

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

Obtención de Materiales Acústicos Especiales a
partir de Impregnaciones de Madera con
Monómeros Vinílicos

T E S I S
QUE PARA OBTENER
EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
PRESENTA
EDUARDO VALADEZ CUENCA



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).

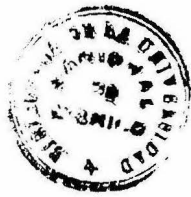
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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

1974

~~352~~

~~7~~

328



QUIMICA

Jurado asignado originalmente según el tema :

PRESIDENTE	Prof. JULIO TERAN ZAVALETA
VOCAL	Prof. HECTOR SOBOL ZASLAV
SECRETARIO	Prof. GUILLERMO ALCAYDE LACORTE
1er. SUPLENTE	Prof. ENRIQUE CAMPOS LOPEZ
2o. SUPLENTE	Prof. FERNANDO ITURBE HERMANN

Sitio donde se desarrolló el tema :

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

Sustentante :

EDUARDO VALADEZ CUENCA

Asesor del Tema :

Ing. Quím. GUILLERMO ALCAYDE LACORTE

Supervisor Técnico :

DR. ALFREDO PEREZ DE MENDOZA

PERSONAS A LAS CUALES AGRADEZCO SU COLABORACION

DR. JUAN ANTONIO CAREAGA VILIESID.

DR. ALFREDO PEREZ DE MENDOZA.

I.Q. GUILLERMO ALCAYDE LACORTE.

M. en C. MANUEL NAVARRETE TEJERO.

M. en C. LUIS CABRERA MOSQUEDA.

M. en C. GUILLERMINA BURILLO AMEZCUA.

ARQ. FRANCISCO GOMEZ PALACIO.

ARQ. EDUARDO SAAD ELJURE.

INSTITUCIONES A LAS CUALES AGRADEZCO SU COLABORACION.

CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES.

CENTRO DE ESTUDIOS NUCLEARES.

CENTRO DE INVESTIGACIONES ARQUITECTONICAS.

A MIS PADRES

Y A MI MADRINA VITO.

CON SINCERO AGRADECIMIENTO.

INDICE

- 1.0. INTRODUCCION
- 2.0. GENERALIDADES
 - 2.1. Gamma catálisis en materiales fibrosos impregnados.
 - 2.2. Termo catálisis en materiales fibrosos impregnados.
 - 2.3. Catálisis ultra sónica en materiales fibrosos impregnados.
 - 2.4. Análisis comparativo de los procesos de inducción a la polimerización.
 - 2.5. Propiedades acústicas de los materiales de acondicionamiento.
 - 2.5.1. Fundamentos teóricos
 - 2.5.2. Pruebas acústicas de materiales de acondicionamiento.
- 3.0. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.
- 4.0. DESARROLLO DE EXPERIMENTOS
 - 4.1. Materiales seleccionados
 - 4.2. Métodos de Polimerización
 - 4.3. Realización de pruebas acústicas
- 5.0. DIAGRAMAS EXPERIMENTALES DE POLIMERIZACIONES
- 6.0. EVALUACION DE VARIABLES EXPERIMENTALES
 - 6.1. Secado de muestras.

- 6.2. Pre-tratamiento a los monómeros
- 6.3. Impregnación de soluciones
- 6.4. Intensidad de dosificación con radiación gamma.
- 6.5. Acondicionamiento ambiental de la polimerización
- 6.6. Tabulación y resumen de experimentos en polimerización de madera impregnada
 - 6.6.1. Experimentos gamma catalíticos en impregnación de madera con soluciones de acrílico
 - 6.6.2. Experimentos gamma catalíticos en impregnación de madera con soluciones de Estireno
 - 6.6.3. Experimentos termo catalíticos en soluciones de Acrílico y Estireno
 - 6.6.4. Parámetros de acondicionamientos óptimos en polimerizaciones termo catalíticos.

- 7.0. MEDICIONES ACUSTICAS DEL COEFICIENTE DE ABSORCION SONORA EN MATERIALES IMPREGNADOS.
 - 7.1. Normas de medición acústicas
 - 7.2. Instrumentos utilizados en la medición acústica
 - 7.3. Control de temperatura y humedad relativa en la medición acústica.
 - 7.4. Características de las muestras probadas acústicamente
 - 7.5. Ajustes en la medición del coeficiente de absorción sonora
 - 7.6. Secuencia de cálculos en la determinación del coeficiente de absorción sonora

- 8.0. CARACTERIZACION DEL NIVEL DE POLIMERIZACION EN EL POLIMERO INCORPORADO

- 9.0. BREVE EVALUACION ECONOMICA DE LOS MATERIALES.

- 10.0. RESULTADOS.
 - 10.1. Resultados de las mediciones del coeficiente de absorción sonora

- 10.1.1. Clasificación de resultados
- 10.1.2. Análisis sobre el comportamiento acústico de los --
materiales.

- 11.0. CONCLUSIONES

- 12.0. BIBLIOGRAFIA

- 13.0 APENDICE

INDICE DE CLAVES

<u>(8)</u>	Referencia Bibliográfica (ver índice)
<u>Δ</u>	Polimerización Vía Termo Catálisis
<u>γ</u>	Polimerización Vía Gamma Catálisis
<u>α</u>	Coefficiente de absorción sonora
<u>λ</u>	Longitud de onda (cm) o (Å°)
<u>ν</u>	Frecuencia de onda (Hz) o (c.p.s.)
<u>I</u>	Intensidad sonora incidente (watt/m ²)
<u>I₀</u>	Intensidad sonora de referencia (watt/m ²)
<u>Tr</u>	Tiempo de reverberación de una onda sonora (seg)
<u>M</u>	Peso molecular promedio viscosimétrico del polímero
<u>ΔH</u>	Entalpia de reacción
<u>B_z O₂</u>	Catalizador químico Peróxido de Benzoilo
<u>[μ]</u>	Indice de Staudinger
<u>C₅</u>	Concentración de catalizador
<u>V₄</u>	Intensidad de dosificación Gamma
<u>E₆</u>	% de eficiencia en el proceso o % de polimerización.

1.- INTRODUCCION.

La investigación de nuevos materiales que superen o modifiquen ventajosamente las propiedades de otros ya existentes, es uno de los objetivos para desarrollar materiales compuestos" que incorporen polímeros sintéticos, por ejemplo el endurecimiento de maderas causado por la impregnación de polímeros que se han obtenido a partir de monómeros vinílicos. De la literatura científica y tecnológica que se revisó, se observa que estos "materiales compuestos" sobrepasan de los materiales estructurales tradicionales, por presentar una mayor dureza, resistencia a la compresión y tensión, baja densidad, porosidad etc. Esta mejora de las propiedades antes mencionadas, es debida principalmente a la "incorporación" de características de los polímeros en estos "nuevos materiales compuestos".

Dentro de los requerimientos de los materiales compuestos de acondicionamiento, es el poseer una capacidad para la absorción y reflexión sonora, comportándose cada material de una manera particular, se-

gún la morfología o tipo de material del que está construido el local que se pretende acondicionar. Todos los objetos presentes en un local, afectan la absorción o reflexión sonora que se propaga en ese lugar, desde una fuente sonora considerada. Se tienen materiales de alta absorción sonora, por ejemplo los tejidos gruesos de lana, o de reflexión sonora como es el caso del vidrio plano. La madera presenta una absorción sonora intermedia, por lo cual es un material que se prefiere en el diseño "acústico - arquitectónico" de locales. Sin embargo la necesidad de modificar la absorción sonora de un local, por la incorporación de diversas maderas, seleccionándolas por su mayor o menor absorción sonora, hasta obtener un adecuado acondicionamiento acústico, y no siendo posible realizar esta operación utilizando un solo tipo de madera, de aquí la necesidad de tener acceso a una variedad de maderas para usos arquitectónicos, donde los coeficientes de absorción sonora puedan seleccionarse a partir de una variedad de maderas, en virtud de sus características sonoras en particular.

Debido a que el endurecimiento superficial de las maderas, afecta las características acústicas propias de estos materiales, se ha diseñado este estudio para el desarrollo de materiales, impregnándoseles en diversos grados con diversos polímeros vinílicos. Son parte de los objetivos de este estudio, el develar las propiedades acústicas (en forma compara-

tiva con otros materiales) que este tipo de materiales presente; así como - discutir las posibilidades de aplicación en el acondicionamiento acústico, que presentan los materiales, a base de maderas impregnadas de polímeros_ sintéticos.

2.0.- GENERALIDADES.

2.1.- GAMMA CATALISIS EN MATERIALES FIBROSOS IMPREGNADOS.

El método de más reciente desarrollo para la inducción a la polimerización de monómeros o resinas poliméricas sintéticas impregnadas en materiales fibrosos, es la catálisis inducida por radiaciones ionizantes como lo son los rayos Gamma (usualmente fuentes de Co-60) y los rayos Beta (generadores electrostáticos), sin embargo está más generalizado el uso de los rayos Gamma debido a su mayor penetrabilidad, relativa accesibilidad comercial de equipo y fuentes de irradiación Gamma; además de presentar menor degradación la pieza tratada en sus fibras con respecto al proceso a base de calor (termo-catálisis) (1) (15).

Normalmente la muestra de madera impregnada se irradia en un recipiente hermético con el objeto de atrapar los vapores desprendidos por la evaporación del monómero, o si no para mantener una atmósfera de N₂ (gas inerte), ya que la presencia del O₂ atmosférico ejerce una acción inhibitoria en el proceso de polimerización de monómeros vinílicos —

(20).

Otras sustancias como son los aceites esenciales, resinas naturales de la madera, colorantes o adhesivos, retardan en mayor o menor grado la polimerización, que sigue un mecanismo de radicales libres como lo sugieren las investigaciones hechas en este sentido con macro moléculas (2).

Las reacciones de polimerización, generalmente exotérmicas -- pueden tener un mejor control mediante la utilización de la pre-irradiación a la pieza por impregnar, y la acción conjunta de un catalizador químico, la cantidad de calor ($- \Delta H$) implicada en una reacción de polimerización con monómeros vinílicos va de 100 a 300 K Cal/Kg lo cual -- puede provocar una polimerización violenta con ebullición del prepolímero formado así como inutilización de la pieza impregnada (20).

La extracción de aceites y resinas naturales de la madera, a manera de tratamiento a la pieza por impregnar, ofrece buenos resultados -- si se utiliza acetona como solvente (20).

Otra variación del proceso de inducción a la polimerización -- del monómero es la pre-irradiación de la pieza de madera sin impregnar, -- con el objeto de promover la formación de radicales libres por la activa--

ción de las sustancias naturales de la madera, proceso mediante el cual se favorece la conversión de monómero incorporado posteriormente con un catalizador químico. (20)

Las velocidades de dosificación gamma pueden dar mayor o menor eficiencia al proceso de polimerización del monómero incorporado, esto puede explicarse considerando el caso mismo de el catalizador químico, considerando un efecto catalítico similar de la radiación gamma a una mayor o menor velocidad de dosificación para una misma dosis pudiéndose hablar de dosis y velocidades óptimas para un proceso en especial. (20)

TABLA A-2.1.- OBSERVACIONES EXPERIMENTALES DE POLIMERIZACIÓN.

Concentración de catalizador.	Tiempo de Polimerización	Peso Molecular
alta	corto	bajo
baja	mediano	alto

Se informan porcentajes de conversión de polímero de 98% para impregnaciones de madera natural (pino) con vinil acetato, con una dosis

total de 6 M roentgen y una velocidad de dosificación de 4.5×10^4 rad/Hr. (3) Los períodos de inducción también son variables en función no solamente de el tipo de madera y de el pre-tratamiento que se dé a la pieza por impregnar, sino también del monómero utilizado en la impregnación; así el perfil de polimerización y en especial los puntos óptimos de los procesos de polimerización en materiales fibrosos (bagazo de caña) — presenta las siguientes eficiencias :

TABLA B-2.1.-	POLIMERO INCORPORADO	D	% P
	Poli Estireno	8.0	93 %
	Poli Vinil Acetato	4.5	98 %
	Poli Metacritato de metilo	1.5	98 %

D : Dosis total recibida (M rad.) a una velocidad de dosificación de 4.5×10^4 r/hr.

%P: Por ciento de polimerización. (4)

Los largos períodos de inducción además de ser anti económicos para un manejo de proceso a escala industrial, pueden promover una degradación del polímero formado; ésto ha llevado a la utilización de —

co-polímeros tales como Estireno - Poliester (50:50), Estireno Acrilo -- Nitrilo (60 : 40) y Poliestireno - Acrílico (40: 60), en la impregna- — ción de materiales fibrosos, por tener estas soluciones un menor período de inducción a la polimerización.

Como ventajas del proceso gamma catalítico son de mencionarse la plena separación experimental por parte de la impregnación de las - soluciones, y luego la polimerización que en el proceso gamma catalítico_ es más controlable en su desprendimiento de energía de polimerización - - (- ΔH), los pesos moleculares alcanzados en los polímeros obtenidos son mayores por este proceso, comparando los obtenidos mediante la termo ca- tálisis. (15) (21)

De el conjunto de variables experimentales que pueden hacer - de un proceso de polimerización gamma catalítico poco reproducible, den_ tro de los estrictos términos de eficiencia y control de calidad en los mate_ riales obtenidos, puede considerarse la siguiente lista como los factores -- más importantes :

- 1.- Variedad a tipo de material fibroso.
- 2.- Pre-tratamiento al material fibroso.

- 3.- Espesor del material.
- 4.- Solución de monómeros seleccionada.
- 5.- Catalizador químico seleccionado.
- 6.- Pre-tratamiento a las soluciones de monómero.
- 7.- Método de impregnación seleccionado.
- 8.- Método de acondicionamiento para irradiación.
- 9.- Selección de parámetros de dosificación gamma.
- 10.- Dosis de irradiación promedio en el módulo tratado.
- 11.- Viscosidad y peso molecular.
- 12.- Homogeneidad en la distribución del polímero impregnado en la pieza.
- 13.- Costeabilidad de el proceso.

2.2.- TERMO CATALISIS EN MATERIALES FIBROSOS IMPREGNADOS.

Dentro de los estudios tendientes a la modificación de propiedades físicas de los materiales con fibras naturales y sintéticas por impregnación de monómeros, ha sido la madera uno de los materiales básicos más — ampliamente estudiado ya sea para lograr un mejor aprovechamiento de la misma o bien para preservarla por un tiempo mayor, propiedad que le con_

fiere la impregnación de resinas sintéticas. Se ha informado que las propiedades físicas que se promueven por la impregnación de polímeros en la madera, es por el reforzamiento por saturación de los poros en las paredes celulares de la madera considerando diversas maneras o métodos de impregnación obteniéndose variados grados de eficiencia en el % en peso de polímero incorporado, la combinación selectiva de monómeros para un rendimiento o incremento en ciertas propiedades físicas tales como esfuerzo a la compresión, abrasividad, elasticidad, permeabilidad, etc. (20)

La capacidad higroscópica de la madera (contener y/o absorber agua) ofrece una variación en su humedad relativa según su especie y su tiempo de secado, alcanzando estabilidad dimensional con 30% de humedad, la incorporación de polímeros en la madera disminuye su absorción de H₂O hasta un 80% dentro de los valores más notables. (20)

Las primeras impregnaciones de madera con resinas modernas fueron con resinas fenolicas (1940) con las cuales se moldeaban objetos (bakelita), así también la urea y la melamina fueron parte de las formulaciones de moldeo con madera en polvo.

El problema de la estabilización dimensional de la madera fue en sus principios tratado por acetilación o por infusión de ciertas resinas -

dentro de la madera que como las fenólicas primeramente se solubilizaban en alcohol o acetona; después de la impregnación el agua de la madera es cuidadosamente eliminada difundiéndose mejor la resina adicional por las paredes celulares de los lumens. Posteriormente se da un calentamiento alrededor de 300° F por un tiempo que varía entre 30 a 60 min., convirtiéndose la resina en insoluble e infusible (20). Debe hacerse notar el aumento en las dimensiones originales provocado por ésta polimerización observándose hasta un 12% en el incremento de volumen y 30% en el aumento de peso.

El tratamiento de la madera con resinas termo plásticas como el metacrilato de metilo o el Estireno se han hecho en solución con el objeto de facilitar la difusión del líquido por la estructura porosa e interconectada de la madera que según sea la especie, presentará mayor o menor difusión del monómero líquido. El uso de acetona como solvente de resinas y aceites naturales en la madera, favorece la polimerización de monómeros impregnados, ya que la actividad de estas resinas naturales más bien es inhibidora de la polimerización cuyo efecto es más sensible en el proceso gamma catalítico. Dentro de las variables más importantes que afectan el proceso termo catalítico cabe mencionar las siguientes :

1.- MADERA

variedad o especie

densidad, espesor

contenido de resinas naturales

pre-fabricación (triplay)

pre-tratamiento (acetona), (secado)

2.- MONOMEROS

Pre-tratamiento (lavado, destilado)

viscosidad, % de impurezas

% de catalizador químico

3.- PROCESO

Impregnación al vacío o a presión

tiempo de impregnación

acondicionamiento de la muestra

temperatura de polimerización

% de polímero incorporado.

