

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO PRELIMINAR DE MADERAS
REFORZADAS CON POLÍMEROS

161

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a

GUILLERMO ISUNZA MANRIQUE

1 9 7 4



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CLAS. Tesis
ADQ. 1974
FECHA
PROC. 14.7.154



QUIMICA

A MIS PADRES CON AGRADECIMIENTO
E INFINITO CARIÑO

A ROSARIO

A MI ESCUELA

A MIS MAESTROS,
AMIGOS Y COMPAÑEROS

PERSONAS E INSTITUCIONES A LAS CUALES AGRADEZCO SU COLABORACION

Dr. JUAN ANTONIO CAREAGA V.

DIRECTOR DEL CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES
DE LA U.N.A.M.

Dr. ALFREDO PEREZ DE MENDOZA

I.Q. GUILLERMO ALCAYDE LACORTE

Ing. FIACRO MARTINEZ MARTINEZ

DIRECTOR DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FORESTALES
DE LA S.A.G.

Ing. BRUNO MASCANZONI F.

DIRECTOR DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

M. en C. MANUEL NAVARRETE TEJERO

DIRECTOR DEL CENTRO DE ESTUDIOS NUCLEARES
DE LA U.N.A.M.

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA

PRESIDENTE	PROF. JULIO TERAN ZAVALETA
VOCAL	PROF. HECTOR SOBOL ZASLAV
SECRETARIO	PROF. GUILLERMO ALCAYDE LACORTE
1er. SUPLENTE	PROF. FERNANDO ITURBE HERMANN
2o. SUPLENTE	PROFA. MARGARITA GONZALEZ TERAN

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES DE LA U.N.A.M.

SUSTENTANTE:

GUILLERMO ISUNZA MANRIQUE

ASESOR DE TEMA:

ING. QUIM. GUILLERMO ALCAYDE LACORTE

SUPERVISOR TECNICO:

DR. ALFREDO PEREZ DE MENDOZA

CONTENIDO

1. INTRODUCCION
 - 1.1 Antecedentes
 - 1.2 Desarrollo del Estudio

2. GENERALIDADES
 - 2.1 Selección de Maderas
 - 2.2 Selección de los Monómeros
 - 2.3 Fase de Impregnación
 - 2.4 Fase de Polimerización

3. OBJETIVOS
 - 3.1 Selección de un Método de Impregnación
 - 3.2 Comparación de Métodos de Polimerización
 - 3.3 Evaluación de las Potencias de Impregnación
 - 3.4 Evaluación de la Rapidez de Difusión de los Monómeros en las Maderas
 - 3.5 Incremento de la Dureza
 - 3.6 Incremento de la Resistencia a la Tensión
 - 3.7 Incremento de la Resistencia a la Compresión
 - 3.8 Minimizar la Absorción de Agua
 - 3.9 Incremento de la Resistencia a la Abrasión
 - 3.10 Realizar Observaciones en los Intersticios de la Madera

4. ETAPA EXPERIMENTAL
 - 4.1 Selección de las Probetas
 - 4.2 Diseño del Experimento
 - 4.3 Selección y Descripción del Equipo
 - 4.4 Procedimiento de Operación

5. RESULTADOS
 - 5.1 Dureza
 - 5.2 Resistencia a la Tensión

- 5.3 Resistencia a la Compresión
- 5.4 Resistencia a la Abrasión
- 5.5 Absorción de Agua en 24 Horas
- 5.6 Observaciones Realizadas en los Intersticios de las Maderas
- 5.7 Rapidez de Difusión

6. CONCLUSIONES

- 6.1 Selección del Método de Impregnación
- 6.2 Comparación de los Métodos de Polimerización
- 6.3 Determinación de Potencias de Impregnación
- 6.4 Rapidez de Difusión del Monómero en la Madera
- 6.5 Dureza
- 6.6 Resistencia a la Tensión
- 6.7 Resistencia a la Compresión
- 6.8 Absorción de Agua en 24 Horas
- 6.9 Resistencia a la Abrasión
- 6.10 Proyecciones al Futuro

7. APENDICE

8. BIBLIOGRAFIA

LISTA DE TABLAS Y GRAFICAS

Tabla No.	Gráfica No.	Descripción
1	1	Incremento de peso por incorporación de Metacrilato de Metilo al chacá, respecto al tiempo.
2	1	Incremento de peso por incorporación de Estireno-Acrilonitrilo al chacá, respecto al tiempo.
3	2	Incremento de peso por incorporación de Metacrilato de Metilo a la caoba respecto al tiempo.
4	2	Incremento de peso por incorporación de Estireno-Acrilonitrilo a la caoba, respecto al tiempo.
5	3	Incremento de peso por incorporación de Metacrilato de Metilo al pino blanco, respecto al tiempo.
6	3	Incremento de peso por incorporación de Estireno-Acrilonitrilo al pino blanco, respecto al tiempo.
7	4	Perfiles de dureza del chacá reforzada con polímero de Metacrilato de Metilo.
8	6	Perfiles de dureza de la caoba reforzada con polímero de Estireno-Acrilonitrilo.
9	8	Perfiles de dureza del pino blanco reforzado con polímero de Metacrilato de Metilo.
10	5	Perfiles de dureza del chacá reforzado con polímero de Estireno-Acrilonitrilo.
11	7	Perfiles de dureza de la caoba reforzada con polímero de Estireno-Acrilonitrilo
12	9	Perfiles de dureza del pino blanco reforzado con polímero de Estireno-Acrilonitrilo.
13	10	Potencias de impregnación y porcentaje de absorción de agua en 24 horas. Tratamiento con Estireno-Acrilonitrilo y polimerización por Irradiación Gamma Catalítico.
14	11	Potencias de impregnación y porcentaje de absorción de agua en 24 horas. Tratamiento con Estireno-Acrilonitrilo y polimerización por Irradiación Gamma Catalítico.

Tabla No.	Gráfica No.	Descripción
15	12	Potencias de Impregnación y Dureza Brinell media del Chacá, Caoba y Pino Blanco reforzadas con polímero de Metacrilato de Metilo y polimerizadas por Irradiación Gamma Catalítico.
16	13	Potencias de Impregnación y Dureza Brinell media del Chacá, Caoba y Pino Blanco, reforzadas con polímero de Estireno-Acrilonitrilo y polimerizadas por Irradiación Gamma Catalítico.
17	12	Comparación de la Dureza Brinell media entre los métodos de polimerización utilizados, con polímero de Metacrilato de Metilo.
18	13	Comparación de la Dureza Brinell media entre los métodos de polimerización utilizados, con polímero de Estireno-Acrilonitrilo.
19	16	Comparación del Agua absorbida en 24 horas entre los métodos de polimerización utilizados, con polímero de Metacrilato de Metilo.
20	17	Comparación del Agua absorbida en 24 horas entre los métodos de polimerización utilizados con polímero de Estireno-Acrilonitrilo.
21	18-19	Comparación de los Métodos de Polimerización utilizados para la resistencia a la Compresión paralela a la veta del chacá, caoba y pino blanco, reforzada con polímero de Metacrilato de Metilo y Estireno-Acrilonitrilo.
22	20-21	Comparación entre los métodos de Polimerización utilizados, para la resistencia a la Tensión del chacá, caoba y pino blanco reforzadas con polímero de Estireno-Acrilonitrilo.
23	28-29	Comparación entre los Métodos de Polimerización para la Resistencia a la Abrasión, del chacá, caoba y pino blanco reforzados con polímeros de Metacrilato de Metilo y Estireno-Acrilonitrilo.

1. INTRODUCCION

El tema de impregnación de maderas con diversos monómeros ha sido objeto de estudios recientes enfocados hacia la investigación de las propiedades físicas que adquieren los materiales así formados, otros, el estudio y proposición de mecanismos que puedan dar a luz teorías aceptables, sobre las posibles etapas que se verifican en las polimerizaciones y quizá de nuevos compuestos de interfase a los que se dé lugar.

Un trabajo reciente (1) pone en relieve los resultados obtenidos en maderas con distintos monómeros y mezclas de los mismos mediante un tratamiento de irradiación gamma. Sin embargo en el presente trabajo se hizo interesante estudiar maderas mexicanas con distinto grado de comercialización. Por otra parte se pensó en comparar los métodos de polimerización, el de irradiación gamma catalítico con el método térmico catalítico, el primero de gran importancia académica y potencial, pero actualmente poco práctico y el segundo para hacer una comparación con el primero y ver cuál es la diferencia que presentan los materiales en cuanto a sus propiedades físicas entre estos dos procesos.

Se pensó que el método de impregnación podía ser de importancia en cuanto a incorporación de monómero en la madera se refiere y para ello se estudió la impregnación a tres diferentes presiones de operación, seleccionando las condiciones más aceptables para incorporar los monómeros en la madera.

En base a los renglones anteriores se puede definir la secuencia de los parámetros más adecuados para alcanzar determinadas propiedades, a los tipos de maderas recomendadas, o procesos de impregnación y polimerización.

Se observó que la impregnación es ampliamente influenciada por variables de difusión, de las que no se tienen amplios conocimientos en la literatura y que finalmente darán una estimación de los tiempos de residencia necesarios en cada caso para poder incorporar a la madera la cantidad de monómero que se desee.

1.1 Antecedentes

El primer informe concerniente al proceso para obtener madera reforzada con polímero, usando radiación gamma para inducir la polimerización fue publicado en 1956 por el Laboratorio Nacional de Brookhaven. Aunque los resultados no fueron concluyentes se demostró que la radiación gamma podría usarse para polimerizar el monómero dentro de los intersticios de la madera.

En 1960, en Rusia, se trabajó sobre esta técnica, usando una combinación de estireno en conjunción con la madera de maple, concluyendo que la resistencia a la compresión y la dureza se incrementaron considerablemente aunque la dosis era excesivamente alta o sea de 10^7 Rads.

En 1962, en los Estados Unidos de Norteamérica, se informó que se habían encontrado injertos de algunos monómeros a la matriz celulósica por medio de lavados con algunos disolventes. Se encontró que en un principio, la estabilidad dimensional de la madera aumentaba, lo

cual se atribuyó a que se verificaban cambios en la composición molecular de la celulosa.

Como resultado de estos estudios anteriores, la U.S. Atomic Energy Commission, inició un programa de desarrollo de este proceso, teniendo como parte de este proyecto demostrar la posibilidad de emplear fuentes de radiación gamma, como una herramienta en un proceso industrial.

El programa de la A.E.C., abarca una investigación que determina las características del proceso, materiales, evaluación del producto, análisis económico y de mercado (1).

J.A. Meyer en 1965, en State University College of Forestry, Syracuse, N.Y., realizó un estudio comparativo entre las técnicas de polimerización mediante procesos térmico catalítico y radiación gamma, para obtener una madera reforzada con polímero, obteniendo resultados favorables, con ambas técnicas.

1.2 Desarrollo del Estudio

La motivación de este estudio surgió de la necesidad de generar maderas reforzadas con polímero, de propiedades superiores a la madera ordinaria, con un mayor espectro de aplicación, o bien como un medio de preservación para este material, que es uno de los recursos renovables de gran demanda y que generalmente presenta un renglón de importancia en el mercado de consumo en la industria de la construcción.

2. GENERALIDADES

El hombre se ha visto en la necesidad de crear nuevos y mejores materiales o bien incrementar las propiedades de los que existen actualmente, para así mejorar las condiciones de confort o de seguridad de él mismo.

En el desarrollo de este trabajo se muestra un proceso en el cual se llenan los intersticios de la madera con polímeros, de tal forma que la madera se ve reforzada con un polímero que posee propiedades superiores o bien con una característica relevante en particular.

Se han estudiado diversas combinaciones de maderas y polímeros en los últimos años, pero no todas las combinaciones han sido compatibles, ya sea por razones de carácter técnico o económico.

2.1 Selección de Maderas

En el presente trabajo se hizo interesante estudiar una madera fina y homogénea como la caoba, otra más comercial y de propiedades distintas a lo largo de toda ella, como el pino blanco, además otra madera de baja densidad como el chacá, es decir, se trató de realizar un estudio con maderas mexicanas con distinto grado de comercialización y diversa densidad.

2.1.1 Preparación de la Madera

Las superficies que presente la madera deben estar libres de acabados, tales como pinturas o barnices que puedan impedir la libre pe-

netración del monómero, así también de humedad que inhibe la reacción de polimerización.

2.2 Selección de los Monómeros

Para la selección de los monómeros se deben tomar en cuenta algunos factores considerados importantes para el desarrollo de estos compuestos madera-polímero.

2.2.1 Costo de los monómeros

2.2.2 Facilidad para impregnar y manejar los monómeros

2.2.3 Dosis de radiación requerida

2.2.4 Propiedades físicas y químicas del producto terminado

Haciendo un breve análisis sobre los puntos anteriores, se tiene que el costo total del proceso será debido en gran parte al costo del monómero. En cuanto a la dosis de radiación la A.E.C. (4) ha encontrado que su costo es relativamente pequeño comparado con el del monómero, si la dosis no excede de 3 megarads, por lo tanto lo que se pretende buscar es un monómero de razonable bajo costo, considerando las propiedades que se puedan obtener.

Para el presente trabajo se utilizaron los monómeros de metacrilato de metilo y el sistema estireno-acrilonitrilo en una relación de 60% : 40% en peso (4).

2.2.5 Preparación del monómero

Los monómeros, pueden usarse como vienen del proveedor, es decir, conteniendo un inhibidor para prevenir una polimerización espon-

tánea. En este proceso los inhibidores comúnmente usados no afectan sustancialmente la eficiencia de la polimerización y por lo tanto no es necesario extraerlos del monómero. Aditivos tales como colorantes, retardantes de flama, etc., deben agregarse al monómero antes de la operación de impregnación, estos aditivos deben ser solubles en el monómero base.

2.3 Fase de Impregnación

Las características del producto son función en gran parte por esta etapa del proceso, las impregnaciones que se realizaron fueron:

2.3.1 Impregnación a temperatura ambiente y presión atmosférica o impregnación natural

2.3.2 Impregnación a temperatura ambiente y vacío que puede variarse desde 10^{-3} mm Hg hasta 17 mm Hg, con una posterior aplicación de presión

2.4 Fase de Polimerización

2.4.1 Polimerización por irradiación gamma

La polimerización se llevó a cabo con una fuente de irradiación de Cobalto 60, dado que ésta cumple con las necesidades del proceso, debido a que no se produce radioactividad residual y los rayos gamma inducen la polimerización.

Las variables críticas en el proceso de polimerización son: el monómero que se utiliza, el tipo de madera que se emplee en conjunción con el monómero, la velocidad de dosis de radiación, la tempera-

tura y el tiempo de residencia.

2.4.2 Polimerización mediante calor y un catalizador

La polimerización se realiza debido a que al aplicar calor al catalizador, en este caso, el peróxido de benzoílo sufre una ruptura homolítica en su estructura, la cual provee de radicales libres que desencadenan la reacción de polimerización.

3. OBJETIVOS

En este estudio se trataron de mejorar algunas de las propiedades físicas de la madera y determinar las variables críticas del proceso, de tal manera que para el presente trabajo se trataron los siguientes objetivos:

3.1 Seleccionar un método de impregnación que permitiese incorporar el monómero necesario en la madera en un tiempo razonablemente corto.

3.2 Comparación de dos métodos de polimerización, el primero gamma catalítico y el segundo térmico catalítico en base a las propiedades me cánicas.

3.3 Determinar las potencias de impregnación o sea el trabajo realiza do por tiempo unitario para lograr impregnación a saturación.

3.4 Determinar el parámetro de la rapidez de difusión de los monómeros en la madera, para tener una idea de los tiempos de residencia y facilidad de impregnación de la madera.

3.5 Incrementar la dureza por lo menos al doble de su valor original.

3.6 Incrementar la resistencia a la tensión por lo menos al doble de su valor original.

3.7 Incrementar la resistencia a la Compresión por lo menos al doble de su valor original.

3.8 Disminuir la absorción de agua en 24 horas por lo menos en un 50% de su valor original.

3.9 Incrementar la resistencia a la Abrasión por lo menos al doble de su valor original.

3.10 Realizar observaciones en los intersticios de la madera, para proyectar el tipo de unión y estructura formadas en la interfase.

4. ETAPA EXPERIMENTAL

4.1 Selección de las Probetas

El tamaño de las probetas tanto como su forma fueron determinados por dos factores principales, el primero seguir las normas que define el A.S.T.M., para cada una de las pruebas y el segundo fue apearse a las necesidades que se requerían al utilizar el dispositivo de impregnación y el de irradiación. En base a lo anterior se hicieron tres tipos de probetas con las siguientes características:

4.1.1 Probetas esféricas de diámetros de 5.76 cm., fueron destinadas para efectuar las pruebas de dureza y permeabilidad, además para determinar los perfiles de penetración del monómero en la madera, así como los parámetros de difusividad (8).

4.1.2 Probetas cilíndricas con dimensiones de 3 cm. de diámetro por 6 cm. de longitud, se utilizaron para realizar las pruebas de resistencia a la tensión y resistencia a la compresión (9).

4.1.3 Probetas en forma de placas de sección cuadrangular de 2.54 cm. por 0.6 cm. para determinar la resistencia a la abrasión (10).

Cada uno de estos tres tipos de probetas se hicieron en madera de caoba, chacá y pino blanco.

4.2 Diseño del Experimento

En una primera etapa experimental, se hizo una modificación de

las presiones de operación con el objeto de seleccionar la más apropiada en cuanto a la cantidad de monómero que se pudiera incorporar, manteniendo el mismo método de polimerización, el cual fue de irradiación gamma catalítico, determinando dos propiedades (dureza y permeabilidad) que sirvieron para elegir en base a los mejores resultados, el método de impregnación adecuado.

En una segunda etapa se trabajó ya con el método de impregnación seleccionado y se varió el método de polimerización, utilizando en iguales condiciones de impregnación la polimerización por ambos métodos, el primero por irradiación gamma catalítico y el segundo térmico catalítico, efectuando posteriormente las pruebas de resistencia a la tensión y a la compresión, así como las correspondientes a resistencia a la abrasión, pudiendo conocer así el método de polimerización por medio del cual, se obtuvieron las mejores propiedades mecánicas y físicas.

Este diseño de experimento puede apreciarse gráficamente mediante los arreglos matriciales que se dan a continuación.

I Impregnación a Presión Atmosférica y Temperatura Ambiente, llevando la polimerización por el método de Irradiación Gamma Catalítico.

Monómero	M.M.A.	E/AN
Madera		
CHACA	X X X X	X X X X
CAOBA	X X X X	X X X X
PINO BLANCO	X X X X	X X X X

X : Probeta esférica.

Nota.- Se utilizaron dos probetas para determinar permeabilidad y dos para determinar dureza.

II Impregnación a un vacío de 17 mm Hg y Temperatura ambiente, polimerizando por el método de Irradiación Gamma Catalítico.

Monómero	M.M.A.	E/AN
Madera		
CHACA	X X X X	X X X X
CAOBA	X X X X	X X X X
PINO BLANCO	X X X X	X X X X

X : Probeta esférica.

Nota.- Se utilizaron dos probetas para determinar dureza y dos para determinar permeabilidad.

En todos los casos se determinaron los valores de las propiedades con muestras testigo.

III Impregnación con un vacío de 10^{-3} mm Hg, llevando la polimerización por el método de Irradiación Gamma Catalítico.

Monómero	M.M.A.	E/AN
Madera		
CHACA	X X	X X
CAOBA	X X	X X
PINO BLANCO	X X	X X

X : Probeta esférica.

IV Impregnación Seleccionada y llevando la polimerización por el método Térmico Catalítico.

Monómero	M.M.A.	E/AN
Madera		
CHACA	W	W
CAOBA	W	W
PINO BLANCO	W	W

W : 6 Probetas cilíndricas, 3 placas y 3 esferas.

V Impregnación Seleccionada, llevando a cabo la polimerización por el método Gamma Catalítico.

Monómero	M.M.A.	E/AN
Madera		
CHACA	Z	Z
CAOBA	Z	Z
PINO BLANCO	Z	Z

Z : 6 cilindros y 3 placas.

4.3 Selección y Descripción del Equipo

4.3.1 Para trazar las curvas de impregnación a presión atmosférica y temperatura ambiente, se hizo necesaria la generación de datos de incrementos de peso obtenidos durante un lapso determinado de tiempo, para ello se hizo uso del equipo que se muestra en la figura 1.

El equipo consta de las siguientes partes:

- A.- Balanza Analítica Mettler.
- B.- Soporte para la balanza.
- C.- Alambre de acero.
- D.- Pesa de plomo.
- E.- Recipiente de impregnación.

4.3.2 Para efectuar la impregnación en vacío con una posterior aplicación de presión, el equipo que se utilizó, se muestra en la figura 2.

- A.- Bomba de vacío.
- B.- Manómetro.
- C.- Recipiente de Impregnación.
- D.- Embudo de Separación.
- E.- Trampa de vapor.
- F.- Pesa de plomo.

