

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

---

**FACULTAD DE QUIMICA**

**Estudio Preliminar de la Industrialización  
del Oate con Poliestireno Expandible**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**

**INGENIERO QUIMICO**

**P R E S E N T A**

**FRANCISCO CARLOS MUÑOZ RUIZ**

Ciudad Universitaria, D. F. 1973

M-165605



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.

Presidente: Julio Terán Zavaleta  
Vocal: Héctor Sobol Zazlav  
Secretario: Guillermo Alcayde Lacorte  
1er. suplente: Enrique Campos López  
2o. suplente: José Juan Morales Román

Lugar en donde se desarrolló : Centro de Investigación  
el tema: de Materiales, UNAM

Sustentante: Francisco Carlos Muñoz Ruíz

Asesor del tema: Guillermo Jesús Alcayde Lacorte

Supervisor técnico: Alfredo Pérez de Mendoza

Quiero hacer patente mi agradecimiento a los señores:

Dr. Juan Antonio Careaga

Dr. Eric Mayer Bustin

Dr. Alfredo Pérez de Mendoza

I.Q. Guillermo Alcayde Lacorte

por su colaboración, sus ideas y enseñanzas que me proporcionaron durante el desarrollo de este trabajo en el Centro de Investigación de Materiales.

De una manera especial agradezco su valiosa  
colaboración a:

BASF MEXICANA, S.A.

I.Q. Otto Plettner

I.Q. Arnold X. Schalchs

I.Q. Héctor Lara N.

COMISION DEL RIO BALSAS. (S.R.H.)

Ing. Rubén Figueroa

Ing. José Antonio Nieto

REICHHOLD QUIMICA DE MEXICO, S.A.

Ing. Rogelio Gálvez

Ing. Felipe Parrilla

Agradezco muy atentamente a todas las personas que colaboraron de una u otra forma a la reali  
zación de este trabajo, colaboración muy valio  
sa, sin la cual no se hubiese llevado a cabo.

A mis Padres con agradecimiento y cariño.

A Josefina.

A mis hermanos.

Con cariño a la Facultad de Química

A mis Maestros

A mis Amigos

# ESTUDIO PRELIMINAR DE LA INDUSTRIALIZACION DEL OTATE

## INDICE

### 1. Generalidades

1.1 Antecedentes

1.2 Selección de Materiales

1.3 Localización de Zonas Productoras

1.4 Importancia y Posibles Areas de Aplicación

1.5 Breves notas sobre poliestireno expandible

1.5.1 Obtención del poliestireno

1.5.2 Polimerización del estireno

1.5.3 Cambios que acompañan el proceso de polimerización del estireno.

1.5.4 Presentación comercial del poliestireno

### 2. Objetivos

2.1 Sintetizar un Material con Propiedades Estructurales Elevadas.

2.2 Sintetizar un Material de Baja Densidad

2.3 Material de Bajo Costo

### 3. Parte Experimental

3.1 Generalidades

3.2 Diseño Experimental

- 3.3 Proceso
- 3.4 Diseño del Equipo y Moldes para la Elaboración de Especímenes a Nivel de Laboratorio.
- 3.5 Selección de las Condiciones de Operación y Procedimiento más Adecuados.
- 3.6 Especificación de los Materiales Utilizados
  - 3.6.1 Poliestireno expandible
  - 3.6.2 Emulsión Estireno Butadieno
  - 3.6.3 Recubrimientos
  - 3.6.4 Fibra de Vidrio
  - 3.6.5 Otate
  
- 4. Resultados de las Pruebas Mecánicas y Físicas
  - 4.1 Métodos de Prueba
  - 4.2 Resultados de las Pruebas
  
- 5. Breve Estudio Económico
  - 5.1 Estimación de los Costos de los Materiales
  - 5.2 Estimación del Costo del Material Compuesto
  
- 6. Conclusiones
  - 6.1 Resistencia a la Compresión
  - 6.2 Resistencia a la Flexión
  - 6.3 Densidad
  - 6.4 Costo
  - 6.5 Aplicaciones y Consideraciones para Usos en el Futuro

## 1. Generalidades

### 1.1 Antecedentes

En México, como en otros países en desarrollo, el problema de la vivienda popular ocupa la atención de dirigentes de todos los sectores de la economía. La creación reciente del INFONAVIT enfatiza la preocupación del país por encontrar soluciones viables a este problema tan crítico.

En la actualidad la densidad de población en México es de 2.3 habitantes/Km<sup>2</sup>. Dado el crecimiento actual de nuestro país, se puede proyectar que para 1980 la población en la República Mexicana será incrementada en 10 millones de habitantes para alcanzar un total de 51 millones.

Por otra parte se ha estimado que en 1970 (1) el déficit de viviendas era aproximadamente de 3.2 millones y de las viviendas existentes se encontró que alrededor del 44% estaban construídas de ladrillo o tabique, el 16% de madera y el resto - construídas con materiales de desperdicio, adobe, etc., lo que representa un nivel relativamente bajo de calidad habitacional.

Una de las áreas que se deberá estudiar ampliamente para poder ofrecer soluciones al problema de la vivienda popular, radica en análisis meticulo-

so de los materiales de construcción que se seleccionaron para satisfacer los sistemas, presupuestos y programas de construcción de vivienda más convenientes para el país.

La solución a este problema no es tan sencilla, ya que desde siglos atrás se siguen usando, materiales y sistemas convencionales. Así el cemento, tabique, adobe, etc., siguen siendo los materiales básicos de construcción usando sistemas, que ante el problema, se antojan anacrónicos e inadecuados.

Esto detiene la dinámica de la construcción, al inhibir la creación de nuevas formas funcionales con nuevos sistemas de edificación, debido a que en la industria de la construcción los métodos de edificación encuentran restringidos por el patrón los materiales convencionales.

En las décadas de los 30 del presente siglo tuvo nacimiento el desarrollo de la tecnología de los materiales compuestos, los cuales dada su importancia se han agrupado por separado en el estudio de los materiales poliméricos en general.

Estos materiales compuestos o reforzados vienen a ser el producto de la incorporación de un material de origen mineral u orgánico a un material

polimérico, con la particularidad de la formación de una interfase bien definida (ver Fotografía 1) que afecta intrínsecamente las propiedades mecánicas, físicas y químicas del material compuesto, - mismas que tienen características muy distintas a sus materiales originales.

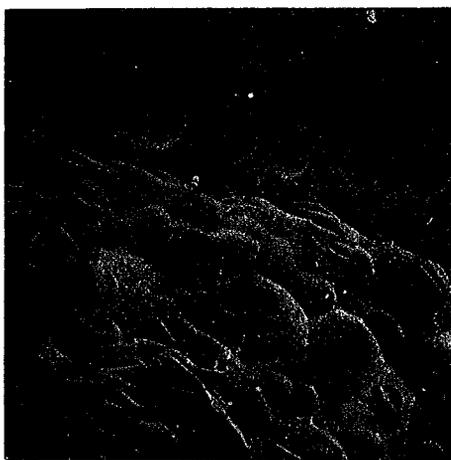
Por ejemplo se han usado polímeros de propiedades mecánicas inferiores, y al ser conjugados con el refuerzo apropiado equiparan propiedades que les eran exclusivas a metales o materiales naturales selectos.

Estos materiales han permitido un grado de libertad muy amplio en el diseño de arquitectura molecular, de estructuras y de propiedades finales a ser obtenidas. El número de materiales que pueden ser sintetizados es infinito y ofrece un campo virgen en el diseño de nuevos materiales y de nuevas propiedades.

Alrededor de 1956 en Francia se construyó una casa con un área de  $90 \text{ m}^2$  pesando 8 toneladas, esta casa en su mayoría estuvo integrada por materiales compuestos, sin embargo tenían la necesidad de una estructura adicional de soporte.

En la actualidad existe la tendencia a utilizar materiales compuestos autosoportantes; con las --

INTERFASE EXISTENTE ENTRE EL POLIESTIRENO EXPANDIDO Y EL  
POLIURETANO



Fotografía 1

consecuentes ventajas de presentar mejores propiedades tanto en el material como en el sistema de construcción con el consecuente ahorro en estructura y con distribución más funcional y tiempos de instalación más reducidos.

Este trabajo describe la síntesis de un nuevo material compuesto que presenta propiedades similares a las de los materiales convencionales utilizados en la construcción, ofreciendo ventajas tales como menor densidad, buenas cualidades térmicas y acústicas, y ahorros considerables en el costo unitario de utilización. Para llenar los objetivos de este estudio este material se usó en prototipos de construcción que pueden ser la base para próximas construcciones de vivienda a gran escala.