Se realizó un experimento impregnado madera con una solución de acrílico, utilizando como catalizador peróxido de Benzoilo al 1%, - -

temperatura de polimerización de 65° a 70°C llegando a ofrecer hasta un 85% de conversión de monómero. Este experimento sirve de comparación con otro efectuado, utilizando una solución impregnadora de Poliester-Es-tireno (4.0 al 1.0) con 1% de peróxido de Benzoilo como catalizador químico; utilizando una menor temperatura de polimerización (30 a 40°C).- Durante 24 hr ya que la reacción es fuertemente exotérmica pudiendo deteriorar a la pieza impregnada. De lo anterior se observa la selección que ha de haber en cada experimento atendiendo a las características de cada monómero impregnado.

La estabilidad dimensional de las muestras impregnadas con resinas termoplásticas mantienen prácticamente sus dimensiones originales, no así los termo fijos como la bakelita, ya que los termo plásticos forman básicamente polímeros lineales. (20)

2.3.- CATALISIS ULTRA SONICA EN MATERIALES FIBROSOS IMPREGNADOS.

Otro proceso de carácter catalítico es con el uso de radio frecuencias (5), el cual se aplica después de un período de calentamiento a la pieza impregnada, en una solución del monómero y un catalizador químico.

mico (Bz2 O2) (0.5 a 2%). Se utiliza primeramente la iniciación térmica de la polimerización para que la pieza alcance la primera fase del proceso (calentamiento selectivo $\pm 65^{\circ}\text{C}$), posteriormente se mantiene la polimerización ya iniciada, aplicando radio frecuencia para mantener el proceso hasta completarse. Este procedimiento repara en la poca conductividad térmica que presenta la madera ($0.087 \text{ B.T.U. ft/Hr. ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$), elevando más rápidamente la temperatura de la muestra impregnada, teniendo así menores pérdidas de monómero por evaporación (4).

Las implicaciones de este proceso en cuanto a seguridad y riesgos para elaboración son menos restrictivos que en el uso de radiación gamma. Se informa en este trabajo (5) que las más altas eficiencias del proceso ultrasónico fueron alcanzadas con los siguiente parámetros :

Frecuencia ν : 400 000 Hz

Potencia P : 150 Watt

Para una polimerización total de el monómero impregnado es observable que la mejor aceleración a la polimerización tiene un excelente ajuste con la mayor liberación de I_2 en la dosimetría para irradiación ultrasónica, obteniéndose un punto máximo con una densidad energética

alrededor de :

$$200 \text{ erg/cm}^3$$

o una cantidad de 3 Watt/cm^2

Esto es debido principalmente al efecto destructivo de la presión que se ejerce sobre las celdillas de aire en la madera y no debido a la irradiación ultra sónica, ya que el punto óptimo de polimerización está lejos de ser excesivo y provocar degradación del polímero, además de el efecto de fibrilación en la madera. (5)

2.4.- ANALISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE INDUCCION A LA POLIMERIZACION.

Por lo que respecta a los procesos termocatalíticos, no han sido superados en accesibilidad de equipo, inclusive desde un punto de vista económico y de operación; los procesos termocatalíticos ofrecen un menor % de polimerización o eficiencia en la polimerización de materiales impregnados, sin embargo la tendencia general de los experimentos y diseño de procesos a mayor escala de fabricación, sugiere iniciar la polimerización por irradiación de la muestra con rayos gamma, selectiva por su alta

penetrabilidad y carácter ionizante (catálisis) a nivel molecular, y concluir la polimerización vía termo catálisis, esto da una accesibilidad económica al proceso gamma catalítica y termo catalítica combinados. Los largos períodos de inducción a la polimerización de algunos monómeros hacen al proceso puramente gamma catalítico poco viable en su instalación, por su mantenimiento especializado, el decaimiento de potencial de irradiación (Co-60), seguridad radiológica etc.

Se puede considerar que no hay diferencias significativas en las propiedades físicas de los materiales impregnados, polimerizados vía termo catálisis o gamma catálisis. (15)

Las pruebas físicas que llevaron a la anterior conclusión fueron hechas en muestras de pino-acrílico, éstos fueron :

- 1.- Comprensión perpendicular al grano
- 2.- Permeabilidad
- 3.- Coeficiente de difusión
- 4.- Eficiencia a la contracción
- 5.- Penetrabilidad

El endurecimiento de la superficie del material polimerizado -

por gamma catálisis fue alrededor de un 25% mayor que los polimerizados-vía termo catálisis, ésto es posiblemente debido a la evaporación del monómero durante el período de polimerización.

La permeabilidad de las muestras tratadas con polímeros así como las no tratadas, fue aparentemente incrementándose cuando la dosis de absorción gamma, se aumentaba de 3 a 10 M rad, no presentando aparente degradación mecánica, arriba de la dosis máxima. (15)

2.5.- PROPIEDADES ACUSTICAS DE LOS MATERIALES DE ACONDICIONAMIENTO.

El conocimiento de las cualidades de los materiales resulta un factor de gran importancia hoy día, debido principalmente a la gran diversidad de productos aparentemente similares, lo cual es un factor de competencia entre los fabricantes. Así la elección de los materiales debe ser ajustándose primeramente a poseer el mayor número de datos posibles sobre las características del material y que sean de utilidad para el servicio que será destinado. Dentro de estas características y propiedades la absorción sonora que presentan los materiales de acondicionamiento ofrecen al ingeniero constructor y al arquitecto poder adecuar acústicamente las sa-

las o recintos que construye, ésto quiere decir :

- a) Uniforme distribución del nivel sonoro.
- b) Adecuada mezcla y separación de los sonidos sucesivos.
- c) Adecuado nivel de sonoridad
- d) Adecuado nivel de silencio.

Siendo los materiales de acondicionamiento acústico los elementos que en conjunto y de acuerdo con un estudio geométrico de las fuentes de emisión y reflexión sonora ofrecen los anteriores requerimientos, he aquí su importancia en el estudio acústico de los mismos.

2.5.1.- FUNDAMENTOS TEORICOS.

Los materiales y sustancias en general presentan una modificación energética y/o física cuando incide en ellos una radiación electromagnética, lo cual tiene una representación más evidente en los experimentos con ondas luminosas (a) (fig. 1). Este mismo comportamiento es aplicable a la incidencia de ondas sonoras en las superficies de los materiales (b) (fig. 2).

	λ (A°)	γ (Hz)
a- ondas luminosas	4300 a 6900	6.98×10^9 a 4.34×10^9
b- ondas sonoras	1.875×10^{18} a 1.195×10^{15} (Km = 10^{13} A°)	16 a 25,000

La intensidad sonora es un índice de energía la que se transporta en el medio de propagación; ésta es medible por la "cantidad de energía por unidad de tiempo y área sobre la cual incide" (I); pudiéndose definir también como una potencia mecánica que actúa sobre una superficie; la intensidad sónica aplicada (I) tiene que ser referida a la percepción mínima de energía sonora (I_0) que puede ser captada por el oído humano

$$I_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ Watt/m}^2$$

De los anteriores conceptos se define la intensidad relativa de un sonido como el cociente (I/ I_0)

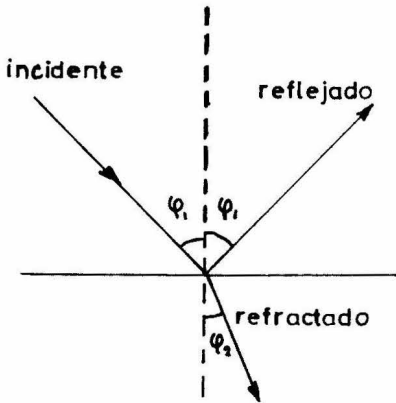


FIG. 1

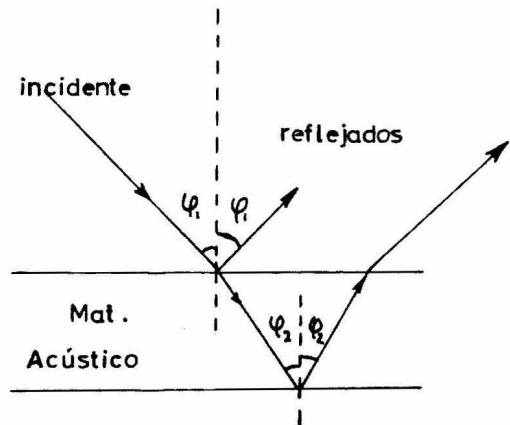


FIG. 2

La intensidad relativa de un sonido (I/I_0) ofrece poca variación en su pendiente gráfica (fig. 3) por lo cual no puede ser analizada en sus variaciones con las intensidades sonoras aplicadas en una medición electrónica, razón por la cual se estableció la unidad logarítmica de la intensidad relativa de una radiación (sonora) a la cual se le llamó decibel, que se difiere como :

$$dB = 10 \text{ Log}_{10} (I/I_0)$$

y que tiene una relación de cambio (dy/dx) mayor, para los objetivos de medición con equipo electrónico. (fig. 4).

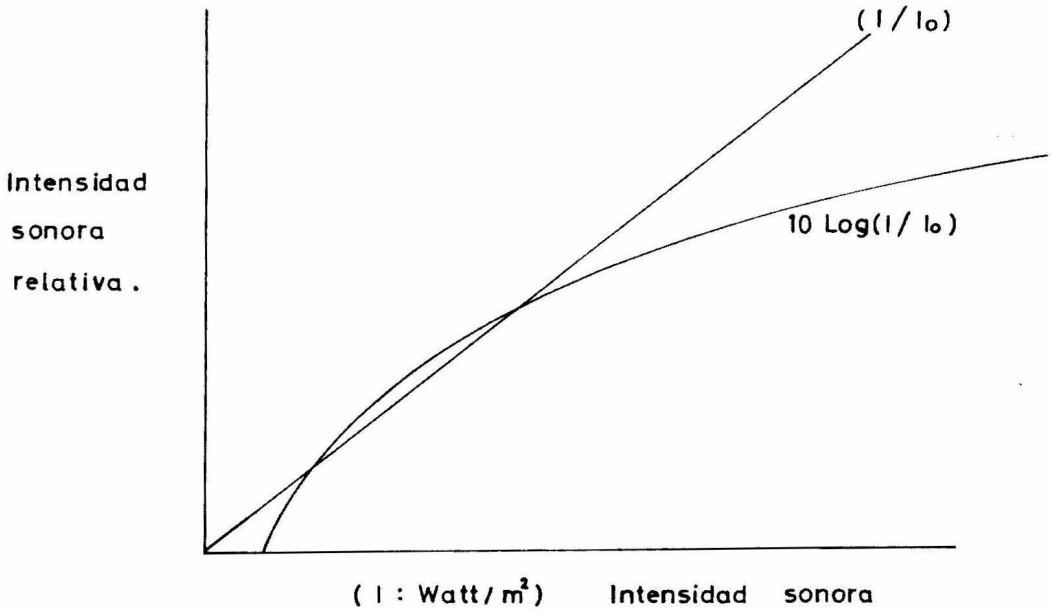


Fig. 3 y 4

La unidad dB es muy importante en las mediciones acústicas de absorción o reflexión sonora, que presentan los materiales de acondicionamiento para un volumen de medición, que llega a integrarse en un valor específico llamado tiempo de reverberación sonoro (t_r : seg.) que se define como "el tiempo que tarda en bajar 60 dB la intensidad sonora a partir de una intensidad inicial".

Se tienen para los estudios acústicos de locales una tabulación de tiempos de reverberación recomendables para cada tipo de locales. (7)

Y todos los materiales de acondicionamiento contribuyen en la absorción sonora que un local pueda presentar, afectando ésto directamente al tiempo de reverberación; la relación que explica la influencia de la absorción sonora de los materiales es la fórmula de P. E. Sabine que define el tiempo de reverberación de la siguiente manera :

$$T_r = \frac{0.05 \quad V}{\sum_{i=1}^n (A_i C_i)} = \frac{0.05 \quad V}{A}$$

t_r = Tiempo de reverberación (seg)

V = Volumen del local de medición (ft^3)

A_i = Superficie de cada material que tenga el local (ft^2)

C_i = Coeficiente de absorción acústico (tabulación (7))

A = Total absorción sonora (Sabines)

Posteriores estudios hechos en acústica por Eyring (11) han mostrado que la ecuación anterior es inadecuada para evaluación de T_r en habitaciones largas o cuartos con absorción sonora muy grande; desarrollando la siguiente ecuación.

$$A_{av} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i C_i}{\eta} \quad T_r = \frac{0.05 \quad V}{-S \ln (1 - A_{av})}$$

donde :

V : Volumen (ft^3)

S : Area total (ft^2)

Aav : Absorción promedio (ft^2)

Estas fórmulas para el tiempo de reverberación en locales son -- las arquitectónicamente más usados, atendiendo a las tabulaciones que edifi-
tan los fabricantes especializados en materiales para acondicionamiento --
acústico.

El tiempo de reverberación así definido por las ecuaciones de Sabine y Eyring conduce a especificar que antes de ser una propiedad intrín-
seca del material, es un valor de un acondicionamiento total debido a la -
contribución en absorción sonora por cada material presente en la medición
así como no es específico el Tr para un local de un tamaño determinado; -
pudiéndose decir que el "Tr es un índice de acondicionamiento acústico --
adaptable a un local, por la disposición y calidades de superficies expues-
tas" (7).

2.5.2.- PRUEBAS ACUSTICAS EN MATERIALES DE ACONDICIONAMIENTO.

Para las mediciones de absorción sonora en un material de prueba, primeramente se obtiene el registro de la absorción sonora del local — sin los materiales, anotando la humedad relativa (temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo) que corregirán la medición. La intensidad sonora de la medición se hace a 60 d B según lo marcan las normas — (8), (9), (10), para pruebas acústicas de materiales, seleccionando las — frecuencias de 125, 250, 500, 1 000, 2 000 y 4 000 (Hz).

El coeficiente de absorción sonora (c) de una superficie, es la — evaluación de la relación entre la energía sonora absorbida (I/I_0) y la — energía sonora incidente (I/I_0) i ; valor que se determina para un mate— rial y una frecuencia seleccionada; obteniéndose tabulaciones de coefi—

$$C = \frac{(I/I_0)}{(I/I_0) i}$$

cientes (c) y frecuencias para un mismo material (11) (16). Todas las — direcciones de incidencia sonora tienen igual probabilidad de ser conside— radas en la medición sonora, de aquí, que el diseño de las cámaras de —

prueba acústica de materiales, sea considerado también por las normas (8), (9) y (10).

Anteriormente se definió la unidad de absorción como el Sabine, que es igual a la absorción equivalente de 1 ft^2 de absorción unitaria, o sea 1 ft^2 de una superficie que absorbiese toda la energía sónica incidente; este concepto arquitectónicamente se define así :

$$1 \text{ SABIN} = 1 \text{ ft}^2 \text{ de ventana abierta}$$

Los especialistas en la medición de los coeficientes de absorción sonora de los materiales utilizan cámaras reverberantes con volumen de 4 000 a 20 000 ft^3 para determinar el tiempo de reverberación que ofrece el material con las frecuencias sónicas de prueba, teniendo estas cámaras vacías tiempo de reverberación entre 5 y 10 segundos.

Específicamente la cámara reverberante donde se hicieron las mediciones acústicas para los materiales manufacturados pertenece al laboratorio de acústica del Centro de Investigaciones Arquitectónicas de la U.N.A.M. Esta cámara del laboratorio de acústica (cámara reverberante) está construida a base de muros de piedra brasa de 40 cm de espesor; la cámara reverberante está en el interior del laboratorio, aislada en todo

su perímetro y soportada en un colchón de fibra de vidrio, teniendo ésta 4 paredes no paralelas (fig. 2.5.2.-A) con el objeto de evitar ondas estacionarias que afecten la determinación del tiempo de reverberación de las frecuencias sonoras emitidas por el equipo electrónico de precisión que se enlista en la sección. (7.2.-)

Otras características de la cámara reverberante son :

Volumen : 198.40 m^3

Tiempo de reverberación : 7.1 seg. (vacía)

Todas estas especificaciones cumplen estrictamente con los requerimientos de la I. S. O. y A. S. T. M. para cámaras reverberantes -- (8), (9).

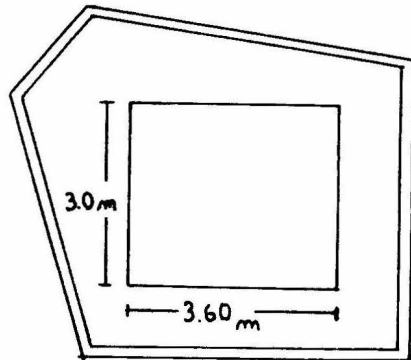


Fig. 2.5.2.A - Corte seccional de la cámara reverberante, mostrando la superficie instalada del material polimérico manufacturado.

