G = Aceleración ( $9.8 \text{ m/seg}^2$ )

J = Estiramiento real de la probeta (cm)

$$J = \frac{V_{cab} \alpha}{V_{car.}} \quad \text{-----} \quad (3)$$

donde:

$V_{cab}$  = Velocidad de cabezal (0.2 cm/min)

$V_{car}$  = Velocidad de carta

$V_{car} = 10 V_{cab} Pr$

$Pr$  = Proporcionalidad mecánica en Máquina = 1

$\alpha$  = Distancia de zona elástica leída en carta -  
(cm).

Sustituyendo la velocidad de carta ( $v_{car}$ ) en la ecuación (3) se tiene:

$$J = \frac{V_{cab} \alpha}{10 V_{cab} Pr} = \frac{\alpha}{10 Pr} \quad \text{----- (4)}$$

Sustituyendo la ecuación (4) en la ecuación (2) tenemos:

$$m = \frac{10 Pr P' G}{\alpha} \quad \text{----- (5)}$$

Finalmente sustituyendo la ecuación (5) en la ecuación (1) se tendrá:

$$Mer' = \frac{10 L^3 Pr P' G}{4b d^3} = \frac{Nw}{cm^2}$$

Dividiendo la ecuación  $Mer'$  por la aceleración ( $G$ ) se tendrá:

$$Mer = \frac{Mer'}{G} = \frac{Nw/cm^2}{m/seg^2} = \frac{Kg}{cm^2}$$

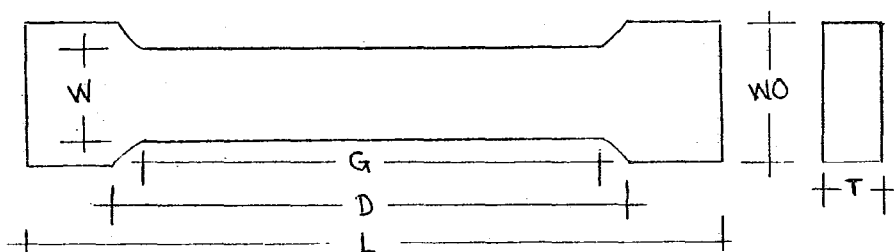
Sustituyendo todas las constantes en la ecuación de  $Mer$  se llega a una expresión general en función de  $P'$  y  $\alpha$ .

$$Mer = 7.52 \times 10^3 \left( \frac{P'}{\alpha} \right) = \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Con la ecuación anterior se calcularon los resultados de la sección 5.2

#### 4.3 Módulos de Tensión (Mt)

Esta prueba también se aplicó únicamente a las formulaciones óptimas, para esto fue necesario recurrir a un tipo de probetas distinto y de acuerdo a la norma D-638-72 del ASTM, donde sugiere una probeta de tipo hueso con las siguientes dimensiones:



L = 16.5	cm	W = 1.3	cm
D = 11.5	"	T = 0.635	cm
G = 5.0	"	R = 7.6	"
W0 = 1.9	"		

De esta forma se prepararon las probetas y se sometieron a prueba, la ecuación para el cálculo es la siguiente:

$$\triangle T = Mt = \frac{P}{A}$$

donde:

Mt = Módulo de tensión (kg/cm<sup>2</sup>)

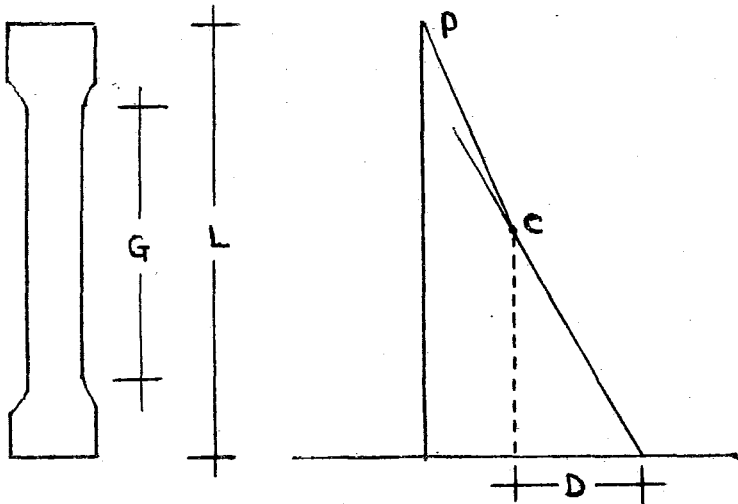
P = Carga máxima soportada a la tensión

$A =$  Area de la sección transversal  $G$  ( $W \times T = \text{cm}^2$ )

Así se obtuvieron los resultados que se presentan en la sección 5.3

#### 4.4.- Módulo de Elasticidad a la Tensión (Met)

De la misma forma que se procedió para calcular la elasticidad a la Ruptura se hizo esta prueba; es decir con las gráficas proporcionadas por la máquina de pruebas universales (INSTRON), se trazó una línea recta para determinar los límites de la zona elástica, tomándose los datos necesarios para realizar los cálculos, así:



donde:

$L =$  Longitud de la probeta (cm)

$C =$  Carga de la elasticidad (kg)

$D =$  Distancia a la elasticidad (cm)

$A =$  Area de la sección  $G$  transversal ( $\text{cm}^2$ )

La ecuación para el cálculo es:

$$E = \text{Met} = \frac{C / A}{\epsilon} = \text{Kg/cm}^2$$

Donde el valor de  $\epsilon$  está dado por:

$$\epsilon = \frac{(L_o + D) - L_o}{L_o}$$

donde:

$L_o$  = Longitud total de la probeta (cm)

$\epsilon$  = Deformación unitaria

E = Módulo de young.

De esta forma se hicieron los cálculos de la sección 5.4 - de resultados.

4.5.- Contribución aparente por el termofijo de Urea-Formaldehído en los tableros aglomerados con bagazo de caña.

Para poder determinar el % de contribución aparentemente por el plástico puro en los tableros aglomerados, se hizo la prueba de ruptura y tensión a la formulación standar utilizada en la fabricación de éstos (8).

#### FORMULACION STANDAR EN TABLEROS AGLOMERADOS

Componentes	Fracción Peso (F)
Resina	0.8
Cera	0.041
Agua	0.127
NH <sub>4</sub> OH	0.02
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.012

La fracción peso de esta formulación esta en base al peso de la fibra utilizada.

Es necesario tener datos de ruptura y tensión de los tableros aglomerados con su respectivo porcentaje de resina (8) y con la relación:

$$\% \text{ Contribución} = \left[ 1 - \frac{M_c - M_p}{M_c} \right] \quad (100)$$

donde:

$M_c$  = Módulo del material compuesto

$M_p$  = Módulo del plástico puro.

Así fue como se calcularon los porcentajes de contribución por el plástico puro en la propiedad total de la sección 5.5 y 5.6 de los resultados.

#### 4.6.- Pruebas de ataque químico

Para estas pruebas se elaboraron dos formulaciones diferentes intermedias con las características siguientes:

$$M_r = 80 \text{ g.}$$

$$f_a = 0.1562$$

$$f_{\text{cat}} = 0.281$$

$$f_c = 0.0 \text{ y } 0.0625$$

Una vez preparadas las dos formulaciones, se sometieron a las siguientes sustancias químicas, en base a dos criterios:

- A).- ATAQUE EN LA SUPERFICIE
- B).- ATAQUE A LA INMERSION TOTAL

Las sustancias seleccionadas fueron:

HCl	20%
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	40%
HNO <sub>3</sub>	20%
NaOH	10%
NH <sub>4</sub> OH	puro

El tiempo de duración de cada prueba fue de 24 horas con los resultados de la sección 5.12.



#### 4.7. Prueba de Combustibilidad.

Esta prueba tiene como objetivo principal ver la resistencia que tiene el material a la flama.

Para este fin se elaboró una formulación con las siguientes concentraciones:

$$\begin{aligned}m_r &= 80 \text{ g.} \\f_a &= 0.0625 \\f_{\text{cat}} &= 0.0281 \\f_c &= 0.0 \text{ y } 0.0625 \text{ respectivamente.}\end{aligned}$$

A cada formulación se le acercó a la flama con el fin de observar todas las características del material, (color de flama, de humo, olor, etc.) los resultados se encuentran en la sección 5.13.

#### 4.8.- Pruebas físicas al termofijo de Fenol-Formaldehído.

Se elaboraron las probetas de resina de Fenol-Formaldehído RR-5561 con el objeto de compararlas con las óptimas de Urea-Formaldehído, para lo cual se utilizó una técnica completamente diferente a catálisis dada las características de la resina, la cual se describe a continuación:

#### TECNICA

A una cantidad de resina de Fenol-Formaldehído RR-5561 se le agrega HCl concentrado (aproximadamente el 7.5% de la masa de resina utilizada) se somete a agitación-continua durante un tiempo de 15 min. en un baño de agua fría, ya que la reacción es exotérmica y si no se controla sufre un esponjamiento brusco polimerizado en poco tiempo y burbujeándose el termofijo.

Ya lista la resina después de la agitación señalada, se vacía en un molde bastante ancho, que tenga bastante área de contacto con el objeto de que la polimerización se lleve a cabo normalmente y que el calor que se desprende no se concentre; posteriormente se mete a una estufa con  $T=50^{\circ}$  C. durante 30 min. obteniéndose una placa de donde se cortan probetas para someterlas a las pruebas de ruptura y tensión.

Los resultados de estas pruebas, así como un análisis comparativo entre las resinas se encuentra en la sección 5.14.

## 5.- RESULTADOS

## 5.1.- Resultados de Módulos de Ruptura.

Sobre una base de resina de 80 g. para cada formulación se obtienen los siguientes concentraciones en base - resina.

$f_a$  = fracción agua

$f_{cat}$  = Fracción catálisis

$f_c$  = Fracción cera

P = Carga Máxima (kg)

$M_r$  = Módulo de Ruptura =  $\text{kg/cm}^2$  (flexión)

Formulación	$f_a$	$f_{cat}$	$f_c$	P (kg)	$M_r$ ( $\text{kg/cm}^2$ )
F <sub>1</sub>	0.0625	0.0062	0.0	3.729	110.65
F <sub>2</sub>	0.0625	0.0062	0.0625	3.262	96.80
F <sub>3</sub>	0.0625	0.0062	0.125	2.893	85.85
F <sub>4</sub>	0.125	0.0062	0.0	4.024	119.43
F <sub>5</sub>	0.125	0.0062	0.0625	2.477	73.50
F <sub>6</sub>	0.125	0.0062	0.125	2.111	62.66
F <sub>7</sub>	0.1875	0.0062	0.0	3.657	108.53
F <sub>8</sub>	0.1875	0.0062	0.0625	2.213	65.67
F <sub>9</sub>	0.1875	0.0062	0.125	1.617	47.99
F <sub>10</sub>	0.25	0.0062	0.0	3.706	110.07
F <sub>11</sub>	0.25	0.0062	0.0625	2.104	62.44
F <sub>12</sub>	0.25	0.0062	0.125	1.595	47.33
F <sub>13</sub>	0.0625	0.0187	0.0	4.639	137.67

Formulación	$f_a$	$f_{cat}$	$f_c$	P (kg)	$M_r$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
F <sub>14</sub>	0.0625	0.0187	0.0625	3.785	112.32
F <sub>15</sub>	0.0625	0.0187	0.125	3.276	97.23
F <sub>16</sub>	0.125	0.0187	0.0	3.862	114.62
F <sub>17</sub>	0.125	0.0187	0.0625	2.852	84.65
F <sub>18</sub>	0.125	0.0187	0.125	2.300	68.26
F <sub>19</sub>	0.1875	0.0187	0.0	3.553	105.43
F <sub>20</sub>	0.1875	0.0187	0.0625	2.121	62.96
F <sub>21</sub>	0.1875	0.187	0.125	1.691	50.18
F <sub>22</sub>	0.25	0.0187	0.0	4.223	125.32
F <sub>23</sub>	0.25	0.187	0.0625	2.380	70.64
F <sub>24</sub>	0.25	0.0187	0.125	1.972	58.52
F <sub>25</sub>	0.0625	0.0375	0.0	4.466	132.54
F <sub>26</sub>	0.0625	0.0375	0.0625	3.329	98.80
F <sub>27</sub>	0.0625	0.0375	0.125	2.990	88.74
F <sub>28</sub>	0.125	0.0375	0.0	3.984	118.22
F <sub>29</sub>	0.125	0.0375	0.0625	2.499	74.18
F <sub>30</sub>	0.125	0.0375	0.125	1.619	47.90
F <sub>31</sub>	0.1875	0.0375	0.0	3.218	95.49
F <sub>32</sub>	0.1875	0.0375	0.0625	2.111	62.65
F <sub>33</sub>	0.1875	0.0375	0.125	1.528	45.36
F <sub>34</sub>	0.25	0.375	0.0	3.284	97.46
F <sub>35</sub>	0.25	0.0375	0.0625	1.878	55.73
F <sub>36</sub>	0.25	0.0375	0.125	1.304	38.70

F <sub>37</sub>	0.0625	0.05	0.0	3.711	110.15
F <sub>38</sub>	0.0625	0.05	0.0625	3.462	92.24
F <sub>39</sub>	0.0625	0.05	0.125	2.223	66.27
F <sub>40</sub>	0.125	0.05	0.0	3.427	101.7
F <sub>41</sub>	0.125	0.05	0.0625	2.189	64.97
F <sub>42</sub>	0.125	0.05	0.125	1.683	49.94
F <sub>43</sub>	0.1875	0.05	0.0	2.950	87.56
F <sub>44</sub>	0.1875	0.05	0.0625	1.949	57.83
F <sub>45</sub>	0.1875	0.05	0.125	1.745	51.81
F <sub>46</sub>	0.25	0.05	0.0	3.498	103.80
F <sub>47</sub>	0.25	0.05	0.0625	1.961	58.20
F <sub>48</sub>	0.25	0.05	0.125	1.478	43.87

Con todos estos datos se hicieron las gráficas de la sección 5.16 con el objeto de analizar el comportamiento de los componentes de la resina, como función del módulo de ruptura ( $M_r$ ) ver su influencia en la prueba y seleccionar - las formulaciones óptimas.