4.3.3 El aparato que se dispuso para efectuar la polimerización vía irradiación gamma fue el Gamma Cell 200, que proporciona un campo de irradiación hasta de 6×10^5 roentgens/hora, por medio de una fuente anular de Cobalto⁶⁰ de un Kilo Curie, instalado permanentemente dentro de un receptor. El Gamma Cell 200 está provisto de una cámara con una caja receptora que contiene la muestra. Esta cámara es accion

SISTEMA DE IMPREGNACION

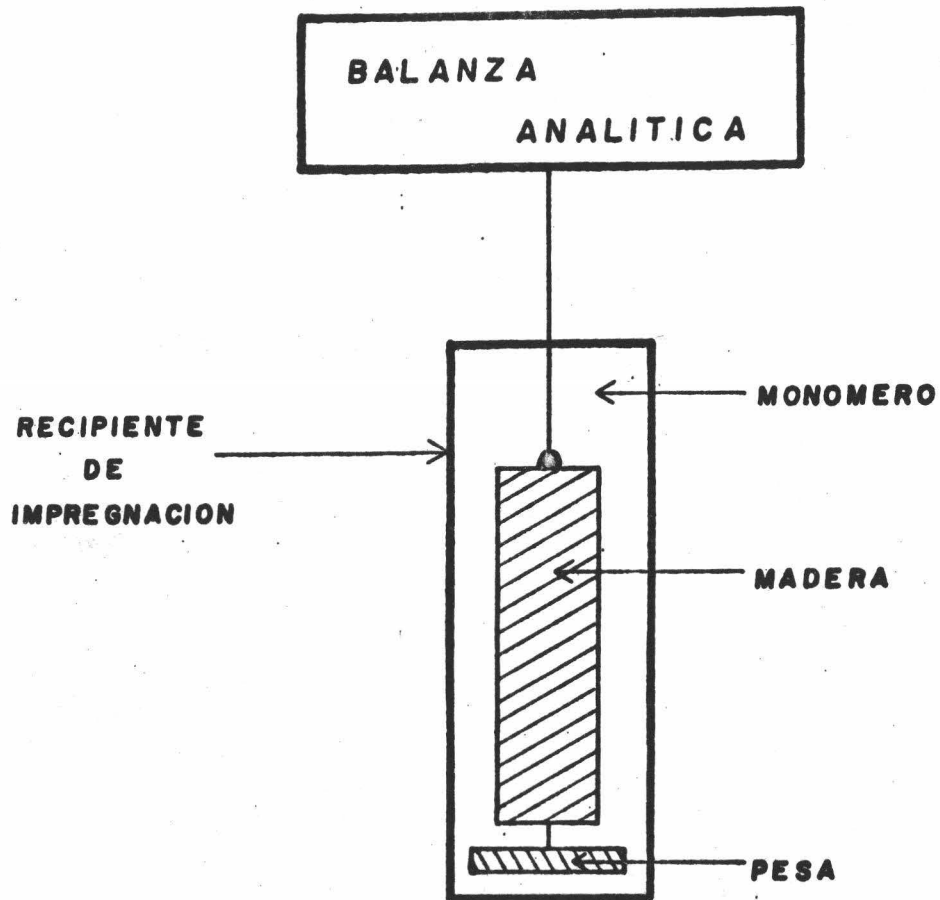


FIG. - 1

SISTEMA DE IMPREGNACION

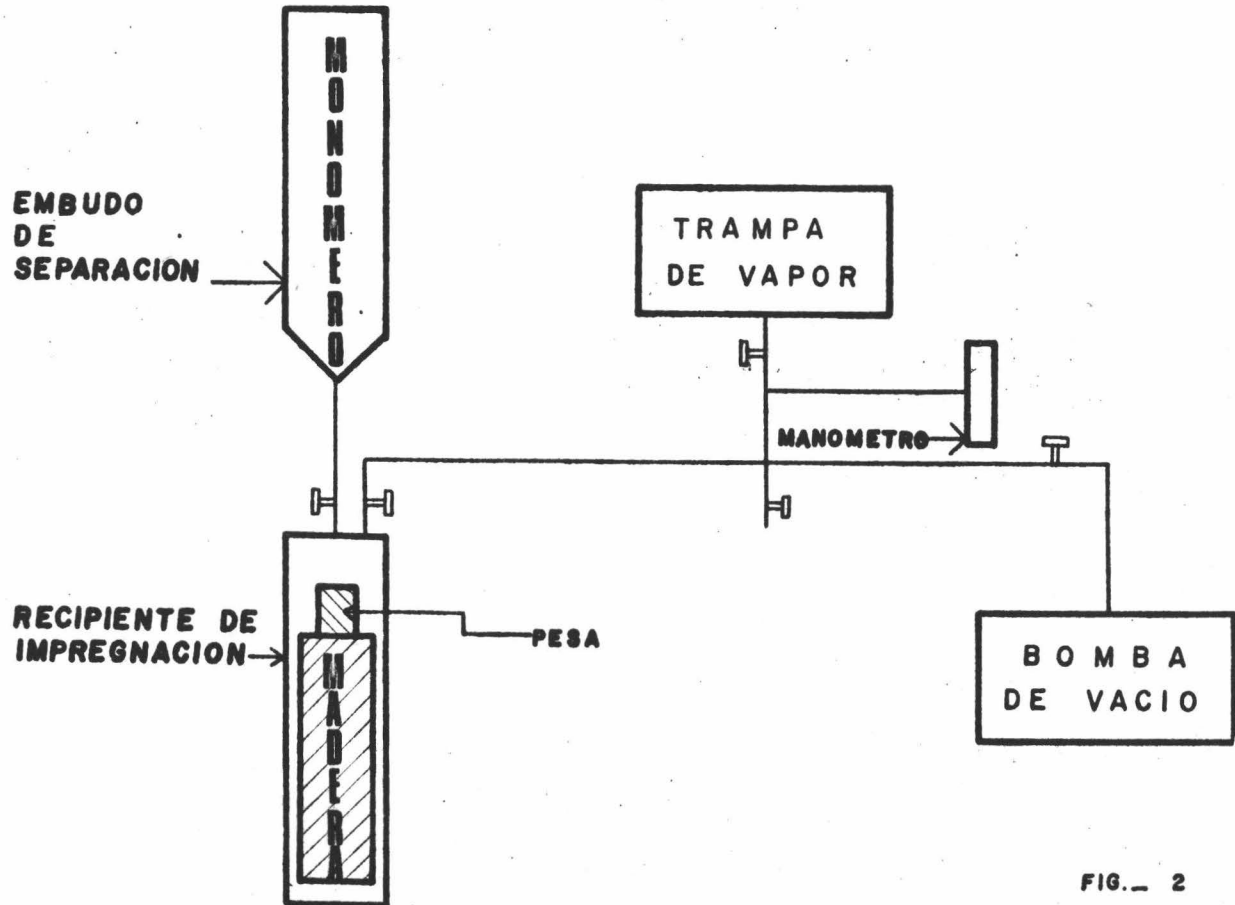
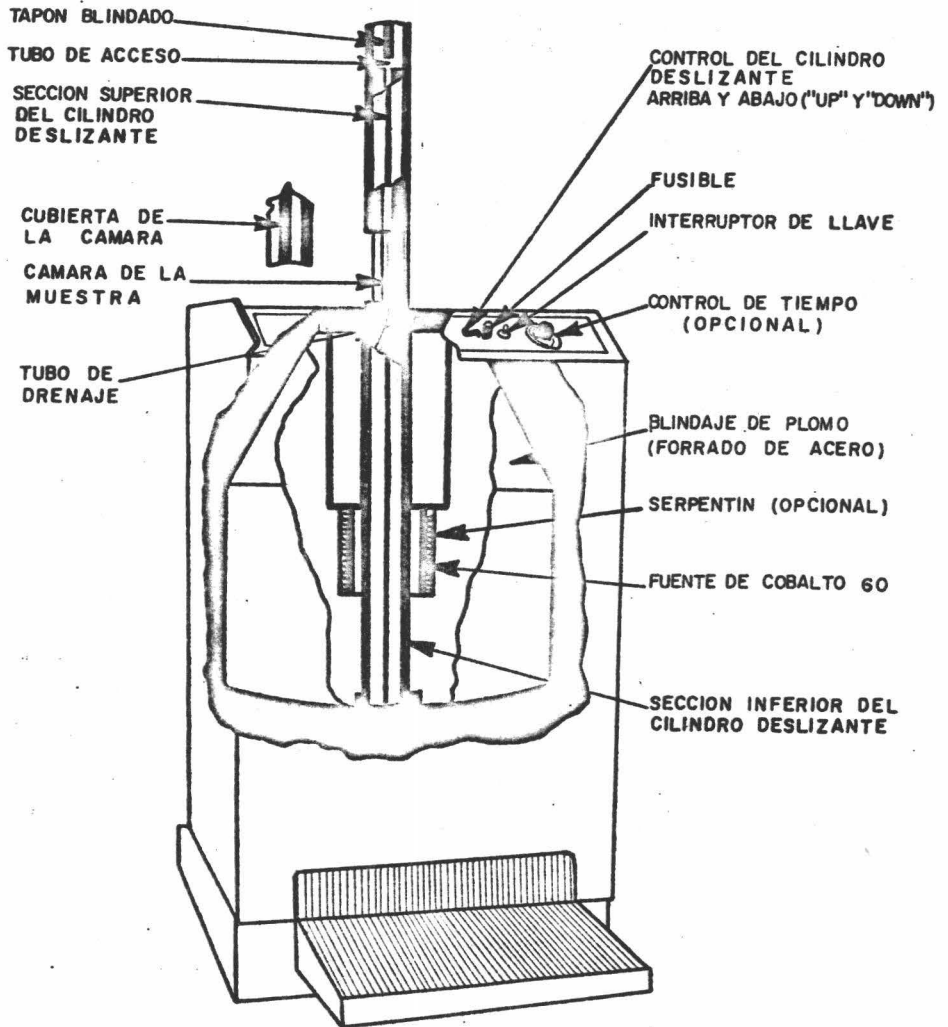


FIG. - 2

nada verticalmente dentro y fuera de la fuente y el blindaje, por medio de un sistema mecánico, cuando dicho cilindro deslizante se eleva a su posición máxima, la cámara de la muestra sale fuera del blindaje, donde puede colocarse la muestra sin peligro, puesto que se encuentra fuera de la zona de irradiación. Para irradiar la muestra se hace descender el cilindro deslizante hasta que la muestra se sitúe automáticamente dentro de la fuente de Cobalto. El Gamma Cell se puede operar con seguridad y eficiencia debido a su funcionamiento a base de botones y control automático de tiempo. La fuente de Cobalto, situada en posición fija, es inaccesible al personal que maneja el aparato, no hay posibilidad de quedar expuesto a la fuente debido a un mal funcionamiento. El diseño del equipo asegura que siempre que se tenga un blindaje adecuado se permite un acceso seguro, sin importar que la cámara esté en posición de carga o de irradiación. Las partes principales del Gamma Cell 200 son las siguientes:

- A.- Tapón blindado.
- B.- Tubo de acceso.
- C.- Cilindro deslizante.
- D.- Cámara de muestra.
- E.- Cubierta de la cámara.
- F.- Tubo de drenaje.
- G.- Control de cilindro deslizante.
- H.- Fusible.
- I.- Interruptor de llave.
- J.- Control de tiempo.
- K.- Blindaje de plomo.



GAMMA CELL 200

FIG. 3

L.- Serpentín.

M.- Fuente de Cobalto.

4.4 Procedimiento de Operación

El proceso para obtener madera reforzada con polímero puede indicarse en cuatro etapas:

4.4.1 Secado de la madera

4.4.2 Preparación del monómero

4.4.3 Fase de impregnación

4.4.4 Fase de polimerización

4.4.1 Secado de la madera

Las probetas de madera fueron secadas en una estufa a 105°C durante 24 horas, una vez transcurrido este tiempo se trasladaron a un desecador conteniendo cloruro de Calcio anhidro hasta que las probetas alcanzaron la temperatura ambiente, después se pesaron y se repitió la operación hasta tener a peso constante todas las probetas. Esta operación fue realizada con las tres clases de madera, chacá, caoba y pino blanco.

4.4.2 Preparación del monómero

Los monómeros se utilizaron como fueron recibidos del proveedor en cuanto a inhibidor se refiere los cuales dieron a conocer los siguientes datos para sus productos:

M.M.A.	Inhibidor	Hidroquinona	6 ppm.
Estireno	Inhibidor	Hidroquinona	6 ppm.

Acrilo Nitrilo Inhibidor Metil etil hidroquinona 35 ppm.

A los monómeros se les agregó peróxido de benzoílo como catalizador, 0.5% en peso para el M.M.A. y 0.8% en peso para la mezcla Estireno-Acrilo nitrilo.

4.4.3 Fase de Impregnación

Este renglón se divide en dos partes, la primera sirvió como un experimento que daría a conocer la rapidez de difusión del monómero en la madera a presión atmosférica y una temperatura de alrededor de 20°C, todo ello con el objeto de que mediante la evaluación de este parámetro se pudieran hacer ulteriores impregnaciones en mayor escala, aprovechando además estas probetas esféricas para obtener perfiles de penetración del monómero, dureza y porciento de absorción de agua en 24 horas.

La segunda parte, se refiere a la impregnación de las probetas que servirían para evaluar las propiedades de resistencia a la abrasión, resistencia a la tensión y resistencia a la compresión.

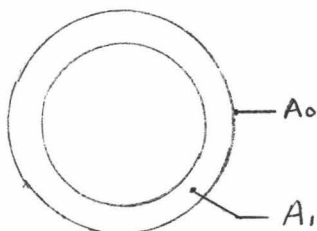
4.4.3.1 Valor medio de la rapidez de difusión

Para obtener el valor medio de la rapidez de difusión se hizo necesaria la determinación de la pendiente dada por el incremento de peso entre el tiempo transcurrido para impregnar un área determinada.

Se tiene la ecuación:

$$R.D = \frac{l}{\Delta A} \cdot \frac{m}{\Delta \theta} = \frac{l}{\Delta A} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta \theta}$$

PROBETA ESFERICA



ΔA = Incremento de área impregnada

$$\Delta A = A_0 - A_1$$

$$A = 4\pi r^2$$

$$A_1 = 4\pi (r - dr)^2$$

Siendo r un valor conocido y pudiendo dar diferentes dr , pueden obtenerse los valores de A .

Δp = Incremento de peso.

Θ = Incremento de tiempo.

Sustituyendo estos valores en la ecuación pueden obtenerse, los valores de la rapidez de difusión. Tabla 5.7

Para la generación de los datos se eligieron probetas esféricas de 5.6 cm. de diámetro lo que representa un área de impregnación de 100 cm^2 .

Estas probetas fueron impregnadas unas con metacrilato de metilo y otras con estireno-acrilo nitrilo 60:40% en peso siguiendo el diseño de experimentos antes descrito, la impregnación a presión atmosférica y temperatura ambiente fue llevada de la siguiente manera:

Las muestras previamente puestas a peso constante fueron suspendidas de la parte inferior del platillo de una balanza analítica que para tal efecto tiene un orificio en la parte inferior de su cuerpo, la aproximación de la lectura es de ± 0.01 gramos. Las muestras fueron sumergidas en un recipiente conteniendo el monómero seleccionado con el catalizador correspondiente. El equipo empleado se muestra en la

figura 1.

La ganancia en peso de la muestra fue graficada en función del tiempo como se observa en las gráficas 1 a 6. Una vez que el incremento de peso fue muy pequeño con respecto al tiempo transcurrido, se retiró la probeta del monómero y se envolvió en papel aluminio, colocándose en una bolsa de polietileno que se llenaba con Nitrógeno y se cerraba. Posteriormente se colocaba la bolsa en hielo para evitar que el monómero se evaporara, en tanto que se llevaba a la cámara de polimerización del Gamma Cell 200.

4.4.3.2 Determinación de las potencias de impregnación

Para el cálculo de las potencias de impregnación se tiene:

Potencia de Impregnación.- Trabajo realizado por unidad de tiempo para incorporar un volumen determinado de polímero en el material, bajo una presión de operación.

La Potencia de Impregnación pudo determinarse puesto que se conocían los datos de:

Presión de operación	Kg/cm^2
Cantidad de polímero incorporado en la madera	g
Densidad del monómero	g/cm^3
Tiempo necesario para incorporar en la madera dicha cantidad de polímero	hr.

Potencia de Impregnación : $\frac{\text{Kg cm}}{\text{seg}}$

Haciendo la sustitución de las variables en la ecuación queda la siguiente:

$$\frac{\text{Kg/cm}^2 \times \text{g/seg}}{\text{g/cm}^3} \quad \frac{\text{Kg cm}}{\text{seg}}$$

Tabla 5.7

4.4.4 Fase de polimerización

La fase de polimerización se realizó usando dos métodos la primera induciéndola por irradiación gamma usando un catalizador y la segunda por medio de temperatura y un catalizador.

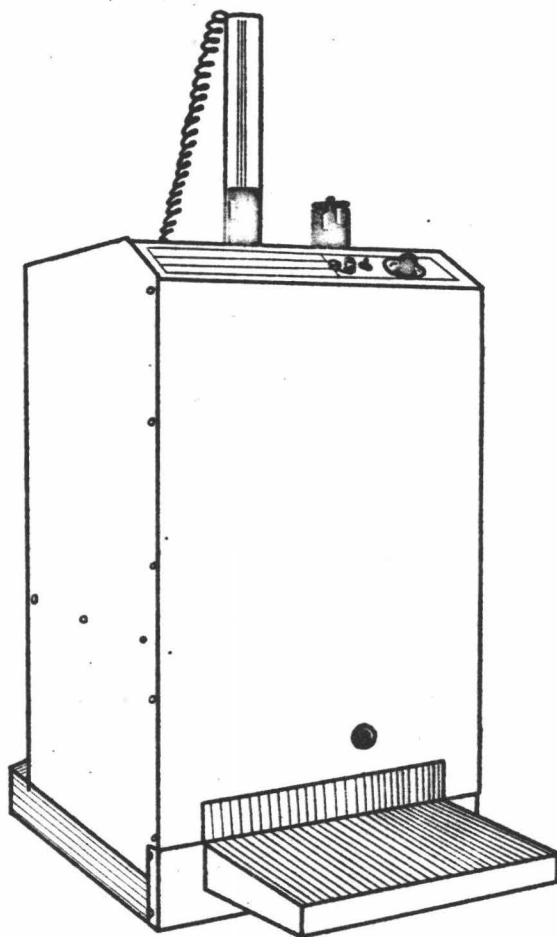
La polimerización por irradiación gamma se llevó a cabo en un equipo Gamma Cell 200 de la siguiente manera:

4.4.4.1 Se lleva el Gamma Cell 200 a la posición para colocar la muestra (fig. 4).

4.4.4.2 El Gamma Cell 200 se lleva a su posición normal nuevamente (fig. 5).

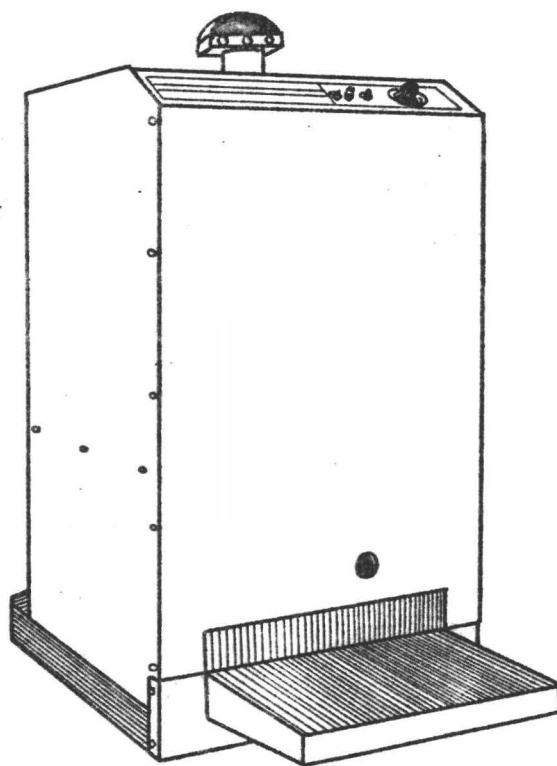
El tiempo de residencia de la muestra en la cámara de irradiación fue determinado por dos factores, el primero, la dosis de radiación total necesaria para una polimerización tal que la muestra tratada no mostrara variación en peso. La velocidad de dosis con que se contaba era de 0.351 Megarads/hora.

GAMMA CELL 200



Posición para colocar la muestra

GAMMA CELL 200



Posición normal

Se han encontrado datos (4) de varias dosis de radiación total con las que se obtiene un material que no varía en peso.

Para el monómero de Metacrilato de Metilo:

Razón de dosis	Dosis total
0.04 Megarads/hr.	1.00 Megarad
0.11 "	1.00 "
0.45 "	1.60 "
0.82 "	1.90 "

Para el sistema Estireno/Acrilonitrilo:

Razón de dosis	Dosis total
0.40 Megarads/hr	2.20 Megarad
0.11 "	2.70 "
0.43 "	4.10 "
0.82 "	5.10 "

Con la razón de dosis de radiación y la dosis total en cada caso se calculó el tiempo de residencia adecuado para la polimerización del monómero en el Gamma Cell 200, siendo de 5 horas para el Metacrilato de Metilo y 12 horas para el sistema Acrilonitrilo Estireno.

Para el caso de la polimerización por el método térmico catalítico, las muestras listas para polimerizarse se introdujeron a una estufa que mantuvo una temperatura de 68°C para el M.M.A. durante 7 horas y de 70°C para el E/AN durante 10 horas. Logrando de esta manera obtener un material que ya no variaba en peso.

5. RESULTADOS

5.1 Dureza

En la prueba correspondiente a la dureza Brinell se encontraron los siguientes valores promedio:

MADERA	MONOMERO	TIPO DE POLIMERI ZACION	DUREZA BRINELL Kg./cm. ²	
CHACA			213	
		M.M.A.	T.C.	1060
			G.C.	2360
	E/AN.	T.C.	768	
		G.C.	762	
	CAOBA			536
M.M.A.			T.C.	950
			G.C.	1077
E/AN.		T.C.	608	
		G.C.	560	
PINO BLANCO				515
	M.M.A.		T.C.	1320
			G.C.	1176
	E/AN.	T.C.	900	
		G.C.	983	

M.M.A. Metacrilato de metilo

E/AN. Estireno Acrilonitrilo

T.C. Térmico Catalítico

G.C. Gamma Catalítico

5.2 Resistencia a la Tensión

En la prueba correspondiente a la resistencia a la tensión se encontraron los siguientes valores promedio:

MADERA	MONOMERO	TIPO DE POLIMERI ZACION	RESISTENCIA A LA TENSION PARALELA A LA VETA Kg/cm ²	
CHACA	M.M.A.	T.C.	23	
		G.C.	70	
	E/AN.	T.C.	97	
		G.C.	62	
	CAOBA	M.M.A.	T.C.	69
			G.C.	42
E/AN.		T.C.	37	
		G.C.	38	
PINO BLANCO		M.M.A.	T.C.	34
			G.C.	37
	E/AN.	T.C.	33	
		G.C.	62	
			T.C.	69
			G.C.	45
		T.C.	50	
		G.C.		

M.N.A.	Metacrilato de Metilo
E/AN.	Estireno Acrilonitrilo
T.C.	Térmico catalítico
G.C.	Gamma Catalítico

5.3 Resistencia a la Compresión

MADERA	MONOMERO	TIPO DE POLIMERI ZACION	RESISTENCIA A LA COMP. PARALELA A LA VETA Kg./cm. ²
CHACA			224
	M.N.A.	T.C.	545
		G.C.	605
	E/AN.	T.C.	333
		G.C.	476
CAOBA			546
	M.M.A.	T.C.	624
		G.C.	686
	E/AN.	T.C.	400
		G.C.	656
PINO BLANCO			424
	M.M.A.	T.C.	963
		G.C.	1022
	E/AN.	T.C.	804
		G.C.	935

M.M.A. Metacrilato de Metilo
E/AN. Estireno Acrilonitrilo
T.C. Térmico catalítico
G.C. Gamma catalítico

5.4 Resistencia a la Abrasión

En la prueba correspondiente a resistencia a la abrasión se encontraron los siguientes valores promedio:

MADERA	MONOMERO	TIPO DE POLIMERI ZACION	INDICE DE ABRASION %
CHACA	M.M.A.	T.C.	100
		G.C.	205
	E/AN.	T.C.	218
		G.C.	194
CAOBA	M.M.A.	T.C.	258
		G.C.	100
	E/AN.	T.C.	50.2
		G.C.	91.5
PINO BLANCO	M.M.A.	T.C.	83.4
		G.C.	144
	E/AN.	T.C.	100
		G.C.	169
		T.C.	183
		G.C.	200
		T.C.	310
		G.C.	