Los materiales de prueba además de tener que cubrir una área - de 10 a 12 m² (A.S.T.M. (9)) éstos deben de ser colocados tal como se instalarían, recomendándose las siguientes estructuraciones :

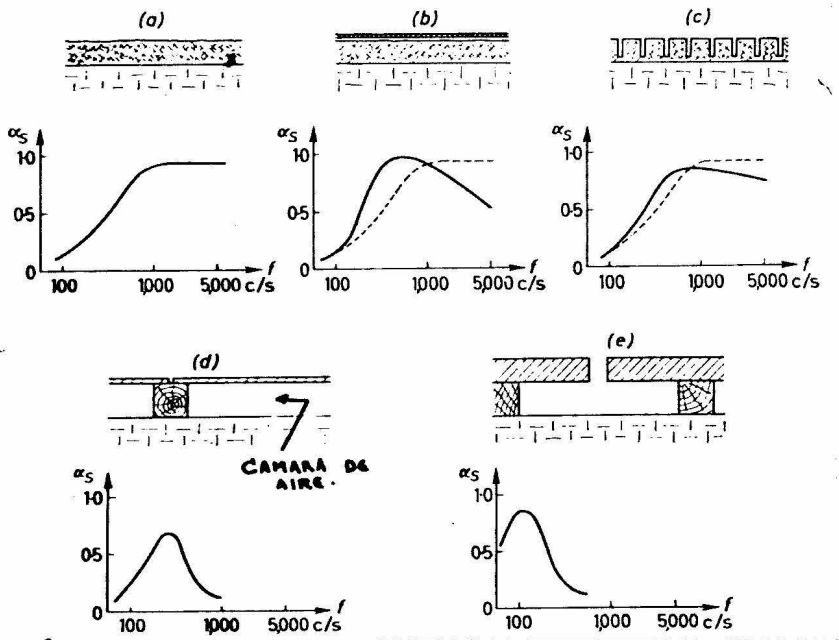


Fig. 2.5.2-B Diferentes tipos de absorción sonora según el montaje — del material :

- a) superficie porosa
- b) superficie porosa con cubierta perforada
- c) módulo acústico
- d) tablero instalado para vibrar libremente
- e) Resonador.

Los materiales que se elaboran en este estudio llevarán una estructura del tipo (d) dado el tipo de material en placas así como una cámara de aire con el propósito de estudiar la absorción sonora del material en bajas frecuencias; la cámara de aire en el material puede tener espesores de 5 a 10 cm lo cual modifica ampliamente los tiempos de reverberación del material por la vibración más libre que ofrece esta estructuración.

Las instalaciones del tipo a, b y c son recomendables para materiales porosos o recubrimientos absorbentes como es el caso del ACUSTONE (10) a base de una formulación con mineral vermiculita (Silicator - Amorfor) material con el cual se empasta la pared rígida (concreto).

La literatura especializada enlista los materiales más representativos en las instalaciones arquitectónicas que conjuntamente con la fórmula Sabine, se obtienen los tiempos de reverberación en locales y salas de audición donde se requiere tener un adecuado acondicionamiento acústico.

La repetición de las mediciones del tiempo de decaimiento sonoro para las mismas condiciones, puede mostrar variaciones en cuanto a precisión con cada frecuencia; y por lo tanto es el promedio de un grupo

de mediciones y eligiendo el tamaño del grupo que ofrezca un coeficiente de absorción con una precisión de ± 0.04 a 125 Hz y 4 000 Hz así como ± 0.02 con todas las frecuencias intermedias con límites confiables de -- 90% (9).

3.0.- OBJETIVOS DEL ESTUDIO.

Teniendo por referencia las investigaciones internacionales que se han desarrollado sobre este tipo de materiales compuestos de plástico y madera (1) así como otros materiales fibrosos, se observó que las maderas terciadas no han sido objeto de participación dentro de estos estudios, además de la escasa información que se tiene sobre sus propiedades acústicas, quedando por estos motivos y otros referentes al proceso de polimerización los siguientes objetivos a cubrir :

- 3.1.- Utilización de madera terciada de pino y de caoba en las impregnaciones-polimerizaciones, para ampliar el espectro actual de estudios de impregnación de madera.
- 3.1.1.- Investigación sobre las modificaciones acústicas arquitectónicas que puedan presentar los materiales manufacturados.
- 3.1.2.- Evaluación de el coeficiente de absorción sonora en la modificación que presentan los materiales utilizados antes y después -

de someterlos al proceso de polimerización.

- 3.1.3.- Analizar comparativamente los diferentes materiales en estudio_ en sus propiedades acústicas.
- 3.2.- Selección cuantitativa de los métodos de polimerización que se adapten a este tipo de materiales en placas.
- 3.3.- Caracterizar el nivel de polimerización del polímero incorpo--rado.
- 3.4.- Evaluación preliminar sobre la aplicación de los materiales de -sarrollados.
- 3.5.- Apreciación de los efectos de las variables del proceso para la- obtención del material.
- 3.6.- Realizar una apreciación económica sobre este estudio.

4.0.- DESARROLLO DE EXPERIMENTOS :

4.1.- MATERIALES SELECCIONADOS.

4.1.1.- Maderas :

Fueron seleccionados dos tipos de madera terciada (pino y caoba) atendiendo a su accesibilidad comercial y a las necesidades de las pruebas acústicas que requieren de un material en placas. La madera tiene las siguientes especificaciones :

Triplay de 6 mm de espesor marca MIQRO clase "B" con una superficie de acabado.

Triplay de pino: 90 placas (60 x 60 x 0.6 cm)

Triplay de caoba : 60 placas " "

Utilizando 30 placas de cada material por medición del coeficiente de absorción sonora.

4.1.2.- MONOMEROS :

Fueron seleccionados dos tipos de monómeros para las impregnaciones; una vez más atendiendo a su accesibilidad comercial y a las referencias de las propiedades mecánicas conferidas en materiales impregnados (1), estos fueron : Estireno y Metacrilato de Metilo.

4.1.3.- CATALIZADOR QUIMICO.

Fue usado peróxido de Benzoilo ($B_{z_2} O_2$) en polvo.

4.2.- METODOS DE POLIMERIZACION.

Con el objeto de tener un criterio de elección sobre el proceso que presentara mayor accesibilidad y eficiencia se consideraron los dos siguientes :

PROCESO	CLAVE	VARIABLE INTENSIVA
termo catalítico	Δ	temperatura de polimerización
gamma catalítico	γ	dosis de radiación gamma

4.3.- PRUEBAS ACUSTICAS.

Con el objeto de obtener resultados comparativos, en la modi-

ficación del coeficiente de absorción sonora de los materiales, éste les --
fue medido antes y después del proceso de polimerización a las placas de --
madera. Se midieron también estos coeficientes en placas de polímero pu
ro (Acrílico y Estireno).

5.0.- DIAGRAMAS EXPERIMENTALES DE POLIMERIZACION.

Con el objeto de mostrar un planteamiento general de los experimentos de polimerización, que se llevaron a cabo tanto en forma preliminar como en forma definitiva para la manufactura de los materiales acústicos, se dan a conocer los siguientes diagramas :

(A-1) gamma catálisis para impregnados de Estireno

(A-2) gamma catálisis para impregnados de Acrílico

(A-3) termo catálisis para impregnados de Estireno

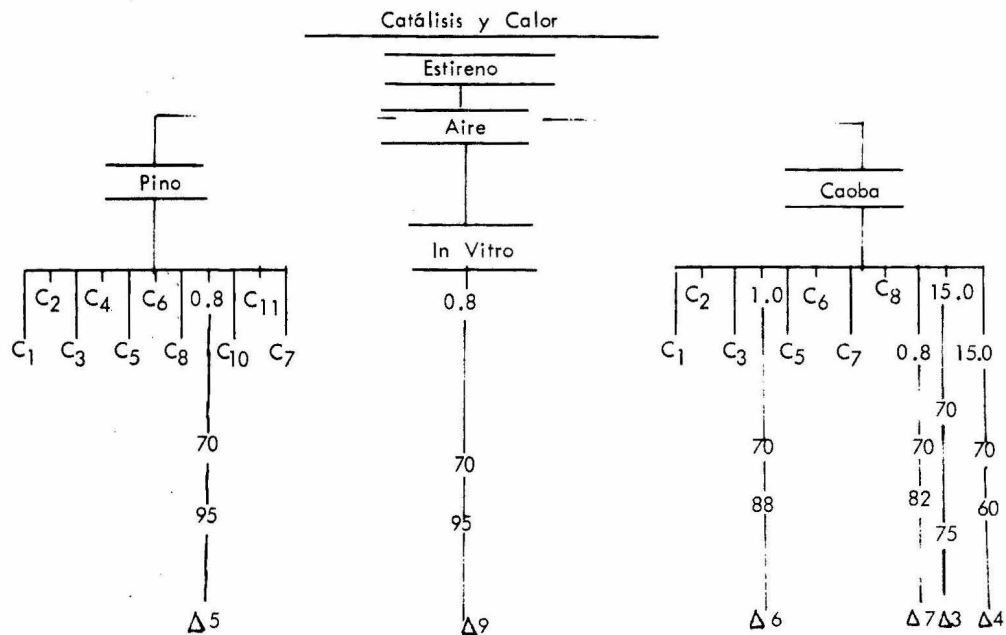
(A-4) termo catálisis para impregnados de Acrílico

Las claves de los experimentos aparecen en el apéndice D.

TABLA A-3

DIAGRAMA DE EXPERIMENTOS TERMO - CATALITICOS
CON POLIESTIRENO.

Proceso :
 Monómero :
 Atmósfera :
 Madera :
 Expto Preliminar :
 Concentración de Catalizador :
 (% P) (*)
 Temperatura (°C)
 % de Polimerización:
 Clave del (*)
 Experimento :



(*) : Consultar Apéndice "D" y/o Sección. 6.6

TABLA A - 4

DIAGRAMA DE EXPERIMENTOS TERMO - CATALITICOS
CON ACRILICO.

Proceso :

Monómero :

Atmósfera :

Madera :

Exp. Preliminar :

Concentración

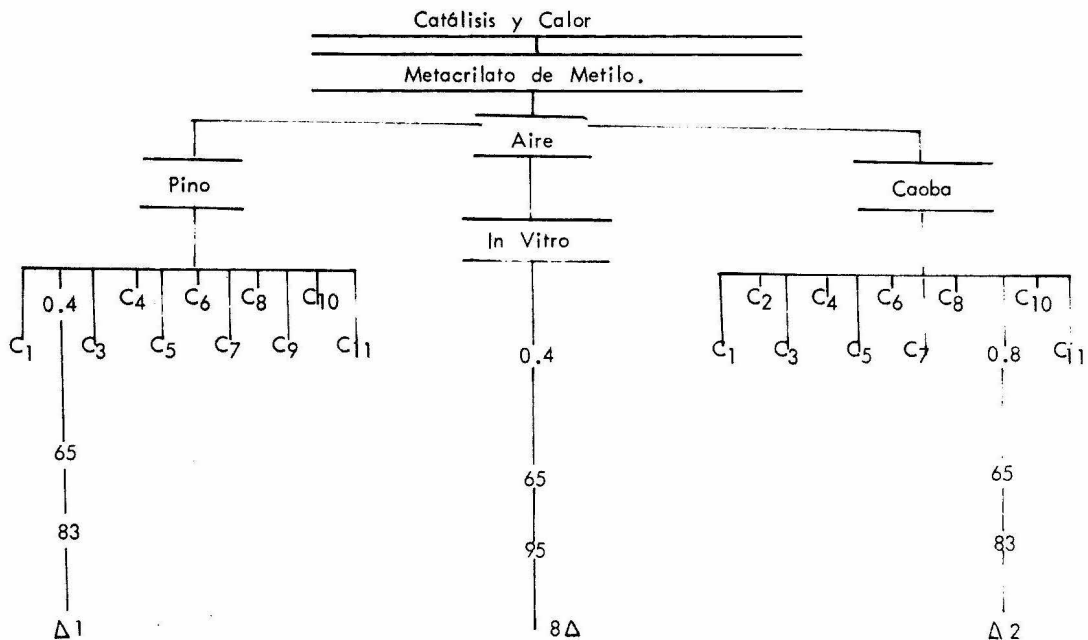
de Catalizador :
(% P)

Temperatura (°C)

% de Polimerización:

(*)

Clave del Experimento :



(*): Consultar Apéndice "D" y/o Sección. 6.6

6.0.- EVALUACION DE VARIABLES EXPERIMENTALES.

Con el objeto de explorar las condiciones más apropiadas para la inducción a la polimerización de los materiales seleccionados, se utilizaron pequeñas muestras de madera terciada (6x6x0.6 cm) sometiéndolas a diferentes procesos de impregnación y de polimerización con diferentes soluciones de monómeros, que sirvieron de antecedentes en la elaboración de los materiales para mediciones acústicas. Las variables experimentales por proceso, que se consideraron fueron :

a) PROCESO TERMO CATALITICO

- . Tiempo de secado a la madera hasta obtener un peso constante
- . pre tratamiento al monómero utilizado
- . tipo de solución impregnadora catalizada
- . tipo de impregnación
- . temperatura de polimerización
- . eficiencia del proceso

b) PROCESO GAMMA CATALITICO

- . Secado de la madera
- . pre tratamiento al monómero utilizado
- . tipo de solución impregnadora catalizada
- . velocidad de dosificación y dosis óptima de irradiación gamma
- . acondicionamiento atmosférico de irradiación (N_2 o O_2)
- . eficiencia del proceso
- . tipo de impregnación

6.1.- SECADO DE LAS MUESTRAS.

Este se llevó a cabo en una estufa, donde se mantuvo la temperatura de $105^{\circ}C$ durante 24 hr ofreciendo una variación en el peso de las muestras de madera de ± 0.005 gr al final del secado, con lo cual se consideró eliminada la humedad que pudiera actuar como inhibidora en la polimerización de la solución impregnada.

6.2.- PRE-TRATAMIENTO A LOS MONOMEROS.

Los monómeros utilizados en las impregnaciones (Metacrilato - de Metilo y Estireno) contienen Hidroquinona en una concentración de 0.1 a 2% (inhibidor de la polimerización en almacenamiento), por lo

cual fue extraída ésta por lavado de los monómeros con solución de NaOH al 5% y en otros casos por destilación al vacío de los monómeros.

6.3.- IMPREGNACION DE SOLUCIONES.

Fue elegida la impregnación al vacío (parcial) de las muestras de madera, ya que el monómero es incorporado en mayor cantidad y más rápidamente, fueron construidos para este proceso, contenedores de vidrio que guardarán hermeticidad durante el tiempo que se diera para este proceso. (\pm 24 hr.). Las presiones absolutas del sistema fueron de 535 mm-Hg a una temperatura de 25°C , momento en el cual hervía la solución (Acrílico - 0.8% Bz_2O_2).

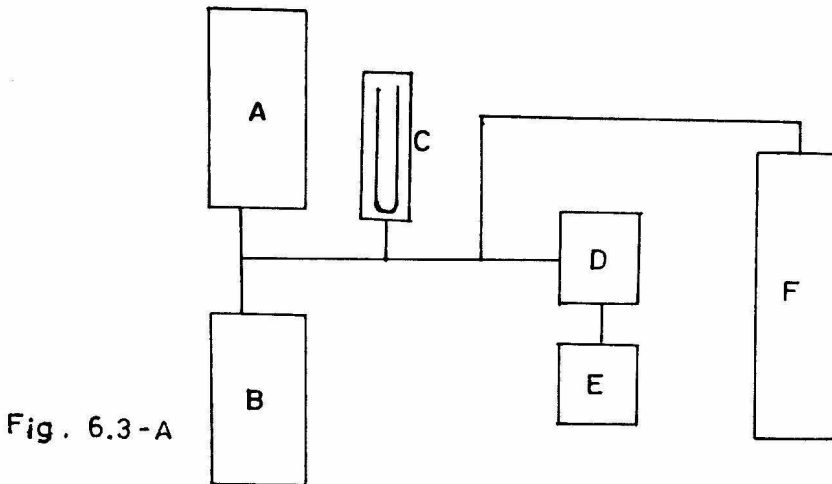


Fig. 6.3-A

Esquema de impregnación al vacío para muestras de madera terciada.

- A. Contenedor de la solución
- B. Contenedor para impregnación (Fig. 6.3 C y B)
- C. Monómetro para vacío
- D. Condensador de vapores de la solución (trampa para vacío) con hielo seco.
- E. Bomba de vacío.
- F. Tanque de N_2 (para proceso gamma catalítico)

Con el sistema descrito en la Fig. 6.3-A se impregnaron las - - muestras de triplay de ($6 \times 6 \times 0.6$) así como los de ($60 \times 60 \times 0.6$) cm), mos-- trando ser eficiente y funcional.

Con el objeto de determinar el % en peso, de solución impreg-- nada a las muestras de madera se obtuvieron los resultados experimentales - del apéndice E donde se utilizó una solución de metacrilato de metilo con 0.8% de $Bz_2 O_2$. Atendiendo a estos resultados se hace preferente la im-- pregnación al vacío dado que es posible captar una mayor cantidad de la - solución en el cuerpo poroso de la madera y por vencer más fácilmente la - resistencia que presenta a la difusión longitudinal y transversal las capas - terciadas de madera que forman los módulos de triplay; además de apuntar - se preferente para la elaboración de los materiales acústicos (placas de ma -

por tamaño) con un 20 a 30% en peso de polímero incorporado.