## 1.2 Selección de Materiales

Dado lo atractivo de tener un material estructural de baja densidad se pensó en utilizar espumas poliméricas. Estos materiales además de su ligereza, proporcionan aislamiento térmico y acústico. Existe en el mercado una gran cantidad de espumas a base de polímeros orgánicos, cada una con propiedades específicas, sin embargo, se enfatizó primordialmente en el poliestireno, en esta etapa

de la investigación.

En cuanto al material de refuerzo el que más se conoce es la fibra de vidrio, y de reciente aplicación en aeronáutica las fibras de boro y grafito. Por otra parte existen también antecedentes de utilizar bagazo de caña, serrín y henequén como agentes de refuerzo.

Aunque se han llevado a cabo estudios que han logrado resultados satisfactorios usando estos materiales como reforzantes, (2) se tomó la opción -- por usar uno nuevo, el otate (bambú), material secular que se ha usado en Asia y en América para construcción de casas.

En nuestro país existe el antecedente que en regiones tales como las Huastecas y zonas subtropicales, existe el otate en abundancia y ha sido -- utilizado como material para hacer casas habitación. El otate ha sido usado junto con bejuco, mimbre, palma y tule para la formación del cuerpo de las paredes de las casas habitación. (Ver -- Apéndice, Anexo 1).

Este tipo de casas sin embargo, son frecuentemente atacadas por las distintas especies de insectos y alimañas existentes en cada región, teniéndose -- adicionalmente el problema de los temporales, del

pésimo aislamiento térmico, de la necesaria reconstrucción periódica y de una visibilidad interna casi nula. A pesar de estas limitaciones funcionales se tienen construcciones de este material que han durado 50 años en servicio encontrándose en buenas condiciones.

Con lo que respecta al material celulósico existen entre 700 a 1000 tipos de familias distintas en el mundo. En las zonas selváticas de la República se cuentan entre las más abundantes la caña de azúcar, la madera descortezada, el carrizo y el otate (3).

Dado que las propiedades físicas y mecánicas del otate (resistencia a la compresión 400 - 750 Kg/cm<sup>2</sup>) fueron las más atractivas, como planteamiento inicial se seleccionó el otate para integrar el primer sistema de material reforzado, conjuntamente con el poliestireno y el poliuretano.

#### 1.4 Importancia y Posibles Areas de Aplicación del Material Compuesto

De acuerdo con resultados en propiedades mecánicas tanto a compresión como a flexión, se podrán hacer los cálculos de las secciones del material compuesto adecuados para soportar el trabajo a que son sometidos los diversos elementos constitu

yentes de una vivienda; otros factores que podrán introducir este material en la industria de la -- construcción será su precio bajo con respecto a -- los elementos de construcción existentes. La creación de módulos prefabricados con sistemas de -- unión propias para llevar a cabo la construcción o ensamble en un tiempo de una semana como máximo. Otra aplicación probable es la fabricación de módulos de refrigeración estacionarios y móviles, -- puesto que la espuma de poliestireno expandible -- es un aislante excelente. Con lo cual se podría resolver parcialmente el problema de conservación de productos que deben conservarse frescos a base de refrigeración.

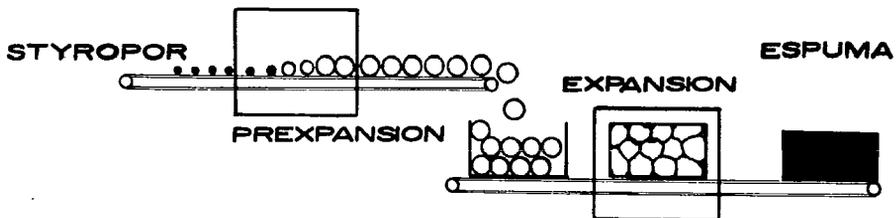
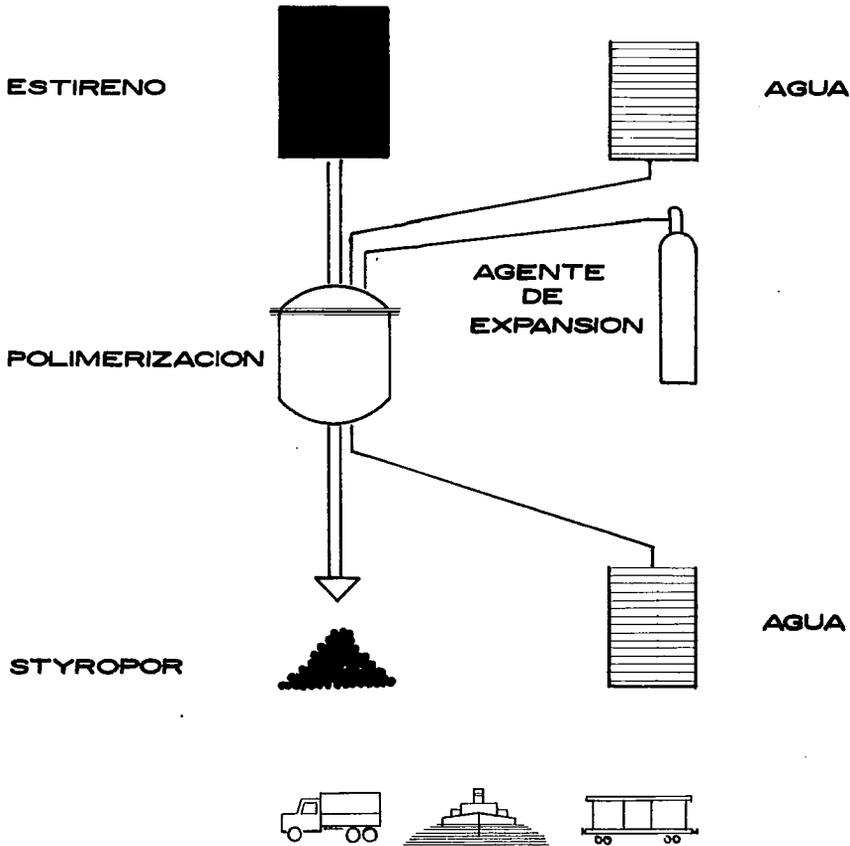
## 1.5 Breves Notas sobre Poliestireno Expandible

### 1.5.1 Obtención del poliestireno

El proceso químico industrial más eficiente en la producción de poliestireno consiste en las tres etapas siguientes:

- 1) Producción de etil benceno por reacción entre el benceno y el etileno.
- 2) El etil benceno purificado es después deshidrogenado catalíticamente en presencia de vapor para dar el estireno:

# OBTENCION DEL STYROPOR.

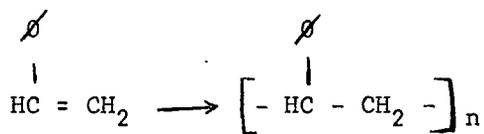


3) Purificación del estireno crudo por --  
destilación.

### 1.5.2 Polimerización del Estireno

La teoría de la polimerización de los com-  
puestos de vinilo ha sido utilizada como -  
guía en el estudio de la polimerización del  
estireno, la cual se le considera una poli-  
merización por adición con todas las carac-  
terísticas de una reacción en cadena. Con-  
siste en un cierto número de fases o esta-  
dos intermedios que se suceden rápidamente.  
Los productos intermedios que se van for-  
mando son inestables y no tienen más obje-  
to que servir de base al proceso o produc-  
to que las continúa. Sin embargo, una vez  
que se han iniciado, éstas reacciones pro-  
ducen de una vez la molécula final, con la  
longitud que hubiere de corresponderle se-  
gún las condiciones de trabajo.

Los pasos propuestos de la reacción son:



aunque la exacta naturaleza del principio

y final de la cadena del polímero no se ha determinado con claridad.

En general, el polímero se puede caracterizar por su grado de polimerización promedio (es decir, el valor de " $n$ "), o con más precisión por la distribución de los valores de " $n$ ."

La reacción de polimerización puede proceder con calor solamente y/o con la ayuda de catalizadores. El poliestireno polimeriza también en presencia de sustancias relativamente inertes, tales como disolventes, pigmentos, colorantes, plastificantes, caucho, resinas. Además, forma una serie de copolímeros con otros tipos de monómeros de vinilo.

