

25
93



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

**DESARROLLO DE TABLEROS AGLOMERADOS A BASE DE
FIBRA DE MENEQUEN**

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO

Presenta:

ANTONIO SANCHEZ SOLIS



DEPTO. DE INVESTIGACIONES
EXAMINACIONES FINALES
FAC. DE QUIMICA

México, D. F.

1961

**TESIS DONADA POR
D. G. B. - UNAM**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE	PROFA. AMELIA CRUZ ESCARCEGA
VOCAL	PROFA. NATALIA DE LA TORRE ACEVES
SECRETARIO	PROF. ABELARDO GARCIA LEON
1er. SUPLENTE	PROF. ROLANDO BARRON RUIZ
2do. SUPLENTE	PROF. ERNESTO IBARRA NUÑEZ

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

**DEPARTAMENTO DE POLIMEROS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATERIALES
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

SUSTENTANTE:



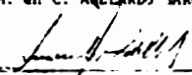
ANTONIO SANCHEZ SOLIS

ASESOR DEL TEMA:



M. en C. ABELARDO GARCIA LEON

SUPERVISOR:



M. en C. AMANCIO PADILLA RAMIREZ

INDICE

PROLOGO	.....	1
INTRODUCCION Y OBJETIVOS	.....	3
CONSIDERACIONES TEORICAS	.....	5
Resina Urea-formaldehído	.....	5
Reacción de condensación	.....	6
Henequén	.....	10
Materiales compuestos	.....	13
Trabajo termodinámico de adhesión	...	17
Topografía del adherente	.....	21
Efecto de la presión	.....	23
Efecto de la temperatura	.....	24
Efecto del tiempo de residencia	.....	25
PARTE EXPERIMENTAL	.....	26
Materiales	.....	27
Preparación de muestras	.....	27
Caracterización mecánica del material	.....	31
Prueba de flexión	.....	32
Prueba de tensión	.....	34
Prueba de retiro de clavo y tornillo	.....	36
RESULTADOS Y DISCUSION	.....	37
Efecto del contenido de agua en la formulación de la resina UF	.....	37

Efecto del contenido de agua en la tensión superficial de la resina UF	47
Efecto del contenido de henequén/m ² en el tablero	48
Efecto en las propiedades mecánicas por el empleo de resina precatalizada	56
Efecto de la temperatura de curado en las propiedades mecánicas	61
Efecto del tiempo de residencia en las propiedades mecánicas del material	66
Efecto de la longitud de fibra	71
BREVE ESTUDIO ECONOMICO	76
Análisis de costos	76
Perfil de mercado	78
CONCLUSIONES	85
BIBLIOGRAFIA	88

P R O L O G O

PROLOGO.

En esta tesis se presentan la caracterización y optimización de tableros aglomerados a base de fibras cortas de henequén (1), material que ha sido objeto de patente, propiedad de la UNAM.

Este trabajo se desarrollo en el Instituto de Investigaciones en Materiales, como parte del programa de desarrollo de tableros aglomerados a base de fibras dures y resinas termofijas. El principal objetivo fue, obtener un material compuesto a base de fibras de henequén y una solución de resina Urea-formaldehído, que tuviera propiedades físico-mecánicas al menos iguales a los tableros aglomerados existentes en el mercado, y cuyo costo le permitiera ser competitivo en el mercado nacional.

La investigación se enfocó en el sentido de darle a las fibras cortas de henequén un nuevo uso y así mismo un valor agregado mayor que permita, potencialmente, a los campesinos que trabajan esta fibra incrementar su nivel de vida. Aunque puede pensarse que no es una solución total para mejorar el nivel de vida, es un primer paso que abre otra nueva perspectiva en el uso del henequén. Esta aplicación representa teóricamente un nuevo auge en la explotación del

henequén, considerando que para la elaboración de estos table
ros es posible aprovechar íntegramente la planta: las pencas
el tronco, las raíces, aumentando con esto el rendimiento por
planta. Esta última hipótesis de aprovechamiento no es desa--
rollada en este trabajo.

INTRODUCCION Y OBJETIVOS

INTRODUCCION Y OBJETIVOS.

La elaboración de aglomerados con buenas propiedades físico-mecánicas y costos accesibles, involucra el análisis y optimización de una gran cantidad de variables, tanto de formulación como de procesamiento.

Es de importancia fundamental en el desarrollo de tableros lograr la adhesión óptima, esto es la máxima resistencia y durabilidad de la interfase resina-fibra.

Para lograr este objetivo, es necesario tener un buen mojado del adhesivo sobre el adherente, ya que de esta forma es posible que las fibras distribuyan y soporten mucho mejor los esfuerzos de carga, y puedan inhibir de una manera más eficaz las propagaciones de fracturas a través del material, y con esto se pueda optimizar sus propiedades mecánicas. El logro de un buen mojado y por lo tanto de una adhesión óptima, es afectado por factores que generen esfuerzos interfaciales como son la generación de esfuerzos debido a la contracción diferencial que se produce entre la fibra y resina al solidificar esta última, y la falta de contacto real que por un mojado deficiente o por viscosidades altas de la resina, limitan la formación de una interfase continua.

El mojado deficiente de la fibra es corregido parcialmente por la aplicación de presiones externas, o bien, se puede lograr mediante el empleo de agentes tensioactivos, que

promuevan el mojado de la resina sobre la fibra, y/o también mediante el abatimiento de la viscosidad de la resina misma.

Un segundo factor importante a determinar, son las condiciones de procesamiento: temperatura de curado y tiempo de residencia; dado que la resina usada como aglomerante es una resina de tipo termofija, y su polimerización requiere de ciertas condiciones mínimas de temperatura y tiempo (2) .

La optimización de estas variables es compleja, ya que el aglomerado que se forma tiene las propiedades de un buen aislante térmico, lo cual dificulta lograr una temperatura homogénea a lo largo del espesor del tablero (2a).

Así mismo, en este trabajo se presenta un breve análisis de costos y un perfil de mercado de tableros aglomerados en la República Mexicana. Este perfil muestra la necesidad real que existe en el país por esta clase de materiales.

CONSIDERACIONES TEORICAS

CONSIDERACIONES TEORICAS

Es importante tener en mente, un panorama de las características más importantes de los elementos empleados en la elaboración de los materiales compuestos. Por esto, a continuación se mostrarán de una manera general las propiedades de los componentes de nuestro material: la resina Urea-formaldehído (UF) y las fibras cortas de henequén (sosoc).

Resina Urea-formaldehído

También conocida como poli(metilendi(hidroxi)metil)urea), oximetilenurea, polinoxileno, polioximetilenurea, Anaflex, Larex, Ponoxilan (3) (estos tres últimos nombres son los comerciales). Pertenece al grupo de los ureido plásticos y los usos más frecuentes son: adhesivo para aglomerados o laminados, empaques decorativos, partes de maquinaria, gabingtes, etc. y presenta como cualquier plástico, ventajas y desventajas:

a) Ventajas:

Buenas propiedades como aislantes eléctricos, estables a temperaturas altas (aproximadamente 250°C), resistencia a agentes orgánicos, se puede obtener en todos los colores: opacos, translúcidos y hasta transparentes. Tiene muy buena resistencia al agua fría, débil al agua ca--

liente y ninguna resistencia al agua hirviendo; la sensibilidad al agua caliente empieza a hacerse bastante apreciable - entre 70 y 80°C. Totalmente resistente a hongos, carcoma y -- termitas (4).

b) Desventajas:

Baja resistencia a choques o impactos, aparecen manchas de repolimerización después del moldeo formandose betas. Es atacada por ácidos fuertes y álcalis.

Al igual que los adhesivos de fenol y resorcina las colas de UF son duras y quebradizas; pero la fragilidad no - es una desventaja si la película adhesiva es delgada, y además contribuye a la rigidez de los materiales a los que se - une, como por ejemplo los tableros aglomerados.

Las colas de UF se adhieren fuertemente sólo a materiales celulésicos no modificados, como madera, papel, corcho y fibras naturales. Esta adhesión disminuye cuando la celulosa ha sido degradada o modificada químicamente (Por ejemplo, la resistencia de la unión con celofán, con ésteres o éteres de celulosa es baja). (5)

La reacción de condensación

La UF es el producto de la condensación de la urea - no sustituida y el formaldehído. Son cinco factores los -- que rigen la reacción, afectando todos ellos a la cinética -

de polimerización y a las características del polímero formado, y son: la relación molecular entre la urea y el formaldehído, el pH, la temperatura, la concentración y el tiempo.

Para aplicaciones generales tales como adhesivo para madera contrachapada (tríplay) y carpintería, la relación molar es generalmente del orden de 1U: 1.75-1.9F. Para la elaboración de tableros aglomerados se usa a menudo una relación más baja, esto con el fin de reducir el olor a formaldehído.

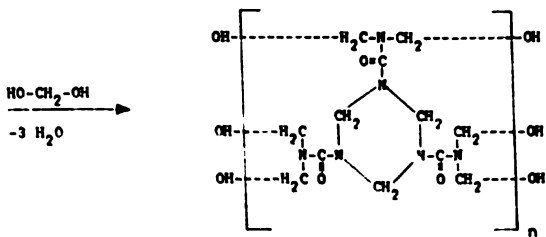
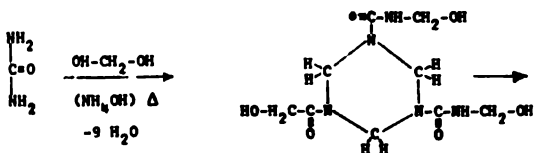
Los productos de reacción del formaldehído y la urea más sencillos son los compuestos de metilol: la monometilol y la dimetilol urea, pueden considerarse como productos de una prepolimerización. Las metilol ureas no son materiales resinosos, sino compuestos cristalinos formados por adición de una molécula de formaldehído a un grupo amina, y no son adhesivos por sí mismos. Se preparan en medio neutro o ligeramente alcalino y en la preparación de la resina no se separan de la mezcla de reacción. A cierto tiempo apropiado la mezcla de reacción se hace debilmente ácida para provocar la reacción total de condensación, que conduce a la formación de la resina.

Para la reacción total se seleccionó una catálisis amoniacal, empleándose como catalizador una solución concentrada de amonio (NH_4OH) y como acelerador, sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$).

Las materias primas para la reacción son la urea o -

carbámidas, $\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$, y la solución química acuosa de formaldehído, $\text{HO-CH}_2\text{-OH}$, conocida también con el nombre de formina o formol.

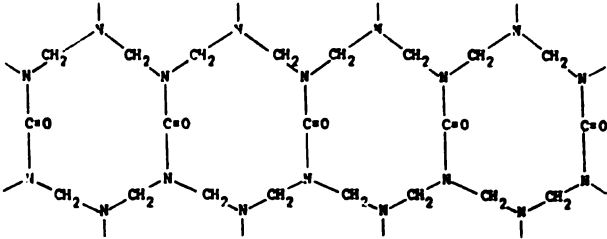
El mecanismo de reacción representativo, es el siguiente (5a) :



el eslabón mínimo es aquí el ciclotrimetileno 2,4,6, hexametil

1,3,5 y el crecimiento es siempre por condensación al eliminarse agua.

La cadena polimérica resultante es:



Poli-urea-formaldehído.

Henequén.

Su nombre científico es *Agave fourcroydes* y es una planta de la familia de las amarilidáceas, de tallo folioso y corto. Sus hojas son carnosas y lanceoladas, están armadas de espinas curvas en la punta y en el margen, florece -- una vez antes de morir, sus flores tienen forma de embudo, verdes en la parte inferior y amarillas en la superior. Posee un término de vida de 15 a 20 años, pero durante los primeros cinco años sus hojas no sirven aún para aprovecharlas.

De sus hojas se extraen fibras textiles, que son usadas para la confección de sogas y cordeles. Su cultivo adquiere importancia, especialmente en la zona de Yucatán, donde constituye una de sus principales industrias.

Las fibras que se extraen son de color blanco, varían en todo el intervalo de colores, hasta el amarillo rojizo, con longitudes de fibra de 60 a 120 cm, y presentan diámetros de 0.125 a 0.5 mm.

Se caracterizan actualmente por (5b) :

a) Longitud de fibra.

La longitud de fibra se obtiene, al medir fibra por fibra, hasta llegar a la suma de 50 metros. Después, se divide esta suma entre la cantidad de fibras y se obtiene el promedio de longitud por fibra.

b) Índice de finura.

Definido como: $I.F. = \frac{\text{Yardaje}}{\text{Kilotex} \times 1000}$

donde: $\text{Yardaje} = \frac{1489}{\text{Kilotex}}$

$\text{Kilotex} = \frac{\text{Peso de las fibras}}{50 \text{ mts}}$

Nota: 1489 es la constante del henequén, para la aplicación de las fórmulas anteriores.

c) Tenacidad de la fibra.

Definida por:

$\text{Tenacidad} = \frac{\text{Resistencia de las fibras a la tensión}}{\text{Deniers}}$

donde: $\text{Deniers} = \frac{9000 \times \text{Peso de las fibras}}{\text{Longitud}}$

d) Color de la fibra.

Se determina ópticamente.

En base a lo anterior, la fibra de henequén presenta las siguientes características (5c) :

Longitud de fibra : 86 cm

Índice de finura : $3.12 \text{ cm}^2 / \mu^2$

Tenacidad : 4.22 g / Denier

Color de fibra : amarillo

Densidad (por picnometría) : $0.556 \text{ g} / \text{cm}^3$

Materiales compuestos.

Los componentes principales del aglomerado en este trabajo, como se mencionó anteriormente, son la resina UF (matriz polimérica) y las fibras cortas de henequén (material de refuerzo).

La UF constituye la matriz polimérica en la que se embebe el material de refuerzo, y es la que transmite y distribuye los esfuerzos externos a que se somete el material compuesto.