GRAFICA PROPORCIONADA POR LA MAQUINA  
"INSTRON" MOD.-1125 PARA LA PRUEBA DE  
MODULO DE RUPTURA.

Escala :

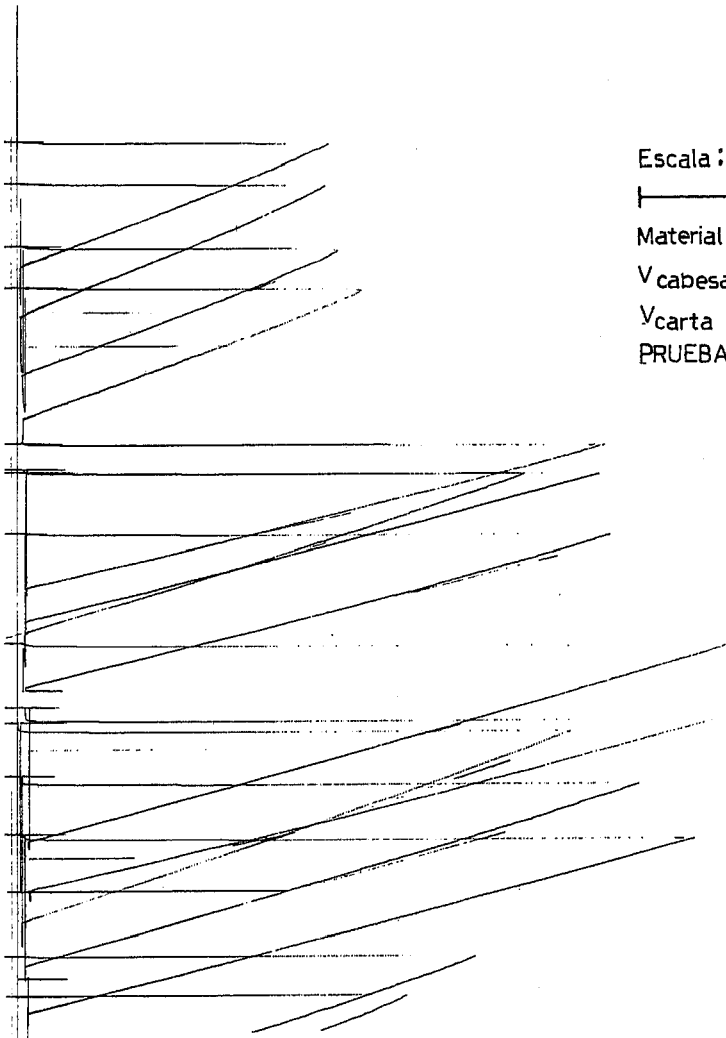
— 1 Kg —

Material : U-F

$V_{\text{cabelal}} = 2\text{mm/min.}$

$V_{\text{carta}} = 10\text{mm/min.}$

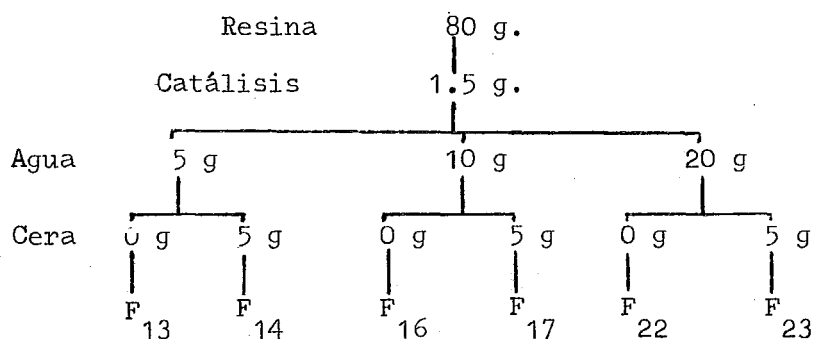
PRUEBA : Ruptura



## 5.2.- Módulo de elasticidad a la ruptura (Mer)

Esta propiedad como ya se dijo anteriormente se hizo a las formulaciones que se escogieron como óptimas a partir del análisis de resultados de módulo de ruptura.

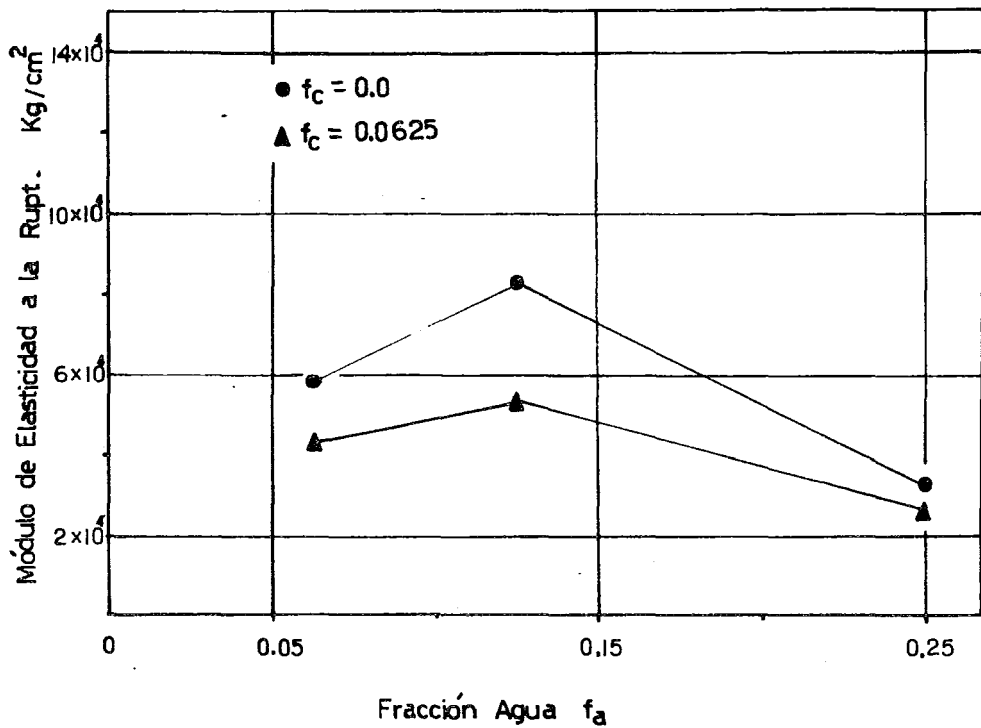
### ESQUEMA DE FORMULACIONES OPTIMAS



Los resultados son los siguientes, y con los cuales se elaboró la gráfica "A".

Formulación	$F_a$	$f_{cat}$	$F_c$	$\alpha$	$P'$	Mer (Kg/cm <sup>2</sup> )
F <sub>13</sub>	0.0625	0.01875	0.0	0.0385	0.2985	5.83 x 10 <sup>4</sup>
F <sub>14</sub>	0.0625	0.01875	0.0625	0.0635	0.425	4.31 x 10 <sup>4</sup>
F <sub>16</sub>	0.125	0.01875	0.0	0.098	1.065	8.17 x 10 <sup>4</sup>
F <sub>17</sub>	0.125	0.01875	0.0625	0.118	0.8444	5.37 x 10 <sup>4</sup>
F <sub>22</sub>	0.25	0.01875	0.0	0.2965	1.2975	3.29 x 10 <sup>4</sup>
F <sub>23</sub>	0.25	0.01875	0.0625	0.1875	0.669	2.68 x 10 <sup>4</sup>





GRAFICA--"A"

EFECTO DEL AGUA EN LA  
ELASTICIDAD A LA RUPTURA .

## 5.3.- Módulo de tensión (Mt)

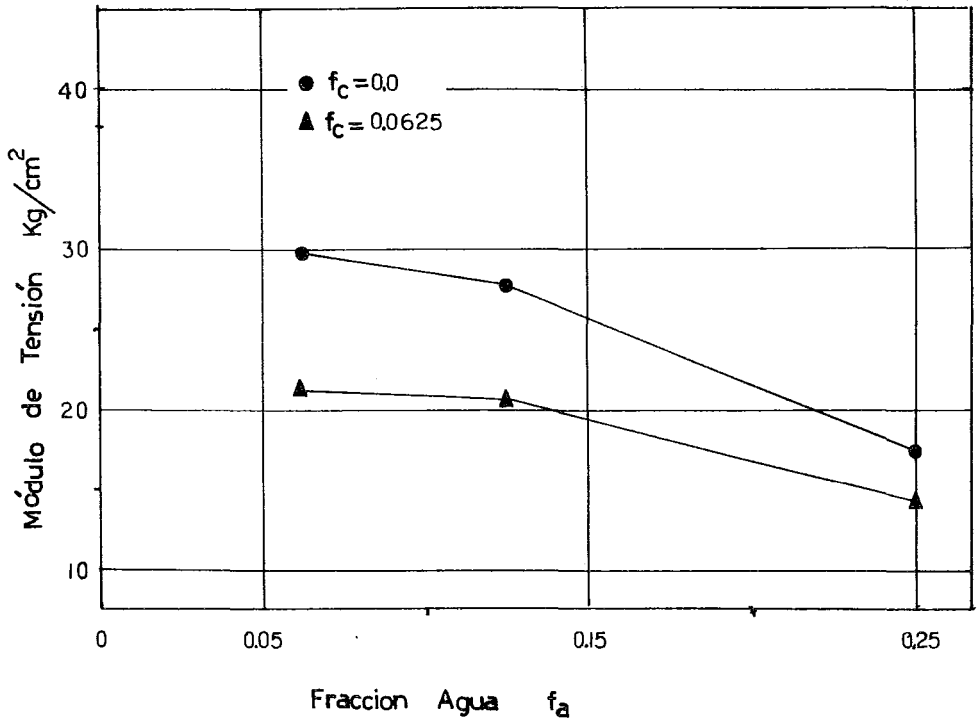
Se determinó a las formulaciones óptimas con los resultados siguientes:

Formulación	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga (Kg)	Mt (Kg/cm <sup>2</sup> )
F <sub>13</sub>	0.7945	23.7	29.83
F <sub>14</sub>	0.8201	17.34	21.14
F <sub>16</sub>	0.8746	24.16	27.62
F <sub>17</sub>	0.7674	15.92	20.74
F <sub>22</sub>	0.805	13.92	17.29
F <sub>23</sub>	0.8539	12.22	14.31

Los datos de carga y área son valores promedio de todas las probetas de la formulación correspondiente.

La gráfica "B" que a continuación se muestra, muestra la forma en que varía el módulo de tensión con respecto a la fracción agua ( $f_a$ ) cuando se mantiene constante la fracción cera ( $f_c$ ), obteniéndose los valores más altos para la mínima cantidad de agua y valores menores que el Mt cuando aumenta.

Por otro lado cuando el material lleva cera sigue el mismo comportamiento anterior pero los valores del Mt decaen.



