



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50<sup>th</sup> anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

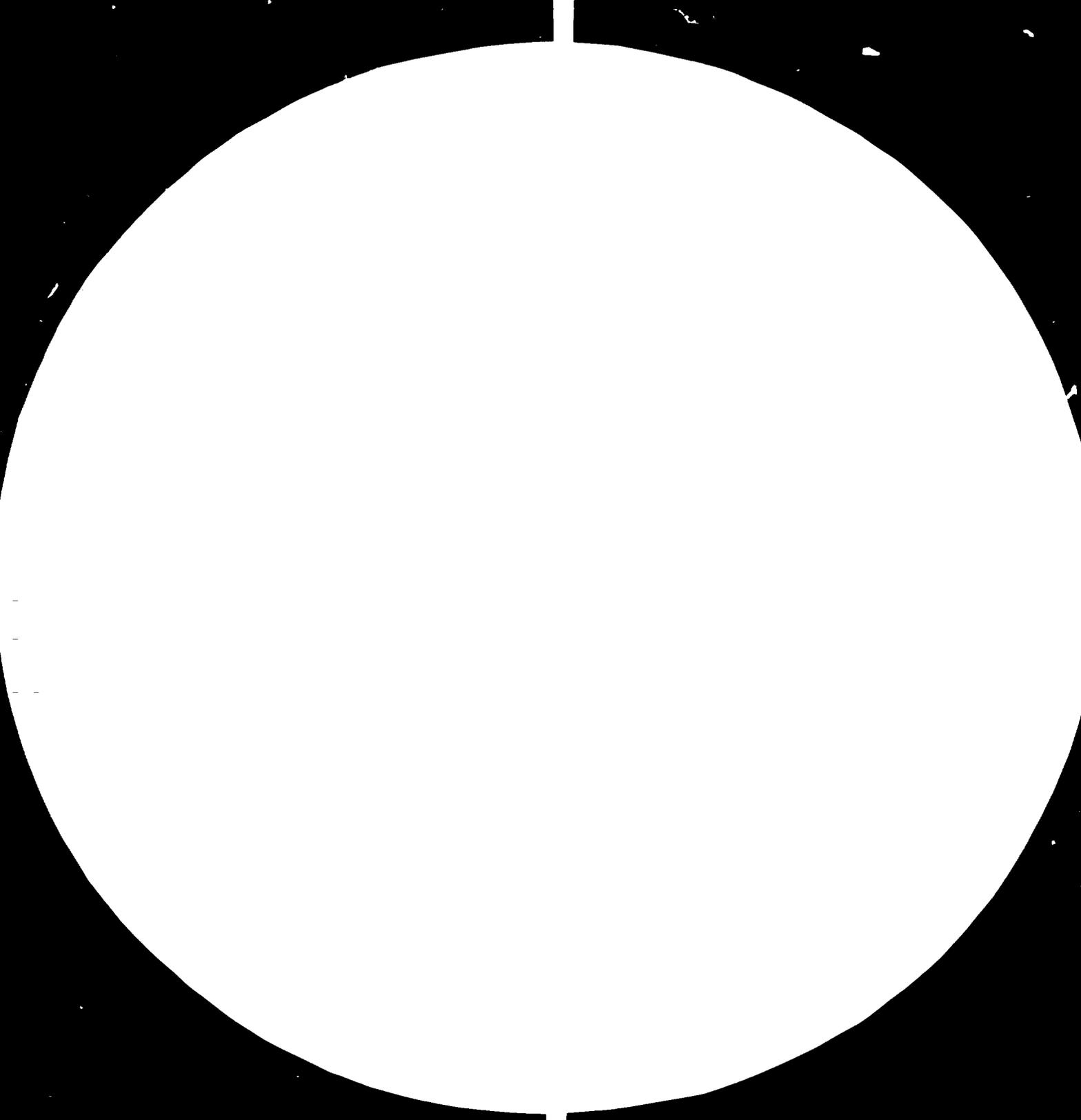
## FAIR USE POLICY

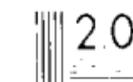
Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

## CONTACT

Please contact [publications@unido.org](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)





Resolution Test Chart  
1.0 1.1 1.25 1.4 1.6 1.8 2.0 2.2 2.5

Distr. RESERVADA

11523

DP/ID/SER.B/329  
18 febrero 1982

ESPAÑOL  
Original: INGLES

Mexico.

LA UTILIZACION DE MATERIALES COMPUESTOS EN LA CONSTRUCCION.

SI/MEX/79/801

MEXICO

INFORME FINAL\*

Preparado para el Gobierno de México  
por la Organización de las Naciones Unidas para  
el Desarrollo Industrial,

como organismo de ejecución del Programa de  
las Naciones Unidas para el Desarrollo

Basado en el informe presentado por el Sr. Etienne Verheugen,  
experto de la ONUDI

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial  
Viena

\* El presente documento es traducción de un texto que no ha pasado por los servicios de edición de la Secretaría de la ONUDI.

V.82-22211.

1. INDICE

	<u>Página</u>
2. RESUMEN	2
3. INTRODUCCION	4
4. REALIZACION Y CONCLUSIONES	6
- Organización del proyecto	6
- Diseño del módulo de vivienda	6
- Construcción del molde	6
- Baño de resina	7
- Materias primas	7
- Equipo	7
- Capacitación y ensayo de materiales	8
- Desarrollo del componente de fachada	9
- Ampliación del concepto estructural	10
- Silos flexibles	11
- Fibras naturales	12
- Industria local de fibras	
- Investigaciones de laboratorio	16
- Producción de mate de fibra natural	22
- Ensayo en instalaciones piloto	23
- Comportamiento estructural de las fibras naturales	26
- Prensado tridimensional	29
- Sustitución de la fibra de vidrio por la fibra natural	30
- Tecnología mixta	32
- Tecnología apropiada	32
- Conclusiones	
5. RECOMENDACIONES	39

## 2. RESUMEN

Las fibras naturales se encuentran en la naturaleza como material estructural de sustancias vegetales en forma de filamentos alargados y bastante resistentes, constituyendo en realidad compuestos químicos.

Algunas son naturalmente aptas para ser hiladas, y se utilizan tradicionalmente para elaborar cordeles, tejidos y numerosos artículos; otras sólo son adecuadas para la fabricación de productos bastos, como material de embalaje, cepillos y material de relleno.

La falta de tecnología alternativa apropiada hace que en su mayor parte sean consideradas demasiado cortas y demasiado astillables para utilizaciones comerciales.

El interés, cada vez mayor, por la utilización de este recurso potencial en la tecnología moderna de los materiales compuestos no es tan reciente, y este concepto se inspira en realidad en la propia naturaleza.

El enfoque múltiple de los objetivos principales del proyecto ha conducido a los siguientes resultados:

1. Introducción de la tecnología Patfoort para la producción rápida de módulos de viviendas a base de materiales compuestos. Esto comprende la construcción de un módulo giratorio, la capacitación de los miembros de un equipo de trabajo y la fabricación de varios módulos experimentales de viviendas.
2. Optimización y mayor empleo de la tecnología Patfoort en estructuras resistentes para silos, cobertizos y almacenes, con demostrado éxito.
3. Resultados concluyentes en investigaciones de laboratorio sobre las propiedades a corto y a largo plazo de los compuestos reforzados de fibras naturales.
4. La producción manual a escala piloto de "mate" reforzado ha demostrado la viabilidad de esta tecnología en la práctica. Esta política entraña la creación de puestos de trabajo en zonas marginadas y posibilita el aumento de los ingresos personales, pues los trabajadores no sólo participan en la extracción de la fibra sino también en la fabricación de productos acabados.
5. El desarrollo de un concepto tridimensional de las técnicas de refuerzos, como resultado de las propiedades específicas de las fibras naturales, brinda oportunidades insospechadas a los materiales de construcción, especialmente para la práctica de la autoconstrucción, así como sistemas alternativos de viviendas económicas integrales en gran escala.

Es obvio que la tecnología de materiales compuestos no sólo ofrece grandes posibilidades a los materiales para construcciones mecánicas, sino que además constituye el vínculo entre recursos renovables, como las fibras naturales, y diferentes subproductos de la explotación de combustibles fósiles, en beneficio de aquéllos y de éstos.

Teniendo en cuenta el trabajo pionero realizado en cuanto a tecnología apropiada, y las posibilidades de los resultados obtenidos, debería recomendarse vivamente la continuación y diversificación de estos esfuerzos y su gradual aplicación a la industria.

Agradecemos al equipo del laboratorio y al Dr. Belmares su valioso apoyo, y hacemos constar asimismo nuestro agradecimiento al Dr. Campos, Director del CIQA quien hizo posible esta experiencia.

### 3. INTRODUCCION

#### ANTECEDENTES DEL PROYECTO

De conformidad con la resolución 1886 (LVII) de 31 de julio de 1974 del Consejo Económico y Social, referente al fomento de la construcción de viviendas económicas a base de polímeros combinados con materiales disponibles localmente, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos en Chipre, el Uruguay, el Alto Volta y el Ecuador, así como las recomendaciones del seminario sobre cooperación técnica entre países en desarrollo (CTPD) celebrado en Guayaquil (Ecuador) en noviembre de 1979, en pro de todos los países de América Latina y del Caribe, se ha demostrado de manera convincente, que los materiales compuestos representan, gracias al sistema Patfoort, una valiosa contribución a la tecnología alternativa para construcciones económicas y de bajo consumo de energía.

Este trabajo puede considerarse como continuación de la labor realizada en el Ecuador, y tiene su motivación en la abundancia de fibra natural en México y en el poco desarrollo de esta industria. La propuesta de proyecto fue formulada conjuntamente por la ONUDI y el CIQA (Centro de Investigación en Química Aplicada), en cooperación con el CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) y la CONAZA (Comisión Nacional de las Zonas Áridas).

El proyecto tiene los siguientes objetos:

- Introducir tecnología moderna en la producción de compuestos de plástico reforzados con fibra natural
- Crear oportunidades de empleo
- Demostrar, a escala piloto, la construcción de módulos de viviendas, silos, cobertizos y otros tipos de construcciones mediante el sistema Patfoort.