El elemento de refuerzo (fibras de henequén) es un refuerzo fibroso, que tiene como fin incrementar las propiedades mecánicas de la matriz.

Ahora bien, para lograr la formación del material compuesto debe manifestarse un fenómeno de adhesión. La adhesión, como se mencionó al inicio de este trabajo, es el factor primordial que nos limita en un alto grado el obtener un material que posea propiedades físico-mecánicas satisfactorias. El grado de adhesión depende no solo del área real de contacto que se logra, sino también de la magnitud de las fuerzas de adhesión que actúan.

Convencionalmente las fuerzas de adhesión han sido divididas en dos grandes grupos (6).

A) fuerzas primarias: (de unión química o valencia)

Son fuerzas de gran magnitud y son las responsables de la unión directa de los átomos. tienen energías de unión que van de 70 a 250 Kcal/mol y actúan a distancias de 1-2 Å. Por estas fuerzas existen tres tipos de uniones: unión cova

lente, iónica y metálica.

B) Fuerzas secundarias: (Van der Waals)

Son fuerzas residuales de la molécula (polares, de dispersión o de hidrógeno), que actúan a distancias de 4 a 10 Å, sus energías de unión son bajas (2-12 Kcal/mol). Este tipo de fuerzas son las responsables de la adhesión, vista como un fenómeno físico y puramente interfacial.

A la fecha se han dictado tres teorías tratando de explicar la adhesión: la teoría de la adsorción, la teoría de difusión y la teoría electrostática (7).

A grandes rasgos la teoría de la adsorción postula que el proceso de adhesión es puramente interfacial y que se lleva a cabo mediante la adsorción de segmentos de moléculas del adhesivo sobre la superficie del adherente, en donde las fuerzas secundarias son responsables de la resistencia de la unión.

La segunda teoría, la teoría de la difusión, se aplica fundamentalmente a la adhesión entre polímeros así como a la cohesión entre ellos.

Por su parte, la teoría electrostática nos asemeja el sistema adhesivo-adherente como placas de un condensador, de tal forma que para separarlas necesitamos hacer un trabajo (de adhesión) que depende del llamado potencial de adsorción. Este tipo de fenómeno se presenta en sistemas donde existen electrones libres, como la adhesión entre polietileno

Aluminio.

Para el caso específico del sistema resina-fibra, el fenómeno de adhesión se puede explicar a través de la primera teoría, ya que esta propone tan solo la condición de un buen contacto intermolecular en la interfase (distancia de contacto aproximadamente de 3 \AA) independientemente de la naturaleza química de las fases en contacto.

De acuerdo a lo anterior, podemos decir que para tener una buena adhesión (física) es necesario que el adhesivo realice un buen mojado sobre el adherente. En el sistema fibra-resina, ésta última puede o no mojar satisfactoriamente a la fibra, esto dependiendo fundamentalmente de las propiedades de superficie del sistema (tensión superficial de las fases) y de la viscosidad de la resina.

La tensión superficial es una propiedad que se asocia generalmente a los líquidos, por la movilidad de sus moléculas, en contraste con la rigidez de las de un sólido. Sin embargo, los sólidos también exhiben una tensión superficial.

Por el contrario que en los gases, una masa dada de un líquido no se expande hasta llenar el recipiente en que se encuentra, limitándose a ocupar un volumen definido y formar una superficie libre (superficie no en contacto con el recipiente). Este hecho puede explicarse suponiendo que existe un equilibrio entre las fuerzas de atracción y el efecto

de agitación debido a la energía cinética molecular. En otras palabras, considerando que en el interior de un líquido, una molécula se encuentra rodeada uniformemente por moléculas si milares próximas, las fuerzas de atracción son las mismas en todas direcciones anulándose entre sí, por lo que una molécula en esta situación tiene libertad de movimiento como si no existiesen fuerzas de atracción.

Ahora bien, una molécula que se encuentre en la superficie experimentará atracción hacia el interior porque no está contrarrestada por ninguna fuerza hacia el exterior. o no consecuencia, en la superficie permanecerá el menor número de moléculas posibles, por lo tanto la superficie de un líquido actúa como si estuviera bajo una tensión que hace -- que su área sea la mínima posible. De aquí que las gotas de un líquido adopten una forma esférica, puesto que la esfera es la forma geométrica que tiene menor superficie por unidad de volumen. (8)

Por otro lado, podemos decir que la forma que adopta una gota del líquido en cuestión se modifica cuando entra en contacto con otra fase, esto es, debido a que el contacto ---- interfacial disminuye la asimetría de las fuerzas superficiales, por la atracción de las moléculas de la superficie de la fase adjunta.

Trabajo termodinámico de adhesión.

El trabajo máximo reversible de adhesión, W_{adh} , por unidad de área, entre dos materiales A y B esta dada por - la ecuación (8a) :

$$W_{adh} = \gamma_A + \gamma_B - \gamma_{AB}$$

donde: γ_A = energía libre de superficie de A

γ_B = energía libre de superficie de B

γ_{AB} = energía libre de la interfase AB

Para el caso de un líquido L, en contacto con un sólido S, el trabajo de adhesión, se expresa como:

$$W_{adh} = \gamma_{S^0} + \gamma_{LV} - \gamma_{SL}$$

donde: γ_{S^0} = energía libre de superficie del sólido en el vacío

γ_{LV} = energía libre de superficie o tensión superficial del líquido saturado con su vapor

γ_{SL} = energía libre de la interfase sólido-líquido

Cuando el líquido no moja por completo al sólido, o sea que forma ángulos mayores de cero grados con la superficie del sólido, es posible substituir la ecuación de Young-

Dupré:

$$F_{SL} = F_{SV} - F_{LV} \cos \theta$$

en la ecuación anterior, llegando a:

$$W_{adh} = (F_{Sv} - F_{SV}) + F_{LV}(1 + \cos \theta)$$

que es la ecuación básica de adhesión.

donde: F_{SV} = energía libre de superficie del sólido en contacto con el vapor saturado del líquido.

$(F_{Sv} - F_{SV})$ = medida de la disminución de la energía libre de superficie del sólido, al ponerse en contacto con el vapor saturado del líquido y esta definido por F_{SV} .

Si por alguna razón, el líquido L solidifica sobre el sólido S, de tal forma que se tenga un sistema de dos sólidos en contacto X y S, en presencia del vapor saturado del sólido X, la ecuación de Young-Dupré para este sistema es:

$$F_{SX} = F_{SV_X} - F_{XV_X} \cos \theta$$

y el trabajo máximo de adhesión del sólido X sobre el sólido S es:

$$W_{adh} = F_{S^0} + F_{XV_X^0} - F_{SX}$$

y sustituyendo esta ecuación en la anterior tenemos:

$$W_{adh} = F_{SV_X^0} + F_{XV_X^0} (1 + \cos \theta)$$

donde: $F_{SV_X^0} = F_{S^0} - F_{SV_X^0}$

y representa la cantidad de vapor adsorbido por el sólido S.

Sin embargo para líquidos no volátiles

$$F_{S^0} - F_{SV_X^0} \approx 0$$

de tal forma que la ecuación de trabajo de adhesión W_{adh} queda expresada de la forma siguiente:

$$W_{adh} = F_{XV_X^0} (1 + \cos \theta)$$

Análogamente, el trabajo de cohesión del adhesivo solidificado esta dado por:

$$W_{coh} = 2 F_{XV_X^0}$$

A partir de estas dos últimas ecuaciones, se puede llegar a estimar la resistencia teórica entre el adhesivo y el adherente, si es posible medir de alguna forma la energía libre de superficie del adhesivo solidificado.

Los valores de resistencia teórica, son mucho mayores que los experimentales, y se debe a que la estimación teórica considera la existencia de un contacto molecular total entre el adhesivo y el adherente, y la absoluta ausencia de esfuerzos interfaciales.

La pobre adhesión entre adhesivo y adherente, se debe a un contacto interfacial no uniforme, siendo tres las causas desde el punto de vista termodinámico que limitan el contacto intermolecular en la interfase :

- 1) La configuración molecular de los componentes.
- 2) El equilibrio termodinámico o mojado máximo no se alcanza.
- 3) Los efectos de energía asociados con la morfología del polímero, obliga que el equilibrio termodinámico no corresponda al estado de mojado máximo.

Desde el punto de vista mecánico, la baja resistencia real de la unión adhesivo-adherente, se debe a los esfuerzos interfaciales resultantes de la contracción diferencial entre el adhesivo y el adherente al solidificar el sistema, y a la desigual deformación que experimentan los componentes del material compuesto, cuando éste es sometido a esfuerzos externos.

Topografía del adherente

Existen otros factores que deben tomarse en cuenta - en el proceso de mojado como es, la topografía del adherente. En general la superficie de los adherentes sólidos esta conformada por gran cantidad de irregularidades y poros, no --- siendo excepción la superficie de las fibras de henequén, co mo se puede observar en la microfotografía de la Fig.(1)

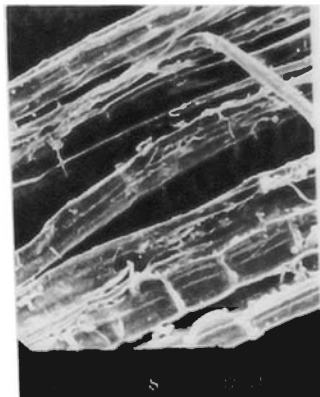
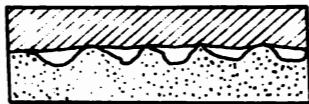


Fig. (1) .- Fibra de henequén vista con un microscopio electrónico de barrido. Obsérvese las irregularidades de la superficie.

Este tipo de topografía irregular puede resultar benéfica o no, dependiendo si los poros y cavidades son o no mojados totalmente por el adhesivo. En el caso de que el adhesivo no alcance a llenar todas esas irregularidades, quedan zonas no impregnadas (no mojadas) que forman huecos entre la resina-fibra (ver Fig. (2)). Estos huecos son un problema importante en la optimización de la adhesión, puesto que son regiones de concentración de esfuerzos y por lo tanto centros de fractura que ocasionan fallas del material a bajos esfuerzos. (9)

Por el contrario, cuando estos huecos son totalmente mojados, se logra además, un excelente anclaje mecánico, que -- aumenta la resistencia mecánica interfacial en especial a los esfuerzos de corte.



(a)



(b)

Fig.(2) Mojado de un adherente sólido por un adhesivo. a) mal mojado b) totalmente mojado.

Una de las formas de lograr la penetración del adhesivo en estas cavidades, es reduciendo la viscosidad del mismo para facilitar su flujo, o bien mediante el empleo de altas presiones.

Respecto a los efectos que producen los parámetros de procesamiento (temperatura, presión, tiempo) en el sistema --UF-henequén, teóricamente se puede esperar lo siguiente:

Efecto de la presión en el contacto interfacial

Los adherentes de topografía irregular (que presentan una superficie rugosa), pueden considerarse como un sistema de capilares abiertos, y que para el logro de un buen mojado es necesario que el adhesivo penetre en todos los poros e intersticios que presente la superficie del adherente.

Para que esto suceda se requiere de una presión.

La presión requerida para que el adhesivo penetre en un poro (capilar cilíndrico) esta dada por la ecuación de Laplace (10).

$$P = 2 F_{LV} \cdot \cos \theta / r$$

donde: r = radio del capilar cilíndrico
 F_{LV} = tensión superficial del líquido
 $\cos \theta$ = ángulo formado por el menisco del líquido sobre el sólido.

Podemos decir que una presión externa proporciona una fuerza motriz adicional que induce la penetración del adhesivo en la topografía irregular del adherente.

Efecto de la temperatura.

Generalmente se utiliza la temperatura para abatir la viscosidad de los adhesivos, para que se induzca un mayor flujo, pero esto no ocurre con los plásticos termofijos, ya que a mayor temperatura la viscosidad aumenta sensiblemente y la velocidad de flujo disminuye, por lo tanto el mojado no se favorece, pero si la velocidad de polimerización, que desde el punto de vista industrial puede representar una mayor productividad.

De hecho, la reducción de la viscosidad resulta importante, ya que la rapidez de mojado depende fuertemente de ella, además de la rugosidad del adherente (topografía) tal como lo muestra la ecuación de Poiseville:

$$V_m = \frac{P \pi r^4}{8 u l}$$

donde: V_m = rapidez de mojado promedio (ml/seg)
 u = viscosidad del adhesivo
 P = presión externa

r = radio de poro o intersticio

l = profundidad del poro o intersticio

Efecto del tiempo de residencia.

En la práctica, el logro de la adhesión entre resina y fibra, y por lo tanto el logro de mejores propiedades mecánicas del polímero reforzado (11), dependen del tiempo de residencia o moldeo, esto a una temperatura dada. En este caso se requiere determinar el tiempo mínimo necesario para lograr - además del mojado, la polimerización de la resina. Este factor resulta también uno de los más importantes desde el punto de vista industrial.

P A R T E E X P E R I M E N T A L

PARTE EXPERIMENTAL

En base a los objetivos planteados, el desarrollo experimental del trabajo consistió en:

- 1) Determinación del efecto del abatimiento de la viscosidad y tensión superficial de la resina, mediante la variación de la concentración del agua en la solución UF, esto influye en el mojado y por lo tanto en la adhesión lograda. Este parámetro se determino indirectamente a través de la evaluación mecánica (12) del aglomerado, en base al hecho de que a mayor mojado las propiedades mecánicas del material se incrementan.

- 2) Determinar los efectos de los parámetros de formulación en las propiedades mecánicas.
 - Contenido de henequén / m² en los tableros.
 - Efecto por empleo de resina precatalizada

- 3) Determinar los efectos de los parámetros de proceso.
 - Temperatura
 - Tiempo

- 4) Determinar el efecto de la longitud de fibra.