1.5.3 Los cambios que se pueden apreciar en el proceso de polimerización del poliestireno son esencialmente 5.

1. El doble enlace del etileno en el grupo vinilo ( $-\text{CH} = \text{CH}_2$ ) desaparece.
2. La densidad aumenta desde .905 en el monómero de estireno puro hasta 1.045 en el poliestireno puro. Este cambio de densidades es función lineal del -

4o. grado de polimerización.

Esta densidad es casi independiente -- del peso molecular del polímero, excepto en intervalos muy bajos, es decir -- de 25,000.

TABLA No. 1

VELOCIDAD DE POLIMERIZACION Y PESO MOLECULAR A DIFERENTES  
TEMPERATURAS DE POLIMERIZACION

Temperatura de Polimerización (°C)	Velocidad Inicial de Polimerización (% hora)	Viscosidad en Solución de Tolueno	Peso Molecular Promedio	Presión de Vapor (mm de Hg)
			20% (cps)	
60	.089	3000	2,250,000	40
70	.205	1400	1,400,000	61
80	.462	650	880,000	92
90	1.020	360	610,000	134
100	2.150	200	420,000	192
110	4.250	120	310,000	270
120	8.250	75	230,000	380
130	16.200	48	175,000	490
140	28.400	30	130,000	650
150		14	83,000	1100
160				

3. El índice de refracción aumenta desde 1.5439 para el monómero a 1.5910 en el polímero. Este es también independiente del peso molecular promedio, excepto en rangos muy bajos.
4. El peso molecular aumenta de 104 para el monómero hasta un valor promedio de 100,000 para el polímero. El peso mo-

lecular depende de las condiciones de polimerización como se observa en la - Tabla No. 1.

5. Los polímeros de bajo peso molecular - tienden a ser débiles y quebradizos, - mientras que polímeros de alto peso mo - lecular, aunque mecánicamente tenaces, son más difíciles de moldear.

#### 1.5.4 Presentación comercial del poliestireno

El poliestireno es un polímero que actual- mente en el mercado tiene múltiples ocupa- ciones, ya sea en forma líquida como en la sólida.

Se presentan en el mercado tres diferentes posibilidades de conseguirlo y son:

- 1) En forma de gránulos, los cuales son - muy usados para la obtención de artícu - los por inyección.
- 2) En el estado líquido se emplea frecuen - temente para obtener enlaces cruzados con la resina poliester, dando como re - sultado una mayor resistencia al impac - to en materiales de refuerzo.
- 3) Existe también en forma de pequeñas --

perlas que después de ser tratadas (más -- adelante se habla de la técnica de este -- tratamiento) dan origen a cuerpos de material celulado con propiedades acústicas y aislantes excelentes.

## 2. Objetivos

### 2.1 Sintetizar un material con propiedades estructurales elevadas

Sintetizar un material de propiedades estructurales comparables con las existentes en los utilizados en la industria de la Construcción y que tenga una resistencia a la compresión de  $35 \text{ Kg/cm}^2$  y a la flexión de  $20 \text{ Kg/cm}^2$ . (Una tabla comparativa de propiedades de materiales de construcción se describe en el Anexo 2).

### 2.2 Sintetizar un material de baja densidad

En la actualidad los materiales de construcción tienen valores de densidad muy altos, y resistencias excesivas para los requerimientos de la vivienda, dando esto como resultado edificaciones con cargas muertas innecesarias de alto costo con un alto porcentaje de material no aprovechado.

Con el material compuesto se pretenden obtener bajas densidades muy cercanas a la madera, o sea de

0.5 g/cm<sup>3</sup>.

### 2.3 Obtener un Material de bajo costo

Los elementos que constituyen el material propuesto son un costo atractivo para la manufactura de estructuras económicas que puedan competir con -- los ya existentes en el mercado. El costo al que se propone llegar es de \$35.00/m<sup>2</sup>. (Ver Apéndice, Anexo 3).

## 3. Parte Experimental

### 3.1 Generalidades

Para hacer el estudio comparativo de propiedades mecánicas con el concreto, tabique, madera; fue -- necesario recurrir a las normas para la elabora-- ción de probetas (5).

Las dimensiones sugeridas por el ASTM para prue-- bas en espumas, son cubos de .15 m por lado, prismas rectangulares de .15 x .15 x .30 m de lado.

Se diseñó el experimento basándose primordialmen-- te en 2 variables:

- 1) Volumen del Otate
- 2) Arreglo Estructural

Basándose en lo anterior es posible generar una -- matriz de experimento con la siguiente distribu--

ción:

Arreglo

	% Volumen de Otate			
	0	10	20	30
En línea				
Triangular				
Cruzado				

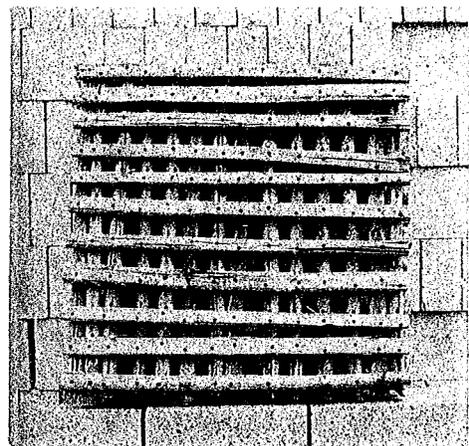
Estos arreglos están supeditados al diámetro del otate y por ello se escogió esta matriz considerando un nivel de diámetro y de familia, y se seleccionó aquel que mostró un óptimo de propiedades bajo esas dos condiciones.

Una vez encontrados estos parámetros se propusieron los siguientes arreglos estructurales para la caña del otate:

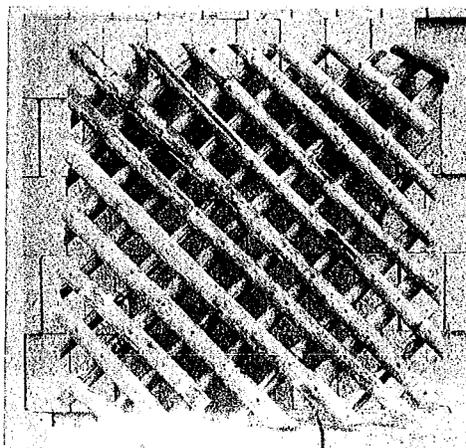
- a) En una sola hilera.
- b) En dos hileras paralelas.
- c) En arreglo triangular visto de planta.
- d) En arreglos cruzados a  $90^\circ$  y a  $60^\circ$  a manera de malla; tal y como se puede apreciar en las Fotografías 2 y 3.

Estos tipos de arreglos se hacen pensando en que los tres primeros sirvan esencialmente para sopor

FOTOGRAFÍAS DE ARREGLOS ESTRUCTURALES DEL OTATE



Fotografía 2



Fotografía 3

tar cargas axiales y se proponen para muros, dado a que estarán trabajando a compresión.

Los arreglos cruzados tendrán en principio que soportar esfuerzos de compresión, flexión y tensión, dado a que estos se pueden distribuir a través de la matriz estructural y podrán ser usados en techos o en muros de alta resistencia.

### 3.2 Proceso

El procesamiento de la espuma se puede resumir en tres etapas:

- 1a. Pre-expansión
- 2a. Reposo
- 3a. Moldeo

Pre-expansión.- Consiste en someter las perlas en un recipiente con agitación y vapor, para que se expandan hasta obtener la densidad deseada. Esta parte del proceso consiste en la liberación parcial del agente espumante (6).

Existen formas a nivel industrial de llevar a cabo la pre-expansión:

- 1) Pre-expansión discontinua con vapor de agua.
- 2) Pre-expansión continua con vapor de agua.
- 3) Pre-expansión doble para obtener pre-expandido de muy baja densidad.
- 4) Pre-expansión bajo presión.

5) Pre-expansión en agua caliente.

Reposo.- El proceso de reposo consiste en la igualación de presiones a través de toda la perla; -- por medio de la eliminación de vapor de agua.

El reposo intermedio debe realizarse por los si-- guientes motivos:

En las partículas debe entrar aire, ya que en -- aquellas que se enfrían aparece después de la pre-expansión una presión negativa porque el agente de expansión una presión negativa porque el agente de expansión residual y el vapor de agua que entra-- ron se condensan; y debido a que las partículas -- de poliestireno recién pre-expandidas son muy -- flexibles y se comprimen fácilmente, si no se realiza lo anterior. Las partículas reposadas recuperan su forma original después de que logran -- equiparar la presión interna y la externa por el aire incorporado a las perlas. La absorción de -- aire es necesaria en la etapa de expansión, debi-- do a que actúa sinérgicamente con el agente de expansión y así pueden producir la presión de ex-- pansion necesaria.