#### DESCRIPCION DE ACUERDOS OFICIALES

El proyecto SI/MEX/79/801 fue autorizado en enero de 1979 (anexo IV), actuando el CIQA como entidad de contraparte en colaboración con el CONACYT y la CONAZA. Se ha contado para el mismo con las siguientes contribuciones:

Contribución de la ONUDI: 60.000 dólares de EE.UU., por los siguientes conceptos:

- contratación de un coordinador del proyecto durante dos meses
- contratación de un experto en materiales durante dos meses
- contratación de un experto residente durante seis meses (prórroga prevista)
- 3.000 kg de tejido de vidrio FOB México

Contribución del Gobierno: 159.000 dólares de EE.UU., por los siguientes conceptos:

- terreno para la construcción
- construcción de un taller y de un almacén techados
- construcción de moldes
- suministro de materiales nuevos
- equipo de laboratorio y personal
- concesión de becas a estudiantes (CONACYT)
- estudios económicos (CONAZA)

Se previó continuar el proyecto al término de los seis primeros meses. El experto inició su misión el 1º de noviembre de 1979. La ONUDI autorizó una primera prórroga de seis meses, seguida de una prórroga de un año, repartiéndose los gastos correspondientes entre el CIQA y la ONUDI. Así, pues, la misión del experto duró desde el 1º de noviembre de 1979 hasta el 10 de noviembre de 1981.

#### 4. REALIZACION Y CONCLUSIONES

##### ORGANIZACION DEL PROYECTO

Dada la importancia del proyecto, el CIQA propuso que se dividiera para su realización, en cuatro actividades independientes:

1. Análisis, evaluación y optimización de la fabricación de "mate" a base de fibras naturales (UM 02-05/4-02)  
Encargado: Ing. Eduardo A. Ramírez
2. Estudio de viabilidad técnica y económica de la fabricación de módulos de viviendas a base de fibras naturales (UM 02-05/EE - 01)  
Encargado: Ing. Eduardo A. Ramírez
3. Optimización de las propiedades físicas y mecánicas de materiales compuestos de construcción (UM 02-05/5-03)  
Encargado: Dr. Héctor Belmares
4. Diseño y fabricación de módulos de viviendas y de aperos agrícolas (UM 02-05/4-01)  
El experto de la ONUDI se encargó de esta actividad, en la que colaboró como contraparte el Arq. Sergio Mier.  
  
En febrero de 1981, el Ing. E. Ramírez fue designado extraoficialmente administrador del proyecto.

##### DISEÑO DEL MODULO DE VIVIENDA

El módulo de vivienda se perfiló tras varios experimentos y en función de consideraciones tipológicas, económicas, ergonómicas y estructurales, y puede ser modificado o retocado de acuerdo con los parámetros locales.

En la práctica, se ha aumentado ligeramente la longitud del módulo (de 3,80 m a 3,92 m), a fin de optimizar la distribución del interior (2 camas, una a continuación de la otra, situadas paralelamente al eje) y de obtener una modulación cuadrada de 4,00 m x 4,00 m (entre las líneas del cuadrículado del diseño).

##### CONSTRUCCION DEL MOLDE

Debido a la forma del módulo, se construyó un molde compuesto que constaba de las partes siguientes:

- 2 mitades que, acopladas, constituyen el cilindro del molde
- 2 bandas desmontables
- 1 pestaña desmontable

Las dos mitades iban montadas sobre un eje central mediante un bastidor metálico, quedando separadas por las bandas desmontables.

Una vez separadas la pestaña y las bandas, pudieron ajustarse las dos mitades mediante pernos tensores. De esa forma se reduce el tamaño del molde y puede retirarse el módulo sin necesidad de emplear para ello ningún dispositivo mecánico. El conjunto está dotado de un mecanismo que gira en torno a un eje central y que es accionado manualmente por una sola persona. La incorporación de un mecanismo muy compacto de transmisión doble permitiría efectuar el embobinado con mayor precisión. (Véanse los detalles de su construcción en I-58-62.)

El costo total de la construcción del molde, incluidos los materiales, la mano de obra y el montaje, asciende a 17.000 dólares de los EE.UU.

#### BAÑO DE RESINA

Se ha utilizado el mismo tipo de baño de resina que se empleó con éxito en el Ecuador. Para un mejor control de la tensión de las cintas que han de embobinarse, se ha dotado de un freno al rodillo superior. (Véanse detalles en I-56-57.)

Cabe señalar que, a excepción del mecanismo giratorio, el molde fue construido en su totalidad por el equipo del CIQA.

#### MATERIAS PRIMAS

Para la construcción del módulo de vivienda se utilizaron los materiales siguientes:

- Cintas de tejido de vidrio, con acabado contra hilachas a base de 580 gr/m<sup>2</sup> (3.000 kg importados por conducto de la ONUDI)
- Mate de hilos cortados (Vitrofibras)
- Poliéster insaturado para usos múltiples, tipo PolyLite 3016 (Químicas Reichhold de México, S.A.)
- Peróxido de metil etil cetona, como catalizador
- Octoato de cobalto, como acelerador
- Estireno, como disolvente
- Cera y celofán, como productos químicos para facilitar la extracción del molde
- Pigmentos

#### EQUIPO

Se contruyó un taller techado de 12m x 10m, con almacén para materiales y herramientas, plataformas de trabajo, y servicios de electricidad, agua y aire comprimido. Se dispuso de herramientas eléctricas para las operaciones de mezcla, corte de los cantos de las láminas, limpieza con arena y pulimento.

CAPACITACION Y  
ENSAYO DE  
MATERIALES

Se capacitó en tecnología de los plásticos reforzados con fibra de vidrio (PRV) a un primer equipo de 6 trabajadores no calificados. Pronto se familiarizaron con los sistemas catalizadores, con las fórmulas para la aplicación de capa fina ("gel-coat") por pulverización, con las técnicas de moldeo a mano y de embobinado, así como con el desmoldeo y acabado de los productos.

Una vez producido el primer módulo de vivienda, la persona que colaboró en calidad de contraparte pudo repetir por sí sola el ciclo operativo. (Ref. I-15-17)

Para fines generales, se aplicó la siguiente fórmula de curado:

1.000 ml: resina polylite 8016  
150 ml: estireno  
8,6 ml: catalizador  
5 ml: acelerador

Observaciones:

- El mate de hilos cortados fue difícil de saturar en una sola operación pues en seguida aparecían puntos blancos, siendo necesario repetir la operación para evitar que se formasen manchas secas. Esto se debió probablemente a una lenta disolución del aglutinante que mantiene juntas las fibras y retarda la consolidación.
- El polylite 8016, como resina ortoftálica que es, tiene poca resistencia a la intemperie y a las sustancias químicas y un módulo de elasticidad muy bajo, según se ha observado en ensayos de laboratorio. Aunque esto no constituye un problema para los experimentos, para fines estructurales se recomienda el empleo de una resina isoftálica o bisfenólica.
- La capa fina "gel-coat" y la capa superior se prepararon a base de pigmentos y de polylite 8016. Para poder conferirle una resistencia óptima a la intemperie, debería utilizarse una capa fina de materiales apropiados existentes en el mercado.

Para módulos de vivienda se recomiendan especialmente los recubrimientos de poliuretano, por su gran flexibilidad y retención de rayos ultravioletas.

- Como ya se indicó anteriormente (Informe Intermedio, pág. 53) los bordes de las cintas de fibra de vidrio no estaban bien estabilizados, pues habían sido cortados de un gran rollo de tejido de vidrio y a causa de ello las extremidades de los hilos de la trama se levantaban. En vista de ello, el laminado ha de lijarse después con herramientas abrasivas, lo que supone un trabajo adicional y el riesgo de dañar su capa exterior. Durante su última visita, en octubre de 1961, el coordinador del

proyecto, Prof. Patfoort, propuso el empleo de una cinta recientemente desarrollada de 17 cm de ancho con bordes acabados, y que podía obtenerse al mismo precio que las anteriormente utilizadas.

DESARROLLO DEL  
COMPONENTE DE  
FACHADA

En experimentos anteriores, las fachadas dependían estructuralmente del contorno de las pestañas en que se empernaban para evitar la perforación de la capa exterior del módulo de vivienda. Esto significa una duplicación de la superficie de las pestañas y un mayor número de elementos de refuerzo (piezas insertadas, marcos, elementos curvos), con los consiguientes costos adicionales. Utilizando los principios estructurales del módulo de vivienda para el desarrollo del componente de fachada, se podría formular y aplicar con éxito un nuevo concepto previa experimentación con módulos a escala reducida. (Informe Intermedio, págs. 18-28)

Este concepto consiste en introducir en sección transversal un anillo de presión diseñado en función del marco de la ventana y de la distribución de los espacios interiores. Esto presenta las siguientes ventajas:

- Fácil sujeción gracias a la presión ejercida entre los extremos abiertos del anillo, bastando para ello un martillo y pernos de madera. La presión puede controlarse.
- La presión de que es objeto el anillo induce tensiones en la envolvente, que puede entonces soportar carga adicional (techo de sombra, anclaje de la carga del piso, etc.).
- Las fachadas ya no dependen de las pestañas, pudiendo ajustarse al mismo nivel o a cualquier distancia de ellas en sección transversal con arreglo a la distribución interior o a los requisitos arquitectónicos.
- El módulo de vivienda y las fachadas tienen un aspecto más familiar (menos monumental), por darse mayor realce a la ventana y a la entrada que a la curvatura.
- Esta versión es la más económica, pues el anillo de presión coincide con la superficie más pequeña entre el diafragma del módulo y el diafragma del bastidor de ventana. Además, la construcción plana añade a la sencilla construcción del molde la posibilidad de un fácil aislamiento.

Si bien el anillo de presión "abierto" resultó más adecuado para experimentos básicos, se recomienda la versión "cerrada" para la producción en gran escala. Una vez establecidas las tolerancias entre los módulos, esta versión garantiza la estabilidad por un largo tiempo gracias a la dispersión uniforme de las cargas de tensión y de

AMPLIACION DEL  
CONCEPTO  
ESTRUCTURAL

compresión a diferencia de la versión abierta, en la que la carga de compresión varía desde un máximo en la base hasta cero en el extremo superior del eje vertical (eje neutro).

El módulo de vivienda se desarrolló de manera sistemática con arreglo a una pauta empírica, lo que permitió una economía estructural sorprendente ( $17 \text{ kg/m}^2$ ), pero no estaba completamente clara la interacción de las tensiones entre las pestañas y el cilindro del módulo ni la razón por la cual el conjunto se mantenía vertical, sin desviación alguna.

Como un primer enfoque del análisis de este fenómeno se embobinó la parte cilíndrica del módulo sin sus pestañas y se sacó cuidadosamente del molde. Sorprendió mucho el hecho de que este laminado circunferencial fuera relativamente rígido en sentido axial pero completamente flexible en sentido transversal. En otras palabras, el laminado podía enrollarse en forma compacta sin que sufriera daño alguno. Este solo aspecto ha significado desde luego un paso importante hacia la ampliación del concepto estructural.

El paso siguiente consistió en el montaje de la membrana circunferencial con el anillo de presión como estructura de fachada. No se precisó más de 30 minutos para convertir las partes separadas en un cilindro rígido que podía instalarse sobre su propio eje. (Informe Intermedio, pág. 42)

Estaba claro entonces que el módulo de vivienda debía considerarse como una estructura pretensada. La tensión se induce principalmente mediante la operación de embobinado, y aumenta por la contracción inherente al proceso de curado. Las pestañas actúan como diafragma exterior en sección transversal, y, mantenidas en esta posición, toda la estructura actúa como un muelle tridimensional. Ello explica este comportamiento estructural.