Las pruebas mecánicas a que se somete el material son fundamentalmente la flexión y tensión uniaxial. Básicamente - la prueba a la flexión es la de mayor importancia, puesto que a los materiales aglomerados para uso industrial, se les somete a cargas que determinan un momento flexionante.

Otras pruebas que se realizan, son el retiro (extracción) de clavo y tornillo, ya que estos parámetros tienen relevancia en el uso que se les pretende dar.

Materiales.

Se utilizaron fibras de henequén proporcionadas por Cordemex y el Banco de Crédito Rural Peninsular, de una longitud que varió de 3 a 5 centímetros.

La resina empleada es de Urea-formaldehído, de tipo comercial y técnicamente nombrada "resina casco ww-17" de Industrias Químicas Formex.

Preparación de muestras.

La alta resistencia de materiales compuestos a base de fibras dispuestas uniaxialmente en la dirección del esfuerzo al que se somete, es bien conocido y ampliamente usado (13). Sin embargo, otros estudios sobre estos materiales han demostrado una débil resistencia del material en dirección trans -

Las pruebas mecánicas a que se somete el material son fundamentalmente la flexión y tensión uniaxial. Básicamente - la prueba a la flexión es la de mayor importancia, puesto que a los materiales aglomerados para uso industrial, se les somete a narapas que determinan un momento flexionante.

Otras pruebas que se realizan, son el retiro (extracción) de clavo y tornillo, ya que estos parámetros tienen relevancia en el uso que se les pretende dar.

Materiales.

Se utilizaron fibras de henequén proporcionadas por - Cordemex y el Banco de Crédito Rural Peninsular, de una longitud que varió de 3 a 5 centímetros.

La resina empleada es de Urea-formaldehído, de tipo - comercial y técnicamente nombrada "resina casco uw-17" de Industrias Químicas Formex.

Preparación de muestras.

La alta resistencia de materiales compuestos a base - de fibras dispuestas uniaxialmente en la dirección del esfuerzo al que se somete, es bien conocido y ampliamente usado (13). Sin embargo, otros estudios sobre estos materiales han demostrado una débil resistencia del material en dirección trans -

versal a la dirección de las fibras; lo cual limita su empleo (14).

Por estas razones las muestras de UF-henequén se elaboraron con fibras dispuestas al azar, con el objeto de generar un material cuasi-isotrópico, cuya resistencia es considerablemente mayor que la exhibida por materiales reforzados con fibras dispuestas en una sola dirección.

Para elaborar las muestras se empleó básicamente: una prensa con capacidad de 300 ton, con sistema hidráulico de ascenso y descenso, sistema integrado de calentamiento de 20 a 300°C entre platinas y registradores-controladores de presión temperatura y tiempo, con una área útil de trabajo de 577E - ca². La prensa se muestra en la figura (3).

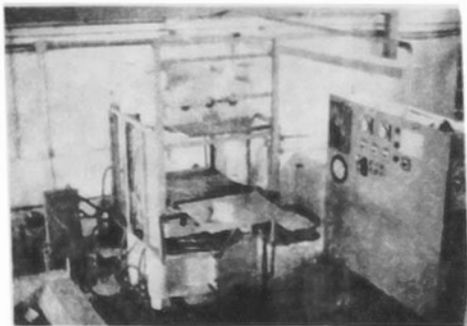


Fig. (3) Prensa utilizada en la elaboración a nivel laboratorio de tableros aglomerados. Está ubicada en la planta piloto del IIM.

La elaboración de los tableros se realizó mediante los siguientes pasos: las fibras de henequén se cortan a una longitud de 3 a 5 centímetros, éstas son colocadas en un desfiador para que se separen y obtengan una conformación al azar. A continuación las fibras son espreadas con la solución de UF y colocadas en un molde para formarlas en un cuadrado de 40x40 cm. (Véase Fig. (4)).

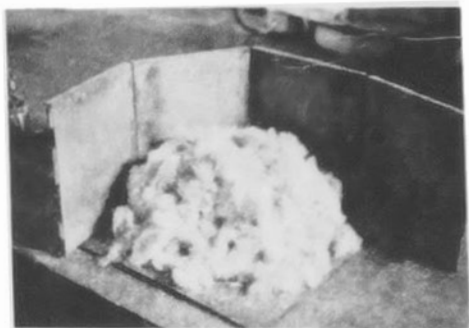


Fig. (4) Fibras de henequén para ser conformadas en un cuadrado de 40x40 cm y ser sometido a un ciclo de presión y temperatura.

El colchón así obtenido es colocado en las platinas y sometido a un determinado ciclo de moldeo (Fig. (5)). El tablero resultante se recorta según especificaciones del código ASTM (American Society for Testing Materials), a fin de obtener las probetas para las diferentes pruebas mecánicas (tensión,-

flexión, retiro de clavo y tornillo). Véase Fig. (6).



Fig. (5) Colchón en posición para ser prensado.

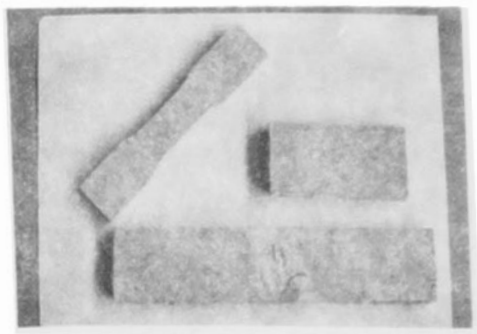


Fig. (6) Probetas para las diferentes pruebas mecánicas según especificaciones del código ASTM.

El ciclo de moldeado empleado es del tipo cerrado con presión y temperatura. Consiste en calentar el sistema hasta una temperatura "T" (145, 160, 175, 190 y 205°C), durante un tiempo "t" (4, 7, 10 min), aplicando una presión externa "P" (la requerida para un espesor de 16 mm, y que es del orden de 2 kp/cm^2).

Una vez transcurrido el tiempo de residencia se abate la presión y se extrae la pieza formada. Los tableros así obtenidos tienen un espesor de 16 mm y una densidad media de 0.56 g/cm^3 .

Las condiciones de temperatura de curado y tiempo de residencia mínimos, se seleccionaron en base a las condiciones mínimas de polimerización de la UF, y las máximas a las condiciones a las cuales las fibras de henequén empiezan a degradarse.

Caracterización mecánica del material.

Para estimar los efectos de los parámetros de composición y de procesamiento (tiempo de residencia, temperatura de curado) en el grado de adhesión logrado, se hicieron pruebas mecánicas de resistencia a la flexión, tensión, extracción de clavo y tornillo, utilizando una máquina Instron modelo 1125 mostrada en la figura (7).

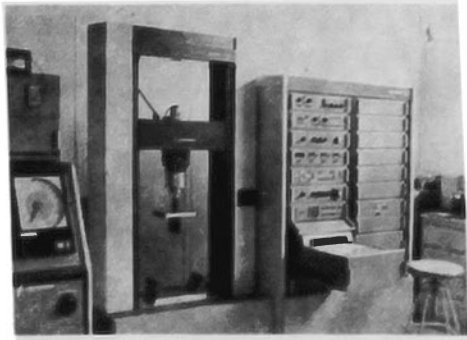


Fig. (7) Máquina Instron mod. 1125 para pruebas mecánicas, instalada en el IIM.

Las diferentes pruebas se efectuaron bajo los siguientes lineamientos:

Prueba de flexión.

En las figuras (8) y (9) se muestra objetivamente esta prueba, siendo las condiciones de ensayo las siguientes:

longitud de claro entre soportes	30 cm
velocidad del cabezal	10 mm/min
espesor promedio	16 mm
ancho promedio	76 mm
número de muestras	5 mínimo

La resistencia a la flexión se determinó mediante la fórmula:

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

donde: P= carga máxima (Kg)
 L= longitud de claro (cm)
 b= ancho de la muestra (cm)
 d= espesor de la muestra (cm)

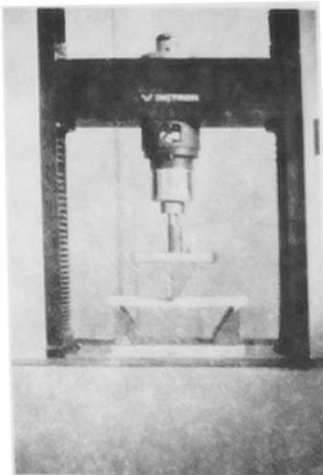


Fig. (8) Se observa claramente el mecanismo de flexión y el momento de la aplicación de la -- carga.

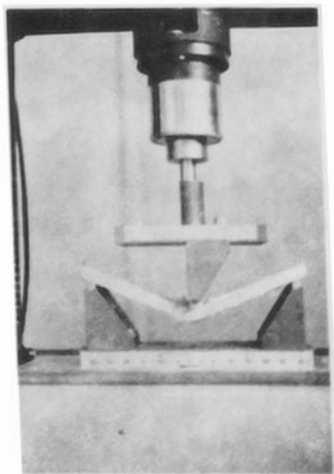


Fig. (9) La fotografía muestra el momento en el que la pieza a probar esta totalmente flexionada. Cualquier aglomerado comercial a esa flexión se rompe drásticamente, sin embargo el de he nequén recupera hasta en un 90 % su forma -- original.

Prueba de tensión.

Esta prueba se realizó de acuerdo con la norma B1037 del código ASTM, con una velocidad de deformación de 5mm/min para un espesor de muestra de 16 mm. (Véase Fig. (10)).

La resistencia a la tensión fue calculada de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$S = \frac{F}{A}$$

donde: F = fuerza de tracción aplicada a la probeta (Kg)
 A = área transversal del centro de la muestra o de donde ocurra la falla. (cm²)

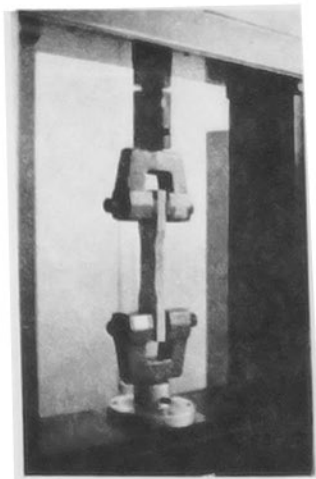


Fig. (10) La fotografía muestra la colocación de la probeta para la prueba de tensión uniaxial.

Prueba de retiro (extracción) de clavo y tornillo

Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma D1037 del ASTM, con una velocidad de retiro de 1.5 mm/ min. La fuerza máxima que se necesita para retirar el clavo o tornillo de la probeta, es la que fue reportada.

En la figura (11) se aprecia esta prueba.

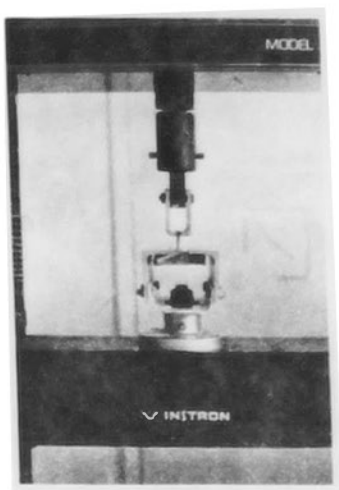


Fig. (11) Dispositivo para la prueba de retiro de clavo y tornillo.

R E S U L T A D O S ♡ D I S C U S I O N

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto del contenido de agua en la formulación de la resina UF.

La resina UF puede admitir hasta un 90 % de agua a -- temperatura ambiente, antes de que sobrevenga el fenómeno de relación. El contenido de agua afecta principalmente a la viscosidad y se observa un abatimiento de la misma al incrementar el contenido de ésta. Esta disminución, tal como se observa en la figura (12) tiende a ser asintota cuando el contenido de agua alcanza un valor del 40 % .

Este abatimiento teóricamente facilita el flujo de la resina sobre la fibra, logrando un mayor mojado (mayor adhesión) y en consecuencia mejores propiedades mecánicas. (15)

Para comprobar esto, se prepararon muestras con diferentes contenidos de agua y con una cantidad fija de henequén por metro cuadrado. Las condiciones de procesamiento seleccionadas fueron: un tiempo de residencia de 10 minutos, una presión de aproximadamente 2 Kg/cm^2 y se emplearon dos diferentes temperaturas de curado, 125 y 190°C.

Los resultados obtenidos mostrados en las figuras --- (13) y (14) comprueban que las propiedades mecánicas se incrementan, tendiendo a ser asintotas cuando el contenido de agua es del orden del 42 % . Esto se aprecia solo en la curva que corresponde a la muestra preparada a 190°C.

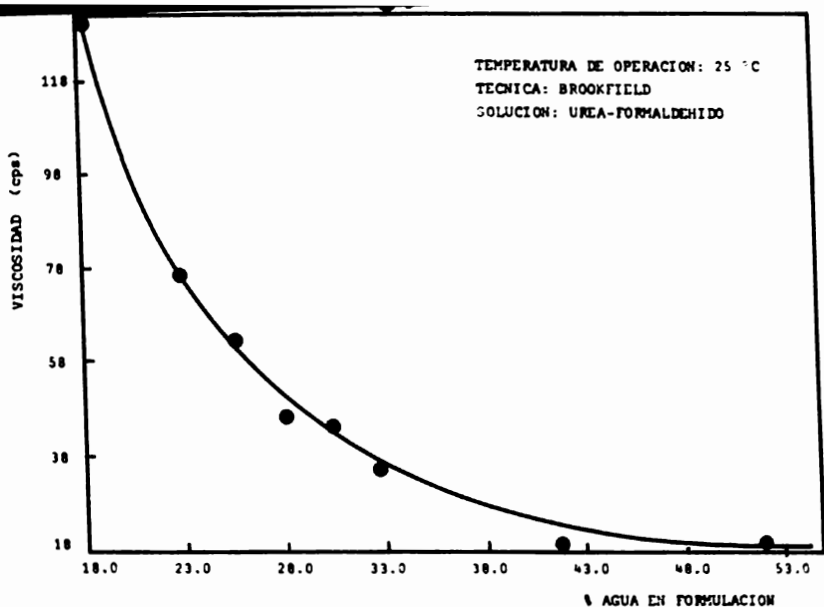


Fig. (12). Abatimiento de la viscosidad de la resina UF al incrementar el contenido de agua. Nótese como tiende la curva a ser asíntota a contenidos mayores del 40 % de agua en la formulación.