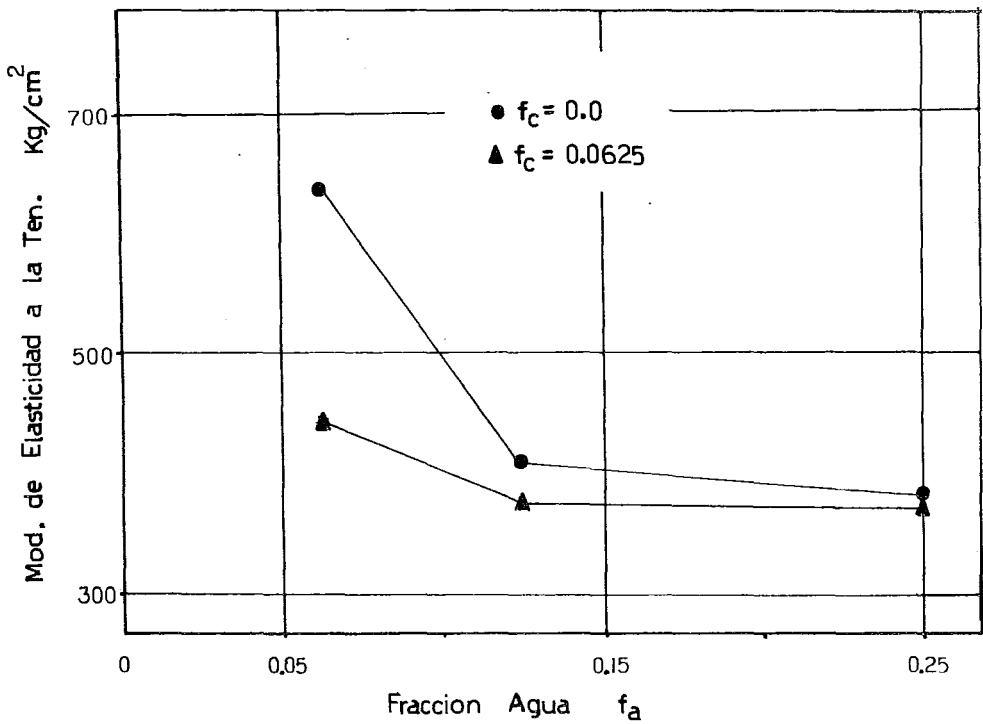
GRAFICA- "B" EFECTO DEL AGUA EN EL  
MODULO DE TENSION.

## 5.4.- Módulo de Elasticidad a la tensión (Met).

La Tabla siguiente muestra los resultados de las formulaciones óptimas para esta prueba:

Formulación	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga (Kg)	$\epsilon$ (cm)	Met (Kg/cm <sup>2</sup> )
F <sub>13</sub>	0.7945	3.34	0.0066	636.95
F <sub>14</sub>	0.8201	2.54	0.007	442.45
F <sub>16</sub>	0.8746	2.04	0.0056	416.51
F <sub>17</sub>	0.7674	2.25	0.0076	385.78
F <sub>22</sub>	0.805	1.26	0.004	381.76
F <sub>23</sub>	0.8539	1.24	0.0039	372.34

Con estos resultados se hizo la gráfica "C", donde se puede ver como influyen las fracciones de agua y cera en el módulo de elasticidad a la tensión; obteniéndose los valores más altos para aquella formulación que contiene la mínima cantidad de agua, cuando no hay cera, y decreciendo - cuando la fracción agua aumenta.



GRAFICA - "C"

EFFECTO DEL AGUA EN LA  
ELASTICIDAD A LA TENSION.

5.5.- Contribución aparente del termofijo de Urea-Formaldehído en el módulo de ruptura de tablero aglomerado a base de fibra de caña.

Para calcular la contribución del plástico en el material reforzado con fibra de caña, se hizo uso de una gráfica experimental de Módulo de ruptura en función del % resina para tableros aglomerados (8), con los datos siguientes:

$f_{\text{resina}}$	% resina	$M_r$ ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )
0.13	13	201.06
0.16	16	214.5
0.2	20	231.41
0.25	25	253.69

Para un tiempo de polimerización  $t = 11$  min. y una temperatura de  $T = 130^\circ\text{C}$ .

A partir de estos datos se calculó el % de contribución del termofijo y teniendo el valor del módulo de ruptura de la formulación standar; mediante la relación:

$$\% \text{ CONTRIBUCION} = \left[ 1 - \frac{M_r - M_{rs}}{M_r} \right] (100)$$

donde:

$M_r$  = Módulo de ruptura de tablero aglomerado

$M_{rs}$  = Mod. de ruptura de la formulación standar

=  $97.6 \text{ Kg}/\text{cm}^2$  de polímero puro, sin refuerzo.

NOTA: El % resina que se maneja aquí, está dado en función de la masa de fibra de caña, por lo que la fracción-resina  $f_r$  está expresada como:

$$f_r = \frac{\text{Masa de resina}}{\text{Masa de fibra}}$$

Por lo tanto se define la fracción peso de resina-neta ( $Fnr$ ) para dos componentes como:

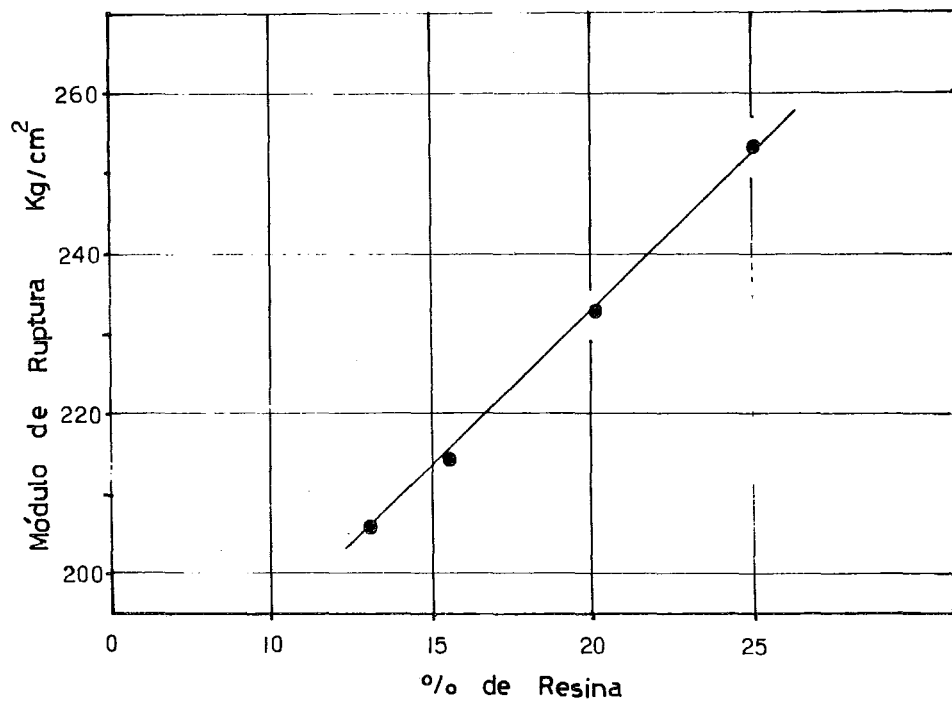
$$\frac{f_i}{\sum f_i} = Fnr = \frac{f_r}{f_b + f_r}$$

Siendo la  $f_b = \text{fracción de fibra} = 1 = \frac{mf}{mf}$

Una vez definidas nuestras variables de cálculo, se obtuvo la siguiente tabla de resultados de % de contribución al Mr:

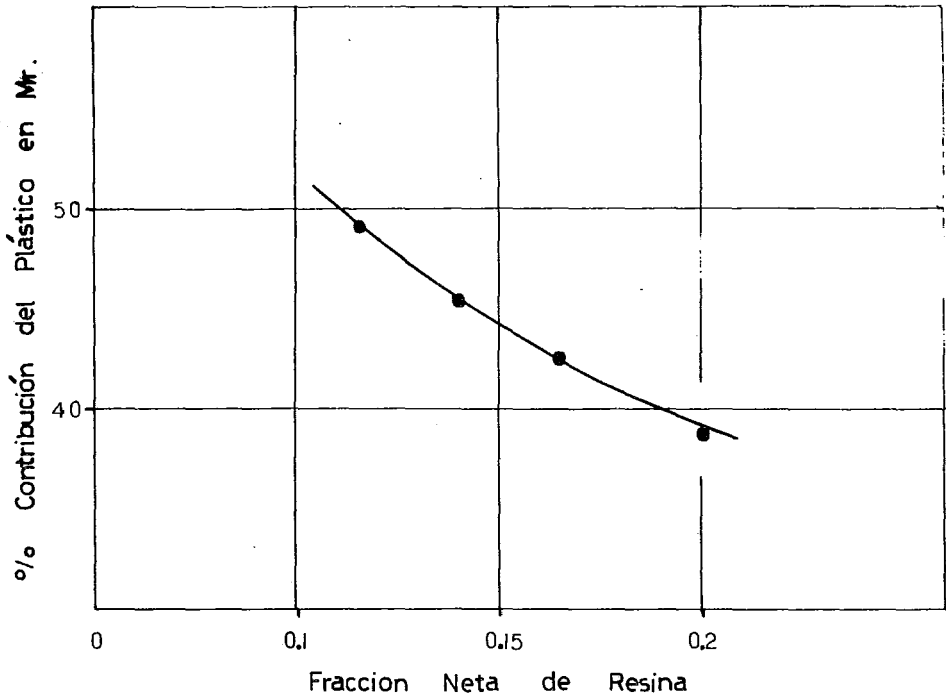
	$f_r$	Fnr	% CONTRIBUCION
Eventos Diferentes	0.13	0.115	48.54
	0.16	0.138	45.5
	0.2	0.166	42.17
	0.25	0.2	38.47

Con los datos anteriores se hizo la gráfica "D", en la cual se puede apreciar como al aumentar la fracción neta de resina ( $Fnr$ ) la contribución por parte del termofijo se va haciendo cada vez menor.



GRAFICA EXPERIMENTAL RUPTURA-°°RESINA  
EN TABLEROS AGLOMERADOS CON FIBRA  
DE CAÑA.





GRAFICA-"D"      CONTRIBUCION APARENTE DEL PLASTICO DE U-F EN EL MODULO DE RUPTURA DEL TABLERO AGLOMERADO.

5.6.- Contribución aparente del termofijo de Urea-Formaldehído en el Módulo de tensión de tablero aglomerado a base de fibra de caña.

Se procedio de idéntica forma al módulo de ruptura siendo los datos experimentales a la tensión para tableros-aglomerados. (8)

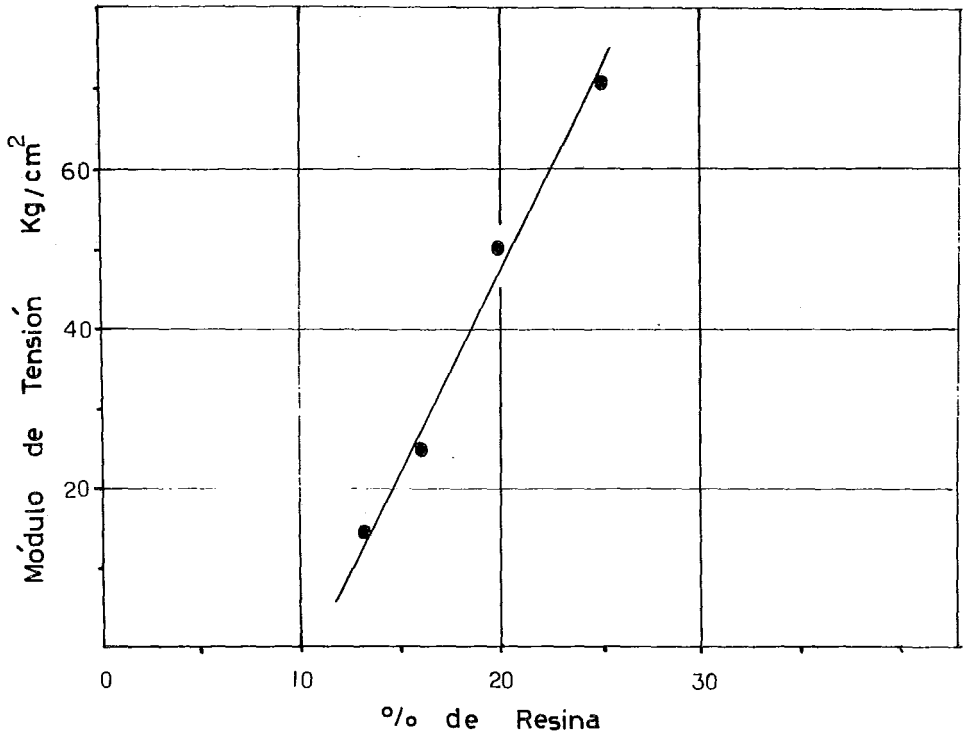
$f_{\text{resina}}$	% resina	Mt (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.13	13	14
0.16	16	25
0.2	20	50
0.25	25	71

Para un tiempo de polimerización  $t = 18$  min. y una temperatura  $T = 130^\circ\text{C}$ .