Moldeo.- En esta etapa de fabricación las partículas pre-expandidas que están en reposo son lleva-- das a los moldes hasta 105°C; en esta operación --

las partículas pre-expandidas que aún tienen agente expansor en su interior, se vuelven a expandir ejerciendo presión entre sí y ésto aunado al reblandecimiento de la superficie de las partículas por la temperatura, determina que se solden entre sí dando lugar a una pieza compacta y uniforme -- con el molde. Cabe mencionar que esta etapa se puede realizar usando seis procedimientos distintos:

- 1) Por medio del golpe de vapor.
- 2) Procedimiento en autoclave.
- 3) Combinación de golpe de vapor-autoclave.
- 4) Procedimiento de permanencia de vapor.
- 5) Expansión con agua caliente.
- 6) Expansión directa.

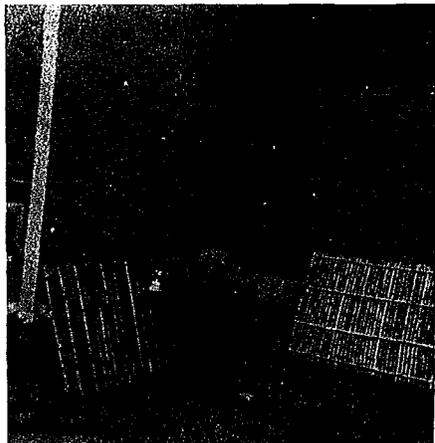
### 3.3 Diseño del Equipo y Moldes para la Elaboración de Especímenes a Nivel de Laboratorio

Para la elaboración de los especímenes se procede en la siguiente forma:

- 1) Armado de la estructura del otate.

En esta primera etapa los otates son cortados de acuerdo con el tamaño requerido; una vez -- que se tienen los cortes, son ensamblados de acuerdo con la forma deseada; ver diagrama de elaboración (Fotografías 4 y 5).

PROCESAMIENTO DEL OTATE PARA LA FORMACION DE ESTRUCTURAS



Fotografía 4



Fotografía 5

2) Tratamiento de la caña una vez armada.

Quando las estructuras están hechas, son tratadas con una emulsión para propiciar una buena adhesividad en la interfase (Fotografía 6).

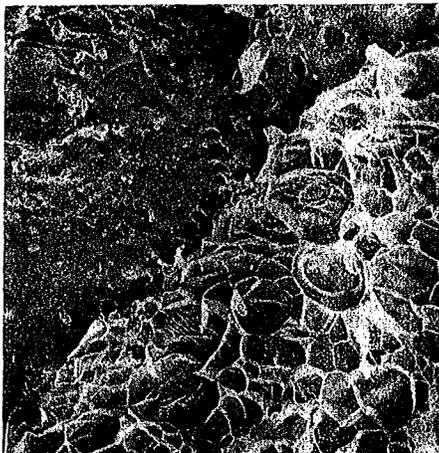
3) Procesamiento con la espuma.

En este tercer paso la estructura ha sido elaborada ya; mientras que el poliestireno (Fotografías 7, 8, 9, 10 y 11) es llevado al pre-expansor donde permanece cinco minutos, terminada la pre-expansión la espuma se deja reposar en silos durante 48 horas aproximadamente. Al final de la operación los moldes son llenados con la espuma, previa colocación del otate, se hace la inyección de vapor durante dos minutos, se deja enfriar un período de 15 minutos para después botar fácilmente el espécimen compuesto.

3.4 Selección de las Condiciones de Operación y Procesamiento más Adecuadas

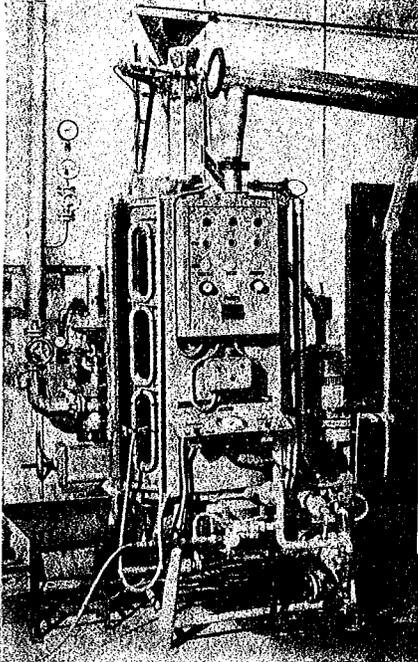
Las condiciones de operación para procesar la espuma de poliestireno en cada una de sus tres etapas se ilustra a continuación:

INTERFASE DE LA ESPUMA DE POLIESTIRENO Y EL OTATE TRATADO

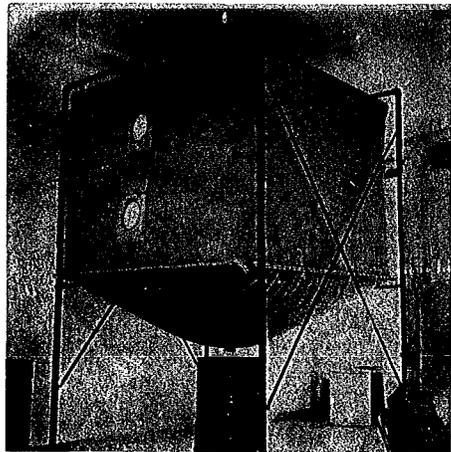


Fotografía 6

EQUIPO DE PROCESAMIENTO PARA EL POLIESTIRENO EXPANDIBLE

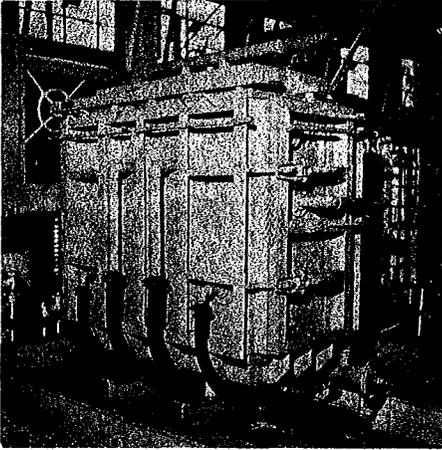


Fotografía 7



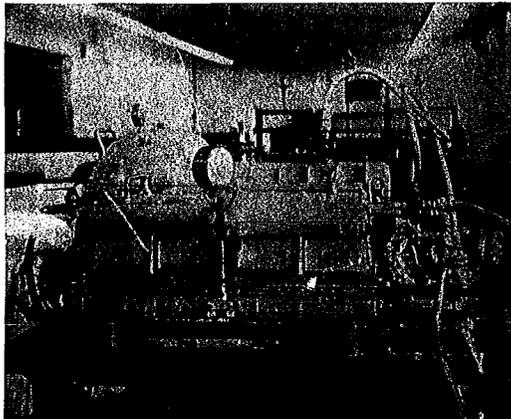
Fotografía 8

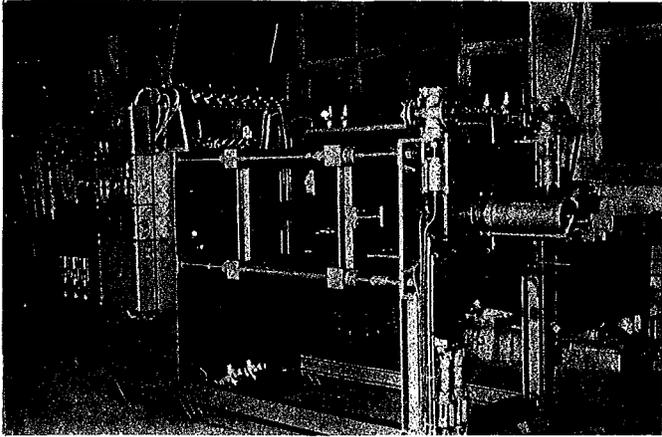
EQUIPO PARA EL MOLDEO DE POLIESTIRENO



Fotografía 9

Fotografía 10





Fotografía 11

TABLA No. 2

Perla Alimentada (Kg/hr)	Presión de Vapor (Kg/cm <sup>2</sup> )	Posición de la Válvula de Aire	Densidad Final del Producto (Kg/m <sup>3</sup> )
32.5	.7	Cerrada	17.6
38.5	.7	Cerrada	19.2
75.0	.7	Cerrada	20.8
100.0	.7	Cerrada	22.5

TABLA No. 3

Tiempo de Reposo para Diferentes Densidades

Densidad (gr/lt)	13-16	16-20	20-25	30-40
Tipo de poliestireno	Tiempo (en horas)			
Normal (1.0 mm)	14-48	12-48	10-48	5-48
*AE (1.0 - 2.0 mm)				
Normal (1.0 - 2.0 mm)			5-48	3-48
*AE (1.0 mm)				
Estable a los aceites e hidrocarburos			10-48	5-48
*AE las mismas características				
*AE autoextinguible				

TABLA No. 4

Ciclo Típico de Moldeo de un Bloque de

Operación	Tiempo	Presión de Vapor
Precalentar	60 seg.	0.52 Kg/cm <sup>2</sup>
Llenado	45 seg.	0.41 Kg/cm <sup>2</sup>
Vaporizar	35 seg.	1.04 Kg/cm <sup>2</sup>
Enfriamiento	20 min.	