M.M.A. Metacrilato de Metilo

E/AN. Estireno acrilonitrilo 60:40

T.C. Térmico catalítico

G.C. Gamma Catalítico

5.5 Absorción de Agua en 24 Hs.

En la prueba correspondiente al porciento de absorción de Agua en 24 Hs. se encontraron los siguientes valores promedio:

MADERA	MONOMERO	TIPO DE POLIMERI ZACION	% DE ABSORCION DE AGUA EN 24 HS.
CHACA			44
	M.M.A.	T.C.	5.60
		G.C.	4.02
	E/AN.	T.C.	12.50
		G.C.	10.90
CAOBA			44.00
	M.M.A.	T.C.	4.90
		G.C.	3.42
	E/AN.	T.C.	10.80
		G.C.	9.50
PINO BLANCO			52.00
	M.M.A.	T.C.	4.07
		G.C.	2.70
	E/AN.	T.C.	10.40
		G.C.	8.00

M.M.A.	Metacrilato de Metilo
E/AN.	Estireno Acrilonitrilo
T.C.	Térmico Catalítico
G.C.	Gamma Catalítico

5.6 Observaciones Realizadas en los Intersticios de las Maderas

En este punto las observaciones realizadas en los intersticios de las maderas fueron logradas mediante una serie de fotografías que fueron tomadas a diferentes aumentos, que variaban desde 21 hasta 2.3×10^3 aumentos.

Esto permitió la observación parcial del polímero dentro de los intersticios de la madera, los intersticios que no habían sido ocupados por el polímero y las microfroturas que se presentaban en éste, dichas fotografías fueron captadas por un microscopio electrónico de barrido.

A continuación se presenta un arreglo matricial para la identificación de dichas fotografías.

5.6.1 Polimerización vía Irradiación Gamma Catalítico

MADERA	POLIMERO	
	M.M.A.	E/AN
CAOBA	1	2
PINO BLANCO	3	4
CHACA	5	6

M.M.A. Metacrilato de Metilo

E/AN Estireno/Acrilonitrilo

5.6.2 Polimerización vía Temperatura y Catalizador

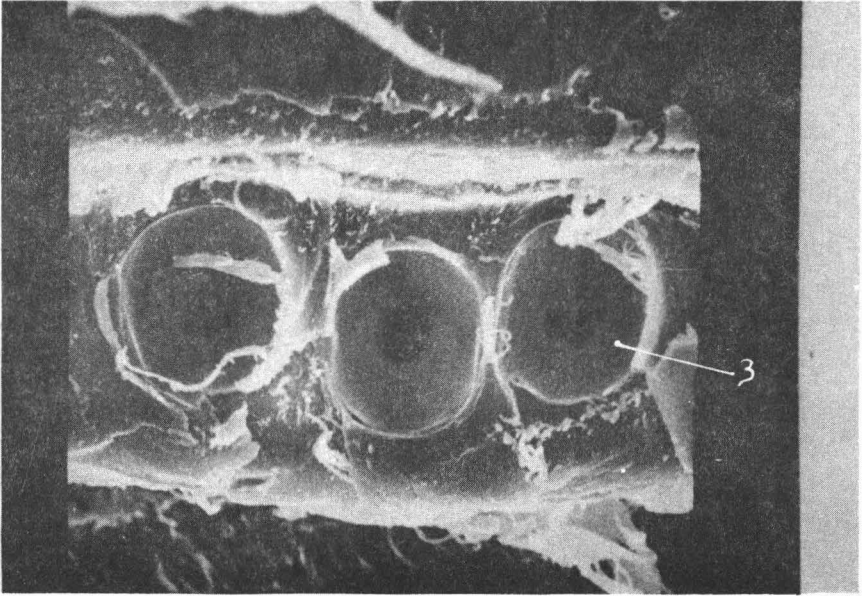
MADERA	POLIMERO	
	M.M.A.	E/AN
CAOBA	7	8
PINO BLANCO	9	10
CHACA	11	12

M.M.A. Metacrilato de Metilo

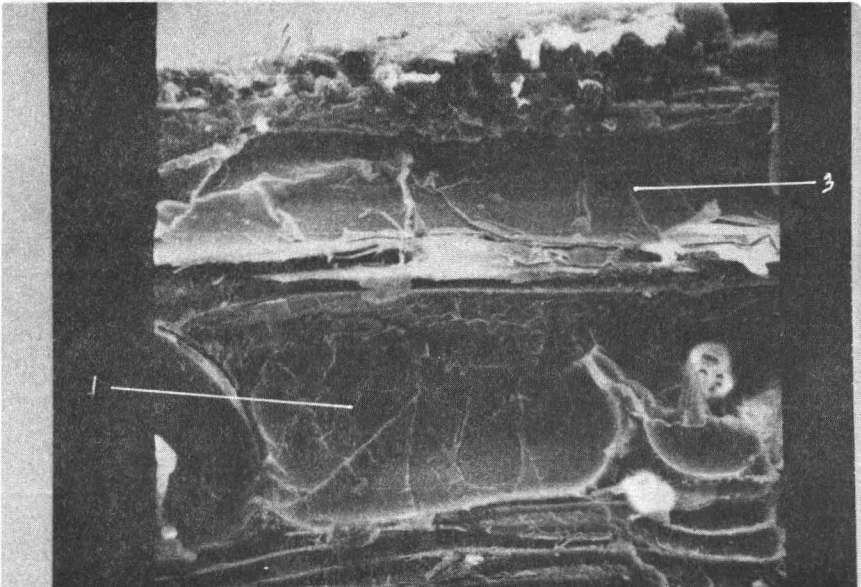
E/AN Estireno/Acrilonitrilo

5.6.3. Clave para la interpretación de las fotografías:

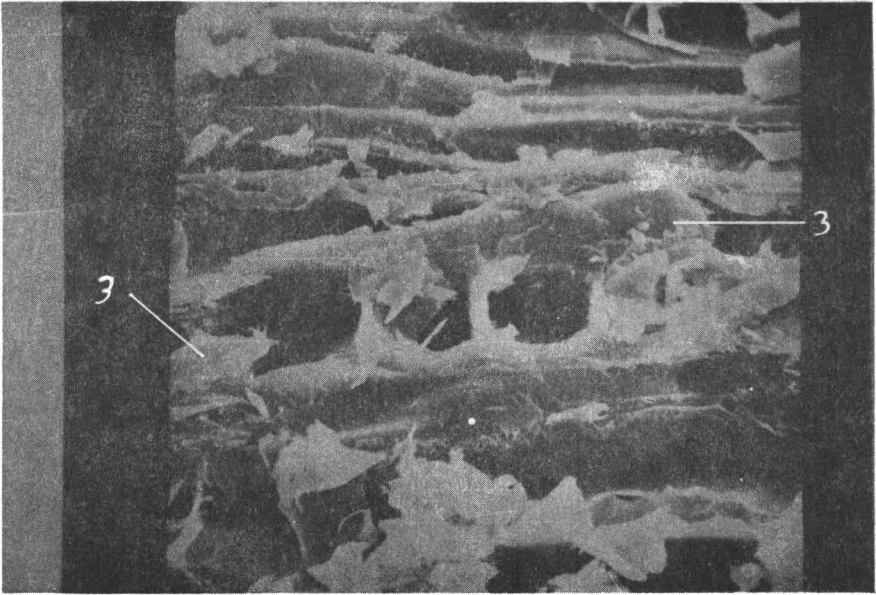
Microfractura	1
Espacio o Intersticio Vacío	2
Polímero Depositado	3



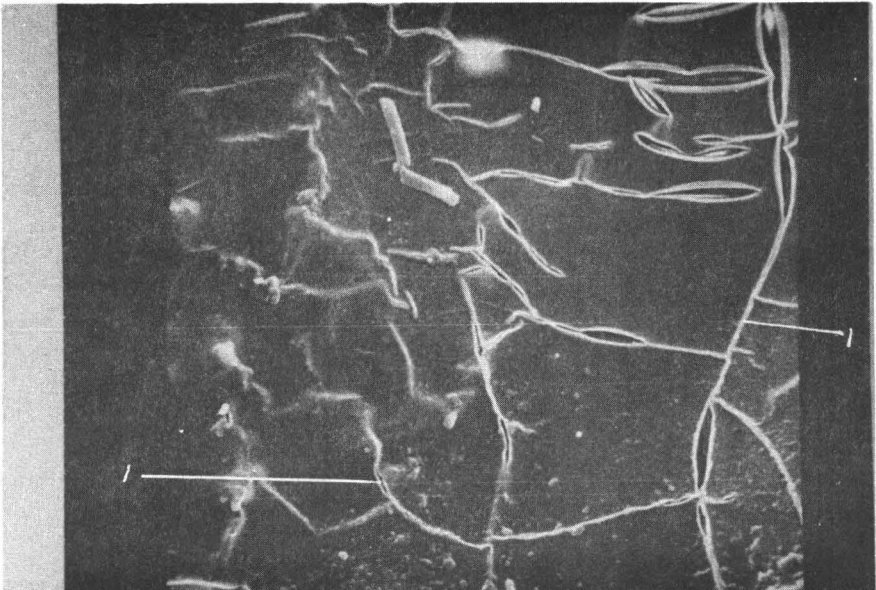
Fotografía 1 1100 Aumentos



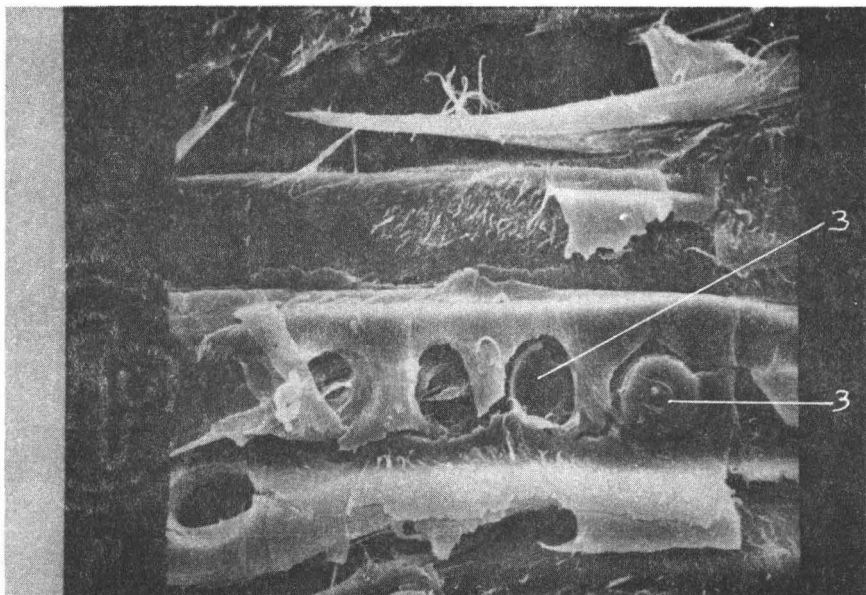
Fotografía 2 210 Aumentos



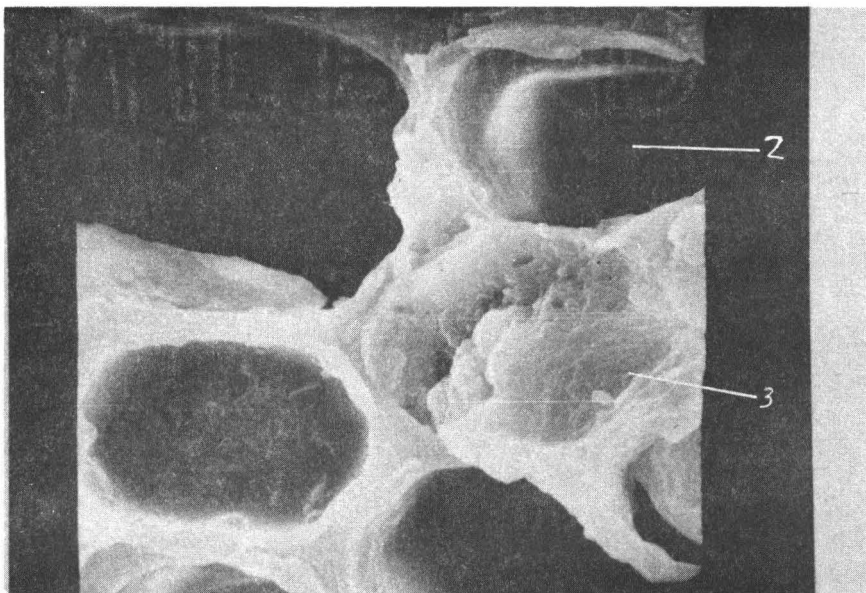
Fotografía 3 210 Aumentos



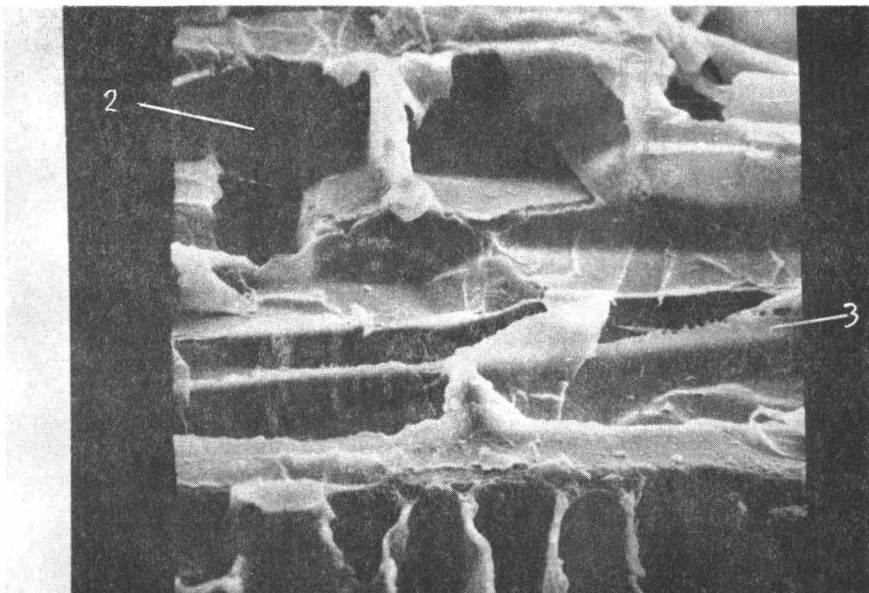
Fotografía 4 . 560 Aumentos



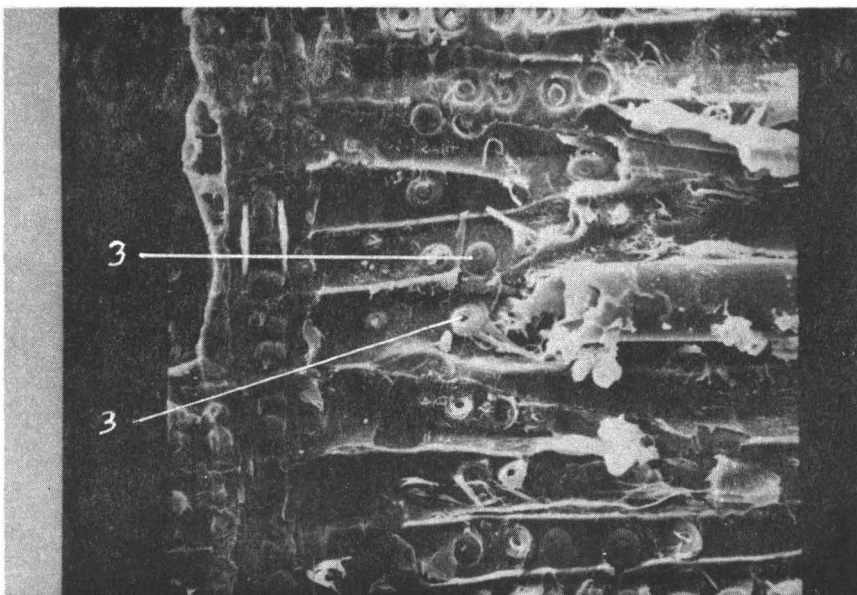
Fotografía 5 510 Aumentos



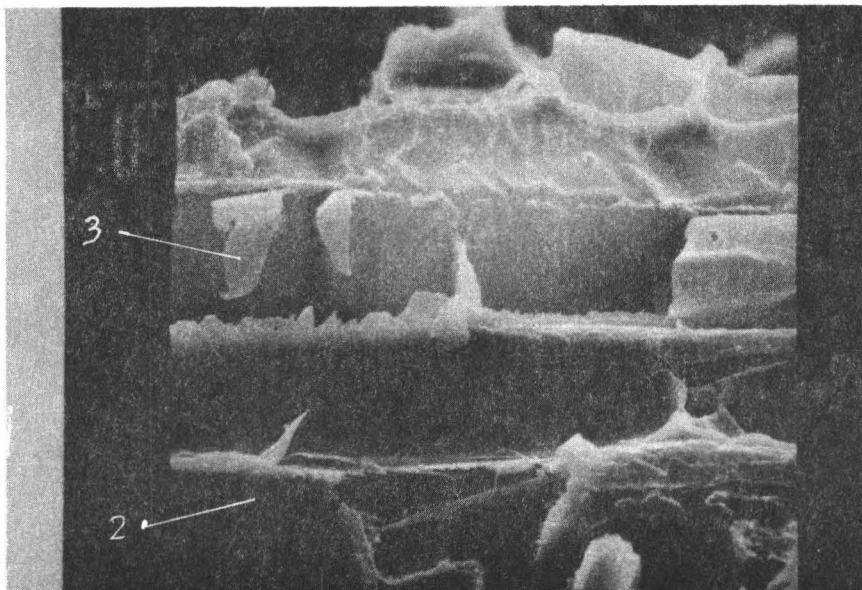
Fotografía 6 2100 Aumentos



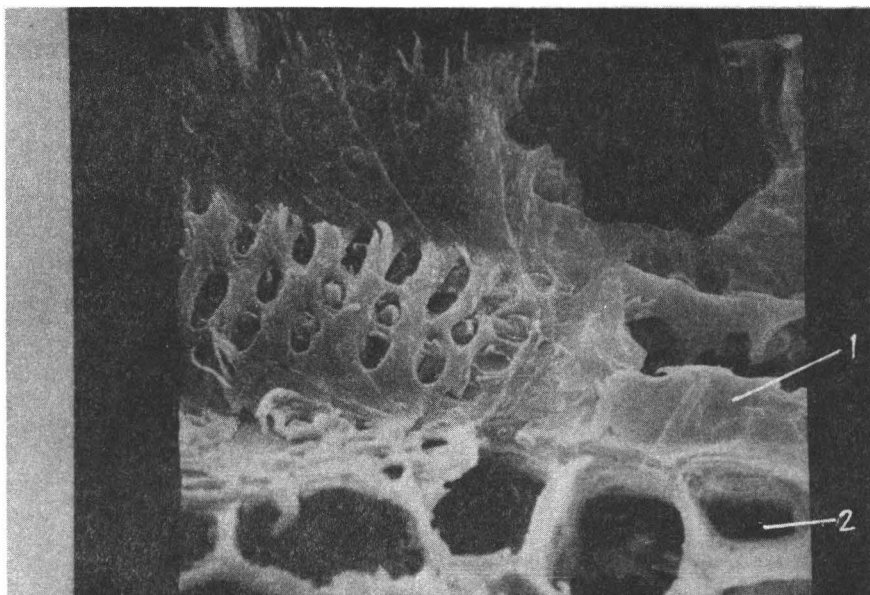
Fotografía 7 550 Aumentos



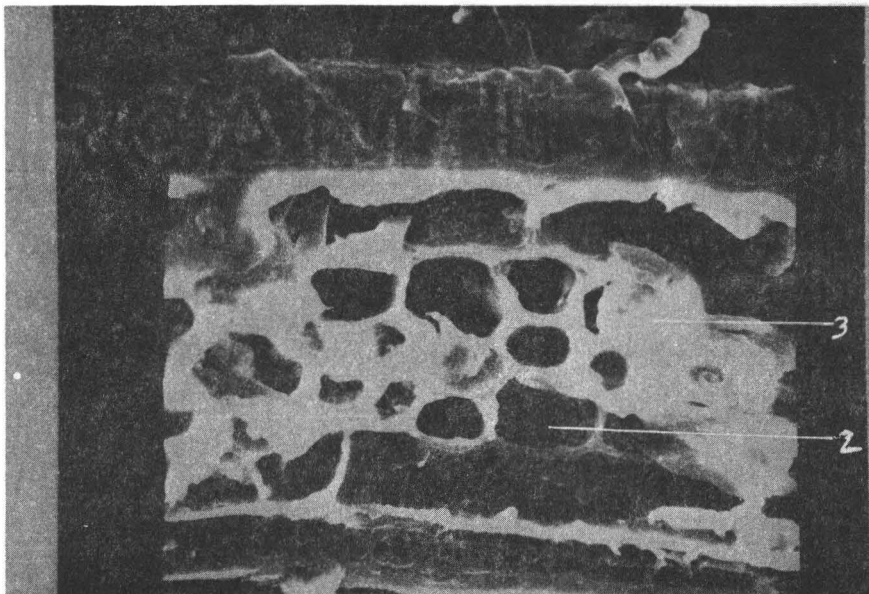
Fotografía 8 240 Aumentos



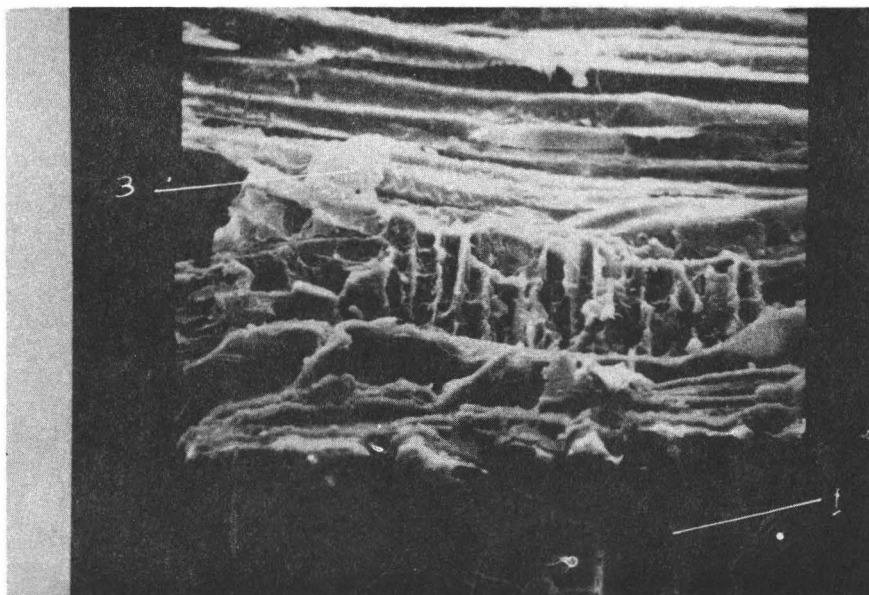
Fotografía 9 480 Aumentos



Fotografía 10 560 Aumentos



Fotografía 11 800 Aumentos



Fotografía 12 420 Aumentos

5.7 Rapidez de Difusión

Madera	Monómero	Radio probeta cm	P gramos	$\rho \frac{g}{cm^3}$	dr cm	Ao cm ²	Ai cm ²	A cm ²	días	$\frac{g}{cm^2 \text{ día}}$	$\frac{g}{cm^2 \text{ hr.}}$
										R.D.	R.D.
CHACA	M.M.A.	2.72	39.39	0.95	0.4467	92.92	65.17	27.75	2	0.7090	0.0295
			84.33		0.9563	65.17	39.18	21.99	9	0.4260	0.0177
			93.96		1.0600	39.18	34.42	4.76	19	1.0300	0.0429
	E/AN	2.75	55.45	0.87	0.6700	94.98	52.11	42.07	2	0.6590	0.0274
			77.03		0.9321	52.11	41.48	10.63	8	0.9050	0.0377
			87.90		1.0600	41.48	35.84	5.64	18	0.8600	0.0358
CAOBA	M.M.A.	2.75	53.96	0.95	0.5910	94.98	58.52	36.46	2	0.7310	0.0304
			60.79		0.6681	58.52	54.41	4.11	6	2.4600	0.1025
			65.20		0.7225	54.41	51.6	2.81	12	1.9300	0.0804
	E/AN	2.72	40.47	0.87	0.5010	92.92	61.83	31.09	2	0.6500	0.0270
			43.90		0.5430	61.83	59.51	2.32	6	3.1500	0.1312
			46.08		0.5700	50.51	58.04	1.47	12	2.6100	0.1087
PINO BLANCO	M.M.A.	2.70	47.37	0.95	0.5440	91.56	58.36	33.20	2	0.7100	0.0295
			93.09		1.0700	58.36	33.23	25.03	8	0.4100	0.0187
			99.45		1.1400	33.23	30.53	2.70	14	2.6300	0.1095
	E/AN	2.65	62.48	0.87	0.8100	88.20	42.50	45.70	2	0.6830	0.0284
			70.97		0.9200	42.50	37.57	4.93	8	1.7900	0.0745
			79.45		1.0300	37.57	32.93	4.64	16	1.0700	0.0445

P Incremento de peso en gramos

dr Incremento de la distancia radial

 ρ Densidad del Monómero

R.D. Rapidez de difusión

Ao Area Externa de la Probeta (Esfera)

Ai Area Interna de la Probeta (Esfera)

A Incremento de área impregnada

6. CONCLUSIONES

6.1 Selección del Método de Impregnación

El método de impregnación seleccionado, es el que opera con un vacío de 17 mm Hg, debido a que presentó un porcentaje de incorporación de polímero en la madera, que variaba de un 60 a un 90 por ciento, el cual fue necesario para incrementar la dureza de las maderas al doble y su permeabilidad disminuirla seis veces con respecto a sus propiedades originales (gráficas 10-15).