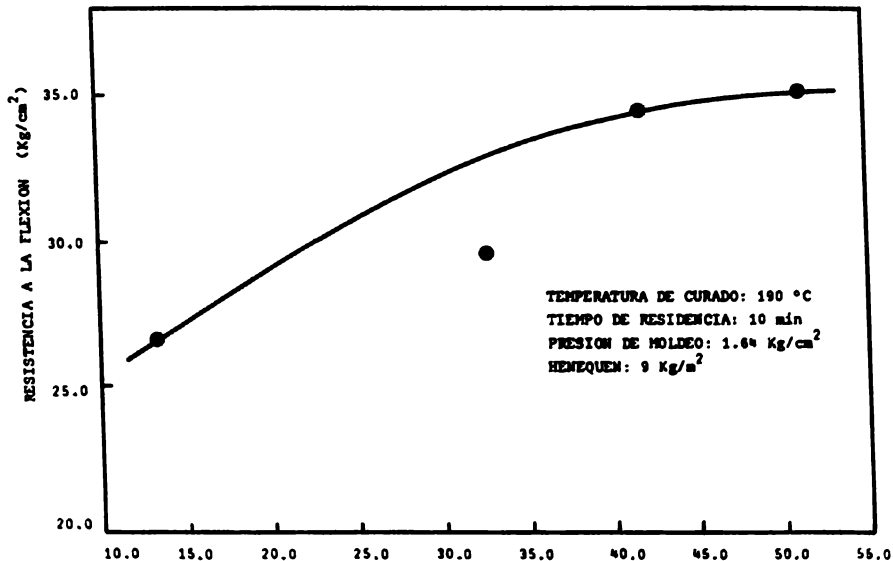


Fig. (13). La resistencia a la flexión se - % AGUA EN FORMULACION
 incrementa conforme aumenta el porcentaje de agua. A un valor de aproximadamente 42 % la propiedad mecánica tiende a ser asintota.

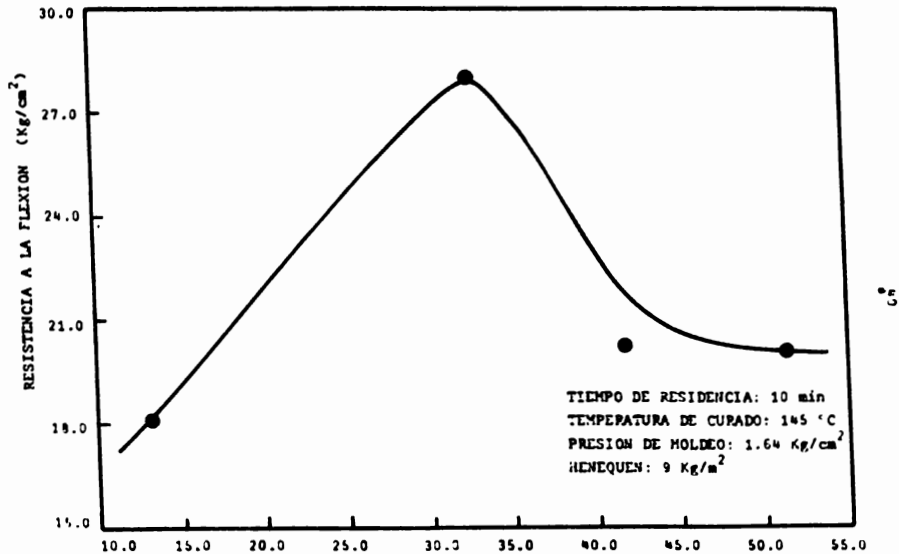


Fig. (14). Como se observa, a la temperatura de -

145°C existe un punto máximo, esto a un valor de 32 % de contenido de agua. Este valor no es el óptimo, posiblemente a la falta de calor para la evaporación del agua.

La curva correspondiente a 145°C muestra un máximo -- alrededor del 32 % de contenido de agua. Esto se puede deber a que la temperatura de 145°C es insuficiente para evaporar -- totalmente, cantidades de agua mayores a este porcentaje, limitando así las propiedades mecánicas del aglomerado.

Resultados similares se observan en las figuras (15) (16), (17), (18) que muestran la carga máxima para el retiro de tornillo y clavo contra el porcentaje de agua, es decir -- existe un punto máximo alrededor del 32 y 42 % de agua respectivamente, para las temperaturas de 145 y 190°C.

Por último, cabe decir que, la carga máxima para el re tiro de tornillo, aún a la temperatura de elaboración de 145°C, sobrepasa los valores de retiro de tornillo de los tableros -- aglomerados comerciales. En el cuadro (I) se presentan dichos valores.

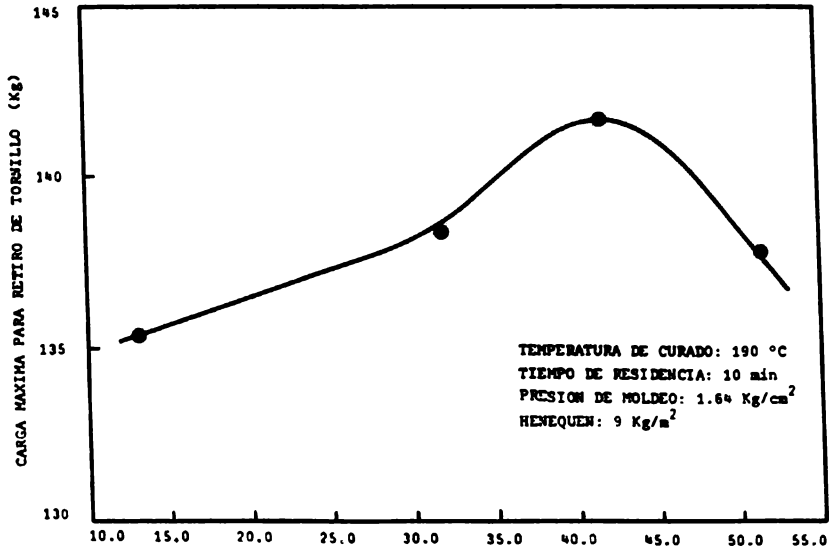


Fig. (15). Existe un punto máximo de carga - **% AGUA EN FORMULACION** a un valor de 42 % de contenido de agua. Los valores obtenidos en esta prueba son mayores que los de los tableros aplomados comerciales.

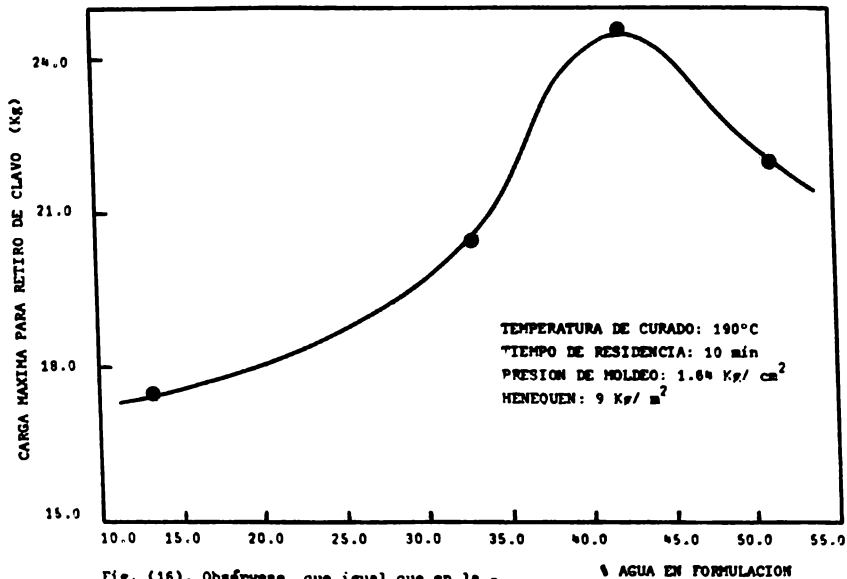


Fig. (16). Obsérvese, que igual que en la -
 Fig. (15), la prueba de retiro de clavo tiene un máximo de carga a
 un valor aproximado de 42 % de contenido de agua en formulación.

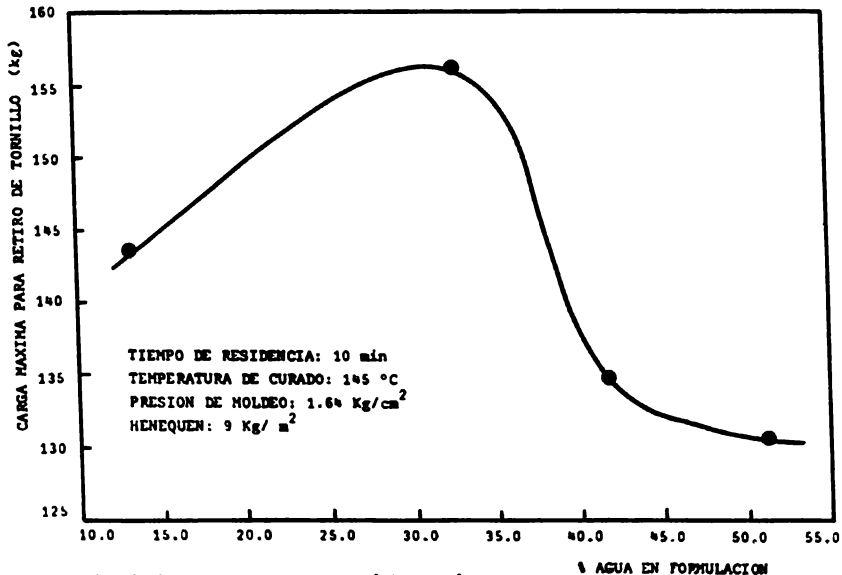


Fig. (17). Como se observa el máximo aquí, -
 corresponde a un valor de 32 % de contenido de agua. Este valor es bajo
 comparado con el de la Fig (15). Posiblemente se deba a la falta de calor
 para evaporar mayores contenidos de agua.

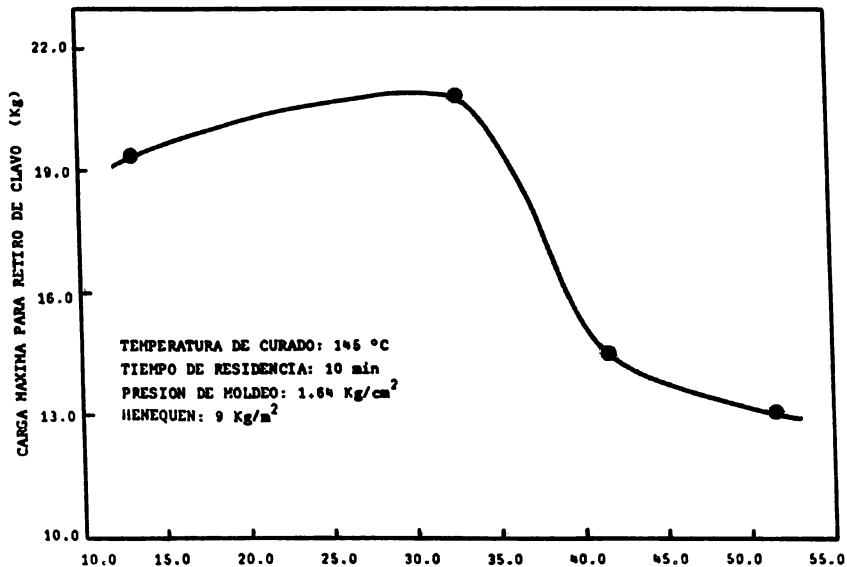


Fig. (10). La prueba de carga máxima para - retiro de clavo muestra un valor similar a la prueba de tornillo, esto a una temperatura de 145°C, teniendo su máximo de carga a un contenido del 32 % de agua en la formulación.

MATERIAL	CARGA MAXIMA (Kg) TORNILLO
Madera de pino.	190 - 210 *
Aglomerado con chapa de caoba.	118 - 128 *
Aglomerado comercial	134
Triplay **	190
Aglomerado de henequén (temp. curado 145°C)	136
Aglomerado de henequén (temp. curado 190°C)	141.6

* .- Según calidad del material

** .- tablero formado por capas de madera.

Todas las muestras con un espesor de 16mm.

Cuadro (I). Resultados de prueba de retiro
de tornillo para diferentes ma
teriales.

Efecto del contenido de agua en la tensión superficial de la resina UF.

Se analiza el efecto del contenido de agua en la tensión superficial en base a medidas de ésta. Los resultados obtenidos (Véase Fig.(19)) experimentalmente, muestran que la tensión superficial permanece constante.

Por lógica, la tensión superficial debería incrementarse a mayores contenidos de agua en la solución de UF, puesto que la tensión superficial del agua es de 72 dinas/ cm y la de la resina UF es de 34.8 dinas/ cm.

El efecto por el cual la tensión superficial no varía, se debe a la impregnación de la resina sobre el anillo de prueba. Al impregnarse las moléculas de resina UF al anillo, éstas serán siempre las que tengan un contacto interfacial con las moléculas de agua y por lo tanto la medida experimental siempre será la misma.

Por lo anterior, la tensión superficial no será un parámetro importante para la elección del porcentaje de agua óptimo en la formulación de la solución de la resina UF.