### 3.5 Recubrimientos

Por lo que respecta a este renglón se piensa que es de vital importancia aparte de confeccionar -- las propiedades de resistencia ya mencionadas, -- darle cuando menos resistencia al impacto y dureza; ésto obedece a la necesidad de cubrir al poli-estireno expandido que es muy blando y deformable. Se proponen para éllo el probar con recubrimien-- tos reforzados con fibra de vidrio, con dos resinas: (Fotografías 12 y 13)

1. Poliéster

2. Epóxica

### 3.6 Especificación de los Materiales Utilizados

#### 3.6.1 Poliestireno Expandible

AE 1020, proporcionado por la Cía. BASF

#### 3.6.2 Emulsión Estireno Butadieno

Arlatex DA-511, proporcionado por la Cía. Resistol, S.A.

#### 3.6.3 Recubrimientos

Resina Epóxica, proporcionada por la Cía, CIBA-GEIGY, S.A.

Resina Poliéster de uso general, propor-- cionada por la Cía. Reichhold de México.

#### 3.6.4 Fibra de Vidrio

Colchoneta de fibra de vidrio de 60 cavos proporcionada por la Cía. Vitro Fibras.

#### 3.6.5 Otate

El material de refuerzo se consiguió en -- las regiones de:

Apatzingán, Mich.

Arcelia, Gro.

Cuernavaca, Mor.

### 4. Resultados de las Pruebas Mecánicas y Físicas

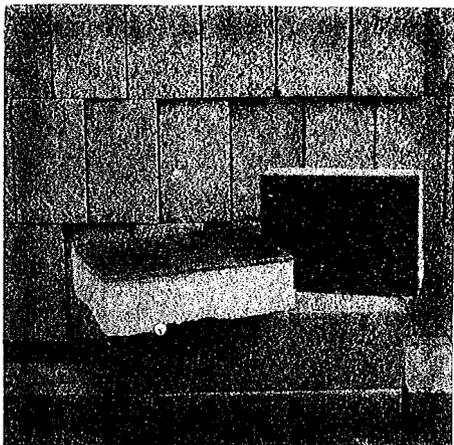
#### 4.1 Métodos de Prueba

En los objetivos trazados en este trabajo se mencionó la comparación de propiedades mecánicas y - para ello se enuncian a continuación los métodos seguidos en cada prueba.

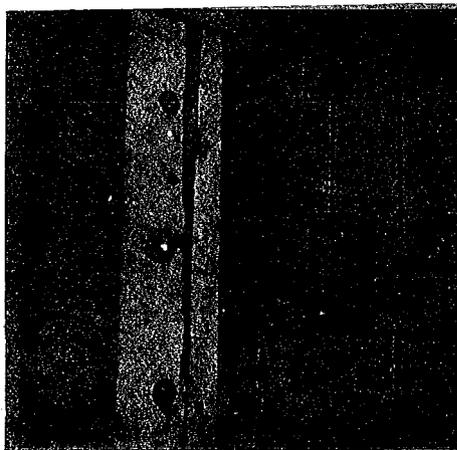
##### 4.1.1 Compresión

Se usaron para ello probetas cúbicas de 15 cm x 15 cm x 15 cm de acuerdo con las normas ASTM (7). Por otra parte por tratarse de materiales anisotrópicos se probaron en

RECUBRIMIENTOS APLICADOS AL MATERIAL COMPUESTO



Fotografía 12



Fotografía 13

distintas posiciones con respecto a la dirección de aplicación de la carga.

En el caso de la determinación de la resistencia que mostrara el otate se cortaron las muestras de tal manera que su longitud fuera igual a dos veces el diámetro del otate usado en cada caso.

#### 4.1.2 Flexión

Las probetas usadas para esta prueba tuvieron las siguientes dimensiones: 150 cm x 30 cm x 15 cm, sostenido en un claro de 100 cm (8 y 9).

#### 4.1.3 Densidad

Para ello se recortaron bloques de 20 cm x 50 cm x 10 cm y se pesaron directamente, en distintos arreglos y con distinta cantidad en volumen incorporado del material de refuerzo (10).

### 4.2 Resultados de las Pruebas

#### 4.2.1 Resistencia a la compresión

Otate:

En una etapa preliminar de selección del diámetro y familia más apropiada del material de refuerzo se obtuvieron los siguientes

tes resultados.

TABLA No. 5

Datos de Resistencia a Compresión

Diámetro (cm)	Región	Resistencia a la Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
5.0	Arcelia Gro.	220
2.9 (macizo)	Arcelia Gro.	336
2.8 (hueco)	Arcelia Gro.	500
2.5	Apatzingan, Mich.	750

TABLA No. 6

Datos de Resistencia a Compresión  
del Material Compuesto

Carga aplicada en sentido perpendicular al  
arreglo estructural.

Triangular	9 Kg/cm <sup>2</sup>
Cruzado a 60°	15 Kg/cm <sup>2</sup>
Cruzado a 90°	35 - 40 Kg/cm <sup>2</sup>

TABLA No. 7

Carga aplicada en sentido paralelo al arre  
glo estructural.

Triangular	200 Kg/cm <sup>2</sup>
Cruzado 60°	280 Kg/cm <sup>2</sup>
Cruzado 90°	350 Kg/cm <sup>2</sup>

Se pueden apreciar los resultados en la gráfica 1 correspondiente en función del volumen del otate en el material compuesto.

#### 4.2.2 Resistencia a la flexión

De los arreglos explicados se tuvieron resultados muy similares arrojando los siguientes valores:

Resistencia a la flexión 22 - 26 Kg/cm<sup>2</sup>

#### 4.2.3 Densidad

La densidad obtenida en estos materiales es una función del volumen del material de refuerzo incorporado, según lo muestra la siguiente tabla.

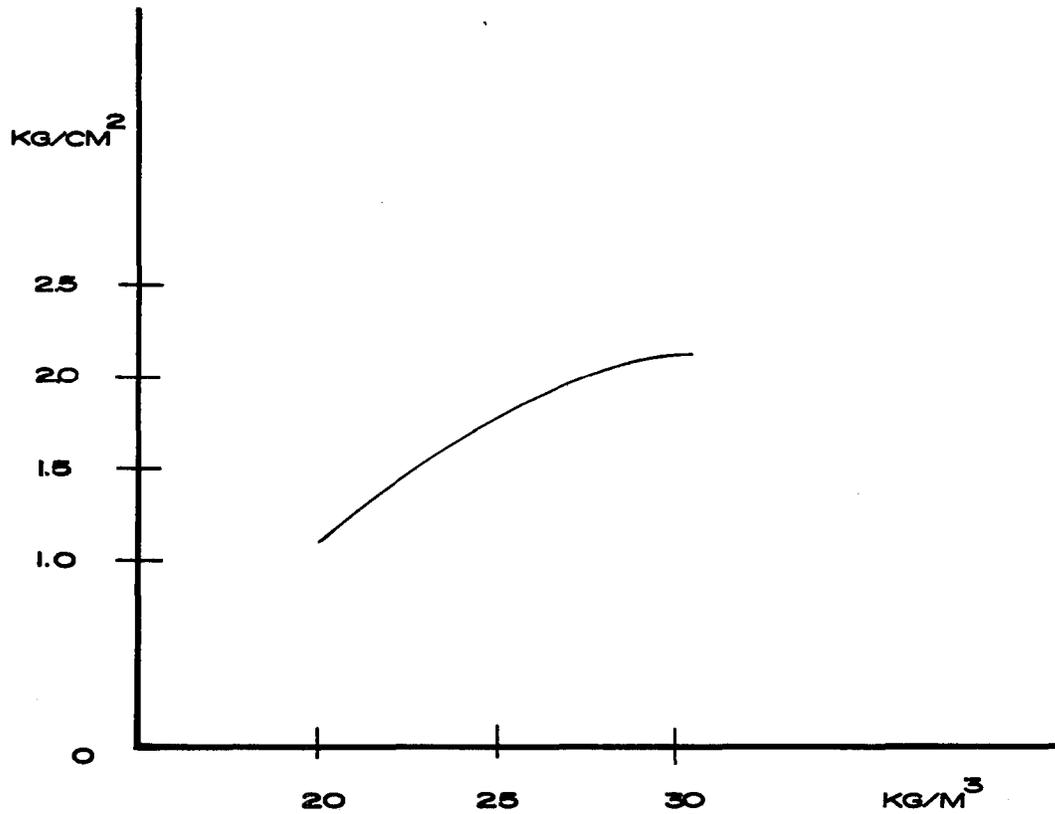
% V de Otate	Densidad
0	0.02 g/cm <sup>3</sup>
10	0.17 g/cm <sup>3</sup>
20	0.20 g/cm <sup>3</sup>
30	0.40 g/cm <sup>3</sup>
40	0.48 g/cm <sup>3</sup>