6.2 Comparación de los Métodos de Polimerización

El método de polimerización gamma catalítico brindó un incremento en las propiedades físicas de las maderas reforzadas con polímeros de un 20 a un 25 por ciento en promedio superior al método de polimerización térmico-catalítico.

En el método de polimerización gamma-catalítico, las pérdidas por evaporación de monómero no son sustanciales si se aplica una razón de dosis, de tal manera que la polimerización se lleve a cabo logrando que la mayor parte del monómero se polimerice permaneciendo en los intersticios de la madera.

Este método de polimerización se podrá estudiar más ampliamente, en el Gamma Bean que permite variar la dosis de radiación. Además este método presenta ventajas sobre el método térmico catalítico ya que en algunos casos es riesgoso utilizar una estufa para polimerizar mo-

números, tales como el Acrilo Nitrilo, cuyos gases son inflamables y en altas concentraciones suelen ser explosivos y tóxicos.

6.3 Determinación de Potencia de Impregnación

Se determinaron las potencias de impregnación, en cada uno de los métodos para impregnar la madera, en los cuales arrojaron valores desde 0.05 a 2.10 Kg-cm/hr, valores que fueron suficientes para inferir a las maderas tratadas, las propiedades deseadas, aunque la cantidad de monómero incorporado en ocasiones fue elevado.

6.4 La rapidez de difusión del monómero en la madera

En la determinación del parámetro de rapidez de difusión se encontraron valores en un 40 por ciento menores para el Acrilo-Nitrilo comparadas con el Metacrilato de Metilo que anduvieron alrededor de 1.0 a 2.0 g/cm² día, siendo mayores para la caoba, siguiendo el chacá y finalmente el pino blanco. Estos valores de rapidez de difusión del monómero en la madera da una idea de los tiempos de residencia necesarios para lograr incorporar monómero a la madera en la cantidad necesaria.

6.5 Dureza

Esta propiedad fue incrementada al doble de su valor original, en promedio (gráficas 10-13).

6.6 Resistencia a la Tensión

Esta propiedad fue incrementada al doble con respecto a la Resistencia a la Tensión original, en promedio, como se puede apreciar (gráficas 20 y 21).

6.7 Resistencia a la Compresión

Esta propiedad fue incrementada al doble, respecto a la Resistencia a la Compresión original en promedio (gráficas 18 y 19).

6.8 Absorción de Agua en 24 horas

Esta propiedad fue disminuída seis veces respecto al porciento de absorción de agua original (gráficas 22-27).

6.9 Resistencia a la Abrasión

Esta propiedad fue incrementada al doble de la Resistencia a la Abrasión original en promedio (gráficas 28 y 29).

6.10 Proyecciones al Futuro

En base a los resultados obtenidos, se piensa que podría realizarse un trabajo teniendo como objetivo, el análisis económico del producto terminado, buscando el punto en el cual se obtenga el mínimo de polímero incorporado en la madera, y la máxima propiedad, logrando con esto evitar un exceso de polímero que posiblemente ya no incrementara en forma significativa las propiedades físicas de la madera. Este estu

dio servirá para obtener un índice que marque la situación, que tendría la madera reforzada con polímero en el mercado de consumo.

7. APENDICE *

* Los resultados reportados en las siguientes Tablas y Gráficas son valores promedio por propiedad.

TABLA No. 1

DATOS DE INCREMENTO DE PESO POR
INCORPORACION DE M.M.A. AL CHACA
CON RESPECTO AL TIEMPO

t. Días	A.P. gramos	% AP
1	33.72	0
2	39.39	16.81
3	54.01	60.17
4	63.01	86.86
5	70.21	108.21
6	74.13	119.83
7	77.84	130.08
8	83.20	146.73
9	84.33	150.08
10	87.34	159.01
11	88.22	161.62
12	90.03	166.99
13	91.17	170.37
14	91.80	172.24
15	92.33	173.81
16	93.00	175.80
17	93.04	175.91
18	93.11	176.12
19	93.91	178.49
20	93.95	178.50
21	93.99	178.60

M.M.A. Metacrilato de metilo

TABLA No. 2

DATOS DE INCREMENTO DE PESO POR
INCORPORACION DE E/AN AL CHACA
CON RESPECTO AL TIEMPO

t. Días	A.P. gramos	% AP
1	33.25	0
2	55.45	66.76
3	61.52	85.02
4	65.5	96.99
5	70.00	110.52
6	72.06	116.72
7	74.44	123.87
8	77.03	131.66
9	80.15	141.35
10	81.22	144.27
11	83.13	150.01
12	84.17	153.14
13	85.19	156.21
14	84.02	152.69
15	86.37	159.75
16	87.07	161.86
17	87.43	162.94
18	87.90	164.43
19	87.93	164.48
20	87.96	165.00
21	88.00	165.20

E/AN Estireno/Acrilonitrilo

TABLA No. 3

DATOS DE INCREMENTO DE PESO POR
INCORPORACION DE M.M.A. A LA CAOBA
CON RESPECTO AL TIEMPO

T. Días	A.P. gramos	% AP
1	42.89	0
2	53.26	24.41
3	55.71	29.89
4	57.91	35.04
5	60.00	39.89
6	60.79	41.73
7	61.49	43.86
8	63.98	49.17
9	64.45	50.26
10	64.99	51.52
11	65.03	51.62
12	65.20	52.01
13	65.48	52.66
14	66.06	54.02
15	66.13	54.18
16	66.22	54.39

M.M.A. Metacrilato de Metilo

TABLA No. 4

DATOS DE INCREMENTO DE PESO POR
INCORPORACION DE E/AN A LA CAOBA
CON RESPECTO AL TIEMPO

T. Días	A.P. gramos	% AP
1	31.2	0
2	40.47	29.71
3	43.07	38.04
4	43.50	39.42
5	43.80	40.38
6	43.90	40.70
7	44.01	41.05
8	44.12	41.41
9	45.79	46.76
10	45.8	46.79
11	45.9	47.11
12	46.08	47.69
13	46.23	48.17
14	46.30	48.39
15	46.50	49.03
16	46.69	49.64

E/AN Estireno/Acrilonitrilo

TABLA No. 5

DATOS DE INCREMENTOS DE PESO POR
 INCORPORACION DE M.M.A. AL PINO BLANCO
 CON RESPECTO AL TIEMPO

T. Días	A.P. gramos	% AP
1	54.11	0
2	47.37	12.45
3	70.82	30.88
4	75.92	40.30
5	85.43	57.88
6	88.47	63.50
7	91.17	60.49
8	93.09	72.03
9	95.89	77.21
10	96.27	77.91
11	97.12	79.48
12	98.03	81.16
13	99.17	83.27
14	99.45	83.79
15	99.87	84.01
16	100.00	84.80
17	100.07	84.93
18	100.23	85.23
19	100.51	85.75
20	101.00	86.65
21	101.10	86.84

M.M.A. Metacrilato de Metilo

TABLA No. 6

DATOS DE INCREMENTOS DE PESO POR
INCORPORACION DE E/AN AL PINO BLANCO
CON RESPECTO AL TIEMPO

T. Días	A.P. Gramos	% AP
1	40.41	0
2	62.48	54.61
3	65.80	62.83
4	66.00	63.32
5	67.00	65.80
6	67.80	67.78
7	68.83	70.32
8	69.23	71.56
9	70.97	75.62
10	73.31	81.43
11	74.23	83.69
12	75.03	85.67
13	76.40	89.06
14	77.94	92.87
15	78.10	93.04
16	79.04	95.59
17	79.45	96.60
18	80.00	97.97
19	80.03	98.04
20	80.10	98.21
21	80.15	98.34

E/AN Estireno/Acrilonitrilo

TABLA No. 7

PERFILES DE DUREZA

MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREG- NACION	DUREZA BRINELL Kg/cm ²	+ R cm.	Ro. ** cm.	R/Ro			
CHACA	-	-	230	.50	2.72	.184			
			210	1.60		.540			
			198	2.50		.920			
	M.M.A.	I		1570	.50	2.75	.181		
				1310	1.65		.600		
				1248	2.75		1.000		
				II	2360		.70	2.75	.250
					2390		1.80	.650	
					2270		2.60	.940	
		III		1885	.82	2.65	.300		
				1870	1.60		.600		
				1960	2.30		.860		

R* Distancia de la orilla de la probeta al punto donde se efectuó la prueba.

Ro. Radio de la probeta (esfera).

I. Impregnación a presión de operación de 586 mm Hg.

II. Impregnación a una presión de operación de 17 mm Hg.

III. Impregnación a una presión de operación de 10^{-3} mm Hg.

M.M.A. Metacrilato de Metilo.

TABLA No. 8

PERFILES DE DUREZA

MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREG- NACION	DUREZA BRINELL Kg/cm ²	R [*] cm.	Ro. ^{**} cm.	R/Ro
CAOBA	-	-	500	.70	2.85	.240
			500	1.90		.670
			500	2.50		.880
	M.M.A.	I	1570	.50	2.75	.181
			1310	1.65		.600
			1248	2.75		1.000
		II	2360	.70	2.75	.250
			2390	1.80		.650
			2270	2.60		.940
		III	1885	.82	2.65	.300
			1870	1.60		.600
			1960	2.30		.860

R^{*} Distancia de la orilla de la probeta al punto donde se efectuó la prueba.

Ro. Radio de la probeta (esfera).

I. Impregnación a presión de operación de 586 mm Hg.

II. Impregnación a presión de operación de 17 mm Hg.

III. Impregnación a presión de operación de 10⁻³ mm Hg.

M.M.A. Metacrilato de Metilo.

TABLA No. 9

PERFILES DE DUREZA

MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREG- NACION	DUREZA BRINELL Kg/cm ²	R* cm.	Ro.** cm.	R/Ro	
PINO BLANCO			515	0.80	2.75	0.290	
			515	1.60		0.580	
			515	2.70		0.980	
	M.M.A.	I		2290	1.01	2.70	0.374
				1870	1.86		0.688
				2170	2.60		0.962
		II		1810	0.80	2.70	0.296
				1630	1.85		0.685
				1890	2.51		0.929
		III		1810	0.85	2.72	0.312
				1631	1.60		0.588
				1960	2.60		0.962

R* cm. Distancia de la orilla de la probeta al punto donde se efectuó la prueba.

Ro cm** Radio de la probeta (esfera)

I. Impregnación a presión de operación de 586 mm Hg.

II. Impregnación a presión de operación de 17 mm Hg.

III. Impregnación a presión de operación de 10^{-3} mm Hg.

M.M.A. Metacrilato de Metilo.

TABLA No. 10

PERFILES DE DUREZA

MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREG- NACION	DUREZA BRINELL Kg/cm ²	R* cm.	Ro cm.	R/Ro			
CHACA	-	-	230	.50	2.72	.184			
			210	1.60		.540			
			198	2.50		.920			
	E/AN	I	I	1790	.76	2.75	.276		
				1385	1.72		.625		
				820	2.65		.963		
				II	818		.78	2.75	.283
					728		1.70		.618
					741		2.63		.956
		III	III	921	.50	2.82	.177		
				825	1.60		.567		
				796	2.50		.866		

R* Distancia de la orilla de la probeta al punto donde se efectuó la prueba.

Ro. Radio de la probeta (esfera).

I. Impregnación a presión de operación de 586 mm Hg.

II. Impregnación a presión de operación de 17 mm Hg.

III. Impregnación a presión de operación de 10^{-3} mm Hg.

E/AN. Estireno/Acrilonitrilo.

TABLA No. 11

PERFILES DE DUREZA

MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREG- NACION	DUREZA BRINELL Kg/cm ²	R [*] cm.	Ro ^{**} cm.	R/Ro		
CAOBA	-	-	500	.70	2.85	.240		
			500	1.90		.670		
			560	2.50		.880		
	E/AN	I	-	610	.72	2.72	.264	
				495	1.70		.625	
				390	2.30		.845	
				591	.70		2.85	.245
				564	1.50			.596
			527	2.15	.754			
			III	592	.9	2.75	.327	
				597	1.58		.574	
				425	2.10		.763	

R^{*} Distancia de la orilla de la probeta al punto donde se efectuó la prueba.

Ro. Radio de la probeta (esfera).

I. Impregnación a presión de operación de 586 mm Hg.

II. Impregnación a presión de operación de 17 mm Hg.

III. Impregnación a presión de operación de 10^{-3} mm Hg.

E/AN. Estireno/Acrilonitrilo.

TABLA No. 12
PERFILES DE DUREZA

MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREG- NACION	DUREZA BRINELL Kg/cm ²	R [*] cm.	Ro ^{**} cm	R/Ro		
PINO BLANCO	-	-	515	0.80	2.75	0.290		
			515	1.60				
			515	2.70				
	E/AN	I	-	1060	0.60	2.65	0.266	
				715	1.30			0.490
				405	2.30			0.867
			II	1000	0.90	2.65	0.339	
				1100	1.80		0.679	
				1200	2.28		0.860	
		III	-	935	0.70	2.72	0.257	
				957	1.60		0.588	
				670	2.30		0.845	

R^{*} cm. Distancia de la orilla de la probeta al punto donde se efectuó la prueba

Ro. cm^{**} Radio de la probeta (esfera)

I. Impregnación a presión de operación de 586 mm Hg.

II. Impregnación a presión de operación de 17 mm Hg.

III. Impregnación a presión de operación de 10^{-3} mm Hg.

E/AN. Estireno/Acrilonitrilo.

TABLA No. 13

MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREG- NACION	POTENCIA DE IMPREGNACION <u>Kg-cm</u> hr.	% MONOMERO INCORPORA- DO	% DE ABSOR- CION DE AGUA EN 24 HRS.
CHACA	-	-	-	-	44.00 %
	M.M.A.	I	0.0939	170 %	4.02
		II	2.040	178	4.20
		III	1.570	176	4.30
CAOBA	-	-	-	-	44.00
	M.M.A.	I	0.0576	135	3.42
		II	1.080	95	3.10
		III	1.340	98	2.90
PINO BLANCO	-	-	-	-	52.00
	M.M.A.	I	0.0960	121	2.70
		II	1.540	81	3.84
		III	1.570	85	3.30

- I. Impregnación a presión de operación de 586 mm Hg.
- II. Impregnación a presión de operación de 17 mm Hg.
- III. Impregnación a presión de operación de 10^{-3} mm Hg.
- M.M.A. Metacrilato de Metilo.

TABLA No. 14

MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREGNACION	POTENCIA DE IMPREGNACION $\frac{\text{Kg-cm}}{\text{hr.}}$	% MONOMERO INCORPORADO	% DE ABSORCION DE AGUA EN 24 HRS.
CHACA	-	-	-	-	44.00
	E/AN	I	.084	105	11.71
		II	1.123	91	10.96
		III	1.690	100	10.01
CAOBA	-	-	-	-	44.00
		I	0.048	50	6.00
		II	0.377	27	9.50
		III	0.504	41	7.00
PINO BLANCO	-	-	-	-	52.00
		I	0.036	149	2.80
		II	1.580	56	8.00
		III	1.690	60	8.10

I. Impregnación a presión de operación de 586 mm Hg.

II. Impregnación a presión de operación de 17 mm Hg.

III. Impregnación a presión de operación de 10^{-3} mm Hg.

E/AN. Estireno/Acrilonitrilo.

TABLA No. 15

MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREGNACION	POTENCIA DE IMPREGNACION Kg/cm/hr.	TIPO DE POLIMERIZACION	DUREZA BRINELL MEDIA ² Kg/cm ²
CHACA	-	-	-	-	213
	M.M.A.	II	2.04	G.C.	2360
			1.04	T.C.	1060
CAOBA	-	-	-	-	536
	M.M.A.	II	1.06	G.C.	1077
			.87	T.C.	950
PINO BLANCO	-	-	-	-	515
	M.M.A.	II	1.58	G.C.	1176
			.88	T.C.	1320

G.C. Gamma Catalítico

T.C. Térmico Catalítico

II. Impregnación a presión de operación de 17 mm Hg.

M.M.A. Metacrilato de Metilo.

TABLA No. 16

MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREGNACION	POTENCIA DE IMPREGNACION Kg-cm/hr.	TIPO DE POLIMERIZACION	DUREZA BRINELL MEDIA ₂ Kg/cm ²
CHACA	-	-	-	-	213
	E/AN	II	1.123	G.C.	762
			1.08	T.C.	768
CAOBA	-	-	-	-	536
	E/AN	II	.377	G.C.	560
			.620	T.C.	608
PINO BLANCO	-	-	-	-	515
	E/AN	II	1.58	G.C.	983
			.72	T.C.	900

G.C. Gamma Catalítico

T.C. Térmico Catalítico

II. Impregnación a presión de operación de 17 mm Hg.

E/AN. Estireno/Acrilonitrilo.

TABLA No. 17

MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREGNACION	POTENCIA DE IMPREGNACION Kg-cm/hr.	TIPO DE POLIMERIZACION	% DE AGUA ABSORBIDA EN 24 HORAS
CHACA	-	-	-	-	44.00
	M.M.A.	II	2.04	G.C.	4.02
			1.04	T.C.	5.60
CAOBA	-	-	-	-	44.00
	M.M.A.	II	1.08	G.C.	3.42
			0.87	T.C.	4.90
PINO BLANCO	-	-	-	-	52.00
	M.M.A.	II	1.54	G.C.	8.00
			0.88	T.C.	10.40

T.C. Térmico Catalítico

G.C. Gamma Catalítico

II. Impregnación a presión de operación de 17 mm Hg.

M.M.A. Metacrilato de Metilo.

TABLA No. 18

MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREG- NACION	POTENCIA DE IMPREG- NACION Kg-cm/hr	TIPO DE POLIMERI- ZACION	% DE AGUA ABSORBIDA EN 24 HORAS
CHACA	-	-	-	-	44.00
	E/AN	II	1.123	G.C.	10.96
			1.080	T.C.	12.50
CAOBA	-	-	-	-	44.00
	E/AN	II	0.377	G.C.	9.50
			0.620	T.C.	10.80
PINO BLANCO	-	-	-	-	52.00
	E/AN	II	1.580	G.C.	8.00
			0.720	T.C.	10.40

G.C. Gamma Catalítico

T.C. Térmico Catalítico

II. Impregnación a presión de operación de 17 mm Hg.

E/AN. Estireno-Acrilonitrilo.

TABLA No. 19

MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREG- NACION	POTENCIA DE	DUREZA BRINELL
			IMPREGNACION	MEDIA
			$\frac{\text{Kg-cm}}{\text{Hr.}}$	$\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$
CHACA	-	-	-	213
	M.M.A.	I	.0939	1376
		II	2.0400	2340
		III	1.5700	1905
CAOBA	-	-	-	936
	M.M.A.	I	.0576	534
		II	1.0800	1077
		III	1.3400	941
PINO BLANCO	-	-	-	515
	M.M.A.	I	.096	2110
		II	1.5400	1776
		III	1.5700	1780

I. Impregnación a una presión de operación de 586 mm Hg.

II. Impregnación a una presión de operación de 17 mm Hg.

III. Impregnación a una presión de operación de 10^{-3} mm Hg.

M.M.A. Metacrilato de Metilo.

TABLA No. 20

MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREG- NACION	POTENCIA DE	DUREZA BRINELL
			IMPREGNACION	MEDIA
			$\frac{\text{Kg-cm}}{\text{Hr.}}$	$\frac{\text{Kg.}}{\text{cm}^2}$
CHACA	-	-	-	213
	E/AN	I	0.849	1331
		II	1.123	762
		III	1.690	847
CAOBA	-	-	-	536
	E/AN	I	.048	498
		II	.377	560
		III	.504	538
PINO BLANCO	-	-	-	515
	E/AN	I	0.036	726
		II	1.580	726
		III	1.690	854

- I. Impregnación a presión de operación de 586 mm Hg.
- II. Impregnación a presión de operación de 17 mm Hg.
- III. Impregnación a presión de operación de 10^{-3} mm Hg.
- E/AN. Estireno/Acrilonitrilo.