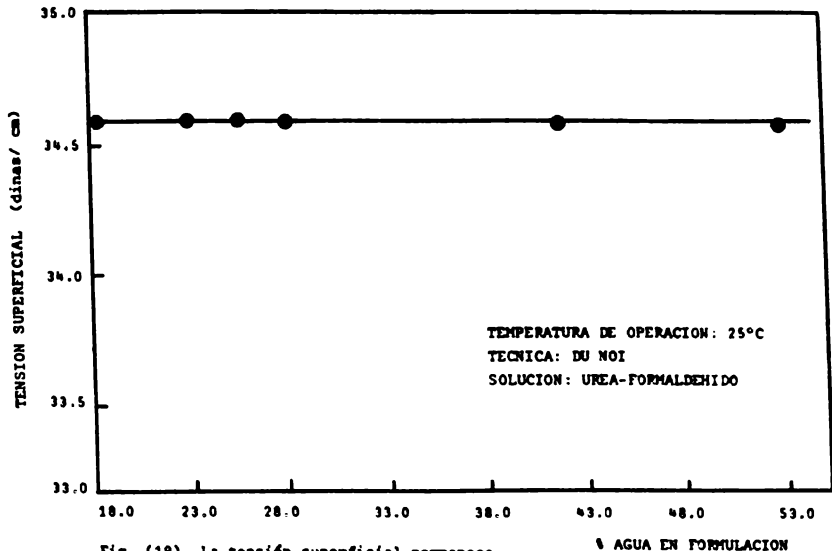


Fig .(19). La tensión superficial permanece -
 invariante a diferentes contenidos de agua. Fenómeno curioso y se -
 cree se deba, a la impregnación de la resina sobre el anillo de --
 medición.

Efecto del contenido de henequén / m² en el tablero.

Las muestras utilizadas en esta etapa fueron elaboradas con diferentes contenidos de henequén (7, 8, 9 y 10 Kg/m²) a una temperatura de curado de 145°C, un porcentaje de agua de 12.5 y un tiempo de residencia de 10 minutos.

El análisis se lleva a cabo por medio de propiedades mecánicas, en este caso las propiedades a valorar son: tensión uniaxial (tracción), flexión, extracción de clavo y tornillo.

Los resultados obtenidos en la prueba a la tensión se muestran en la figura (20), en la cual se observa que la resistencia mecánica del tablero se incrementa directamente con el contenido de henequén (Kg/ m²). De igual forma, los resultados de la prueba de flexión (Véase Fig. (21)) muestran un incremento proporcional conforme el contenido de henequén es mayor. Las pruebas de retiro de clavo y tornillo son sumamente similares a las anteriores, mostrando de idéntica manera como las propiedades mecánicas aumentan conforme se aumenta el contenido de henequén del tablero (Ver Figs. (22), (23).)

Se pone de manifiesto la tendencia a aumentar de las propiedades mecánicas conforme hay mayor masa de fibras por unidad de volumen, lo cual incrementa el entrecruzamiento de éstas y por lo tanto el material tiene una mayor rigidez.

Esta parte del trabajo , se realizó además con el fin de establecer, cuál sería la cantidad mínima de henequén por

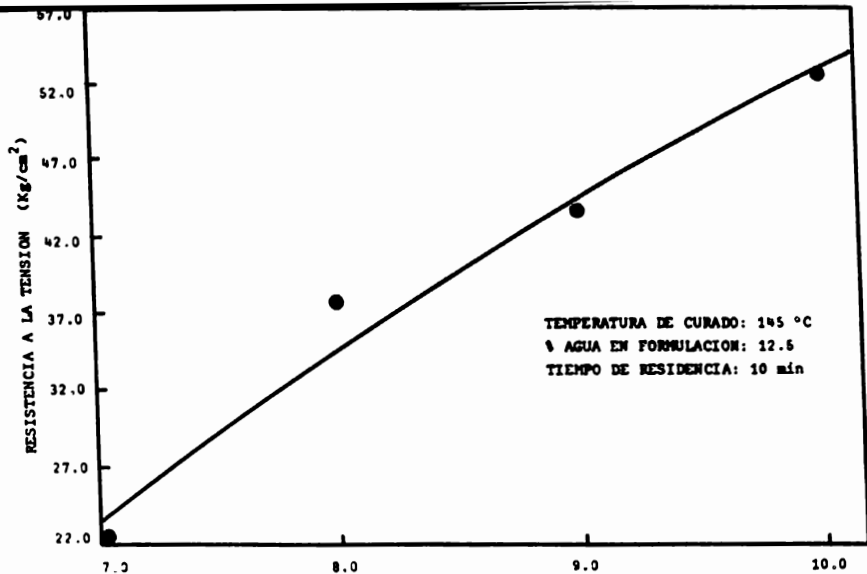


Fig. (20). Las propiedades mecánicas del tablero - HENEQUEN (Kg/m²) mejoran a mayores contenidos de henequén. En este caso la resistencia a la tensión se incrementa notablemente. Nótese el incremento en una forma casi lineal.

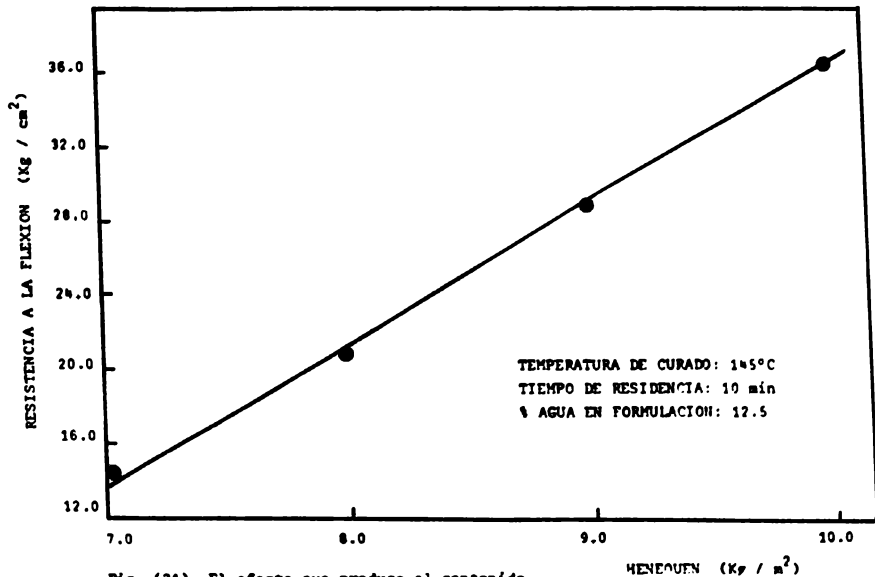


Fig. (21). El efecto que produce el contenido -

de henequén en la resistencia a la flexión, se muestra claramente en esta figura. Obsérvese como también, al igual que en la resistencia a la tensión, el comportamiento mecánico tiene una variación proporcional.

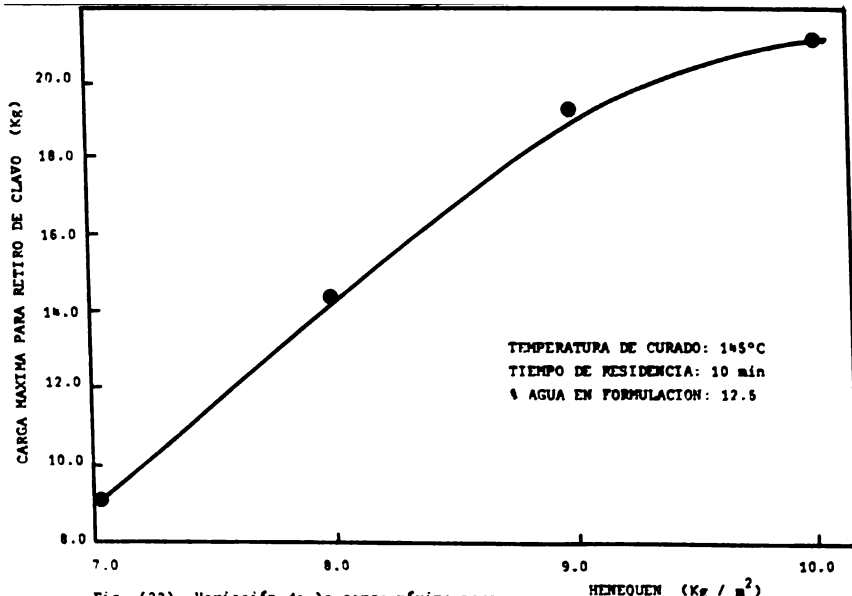


Fig. (22). Variación de la carga máxima para retiro de clavo en función del contenido de henequén / m². A un contenido de 10 Kg/m² la propiedad mecánica no cambia drásticamente, como en el caso de las otras pruebas (tensión, flexión, retiro tornillo)

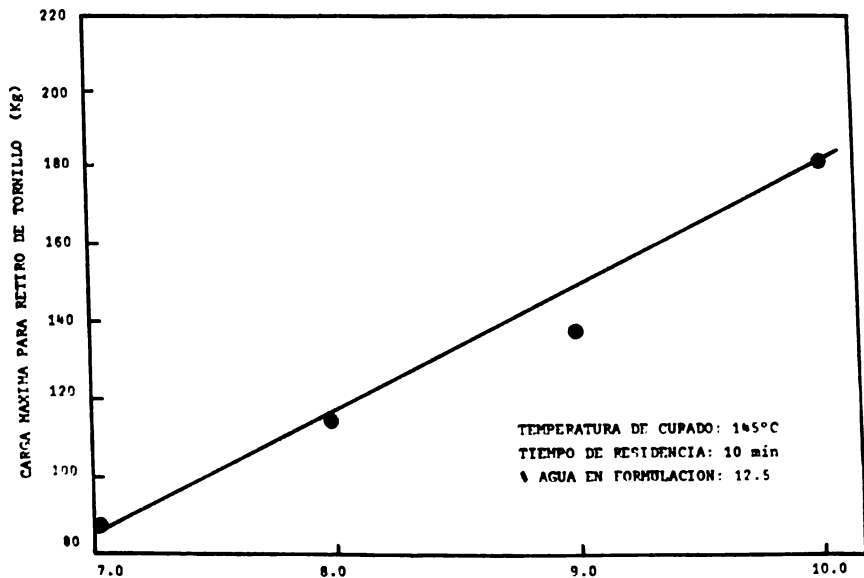


Fig. (23). El comportamiento mecánico, casi siempre - HENEQUEN (Kg / m²) es homogéneo. En este caso la carga máxima para el retiro de tornillo tiende a crecer linealmente, como en el caso de las pruebas anteriores. Aquí los resultados son positivos en gran margen, en comparación a tableros -- aplomerados comerciales.

metro cuadrado que permitiera al aglomerado tener las propiedades mecánicas de los tableros comerciales, además de evaluar posteriormente su costo.

Por tales motivos se evaluaron las propiedades mecánicas de algunos aglomerados comerciales (Cuadro (II)).

Como se puede apreciar en este cuadro, los tableros de henequén con un contenido de 9 Kg/m^2 resultan ya competitivos desde el punto de vista mecánico.

MATERIAL

PROPIEDADES MECANICAS

	Resistencia a la flexión (Kg/cm ²)	Carga máxima para retiro		Resistencia a la tensión (Kg/cm ²)
		clavo (Kg)	tornillo	
Madera de pino.	30-38*	47-50*	190-210*	
Aglomerado con chapa de caoba	16	32-37*	118-126*	
Aglomerado comercial	9.2-9.6*	32-47*	134	38-39*
Triplay**	17-26*	31-42*	190	84-96*
Aglomerado de henequén. 9 Kg/m ²	28	19.3	136	43.7
Aglomerado de henequén. 10 Kg/m ²	36	21.2	180	52.46

* .- Según calidad del material

** .- tablero formado por capas de madera

Los tableros de henequén fueron elaborados a una temperatura de curado de 145°C

Todas las probetas para las pruebas fueron de un espesor de 16 mm.

CUADRO. (II). Resultados de las diferentes pruebas mecánicas a diferentes materiales con el propósito de comparación, a tableros aglomerados de henequén.

Efecto en las propiedades mecánicas por el empleo de resina precatalizada.

Se determinó el efecto que tiene el empleo de resina precatalizada en las propiedades mecánicas del aplomero, con el objeto de tratar de disminuir el tiempo de residencia, una vez que la resina ha sido espreada sobre la fibra y sometida al ciclo de moldeo.

La resina se precataliza agregándole el agente catalizador y acelerador a la solución, y dejándola reposar a temperatura ambiente (20 ± 1 °C) durante lapsos de tiempo diferentes (0 - 54 horas).

Los resultados mecánicos que se obtienen mostrados en la figura (24), indican que se logran incrementos en la resistencia a la flexión del orden del 30 por ciento. Se observa -- que a medida que aumenta el tiempo de precatalización, aumentan las propiedades mecánicas en la forma de una curva de tipo exponencial.

En las figuras (25) y (26), se muestran los resultados de las pruebas de retiro de clavo y tornillo, obsérvese -- como el comportamiento es, si no igual, bastante similar entre las tres curvas (flexión, clavo, tornillo).