#### 4.2.4 Recubrimientos

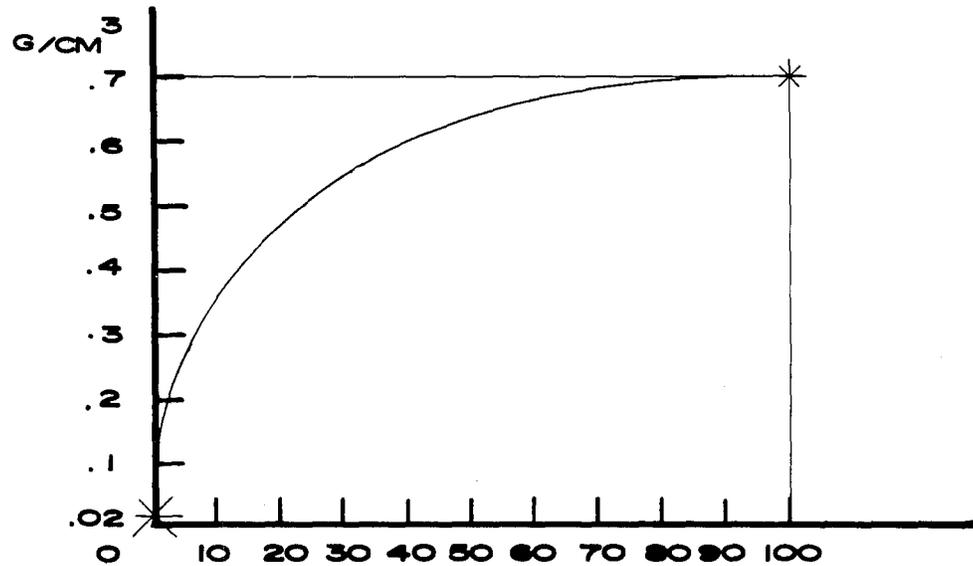
De los recubrimientos reforzados con fibra de vidrio se usaron dos sistemas:

1. Resina poliéster - fibra de vidrio

GRAFICA DE RESULTADO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION  
DE ESPUMA DE POLIESTIRENO.

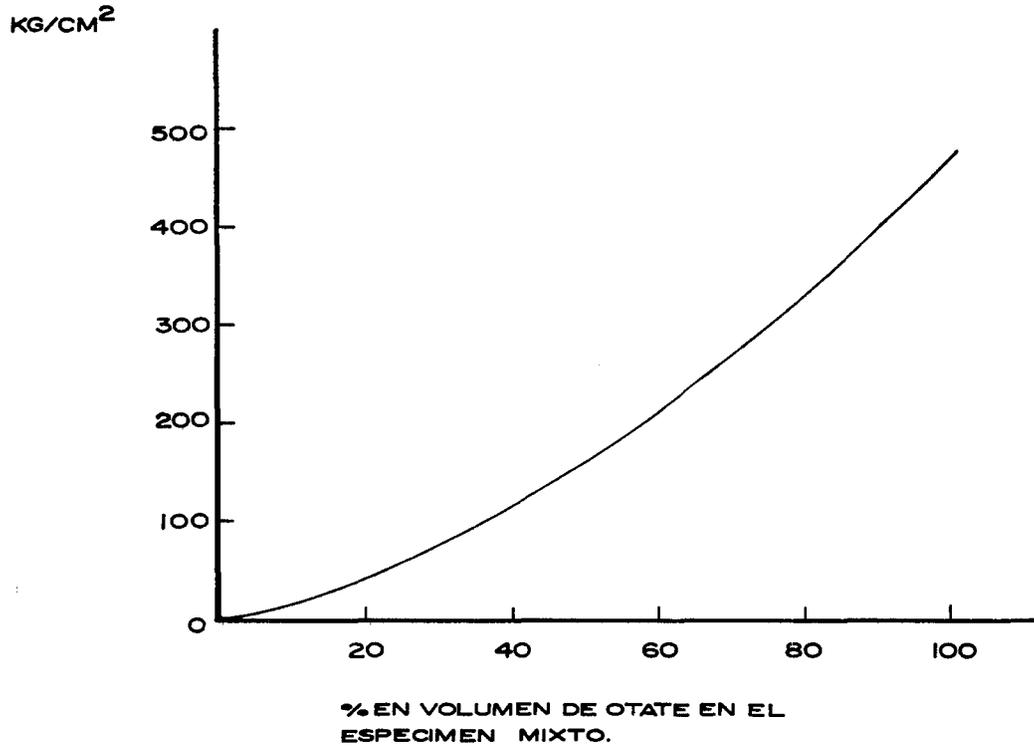


DENSIDAD RELATIVA DEL MATERIAL COMPUESTO  
CONTRA PORCIENTO EN VOLUMEN DE OTATE.

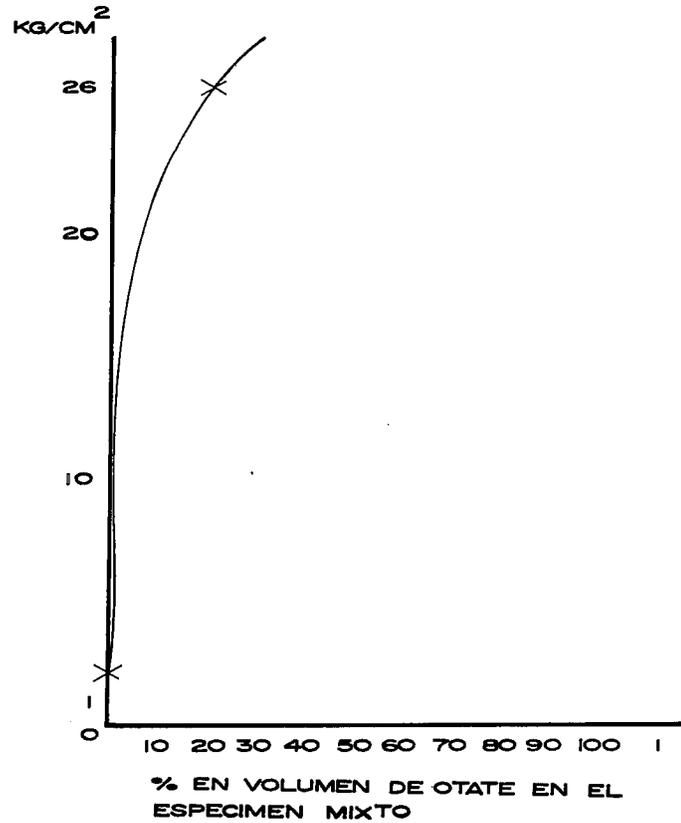


% EN VOLUMEN DE OTATE EN EL  
ESPECIMEN MIXTO.