La temperatura de polimerización fue selectiva para c/u de los monómeros impregnados (MMA y Est) teniendo diversos tiempos de residencia -- dentro de la cámara a temperatura constante según fuese la solución empleada. Teniéndose como referencia los valores obtenidos en la experimentación que se presenta en el apéndice E-2 y E-3 utilizando la solución anterior.

En las secciones 6.6.3 y 6.6.4 se exponen en forma completa los parámetros y eficiencias de proceso alcanzadas en los experimentos termo-catalíticos y gamma-catalíticos.

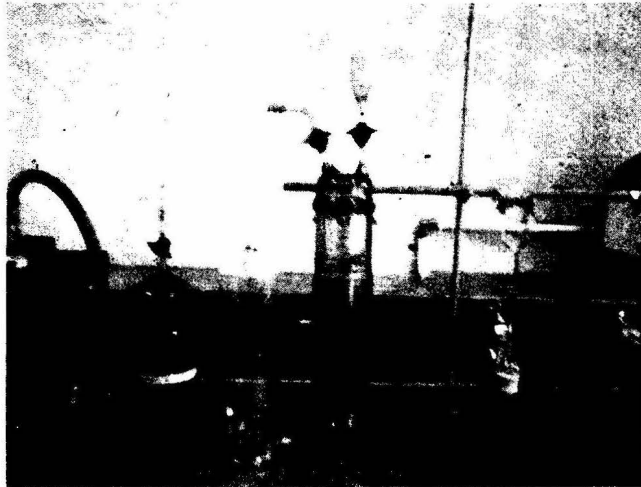


Fig. 6.3-B Recipientes herméticos de vidrio para impregnación y polimerización de pequeñas piezas de madera terciada, vía gamma-catálisis.

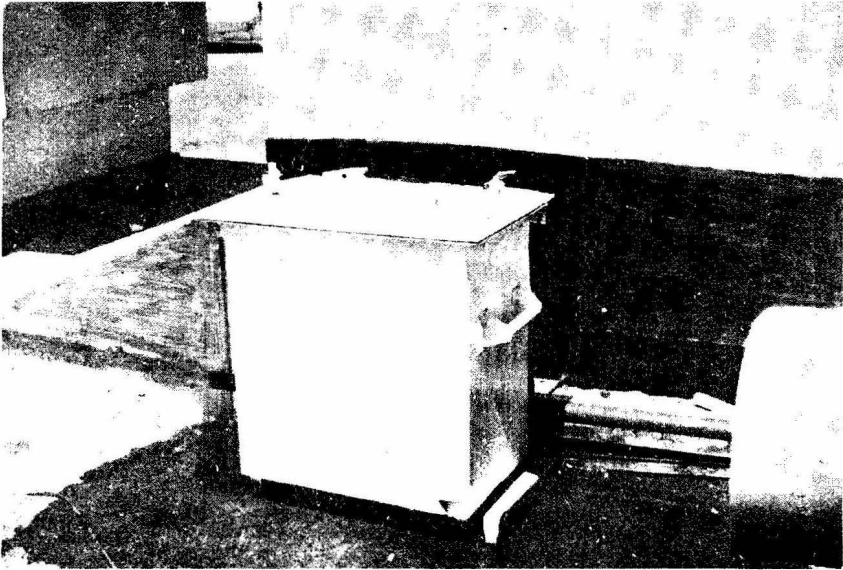


Fig. 6.3-C Contenedor hermético de acero para impregnación y polimerización de piezas (30) de madera terciada para -- pruebas acústicas (ver Fig. 7.4-A).

6.4.- INTENSIDAD DE DOSIFICACION CON RADIACION GAMMA .

La intensidad de dosificación (rad/seg) así como la dosis de ab sorción (rad) para la irradiación gamma de las maderas impregnadas, se to maron en cuenta los siguientes criterios:

a) La dosimetría de absorción de radiación se hizo con una solución Fric ke (13) pudiéndose así reportar la absorción de radiación en los materia-- les impregnados en -rad Frick- sirviendo este dosímetro como índice de la energía que se aplica en la irradiación para los diversos experimentos, ase gurándose con ésto la reproducción de un mismo experimento en la energía de polimerización requerida.

b) Los aparatos de irradiación utilizados fueron : el gamma cell 200 y - el gamma beam 650. Ambos aparatos de irradiación tienen como fuentes- radioactivas al Co-60, estos dispositivos pertenecen al Centro de Estudios Nucleares de la U.N.A.M. (Figura 6.4-A y B).

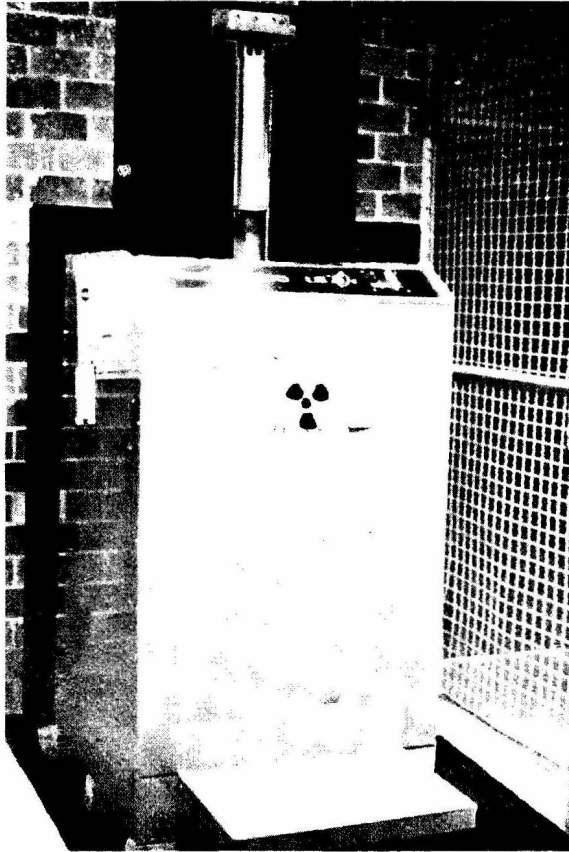


Fig. 6.4-A Gamma Cell 200 vista del irradiador auto contenedor de cobalto 60 con el cual fueron inducidas a la polimerización pequeñas muestras de triplay impregnado (6x6x0.6) con monómeros vinílicos.

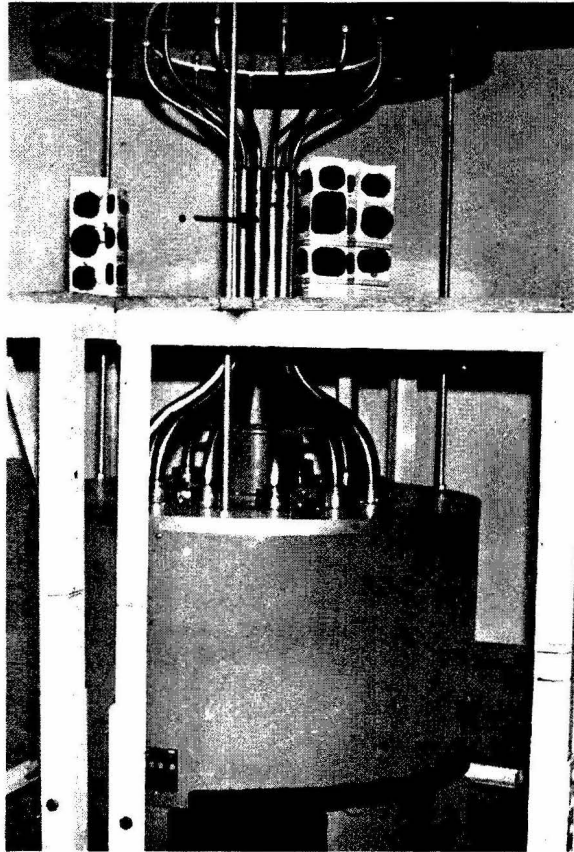


Fig. 6.4-B GAMMA BEAN 650. La flecha en la figura señala el haz de tubos hasta donde son elevadas las fuentes de Co-60 impulsadas por compresores de aire desde sus depósitos blindados en la parte inferior. El haz de tubos puede ser abierto a voluntad según los requerimientos de radiación y colocar la muestra al centro del haz. En este estudio se irradiaron las muestras por fuera del haz de fuentes dado el tamaño de las muestras y el contenedor. (Figura 6.3-B y 6.3-C).

Los dispositivos para irradiación utilizados presentan características de selectividad como las siguientes :

GAMMA CELL 200 :

1. Reducido tamaño de muestras (8.5 cm de diámetro x 13.5 - cm de altura) (figura 6.4-A)
2. Baja intensidad de dosificación .
3. No es posible variar la intensidad de dosificación por la distancia de la muestra con las fuentes .
4. Ofrece mayores factores de seguridad y menos riesgos por fallas en su manejo, que el Gamma Beam 650 .

GAMMA BEAM 650 :

1. El tamaño de muestra a irradiar sólo está limitado por el tamaño del local de instalación del aparato (aprox. 3.5 x 3.5 x 3.0 m) .
2. Baja o alta intensidad de dosificación por selección del número de fuentes de cobalto 60 expuestos (fig. 6.4 - B)
3. Puede variarse la intensidad de dosificación con la distancia que exista de la muestra al centro de la fuente .

4. La mayor actividad nominal de las fuentes (aprox. 50 000 - Ci) requiere de un blindaje mayor así como verificación regular de los controles de las fuentes así como el nivel de radiación en el área de trabajo y mantenimiento.

La irradiación en Gamma Beam 650 (Fig. 6.4 - B) fue hecha — todas las veces con 12 fuentes expuestas en un diámetro de 11.5 cm que — pertenece a la posición de "cerrados", colocando en forma perpendicular a las fuentes las piezas a irradiar, variando la distancia al centro de las — fuentes según fuese la intensidad de dosificación seleccionada (rad/seg) y que es calculada a partir de la siguiente expresión : (13)

$$D_1 r_1^2 = D_2 r_2^2$$

Donde :

D_1 : Intensidad de dosificación en un nuevo punto de localización (r_1 : cm) al centro de las fuentes.

D_2 : Intensidad de dosificación determinada con un dosímetro — de Fricke (14) que es expuesto a la radiación de las fuentes a una distancia específica y un tiempo determinado.

La utilización de diversas velocidades de dosificación Gamma —

para inducir a la polimerización en las soluciones seleccionadas de monómeros se tuvo un criterio de eficiencia en cuanto al proceso, considerándose se los siguientes puntos :

- b 1. Acondicionamiento de las piezas irradiadas
- b 2. Tiempos cortos de irradiación Gamma .
- b 3. Concentración adecuada de catalizador
- b 4. Dosis de irradiación promedio en las piezas .

En el apéndice B se tienen los parámetros bajo los cuales se realizó cada experimento Gamma catalítico; así también en los sub apéndice B-1 se expone el comportamiento que cada experimento presenta para la dosis absorbida de radiación Gamma (M rad-Frike).

6.5.- ACONDICIONAMIENTO ATMOSFERICO DE LA POLIMERIZACION.

El acondicionamiento atmosférico de la polimerización sólo fue utilizado en los experimentos Gamma-catalíticos (apéndice B); y éste consistió en proveer de una atmósfera inerte (N_2), que además no tiene el carácter inhibido de la polimerización que presenta el O_2 atmosférico, pues evita la formación de suficientes radicales libres que inicien la poli-

merización al abrir las dobles ligaduras de los monómeros vinílicos (17).

6.6.- TABULACION Y RESUMEN DE EXPERIMENTOS EN POLIMERIZACION DE MADERAS IMPREGNADAS.

En la sección 5.0, se muestran los diagramas que representan — los experimentos preliminares que se llevaron a cabo con el objeto de de— terminar los parámetros de polimerización más eficientes para cada proce— so y selección de monómeros (acrílico y estireno). Estos mismos experi— mentos seleccionados fueron graficados (apéndice A y B) con el objeto de seguir el trazo de la eficiencia de estos procesos, haciendo esto evidente. Los parámetros y acondicionamientos de la polimerización que se siguieron en la elaboración de los materiales para pruebas acústicas.

A continuación se dan las tabulaciones de los realizados en im— pregnación y polimerización de madera terciada, presentando las caracte— rísticas usadas y alcanzadas en cada caso.

6.6.1.- Experimentos gamma catalíticos en impregnación de madera con— soluciones de acrílico (tabulación B-1).

6.6.2.- Experimentos gamma catalíticos en impregnaciones de madera — con soluciones de estireno (tabulación B-2).

6.6.3.- Experimentos termo catalíticos en impregnaciones de madera con soluciones de Acrílico y de Estireno (tabulación B-3).

6.6.4.- Parámetros de acondicionamiento óptimos en polimerizaciones - termo-catalíticas. (tabulación B-4).

TABLA B - 1

IMPREGNACIONES CON SOLUCIONES DE METACRILATO DE METILO
GAMMA - CATALISIS. (γ).

Expto. (*)	Madera	Solución Impregnada.	Clave Cator. (*)	Intensidad de radiación $\frac{\text{rad}}{\text{seg}}$	Tipo de Expto. (*)	Sin Inhi- bidor Polim.	Atmósfera Irradiación	% de Polimerización (*)
γ_1	PINO	MMA/15% Benceno	C6	94	Gráfico.	x	Aire.	E4
γ_2	PINO	MMA/0.4% Bz ₂ O ₂	C7	94	Gráfico.	x	"	E6
γ_3	CAOBA	MMA/ 0 % Bz ₂ O ₂	C1	72	Puntual	x	"	E1
γ_4	"	MMA/ 0. % Bz ₂ O ₂	C1	"	"	x	Nitrógeno	E4
γ_5	"	MMA/ 10% CCl ₄	C2	"	"	x	"	E4
γ_6	"	MMA/0.5% Bz ₂ O ₂	C8	"	"	x	"	E4
γ_7	PINO	MMA/0% Bz ₂ O ₂	C1	"	"	x	"	E4
γ_8	"	MMA/ 10% CCl ₄	C2	"	"	x	"	E3
γ_9	"	MMA/0.5% Bz ₂ O ₂	C8	"	"	x	"	E3
γ_{10}	"	MMA/ 0 % Bz ₂ O ₂	C1	86.5	Gráfico.		"	E4
γ_{11}	"	MMA/ 0 % Bz ₂ O ₂	C1	139	"		"	E6
γ_{12}	"	MMA/ 1 % Bz ₂ O ₂	C3	86.5	"		"	E6
γ_{13}	In Vitro	MMA/ 0. % Bz ₂ O ₂	C1	86.5	Puntual		"	E6

(*) : Consultar Apéndice (A, B y D)

TABLA B - 2

IMPREGNACIONES CON SOLUCIONES DE ESTIRENO.

GAMMA - CATALISIS. (γ)

Expto. (*)	Madera	Solución Impregnadora.	Clave Cator. (*)	Intensidad de radiación. rad/seg.	Tipo de (*) Expto.	Sin Inhibi- dor. Polim.	Atmósfera Irradiación	Catálisis Térmica 70° C	% de Polimerización. (*)
γ 14	Caoba	Estireno / 0 % Bz ₂ O ₂	C ₁	72	Puntual	x	Nitrógeno	x	E ₃
γ 15	"	Estireno / 10% CCl ₄	C ₂	"	"	x	"	x	E ₃
γ 16	"	Estireno / 1 % Bz ₂ O ₂	C ₃	"	"	x	"	x	E ₃
γ 17	Pino	Estireno / 0 % Bz ₂ O ₂	C ₁	"	"	x	"	x	E ₂
γ 18	"	Estireno / 10% CCl ₄	C ₂	"	"	x	"	x	E ₂
γ 19	"	Estireno / 1 % Bz ₂ O ₂	C ₃	"	"	x	"	x	E ₃
γ 20	"	Estireno / 3 % Bz ₂ O ₂	C ₄	395	Gráfico.		"		E ₅
γ 21	In Vitro	Estireno / 2.5% Bz ₂ O ₂	C ₅	86.5	"		"		E ₆

(*) Consultar Apéndice (A, B y D)

T A B L A B - 3

IMPREGNACIONES CON SOLUCIONES DE ESTIRENO Y DE METACRILATO DE METILO.
TERMO - CATALISIS. (Δ)

Expto. (*)	Madera	Solución Impregnadora.	Tempera- tura. (°C)	Clave (*) Expto.	Sin Inhibidor	Sin Inhibidor	% de (*) Polimerización.
Δ 1	Pino	MMA/0.4% Bz ₂ O ₂	65	C ₂	Gráfico.	x	E ₃
Δ 2	Caoba	MMA/0.8% Bz ₂ O ₂	"	C ₉	Puntual	x	E ₃
Δ 3	"	Estireno/15% C ₆ H ₆ /Bz ₂ O ₂ 0.8%	70	C ₁₀	Gráfico.	x	E ₂
Δ 4	"	Estireno/15% C ₆ H ₆ /Bz ₂ O ₂ 0.2%	"	C ₁₁	"	x	E ₁
Δ 5	Pino	Estireno/0.8% Bz ₂ O ₂	"	C ₉	Puntual	x	E ₅
Δ 6	Caoba	Estireno/1 % Bz ₂ O ₂	"	C ₄	"	x	E ₄
Δ 7	"	Estireno/0.8% Bz ₂ O ₂	"	C ₉	"	x	E ₃
Δ 8	in vitro	MMA/0.4% Bz ₂ O ₂	65	C ₂	"	x	E ₃
Δ 9	" "	Estireno/0.8% Bz ₂ O ₂	70	C ₉	"	x	E ₅

(*) Consultar Apéndice (A, B y D)

T A B L A B - 4

PARAMETROS DE ACONDICIONAMIENTO OPTIMOS EN POLIMERIZACIONES
TERMO - CATALITICAS. (Δ)

	PINO-ESTIRENO	PINO - ACRILICO	CAOBA - ESTIRENO	CAOBA - ACRILICO
Secado de Muestras .	105 °C/24 hr.	105 °C/24 hr	105 °C/24 hr	105 °C/ 24 hr
Pre-tratamiento al Monómero .	NaOH 5%	NaOH 5%	NaOH 5%	NaOH 5%
Concentración de Catalizador .	1% Bz ₂ O ₂	0.8% Bz ₂ O ₂	1% Bz ₂ O ₂	0.8% Bz ₂ O ₂
Presión Absoluta del Sistema .	545 mm Hg ^o	545 mm Hg ^o	545 mm Hg ^o	545 mm Hg ^o
Temp. de Polimerización .	70 °C	65 °C	70°C	65°C
% en Peso de Monómero Impregnado .	106 a 122 %	102 a 121 %	60 a 78 %	82 a 85 %
% " " " " Evaporado .	4 a 9%	19 a 9%	8 a 15 %	10 a 18 %
% de Polimerización .	91 a 96 %	78 a 82 %	69 a 75 %	82 a 79 %
Tiempo de Polimerización .	16 hr	3.5 hr	16 hr	3.5 hr
Tamaño de Muestra .	6 x 6 x 0.6 cm	6 x 6 x 0.6 cm	6 x 6 x 0.6 cm	6 x 6 x 0.6 cm

7.0.- MEDICIONES ACUSTICAS DEL COEFICIENTE DE ABSORCION -- SONORA EN MATERIALES IMPREGNADOS.