TABLA No. 21

MADERA	MONOMERO	+ TIPO DE IMPREGNA- CION	% DE MONOMERO INCORPORADO	RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA- LELA A LA VETA Kg/cm ²
CHACA	-	-	-	224
	M.M.A.	T.C.	187	545
		G.C.	196	605
	E/AN	T.C.	118	333
		G.C.	163	476
	CAOBA	-	-	-
M.M.A.		T.C.	18	624
		G.C.	22	686
E/AN		T.C.	22	400
		G.C.	25	656
PINO BLANCO		-	-	-
	M.M.A.	T.C.	71	963
		G.C.	82	1022
	E/AN	T.C.	49	804
		G.C.	59	935

G.C. Gamma Catalítico

T.C. Térmico Catalítico

M.M.A. Metacrilato de Metilo

E/AN. Estireno/Acrilonitrilo.

TABLA No. 22

MADERA	MONOMERO	+ TIPO DE POLIMERI- ZACION	% DE MONOMERO INCORPORADO	RESISTENCIA A LA TENSION Kg/cm ²
CHACA	-	-	-	23
	M.M.A.	T.C.	150	70
		G.C.	154	97
	E/AN	T.C.	87	62
		G.C.	128	69
	CAOBA	-	-	-
M.M.A.		T.C.	8.20	37
		G.C.	15.50	38
E/AN		T.C.	21	34
		G.C.	22	31
PINO BLANCO		-	-	-
	M.M.A.	T.C.	87	62
		G.C.	128	69
	E/AN	T.C.	30	45
		G.C.	40	50

T.C. Térmico Catalítico

G.C. Gamma Catalítico

E/AN. Estireno/Acrilonitrilo

M.M.A. Metacrilato de Metilo.

TABLA No. 23

RESISTENCIA A LA ABRASION

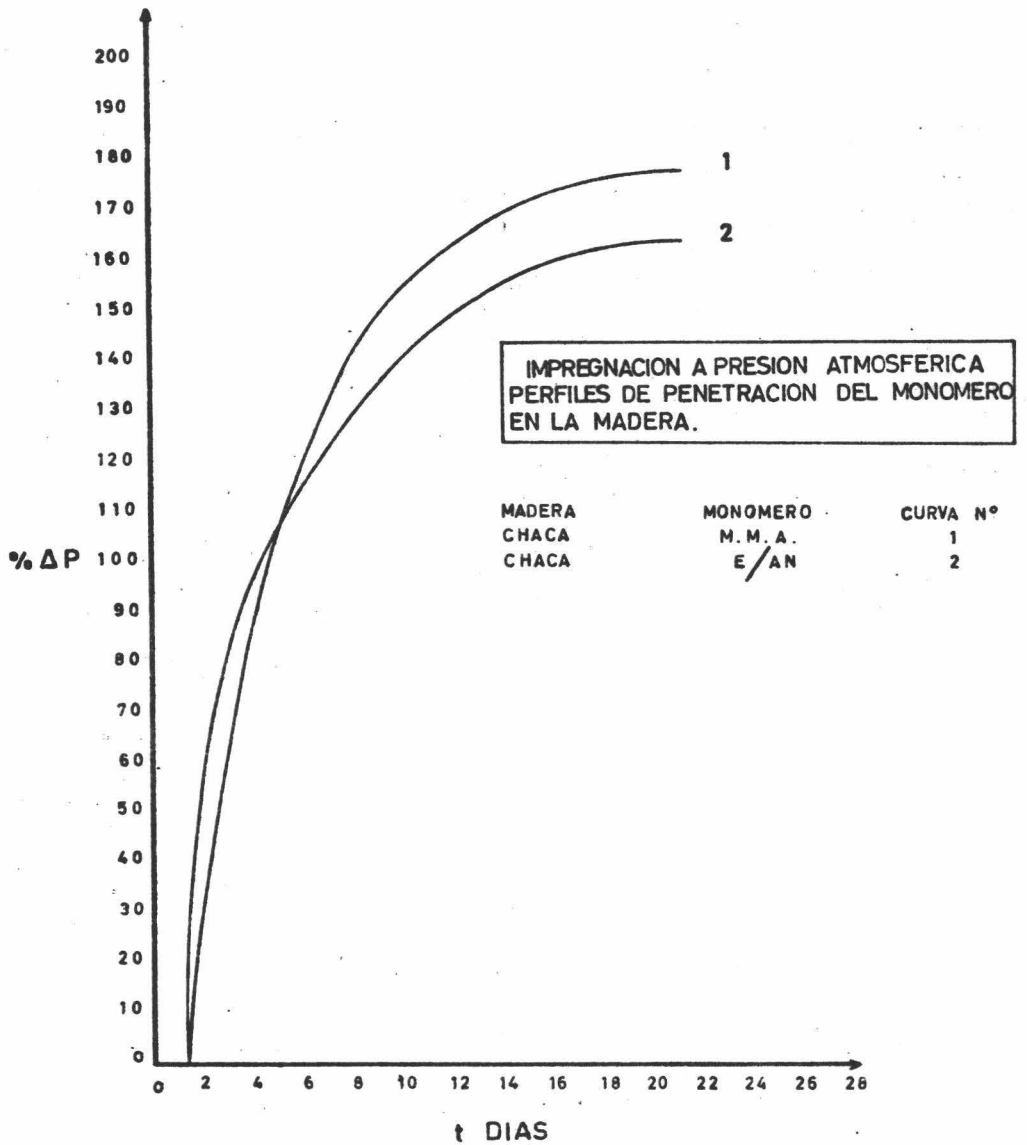
MADERA	MONOMERO	TIPO DE POLIMERI ZACION	% DE MONO- MERO INCOR- PORADO	INDICE DE ABRASION
CHACA	-	-	-	100
	M.M.A.	T.C.	162	205
		G.C.	163	218
	E/AN	T.C.	96	194
		G.C.	164	258
CAOBA	-	-	-	100
	M.M.A.	T.C.	11.4	50.2
		G.C.	18	91.5
	E/AN	T.C.	23.9	83.4
		G.C.	25	144
PINO BLANCO	-	-	-	100
	M.M.A.	T.C.	90	169
		G.C.	93	183
	E/AN	T.C.	56	200
		G.C.	65	310

T.C. Térmico Catalítico

G.C. Gamma Catalítico

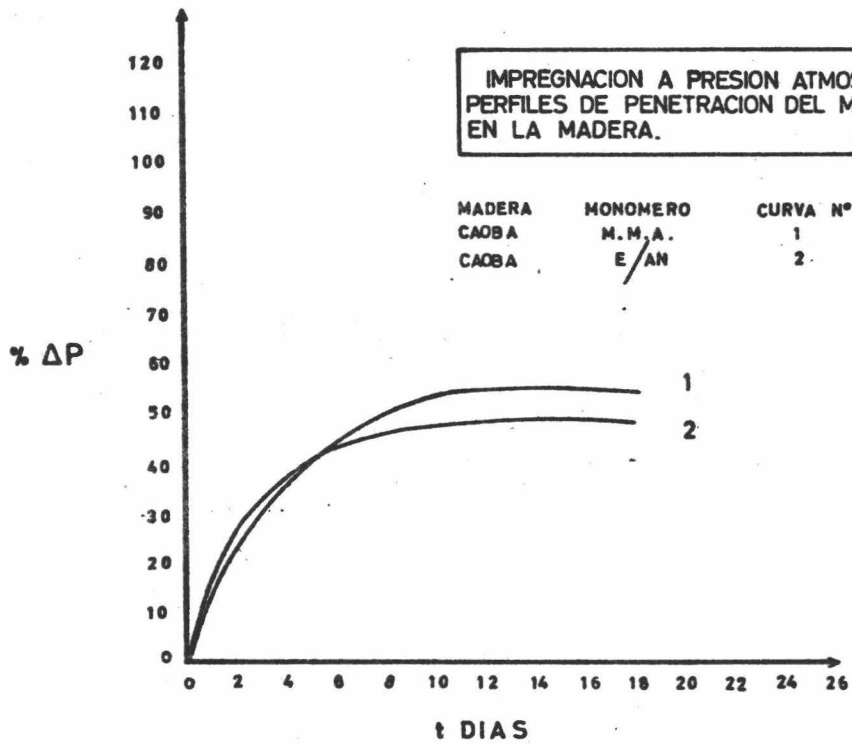
M.M.A. Metacrilato de Metilo

E/AN. Estireno/Acrilonitrilo.

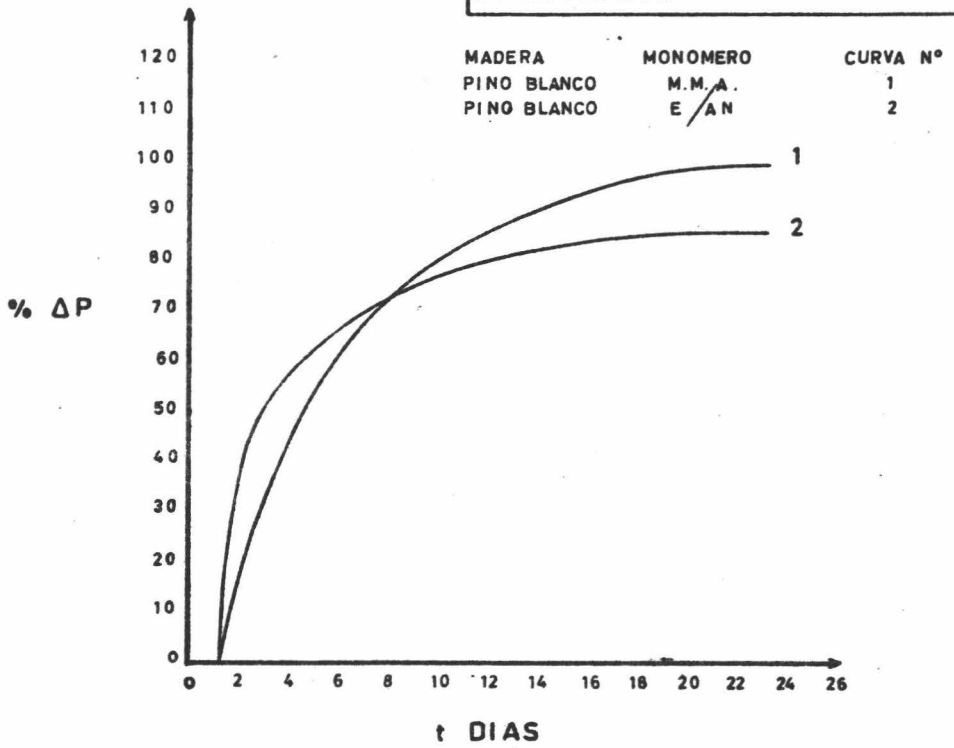


GRAFICA - 1

IMPREGNACION A PRESION ATMOSFERICA
PERFILES DE PENETRACION DEL MONOMERO
EN LA MADERA.

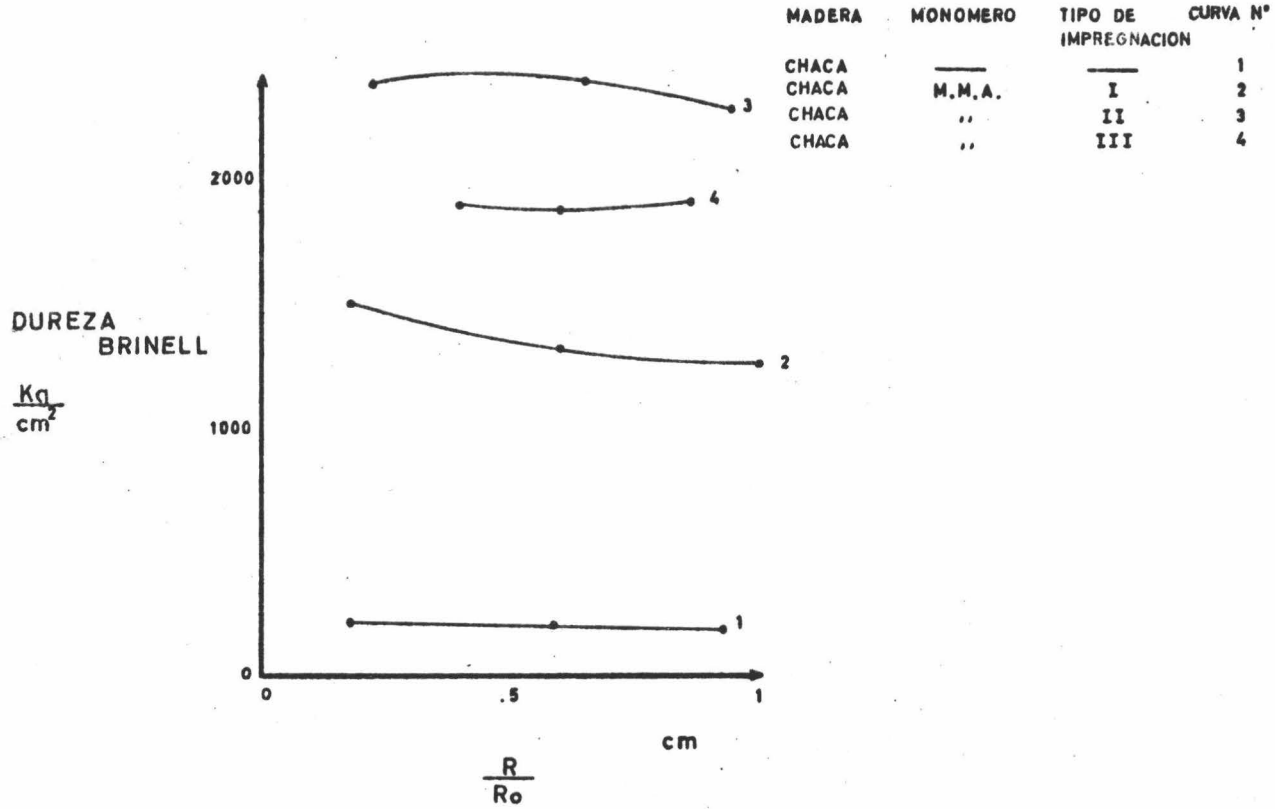


**IMPREGNACION A LA PRESION ATMOSFERICA
PRERFILES DE PENETRACION DEL MONOMERO
EN LA MADERA.**

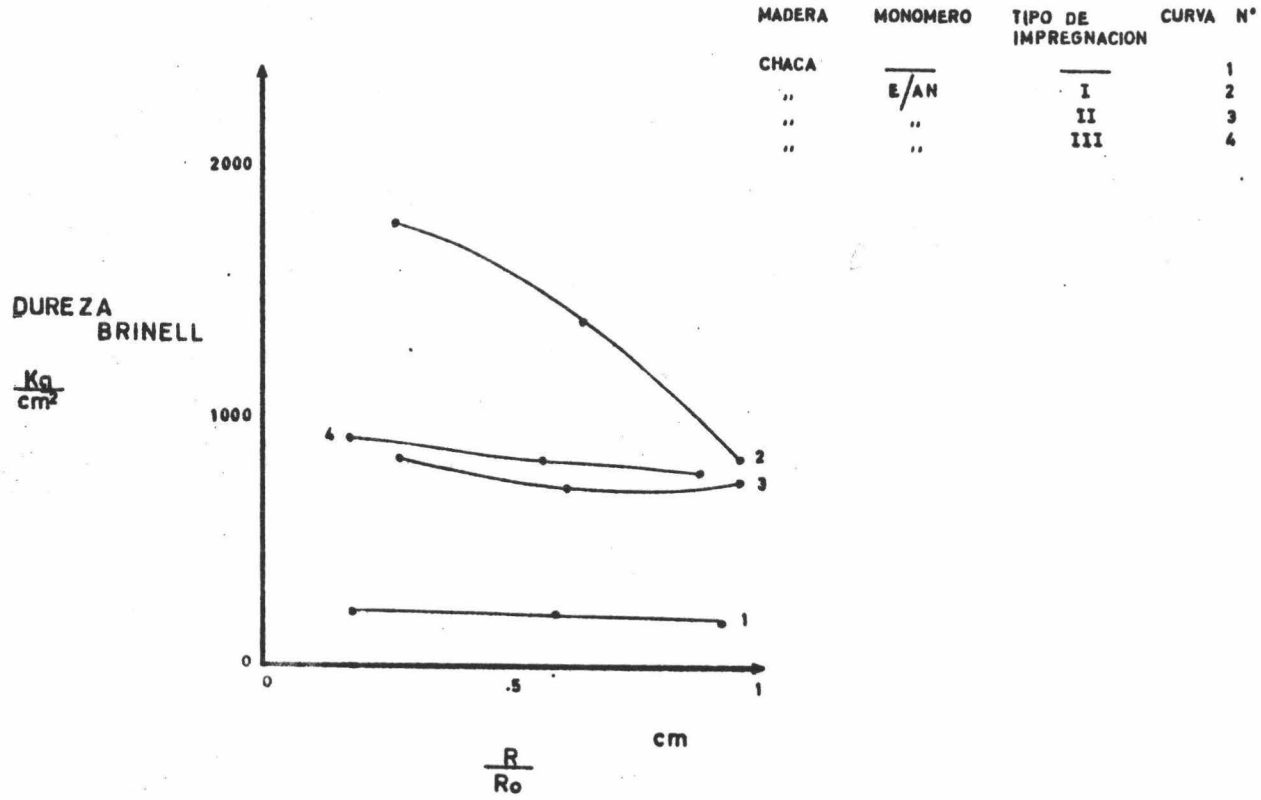


GRAFICA - 3

PERFILES DE DUREZA BRINELL

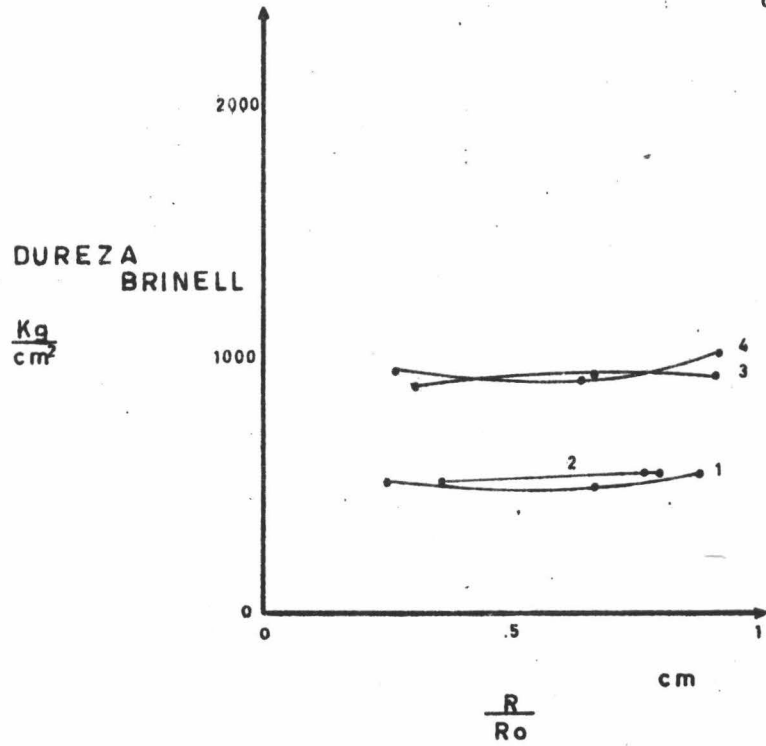


PERFILES DE DUREZA BRINELL

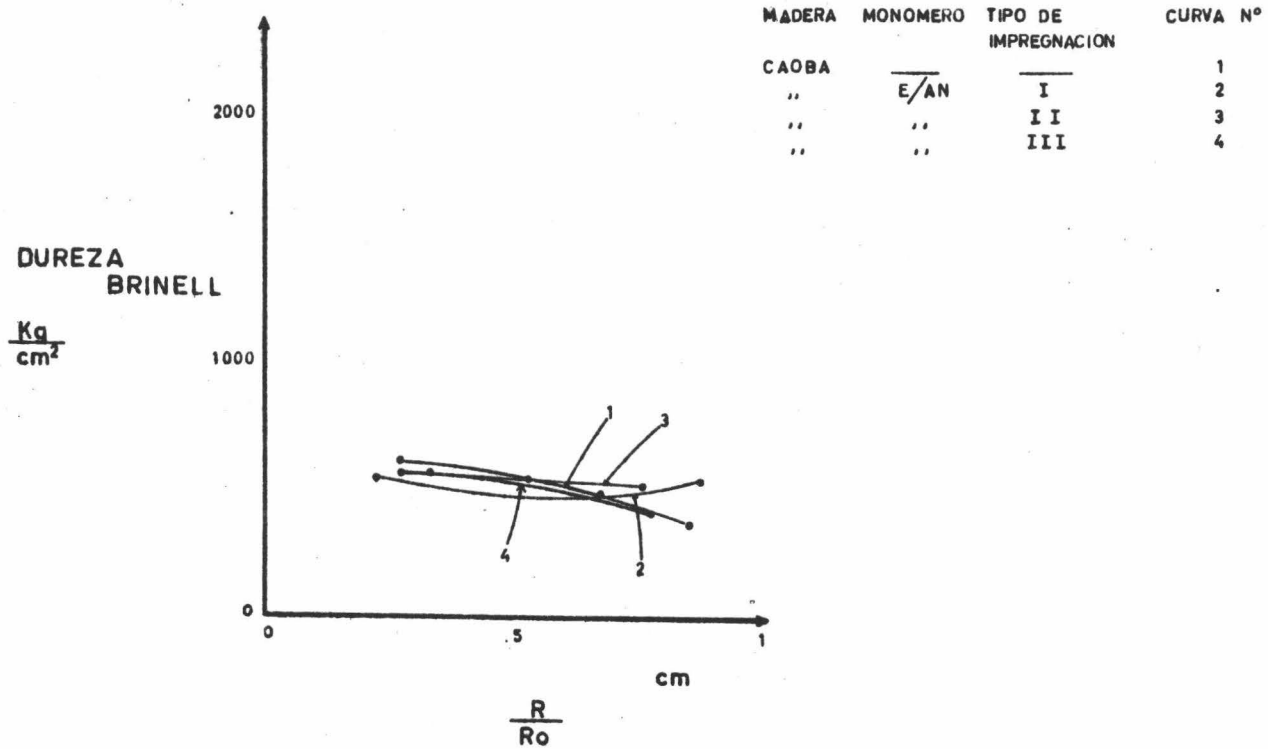


PERFILES DE DUREZA BRINELL

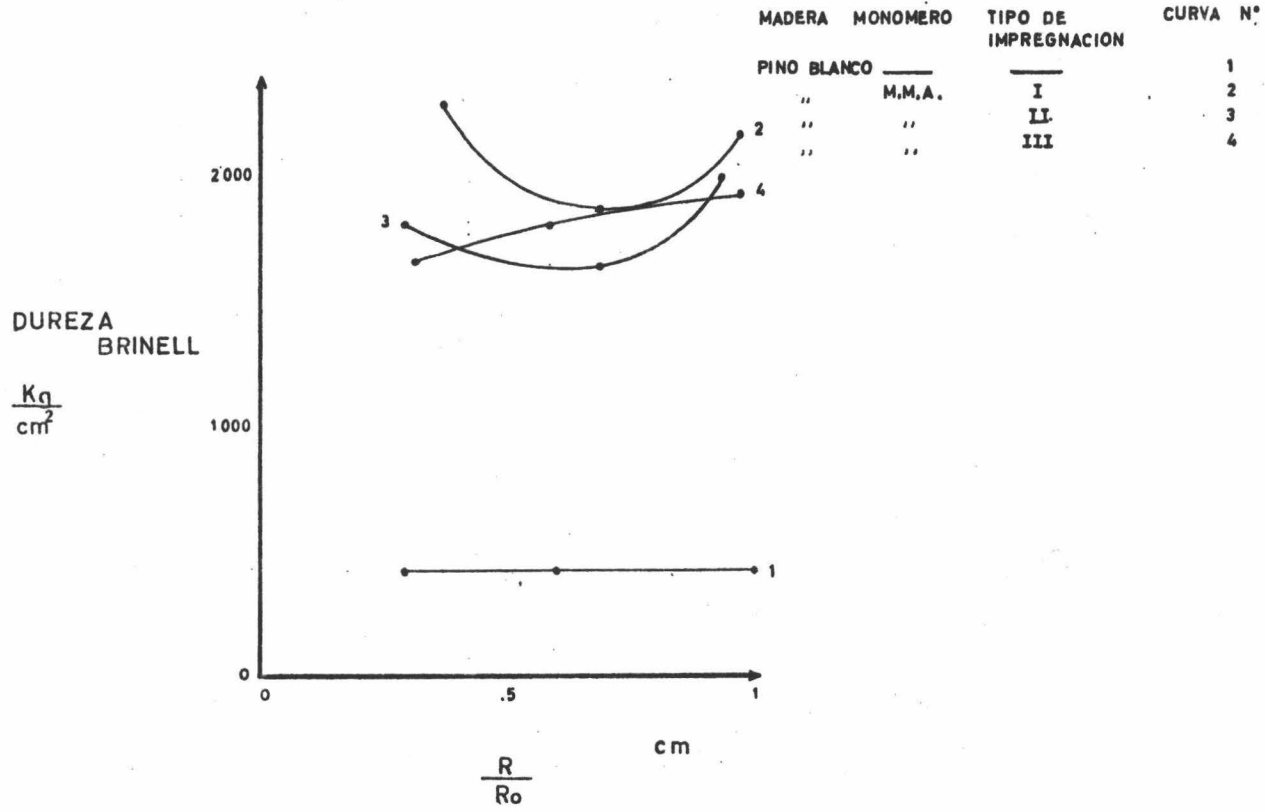
MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREGNACION	CURVA Nº
CAOBA	—	I	1
"	M.M.A.	II	2
"	"	III	3
"	"	—	4