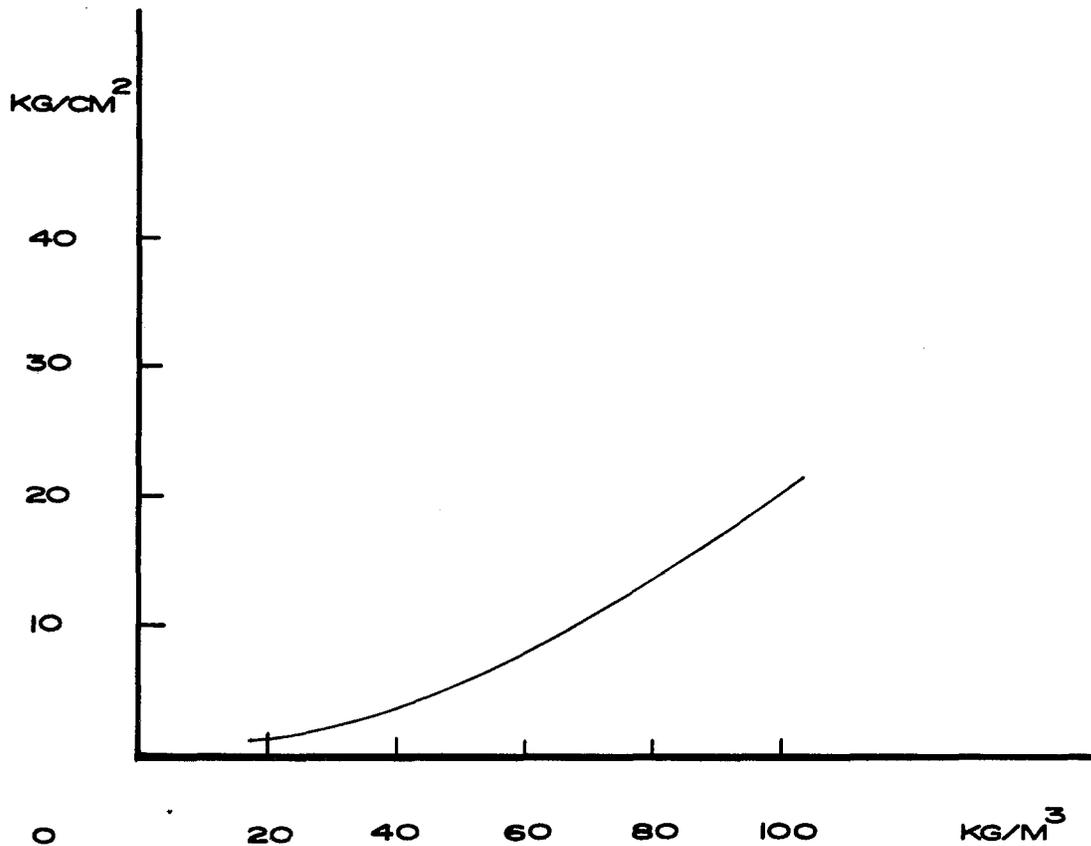
GRAFICA DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL MATERIAL COMPUESTO CONTRA PORCIENTO EN VOLUMEN DE OTATE.



RESISTENCIA A LA FLEXION DEL MATERIAL COMPUESTO  
CONTRA PORCIENTO EN VOLUMEN DE OTATE.



GRAFICA DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION  
DE ESPUMA DE POLIESTIRENO CONTRA DENSIDAD.



## 2. Resina epóxica - fibra de vidrio

El primer sistema no puede ser aplicado directamente ya que la resina actúa como solvente del poliestireno expandido y para poderse aplicar se requiere de un tratamiento previo de la superficie con acetato de polivinilo o acronal.

El segundo sistema se puede aplicar directamente y por el momento se han obtenido - al menos cualitativamente excelentes resultados.

## 5. Breve Estudio Económico

### 5.1 Estimación de costos de los materiales

Se realizó una estimación de los materiales que - constituyen el material compuesto, de informaciones obtenidas directamente de los fabricantes y - del lugar de colección del refuerzo. Estos cos--tos se indican a continuación:

Poliestireno Expandible Autoextinguible:

Materia Prima

$$\frac{\$12.00}{\text{Kg}} \times \frac{20 \text{ Kg}}{\text{m}^3} = \$240.00/\text{m}^3$$

Otate:

Materia Prima

\$0.625/otate

Transportación y manejo

\$0.250/otate

Total = \$0.875/otate

$$= \$0.875/\text{otate} \times \frac{\text{otate}}{2.5 \text{ m}} = \$0.35/\text{m}$$

## 5.2 Estimación del costo en el material compuesto

Como un ejemplo se puede considerar a una estructura cruzada, ésta consta de 20 otates de 1 m, para hacer  $1 \text{ m}^2$  por lo tanto se tendrá

$$\frac{20 \text{ otates}}{\text{m}^2} \cdot \text{m} \times \frac{\$0.35}{\text{m}} = \$7.00/\text{m}^2$$

El volumen que ocupan los 20 otates de 1 m en  $1 \text{ m}^2$  es de  $0.01 \text{ m}^3$ , de aquí la cantidad necesaria de poliestireno suponiendo un espesor de 0.10 m será

$$V_T = 0.1 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}^2 = 0.1 \text{ m}^3$$

$$V.P.S. = V \text{ total} - \text{Vol. otate}$$

Considerando exclusivamente costos de materia prima se tendrá:

$$\text{Vol. Poliestireno} = V_{\text{total}} - V_{\text{otate}} = \frac{0.1 \text{ m}^3}{\text{m}^2} - \frac{0.01 \text{ m}^3}{\text{m}^2}$$

$$\text{Costo Poliestireno} = \frac{0.09 \text{ m}^3}{\text{m}^2} \times \frac{\$240.00}{\text{m}^3} = \$21.60/\text{m}^2$$

sín moldear.

$$\text{Costo Total} = \$7.00/\text{m}^2 + \$21.60/\text{m}^2 = \$28.60/\text{m}^2$$

Tabla de Costos de Materia Prima para Diferentes  
Espesores de Poliestireno - Otate

Espesor m	Poliestireno % V	Otate % V	Costo Otate m <sup>2</sup>	Costo del Poliestireno m <sup>2</sup> Sin moldear	Costo Total
0.125	100.00	0.00	\$0.00	\$30.00	\$30.00
0.125	92.00	8.00	7.00	27.50	34.50
0.100	100.00	0.00	0.00	24.00	24.00
0.100	90.00	10.00	7.00	21.60	28.60
0.075	100.00	0.00	0.00	18.00	18.00
0.075	87.50	12.50	7.00	15.60	22.60
0.050	100.00	0.00	0.00	12.00	12.00
0.050	80.00	20.00	7.00	9.60	16.60

A todos estos costos se les debe adicionar por --  
concepto de mano de obra \$4.00/m<sup>2</sup> del enrejado --  
del otate y \$7.00/m<sup>2</sup> por costos de operación.

## 6. Conclusiones

### 6.1 Resistencia a la Compresión

Se logró sobrepasar el valor de 35 Kg/cm<sup>2</sup>, llegando en ciertos casos hasta 350 Kg/cm<sup>2</sup>, dependiendo del sentido de aplicación de la carga en el espécimen quedando por lo tanto hasta un 50% más resistente que el concreto normal.

### 6.2 Resistencia a la Flexión

Se llegaron a obtener valores de 26 Kg/cm<sup>2</sup> quedando comparativamente 10 veces superior al concreto

en resistencia a la flexión.

### 6.3 Densidad

La densidad de este material fue desde  $0.17 \text{ g/cm}^3$  hasta  $0.45 \text{ g/cm}^3$  siendo por lo tanto 9 veces más ligero que el concreto.

### 6.4 Recubrimiento

El recubrimiento que parece conferir mejores propiedades de dureza y resistencia al impacto es el que utiliza resena epóxica reforzada con fibra de vidrio, sin embargo es muy costoso  $\$40.00/\text{m}^2$ . Pensando para acciones futuras desarrollar sistemas de recubrimiento más baratos con propiedades adecuadas.

### 6.5 Costo

El costo de este material es de  $\$28.60/\text{m}^2$  considerando un espesor de 10 cm, comparando sobre esta misma base con el concreto es alrededor de 3.0 veces más barato. Cabe aclarar que este espesor puede ser reducido aún más sin perder las especificaciones necesarias para su uso.

### 6.6 Aplicaciones y Consideraciones para usos en el futuro

Una vez logrados los objetivos propuestos en este trabajo se puede decir que el material reforzado

en cuestión es adecuado para la vivienda. Las bases obtenidas en este estudio están siendo proyectadas para la construcción de un prototipo de unidad habitacional en el Centro de Investigación de Materiales de la UNAM.

Adicionalmente se han logrado fabricar módulos -- con dimensiones de 3 m x 1.5 m x .15 m.