Es obvio que los diafragmas interiores actúan igual que los exteriores, en la medida en que contribuyen a la situación de tensión. Teniendo en cuenta que la forma de la sección transversal viene determinada por la forma del diafragma, cabe aplicar, dentro de la misma circunferencia, un amplio espectro de geometría variable, como circular, elíptica, cuadrada, rectangular o triangular.

Sin embargo, debe respetarse un radio mínimo de 30 cm para los ángulos. Merece señalarse la completa analogía, a este respecto, con los recipientes utilizados en la industria conservera, pues el "fondo" y la "tapa" se cementan a presión para lograr la rigidez requerida. (Véase ilustración en el Informe Intermedio, pág. 65).

A continuación se indican algunos de los resultados de este comportamiento:

1. Nuevas posibilidades de diseño, a partir de la misma membrana, para distintos ramos de la construcción, como por ejemplo, silos, cobertizos, viviendas para casos de emergencia, elementos polivalentes y todo tipo de construcciones móviles. En el primer Informe Intermedio (págs. 32-42) fueron considerados en forma detallada varios aspectos concretos y nuevas posibilidades.
2. Posibilidad de dividir el proceso de producción en distintas cadenas de producción (para membranas y fachadas) independientes entre sí, pues dichos elementos pueden ser acoplados "in situ" por consolidación (si no se trata de partes prefabricadas) o mediante montaje mecánico (diafragma de presión).
3. Los productos se pueden almacenar y transportar en forma compacta, lo que ofrece nuevas posibilidades en cuanto a planificación y producción.
4. La producción independiente de membranas y fachadas simplifica radicalmente la situación: es posible reducir las dimensiones del taller, economizar en la construcción del molde y aumentar la eficacia del ciclo de producción.

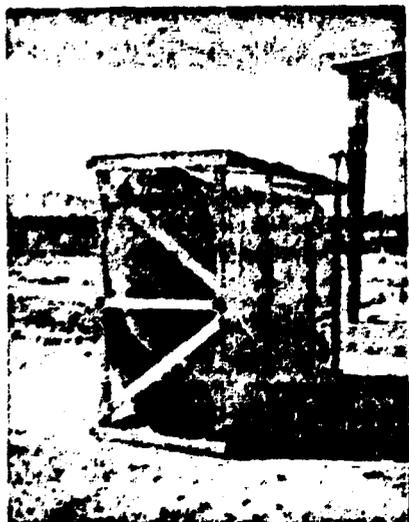
#### SILOS FLEXIBLES

La idoneidad de los plásticos reforzados con fibra de vidrio para la construcción de silos, tanques y canalizaciones es internacionalmente reconocida. Aunque es un material caro, presenta en cambio las siguientes ventajas: peso ligero, gran resistencia a la tracción y buena resistencia a la intemperie y a los agentes químicos.

En general, esas construcciones están formadas por grandes partes o por piezas moldeadas, debido a su bajo módulo de tracción y baja resistencia al cizallamiento (las juntas son puntos débiles), que representan una limitación a la forma de tales elementos por las dificultades de transporte.

Los silos flexibles, ejemplos de aplicación del sistema Patfoort, permiten por primera vez el empleo íntegro de materiales compuestos en estructuras tensadas, si se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- La gran resistencia a la tracción permite el uso de láminas delgadas



- El bajo módulo de tracción y el poco espesor de la lámina proporcionan flexibilidad
- La flexibilidad permite satisfacer los requerimientos de transporte y almacenamiento, pues pueden construirse unidades de gran volumen a partir de una sola pieza.
- El espesor ya no se calcula en función del módulo de tracción (de rigidez), sino en función de la resistencia a la tracción, lo que tiene considerable importancia desde el punto de vista económico.

Pruebas adicionales han demostrado satisfactoriamente (véase ilustración en la pág. 18 del Informe Intermedio) que la resistencia práctica y la resistencia teórica coinciden en torno a los 3.500 o 4.000 kg/cm.

En otras palabras, un espesor de pared de 2,5 mm, compuesta de tres capas de tejido de vidrio (3 x 580 gr/m<sup>2</sup>), con una relación de 45-50% entre el peso de la fibra de vidrio y el de la resina, representa una resistencia equivalente a unas 13 veces la resistencia requerida para un silo de 6 m de alto para el almacenamiento de grano.

Esta interesante solución ha sido propuesta al Gobierno. De acuerdo con el programa nacional de almacenamiento de granos, coordinado por el SAM (Sistema Alimentario Mexicano), se ha estudiado la construcción de un tanque flexible de almacenamiento de 100 m<sup>3</sup> con arreglo a los requisitos especificados. (Véase el anexo III al Informe Intermedio)

## FIBRAS NATURALES

### Introducción

Indudablemente, las fibras naturales siempre han constituido un desafío para el hombre. Documentos arqueológicos recientemente descubiertos revelan que el telar empezó a utilizarse hace unos 9.000 ó 10.000 años 1/, mientras que la aguja hizo su aparición 10.000 años antes 2/. La torsión de la fibra corta en forma helicoidal continua o de hilado, cuyas características geométricas modifican la carga de tracción, condujo a otras innovaciones tecnológicas, como el montaje de distintos materiales (armas, herramientas, componentes de construcción), el anudado de redes de pesca, la fabricación de arpones, etc.

Si el telar potenció una economía basada en el aprovechamiento de las fibras naturales, su automatización desencadenó la primera revolución industrial. Su floreciente situación como uno de los productos más importantes de la

---

1/ L'outil d'os pendant la préhistoire - Danielle Stordeur (LA RECHERCHE, n° 121).

2/ Die Hethiter - Johannes Lehmann.

economía mundial sufrió un revés en la última guerra mundial, al hacer su aparición las fibras químicas. Hasta tal punto ha cambiado el panorama, que en México, al igual que en muchas otras partes del mundo, la explotación de las fibras naturales es considerada como una industria precaria y atrasada, y a la que se tiene prácticamente protegida para evitar las consecuencias sociales que acarrearía la caída de las ventas de este recurso renovable.

#### Nomenclatura

Las fibras naturales pueden dividirse en fibras vegetales o de celulosa natural, fibras animales o no celulósicas y fibras minerales. Las fibras vegetales comprenden las fibras liberianas, las fibras de hoja, y las fibras de semillas, como el esparto y las tricomas. Según sus aplicaciones comerciales, las fibras vegetales se dividen tradicionalmente en duras y blandas. El presente proyecto se concentra esencialmente en las "fibras naturales duras", denominadas de aquí en adelante "fibras naturales".

#### Producción

Según su distribución geográfica y su canalización comercial, las fibras objeto de explotación en ese país pueden dividirse en tres grupos principales.

El grupo más importante lo constituye el henequén (Agave fourcroyde), cultivado en un área concentrada de aproximadamente 150 km<sup>2</sup> en torno a Mérida, en la península del Yucatán. Esta fibra, de 75 a 150 cm de largo y de color amarillo claro, es muy similar a la fibra de sisal (Agave siselana). Su producción anual asciende a 100.000 toneladas, que se exportan únicamente como tejido de urdimbre y trama. El descortezado es totalmente mecánico.

El segundo grupo de fibras está relacionado con la producción de coco (Cocos nucifera). La fibra de coco se extrae de la cáscara de éste por putrefacción biológica en agua salada. La producción es bastante irregular, pero puede alcanzar las 100.000 toneladas anuales. El Centro comercial se encuentra en Guerrero, en la parte sur de la costa del Pacífico. Esta fibra corta y ondeada de color pardo oscuro se utiliza solamente para la fabricación de base de alfombras, como estopada o material de relleno y en tapicería.

El tercer grupo de fibras se obtiene mediante la recolección de numerosas plantas productoras de fibra del género Agave y Yucca, que crecen en forma silvestre en un área de 150.000 km<sup>2</sup>, que corresponde a las zonas árida y semi-árida del norte de México (desiertos de Sonora, Chihuahua y California). Muchas especies sólo se aprovechan tradicionalmente a nivel local o doméstico y únicamente dos

de ellas -la Yucca carnerosana y el Agave lechuguilla- son consideradas fibras comerciales, localmente conocidas como ixtle de palma e ixtle de lechuguilla. Aunque hace diez años la producción anual de estos recursos naturales alcanzó las 10.000 toneladas, la situación actual es crítica.

Teniendo presente que el centro comercial de la industria de estas fibras coincide con la ubicación del CIQA, y habida cuenta de la participación de la CONAZA en el proyecto, era evidente que estos dos "ixtles" habían de ser los principales temas de estudio.

#### Yucca Carnerosana

Esta Yucca del tamaño de un árbol, conocida localmente como Palma Samandoca, es una de las 29 especies de Yucca existentes en México. Como "testigos del silencio", caracterizan con sus tupidas estructuras, vastas zonas de los desiertos de Sonora y de Chihuahua. Su crecimiento es muy lento debido a su habitus seco. La primera florescencia tiene lugar al cabo de unos 20 ó 22 años, y no son raras las especies que tienen más de 300 años.



Tradicionalmente viene siendo utilizada por los habitantes de estas regiones como material de construcción (el tallo), como fuente de suministro de fibras (la hoja), como alimento (las flores y semillas), y como jabón (las raíces). Modernas investigaciones han revelado que la Yucca es un buen recurso para la obtención de pasta papelera, aceite de semillas y productos químicos. La presencia de sapogeninas en las hojas, raíces y semillas viene despertando creciente interés.

Desde hace poco, se las considera como recursos potenciales para la obtención, por síntesis, de drogas esteroides.

Las fibras se extraen manualmente de la parte central de la corona, previa vaporización durante varias horas. Por no poder competir con otras fibras, como el sisal y el henequén, la fibra de yucca, cuya longitud varía entre 30 y 60 cm, perdió su capacidad de exportación después de la última guerra. El mercado local absorbe la producción actual como materia prima para la obtención de tejido áspero de urdimbre y trama.

### Agave lechuguilla



Esta planta productora de fibras crece en terrenos calizos en asociación con una variedad de comunidades vegetales desérticas. Su extensión geográfica es de aproximadamente el 12% del territorio nacional. La lechuguilla carece de tronco y aparece dispuesta en forma espiral o de roseta, con hojas cóncavas que miden entre 40 y 50 cm de altura, y cuyos bordes son espinosos. La florescencia tiene lugar a los 4 ó 5 años de nacer la planta, que muere poco después. La yema terminal de la roseta se corta el año anterior al de la florescencia. La planta produce rápidamente otrayema, retardando así la florescencia. Tradicionalmente las fibras se extraen escamondándolas manualmente "in situ".