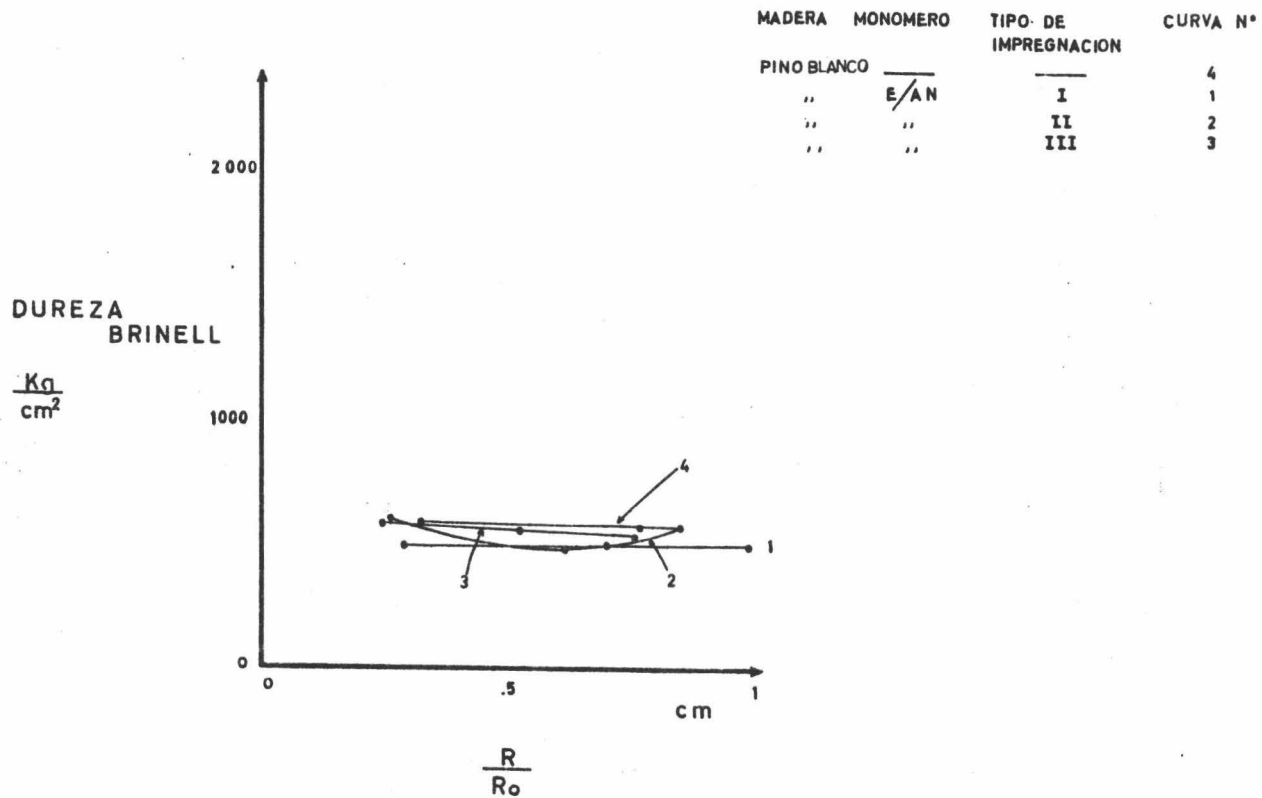
PERFILES DE DUREZA BRINELL



PERFILES DE DUREZA BRINELL

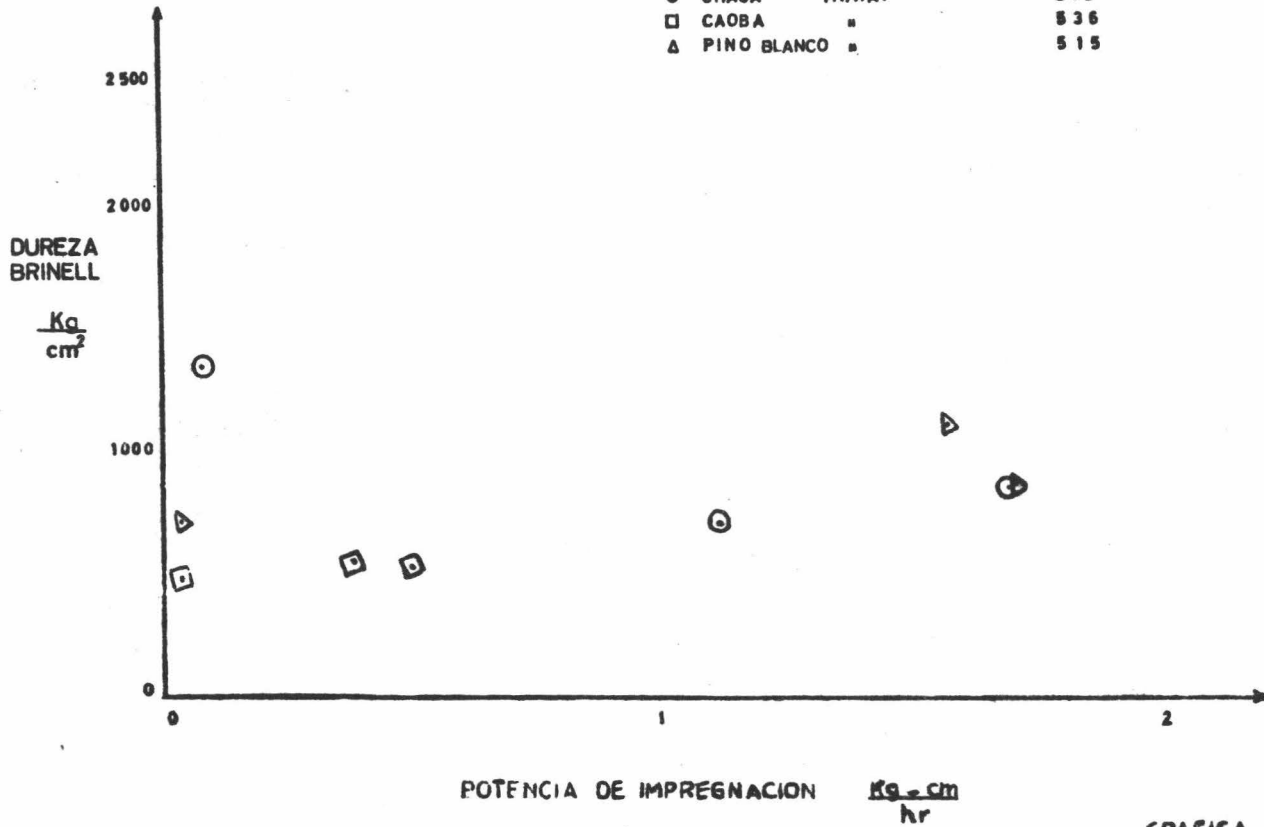


PERFILES DE DUREZA BRINELL



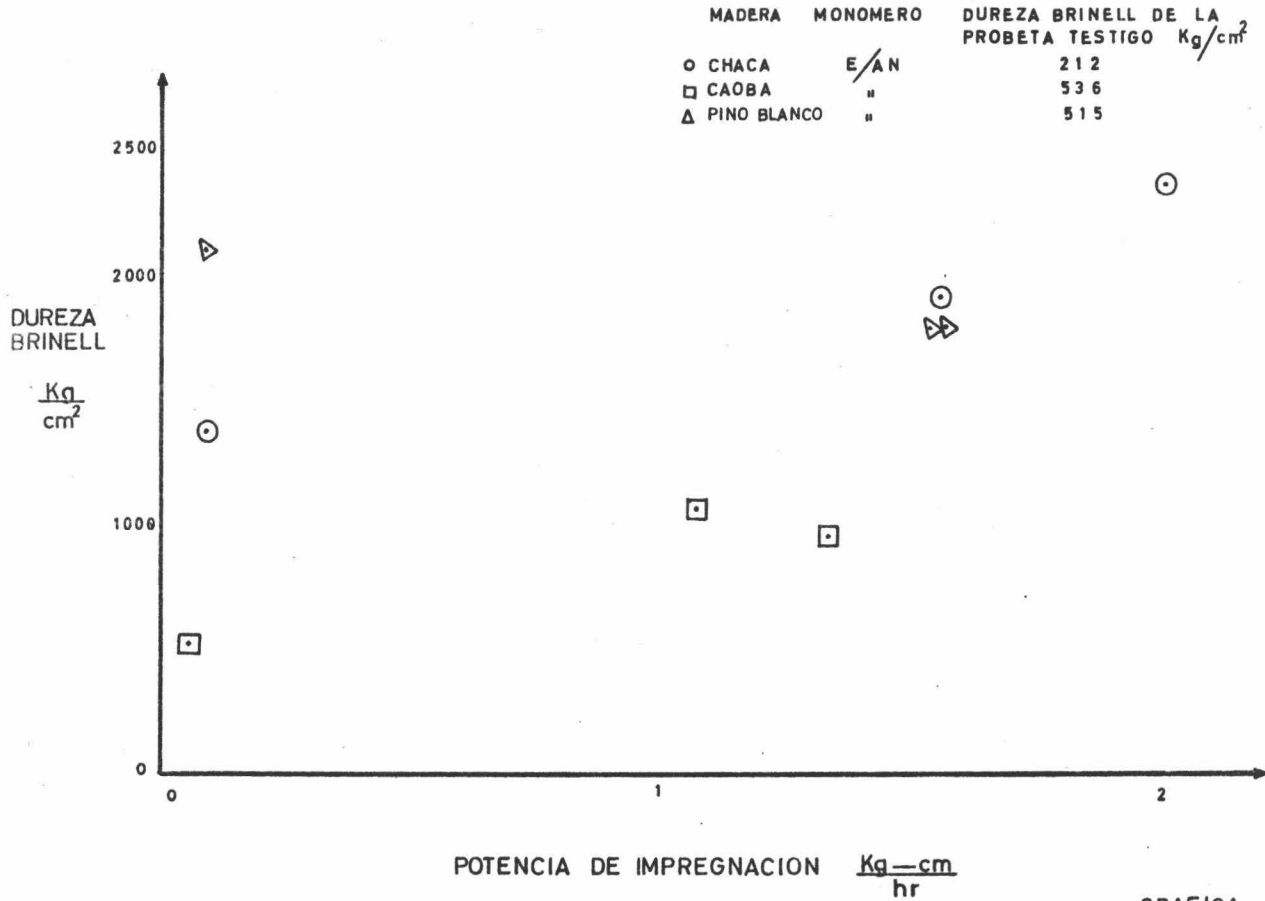
DUREZA BRINELL

MADERA	MONOMERO	DUREZA BRINELL DE LAS PROBETAS TESTIGO. Kg/cm ²
○	CHACA M.M.A.	212
□	CAOBA	536
△	PINO BLANCO	515



GRAFICA .10

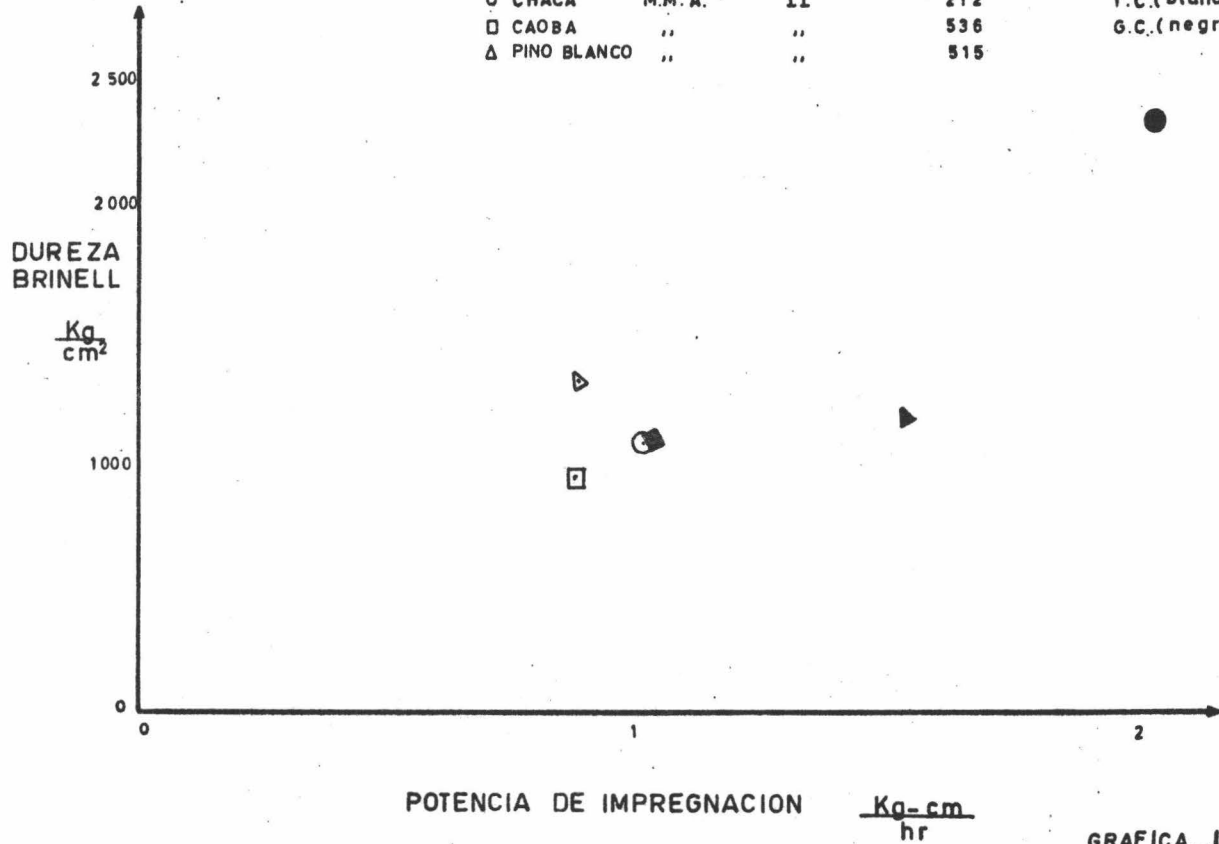
DUREZA BRINELL



GRAFICA _ II

DUREZA BRINELL

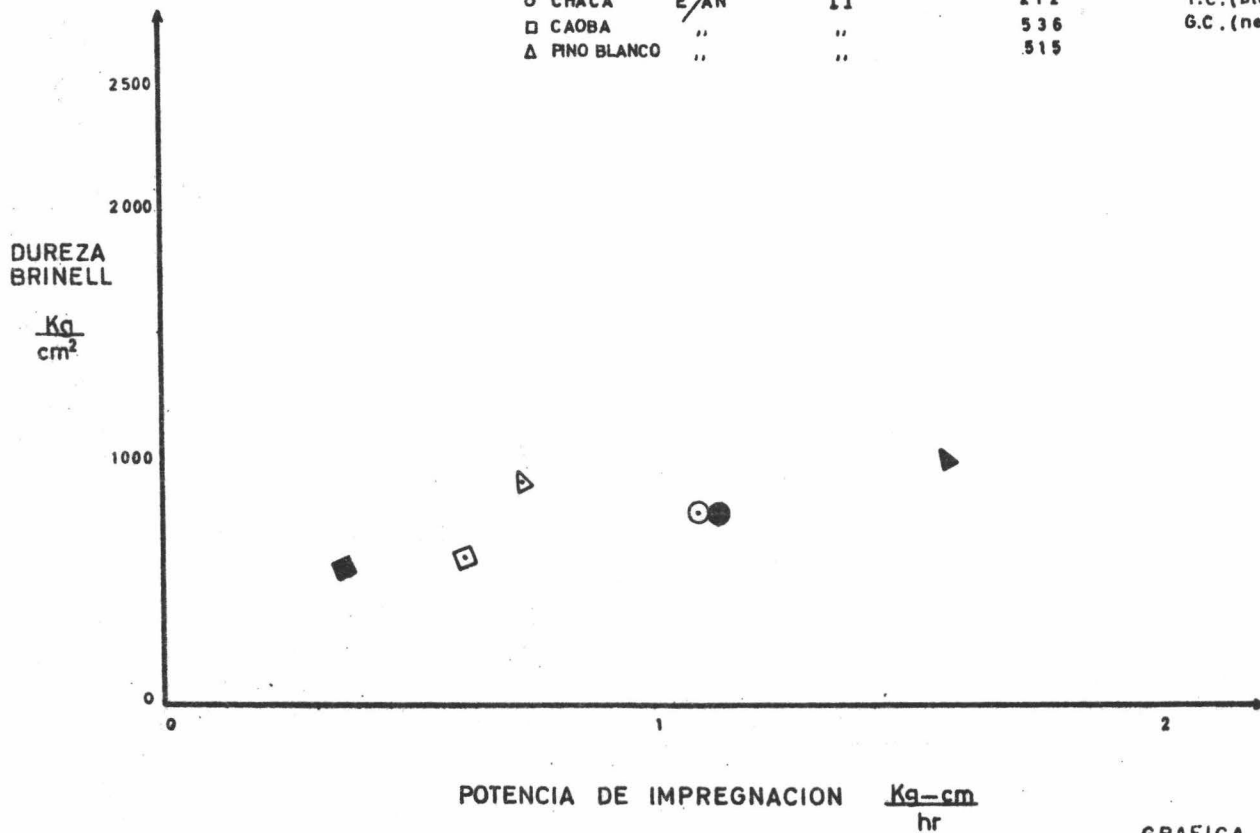
MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREGNACION	DUREZA BRINELL ORIGINAL	Kg cm^2	TIPO DE POLIMERIZACION
○ CHACA	M.M. A.	II	212		T.C.(blanco)
□ CAOBA	"	"	536		G.C.(negro)
△ PINO BLANCO	"	"	515		



GRAFICA_12

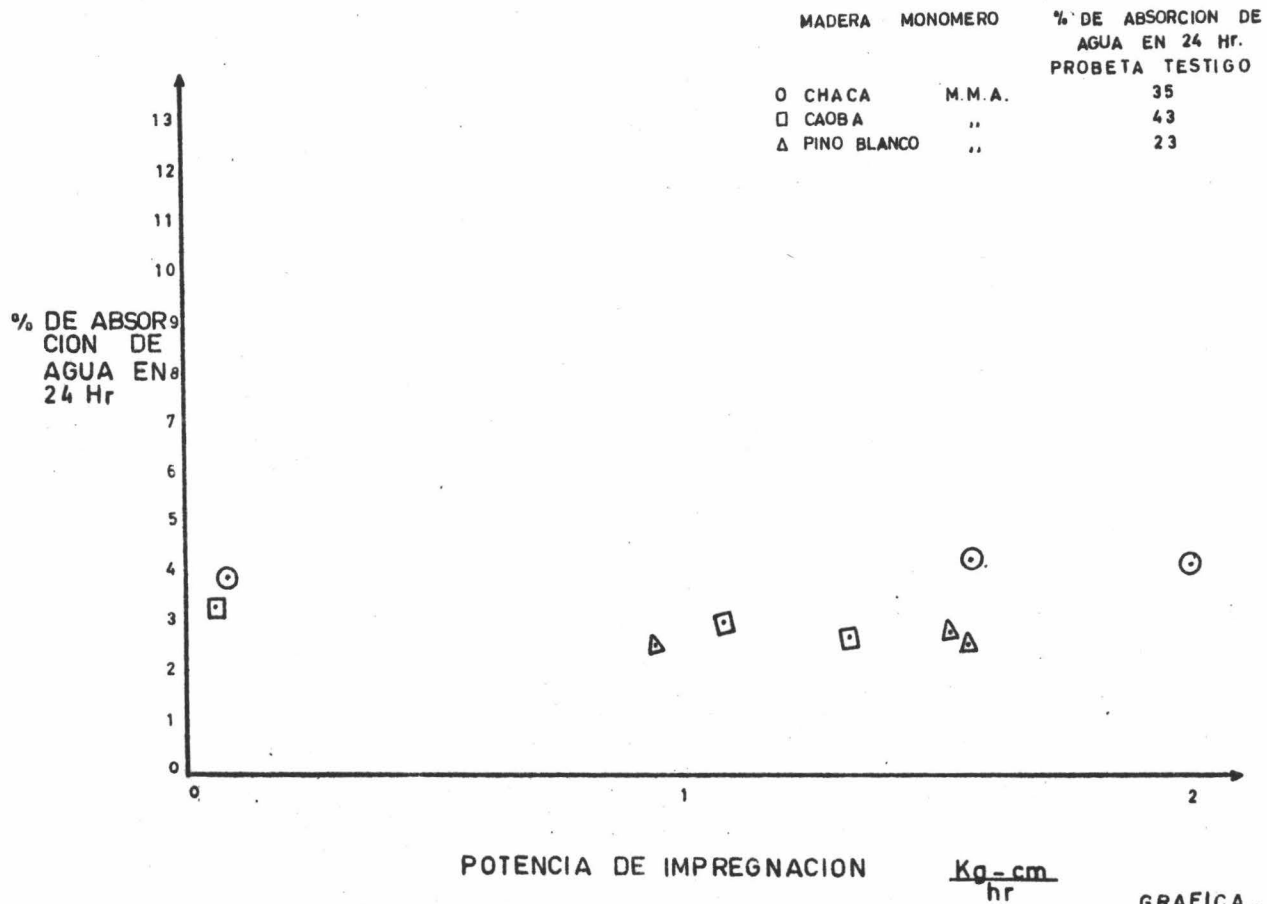
DUREZA BRINELL

MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREGNACION	DUREZA ORIGINAL Kg/cm ²	TIPO DE POLIMERIZACION
○ CHACA	E/AN	II	212	T.C. (blanco)
□ CAOBA	"	"	536	G.C. (negro)
△ PINO BLANCO	"	"	515	