El problema principal en el uso de esta resina precatalizada, es que la viscosidad se incrementa a medida que -- transcurre el tiempo de precatalización, llegando a un punto en que la viscosidad es tal, que ya no se puede trabajar con

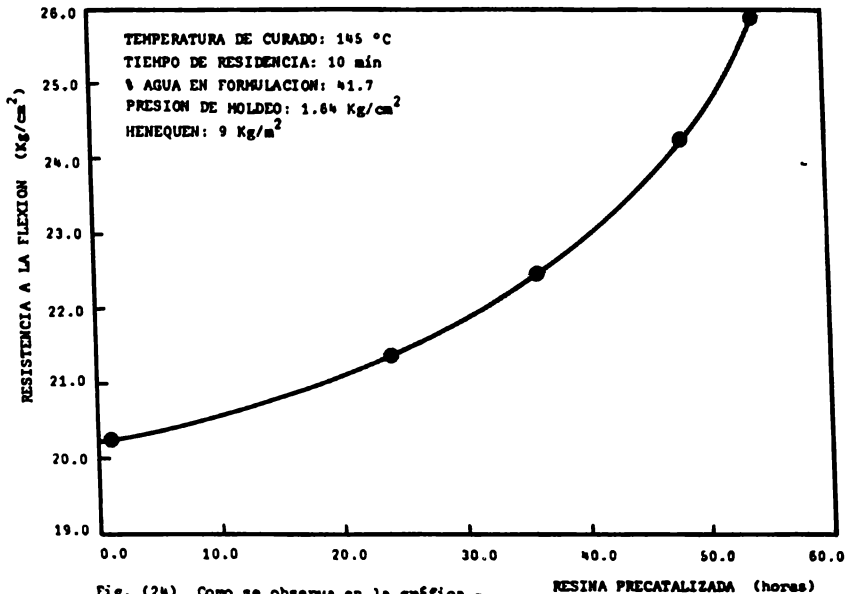


Fig. (24) Como se observa en la gráfica, - RESINA PRECATALIZADA (horas)
 conforme transcurre el tiempo de precatalización, la resistencia a la flexión aumenta. El uso de esta resina da un aumento del orden de 30%.

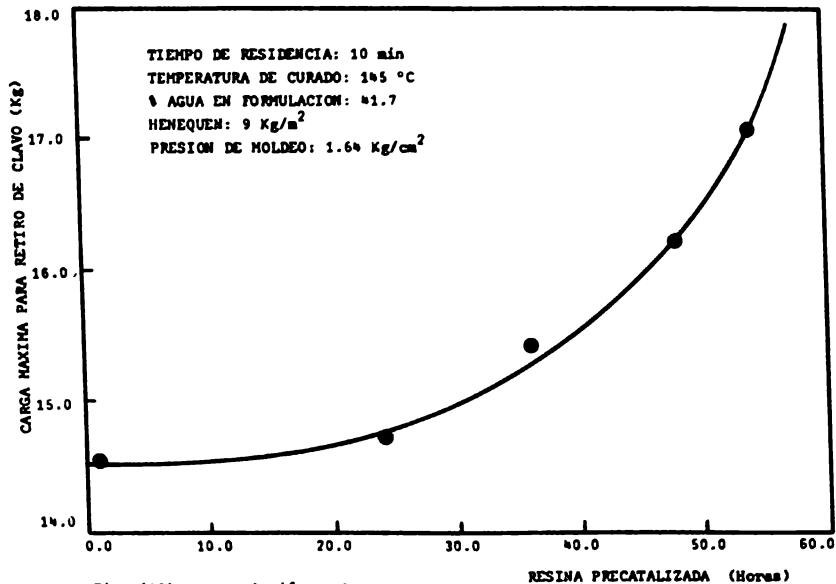


Fig. (25). La variación en la carga para -
 retiro de clavo, es mostrada en esta gráfica. A mayor tiempo de precatalización, la propiedad mecánica aumenta sensiblemente.

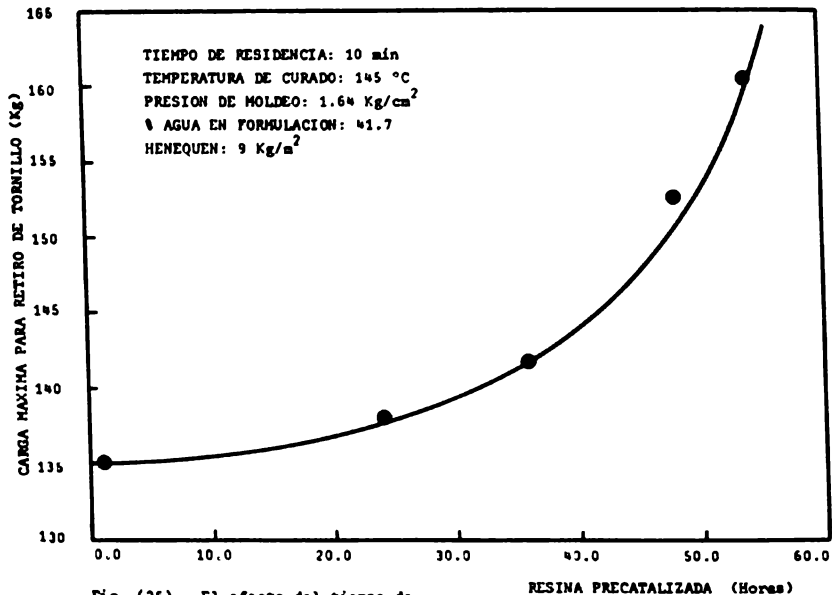


Fig. (26). El efecto del tiempo de - precatalización en la carga máxima para el retiro de tornillo es mostrado claramente en esta figura. Nótese el comportamiento similar a las pruebas anteriores.

la resina, lo cual, desde el punto de vista de proyección industrial tendría graves problemas, ya que una resina con esa viscosidad en cualquier momento se polimeriza completamente.

Un segundo problema que se presenta, es que la resina precatalizada ya no admite el porcentaje de agua que es necesario adicionarle para obtener la viscosidad requerida, para poder espesar la solución satisfactoriamente. El porcentaje de agua que admite es de tan solo el 15 % (a un tiempo de 5¹ hrs), que es un valor bajo comparado con el valor de 41 % de agua en la formulación, que resultó el óptimo.

Este estudio dio valores experimentales positivos, pero el problema de espesado restringió el uso de la resina precatalizada en la elaboración de tableros.

Posiblemente con un equipo adecuado se pueda trabajar con esta resina precatalizada, ya que los valores de resistencia mecánica obtenidos en los tableros son muy atractivos.

Efecto de la temperatura de curado en las propiedades mecánicas.

Una vez determinado el porcentaje de agua óptimo, se procedió a determinar la temperatura de curado a la cual el material exhibe mayor resistencia mecánica, esto es, la temperatura a la cual polimerice completamente la resina y evapore totalmente el agua contenida en ella.

Para este fin se prepararon muestras con un porcentaje de agua de 41.7, un tiempo de residencia de 10 minutos, un contenido de henequén de 9 Kg/ m^2 y una presión de moldeado de 1.64 Kg/ cm^2 . Las temperaturas ensayadas fueron 145, 160, 175, 190 y 205°C. Los tableros así obtenidos tienen un aspecto físico liso y brillante, y fueron probados mecánicamente a flexión, extracción de clavo y tornillo.

En la Fig. (27) se presentan los resultados logrados en la resistencia a la flexión vs. temperatura de curado. Como se puede observar, la resistencia a la flexión aumenta considerablemente al aumentar la temperatura, llegando a un máximo. En este máximo (190°C), la resina ha polimerizado completamente y el agua ha sido evaporada a lo largo del espesor del tablero.

Después de esta temperatura, las propiedades del material decrecen debido principalmente a que la fibra de henequén comienza a quemarse.

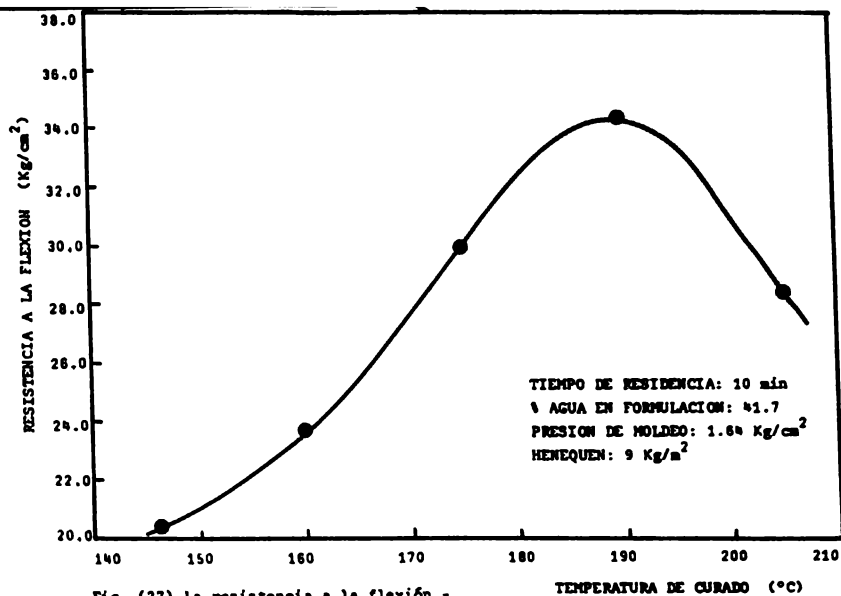


Fig. (27) La resistencia a la flexión - aumenta, conforme aumenta la temperatura de curado. El máximo de esta - curva corresponde a 190°C, en este punto, la resina UF a polimerizado -- completamente y el agua ha sido evaporada.

Los resultados logrados en la prueba de retiro de clavo vs temperatura de curado son similares a los anteriores, - esto es, existe un máximo en las propiedades que corresponde también a la temperatura de 190°C, esto se muestra en la figura (28).

De igual forma en la gráfica de carga máxima para retiro de tornillo vs temperatura (Fig. (29)), también se tiene un máximo en las propiedades, que corresponde a la temperatura de 190°C.

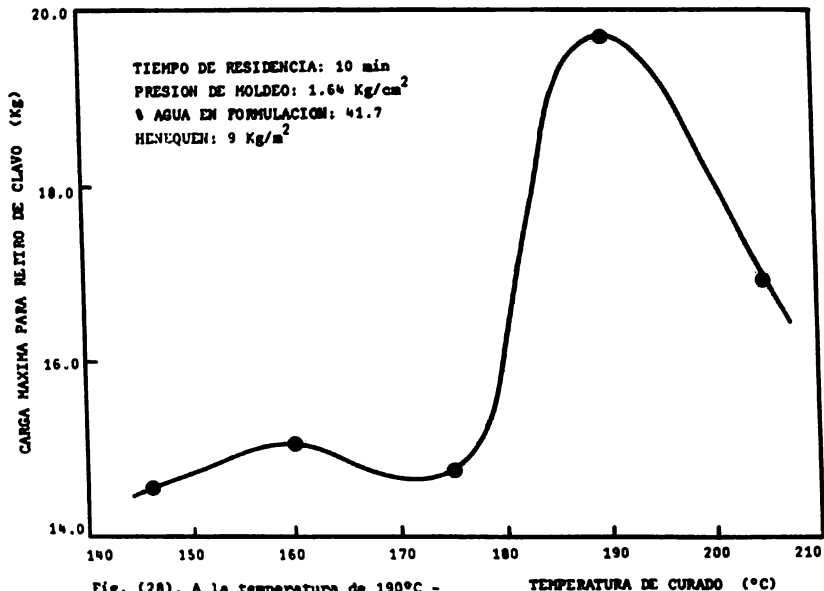


Fig. (28). A la temperatura de 190°C - la curva tiene un máximo. Después de esta temperatura, la fibra de henequén empieza quemarse, razón por lo cual, la propiedad mecánica - decrece.

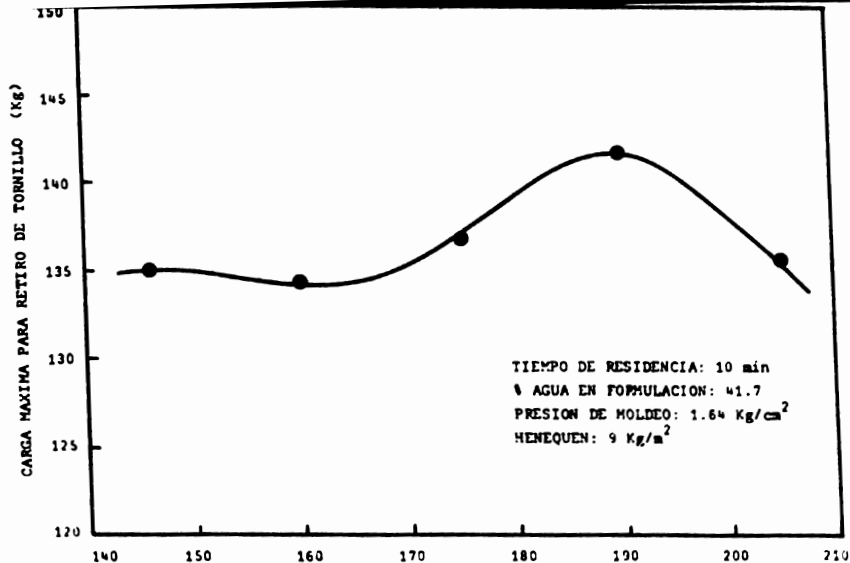


Fig. (29) En esta prueba, la carga - TEMPERATURA DE CURADO (°C)
 para el retiro de tornillo, muestra también un máximo a 190°C, lo que
 concluye que esta temperatura de curado es la óptima.

Efecto del tiempo de residencia en las propiedades mecánicas del material.

El efecto del tiempo de residencia o de moldeo en la adhesión entre la resina UF y las fibras de henequén, se determinó también indirectamente evaluando las propiedades mecánicas del tablero.

Las muestras empleadas en este estudio, fueron elaboradas bajo un ciclo de moldeo, empleando: 41.7 % de agua en la formulación, una presión de moldeo de 1.6 Kg/ cm^2 , un contenido de henequén de 9 Kg/ m^2 , temperaturas de curado de 175, 190 y 205°C. El tiempo de residencia (moldeo) en la preparación de estas muestras varió de cuatro a diez minutos.

Los resultados obtenidos en la determinación de la resistencia a la flexión en función del tiempo de residencia, se muestran claramente en la Fig. (30). Como se observa en dicha figura, las tres curvas correspondientes a diferentes temperaturas (175, 190 y 205°C), muestran un comportamiento similar, es decir, la resistencia a la flexión se incrementa en una forma acelerada con el tiempo de residencia y después decae de igual forma.