### INDUSTRIA LOCAL DE FIBRAS

En virtud de un decreto presidencial de 1940, se concedió a la FORESTAL F.CL. (Federación Regional de Sociedades Cooperativas de Venta de Productos Forestales) la exclusiva de la comercialización de ambos ixtles. Esta asociación está integrada por unos 50.000 agricultores, que cooperan en la recolección, el almacenamiento y la elaboración de materias primas, así como en la comercialización de los productos manufacturados y de los subproductos.

Los principales problemas con que se enfrenta esta industria regional de fibras son los siguientes:

1. La exportación de materias primas está sujeta a las fluctuaciones de la demanda internacional, que influye por tanto en los precios de los productos obtenidos. Los recursos renovables y que generalmente está regulada por mercados internacionales sobre los cuales el país productor no ejerce ningún control.
2. La capacidad de producción es incontrolable, siendo mayor los años de mayor pluviosidad. Una producción máxima da lugar a la formación de excedentes y al "dumping" de precios, mientras que una producción mínima no permite satisfacer la demanda.
3. La considerable diferencia entre el valor nominal y el valor real de las fibras determina una depreciación intrínseca. Se ha calculado que el valor de la producción media diaria (5 ó 6 kg) a precios oficiales sólo supone el 50% del salario mínimo de los trabajadores de las regiones rurales, lo que da lugar a la marginación de sus habitantes y a la despoblación de esas regiones.

4. La distribución geográfica de las plantas productoras de fibras comerciales y su bajo contenido de fibra (5 al 10% en peso) constituye un factor limitativo de la explotación industrial.
5. La elaboración de materias primas para la obtención de tejidos de urdimbre y trama, cepillos u otros artículos tradicionales, da lugar a un volumen excesivo de desechos, difícilmente reciclables. Esto se traduce en un aumento del costo del producto final, lo que hace que éste ya no pueda competir con los productos sintéticos.
6. La falta de tecnología adecuada para la extracción de las fibras limita la explotación a un pequeño número de plantas productoras de fibras, y de éstas sólo se aprovechan las hojas más jóvenes.

INVESTIGACIONES DE  
LABORATORIO

Durante el período 1979-1981 se elaboró un programa dividido en tres etapas y con los siguientes objetivos:

1. Estudiar las propiedades físicas y mecánicas de las principales fibras comerciales existentes en México.

Los resultados de esta investigación han sido publicados en un artículo del Textile Research Journal titulado: "NATURAL HARD FIBERS OF THE NORTH AMERICAN CONTINENT. STATISTICAL CORRELATIONS OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LECHUGUILLA FIBERS". (Anexo IX)

2. Comparar las propiedades físicas y mecánicas de los laminados reforzados con fibra natural con las de los laminados reforzados con fibra de vidrio, con miras a sustituir las fibras de vidrio por fibras naturales en la fabricación de materiales compuestos.

Los resultados de este experimento fueron publicados recientemente por "I and EC Product Research and Development", en un artículo titulado "NEW COMPOSITE MATERIALS FROM NATURAL HARD FIBERS". (Anexo X)

3. Determinar el comportamiento a largo plazo de los laminados reforzados con fibra natural en cuanto a biodegradación, resistencia a la intemperie, fatiga estática y dinámica, y fórmulas de combustión lenta.

Este experimento no se concluirá antes de diciembre de 1981, pero cabe prever que los resultados sean altamente positivos

OBSERVACIONES

1. Materias primas

En el siguiente cuadro comparativo se ofrecen, para su consideración, los resultados obtenidos mediante ensayos de laboratorio y otros datos disponibles, relativos a materiales estructurales comunes.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
poliéster polylite 8016	1,2	2,5	381	9,8	317,5
poliéster (normas internacionales)	1,2*	1,5 - 2,5**	400-700*	35-45*	458,3*
fibra de vidrio (vitrofibra)	2,52	3	28.169	740	11.178
fibra de vidrio (normas internacionales)	2,5*	1,5 - 2,2*	28.000*	700-800*	11.200*
fibra de palma	1,4	3,3	5.554	140	3.967
fibra de sisal	-	2,8	5.166	170	-
fibra de henequén	-	4,7	5.922	130	-
madera	0,7*	1- 2*	800*	100-150*	1.142*
aluminio	2,7*	25-30*	2.500*	750*	925*
acero suave	7,8*	10-20*	3.700*	2.160*	2.769*

(1) densidad ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) - (2) alargamiento a la rotura (%) -  
(3) resistencia a la tracción ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) - (4) módulo de elasticidad ( $\text{kg}/\text{cm}^2 \times 10^3$ ) - (5) resistencia específica ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ ) -  
\* Según normas internacionales

Ante los resultados de esos ensayos cabe decir que:

1. Las propiedades físicas y mecánicas del sisal, del henequén y de la fibra de palma son casi iguales: su poca densidad, su escaso alargamiento a la rotura y su gran resistencia a la tracción hace que sean un material excelente para la obtención de compuestos.
2. Las fibras naturales tienen una resistencia a la tracción superior a la del acero suave, y son 6 ó 7 veces más resistentes que la madera.
3. A igualdad de peso, la resistencia de las fibras naturales es superior, como se ha dicho, a la de la madera, como asimismo a la del aluminio y el acero suave.
4. A igualdad de resistencia específica, los precios de las fibras naturales y de las fibras de vidrio son mutuamente competitivos.

Evidentemente, estos datos no dan idea, sin embargo, de las repercusiones de las propiedades secundarias en los métodos de producción y en el comportamiento final del material compuesto, por lo que será útil señalar de antemano las diferencias entre la fibra natural y la fibra de vidrio.

Fibra natural	Fibra de vidrio
discontinua	continua
orgánica (biodeteriorable)	inorgánica (inerte)
tenaz	quebradiza
inflamable	incombustible
bajos insumos de energía	elevados insumos de energía (x50)
renovable	no renovable
requiere tecnología apropiada	requiere gran intensidad de capital
peso ligero	el doble de peso
filamento tubular	filamento cilíndrico
elevada fluidez de moldeo	escasa fluidez de moldeo
requiere técnicas de baja presión	requiere técnicas de contacto
diámetro medio: 0,15 mm	diámetro medio: 0,01 mm
localmente disponible	se importa
aspecto rústico atractivo	aspecto sintético

Es evidente que estos aspectos específicos determinarán, independientemente o en mutua correlación, la magnitud del campo de aplicación de las fibras y la elección del método de producción.

Laminados de PRN (Plástico reforzado con fibra natural)

1. Trabajos preliminares han demostrado que los tejidos de urdimbre y trama de fibra natural existentes en el mercado son de todo punto inadecuados para su empleo en materiales compuestos, y ello por varias razones:
  - La escasa penetración de la resina en la cerrada hélice sólo permite una humectación superficial de los hilos.
  - La ondulación y la torsión de los hilos aumenta su alargamiento a la rotura, que ya no es proporcional a la matriz (material base) de resina.
  - Los procesos mecánicos empleados para obtener fibras adecuadas para la confección de hilados reduce enormemente la resistencia de la misma.
  - Las capas de los tejidos de urdimbre y trama tienen un espesor tres o cuatro veces superior al de los tejidos de vidrio, y absorben una enorme cantidad de resina, razón por la cual resultan antieconómicos.
  - Los tejidos de urdimbre y trama de fibra natural son tan caros como los tejidos de vidrio, pese a que sus características son inferiores.
2. Debido a la anchura de la fibra natural (unas 10 veces superior a la de la fibra de vidrio) el "empaquetado" llega a ser de hasta 10 veces superior al espesor de la fibra de vidrio para el mismo volumen. Este problema se ha resuelto aplicando presión a la capa y utilizando un aglutinante con objeto de poder obtener un mate de gran densidad comparable al mate de fibra de vidrio, pero aproximadamente a mitad de costo. Como más adelante se verá, la fabricación de aglutinantes adecuados desempeñará un papel central en toda la tecnología de la fibra natural para su utilización en materiales compuestos.
3. El empleo de mate de gran densidad elaborado a base de fibra natural con resina para aplicaciones múltiples ha dado excelentes resultados de ensayo que se acercan mucho a los valores nominales calculados en función del volumen del material de refuerzo y del factor de trabajo direccional

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
UNIDIRECCIONAL	PRV	28.000	60	30	1/1	30	8.400	8.400	-
BIDIRECCIONAL		28.000	50	25	1/2	12.5	3.500	3.500*	-
AL AZAR		28.000	30	15	1/3	5	1.400	1.400	-
MULTIDIRECCIONAL	PRN	5.559	50	50	1/1	50	2.779	-	-
BIDIRECCIONAL		5.559	41	41	7/9	31.8	1.772	1.664	-
AL AZAR		5.559	43	43	1/3	14.3	796	790	96
AL AZAR		5.559	40	40	1/3	13.3	744	637	97
AL AZAR		5.559	35	35	1/3	11.6	648	578	100
AL AZAR		5.559	30	30	1/3	10	555	517	102
AL AZAR		5.559	24	24	1/3	8	444	437	80

Donde (1) = resistencia a la tracción de la fibra - (2) = peso de la fibra en % - (3) = volumen de la fibra en % - (4) = factor de trabajo direccional - (5) = factor de trabajo final - (6) = resistencia a la tracción nominal del material de refuerzo en  $\text{kg/cm}^2 \times 10^3$  - (7) = resistencia a la tracción real en  $\text{kg/cm}^2 \times 10^3$  - (8) = número de muestras de ensayos de laboratorio - \* Según ensayos realizados en instalaciones experimentales.

Comportamiento a largo plazo de los laminados de PRN

Las fibras naturales se componen simplemente de materia orgánica, como celulosa, lignina y otros diversos compuestos de azúcar, que las hacen biodegradables del mismo modo que al material sólido que constituye el tejido leñoso de la madera, pero, mientras que la madera muestra una estructura celular compacta, las fibras naturales revisten la forma de filamentos esbeltos separados, lo que les confiere una gran superficie específica para un volumen dado. Esta diferencia física hace que la fibra natural sea tan sensible a los cambios de humedad ambiental, secándose y humedeciéndose rápidamente, con los consiguientes problemas de encogimiento e hinchamiento a expensas de su resistencia. Un contenido de humedad de aproximadamente el 25% durante un período prolongado favorece la putrefacción y la aparición de hongos.

En la utilización de fibras naturales en materiales compuestos lo principal será, evidentemente, lograr que las fibras se mantengan secas, para lo cual la imbibición de éstas en una matriz protectora, como por ejemplo, resina de poliéster, ofrece excelentes posibilidades de aumentar su protección a largo plazo. Sin embargo, ensayos de laboratorio confirman que esta protección no es suficiente, siendo necesaria una protección adicional mediante una capa de vidrio (y revestimiento).