En la sección 2.5.2. se explican las características de la cámara de reverberación donde se efectuaron las mediciones acústicas en los --
materiales preparados con madera y plástico; se explicará a continuación co
mo se llevaron a cabo las mediciones.

7.1.- NORMAS DE MEDICION ACUSTICAS.

Las normas de medición acústica dadas por las organizaciones --
del A.S.T.M. y el I.S.O., son las siguientes :

- a) Norma C-423-66: de la American Society for Testing of Materials --
(A.S.T.M.). Para pruebas de absorción de sonido en materiales --
acústicos de acondicionamiento, utilizando cámaras reverberantes.
- b) Norma R-354-63: de la International for Standarization Organiza- --
tion (I.S.O.)

7.2.- INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA MEDICION ACUSTICA.

Los instrumentos usados para generar, captar y registrar la señal de prueba fueron los siguientes :

Generador de ruido blanco	Marca General Radio
Filtro de 1/3 de octavos	Marca General Radio
Micrófono omni-direccional	Marca General Radio
Deci-belímetro	Marca General Radio
Registrador Gráfico	Marca General Radio
Grabadora reproductora	Marca Tandberg
Amplificador	Marca Mc. Intosch
Bocinas	Marca J. M. Lansing.

7.3.- CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN LA MEDICION ACUSTICA.

Se observó que las condiciones de la prueba fueron las mismas al estar la muestra en el interior de la cámara así como al medirse la cámara sola; llevándose un estricto control de temperatura de bulbo seco y húmedo por medio de un psicrómetro de onda, marca: Jules Richard, obteniéndose :

Temperatura Bulbo Seco	18,5 °C
Temperatura Bulbo Húmedo	14,5 °C

7.4.- CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS PROBADAS.

Se buscó que la colocación de la muestra fuese lo más apegada a la comúnmente se indica, se colocó de acuerdo a las normas en la parte central de la cámara, teniendo las dimensiones de (3.0x3.60 m) cubriendo una superficie de prueba de 10.80 m² y con un espacio de aire (cámara de aire) de 7 cm bajo el material para determinación de absorción de bajas frecuencias (30 a 500 Hz).

7.5.- AJUSTES EN LA MEDICION DEL COEFICIENTE DE ABSORCION-SONORA.

Para lograr un mayor difusión sonora dentro de la cámara se colocaron en el techo de la misma cuatro difusores de triplay de 0.003 m con dimensiones (1.22x1.22 m) en forma cóncava especial para obtener distribución uniforme en bajas frecuencias principalmente. Este arreglo no amerita ningún ajuste numérico de los resultados pues estos permanecieron en el interior de la cámara en todas las pruebas acústicas.

Con el objeto de asegurar la precisión en la medición del coefi

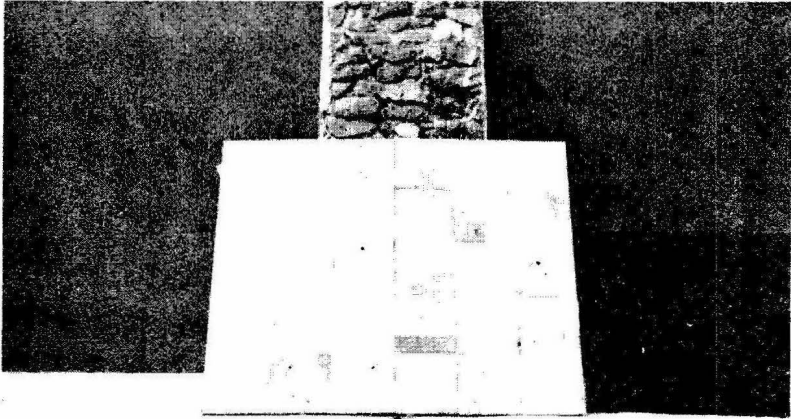


Fig. 7.4-A Vista anterior de placa armada para la medición acústica.

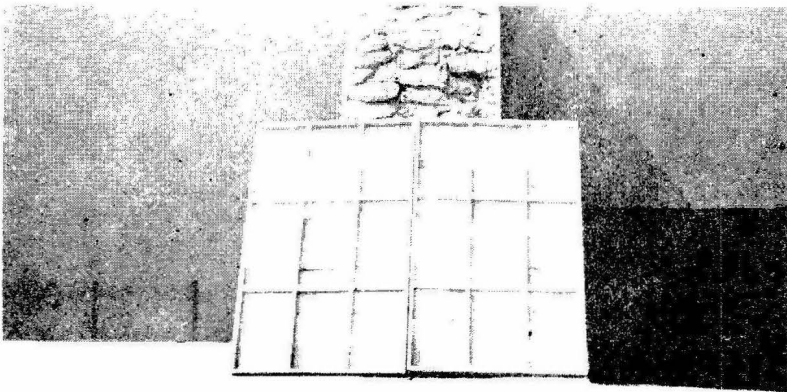


Fig. 7.4-B Vista posterior del soporte para las placas de triplay (impregnado y polimerizado con monómeros vinílicos).

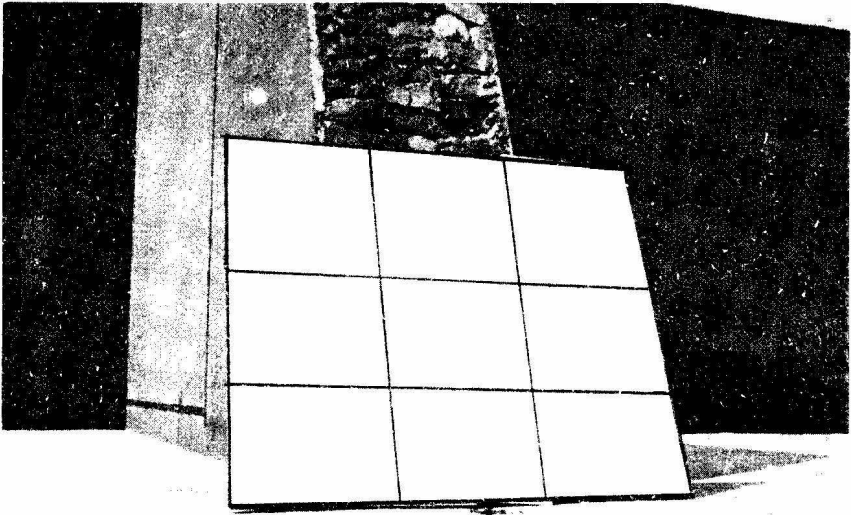


Fig. 7.4-C Superficie armada para mediciones acústicas con 9 placas - de poliestireno "Alto Impacto" Núm 100 (120x90x0.5) cubriendo una superficie de 10.8 m^2 fue medido también el coeficiente de absorción sonora en placas de acrílico transparente cubriendo la misma superficie anterior, (30 unidades de $60 \times 60 \times 0.6 \text{ cm}$).

ciente de absorción sonora (α), cada muestra se sometió a varias series de emisiones de ruido filtrado obteniéndose las frecuencias puras que se repitieron 4 veces cada una con el objeto de promediar el tiempo de reverberación para cada frecuencia sonora; también se probó con 2 posiciones del micrófono que sirve para promediar la absorción al centro de la superficie y a la orilla para así poder determinar los coeficientes de absorción (α).

7.6.- SECUENCIA DE CALCULOS EN LA DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE ABSORCION SONORA.

La determinación del coeficiente de absorción sonora, es el resultado de las consideraciones experimentales que se tuvieron en la cámara reverberante; los pasos seguidos son los siguientes :

- a) Grabar correctamente las frecuencias sonoras seleccionadas, sobre el intervalo de audición considerado; esto puede variar según el material y el uso acústico a que pueda ser sometido.
- b) Instalación del material (tal como sería usado normalmente) dentro de la cámara reverberante.
- c) Determinación electro-gráfica del tiempo de decaimiento sonoro para c/u de las frecuencias seleccionadas (cámara vacía).

- d) La misma determinación anterior, pero con el material instalado en la cámara.
- e) De la gráfica obtenida electrónicamente con los aparatos de medición, es calculable un tiempo de reverberación medio, para cada frecuencia, considerando la medición con y sin el material instalado.
- f) Cálculo del coeficiente de absorción sonora que el material presenta con cada una de las frecuencias emitidas.
- g) Gráfica de los coeficientes de absorción sonora v.s. frecuencias emitidas. Las gráficas de los experimentos realizados, se encuentran en el apéndice C.

8.0.- CARACTERIZACION DEL NIVEL DE POLIMERIZACION EN EL POLIMERO INCORPORADO.

Los polímeros sintéticos formados por la catálisis de los monómeros vinílicos impregnados en las maderas terciadas, llegan no solamente a formar cadenas lineales de alto peso molecular sino también grupos poliméricos por cruzamiento entre cadenas; de lo anterior es calculable mediante mediciones viscosimétricas un peso molecular promedio (viscosimétrico) que tienen por objeto la valoración del Índice de Staudinger ($[\eta]$) (Ec. A - 8) o también llamado viscosidad intrínseca, para el cual se tienen las siguientes relaciones :

$$\text{Viscosidad Relativa } \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{\rho_t}{\rho_0 t_0}$$

La medición que se hace del tiempo de desplazamiento (seg) -- de un líquido en el tubo capilar del viscosímetro (t) y atendiendo a la -- proporcionalidad que existe de la fuerza direccional del fluido (presión) -- y la densidad (ρ) del líquido, se obtiene la expresión anterior, para la --

viscosidad relativa. De la expresión para la viscosidad intrínseca -- (abajo).

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \left[\frac{1}{c} \left(\frac{\eta}{\eta_0} - 1 \right) \right] \quad \text{Ec A-8}$$

Se considera a la concentración (C) del polímero en la solución, usualmente en gr/100 ml.

El índice de Standinger se relaciona con el peso molecular (M) promedio del polímero mediante la expresión :

$$[\eta] = K M^a \quad \text{Ec B-8}$$

donde \underline{K} y \underline{a} son constantes dependientes del polímero estudiado y el disolvente utilizado. Los valores utilizados y las condiciones de medición en los polímeros obtenidos fueron los siguientes :

Polímero	Solvente	Temp. °C	K $\frac{\text{ml}}{\text{gr}}$	a	Método para determinación de las Ctes.	Ref.
Poliestireno (P.S.)	Tolueno	25	0.0092	0.72	Dispersión de la luz	(18).
Poli Metacrilato - de Metilo.	Tolueno	25	0.0071	0.73	Dispersión de la luz	(19).

Las características de las muestras impregnadas a las cuales se -

les determinó el peso molecular del polímero incorporado fueron los siguientes :

Muestra	Catalisis Inicial.	Cond. Bz ₂ O ₂	Dosis (Mrad).	Catálisis Final (Δ)	Peso Molecular Promedio (M) Viscosimétrico.
Pino - P.S.	Si	2.5 %	4	Si	493,000
Pino - MMA	Si	1.0 %	2	No	232,000

Los dispositivos utilizados en la determinación fueron :

- viscosímetro capilar tipo Ubbelohde
- baño de temperatura constante con agitación,
- cronómetro para lecturas hasta de 1/100 de segundo.

Los pesos moleculares calculados son adecuados en términos de la distribución de pesos moleculares que reporta Kinell (20) para el P.M.M.A. impregnado en pino hasta una conversión completa, con mínimo peso de 25 000 hasta un máximo de 1×10^6 .

9.0.- BREVE EVALUACION ECONOMICA DE LOS MATERIALES.

Como parte de los objetivos planteados en la sección 3.0, se -- consideró que la evaluación económica parcial del estudio acústico- comparativo de los materiales premanufacturados (comparados) y los procesa-- dos (impregnados) debería enfocarse hacia los siguientes puntos básicos :

- 1) Llevar con el proceso a determinar los parámetros de mayor eficiencia en el procesamiento de materiales poliméricos - impregnados y medir- acústicamente los materiales resultantes .
- 2) Obtener un costo por m^2 ($\$/m^2$) de material probado acústicamente, considerando lo siguiente :

2.1.- Costo comercial de materias primas :

- triplay de pino y de caoba (0.006 m)
- monómeros de metacrilato de metilo (acrílico)
- monómeros de estireno
- catalizador : peróxido de Benzoilo ($B_{z2} O_2$).

2.2.- Costo de la energía aplicada para la polimerización. Dentro de estos costos se consideraron los siguientes factores :

Considerando las especificaciones del fabricante de resistencias eléctricas con las que se generó la energía calorífica para el proceso de polimerización de las maderas impregnadas, se tiene un consumo de 0.2.

K watt aplicados en 40 hr de proceso,

20 hr secado de madera a 100°C

20 hr polimerización a 65°C o 70°C

40 hr

$$0.2 \text{ Kw} \times 40 \text{ hr} \times \frac{0.6 \text{ \$}}{\text{Kw-hr}} = 4.80 \text{ \$ / proceso termo catalítico}$$

Siendo este el costo promedio para polimerizar cada 30 placas impregnadas con Estireno o Metacrilato de Metilo.

Como se estableció en anteriores secciones; todos los materiales probados acústicamente cubrieron una área de 10.8 m² que marcan las normas de medición.

Los costos de la siguiente tabulación, están actualizados a la fecha en que se llevaron a cabo los experimentos de polimerización (mayo

a agosto 1973); presentando la siguiente relación de costos de material --
procesado por metro cuadrado (Tabla C-1).

TABLA C-1

COSTO POR m² DE MATERIALES PROBADOS ACUSTICAMENTE.

No. del- Expto. Acústico	Número de Placas	Material	Proceso (*)	Monómero (Kg)	Monómero (\$/Kg)	Monómero (\$)	Madera (\$)	Material Procesado (\$/10.8 m ²)	Material Procesado (\$/m ²)
1	30	Acrílico (M.M.A.)	—	—	—	—	—	(***) 2340	216.50
2	10	Poliestireno (P.S.)	—	—	—	—	—	1160.	107.50
3	30	Pino.	—	—	—	—	392	355.	32.80
4	30	Caoba	—	—	—	—	740	670.	61.90
5	30	Pino-MMA	Δ	51	6.20	315	(**)	712.	66.00
6	30	Pino-MMA	γ	51	6.20	315	392	712.	66.00 (γ')
7	30	Caoba-MMA	Δ	51	6.20	315	(**)	1060.	98.00
8	30	Pino-P.S.	Δ	51	13.50	688	392	1087.	101.00
9	30	Caoba-P.S.	Δ	51	13.50	688	740	1435.	132.50
								= \$ 9531.00	

(*)

(-): Manufacturado de fábrica

(Δ): Termo-Catalítico.

(γ): Gamma-Catalítico.

(**): Se utilizó la madera de los experimentos 3 y 4 después de medirla acústicamente.

(***): Se consideran solamente los costos de:

Madera, Monómero, Catalizador y Energía Eléctrica.

(γ'): Este precio no considera la catálisis con radiación - Gamma.

10.0.- RESULTADOS.

10.1.- RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN SONORA.