El máximo de estas curvas sucede alrededor de los siete minutos de curado, lo que sugiere que a tiempos menores la resina no ha polimerizado completamente, aunando a esto, que el agua tampoco ha sido completamente evaporada, y -

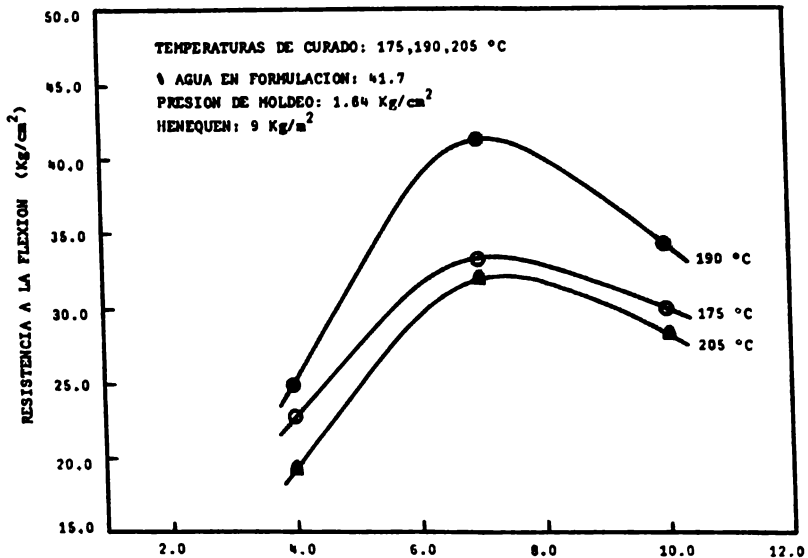


Fig. (30) El efecto del tiempo de resi- TIEMPO DE RESIDENCIA (min)
 dencia en la resistencia a la flexión, marca un máximo
 a las tres diferentes temperaturas. En las tres curvas, el máximo
 ocurre a un tiempo definido.

que a tiempos mayores de moldeo, las fibras de henequén comienzan a quemarse. Esto último se observa más marcadamente a la temperatura de 205°C.

Para corroborar dichos resultados, se hicieron las pruebas de carga máxima para retiro de clavo y tornillo, cuyos resultados se muestran a continuación.

En la Fig. (31), se muestran las curvas de carga máxima para retiro de clavo vs tiempo de residencia. Se observa claramente también, como presentan las curvas un máximo. La curva de 190°C a los siete minutos presenta las mejores propiedades.

La prueba de carga máxima para retiro de tornillo se presenta en la Fig. (32). El comportamiento es bien similar a las dos gráficas anteriores (resistencia flexión y retiro de clavo). A los siete minutos, se obtiene la resistencia máxima a la extracción de tornillo, en la curva que corresponde a los 190°C.

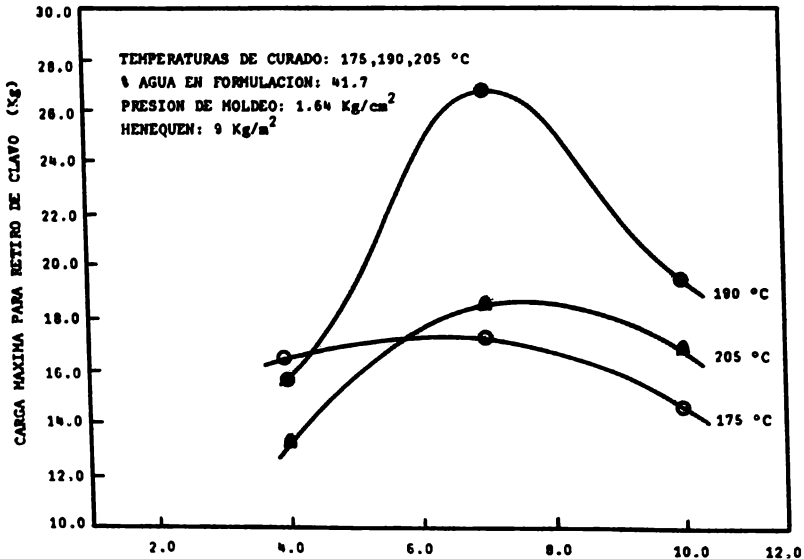


Fig. (31) Se observa que a la temperatura - **TIEMPO DE RESIDENCIA (min)**
 de 190°C (óptima) la propiedad mecánica es máxima, a un tiempo de
 7 min, que concuerda con los resultados de la Fig (30).

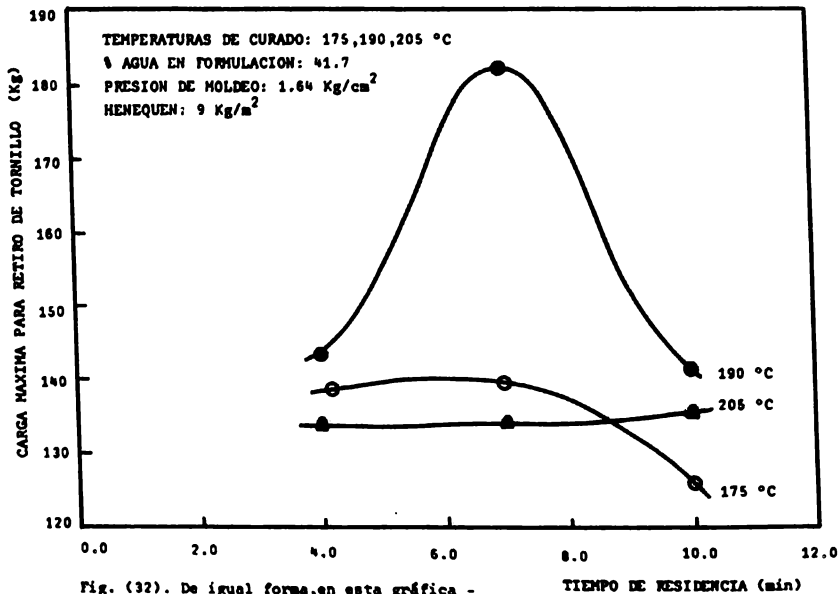


Fig. (32). De igual forma, en esta gráfica - TIEMPO DE RESIDENCIA (min)
 que corresponde a la prueba de tornillo, existe un máximo en la propiedad mecánica a un tiempo de 7 min y temperatura de 190°C.

Efecto de la longitud de fibra.

Una vez determinadas las condiciones óptimas de variables de proceso y formulación, se procedió a evaluar el efecto de la longitud de fibra en la adhesión, también evaluada indirectamente a través de las propiedades mecánicas del tablero.

Las muestras se prepararon, variando la longitud de fibra de 1 a 10 centímetros y empleando una temperatura de curado de 190°C, un tiempo de residencia de siete minutos, un porcentaje de agua en la formulación de 41.7, una presión de moldeo de 1.64 Kp/cm² y un contenido de henequén de 9 Kp/m².

Como muestra la figura (33), en la que se observa la resistencia a la flexión vs longitud de fibra, la resistencia aumenta casi lineal en el intervalo de 1 a 4 centímetros, después de este punto decrece lentamente.

En la prueba de carga máxima para retiro de clavo, se nota claramente (Véase Fig. (34)) que empleando fibra de aproximadamente 4 cm de longitud, la propiedad mecánica tiene su cota superior. Para longitudes de fibra mayor, la resistencia a la extracción comienza a decaer.

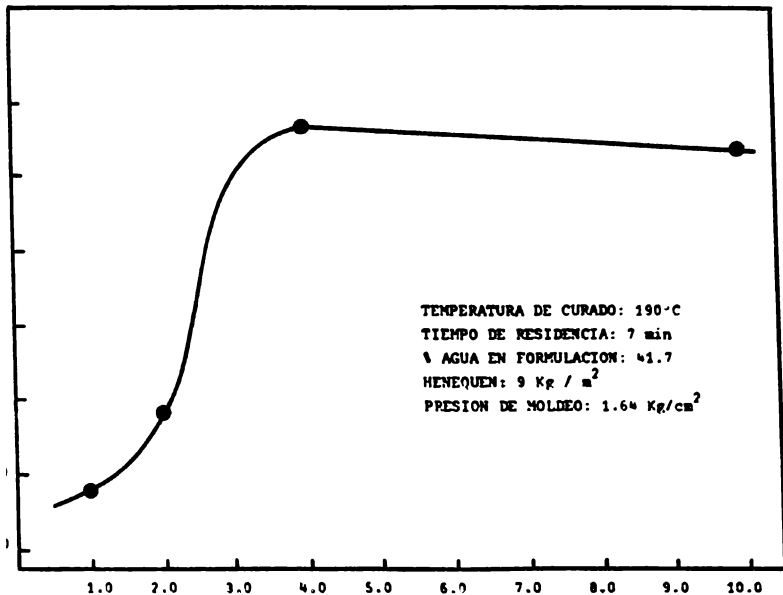


Fig. (33) El incremento en la longitud de - LONGITUD DE FIBRA (cm)
 fibra afecta notablemente la resistencia a la flexión.
 Existe un máximo a una longitud de aproximadamente 4 cm.

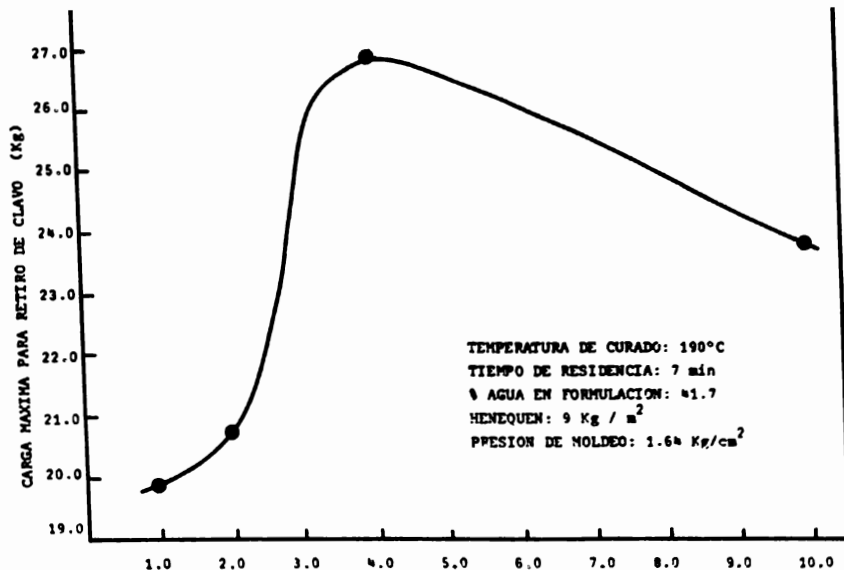


Fig. (34). El efecto de la longitud de fibra - LONGITUD DE FIBRA (cm)
 en la prueba de retiro de clavo, se incrementa en el intervalo de --
 1 a 4 cm. Teniendo este último valor como máximo.

La curva que obtenemos de los resultados de la prueba de retiro de tornillo (Ver Fig. (35)), es muy semejante a la obtenida por la prueba de resistencia a la flexión, y -- también como antes la longitud de fibra óptima es del orden de los cuatro centímetros.

Estos resultados son positivos, en el sentido de que es mucho más fácil el manejo de fibra corta (del orden de -- 4 cm) que el de fibra larga (mayor de 10 cm), sobre todo en la formación del colchón que ha de ser sometido al ciclo de moldeo.

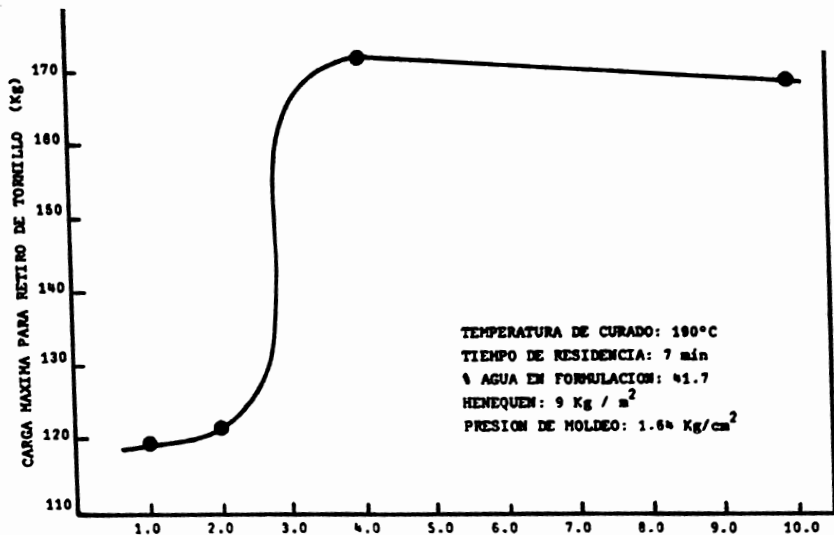


Fig. (35). La variación en la carga para el retiro de tornillo, se incrementa hasta un valor máximo, que corresponde a una longitud de fibra de 4 cm.

BREVE ESTUDIO ECONOMICO

BREVE ESTUDIO ECONOMICOa) Análisis de costos.

Desde el punto de vista industrial, los costos del aglomerado son el factor más importante, ya que de esto depende el margen de ganancia que se pueda obtener del producto. Por esto, es preciso obtener un material que tenga un -- costo de producción bajo, para que pueda competir en el mercado ventajosamente. Además, de que cumpla con las condiciones mínimas de resistencia mecánica.

Teniendo en cuenta los costos de las materias primas (Enero 1980) empleadas, se estimó un costo de \$70.00 metro cuadrado de tablero de henequén, de un espesor de 16 mm, según desglose que se presenta en el cuadro (III).