En estas condiciones, tales compuestos, que habrán de ajustarse a determinados reglamentos de construcción, plantearán dificultades como las siguientes:

- Las perforaciones del laminado y los bordes cortados exponen la fibra directamente a la intemperie, y estos puntos flacos requieren protección adicional.
- La eficacia de toda la protección depende de la precisión con que se aplique, lo que en general sólo puede lograrse en condiciones de taller controladas.
- El control del hinchamiento y del encogimiento inherentes al material limitará el contenido de fibra, que probablemente no podrá exceder del 30 o del 35% en peso.
- El vapor húmedo puede crear dificultades en condiciones atmosféricas adversas o a causa de diferencias importantes entre la temperatura interior y la temperatura exterior (tanques de almacenamiento de cereales). En tales circunstancias bastará emplear una película impermeable incorporada para evitar la absorción de humedad por un cuerpo aislante, película que en general consistirá en una lámina de aluminio o en una película de polietileno, pero que supone un costo adicional.

Ante estas observaciones cabe preguntarse si está económicamente justificado fabricar PRN como material autoprotector integral al igual que los PRV o si convendría más dividir las propiedades estructurales y las características de protección contra la intemperie en dos elementos independientes. Esta opción se discutirá más adelante.

PRODUCCION DE MATE  
DE FIBRA NATURAL

A la vista de los resultados obtenidos en ensayos de laboratorio con laminados de gran resistencia a base de fibra natural, se estableció una planta piloto para la producción manual de unos 100 m<sup>2</sup> de mate de fibra natural, así como para evaluar los resultados mediante métodos de producción normales de materiales compuestos. Esta actividad, desarrollada por el equipo de taller bajo el control del laboratorio, comprende las siguientes operaciones:

1. Los haces de fibras, generalmente enlazados por compuestos de lignina, se hacen pasar por hileras de puntas metálicas alternativas con objeto de liberar las fibras.
2. Las fibras cardadas se cortan en longitudes de unos 10 cm mediante un dispositivo de corte y, sobre una capa subyacente de plástico negra, se van disponiendo al azar en capas sucesivas hasta alcanzar el espesor o el peso requeridos por m<sup>2</sup>. El gradiente de transparencia del fondo negro permite efectuar un eficiente control visual.
3. Un agente aglutinante de las fibras (en general una solución de PVAc o de PVAlc) se pulveriza mediante una pistola sin aire comprimido que lo proyecta sobre las fibras hasta saturarlas, pero sin llegar a aplicar un exceso de aglutinante.
4. Después del secado (30-60') la capa puede enrollarse como una alfombra (1,5 cm de espesor y 450 gr/m<sup>2</sup>), y el extremo adherente ligante queda solapado por la capa siguiente. Este método permite producir alfombras continuas que pueden almacenarse por un tiempo ilimitado.
5. Antes de la operación de prensado, la "alfombra de fibra" se humedece con agua o vapor y a continuación se introduce en la prensa. La acción de prensado (30-60") reduce la alfombra de fibra a un espesor de 1 mm, a base de una presión de aproximadamente 5-10 kg/cm<sup>2</sup> y una temperatura de 100 a 140°C. Pueden obtenerse cintas continuas repitiendo la operación.

OBSERVACIONES

1. Gracias a esta experiencia básica, la producción de alfombra de fibra natural (operaciones 1-4) puede efectuarse sobre el terreno, obteniendo así un producto comercial de mayor valor que puede almacenarse y transportarse fácilmente.

2. La sustitución de fibras no orientadas (dispuestas al azar) por capas sucesivas bidireccionales (dirección longitudinal y transversal) ha resultado más fácil de efectuar, comprobándose que con ello aumenta la resistencia del material y que la textura es más atractiva.
3. Aunque el cardado de las fibras es considerado como la operación de mayor intensidad de mano de obra, puede mecanizarse fácilmente introduciendo las respectivas mitades de los haces de fibras entre cilindros que giran en sentido contrario y que están provistos de hileras de púas. En la actualidad se está experimentando sobre el terreno (LA FORESTAL F.C.L.) un equipo similar para la extracción de fibra. Parece obvio que el mismo aparato puede utilizarse para ambas operaciones: extracción y cardado de la fibra, pues después del secado de la misma esta operación será repetitiva. En este contexto, la fabricación de mate comercial requiere tecnología apropiada. Una acción cooperativa permitirá promover el empleo de mujeres para estas operaciones.
4. Mediante sistemas de agujeteado disponibles en el comercio puede lograrse la producción totalmente automática de mate no tejido a base de toda clase de fibras naturales. La capacidad de producción de la planta más pequeña es de aproximadamente 450 kg/h (1.000 m<sup>2</sup>/h). Ref.: oferta de Dilo a CIQA de 26 de junio de 1981.
5. En el trabajo n° 2 "Estudio de viabilidad técnica y económica de la producción de módulos de viviendas a base de fibras naturales", el Ing. Eduardo Ramírez ha propuesto otro método de fabricación de mate. El citado estudio describe un modelo simulado de fabricación de mate a base de fibras, así como la corriente de materiales, en las siguientes etapas: corte de las fibras, humectación por inmersión, separación y secado por corriente de aire a presión, deposición y transporte en cintas sinfín, pulverización del agente aglutinante, secado con aire caliente y prensado final en caliente en calandrias. Aunque esta versión parece atractiva, la demostración experimental no resultó tan satisfactoria como se esperaba, por lo que no se ha llegado a una conclusión definitiva con respecto a este proyecto.

ENSAYO EN INSTALACIONES PILOTO

Una vez fabricados los primeros 50 m<sup>2</sup> de mate de fibra natural, se efectuaron ensayos en instalaciones piloto en condiciones de taller, a fin de evaluar el comportamiento del material de refuerzo en la producción de materiales compuestos por métodos tradicionales.

### EMBOBINADO DEL MODULO DE VIVIENDA

Al mismo tiempo que se embobinaban plásticos reforzados con fibra de vidrio, se procedió a embobinar una cinta de fibra natural continua de 25 cm de anchura en torro al molde giratorio y siguiendo una disposición ligeramente helicoidal. La absorción de resina y la resistencia a la tracción de las cintas fueron completamente satisfactorias, pero se observó que éstas no quedaban exactamente solapadas con las cintas posteriores. En el tensado final se aplicó sobre el material de soporte una capa final de fibra de vidrio. Con esto se mejoró considerablemente el conjunto, pero no pudo evitarse por completo que quedaran burbujas de aire ocluidas.

Este inconveniente se debe al deficiente método de prensado utilizado y a la tiesura o rigidez natural de la fibra.

1. Como las cintas continuas fabricadas estuvieron sometidas a repetidas presiones de solape aplicadas por una pequeña prensa de laboratorio con platos de sólo 1' x 1', la cinta presentaba una serie de zonas con uno o dos impactos de presión alternativos de diferente densidad. Estas deformaciones se traducen en una ligera ondulación de la cinta que se acentúa cuando ésta se humedece y se tensa durante el proceso de embobinado. Como el ángulo de embobinado coincide con el ángulo axial de incidencia de la cinta del molde, la tensión se concentra en la línea de contacto y elimina la ondulación en un lado, que en realidad pasa a sumarse a la ondulación del otro lado, haciendo con ello imposible un contacto estrecho con el molde.
2. El reticulado al azar de las fibras sometidas a presión confiere mayor rigidez al material de refuerzo, pero evidentemente a expensas de la flexibilidad. A fin de que las cintas sean más adecuadas para el método de embobinado, puede aumentarse la flexibilidad de varias formas:
  - dando a la fibra una orientación predominantemente longitudinal
  - debilitando el aglutinante
  - reduciendo la anchura de la cinta de 25 cm a 10-12 cm
  - mediante una miniondulación transversal (1-2 mm)

Se recomienda el empleo de un aglutinante soluble con objeto de optimizar la consolidación de las capas sucesivas y el solape de éstas. Con ello se liberará, desde luego, una pequeña cantidad de las tensiones acumuladas en la estructura de la fibra prensada, con lo que la capa tenderá a expandirse, pero este fenómeno puede controlarse eficazmente mediante el embobinado de una capa final de

fibra de vidrio. Aunque esta operación requiere una rigurosa temporización o regulación entre el ciclo de embobinado y la relajación de la fibra natural, una formulación adecuada del aglutinante y el empleo de un equipo de personal calificado permitirá garantizar el éxito de la operación.

#### MOLDEO A MANO

El moldeo a mano, considerado como la técnica más popular de fabricación de laminados de PRV, consiste en consolidar capas sucesivas de fibra de vidrio totalmente impregnadas por una matriz de resina mediante una acción de cepillado y picado. Aunque la misma técnica era adecuada para la fabricación de laminados de PRN a escala de laboratorio, se observó que la laminación resultaba más difícil al aumentar la superficie. Como ya se ha indicado, las tensiones inherentes al material de refuerzo producen una ligera deformación, pero que es suficiente para que no puedan consolidarse sin presión hasta el curado. Aparentemente, esto no tiene importancia crítica cuando se trata de moldes planos, pues es fácil aplicar algún peso sobre ellos, pero cuanto más complicada es la forma del molde tanto más difícil es también la operación de moldeo.

Cuando se emplea un aglutinante soluble, es preciso controlar mediante presión la relajación de las fibras.

Estos ensayos en instalaciones piloto han llevado a la conclusión de que el material reforzado no es especialmente adecuado para el "moldeo por contacto", y que es por tanto necesario desarrollar otra técnica partiendo de sus características predominantes y pensando en la forma de convertir este obstáculo permanente en posibilidades estructurales.

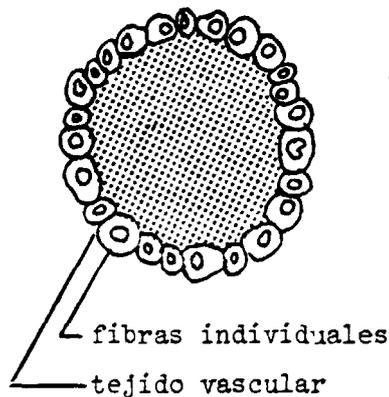
De las observaciones precedentes se desprende que es difícil aplicar una regla general ante los muchos factores que hay que tener presentes al juzgar y determinar el método de fabricación de un producto. Cuando se trata de materiales compuestos no podemos olvidar las consecuencias que puede tener el tratar de sustituir un componente por otro, cada uno de ellos de naturaleza diferente, como la fibra de vidrio y la fibra natural. La fibra de vidrio es un material mineral o inerte caracterizado por propiedades físicas, químicas o mecánicas que le confieren una estructura homogénea.

La fibra natural, por su parte, consiste en una sustancia orgánica que, a través de procesos biológicos, ha llegado a constituir una estructura heterogénea e individualmente organizada con arreglo a un sistema celular general y con un complejo de propiedades o "características".