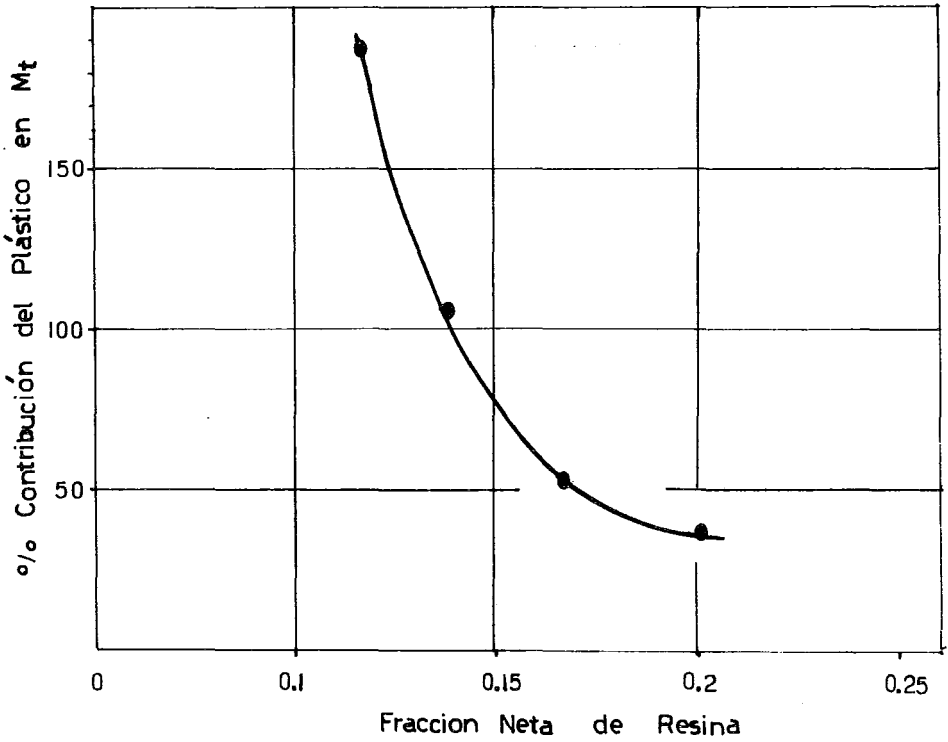
Con la misma ecuación para el cálculo de contribución a la ruptura y teniendo el valor del Módulo de Tensión para la formulación standar  $M_{ts} = 26.5$  Kg/cm<sup>2</sup> se obtuvo:

	$f_r$	$f_n$	% CONTRIBUCION
Eventos diferentes	0.13	0.115	189.28
	0.16	0.138	106.0
	0.2	0.166	53.0
	0.25	0.2	37.32

La gráfica "E" predice un comportamiento inversamente proporcional para las dos variables.



GRAFICA EXPERIMENTAL TENSION-°%RESINA  
EN TABLEROS AGLOMERADOS CON FIBRA  
DE CAÑA.



GRAFICA - "E"

CONTRIBUCION APARENTE DEL PLASTICO  
DE U-F EN EL MODULO DE TENSION  
DEL TABLERO AGLOMERADO.

### 5.7.- Efecto de la fracción agua ( $f_a$ )

Se observa que la fracción agua juega un papel importante en los resultados de Módulo de Ruptura así como en las demás propiedades físicas donde se puede apreciar como al ir aumentando la cantidad de agua los resultados van sufriendo un decaimiento bastante notorio. Obteniéndose los valores más altos cuando se tiene una catálisis de 0.01875- y una fracción de cera de 0.0

De una manera general se puede decir que la fracción agua con respecto a las propiedades físicas se comporta inversamente proporcional cuando se tiene una catálisis y una fracción de cera constante, estos resultados se derivan del Análisis de las siguientes gráficas, IA, IB,3A,4A.

### 5.8.- Efecto de la fracción catálisis ( $f_{cat}$ )

Se puede apreciar en las gráficas de la sección 5.15 la influencia que tiene la catálisis sobre el material, ya que al aumentar esta hay un aumento para las dos primeras fracciones para las cuales los valores de las propiedades físicas alcanzan los puntos máximos.

Sin embargo para catálisis superiores como 0.0375- y 0.05 los valores de los módulos disminuyen notablemente; concluyéndose que para catálisis bajas las propiedades tienen los valores más altos y conforme aumenta esta se obtienen valores menores cuando se mantiene constante una cantidad de cera y agua.

### 5.9.- Efecto de la fracción cera ( $f_c$ )

Dentro de todos los componentes de la formulación de resina, la fracción cera es tal vez la de un comportamiento bien definido para una cierta cantidad de agua y catalisis constante; ya que los valores de las propiedades físicas alcanzan los puntos máximos para las formulaciones que no contienen cera; por consiguiente los valores mas bajos son con la máxima concentración de cera.

## 5.10.- Efectos de la temperatura de polimerización.

Una vez listas las formulaciones en solución se tienen que polimerizar en la estufa y aquí la temperatura es muy importante para obtener un material compacto; como la polimerización del termofijo es una función de la cantidad de resina que se use, del tiempo y de la temperatura; se deben tener bien controladas estas variables para tener buenos resultados.

En este caso la cantidad de resina fue siempre constante (80g), así como el tiempo de polimerización (1hr) y para estas condiciones una temperatura  $T = 70^{\circ} \pm 3$  resultó óptima para el material, este valor resulta de experimentos cualitativos preliminares, donde la temperatura buscada tendrá que ser menor a  $92^{\circ}\text{C}$ . en que hierve el agua, pues si la temperatura se eleva de éste límite el material se burbujea y sufre además esponjamiento.

Otras observaciones fueron cuando la temperatura era menor, las formulaciones con alta catálisis no polimerizaban totalmente. En aquellas con baja catálisis no polimerizaban absolutamente nada, solamente se observaba un ligero aumento en la viscosidad haciendo necesario mayor tiempo.

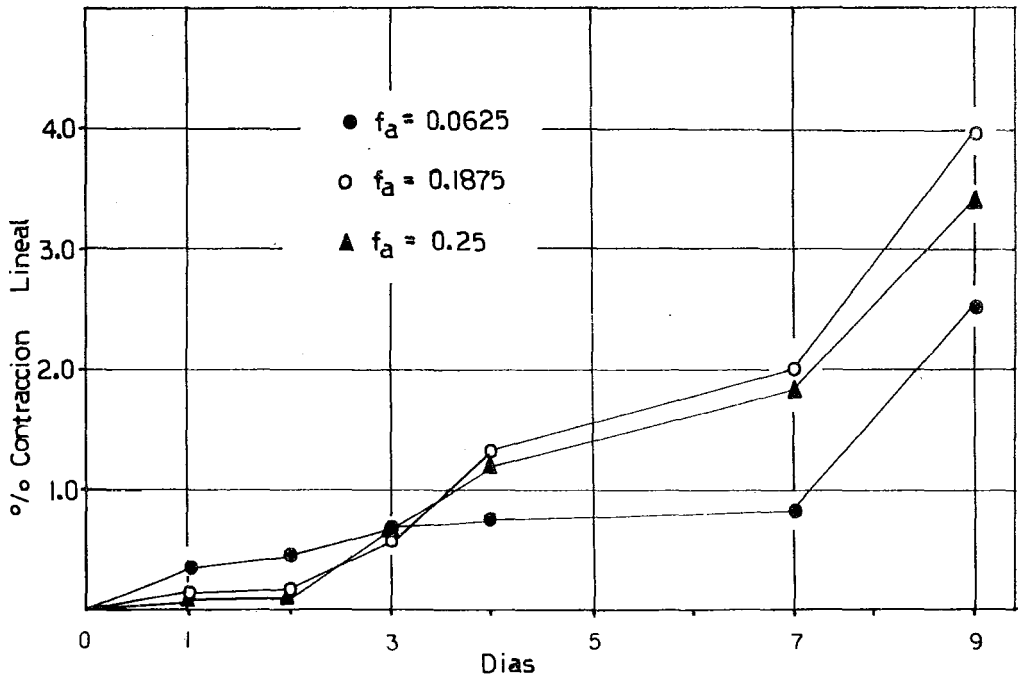


## 5.11.- Contracción lineal con el tiempo.

Los resultados de esta prueba se muestran a continuación para diferentes concentraciones de agua:

t (días)	$f_a = 0.0625$	$f_a = 0.1875$	$f_a = 0.25$
0	0.0	0.0	0.0
1	0.3493	0.1536	0.0957
2	0.9881	0.1922	0.1146
3	0.6987	0.5945	0.7677
4	0.7763	1.34	1.26
7	0.8247	2.05	1.88
9	2.56	3.97	3.4

Con éstos datos se hizo la gráfica "H" donde se puede ver la contracción lineal del material con el transcurso del tiempo, alcanzando los valores máximos para la concentración de agua mayor e intermedia.



GRAFICA - "H" CONTRACCION LINEAL DEL PLASTICO A DISTINTAS CONCENTRACIONES DE AGUA.

## 5.12.- Ataque Químico

## a) ATAQUE EN LA SUPERFICIE

Tiempo de residencia 24 y 48 horas

Formulación sin cera  $f_c = 0.0$

LA ATACAN:

$H_2SO_4$  40%

$HNO_3$  20%

HCl 20%

NO LA ATACAN:

NaOH 10%

$NH_4OH$

Formulación con cera  $f_c = 0.0625$

NO LA ATACAN: Ninguno de los reactivos

## b) ATAQUE A LA INMERSION TOTAL

Tiempo de residencia : 24 y 48 horas

Formulación sin cera  $f_c = 0.0$  y con cera  
 $f_c = 0.0625$

LA ATACAN:

$H_2SO_4$  40%

$HNO_3$  20%

HCl 20%

NO LA ATACAN:

NaOH 10%

$NH_4OH$

Se puede ver que el ataque de los ácidos es notable en las formulaciones sin cera, desmoronándose a la simple presión en su superficie, sin embargo no hay cambio alguno en las que ~~no~~ tienen cera. El ataque a la inmersión se hace más agresivo con los ácidos, destruyendo las muestras-

con y sin cera y en algunos casos hasta carbonizando como -  
lo hace el  $H_2SO_4$ ; los demás ácidos únicamente desmoronan -  
lentamente al termofijo, en cambio las bases de sodio y amo  
nio no provocan alguno en el plástico.

### 5.13.- Combustibilidad

El plástico arde solamente si se mantiene el fuego -  
cerca de el y apagándose al alejarlo, quedando la parte -  
afectada carbonizada y amarillenta según el tiempo que tuvo  
contacto con la flama, observándose pequeñas ebulliciones -  
a su alrededor provocando hinchazón y esponjamiento en el -  
material.

Desprende humos blancos de olor desagradable a hueo  
so quemado, irritante hacia los ojos y con color de flama -  
amarillenta.

5.14.- Análisis comparativo de las propiedades físicas de la resina de Urea-formaldehído con la de Fenol-Formaldehído.

Se obtuvieron pruebas de la resina de Fenol-Formaldehído de ruptura y tensión utilizando una sola formulación para su catálisis (7.5% en base al peso de resina de F-F - usada) siendo los resultados:

Probeta	Mr (Kg/cm <sup>2</sup> )	Mt (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	111.45	43.72
2	108.02	40.66
3	103.96	45.45
4	106.48	42.45
Promedio	107.47	43.07

Estos valores de ruptura y tensión para la resina de F-F se comparan con los valores máximos obtenidos con la resina de U-F que son:

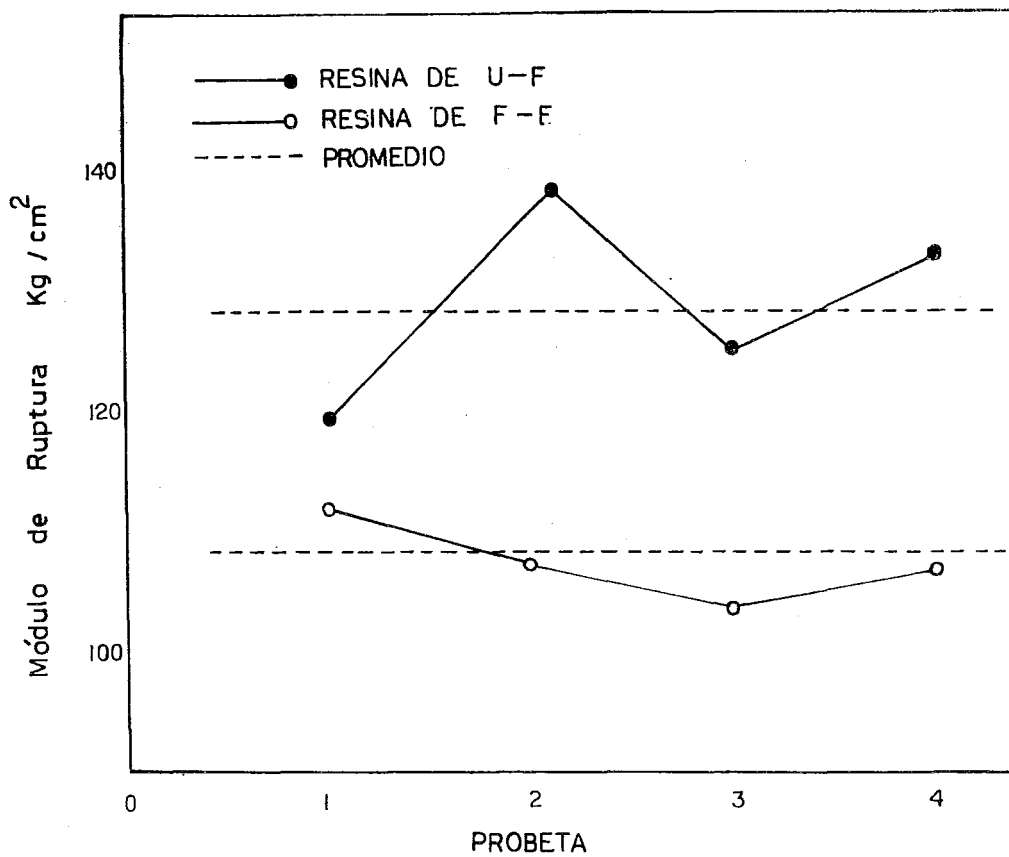
Probeta	Mr (Kg/cm <sup>2</sup> )	Formulación
1	119.43	4
2	137.67	13
3	125.32	22
4	132.54	25
Promedio	128.74	