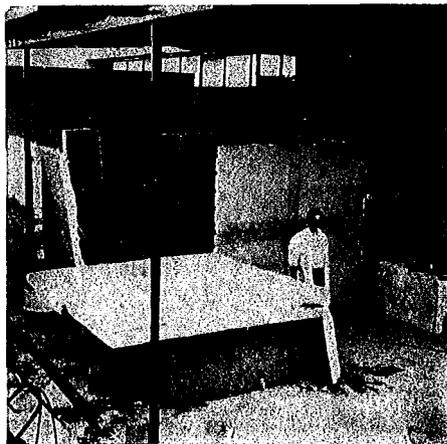
En otra de las aplicaciones que se le pueden dar al material es en la construcción de frigoríficos móviles, habiéndose construido la primera de es--tas unidades experimentales en la Universidad Na--cional Autónoma de México con una capacidad de --carga útil de 3 toneladas, pesando solamente 800 Kg y resultando 5 veces más barata en comparación con unidades de diseño extranjeras similares e importadas.

Una secuencia de su construcción se puede apre--ciar en las Fotografías (14, 15, 16, 17, 18, 19, 20) mostrando por lo tanto la benevolencia que --tiene este material compuesto como material de estrutura autosoportante y de aislamiento.

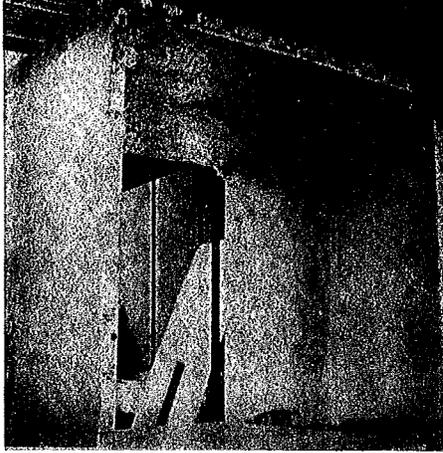
Queda por tanto abierto el camino a un estudio que provea las bases de ingeniería, arquitectura y de índole sociológica para que se puedan integrar --los factores de escalamiento para una producción

masiva concerniente a casas-habitación de interés social a bodegas y contenedores frigoríficos, para que sean utilizados en la modesta escala en -- que corresponde al beneficio de nuestra sociedad.

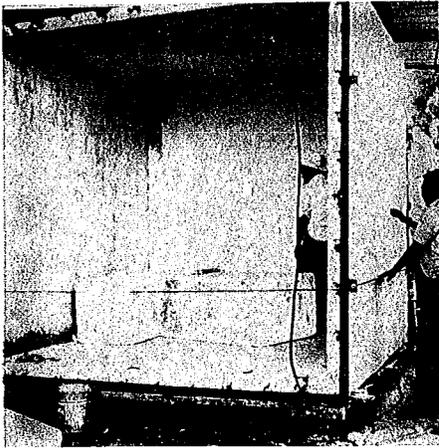
SECUENCIA DE LA CONSTRUCCION DE UN FRIGORIFICO MOVIL



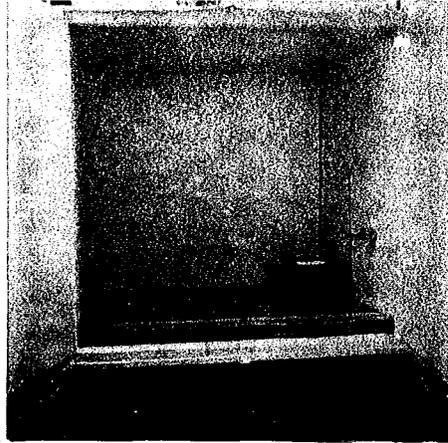
Fotografía 15



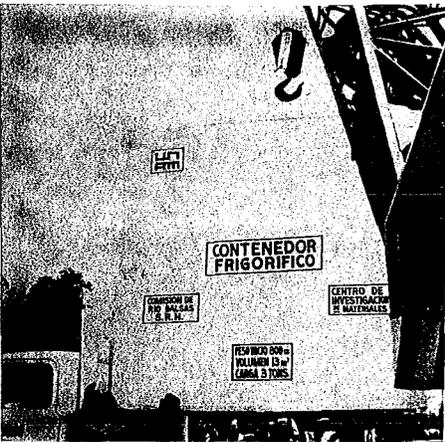
Fotografía 16



Fotografía 17



Fotografía 18



Fotografía 19



Fotografía 20

ANEXO 1

1.3 Localización de Zonas Productoras de Otate

Nombre Vulgar	Región	Nombre Científico
Otate	Oaxaca Veracruz	Arthrostyidium Racemiflorum Stend
Otate	Sinaloa Durango Nayarit S.L.P. Veracruz Oaxaca	Arundinaria Longi- folia Fourn
Otate	Chiapas	Bambos
Otate	Jalisco	Guadua Amplexifo-- lia Presl.
Otate	Veracruz Tabasco	Guadua Inermic - - Rupr.
Otate	Oaxaca S.L.P. Veracruz	La Siacis Sloanei Hijch. (Griseb)
Otate		La Siacis Sorghoi- dea (Desv.) Hitch & Chase
Otate	(cultivado)	Bambos Arundinácea Roxb

## ANEXO 2

### Propiedades Mecánicas y Físicas de Algunos Materiales de Construcción

#### Tabla de resistencia a compresión

Tabique	15.0 a 40.0 Kg/cm <sup>2</sup>
Concreto normal	150.0 a 200.0 Kg/cm <sup>2</sup>
Siporex	20.0 a 30.0 Kg/cm <sup>2</sup>
Madera	1.4 a 560.0 Kg/cm <sup>2</sup>

#### 2.1.2 Tabla de resistencia a flexión

Tabique	1.5 a 3.0 Kg/cm <sup>2</sup>
Concreto normal	12.0 a 20.0 Kg/cm <sup>2</sup>
Siporex	2.5 a 4.0 Kg/cm <sup>2</sup>
Madera	21.0 Kg/cm <sup>2</sup>

#### 2.2.1 Densidades de materiales en construcción

Material	Densidad
Tabique	1,500 Kg/m <sup>3</sup>
Cemento	1,200 Kg/m <sup>3</sup>
Concreto	2,200 Kg/m <sup>3</sup>
Madera	728 Kg/m <sup>3</sup>
Concreto armado	2,600 Kg/m <sup>3</sup>
Siporex	400 Kg/m <sup>3</sup>

### ANEXO 3

#### Costo de Algunos Materiales de Construcción

Material	Precio por m <sup>2</sup>
Losa de concreto armado*	\$ 100.00
Siporex*	60.00
Lámina de acero galvanizado acanalada	62.00
Lámina de asbesto cemento estructural	44.00
Tabique con aplanado de cemento-cal*	80.00
Lámina de asbesto-cemento	25.00
Lámina de aluminio-acanalado	24.50

\* Espesor 10 cm.

## BIBLIOGRAFIA

1. Panorama Económico  
Revista del Banco de Comercio  
Febrero de 1972
2. Tropical Roofing Materials (a internal report)  
J.R.P. Falconer  
A.T. Di Benedetto  
R. Serrano  
D. Stublefield  
Washington University 1972, U.S.A.
3. Revista Latino Americana de Ciencias Agrícolas  
Julio - Septiembre 1952 # 3 Vol. 2 Pág. 111-114  
Turrialba-Costa Rica
4. Estudio de los Procesos de Elaboración de Cuerpos  
Moldeados de Poliestireno Expandible  
Arnold Xavier Schalch Santillán  
Facultad de Química  
México, D.F. 1970
5. 1969 Book of ASTM Standards  
Part 26-27  
Published by the American Society for Testing and  
Materials  
1916 Race St. Philadelphia, Pa. 19103
6. Manual del Styropor  
Ernst Neufert  
Editorial Herder S.A.  
Barcelona 1970
7. Standard Method of Test for Compressive Properties  
of Rigid Plastics  
ASTM designation: D695-27
8. Standard Method of Test for Flexural Properties of  
Plastics  
ASTM designation: D790-66
9. Resistencia de Materiales  
S. Timoshenko  
Espasa-Calpe S.A.  
Madrid 1965

10. Standard Method of Test for Apparent Density of Rigid Cellular Plastics  
ASTM designation: D1622-63
11. Modern Plastics Encyclopedia  
Vol. 47: No. 10 A  
Octubre de 1970  
Ed. Mac Graw-Hill
12. Catálogo Alfabético de Nombres Vulgares y Científicos de Plantas que Existen en México  
Secretaría de Agricultura y Fomento  
Pag. 450