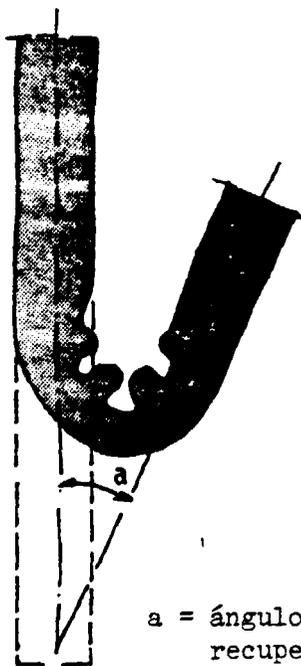
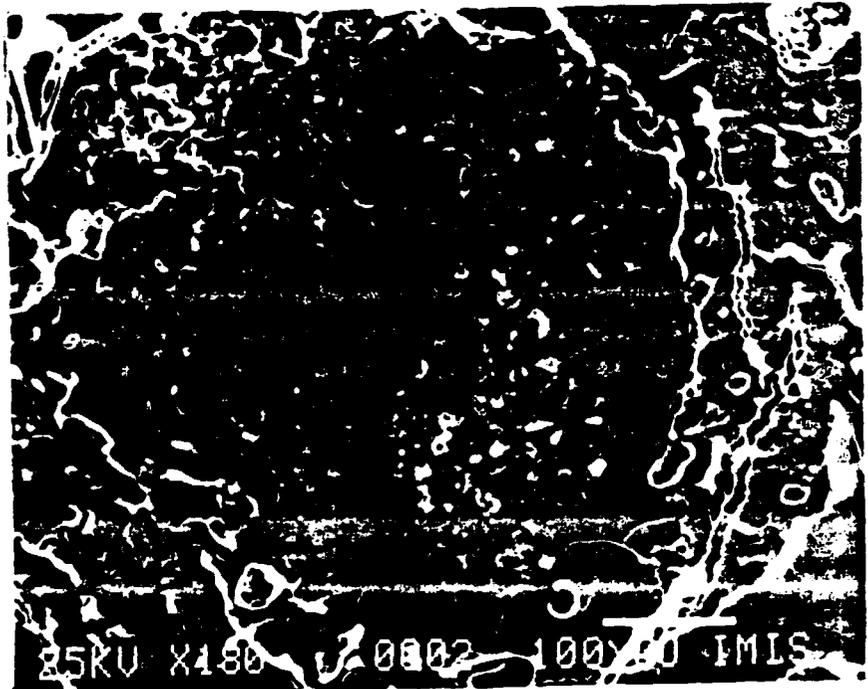
COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL  
DE LAS FIBRAS NATURALES

Estas características de las fibras naturales representan una dificultad si consideramos su sensibilidad a la humedad y el importante impacto de ésta en las propiedades mecánicas. Será conveniente examinar su comportamiento en ambas condiciones (seca y húmeda) y proceder a una extrapolación con arreglo a los distintos métodos de trabajo y a las necesidades estructurales.

1. Pese a su gran tiesura o rigidez, la fibra natural seca puede doblarse a  $180^{\circ}$  sin que se rompa. Si se le somete entonces a una ligera presión entre el pulgar y el índice, se obtiene un ángulo agudo con una abertura difícilmente visible. Si se suelta la fibra, ésta recupera una elasticidad de aproximadamente  $15^{\circ}$ , manteniendo esta posición indefinidamente. Estirada entonces hasta su rotura, se observó que ésta rara vez se produce por el punto de flexión. En otras palabras, la operación de doblado no perjudica a la resistencia mecánica de la fibra. Después de ensayar cierto número de tipos de fibras, este comportamiento parece inherente a todas las fibras del género Yucca y Agave, si bien menos acusado en las del género Agave. La fibra de coco tiende a comportarse como la de Agave.



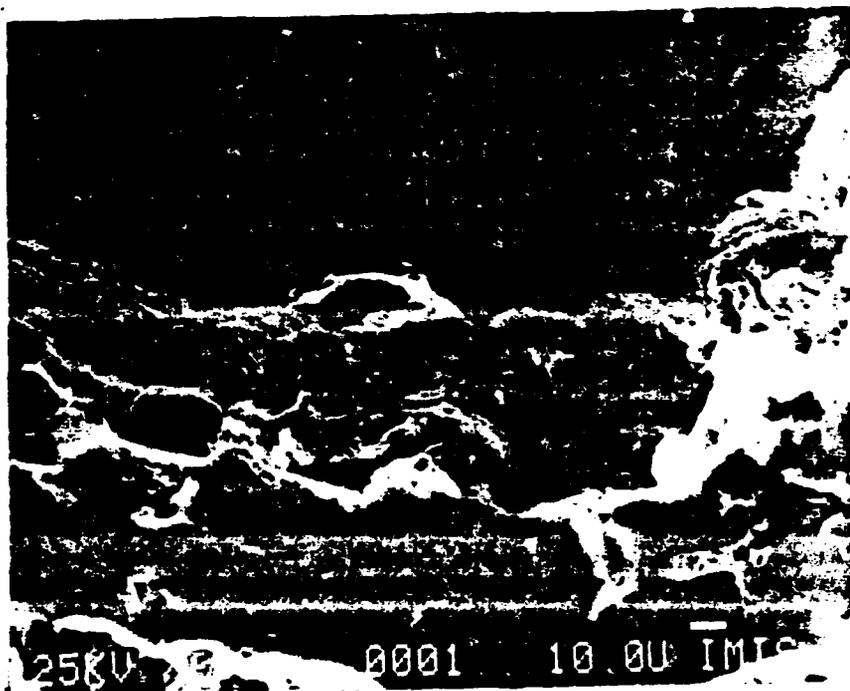
A fin de observar el mecanismo a escala morfológica, se prepararon muestras de fibras individuales y secciones transversales de hojas partidas, procediéndose a la evaporación de carbón en vacío para su examen con microscopio electrónico.



a = ángulo de  
recuperación  
de elasticidad

Esta fotografía muestra la sección transversal de la fibra de lechuguilla a 150 aumentos. El núcleo central del tejido vascular está rodeado de células de fibras individuales dispuestas tubularmente, de aproximadamente 2-3 mm de longitud y terminadas en punta.

Su diámetro medio es de 0,016 mm y el diámetro de su prominente lumen mide casi lo mismo que el espesor de su pared.



Esta segunda fotografía muestra en detalle el lado de compresión de la lechuguilla, con la fibra en posición relajada tras haber sido doblada a  $180^{\circ}$ . Debido al escaso alargamiento a la rotura (3%), el lado de tensión de la fibra transfiere la carga al lado de compresión. En esta foto puede verse cómo las fibras individuales rehuyen la carga en una disposición ondulada específica, siendo absorbida la energía de carga simplemente por el tejido del núcleo. Este fenómeno explica el pequeño ángulo de "recuperación de flexibilidad" de la fibra después de haber sido doblada.

2. La absorción de humedad se produce por las condiciones ambientales o por operaciones de pulverización, aspersión o vaporización. Después de humectadas, muestran casi instantáneamente otra característica.
  - La resistencia a la tracción disminuye aproximadamente en un 15 o un 20%.
  - Al aumentar la humedad aumenta también el hinchamiento. Aunque el hinchamiento en sentido axial es insignificante, llega a ser de hasta el 5 o el 10% en la sección transversal.
  - La humectación tiene en las fibras un efecto de adhesión, lo cual crea cierta coherencia cuando se empaquetan al azar o bidireccionalmente.
  - La humedad produce una debilidad general de la fibra, que pierde gran parte de su rigidez y de su tendencia a recobrar su forma primitiva.

Al considerar las características de la fibra natural en ambas condiciones cabe concluir lo siguiente:

1. Las fibras naturales combinan las propiedades de rigidez y flexibilidad de una manera bastante peculiar. Esta característica hace que se diferencien por completo de la fibra de vidrio y del material sólido que constituye el tejido leñoso de la madera.
2. El cambio de sus propiedades físicas y mecánicas del estado seco al estado húmedo, o viceversa, brinda nuevas posibilidades a los métodos de producción y se presta al siguiente enfoque.

#### PRENSADO TRIDIMENSIONAL

Se ha observado, en la producción de mate de fibra, que el aglutinante de PVAlc tiene algunos efectos secundarios en el comportamiento físico de las fibras humedecidas; en primer lugar, actúa como lubricante, lo que hace que las fibras se deslicen fácilmente, y en segundo lugar aumenta la adhesión entre ellas, haciendo con ello más coherente la masa de fibras. Estos hallazgos plantearon la cuestión de hasta qué punto este factor específico podría contribuir a la posibilidad del moldeo tridimensional. En realidad, si se pudiera incorporar la tercera dimensión en la misma operación de prensado, debido a las características específicas del mate de fibra, éste podría ser un primer paso para reconsiderar toda la tecnología de la fibra natural.

En este sentido se ha hecho un primer intento mediante la construcción de un molde de madera cerrado de 30 x 30 cm (dimensión máxima de los platos) con relieve unidireccional en ángulos de 45° (figura 1). Se ha utilizado un mate normal de fibras naturales dispuestas al azar de 450 gr/m<sup>2</sup> a una presión de 10 kg/cm y a una temperatura de 110°C. Los resultados fueron sorprendentemente buenos, observándose una textura homogénea debida a la excelente "fluidez de moldeo" del material. En un paso siguiente se aumentó el relieve mediante ángulos de 80°, con idénticos resultados (figura 2).

En vista de esta valiosa propiedad, se ha programado una serie de experimentos progresivos a fin de determinar el límite de esta característica (figuras 3-6), pero parece ser que sus posibilidades son virtualmente ilimitadas. Las fibras permiten una perfecta fluidez para la obtención de productos pequeños y de formas complicadas, pero el mate puede elaborarse manualmente en grandes formas y con

notable relieve. También se ha demostrado la viabilidad de pequeños rebordes con ángulos de  $90^{\circ}$ , lo que permite un mejor acabado de los productos de moldeo y una unión estética de los componentes.

SUSTITUCION DE LA  
FIBRA DE VIDRIO POR  
LA FIBRA NATURAL

Los métodos tradicionales de fabricación de plásticos reforzados con fibra de vidrio (PRV) son: moldeo manual, proyección de fibras y moldeo con saco elástico y vacío como métodos de contacto, y procedimiento de desarrollo de hilos, colada continua, prensado en un molde de dos piezas, inyección de resina y extrusión como moldeo a máquina.

A continuación se examinan por separado las consecuencias de la sustitución de la fibra de vidrio por la fibra natural mediante estas técnicas tradicionales.

Laminación manual

La ventaja de la laminación manual con fibra de vidrio es que no se requiere presión alguna durante dicha operación, denominada "método de contacto" por requerirse para el proceso un molde sencillo o superficie de contacto.