Los valores óptimos para el módulo de tensión se encuentran en la probeta de formulación 13 siendo:

Probeta	Módulo de Tensión ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )
1	29.29
2	26.35
3	29.83
4	33.88
Promedio	29.83

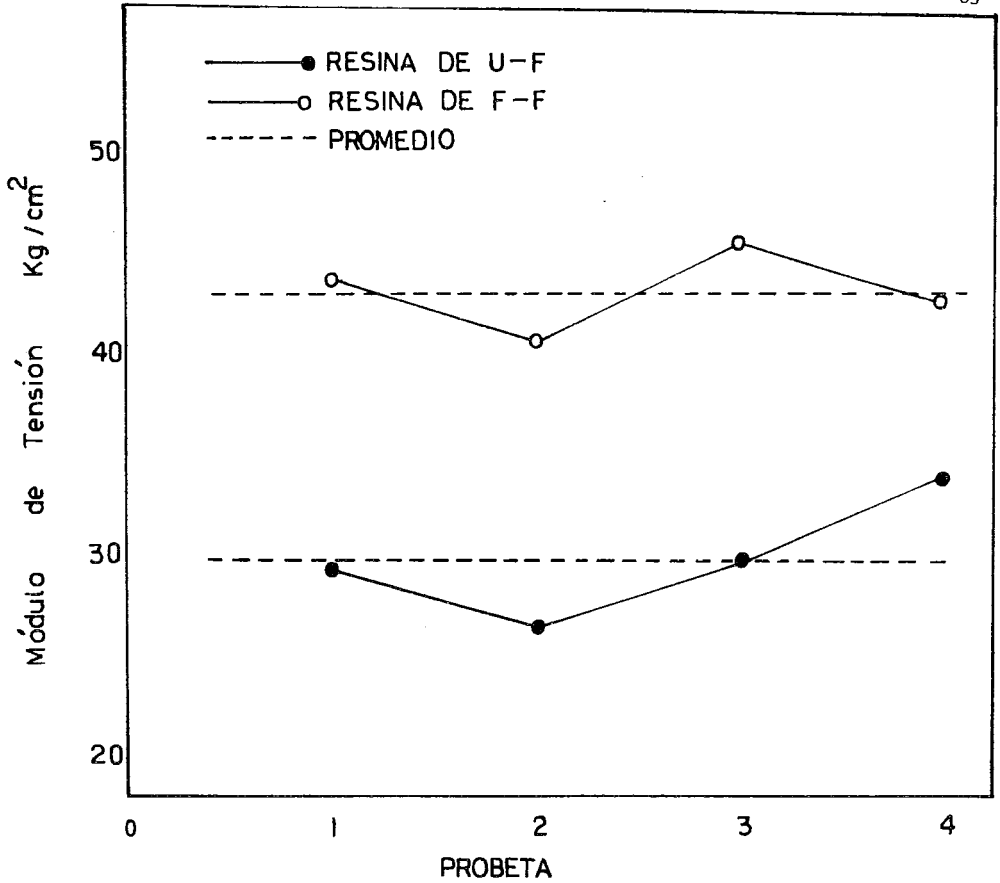
Con todos los datos anteriores se obtienen las gráficas "K" y "L" en donde se hace una comparación entre las resinas para determinada propiedad; de tal forma que el módulo de ruptura alcanza sus valores máximos para la resina de Urea-Formaldehído, mientras que para la resina de Fenol-Formaldehído los valores de ruptura son menores en un 16.52% (gráfica "K")

Para el módulo de tensión los resultados son lo contrario de los anteriores, es decir los valores máximos son los de la resina de Fenol-Formaldehído como se observa en la gráfica "L" mientras que los valores de la resina de Urea-Formaldehído disminuyen en un 30.74% de los máximos.



GRAFICA-"K"

ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LAS  
RESINAS CON EL MODULO DE RUPTURA.



GRAFICA-"L"

ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LAS RESINAS CON EL MODULO DE TENSION.



Por lo anterior se observa que la resina fenólica polimerizada es más compacta y rígida que la de Urea, motivo por el cual disminuye la propiedad a la flexión y aumenta a la tensión.

El peso específico de estos dos sólidos poliméricos varían con el tiempo, por esto se tomó un promedio de esta propiedad a un tiempo determinado (3 días) resultando:

Tiempo = 3 días

Urea-Formaldehído

$$\rho = 1.2507 \text{ g/cm}^3$$

Fenol-Formaldehído

$$\rho = 0.7231 \text{ g/cm}^3$$

Como se puede ver es más pesada la de Urea-Formaldehído, esto se debe a los aditivos que lleva (agua, cera, catalisis) y en cambio la de fenol-formaldehído está catalizada únicamente con HCl concentrado.

### 5.15.- Análisis de las gráficas de Módulo de Ruptura del plástico de Urea-Formaldehído.

Este se deriva después de hacer un estudio de las gráficas de esta sección, en donde se puede ver la tendencia de los componentes y su comportamiento con respecto al Módulo de Ruptura.

De toda esta información gráfica únicamente se resaltaron los puntos más importantes con el objeto de encontrar aquella formulación para la cual los valores de Módulo de Ruptura son los altos u óptimos.

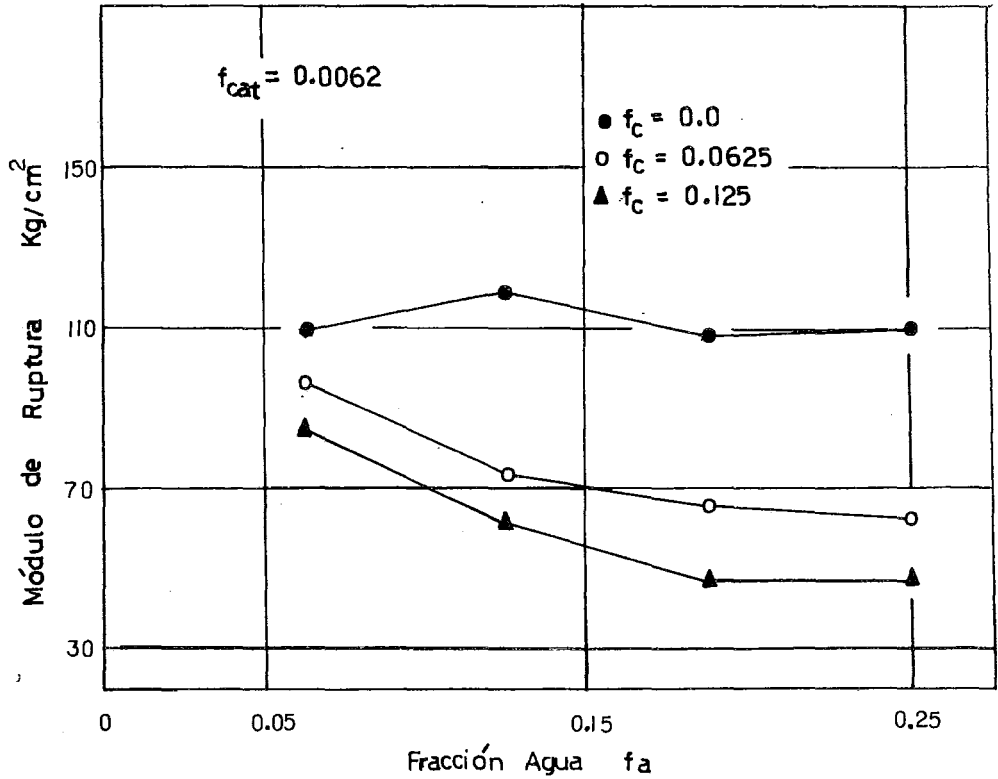
1.- De las gráficas 1A, 2A, 3A, 4A se desprende lo siguiente:

Para una baja catálisis ( $f_{\text{cat}} = 0.00625$ ) el efecto de la concentración de cera ( $f_{\text{c}}$ ) en la formulación del termofijo tienen efecto notable en la disminución del módulo de ruptura (1A), por lo que se plantea una disminución del módulo de ruptura (1A), por lo que se plantea una disminución en la cohesión interna del material sometido a esta prueba, el incremento de un 6.2% en la concentración de cera trae una disminución de la propiedad del 22.7% para la mínima concentración de agua ( $f_{\text{a}} = 0.0625$ ).

2.- El incremento del módulo de ruptura para las anteriores condiciones de catálisis y formulación se estudian en las gráficas 2A, 3A, 4A, observándose incrementos notables para la mínima concentración de agua ( $f_{\text{a}} = 0.0625$ ) del orden del 27.3% con una  $f_{\text{cat}} = 0.01875$ , aunque un exceso de catalizador en las propiedades a la flexión como se puede apreciar en la gráfica 4A.

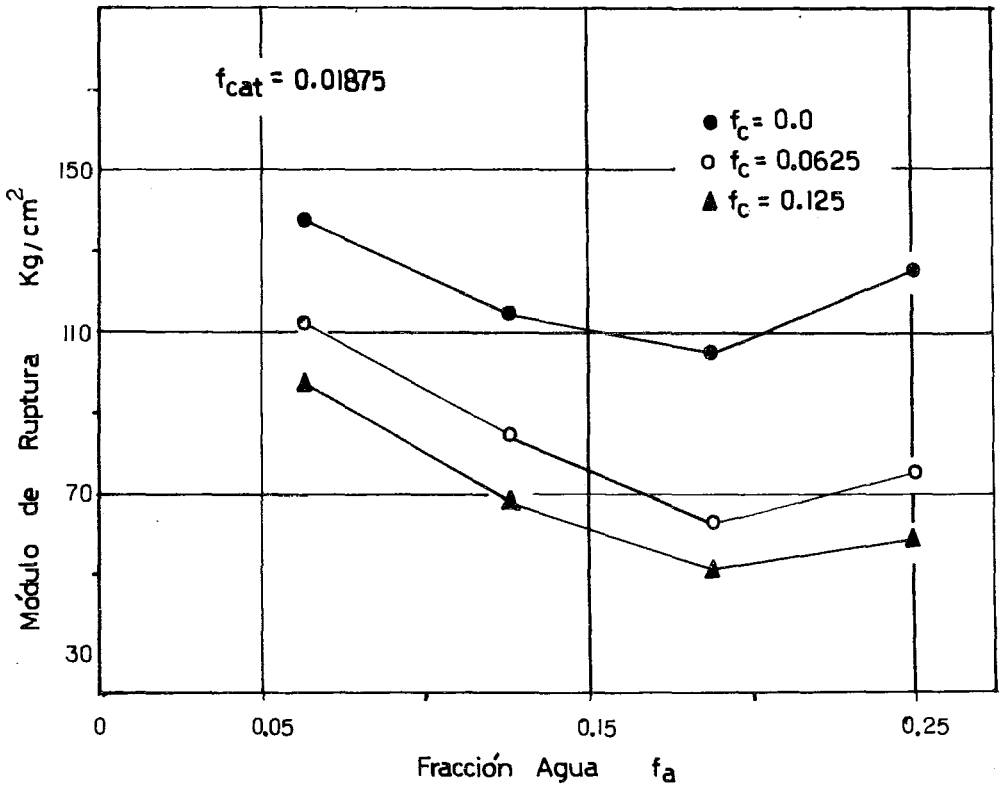
- 3.- El efecto de la catálisis es estudiado en las gráficas-1B, 2B, 3B y 4B en donde se encuentra un punto óptimo - de catálisis para un máximo módulo de ruptura. Este va-  
lor se encuentra entre 0.019 y 0.037 para los valores -  
de  $f_{cat}$  y con un módulo mayor a  $137 \text{ Kg/cm}^2$ . El análi-  
sis anterior es para un valor de  $f_c = 0.0$  y mínima can-  
tidad de agua, ya que como en anteriores gráficas el in-  
cremento de la fracción cera disminuye la propiedad fí-  
sica del material no observándose un efecto tan signifi-  
cativo para el incremento de la fracción agua como se -  
puede apreciar en las gráficas 2B, 3B y 4B.
- 4.- El efecto de la concentración cera es estudiado en las-  
gráficas 1C, 2C, 3C y 4C observándose una pendiente con-  
tinua de signo negativo para diversos valores de catáli-  
sis que van de 0.0625 hasta 0.05, para la misma concen-  
tración de agua y catálisis se observa una disminución-  
del 29% para una máxima concentración de cera . -  
 $f_c = 0.125$ .