Las gráficas de los coeficientes de absorción sonora (α) pueden ser comparadas entre sí en sus comportamientos, desde el material más reflejante (11) (vidrio) hasta los de mayor absorción energética como son las maderas terciadas (3) y (4); un caso intermedio de absorción sonora es de (10) (madera gruesa). Absorción intermedia (12 a 24%) presentan los materiales poliméricos compuestos, inclusive las placas de acrílico (1) pero no así los de poliestireno (2) que tienen valor de máxima absorción sonora a los 250 c.p.s., ($\alpha = 0.32$).

La frecuencia sonora a la cual se refieren los análisis y conclusiones sobre el coeficiente de absorción sonora (α) es a 500 c.p.s. ya que es la frecuencia normal de la voz humana y aunque el intervalo audible es de 30 a 14 000 c.p.s. sólo se estudia el intervalo de 125 a 4 000 c.p.s., por ser éste el más representativo para visualizar el comportamiento

acústico de los materiales de acondicionamiento.

10.1.1.- CLASIFICACION DE MATERIALES.

1. Acrílico (0.600 cm)
2. Poliestireno (0.400 cm)
3. pino (triplay) (0.600 cm) maderas
4. caoba (triplay) (0.600 cm) "
5. caoba (triplay) (25% P) (0.600 cm) (Δ)
6. pino acrílico (30% P) (0.600 cm) (γ)
7. caoba acrílico (20% P) (0.600 cm) (Δ)
8. pino poliestireno (20% P) (0.600 cm) (Δ)
9. caoba poliestireno (20% P) (0.600 cm) (Δ)
10. pino (no triplay) (1 500 cm) maderas (*)
11. vidrio (*)

(Δ) proceso termo catalítico

(γ) gamma catalítico

(*): referencia (16)

La madera como material de acondicionamiento presenta un - - comportamiento prácticamente ideal ya que presenta absorción marcada de altas frecuencias, mínima velocidad del decaimiento del coeficiente de - absorción sonora (α) en frecuencias intermedias y además alta absor- --

ción (comparativa) de altas frecuencias (1 500 a 4 000 H_z). Con el objeto de estudiar la influencia de estos coeficientes por la impregnación de plástico de la madera se obtuvieron los siguientes resultados experimentales :

TABLA DE COEFICIENTES DE ABSORCION POR m^2 DE MATERIALES EXPERIMENTALES.

Material	Espesor cm.	Pro- ce- so.	Frecuencia (Hz)					
			25	250	500	1 000	2 000	4 000
1 Acrílico, placas 6 mm	.6		0.17	0.12	0.03	0.02	0.06	0.10
2 Poliestireno, placas	.4		0.07	0.32	0.07	0.05	0.02	0.01
3 Pino, placas de Triplay	.6		0.41	0.20	0.06	0.03	0.03	0.20
4 Caoba, placas de Triplay	.6		0.38	0.29	0.03	0.01	0.03	0.03
5 Pino-MMA (20%)	.6	T.C.	0.09	0.19	0.11	0.07	0.05	0.19
6 Pino-MMA (25%)	.6	∅.C	0.22	0.19	0.09	0.10	0.01	0.25
7 Caoba - MMA (20%)	.6	T.C.	0.15	0.24	0.12	0.08	0.03	0.18
8 Pino-P.S. (20%)	.6	T.C.	0.04	0.16	0.02	0.08	0.05	0.17
9 Caoba-P.S. (20%)	.6	T.C.	0.04	0.12	0.03	0.07	0.03	0.01

Coeficiente de absorción/ m^2

CONDICIONES DE PRUEBA :

Superficie $10.8 m^2$ en cada material

Volumen de la cámara acústica: $198.4 m^3$

Espacio de aire : 7 cm

10.1.2.- ANALISIS SOBRE COMPORTAMIENTO ACUSTICO- DE LAS MADERAS.

Un análisis comparativo de las 3 maderas empleadas (3), (4) y (10) ofrece las siguientes características :

- a) (3) y (4) ofrecen un comportamiento semejante en el coeficiente de absorción (α) en bajas frecuencias (0. a 500 c.p.s.) no así (10) ya que por ser de mayor espesor ofrece menor reverberación y por lo tanto menor absorción de energía sonora, sin embargo se compensa esta menor absorción de frecuencias intermedias por una mayor absorción (14%) en altas frecuencias (1 000 a 2 000 c.p.s.).

Es muy probable que la construcción terciada del triplay ofrezca una rigidez adicional que le impida tener una absorción de frecuencias intermedias si se compara con la madera sin manufacturar (10).

II.0.- CONCLUSIONES.

11.1.- UTILIZACION DE LA MADERA TERCIA DA.

Es posible la utilización de madera terciada para impregnaciones con polímeros vinílicos mediante el método de impregnación seleccionado y conforme a los resultados obtenidos en los materiales probados acústicamente, se pueden localizar como materiales reflejantes en el intervalo de frecuencias sonoras de 500 a 2000 Hz. Observándose 50% de menor absorción del material polimérico con respecto al vidrio plano, la absorción de la madera terciada fue 36% del valor obtenido con el impregnado, y por lo que respecta a reflexión acústica se le puede situar como 50% menor que el polímero original en cada caso.

11.2.- MODIFICACIONES ACUSTICAS ARQUITECTONICAS EN LOS MATERIALES POLIMERICOS.

Estos materiales mostraron tres características sobresalientes :

1.- Incremento favorable de la reflexión sonora a lo largo del

intervalo de frecuencias considerado (125 a 4 000 Hz).

- 2.- En términos generales no se observó un comportamiento acústico intermedio entre la madera sin tratamiento y las placas de polímero puro.
- 3.- Dado el comportamiento específico de cada material impregnado, se considera haber ampliado la selectividad de maderas para acondicionamiento acústico.

Las anteriores consideraciones sitúan favorablemente a la madera debido a su recomendable localización o utilización, cuando los requerimientos acústicos de un local indiquen la utilización de madera como recubrimiento de superficies.

II.3.- EVALUACION DEL COEFICIENTE DE ABSORCION SONORA.

El coeficiente de absorción sonora (α) se pudo evaluar de acuerdo a las indicaciones que marca las normas de medición :

C-423-66 (A.S.T.M.) (9)

R-354-63 (I.S.O.) (8)

Siendo las características más relevantes respecto a los materia

les convencionales las siguientes (antes y después del proceso de polimerización) : Aumento selectivo de la reflexión sonora para los intervalos de frecuencias más sensibles como son de 30 a 300 Hz. y de 300 a 2000 Hz.

II.4.- SELECCION CUANTITATIVA DE LOS METODOS DE POLIMERIZACION.

El método de inducción a la polimerización para los materiales impregnados que dió mejores resultados en cuanto a la cantidad del polímero incorporado (20%) fue la combinación de los métodos Gamma-Catalítico y Termo-Catalítico para iniciar y terminar la polimerización respectivamente; que fué a posteriori el que ofreció mayor dureza a los materiales y consecuentemente mayor reflexión sonora.

II.5.- NIVEL DE POLIMERIZACION.

El nivel de polimerización del polímero incorporado fue de 232 000 para el Metacrilato de Metilo, y de 493 000 para el Poliestireno- estos valores fueron obtenidos mediante el método viscosimétrico.

II.6.- EVALUACION PRELIMINAR SOBRE LA APLICACION DE LOS MATERIALES DESARROLLADOS.

Dentro de las consideraciones de aplicación de estos nuevos ma



teriales, acústicos, basados en el endurecimiento selectivo de la madera terciada, se estima que el nivel de penetración comercial podrá incrementarse en 50% en lo que corresponde a materiales para acondicionamiento acústico.

11.7.- PRINCIPALES VARIABLES DE EL PROCESO DE POLIMERIZACION Y MEDICION ACUSTICA.

1.- HUMEDAD : La madera terciada presentó en promedio -- 10% en peso de humedad (disminución del peso de la muestra). La humedad presenta un factor de inhibición en la reacción de polimerización así como la formación de altos pesos moleculares por lo que fue eliminada en lo permisible por secado de la madera .

2.- PRE-IRRADIACION : Se observó que un corto período de irradiación Gamma (\pm 0.1 a 0.3 Mrad.) a la madera seca -- sin impregnar favorecía la polimerización del MMA que posteriormente era impregnado en la pieza de madera, finalizando la reacción con calor (65°C \pm 1 hr.). Para explicar tal comportamiento se ha sugerido la presencia de radicales libres for--

mados en las fibras naturales y resinas de la madera, favoreciendo la polimerización en la pieza impregnada.

3.- TERMO-CATALISIS : La utilización de la termo-catálisis en la inducción a la polimerización de las piezas impregnadas, no dió tan buenos resultados como la Gamma-catálisis con la que se obtuvo 95% de conversión en el monómero impregnado.

4.- GAMMA-CATALISIS : Para monómeros de corto período de inducción como el MMA, es favorable este tipo de catálisis ya que presenta eficiencias en varios sentidos tales como: menor riesgo de inflamación de vapores, deterioro de la pieza por burbujeo del polímero, deterioro interno de la pieza por ligero exceso de catálisis, etc.

5.- TIPO DE MADERA : Fue observable a través de los experimentos realizados con diversas soluciones de monómeros y de maderas terciadas; que éstas no influían sensiblemente en el porcentaje de polimerización de las maderas poliméricas obtenidas.

11.8.- APRECIACION ECONOMICA .

Se puede observar que únicamente por el concepto de materias-primas utilizadas en la elaboración de los materiales impregnados, el costo por m² se multiplica por un factor de 2 con respecto al original, lo - - cual lo sitúa favorablemente respecto a los costos de materiales acústicos .

11.9.- PERSPECTIVAS DEL ESTUDIO :

Las consideraciones anteriores sitúan a la madera comercial con una capacidad competitiva en lo que respecta a propiedades acústico-ar-quitectónicas se refiere; pudiéndose marcar un inicio en este sentido para estudiar en las impregnaciones, no solo monómeros puros sino también copolímeros sintéticos, además de enfocar el estudio hacia lo acústico-musical donde se podría competir con las maderas preciosas por su sonoridad - y dureza .

12.0.- BIBLIOGRAFIA .

- * (1) Kent, J. Wilson., A & Boyle
Preparation of wood plastics combinations using gamma radiation to induce polimerization U.S. AEC report .

 ORO 2945-4 (abril 1 1966)
 ORO 2945-6 (sept. 21 1966)
 ORO 2945-7 (marzo 17 1967)
 ORO 2945-9 (Sept. 1 1967)
- (2) Kesting, R. E., Stannett, V.
 Mackromolek Chem. 55 (1962) 1
- * (4) R.A. Laidaw
 Ministry of Technology's Forest Products
 Research Lab. Wood Plastics composites materials
 New Scientist II 551-553 (1967)
- (5) Kenzo Taneda & Hideo Kawatami
 Gragt polimerization auto wood sustance
 aceleration of the polimerization by ultrasonic waves
 Makuzai Gak Kaishi 17 6 231-236 (1971)
- (7) Harry F. Olson, Ph. D.
 Acoustical Engineering
 Ed. D. Van Nostrand Comp. Inc.
 Prynceton, N.J. (1959)
-

(3) y (6) Ver Ref. (20)

- (8) Acoustic Test for Conditioned Materials
International Organization for Standardization I.S.O. Designation:
R 354-63
- (9) Standar Methods of Test of Sound Absorption of acoustical materials
in reverberation
Rooms ASTM Designation: C 423-66.
- (10) Acustone (módulo acústico)
Yeso Panamericano S.A. de C.V.
Insurgentes Sur 540 México 7, D.F.
Literatura para especialistas.
- (11) Eyring, C. F.
Journal, Acoustics, Soc. Amer.
Vol. 1 Núm. 2 p (217) 1930)
- (12) Leo L. Beranek
Acústica
Ed. Hispano Americana, S.A. B. Aires 1961.
- (13) Kaplan
Nuclear Physics
Ed. Addison Wesley Publishing Co. Inc. (1964)
- (14) Herre Brownell, Radiation Dosimetry
Academic Press Inc. N. Y. (1956)
- (15) J. F. Sian and J. A. Meyer
Comparison of the Properties of Heat
an Radiation cured Wood Polymer combination
Forest Products Journal Vol. 16 núm 8 (1966)
- (16) Hand Book of Chemistry & Physics
Chemical Rubber Publishing C. O.
42nd Edition (1960-1961)

- (17) Robert W. Lenz
Organic Chemistry of Synthetic high polymers
Interscience Publishers N. Y. (1967)
- (18) S. N. Chinay; P.C. Scherer; C. W. Bondurat;
D.W. Levi J. Polymer Sci. 22 (1955) 391.
- (19) S. N. Chinay, J. D. Mutlack, A. L. Resnick
and R. J. Samuels
J. Polymer, Sci. 17 (1955) 391.
- (20) Impregnated Fibrous Materials
Report of a Study group an I. F. M.
International Atomic Energy Agency-Viena
(1968) I. A. G. A.
- (21) F.C. Beall and A. E. Witt
Polymerization of MMA by heat catalisis and gamma irradiation
method.
Wood & fiber fall V. 4 (3) (1972)
- (22) Seifert Translated L. Pazer
On the Chemistry of gamma irradiated wood
University of Brith Columbia Faculty of Forestry.
Vancouver, Canadá.
translation núm 28 Noviembre (1964)

(*) Ver referencia Núm. 20.

13.0.- APENDICE.

- A) Gráficas y lista de experimentos termo catalíticos (Δ).
- B) Gráficas y lista de experimentos gamma catalíticos (δ).
- C) Gráficas del coeficiente de absorción sonora (α) para -
materiales poliméricos.
- D) Índice de claves experimentales.
- E) Datos y resultados experimentales sobre impregnación.

LISTA DE EXPERIMENTOS TERMOCATALITICOS (Δ)

		Experi- mento.	Conc. Cator.	Temp. Po lim. cinón	Tiempo de plim. ción	% Polim. ción	
ESTIRENO	PINO	Δ5	C9	T ₂	t ₃	E5	
	IN VITRO	Δ9	C9	T ₂	t ₄	E5	
	CAOBA		Δ3	C10	T ₂	t ₃	E2
			Δ4	C11	T ₂	t ₂	E1
			Δ6	C4	T ₂	t ₃	E4
			Δ7	C9	T ₂	t ₃	E3
	PINO	Δ1	C2	T ₁	t ₁	E3	
IN VITRO	Δ8	C2	T ₁	t ₁	E5		
CAOBA	Δ2	C9	T ₁	t ₁	E3		

APENDICE - A

Tab. A-1

Consultar Secciones 5.0 y 6.6.

(Indice de Claves Experimentales).

Ap. D

EXPERIMENTOS TERMOCATALITICOS (Δ)

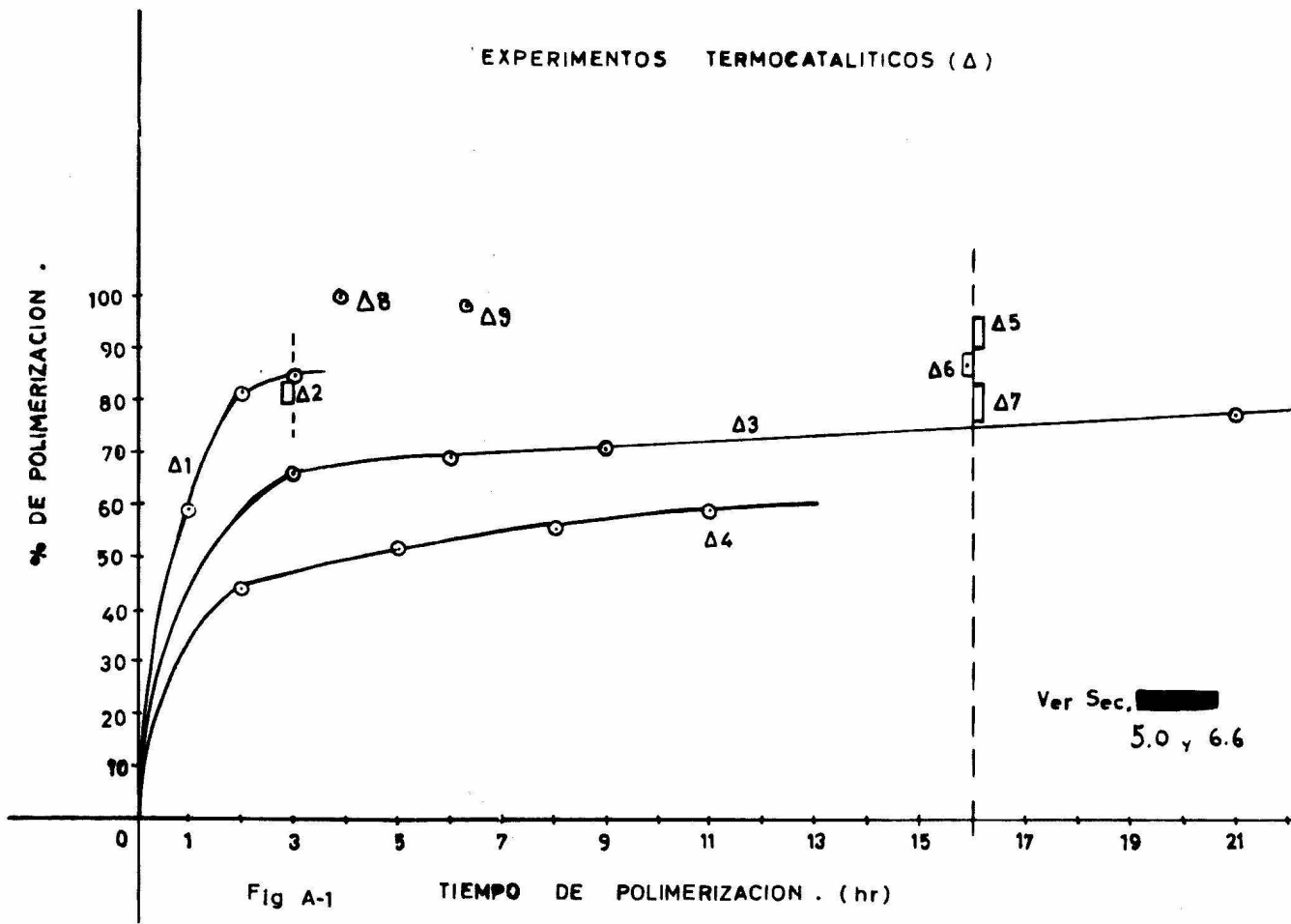


Fig A-1

LISTA DE EXPERIMENTOS GAMMA CATALITICOS (γ)