Este costo multiplicado por un factor que involucra: costo de producción, depreciación de equipo y comercialización, estimado en 1.4 (16) , se obtiene un costo de producción neto de \$ 98.00 por metro cuadrado.

Los precios de distribución (Enero 1980) de tableros aglomerados comerciales, son del orden de \$ 160.00 por metro cuadrado del mismo espesor (16 mm). Por lo cual, se puede considerar que los tableros aglomerados de henequén son particularmente competitivos con los existentes actualmente.

Es conveniente también, señalar algunos otros parámetros comerciales, como son la oferta y la demanda de table--

Material	Kg/m ²	% peso	costo unitario (\$/Kg)	costo varcial (\$/m ²)
Henequén	9.0	76.95	5.35	48.15
Urea-formaldehído.	1.44	12.31	11.2	16.12
Sulfato de amonio	0.0216	0.184	162	3.49
Hidróxido de amonio	0.0358	0.308	44	1.57
Cera	0.0737	0.63	6	0.44
Agua	1.124	9.61	0.02	0.024

Costo total de materia prima por metro cuadrado:

\$ 70.00

CUADRO. (III). Esquema de costos para tableros de Henequén de 16 mm de espesor.
(precios Enero 1980). (18)

ros aglomerados en el país, ya que esto permite visualizar si existe o no una demanda insatisfecha.

A continuación, se presentan los datos obtenidos de oferta y demanda de tableros a partir del año 1970 a el año 1978.

b) Perfil de mercado.

En primer término, se analiza la Industria de tableros de madera, cuya capacidad instalada asciende a 574,000 m³ para 1978, (17), en tanto que la producción fue de 374,400 m³ para 1978, esto es un 64.6 % de la capacidad de producción.

La oferta ha tendido a satisfacer la demanda nacional (de los tres tipos de tablero), la oferta en 1978 fue de 377,600 m³, en tanto que la demanda fue en el mismo año de 380,600 m³ (el 99.2%). Sin embargo en el análisis particular por rama (triplay, aglomerado y fibrecel), los tableros aglomerados tienen déficit, que está siendo cubierto por importaciones que ascienden a 14,600 m³ anuales, este sería el margen seguro de mercado en el que se puede participar.

De acuerdo con la Cámara Nacional de las Industrias Derivadas de la Silvicultura (CNIDS), y la Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros de Madera A.C. (ANAFATA), en 1978 el número total de plantas productoras de tableros fue de 36, de las cuales 26 se dedican a la fabricación de triplay, en tanto que a la de tableros aglomerados y de fibra-

cel se d'ican 8 y 2 respectivamente.

De los tres productos (triplay, aglomerado, fibracel), la Industria de Tableros Aglomerados es la que muestra un mayor crecimiento, pues tanto es su capacidad instalada como en la producción obtenida, refleja los más altos porcentajes

La utilización de la capacidad instalada de esta industria se ha visto mejorada; tres años lo representan

1970 -----	33.3%
1973 -----	59.4%
1978 -----	63.4%

En la industria de tableros contrachapados (triplay), - su capacidad instalada creció de 1977 a 1979 a un ritmo de - 4.1 % medio anual (de 280.5 a 304 miles de m³).

La capacidad utilizada en dos años comparables, mejoró como sigue:

1977 -----	60.8 %
1978 -----	63.8 %

Respecto a la industria de tableros de fibra, como - solo hay dos representantes, la capacidad instalada ha sido - la misma desde 1970 (35,000 m³). La producción se puede decir que ha sido permanente y no ha alcanzado en 9 años si--- quiera un 1 % de crecimiento anual.

Tomando en cuenta los tres productos (triplay, aglomerado, fibre), las 36 plantas industriales suman para 1978 una capacidad instalada de 584.4 miles de metros cúbicos, que re- presenta un crecimiento de 10.1 % respecto al año anterior,-

sin embargo la suma de las proyecciones por rama, manifiesta un crecimiento medio anual de 8.4 %. (Véase Cuadro (V)).

TABLEROS AGLOMERADOS

Años	Capacidad instalada miles de m ³	Crecimiento anual %	Producción miles de m ³	Crecimiento Anual %
1970	186.5		55.5	
1971	186.5		75.3	35.7
1972	120.7	-27.5	72.2	-4.1
1973	120.7		71.7	-0.7
1974			88.7	23.7
1975			114.3	28.9
1976			150.7	31.8
1977	215.4	15.6	154.8	2.7
1978	255.4	18.6	161.9	4.6
1979	389.4	41.1	182.3	12.6
PROYECCION				
1980	392.8	9.0	205.3	12.6
1981	428.2	9.0	231.1	12.6
1982	468.7	9.0	260.3	12.6
1983	508.7	9.0	293.1	12.6
1984	554.5	9.0	330.0	12.6
1985	604.4	9.0	371.6	12.6

La proyección se hizo en base al crecimiento medio anual durante los periodos 1970-79 y 1970-78, para capacidad instalada y producción respectivamente.

CUADRO . (IV). Análisis de la Industria de tableros aglomerados en el país.

TABLEROS

Años	Producción miles de m ³	Capacidad instalada miles de m ³	Capacidad no empleada miles de m ³	Capacidad instalada empleada %.
1970	181.8			
1971	211.7			
1972	220.1			
1973	218.8			
1974	248.2			
1975	304.3			
1976	342.8			
1977	355.3	530.9	175.6	66.9
1978	377.6	584.4	206.8	64.6
1979	413.9	699.4	285.5	59.2

PROYECCION

1980	453.6	744.3	290.7	60.9
1981	497.1	792.7	295.3	62.7
1982	544.8	844.7	299.9	64.5
1983	597.2	900.8	303.6	66.3
1984	654.5	961.2	306.7	68.1
1985	717.3	1026.3	309.0	69.9

CUADRO (V). Análisis de la Industria de tableros.
(incluye triplay, aglomerados y fibra-
cel).

La producción con que los 36 fabricantes han acudido al mercado, ascendió a 377.6 miles de metros cúbicos en 1978; dicha cifra, en relación a la producción de 1970 que fue de 181.0 miles de m³, representa un crecimiento de 9.6 % medio - anual.

Haciendo un balance comparativo, los tableros aglomerados tenían una participación en la oferta al mercado del - 30.6 % en 1970, para 1978 la misma es de 42.9%, los de triplay han reducido su participación de 55 % en 1970 a 49.6 % en 1978, los tableros de fibracel sufren una reducción relativa de 14.4 % en 1970 a 7.5 % en 1978.

La producción nacional ha participado, -excepción hecha de 1974- con más del 90 % de los requerimientos del mercado nacional, sin embargo, es conveniente destacar que las - importaciones han crecido a un ritmo acelerado de más del - 16 % medio anual en el período 1970- 1978, sí bien, representando para este último año apenas el 19.1 % del consumo aparente, con 19,100 m³ (de los cuales 13,900 m³ fueron importaciones de tableros aglomerados).

En el siguiente cuadro se puede ver el comportamiento del mercado de los tres productos. (triplay, aglomerados, - fibracel).

Aportación porcentual de la producción al consumo.

Años	Triplay	Aglomerados	Fibracel
1970	96.6	99.5	105.3
1971	93.4	99.1	114.5
1972	91.9	99.2	111.5
1973	93.4	98.8	106.1
1974	89.8	82.3	104.3
1975	95.6	95.3	101.0
1976	93.1	90.3	110.4
1977	102.8	89.6	112.8
1978	105.1	92.3	105.2

Nota: más del 100% es el remanente para exportación.

En toda la década, el mercado nacional de los tableros de fibracel ha sido satisfecho, con una capacidad instalada que no ha variado y con una capacidad empleada de la planta de alrededor del 85 % , el excedente productivo se ha colocado en el exterior (se exporte un promedio de 2675 m³ en los últimos cuatro años).

Durante 1974 y 1976, los niveles de producción de triplay y aglomerados fueron insuficientes para cubrir la demanda, en los años siguientes el triplay abate la demanda y se exporta un promedio de 11,550 m³ anual. No sucede así con los tableros aglomerados, cuya producción nacional asciende al -- 90 % de los requerimientos, con lo que la importación se mantiene elevada.

En base a lo anterior, es claro que hay un margen de participación segura y que sería la sustitución de importaciones de tablero aglomerado, en un nivel aproximado de -- 14,600 metros cúbicos (promedio de los últimos cinco años).

Esta participación, se podría cubrir fácilmente con la instalación de una planta procesadora de 50 m³/ día.

C O N C L U S I O N E S

CONCLUSIONES.

Los resultados experimentales obtenidos en este trabajo, permiten establecer las condiciones tanto de formulación como de procesamiento, que son necesarias para la elaboración de tableros aglomerados de henequén, de 16 mm de espesor.

Las condiciones particulares sobre cada uno de los - parámetros estudiados son:

- 1) El abatimiento de la viscosidad, facilita el flujo de la resina sobre la fibra y por lo tanto un mayor mojado, esto induce a una mejor adhesión y resistencia en las propiedades mecánicas del tablero. La viscosidad, tiende a un valor asintótico con un valor de 40-42 % de agua en la formulación de la solución UF.
- 2) Respecto a las propiedades mecánicas del aglomerado, en función del contenido de henequén, se determinó, que con un contenido de 9 Kg / m² el material es superior en las propiedades mecánicas (en un 11 %) a los tableros aglomerados comerciales, y es el punto - máximo aceptable para que el aglomerado resulte económicamente atractivo.
- 3) Con el empleo de resina precatalizada, aumentan las

propiedades mecánicas conforme transcurre el tiempo de precatalización, pero surge el problema de la aspersión de la resina sobre la fibra, ya que ésta se vuelve demasiado viscosa, y esto es un problema más que una ventaja desde el punto de vista operativo.

- 4) La temperatura óptima de curado fue de 190°C.
 - 5) El tiempo de residencia óptimo fue de 7 minutos.
 - 6) Dado que la finalidad de este trabajo fue, el aprovechamiento de las fibras cortas de henequén, se determinó la longitud de fibra óptima, es decir la -- longitud que permitiera las mejores propiedades, -- siendo esta del orden de los 4 centímetros.
 - 7) Del estudio de análisis de costos, se considera que el tablero aglomerado referido en este trabajo, tiene un costo de \$ 98.00 por metro cuadrado, lo que - comparado con el costo de los materiales aglomerados comerciales (\$ 160.00 / m²), deja un margen de -- \$ 62.00 / m², margen que permite su comercializa--ción.
- Así mismo, del estudio sobre el perfil de mercado, - se detecta que existe una demanda de 14,800 m³ que es satisfecha actualmente por importaciones. Deman-

da que permitiría entrar al aglomerado de henequén fácilmente en el mercado.

- 8) Una de las características importantes del tablero de fibras de henequén, es que al flexionarlo nunca llega a romperse, como lo hacen los tableros aglomerados comerciales. Además, tiene una mínima deformación permanente, esto es, al retirarles la carga a la que son expuestos tienden a su forma original.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- (1) Patente en trámite, propiedad de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- (2) A. Padilla, A. Sánchez, P. Fuentes, A. García. Desarrollo de tableros aglomerados a base de fibra de henequén. VI Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería. Septiembre 1980. México.
- (2a) A. Padilla, P. Fuentes. Desarrollo de nuevos materiales aislantes para la construcción de bóvedas frigoríficas VII Congreso Interamericano de Ingeniería Química. --- Agosto 1978. Colombia.
- (3) The Merck Index. 9a.ed. Published. Merck and CO. INC. -- 1976 (ref.7356)
- (4) R. Houwink, G. Solomon. Enciclopedia de la Química Industrial, en "Adhesivos orgánicos sintéticos". Elsevier Publ.Co. Amsterdam 1965. p.239.
- (5) Ibid., p. 241.
- (5a) J.T. Zavaleta. Apuntes de Plásticos I. Facultad de Química. 1979.
- (5b) Publicación de Cordemex, S.A. de C.V. Normas que caracterizan al henequén. Enero 1977.
- (5c) A. Amador. Breve estudio experimental para la obten---

ción de polietileno reforzado con fibras cortas de ha-
nequén. Tesis (Lic.). Facultad de Química, UNAM, 1980.

- (6) A. W. Adamson. Physical Chemistry of Surfaces. 2a.ed.
Interscience Publisher. New York. 1962.
- (7) S. S. Voyutskii. Autohesion and Adhesion of High Poly-
mers. Interscience / Wiley Publisher. New York. 1962.
- (8) J. A. Timm. Química General. 4a. ed. Mc. Graw Hill ---
Book Company Inc. USA. 1973 p. 214.
- (8a) A. Padilla. Estudio fisicoquímico de interfases: Opti-
mización de las propiedades del polietileno reforzado
con fibra de vidrio. Tesis (Maestría). Facultad de ---
Ciencias, UNAM, 1979.
- (9) J. J. Birkerman. The Science of Adhesive Joints. Acade-
mic Press. New York. 1968.
- (10) A. W. Adamson. op. cit. p. 357.
- (11) A. N. Gent y J. Shultz, J. Adhesion, 3, 287, 1972.
- (12) Norma D1037-72a. Evaluating the properties of wood --
base fiber and particle panel materials. Annual Book -
of ASTM. 1972 (parte 22)
- (13) B. W. Rosen. Mechanical of Composite Materials. ed.por
F. W. Wendy, L. Liebowitz y N. Perone. (Pergamon ----
Press. Oxford. 1970)
- (14) E. P. Pleudemann, J. Adhesion, 2, 184, 1970.

- (15) A. W. Zisman. Ind. Chem. Prod. Res. Develop. 8, 97, - 1969.
- (16) Datos obtenidos del Banco de Crédito Rural Peninsular
- (17) Datos proporcionados por la Asociación Nacional de - Fabricantes de tableros de Madera, A. C. (ANAFATA). - 1980. México.
- (18) Catálogo 780. Reactivos inorgánicos y orgánicos para laboratorio. J. T. Baker, S. A. de C. V. 1980. México