El incremento de la fracción agua hace permanecer este-  
valor de 29% aproximado para el decrecimiento del módu-  
lo como se puede apreciar en las gráficas 2C, 3C y 4C.

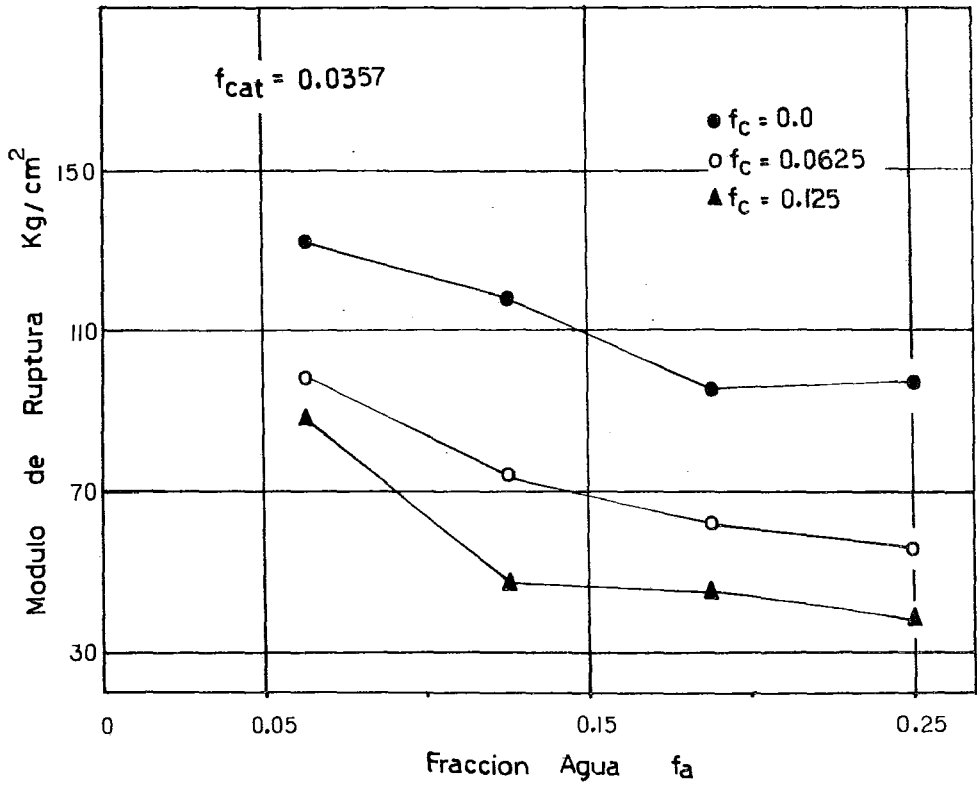


GRAFICA-1A

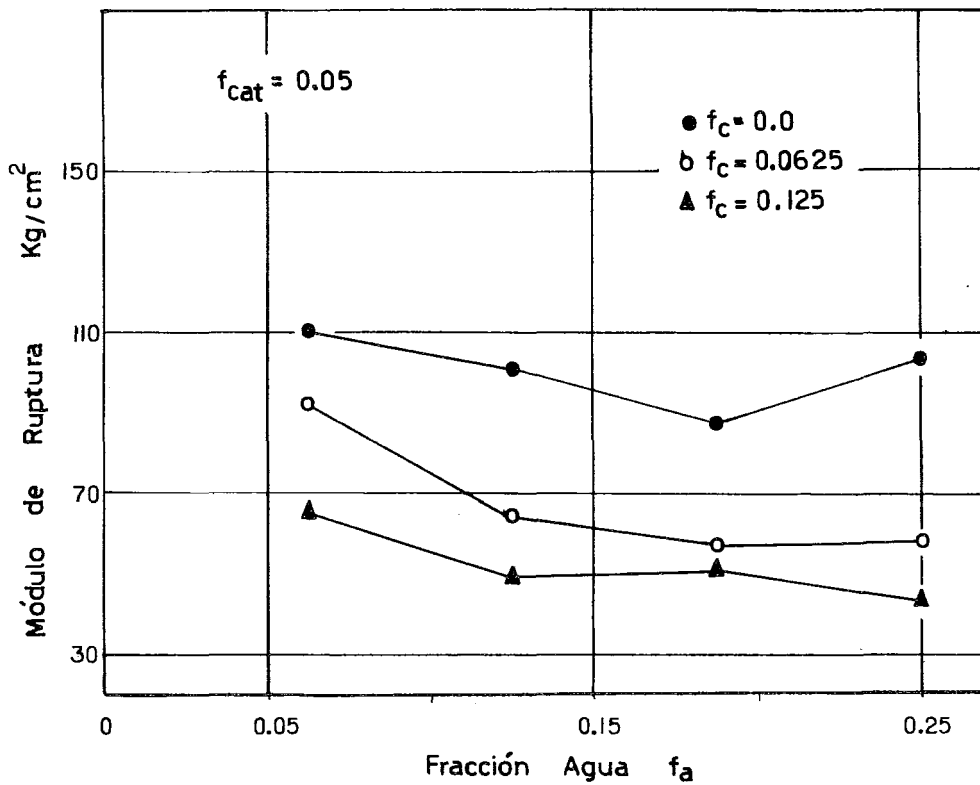
EFFECTO DEL AGUA EN EL MODULO DE RUPTURA CON CATALISIS ( $f_{cat}$ ) CONSTANTE.



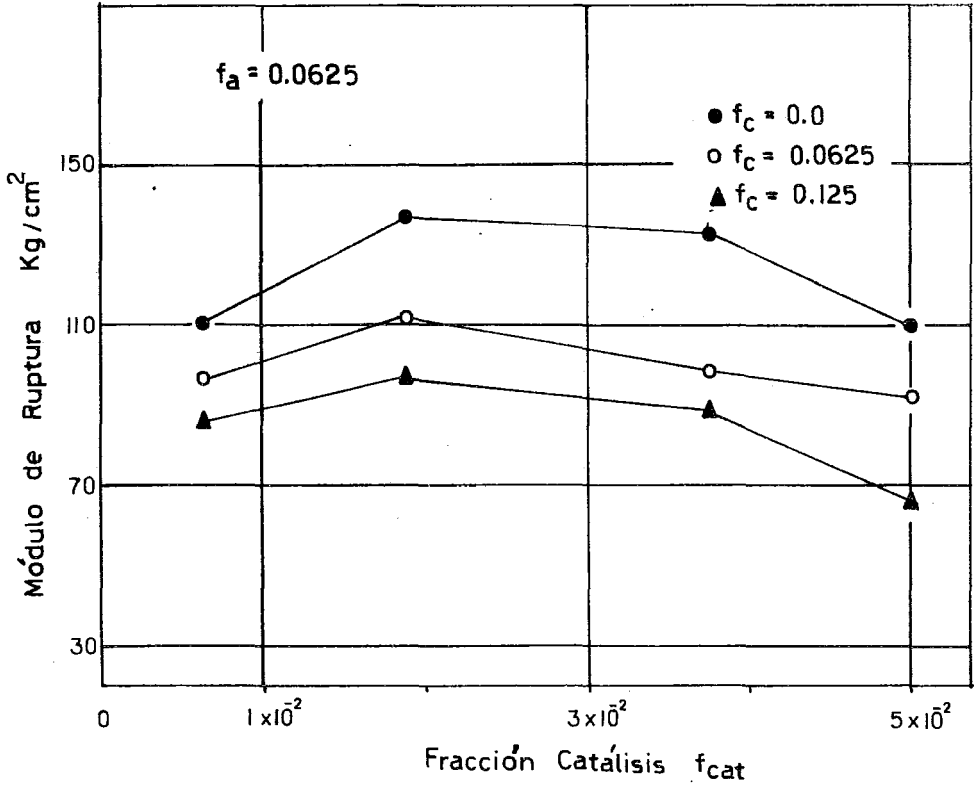
GRAFICA - 2A



GRAFICA-3A



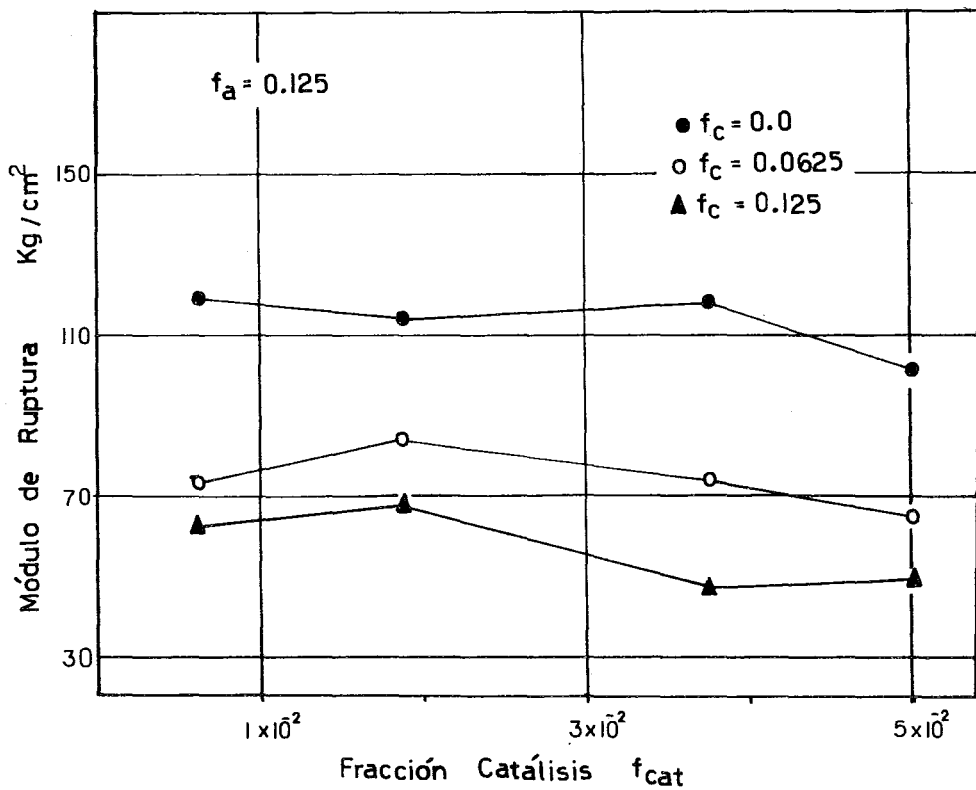
GRAFICA - 4 A



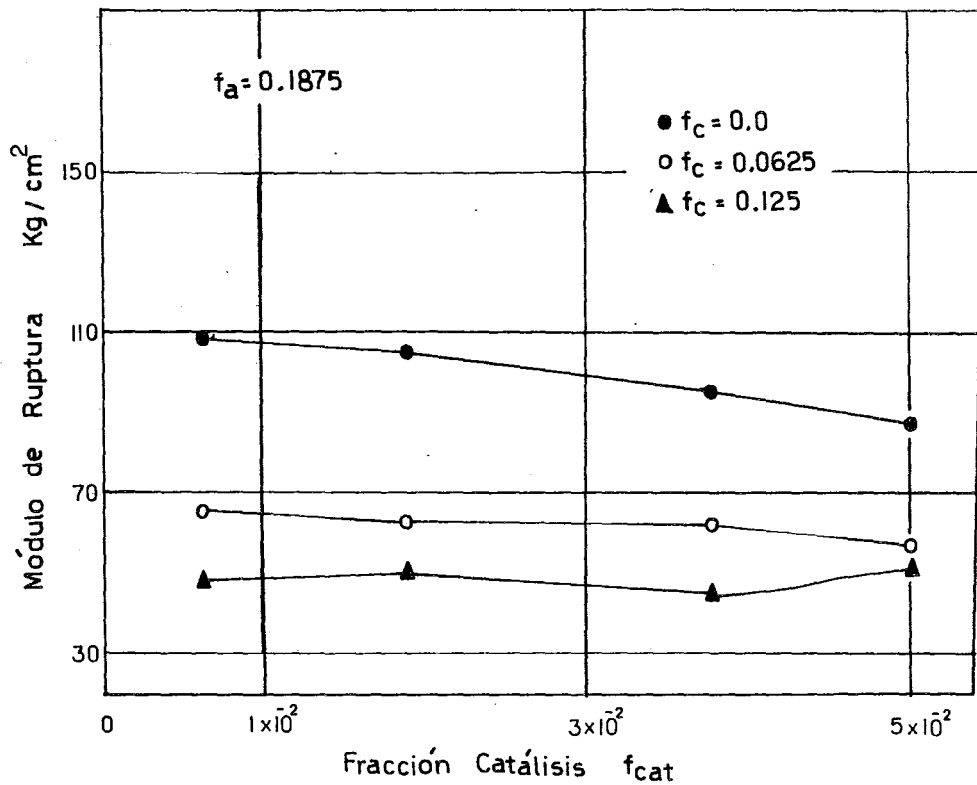
GRAFICA - 1B

EFFECTO DE LA CATALISIS EN EL  
 MODULO DE RUPTURA CON SOL-  
 VENTE ( $f_a$ ) CONSTANTE.