APENDICE - B

Tab. B - 1

Expmtó.	Conc. Cataliza dor.	Del. Dosific.	Dosis Max.	Termo Catálisis.	ATM. N ₂	% Eficienc.	
γ 17	C ₁	V ₁	D ₁	x	x	E ₂	
γ 18	C ₂	V ₂	D ₁	x	x	E ₂	
γ 19	C ₃	V ₃	D ₁	x	x	E ₃	
γ 20	C ₄	V ₄	D ₂	—	x	E ₅	

ESTIRENO

IN VITRO	γ 21	C ₅	V ₃	D ₂	—	x	E ₆	
----------	-------------	----------------	----------------	----------------	---	---	----------------	--

CAOBA

γ 14	C ₁	V ₁	D ₁	x	x	E ₃	
γ 15	C ₂	V ₁	D ₁	x	x	E ₃	
γ 16	C ₃	V ₁	D ₁	x	x	E ₃	

PINO

γ 1	C ₆	V ₄	D ₄	—	—	E ₄	
γ 2	C ₇	V ₄	D ₄	—	—	E ₆	
γ 7	C ₁	V ₁	D ₁	x	x	E ₄	
γ 8	C ₂	V ₁	D ₁	x	x	E ₃	
γ 9	C ₈	V ₁	D ₁	x	x	E ₃	
γ 10	C ₁	V ₃	D ₅	—	x	E ₄	
γ 11	C ₁	V ₄	D ₅	—	x	E ₆	
γ 12	C ₃	V ₃	D ₅	—	x	E ₆	

ACRILICO

IN VITRO	γ 13	C ₁	V ₃	D ₆	—	x	E ₆	
----------	-------------	----------------	----------------	----------------	---	---	----------------	--

CAOBA

γ 3	C ₁	V ₁	D ₃	x	—	E ₁	
γ 4	C ₁	V ₁	D ₁	x	x	E ₄	
γ 5	C ₂	V ₁	D ₁	x	x	E ₄	
γ 6	C ₈	V ₁	D ₁	x	x	E ₄	

Consultar 5.0 y Sección 6.6.

Índice de Claves Experimentales en Apéndice D

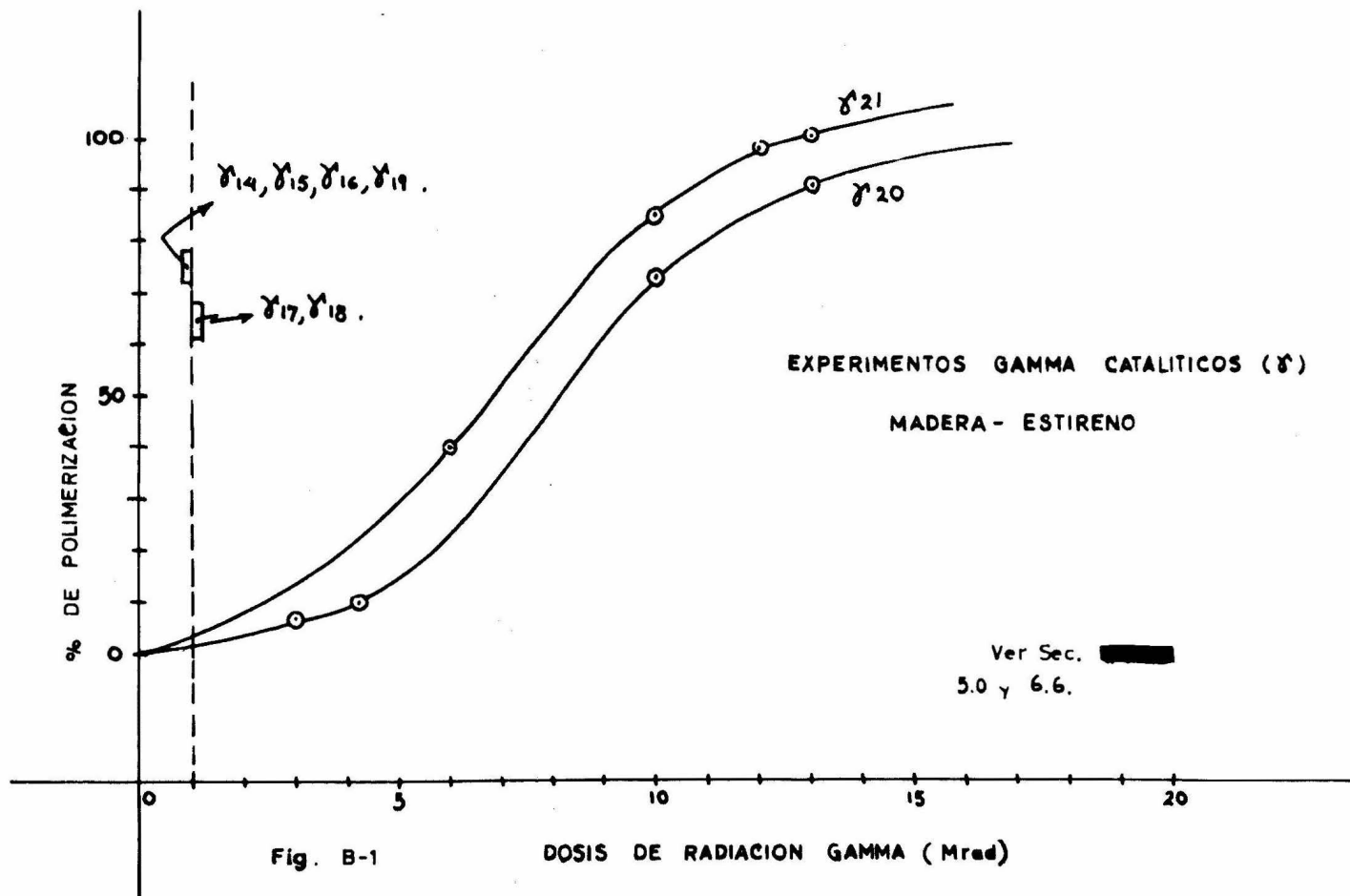


Fig. B-1

DOSIS DE RADIACION GAMMA (Mrad)

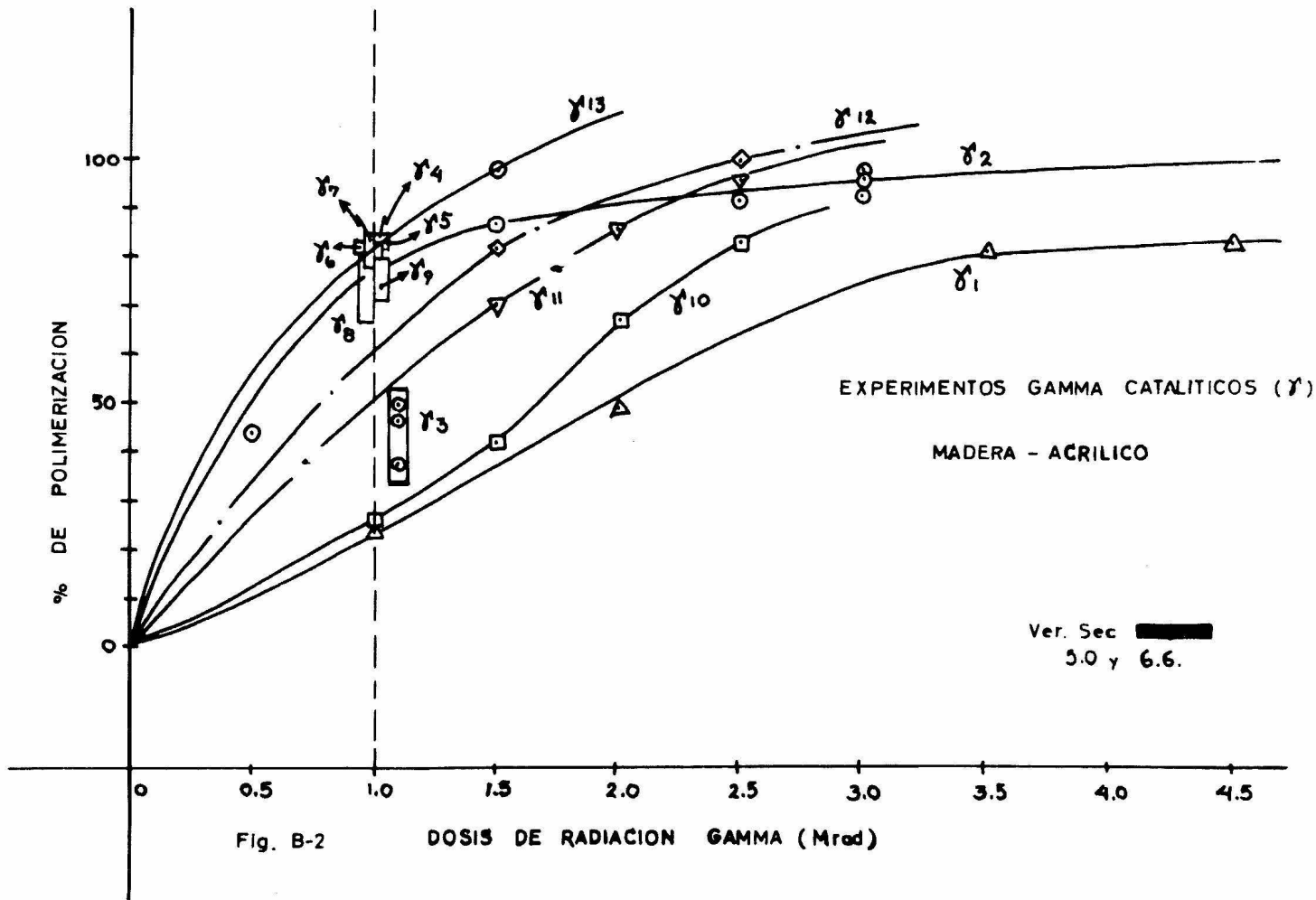


Fig. B-2

DOSIS DE RADIACION GAMMA (Mrad)

APENDICE C

Gráficas experimentales del coeficiente de absorción sonora (α) para --
materiales poliméricos impregnados.

Figura (C-1) - Materiales no compuestos.

Figura (C-2) - Materiales compuestos de poliestireno y madera.

Figura (C-3) - Materiales compuestos de acrílico y madera.

Figura (C-4) - Materiales de pino y acrílico.

Figura (C-5) - Materiales de caoba y poliestireno.

Consultar Secc. 7.4 y 9.1.1.