Las fibras naturales no son en cambio apropiadas para este fin, pues es necesario aplicar presión para lograr una consolidación adecuada. (Ensayos en instalaciones piloto.)

Proyección de fibras

Consiste esta operación en la deposición simultánea, mediante equipo de proyección, de resina de poliéster y de fibras cortadas procedentes de hilos continuos. Como las fibras naturales no son continuas, no pueden utilizarse con el citado equipo.

Arrollamiento de hilos o de cintas

El arrollamiento de fibra de cinta natural fue ensayado en instalaciones piloto mediante el sistema Patfoort, y ha sido ampliamente discutido en anteriores ocasiones. La experiencia demuestra que este proceso es viable si se mejora la cinta. A este respecto, probablemente sea lo más indicado utilizar cintas con un aglutinante soluble y de acción controlada. De esta forma, el mate de fibra natural puede insertarse entre dos capas de fibra de vidrio, en cuyo caso la capa superior ejerce la presión necesaria para controlar la expansión de la capa intermedia. Del mismo modo, puede obtenerse un laminado del espesor necesario a base de capas alternadas de fibra de vidrio y de fibra natural.

### Prensado en un molde de dos piezas

Para la elaboración de productos de PRV de tamaño pequeño y mediano se ha optado por el prensado en un molde de dos piezas porque constituye el método más económico para la producción en grandes cantidades y con tolerancias muy pequeñas. A veces, este proceso viene aconsejado por razones de otra índole, como la necesidad de un control exacto del espesor, de asegurar una gran calidad y características constantes, así como el requisito de que ambas hojas exteriores sean lisas. La elección entre el moldeo en frío por prensado o el moldeo en caliente por prensado dependerá de consideraciones económicas y de la flexibilidad de las series de producción. Como la fibra de vidrio tiene una fluidez de moldeo muy limitada, durante muchos años se ha recurrido a varias soluciones alternativas, tales como : prensado con mates o preformas (refuerzo preparado por separado en forma aproximada), polvos de moldeo por prensado preparados (en forma pastosa) o prensado con polvos de moldeo preparados (mezcla pastosa de fibra y de resina), polvo de moldeo por prensado fibroso preparado o vidrio textil preimpregnado (prepreg) (fibra de vidrio, cargas y resina catalizada insertadas entre dos capas de película de PE).

Evidentemente, estos métodos son bastante complicados o costosos, o ambas cosas. El mate de fibra natural aplicado por el método actual resulta más práctico y económico. El mismo molde de dos piezas puede utilizarse tanto para el premoldeo del refuerzo como para el moldeo final del producto. Aunque esta aplicación de la fibra natural representa un importante potencial económico, su empleo en materiales de construcción será bastante reducido a causa del limitado tamaño de los productos acabados.

### Moldeo con saco elástico y vacío

Los métodos de contacto y de moldeo a presión pueden proporcionar algunas ventajas si se aplican técnicas de presión en vacío utilizando para ello un molde sencillo rígido con una hoja flexible, que en condiciones de presión o vacío sigue el contorno del molde rígido y permite una distribución por igual de la carga sobre el laminado. Esta hoja sustituye, con gran ventaja económica, a la parte hermana o casada de un molde cerrado, y crea condiciones adecuadas para el empleo de fibras naturales en productos de gran tamaño.

### Inyección de resina

La inyección de resina se ha desarrollado satisfactoriamente en los últimos 10 años como método de fabricación industrial de productos de tamaño mediano y grande capaces de satisfacer requisitos rigurosos en cuanto a calidad, aspecto estético, estabilidad dimensional y ciclos de funcionamiento.

Este método no requiere personal muy calificado, y el equipo de inyección es relativamente barato (20.000 dólares de los EE.UU.).

El proceso de inyección se realiza a la temperatura ambiente, y consiste en inyectar a presión una resina reactiva en un molde cerrado que contiene el material de refuerzo. La resina se inyecta en la cavidad a razón de 0,5 - 3 kg/min. Las presiones de moldeo son del orden de 1 a 4 atmósferas, y de ordinario se emplea un sistema de dos acumuladores o un sistema de inyección catalizada. En realidad, pueden efectuarse inyectadas de hasta 120 kg.

Esta tecnología es especialmente adecuada para la obtención de componentes de construcción integrales, aparte de que la fibra natural resulta económica y facilita la operación. El refuerzo puede conformarse previamente con arreglo al diseño del molde.

#### Colada centrífuga

Este proceso se emplea para moldear tubos, tuberías y cilindros de hasta 5 m  $\phi$ . En el mandril hueco se depositan fibras cortadas o mate de fibra, que se impregnan con resinas catalizadas. El mandril se hace girar y se calienta hasta el curado de la resina, consolidando el laminado la fuerza centrífuga. Si pudiera utilizarse mate de fibra natural con un aglutinante soluble, parece probable que la presión de la fuerza de rotación compensaría la tendencia a la relajación del material de refuerzo, pues puede controlarse por completo gracias a la velocidad de la rotación. Un factor positivo a este respecto es que la densidad de la resina de poliéster y de la fibra natural son casi iguales, lo que tiende a establecer un equilibrio cuando se hallan sometidas a una fuerza centrífuga.

#### Extrusión y "pultrusión"

Las fibras continuas impregnadas con resina pueden extruirse o "pultruirse" (extrusión horizontal) a través de matrices calentadas para obtener varillas de considerable longitud. Evidentemente, las fibras naturales bastas y discontinuas no son muy adecuadas para este fin.

#### TECNOLOGIA MIXTA

El mate de fibra de vidrio no es muy fácil de impregnar, y esto sólo puede conseguirse mediante un intenso picado a cepillo y/o una acción de rodadura, gracias a lo cual las fibras en haz pueden desplazarse desde su posición cerrada y humectarse por completo. Por esta razón, el mate de fibra de vidrio rara vez rebasa los 500 gr/m<sup>2</sup>.

#### TECNOLOGIA APROPIADA

Contrariamente a como ocurre con la fibra de vidrio, el mate de fibra natural obtenido mediante prensado adquiere una estructura de espacios cerrados y vacíos bien definidos. Desde luego, la impregnación con resina puede efectuarse ahora fácilmente mediante cepillo, por pulverización o por inmersión del material de refuerzo en una capa de 3 a 4 mm de espesor (1,5-2 kg/m<sup>2</sup>).

Es claro que este aspecto peculiar no puede justificar ya el laminado en varias capas propio de las técnicas utilizadas con la fibra de vidrio, pues una capa sencilla del espesor requerido puede impregnarse adecuadamente en una sola operación. Por tanto, ya no se requieren moldes para dar rigidez al material de refuerzo (especialmente cuando es de forma tridimensional). Por ser la estructura más "abierta", se recomienda la adición de cargas o de agentes tixotrópicos.

- Puede aplicarse al lado expuesto un mejor revestimiento de protección contra la intemperie, tal como una capa adicional de vidrio, mediante el procedimiento de laminado manual o de proyección de fibras, aplicando después una capa final de acabado.
- Pueden desarrollarse tecnologías alternativas con materiales base diferentes, tales como yeso, cemento y otros materiales de construcción comunes mejorados.

Hasta ahora, se ha evaluado la fibra natural desde el punto de vista de su potencial como sustituto de la fibra de vidrio en los materiales compuestos. Aunque se ha comprobado que esa sustitución es económica y técnicamente viable, no se puede ignorar que esa posibilidad de sustitución sólo se refiere a propiedades limitadas, y que dicha evaluación no permite conocer el "comportamiento individual" de la fibra natural, y menos aún su comportamiento en otros compuestos. Es preciso tener en cuenta que las resinas de poliéster han sido desarrolladas y mejoradas a lo largo de varios decenios como material base específico para la fibra de vidrio, por lo que indudablemente sería una coincidencia que el mismo material base fuera el más adecuado para la fibra natural.

En materiales anteriores, que cabría calificarse de "reforzados", se utilizaban pequeñas cantidades de fibra para subsanar los defectos más importantes de una matriz o material base débil y quebradizo. En los materiales más modernos, la función de esa matriz consiste simplemente en encolar juntas cierto número de fibras fuertes, empleándose como constituyente débil la menor cantidad posible de la matriz, lo que no obsta para que se consiga una eficaz aglutinación de las fibras. Tales materiales podrían denominarse con mayor exactitud "materiales de fibras aglutinadas". En realidad, actualmente se les suele llamar "compuestos de fibras".

Como el poliéster, en una proporción normal con respecto al refuerzo de fibra natural, representa aproximadamente el 70% del costo de la materia prima y sólo contribuye a la aglutinación de las fibras, y dado que existen en el comercio materiales impermeables de bajo costo, sería conveniente considerar los requisitos de protección y los requisitos estructurales como objetivos distintos.

1. Las capas de película y las hojas de plástico, tales como las de polietileno, cloruro de polivinilo, las acrílicas, las de caucho de isobutileno-isopreno, entre otras muchas, son muy utilizadas en los materiales compuestos. Además, las propiedades plásticas de las piezas moldeadas reforzadas con fibra natural pueden mejorarse ahora con el empleo de otros materiales termoplásticos mediante técnicas de presión o de conformado por vacío, lo que posibilita un amplio espectro de nuevos materiales compuestos que serán objeto de ulterior investigación.
2. El poliéster será sustituido por termoestables más apropiados, como la urea, el fenol, la melamina y el recorcinol formaldehído, en una proporción del 7 al 10% en peso y a una presión de 15 a 25 kg/m<sup>2</sup>. De acuerdo con las propiedades físicas y mecánicas de las fibras naturales, podrá diseñarse una serie de nuevos materiales de construcción:
  - La hoja continua de 0,5-1 mm, de textura atractiva y aspecto natural, sustituirá a la chapa de madera y a toda clase de materiales de revestimiento.
  - Las piezas moldeadas de 1 a 2 mm de espesor serán adecuadas para envases ligeros, mamparas translúcidas y autosostenidas, recubrimientos, persianas, y cielo raso acústico, así como para un ilimitado número de artículos que hayan de satisfacer rigurosos requisitos acústicos y térmicos y proporcionar comodidad visual.
  - Los materiales tridimensionales de 3 a 6 mm de espesor se utilizarán comúnmente para pavimentos elevados, techos, tabiques, revestimientos externos, envasado industrial, artículos de ferretería, elementos estructurales, casas prefabricadas, cobertizos industriales y medios de almacenaje.

La protección contra la intemperie puede lograrse mediante tejamaniles, cubiertas laminares o de membrana, o revestimientos impermeables consolidados.

Los problemas observados durante la realización del proyecto son simplemente de tipo administrativo.