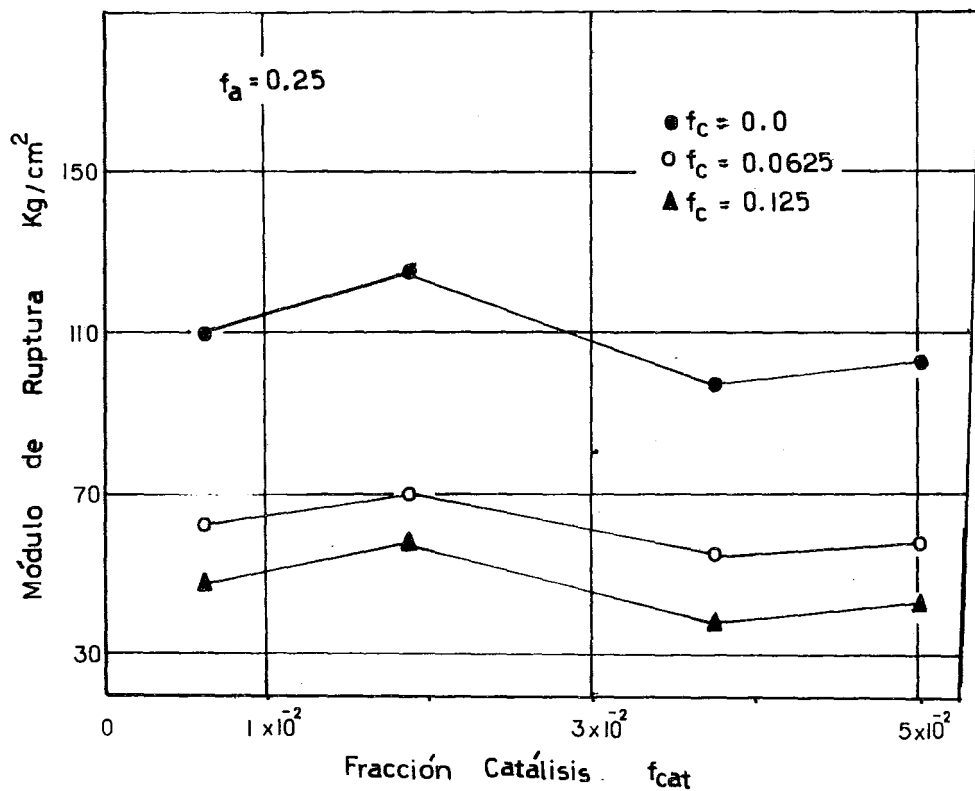




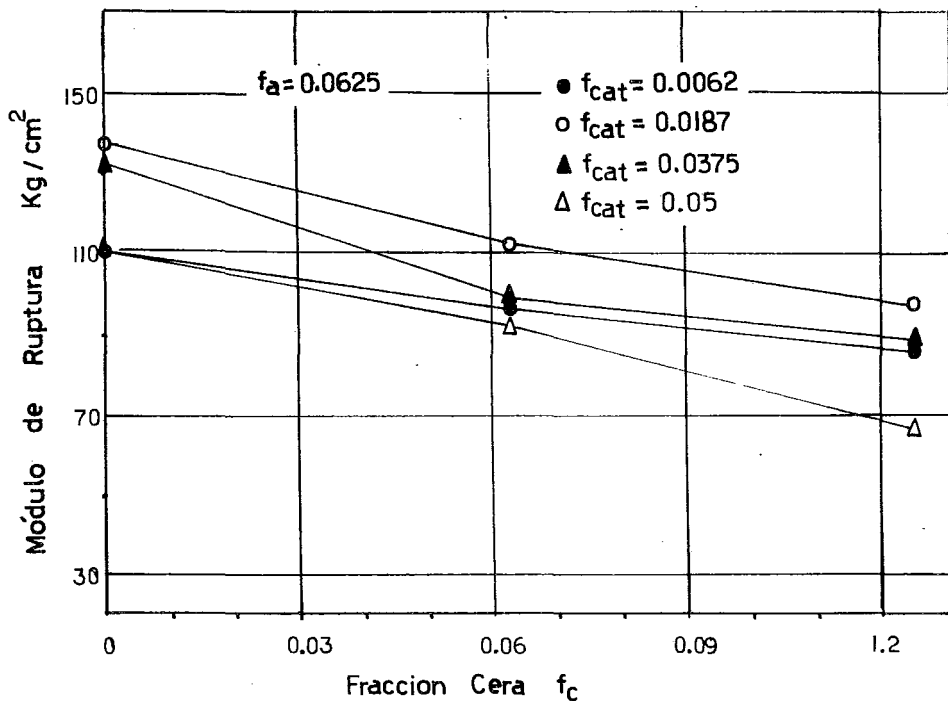
GRAFICA-2 B



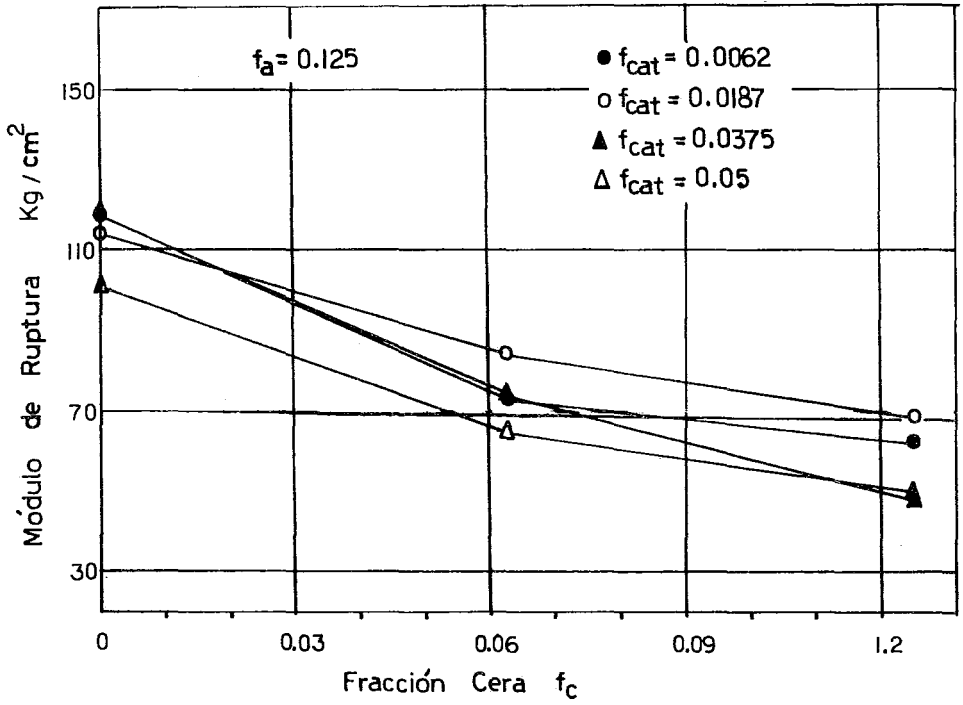
GRAFICA-3 B



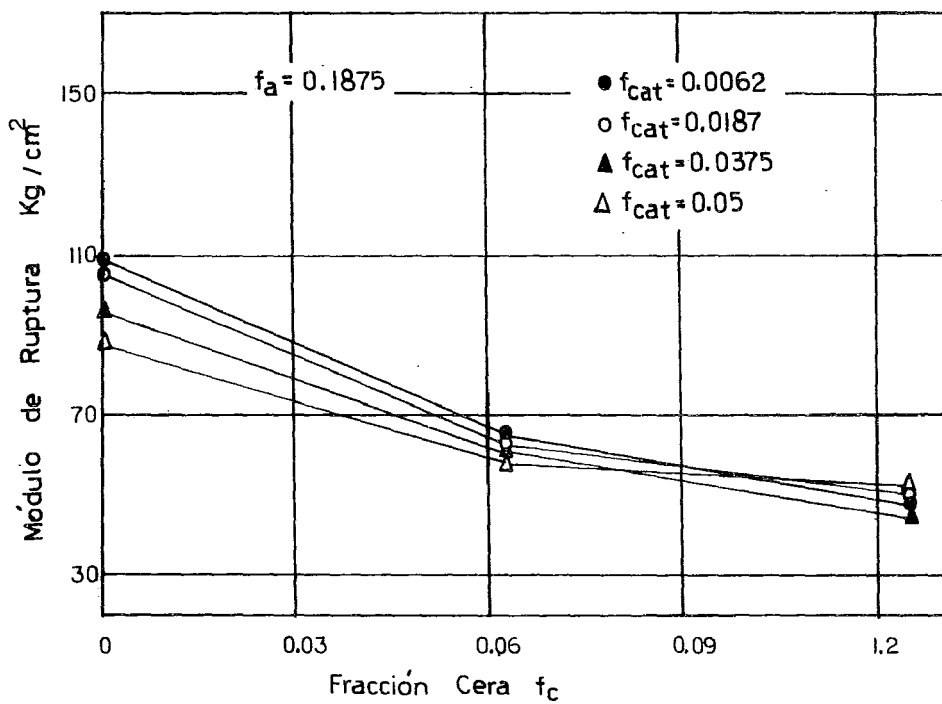
GRAFICA - 4 B



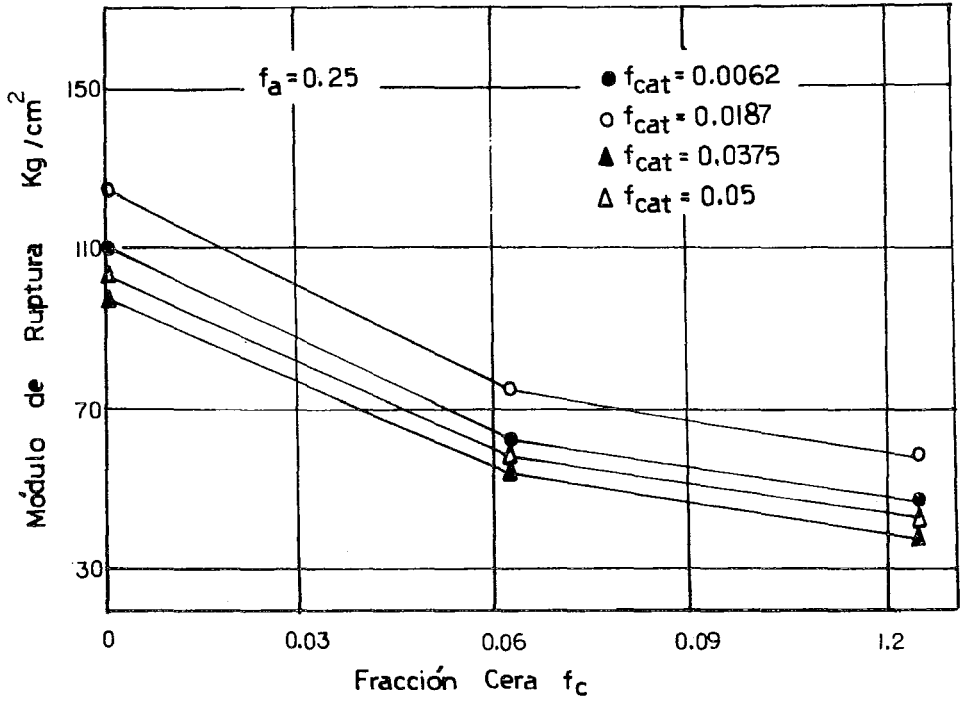
GRAFICA-1C EFECTO DE LA CERA EN EL  
 MODULO DE RUPTURA CON  
 SOLVENTE ( $f_a$ ) CONSTANTE.



GRAFICA- 2C



GRAFICA-3C



GRAFICA-4C

### 5.16.- Correlación lineal de variables en los procesos de Polimerización.

En esta sección se desarrolló el objetivo de obtener mediante un programa de computadora una expresión matemática de forma lineal que relacione todas las variables de formulación como función del módulo de ruptura.