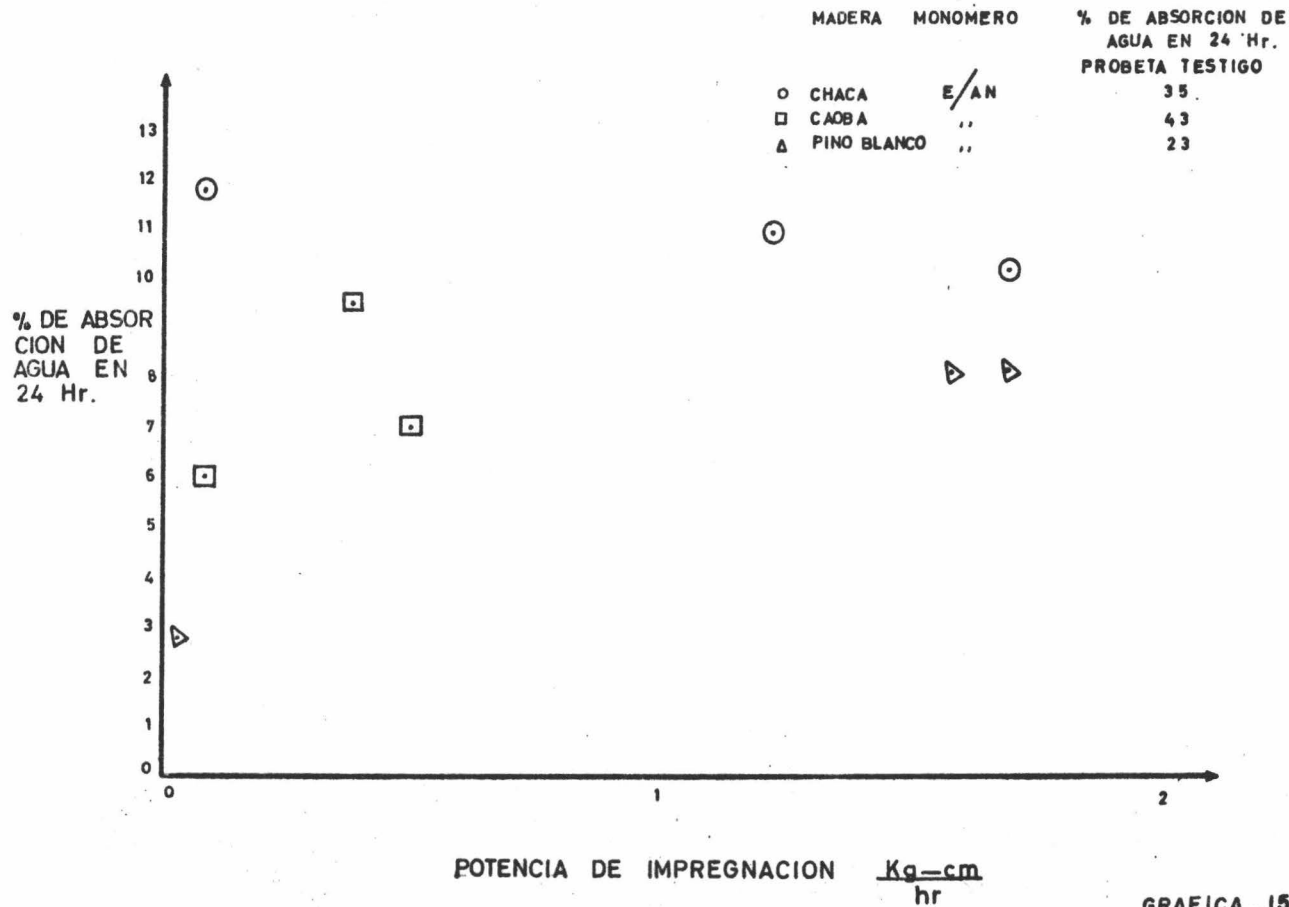


GRAFICA_13

% DE ABSORCION DE AGUA EN 24 Hr.

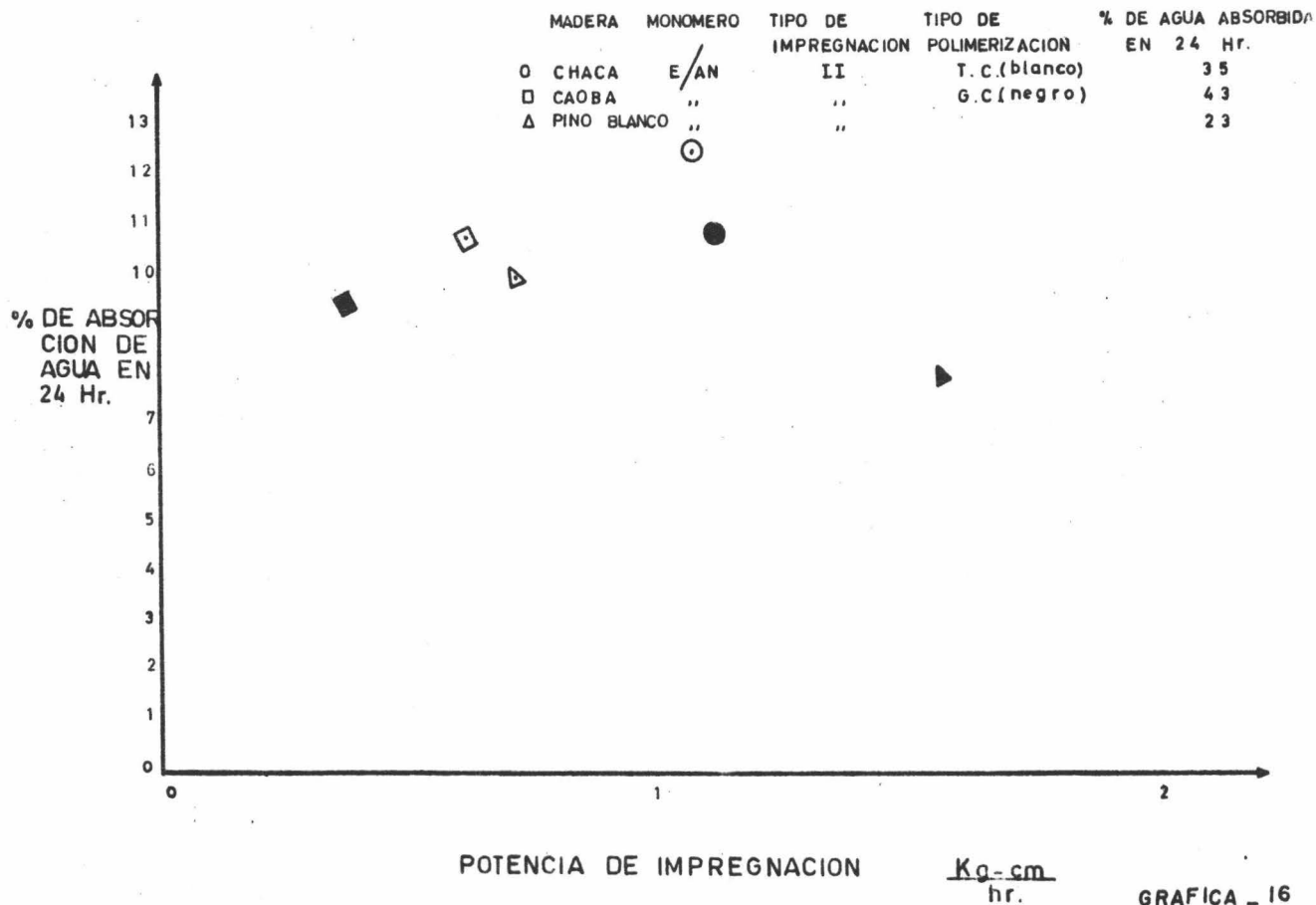


% DE ABSORCION DE AGUA EN 24 Hr.



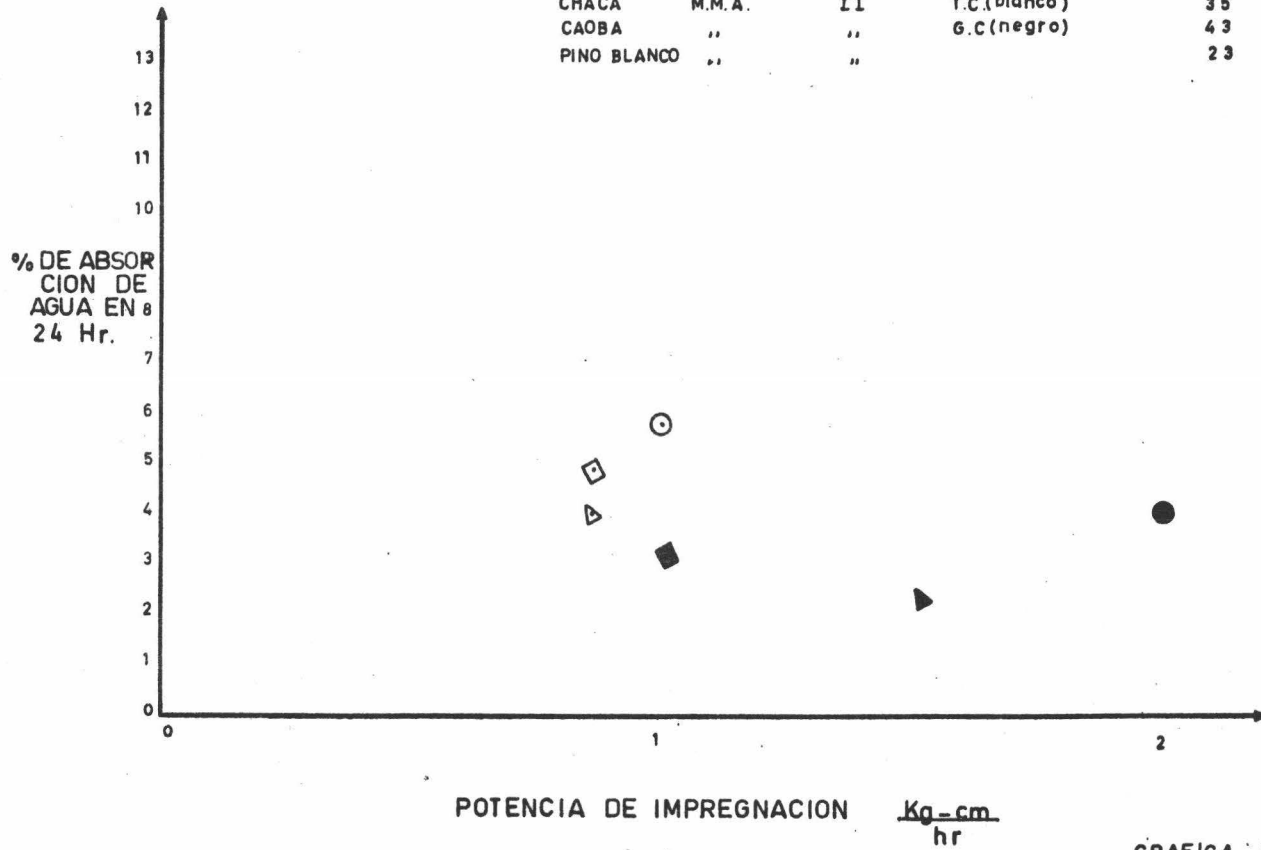
GRAFICA_15

% DE ABSORCION DE AGUA EN 24 Hr.



% DE ABSORCION DE AGUA EN 24 Hr.

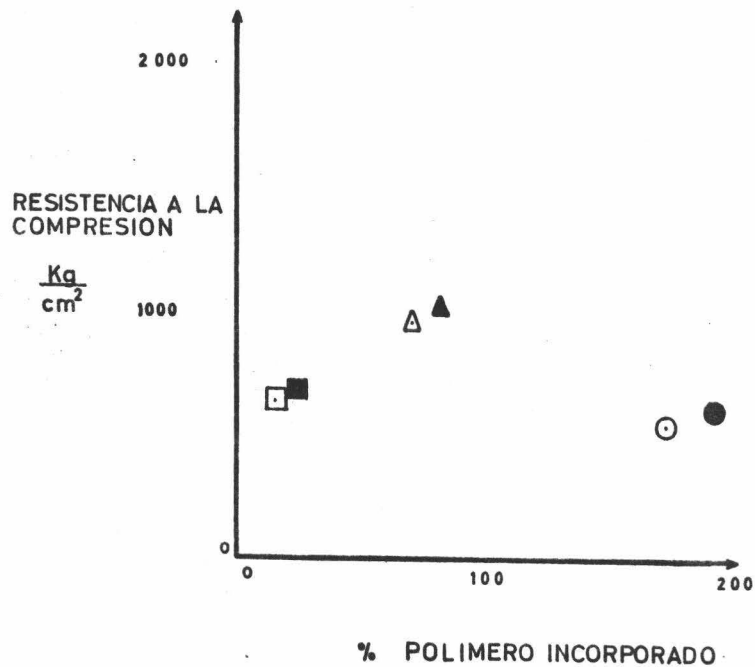
MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREGNACION	TIPO DE POLIMERIZACION	% DE AGUA ABSORBIDA EN 24 Hr.
CHACA	M.M.A.	II	T.C.(blanco)	35
CAOBA	"	"	G.C.(negro)	43
PINO BLANCO	"	"	"	23



GRAFICA 17

RESISTENCIA A LA COMPRESION

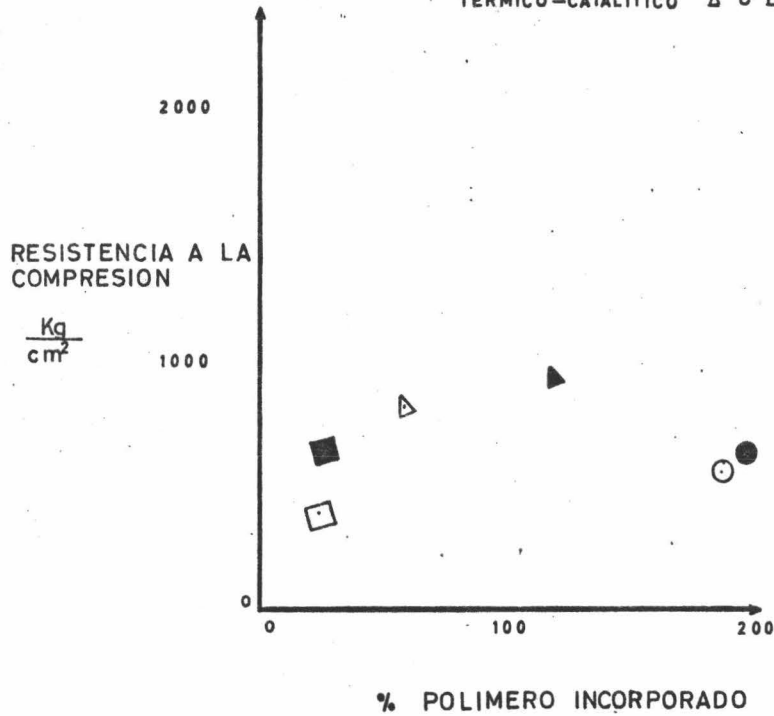
TIPO DE IMPREGNACION II CON M.M.A. Y POLIMERIZACION POR METODOS
 GAMMA-CATALITICO ▲ ● ■
 TERMICO-CATALITICO △ ○ □



TESTIGOS	RESISTENCIA A LA COMPRESION	$\frac{Kg}{cm^2}$
CHACA ○	224	
CAOBA □	546	
PINO BLANCO ▲	424	

RESISTENCIA A LA COMPRESION

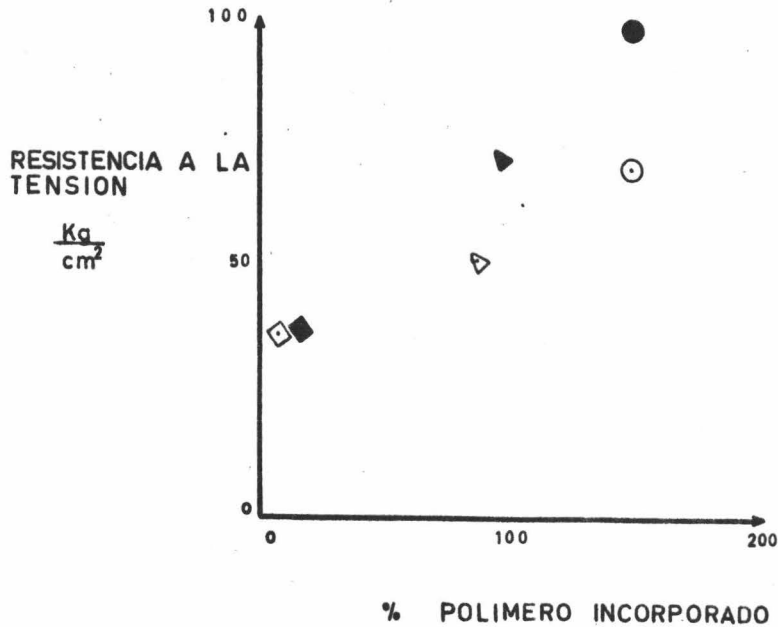
TIPO DE IMPREGNACION II CON E/AN Y POLIMERIZACION POR METODOS
 GAMMA-CATALITICO ▲ ● ■
 TERMICO-CATALITICO △ ○ □



GRAFICA L19

RESISTENCIA A LA TENSION

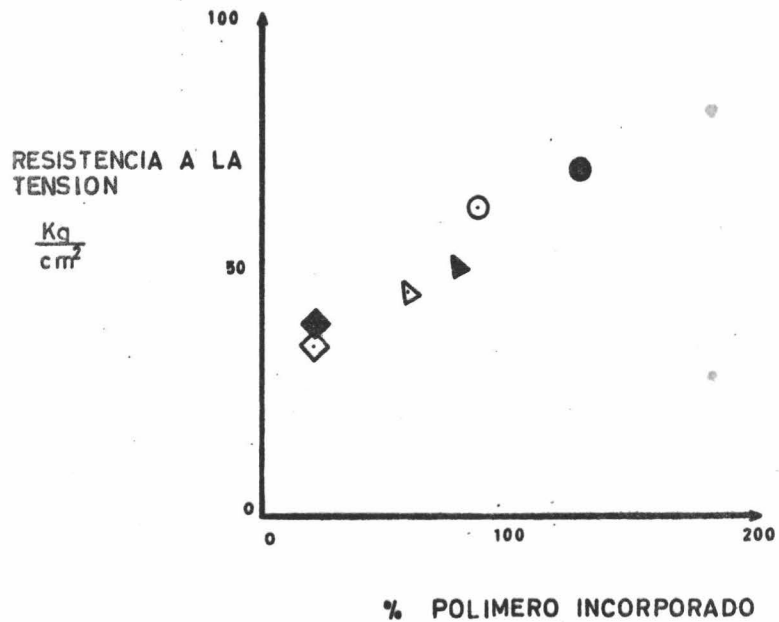
TIPO DE IMPREGNACION II CON E/AN Y POLIMERIZADA POR METODOS
 GAMA - CATALITICO ▲ ● ■
 TERMICO - CATALITICO △ ○ □