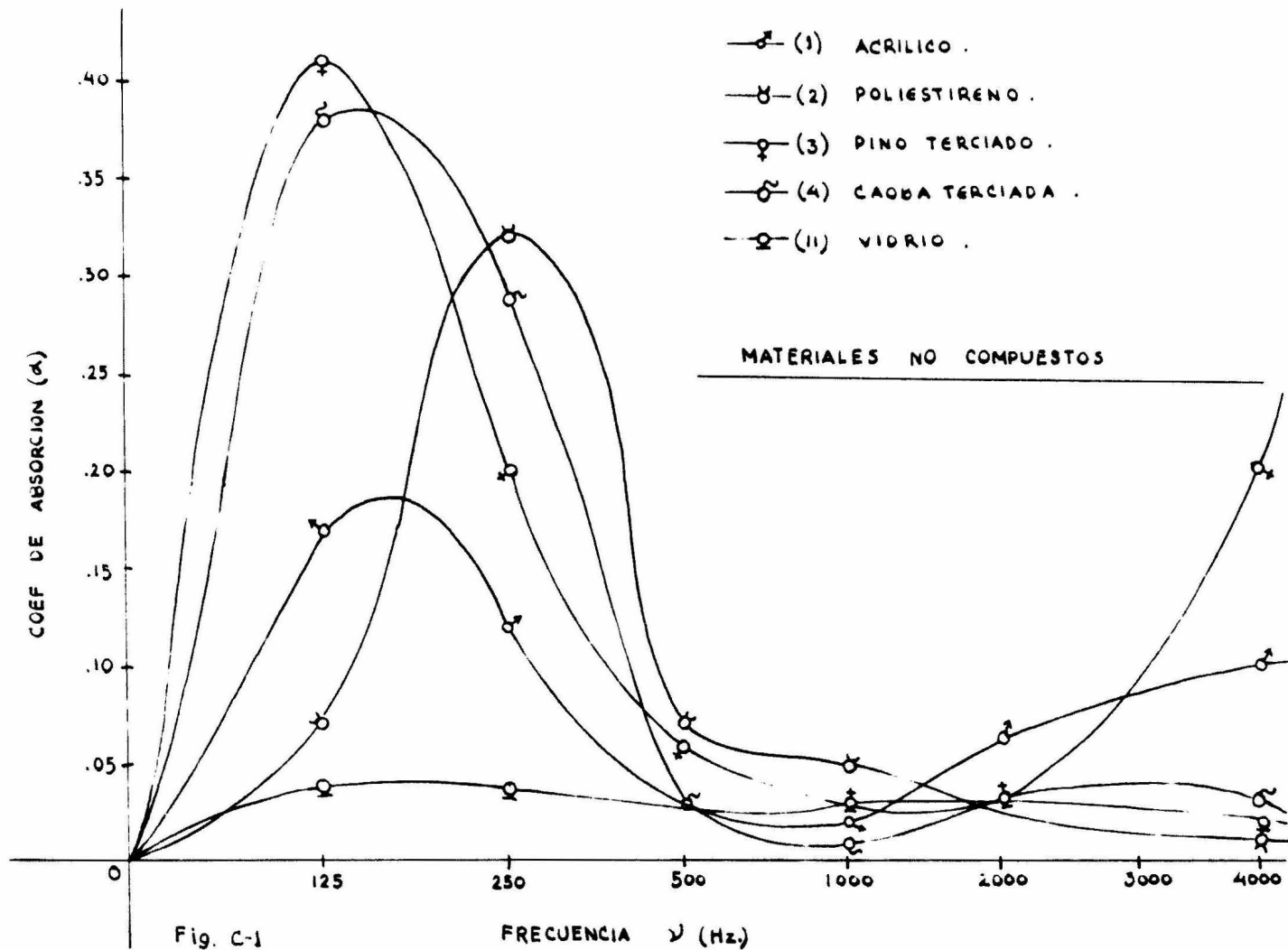


Fig. C-1

MATERIALES COMPUESTOS

DE POLIESTIRENO Y MADERA

- (8) PINO - P.S. (20%) Δ
- (9) CAOBA - P.S. (20%) Δ

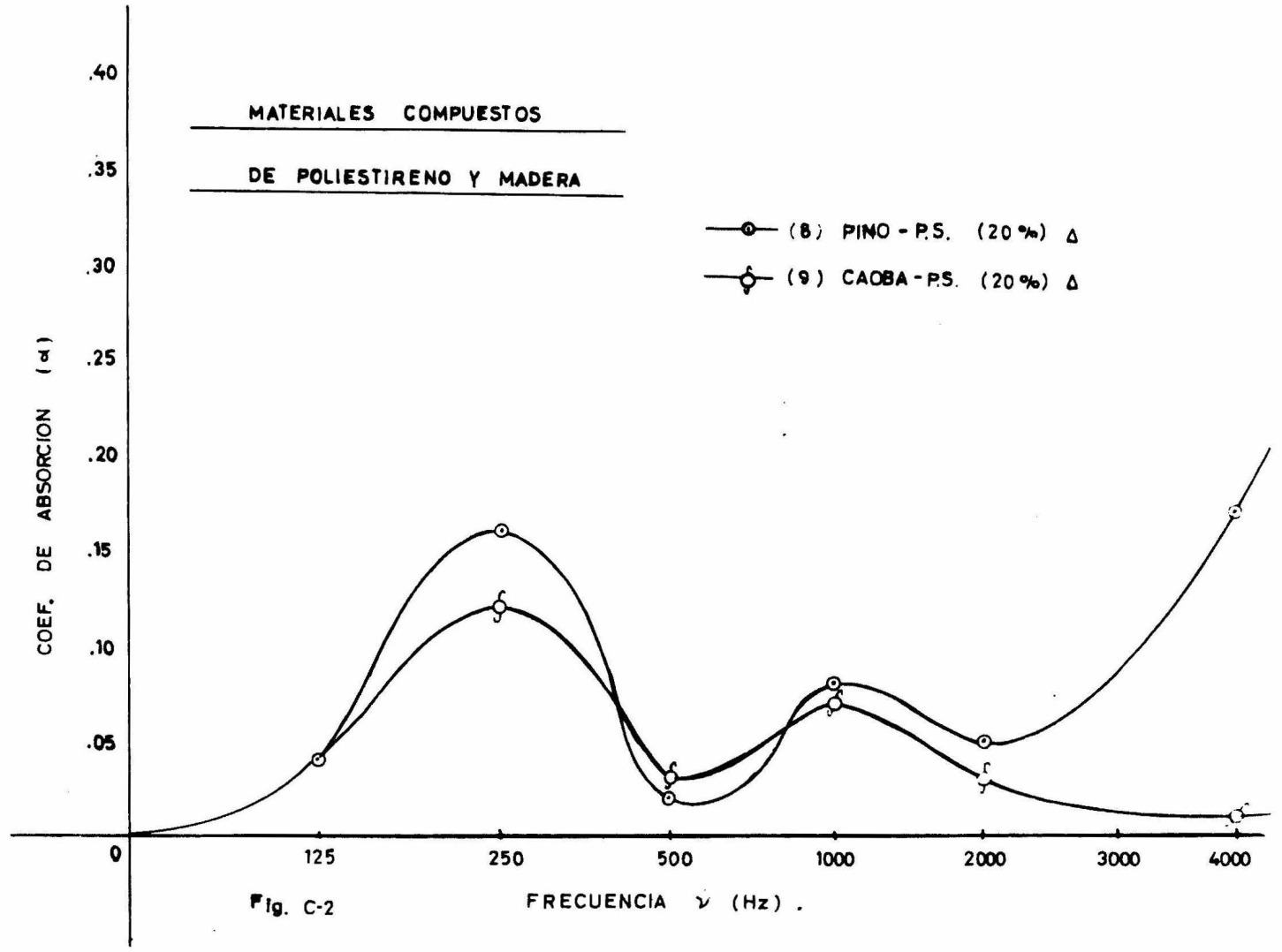
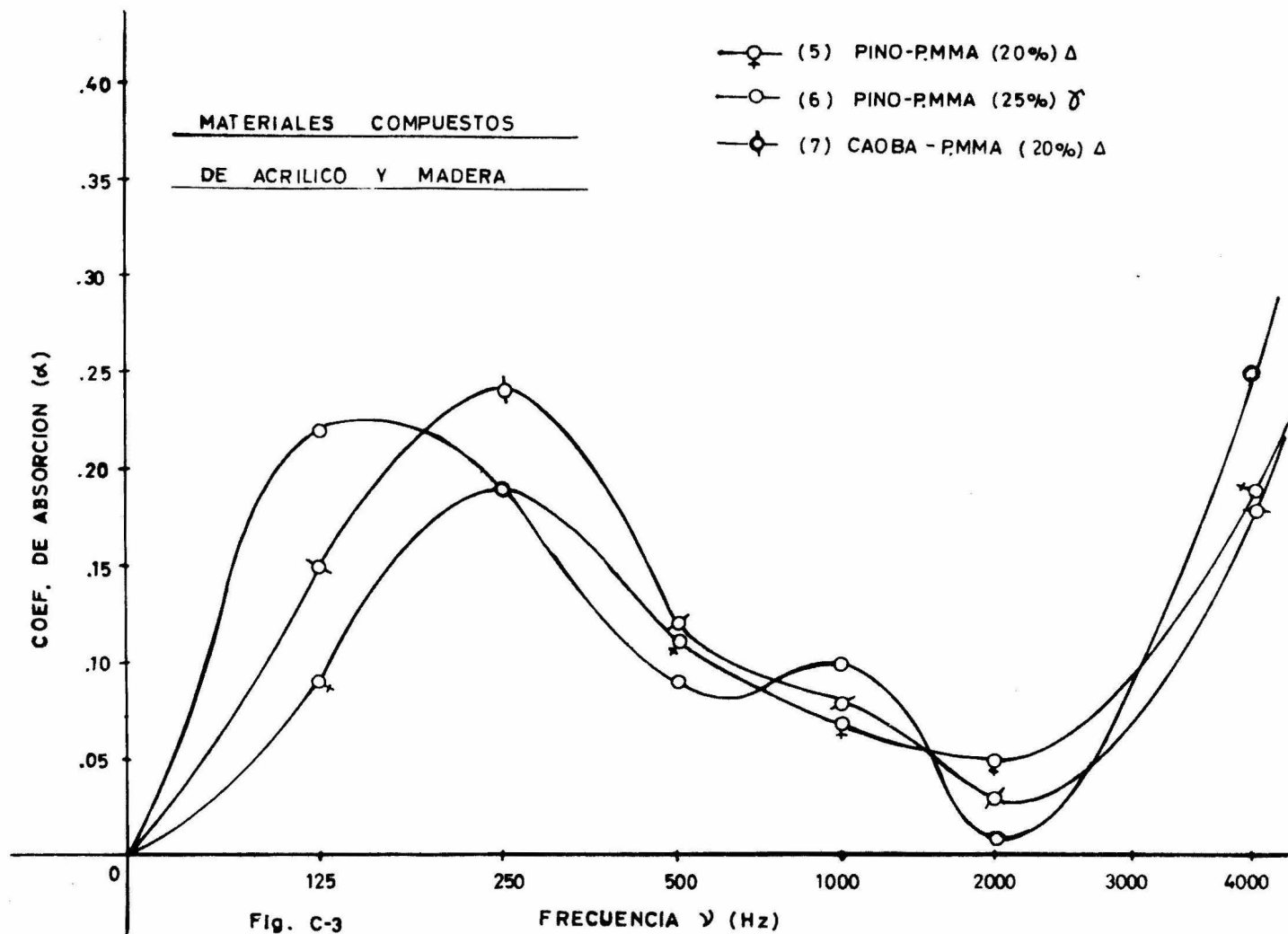


Fig. C-2

FRECUENCIA ν (Hz) .



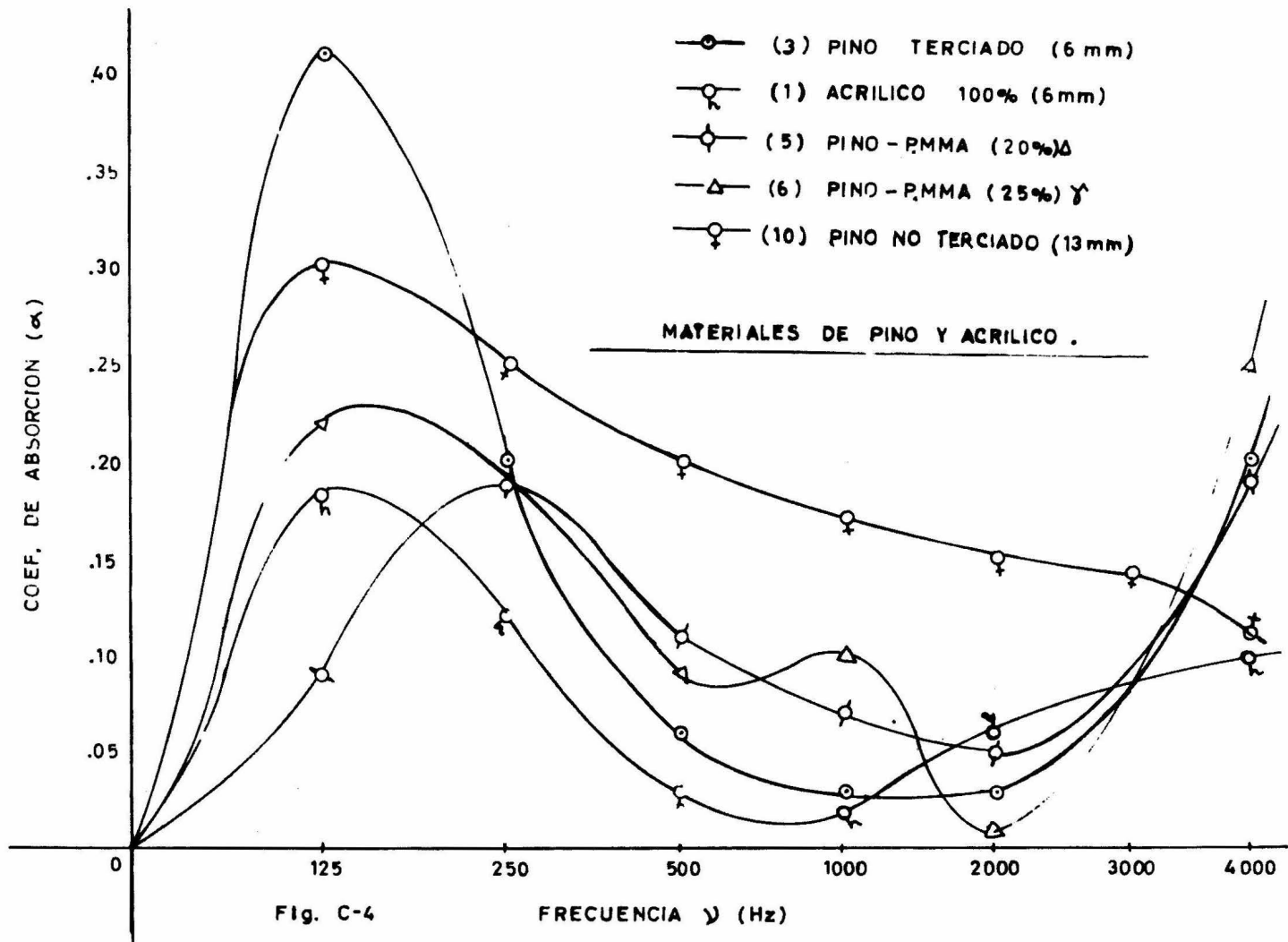


Fig. C-4

FRECUENCIA ν (Hz)

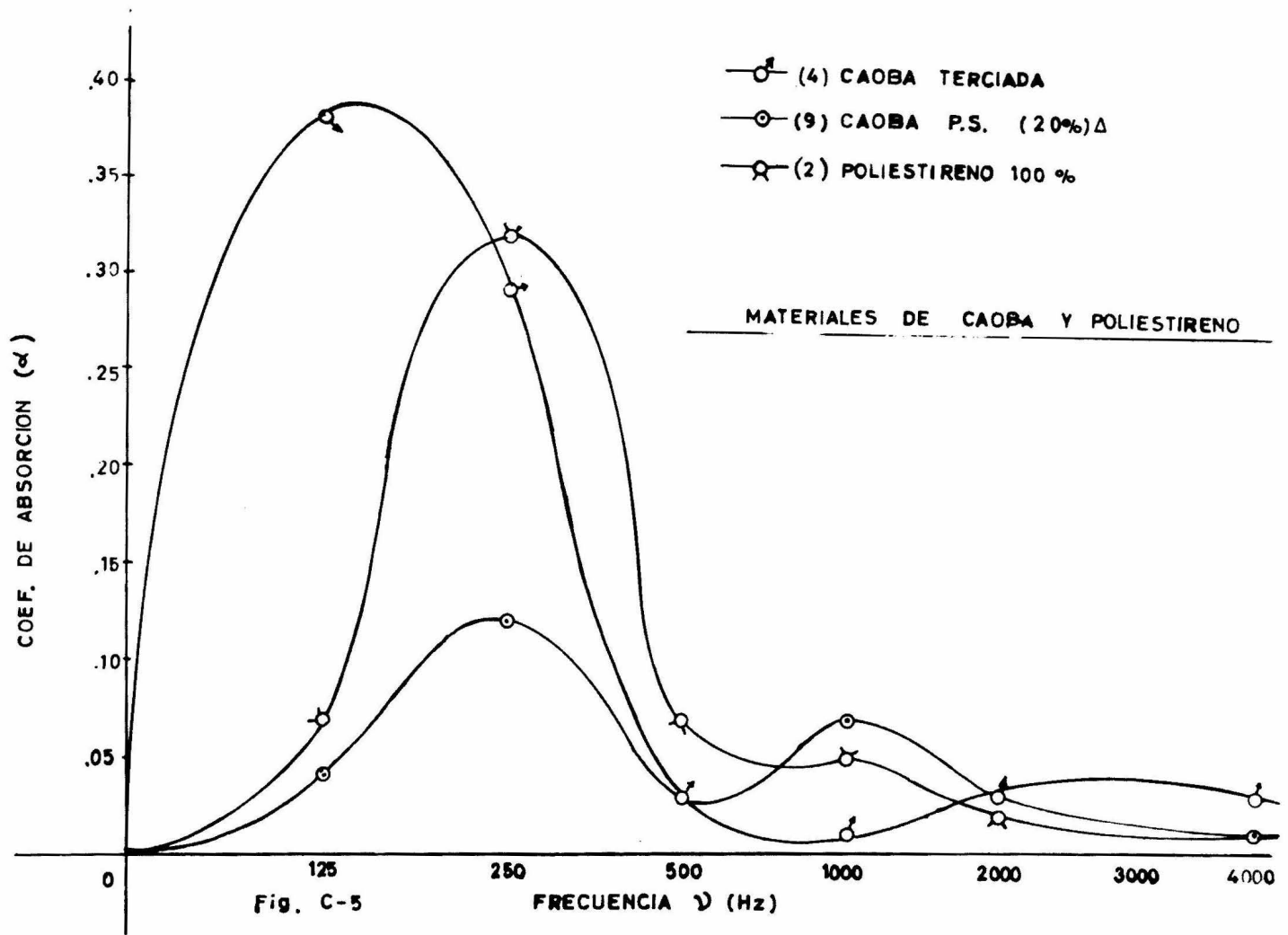


Fig. C-5

INDICE D

Índice de claves experimentales :

- a) La concentración de los catalizadores para las soluciones de los números vinílicos fueron :

C 1	0 %	$B_{z2}O_2$
C 2	0.4 %	"
C 3	0.5 %	"
C 4	1.0 %	"
C 5	2.5 %	"
C 6	3.0 %	"
C 7	10.0 %	CCl_4
C 8	15.0 %	C_6H_6
C 9	0.8 %	$B_{z2}O_2$
C 10	15.0 %	$C_6H_6 + 0.8 \% B_{z2}O_2$
C 11	15.0 %	$C_6H_6 + 0.2 \% B_{z2}O_2$

- b) Las intensidades de dosificación de la radiación gamma (γ) fueron de menor a mayor en el siguiente orden: fue utilizado un dosímetro-

de Frecke para la determinación de estos valores, a las distancias - específicas del centro de las fuentes de radiación.

V 1	72	rad/seg.
V 2	86.5	"
V 3	139.0	"
V 4	395.0	"

c) Los % de polimerización o % de eficiencia del proceso en los experimentos gamma catalíticos fueron los siguientes :

E 1	43%	(C) bajos
E 2	65%	(C) bajos
E 3	75%	(B) medianos
E 4	80%	(B) medianos
E 5	90%	(A) altos
E 6	93 a 99%	(A) altos

d) En los experimentos termo catalíticos se tuvieron diferentes tiempos de resistencia a una temperatura constante (T1 o T2) para los diferentes soluciones impregnadoras, estas fueron :

t 1	3 hr	T1 70°C
t 2	8 hr	T2 65°C
t 3	11 hr	
t 4	16 hr	

- e) Las eficiencias alcanzadas en los experimentos termo catalíticos - (Δ) fueron obtenidos hasta una completa ausencia de olor en las muestras así como una variación de su peso durante la medición habiéndose encontrado los siguientes valores :

E 1	60%	(C) bajas
E 2	75%	(B) medias
E 3	82 a 85 %	(A) altos
E 4	88%	(A) altos
E 5	95%	(A) altos

Las gráficas de eficiencia para los experimentos termo catalíticos (Δ) así como los gamma catalíticos (γ^A) aparecen en los apéndices A y B respectivamente .

APENDICE E

E-1.- Resultados de Impregnación :

Tipo de Impregnación	Area Expuesta (cm ²)	% en peso Impregnado.	Tiempo de Impregnación	Presión del Sistema .
al Vacío	72	100 - 121	24 hr	535 Torr
Atmosférica	72	60 - 75	24 hr	535 Torr

Consultar Secc. 6.3

E-2.- Resultados de Polimerizaciones :

Tipo de Solución	Madera .	Temperatura °C	Tiempo de Plomerización.	Peso de la muestra .
MMA 0.8% Bz ₂ O ₂	Pino	65	3.5 hr.	10 gr.
Estireno 1.0% Bz ₂ O ₂	Pino	70	16 hr.	12 gr.

E-3.- Calor de polimerización. (16)

Monómero.	Temperatura de ebullición °C	ΔH de Polimeri- zación $\frac{\text{k cal}}{\text{kg}}$	Tipo de Polímero.
Estireno	145	168	Duro, quebradizo
Metacrilato de Metilo.	100	130	Duro, resistente