Para esto es necesario alimentar a un programa todos los resultados experimentales con sus respectivas formulaciones, de tal forma que el resultado exprese todas las variables del sistema y sus intervalos de variación; las variables seleccionadas fueron las siguientes:

#### PROGRAMA:

```
JOB RUTPURA; USER = CLASS = 5; BEGIN  
EXECUTE BASIS/BASIS;  
DATA USER;  
USER = 100;  
DATA RUP;  
FILE*;  
1 "FRACCION CATALISIS";  
2 "FRACCION AGUA";  
3 "FRACCION CERA";  
4 "RUPTURA";  
END;
```





PROCEDURE MODULO:

```

TITLE "OBTENCION DE LA ECUACION DE MODULO DE RUP.";
COMMENT TITLE MAY PROCEDE USE STATEMENT;
COMMENTS COMMENTS TOO;
USE MULTR;
IMPUT GROUPS (V1, V2, V3, V4);
COMMENT PRINT ALL OUTPUT REPORTS;
PRINT ALL;
END;
EXECUTE PROCEDURE MODULO WITH DATA RUP;
DATA LOLLOWS;
FATOS DE LA SECCION 5.1*; (*)
END;
QUIT;
? END JOB;

```

De esta forma se obtuvo el listado y los siguientes datos del programa:

#### MATRIZ DE CORRELACION

ROW 1	1.000	-0.0211	0.0100	-0.1543
ROW 2	-0.0211	1.000	0.0506	-0.4781
ROW 3	0.0100	0.0506	1.000	-0.7882
ROW 4	-0.1543	-0.4781	-0.7882	1.000

(\*) Los valores del módulo de ruptura son el Ln con el objeto de mejorar el coeficiente de correlación múltiple.

INTERCEPCION	5.10354
FRAC CATAL.	-3.17269
FRAC. AGUA	-2.20965
FRAC. CERA	-5.17374

ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION = 0.14402

COEFICIENTE DE DETERMINACION = 0.83809

COEFICIENTE DE CORRELACION MULTIPLE = 0.91547

La ecuación matemática que nos relaciona las variables de formulación es:

$$\ln Mr = 5.10354 - 3.17269 f_{\text{cat}} - 2.20965 f_a - 5.17374 f_c$$

Despejando el valor de Mr:

$$Mr = e^{(5.10354 - 3.1727 f_{\text{cat}} - 2.2096 f_a - 5.1737 f_c)}$$

El modelo matemático que ilustra el proceso que relaciona todas las variables de formulación de ruptura en los intervalos correspondientes tienen las siguientes restricciones:

- 1.- No debe usarse para extrapolar valores de la propiedad.
- 2.- Debe interpolarse dentro de los intervalos de cada variable con la siguiente condición:

Que los valores que se asocian a las variables deben ser lógicos para obtener resultados lógicos, pues el modelo es capaz de predecir materiales hipotéticos a partir de valores reales, por ejemplo: se dan los valores reales -

máximos a las variables y obtener valores máximos hipotéticos de la propiedad.

5.8.- Ejemplo de cálculo con el modelo matemático-obtenido.

Formulación 22

$$f_a = 0.25$$

$$f_{cat} = 0.0187$$

$$f_c = 0.0$$

$$\text{Ln Mr experimental} = 4.83$$

$$\text{Ln Mr por modelo} = 4.49164$$

$$\% \text{ ERROR} = 7.02$$

## 6.- CONCLUSIONES

6.1.- El estudio del material compuesto o termofijo de Urea formaldehído utilizado para la fabricación de tableros aglomerados objeto de este estudio, ha sido analizado en cuanto a las propiedades físicas de ruptura y tensión, así como el comportamiento que tienen sus componentes de formulación (cera, catálisis y agua ) y su influencia en dichas propiedades; concluyéndose lo siguiente:

a) Se obtuvieron resultados de una catálisis óptima de 1.5 g., equivalentes a una fracción  $f_{cat} = 0.0187$  en base al peso de resina utilizado (ver variables de formulación) como lo muestran las gráficas 2A y 1B en donde se obtienen los valores máximos para el módulo de ruptura, cuando se mantiene constante la fracción cera  $f_c = 0.0$

b) La influencia del agua en las formulaciones es bastante notoria en los resultados de las propiedades, llegándose a una cantidad de agua óptima de 5 g. equivalente en fracción  $f_a = 0.0625$ , aunque también es ventajoso utilizar 10 g. que en fracción es  $f_a = 0.125$  para los cuales se obtienen máximos valores como se puede ver en las gráficas 1A, 2A, 1B y 2B utilizando las catálisis correspondientes para ambos casos y manteniendo constante la  $f_c$  que se especifica.

c) De los tres componentes de formulación de fracción cera es la que tiene un comportamiento bien definido como se puede apreciar en las gráficas 1C, 2C, 3C y 4C en donde los valores máximos de ruptura son para aquellas formulaciones que no contienen cera y disminuyendo la propiedad conforme se aumenta; por lo que se sugiere como óptima la mínima cantidad de 5 g. equivalente a una  $f_c = 0.0625$ , -

la cera es parte de la formulación.

d) La contribución por parte del termofijo puro en la elaboración de talberos aglomerados es una función directa del porcentaje de resina que se utiliza; teniendo una influencia inversamente proporcional, es decir; a menor % de resina la contribución por parte del plástico va haciendo mayor; este comportamiento lo sigue tanto a la ruptura como a la tensión (secciones 5.5 y 5.6) alcanzando valores máximos para un % de resina inferiores a 0.2 y disminuyendo bastante para valores superiores en la ruptura. Para el módulo de tensión la contribución por parte del termofijo es del orden del 50% con el mínimo porcentaje de resina y disminuyendo hasta un 38% con la máxima concentración de resina.

Derivandose del Análisis anterior una formulación-óptima desde el punto de vista de las propiedades físicas y por contribución a los módulos del material compuesto de Urea-formaldehído y fibra de caña que es la siguiente:

$$f_a = 0.0625 \text{ hasta } 0.125.$$

$$f_c = 0.0625$$

$$f_{\text{cat}} = 0.01875$$

$$f_{\text{sulfato}} = 0.0093$$

$$f_{\text{amoniaco}} = 0.0093$$

Observándose incrementos propircionales en el módulo del material fibroso en función de la concentración en peso de la resina, según la gráfica experimental para table

ros aglomerados; esta formulación difiere de la standar - principalmente en cuanto a la concentración del solvente - que es mayor ( $f_a = 0.16$ ) siendo esto por requerimientos de - la aplicación de la resina sobre el sustrato fibroso y su - dispersión.

e) En cuanto a la comparación de la resina de - urea-formaldehído con la de fenol-formaldehído se puede concluir lo siguiente:

El termofijo de fenol-formaldehído presenta mayor-solidez o compactación al polimerizar, lo cual lo hace bastante rígido en comparación con la de Urea esta propiedad - es notable para la prueba a la tensión y ruptura; de tal - forma que la resina fenólica tiene menor resistencia a la - ruptura en un 16.5% que la de Urea-formaldehído por ser más rígida; sin embargo a la tensión es bastante mayor el módulo siendo superior en 30.74% al valor máximo de la resina - de Urea, debido a que hay mayor cohesión en la microestructura.

El termofijo de fenol-formaldehído presenta un comportamiento de tipo material frágil, aunque con mayor cohesión en su estructura, la catálisis aquí usada no es reco--mendable para materiales compuestos a base de partículas, - pues presenta dificultades en el control de su cinética y - su  $-\Delta H$  de reacción; recomendándose la catálisis química a - base de  $\text{NH}_4\text{-OH}/\text{NH}_4\text{Cl}$  y mayor temperatura ( $150^\circ\text{C}$ ); la rigi--dez de la resina fenólica polimerizada hace que la zona lí--mite elástica del material sea mayor que la de Urea-formal--dehído, y que la zona plástica prácticamente no exista; presentándose en ambos casos un punto de cedencia pico, mos- -

trando su fragilidad y mínimo trabajo por fluencia del material amorfo y cristalino como en los termoplásticos.

f) El termofijo de Urea-formaldehído presenta propiedades bastante aceptables en lo que se refiere a su combustibilidad, ya que es un material poco atacable al fuego indirecto, no arde, se carboniza además su pérdida de agua es muy pequeña con el tiempo, pero si se deja a la intemperie durante varias semanas el material llega a la sequedad máxima provocando agrietamiento y como consecuencia su destrucción por repolimerización; su contracción lineal y volumétrica es mínima sin provocar un cambio notorio y su resistencia a los agentes químicos se hace invulnerable con la cera no provocando cambio en su superficie, atacándola los ácidos cuando no contiene cera; de esta forma se puede ver como la cera es un aditivo importante contra los agentes químicos, además de ser un anti-humectante del material fibroso.

g) La contribución en el módulo de ruptura y tensión de la Urea-formaldehído en el material fibroso disminuye conforme se aumenta la resina (%), esto se debe por haber mayor compactación y densidad en el material con lo cual se obtiene una mayor microestructura y % de adhesión en la interfase resina-fibra, con lo que existe una disminución de los espacios sin interfase resina-fibra que hacen al material descompactado, anisotrópico; lo cual es evitado al incrementar el % de resina, más al permanecer constante el valor de referencia del módulo del termofijo ante la propiedad total del sistema (fibra resina) hace que esta contribución disminuya al aumentar la propiedad del material compuesto que a su vez es una función de la concentración de resina.



h) En general se concluye que el termofijo de Urea-formaldehído supera sus propiedades como material compuesto en reforzados fibrosos como en el caso estudiado con fibra de caña, la repolimerización del plástico puede considerarse que se evita al agregarse al sustrato fibroso agentes plastificantes y antioxidantes, además de una catálisis química dentro del margen indicado; la catálisis térmica no debe exceder el límite para curado de resina con exceso de solvente ( $H_2O$ ) como dispensante.

No es posible descartar además de la interacción física fibra-resina la posibilidad de una interacción incelulocica e interlignina(14) del sustrato fibroso, que diesen conjuntamente con el polímero de Urea-formaldehído un ligno polímero de estructura molecular altamente compleja y ramificada que viena a homogenizar y aumentar la cohesión interna del material, aumentando su propiedad física, claro que las condiciones de catálisis son a través de altas temperaturas ( $200^{\circ}C$ ) y catálisis química especial.

La formulación óptima del termofijo de Urea-formaldehído con bajo solvente puede utilizarse en la preparación de materiales compuestos, donde la dispersión de resina-fibra pueda ser mejor controlada como es el caso de la resina como material predominante (en peso) con fibra larga o corta.

Este estudio puede considerarse como preliminar entre la fase de laboratorio y la caracterización mecánica y teórico gravimétrica que un material compuesto debe tener para ser visualizado plenamente dentro de la influencia de todos sus variables de procesamiento y formulación, como parte del análisis de un sistema de multicomponentes.

7.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- FUNDAMENTAL OF PLASTICS AND ELASTOMERS  
Charles A. Haper  
Edit. Mc-Graw-Hill, New York, 1977.
- 2.- UREA-FORMALDEHYDE MOLDING COMPOUNDS  
Anual Book of ASTM Standard, Vol. 35  
American Society for testing and materials, 1976.
- 3.- FLEXURAL PROPERTES OF PLASTICS  
Standard Methods of Test ASTM, Vol. 35  
Amricarn Society for testing and Materials, 1976.
- 4.- TENSILE PROPERTIES OF PLASTICS  
Standard Methods of Test ASTM, Vol. 35  
American Society for Testing and Materials, 1976.
- 5.- LOS NUEVOS PRODUCTOS QUIMICOS  
Biblioteca Salvat de Grandes Temas  
Edit. Salvat, S.A. Barcelona, 1975.
- 6.- CATALOGO DE MATERIALES PLASTICOS  
México, D. F. 1970.
- 7.- QUIMICA GENERAL MODERNA  
José A. Babor  
Edit. Nacional, España, 1975.
- 8.- ESTUDIO SOBRE PROPIEDADES FISICAS EN TABLEROS AGLOMERA-  
DOS DE BAGAZO DE CAÑA PREPARADO CON EQUIPO EXPERIMENTAL  
SEMI-PESADO  
Buendia Palao y Villa Franco  
TESIS. Facultad de Química, 1980.

- 9.- APUNTES DE PLASTICOS Y SILICONES I  
Prof. Julio Teñan Zavaleta  
Facultad de Química, 1978 U.N.A.M.
- 10.- QUIMICA ORGANICA  
Robert Morrison y Robert Boyd  
Fondo Educativo Interamericano, S.A.  
E.U.A. 1976.
- 11.- QUIMICA Y FISICA DE ALTOS POLIMEROS Y MATERIAS PLASTI-  
CAS.  
Martínez de las Marías  
Edit. Alhambra, España, 1975.
- 12.- PROBABILIDAD Y ESTADISTICA PARA INGENIEROS  
Irwin Miller y John E. Freund  
Edit. Reverté, España. 1973.
- 13.- POLIESTER AND RESINS (Their Chemistre and Chemical en-  
ginering)  
Broge Golding. Ph. D.  
Edit. D. Van Nostrand Co. Inc.
- 14.- OBTENCION DE POLIMEROS REFORZADOS A PARTIR DE LA LIGNI  
NA CONTENIDA EN EL COCO  
TESIS: Daniel A. Bullado. P.  
Marco A. Torres R.  
Fac. de Química U.N.A.M. 1976.
- 15.- PLASTICOS - FORMACION Y MOLDEO  
Herbert R. Simos y James M. Church.  
Edit. C.E.C.S.A.



## Impresiones Lupita

MEDICINA N<sup>o</sup>. 25

FRACC. COPILCO UNIVERSIDAD  
CIUDAD UNIVERSITARIA, D. F.  
TEL. 548-49-79