TESTIGOS	RESISTENCIA A LA TENSION	$\frac{Kg}{cm^2}$
CHACA	○	23
CAOBA	□	42
PINO BLANCO	△	33

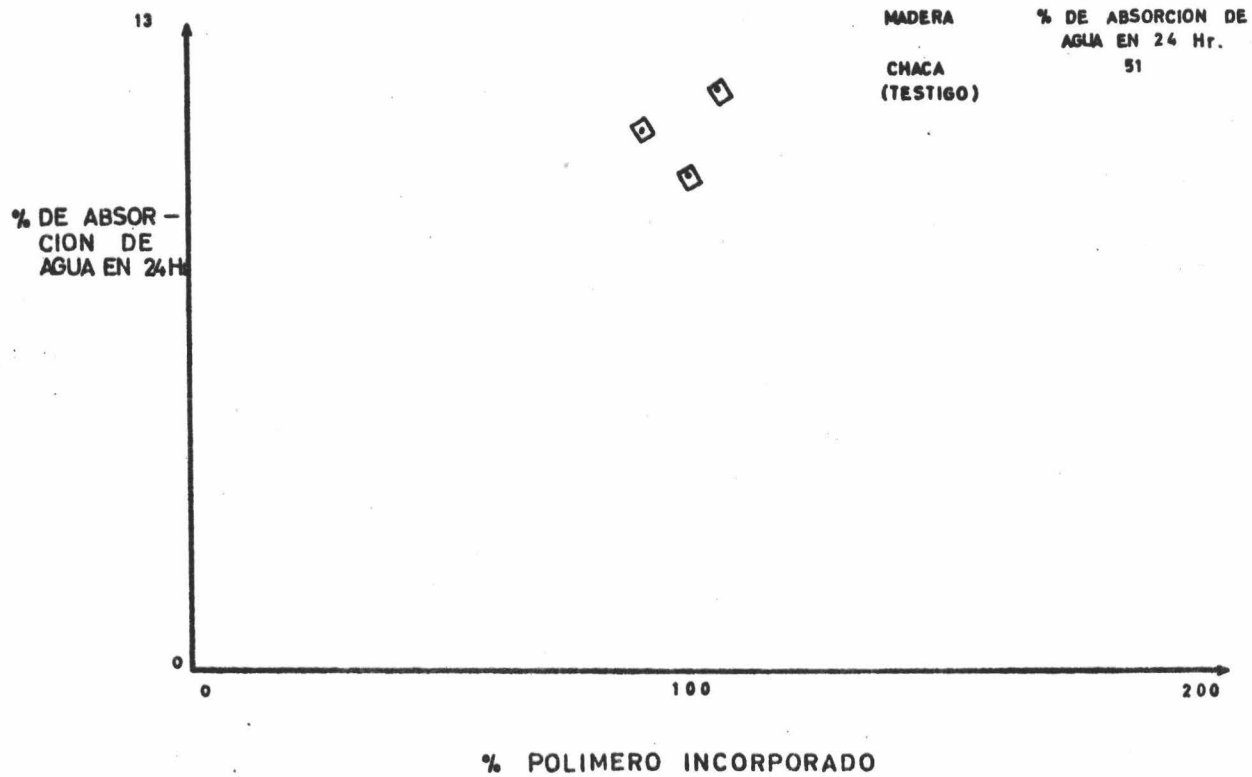
RESISTENCIA A LA TENSION

TIPO DE IMPREGNACION II CON E/AN Y POLIMERIZADA POR METODOS
GAMMA-CATALITICO ● ▲ ■
TERMICO-CATALITICO ○ △ □



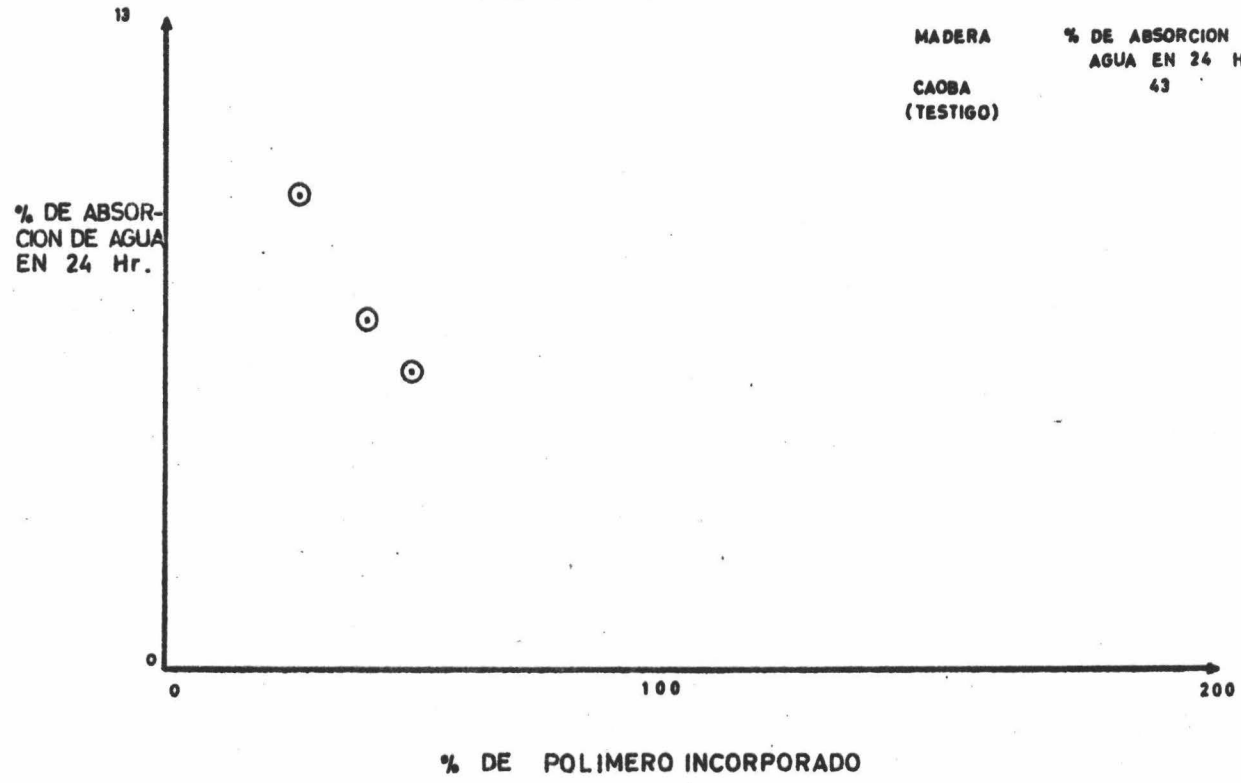
% DE ABSORCION DE AGUA EN 24 Hr.

CHACA IMPREGNADO CON E/AN Y
POLIMERIZADO POR EL METODO GAMMA-CATALITICO



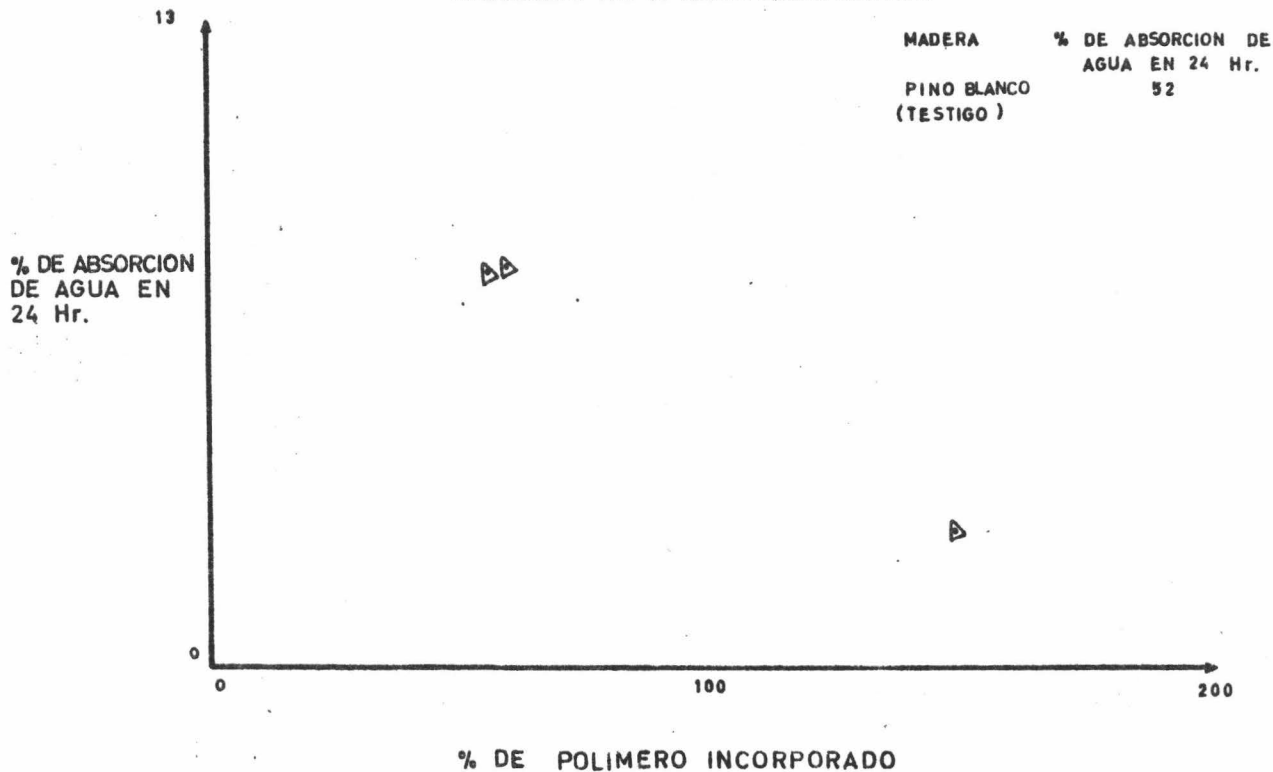
% DE ABSORCION DE AGUA EN 24 Hr.

CAOBA IMPREGNADA CON E/AN Y
POLIMERIZADA POR EL METODO GAMMA-CATALITICO



% DE ABSORCION DE AGUA EN 24 Hr.

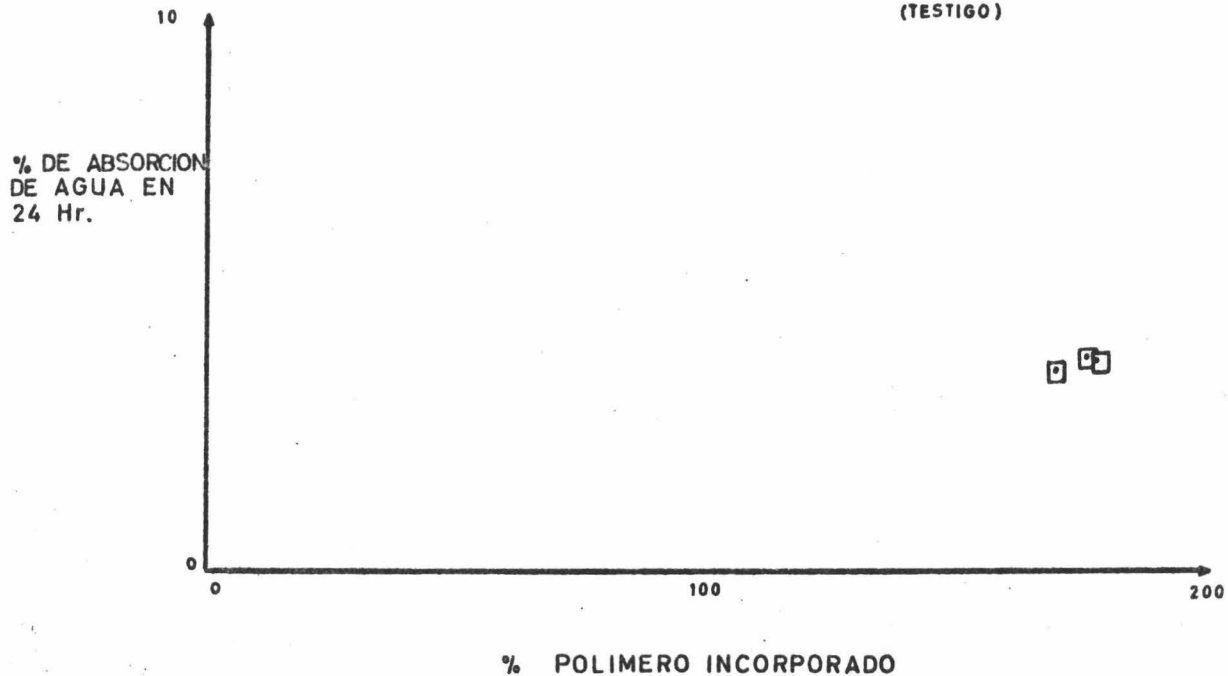
PINO BLANCO IMPREGNADO CON E/AN Y
POLIMERIZADO POR EL METODO GAMMA-CATALITICO



% DE ABSORCION DE AGUA EN 24 Hr.

CHACA IMPREGNADO CON M.M.A. Y
POLIMERIZADO POR EL METODO GAMMA-CATALITICO

MADERA	% DE ABSORCION DE
CHACA	AGUA EN 24 Hr.
(TESTIGO)	51



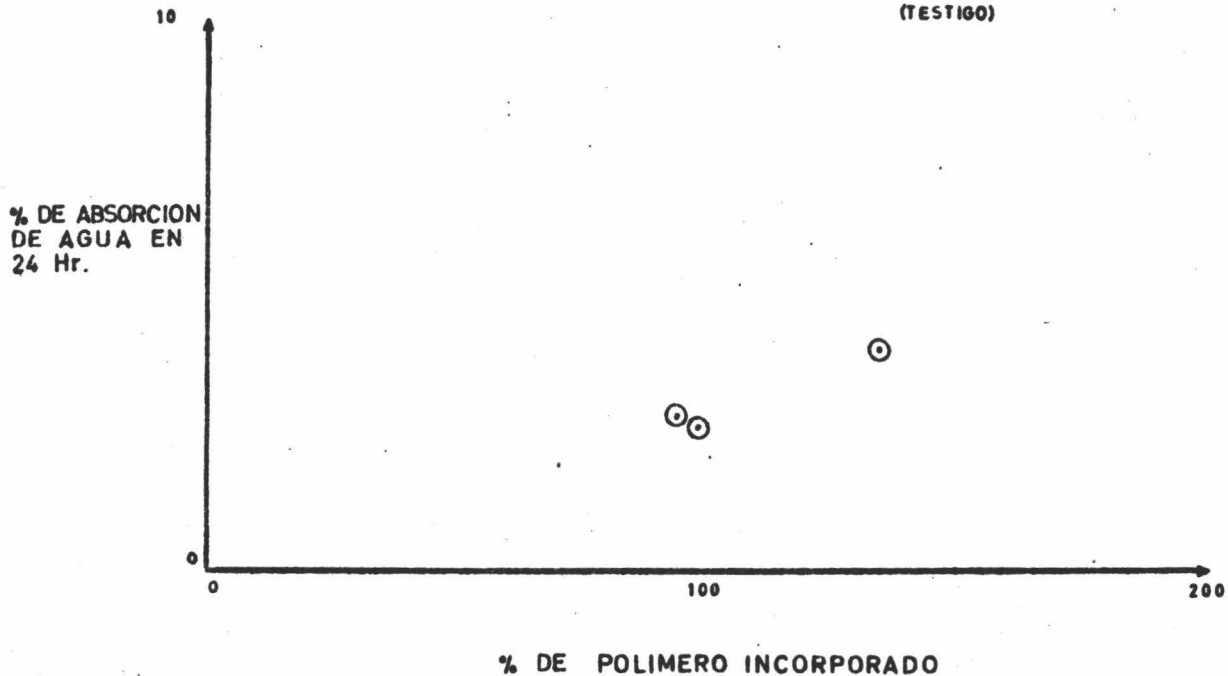
% DE ABSORCION DE AGUA EN 24 Hr.

CAOBA IMPREGNADA CON M.M.A. Y
POLIMERIZADA POR EL METODO GAMMA-CATALITICO

MADERA

CAOBA
(TESTIGO)

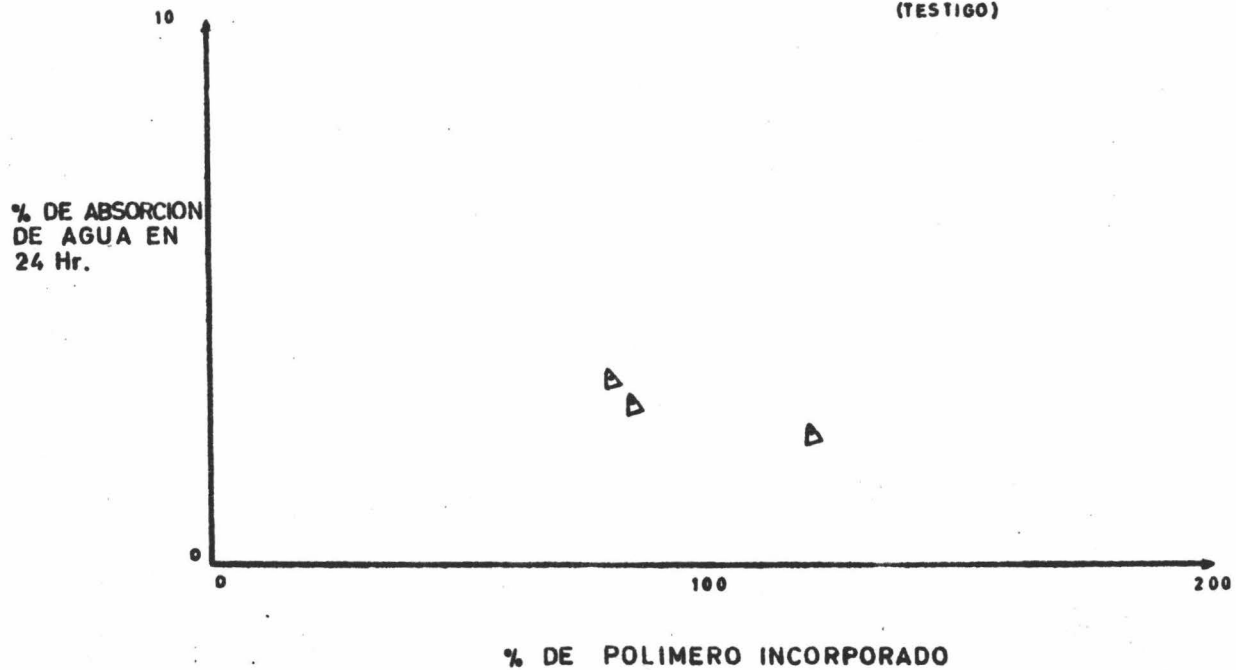
% DE ABSORCION DE
AGUA EN 24 Hr.
43



% DE ABSORCION DE AGUA EN 24 Hr.

PINO BLANCO IMPREGNADO CON M.M.A. Y
POLIMERIZADO POR EL METODO GAMMA-CATALITICO

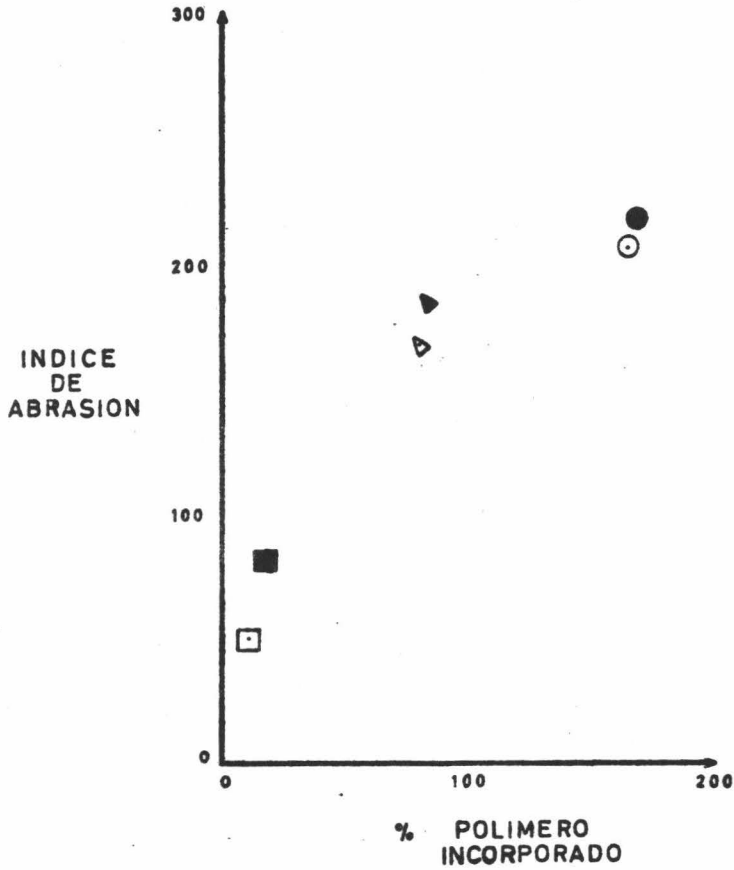
MADERA	% DE ABSORCION DE
	AGUA EN 24 Hr.
PINO BLANCO (TESTIGO)	52



RESISTENCIA A LA ABRASION

MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREGNACION	TIPO DE ABRASION ORIGINAL
CHACA	M.M.A.	II	100
CAOBA	"	"	"
PINO BLANCO	"	"	"

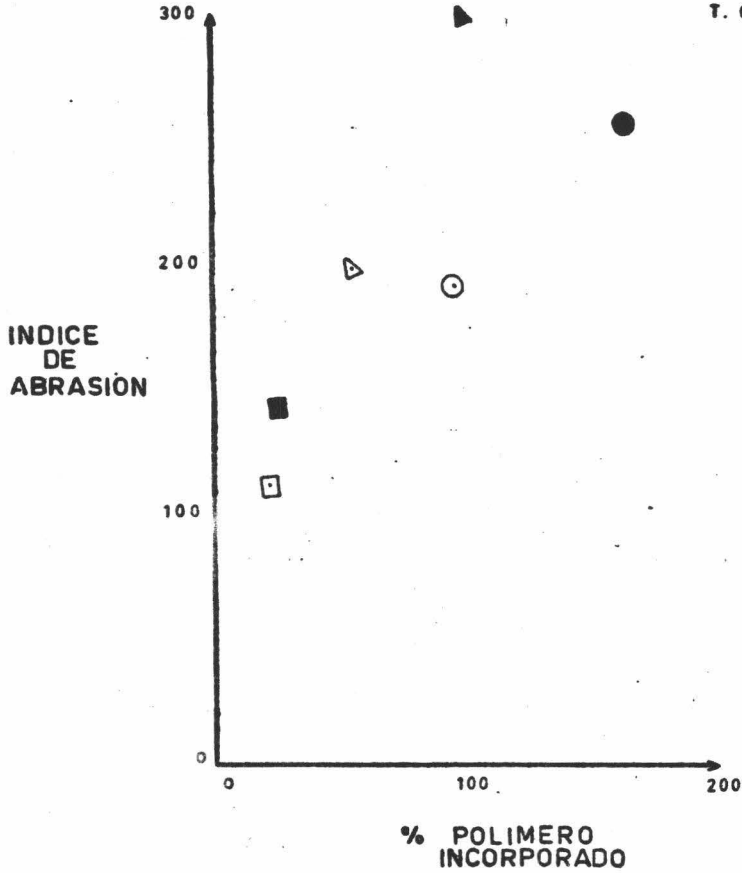
TIPO DE POLIMERIZACION
 G.C. ● ▲ ■
 T.C. ○ △ □



RESISTENCIA A LA ABRASION

MADERA	MONOMERO	TIPO DE IMPREGNACION	TIPO DE ABRASION ORIGINAL
CHACA	E/AN	II	100
CAOBA	"	"	"
PINO BLANCO	"	"	"

TIPO DE POLIMERIZACION			
G. C.	●	▲	■
T. C.	○	△	□



GRAFICA 29

8. BIBLIOGRAFIA

1. Stein Martin H. and Dietz George R. Radiation Processed Wood-Plastic Materials. Mod. Matter 6:1-39 (1968).
2. Siau J.F. and Meyer J.A. Comparison of Properties of Heat and Radiation Cured Wood-Polimer Combinations Forest Products Journal. 16 (8) : 47-56 (1966).
3. Meyer J.A. et. al. Preparation of Wood-Polimer Systems Using Catalist Heat Techniques. For Prod. Jour. 15 (9) 362-364. (1965).
4. Kent J.A. et. al. Preparation of Wood-Plastic Combinations Using Gamma Radiation to induce Polimerization. U.S.A.E.C. Report TID 4500 (1967).
5. Languig J.E. et. al. New Monomers used in Making Wood-Plastics. For. Prod. Jour. 19 (11) (1969).
6. Alcayde L.G. y Mendoza P.A. Estudio de Impregnación de Concreto con Metacrilato de Metilo. Revista Mexicana de Física 20 : FA 109- FA 117 (1971).
7. Instruction Manual For "Gamma Cell 200" Cobalt 60 Irradiation Unit (Effective Unit Seria No. 35) Atomic Energy of Canada Limited (1964).
8. American Society for Testing and Materials Part 16, June 1969. C 272-53.
9. American Society for Testing and Materials Part 10, October 1969. C 496-69.
10. American Society for Testing and Materials Part 28, April 1969. D 1630-61.