1. Los retrasos de carácter administrativo ocurridos entre el período de 6 meses que comprendía la misión inicial del experto y las tres prórrogas sucesivas de seis meses cada una (24 meses en total) han dado lugar a una discontinuidad en la planificación y programación que ha afectado a la sincronización de la mano de obra, de los materiales y de los recursos financieros disponibles.

2. La división del proyecto en 4 actividades con arreglo a las distintas disciplinas pudo haber constituido una excelente oportunidad de integración interdisciplinaria, como cabe esperar de la nueva ciencia de los materiales, pero una rígida gestión y una planificación independiente sólo han contribuido a la divergencia de los distintos niveles de investigación.

Aunque en el informe intermedio presentado por el experto en 1980 se sugirió que se estructuraran las actividades del proyecto mediante una programación coordinada y sesiones de trabajo internas, tal sugerencia no ha sido tomada suficientemente en consideración.

## CONCLUSIONES

### 1. Producción y comercialización de mate de fibra

El progreso fundamental conseguido mediante la fabricación de mate de fibra natural a escala piloto permite nuevas estrategias tecnológicas y comerciales.

La transferencia de "know-how" al país comprenderá la extracción y el cardado de la fibra y la producción de mate comercial, con el consiguiente aumento del ingreso local y la creación de nuevas oportunidades de empleo, en cuyo caso la mujer podría desempeñar un papel central. Las estructuras de cooperación existentes serán útiles para este fin. El proceso no requiere inversiones adicionales, pero no se excluye del mismo la posibilidad de emplear pequeñas prensas manuales para fabricar artículos de uso doméstico atractivos.

La mayor parte del mate comercial se transformará en materiales de construcción y en componentes estructurales obtenidos en plantas industriales o mediante la revitalización de estructuras existentes y el reciclaje de residuos de otros tejidos.

### 2. Sustitución de la fibra de vidrio por fibra natural en la fabricación de materiales compuestos

#### Consideraciones técnicas:

Ensayos de laboratorio y en instalaciones piloto han demostrado de manera concluyente que la fibra natural es sumamente adecuada para la fabricación de materiales compuestos en forma prensada (no tejidos); los materiales no tejidos son más económicos que los tejidos de urdimbre y trama, no dañan las propiedades mecánicas de la fibra y no originan desechos. Es necesario aplicar presión para lograr una elevada densidad o resistencia concentrada. Esta operación se efectúa a baja presión (5-10 kg/cm<sup>2</sup>) y a baja temperatura (110-120°C) mediante moldes planos o tridimensionales.

Evidentemente, el prensado limita en forma considerable el tamaño de los tejidos. Las prensas normales de hasta 4' x 8' (1,22 x 2,44 m) no requieren grandes inversiones,

pero si se precisan platos de prensar extra grandes, el volumen de inversión se multiplicará y la fabricación de productos de mayor tamaño entrañará por otra parte series de producción más reducidas. Cabe señalar la diferencia esencial respecto de las técnicas relativas a la fibra de vidrio, que no requieren el empleo de presión y son más adecuadas, por tanto, para la fabricación de productos de gran tamaño, como cascos de embarcaciones, tanques de almacenamiento y estructuras laminares. De todos modos, esta limitación no es de importancia capital y ofrece por su parte más posibilidades en cuanto a la fabricación de componentes de construcción comunes y atractivos para la construcción, en gran escala, de viviendas de bajo costo.

Consideraciones económicas:

Lamentablemente, las fibras naturales no son tan baratas como sería de desear. La materia prima viene a costar actualmente un dólar por kg, a lo que hay que añadir alrededor de 0,50 dólares por kg para la producción del mate final, ya sea en forma plana o tridimensional. Esto significa que la fibra natural es más cara que la madera o el acero, pero la mitad de costosa que la fibra de vidrio. A continuación se determinarán las repercusiones que la sustitución de la fibra de vidrio por la fibra natural puede tener en los costos del producto final en el caso de cuatro laminados importantes, a razón de 1,50 dólares el kg de mate de fibra natural, 2 dólares el kg de resina de poliéster y 3 dólares el kg de mate de fibra de vidrio dispuesta al azar; se trata de precios corrientes, y la mano de obra equivale al 100% del costo de la materia prima. En todos los casos los cálculos se basan en una relación de 1 a 2,5 entre la fibra y la resina y en un mate normal de 450 gr/m<sup>2</sup>.

- A) 4 capas de mate de vidrio
- B) 2 capas de mate de vidrio y 2 capas de mate de fibra natural
- C) 4 capas de mate de fibra natural
- D) 2 capas de mate de vidrio y 2 capas de mate de fibra natural, una de ellas plana y la otra tridimensional

	Costo de la fibra natural	Costo de la fibra de vidrio	Costo de la resina	Costo de la materia prima	Costo de la mano de obra por m <sup>2</sup>	Costo total del m <sup>2</sup>
(En dólares)						
A)	-	5,4	9	14.40	14.40	28.80
B)	1.35	2.7	9	13.03	14.40	27.45
C)	2.70	-	9	11.70	14.40	26.10
D)	1.35	2.7	9	13.05	14.40	27.45

Como puede verse fácilmente, las repercusiones económicas de la fibra natural en la elaboración tradicional de capas es prácticamente insignificante. Sin embargo, en el caso del punto D), las características estructurales son diferentes debido a la cavidad de la capa tridimensional, que aumenta varias veces la rigidez del laminado, lo que representa una respetable economía estructural. En realidad, el módulo de elasticidad del plástico reforzado con fibra de vidrio resulta muy bajo comparado con el del acero suave. Para compensar esta eficiencia, puede aumentarse el espesor (la rigidez aumenta con el cubo del espesor), lo que entraña costos y peso adicionales, o insertarse una capa intermedia de baja densidad, con los consiguientes costos extras, pero esto supone complicaciones en el caso de curvaturas sencillas o dobles.

Debido a sus ventajas estructurales y a su flexibilidad al ser flexionada en curvatura doble, cabe afirmar que la fibra natural representa un nuevo complemento económico de las estructuras de plástico reforzado con fibra de vidrio, resultando especialmente interesante para la construcción de cascos de embarcaciones.

### 3. Las fibras naturales como tipo peculiar de madera

Aunque las fibras naturales tienen la misma composición química que el material sólido que constituye el tejido leñoso de la madera, difieren notablemente de ésta en cuanto a propiedades físicas y mecánicas.

- Mientras que el curado de la madera es una cuestión de años, la fibra natural, debido a su gran superficie específica, puede secarse en unas horas y estar ya disponible para su utilización. La misma propiedad permite su impregnación total por agentes químicos para mejorar su protección contra las termitas y contra el deterioro así como su ignifugación. Contrariamente a como ocurre con la madera, que ha de rebanarse de troncos cilíndricos para su transformación en secciones transversales cuadradas o rectangulares, la fibra natural se forma o compone de filamentos y pasa a integrarse en los productos finales.
- Una excepcional característica de la fibra natural es su gran resistencia a la tracción, aproximadamente 6 ó 7 veces superior a la de la madera. Esto se comprende si se tiene en cuenta la notable función de resistencia que ha de desempeñar en la materia vegetal reforzada, mientras que la función de la madera es la de soportar cargas de compresión y de tracción. En vista de ello, no cabe esperar demasiado del comportamiento a la compresión, por lo que el material aglutinante deberá concebirse para tal fin.

- La fluidez de moldeo es una cualidad bastante excepcional, pero altamente apreciada, en los materiales de refuerzo, al dotarles, en sentido literal y figurado, de la tercera dimensión. Como la madera y los plásticos reforzados con fibra de vidrio, entre muchos otros materiales, se caracterizan por su falta de rigidez (bajo módulo de elasticidad) la fluidez de moldeo de la fibra natural reduce este problema al diseño tridimensional.

Evidentemente, estas cualidades estructurales contribuyen de manera importante a su óptima economía para su empleo en materiales de construcción.

#### 4. El Sistema Patfoort de construcción de viviendas

La transformación de una estructura mixta en una estructura de tensión específica ha hecho del módulo de vivienda Patfoort un elemento excepcional, por sus características estructurales y económicas, para la construcción de viviendas baratas mediante tecnología apropiada.

Con una modulación de 4,00 x 4,00 m, el peso del módulo sólo es de 250 kg (es decir, 15,62 kg/m<sup>2</sup>), mientras que en el caso de los plásticos reforzados con fibra de vidrio (PRV) obtenidos por técnicas tradicionales el peso por m<sup>2</sup> varía entre 40 y 50 kg/m<sup>2</sup>.

En virtud de esta característica, los compuestos de fibra natural hacen extensiva esta economía al acabado del módulo, que comprende las fachadas, las paredes divisorias, el suelo elevado, unidades de baño y cocina y muebles incorporados, y que representa casi un 50% del costo total de la vivienda.

Puede decirse, en resumen, que por razones técnicas y económicas, los compuestos de fibra natural no son especialmente adecuados para técnicas de producción de PRV, salvo para la inyección y el prensado en un molde de dos piezas, en cuyo caso resultan muy ventajosas sus posibilidades de prensado con preformas. Es preciso señalar que, en condiciones climáticas adversas, las capas de fibra natural incorporadas a un laminado compuesto constituyen un factor de riesgo para la duración del material.

Por otra parte, los compuestos de fibra natural elaborados a base de tecnología apropiada cumplen la función de una madera de diseño barata de gran rendimiento, y cabe afirmar que este material nuevo viene a llenar la laguna existente entre los plásticos y la madera como materiales de construcción.

## 5. RECOMENDACIONES

### 1. Continuación del proyecto

Al igual que muchos otros países en desarrollo, México se enfrenta con un déficit de viviendas manifiestamente en crecimiento, y que en su caso se calcula en aproximadamente 3 ó 4 millones de viviendas, situación que no puede por menos que originar muchas frustraciones sociales.

La falta de tecnologías alternativas crea una demanda de materiales de gran intensidad de energía, como ladrillos, cemento y acero de construcción, que no es posible satisfacer. Aparte de los inconvenientes de estas industrias desde un punto de vista ecológico, también constituyen obstáculos permanentes para el desarrollo de la industria de la construcción, son objeto de especulación, se hallan a merced de la inflación y contribuyen a aumentar visiblemente la diferencia entre los bajos ingresos y los costos de construcción.

Por fortuna, México dispone de un potencial de recursos renovables, como las fibras naturales, y de una industria petroquímica en desarrollo. Dada la experiencia actual, sus posibilidades de combinación parecen particularmente prometedoras y contribuirán a propagar los beneficios de los recursos de petróleo.

Teniendo en cuenta la magnitud de los aspectos sociales, económicos y técnicos interrelacionados y los requisitos de construcción, es obvio que el logro de estos objetivos sólo puede resultar económicamente eficiente mediante un enfoque global, en lugar de una serie de esfuerzos parciales. A tal fin, un programa a largo plazo permitirá lograr la eficiencia económica de la explotación de la fibra y la estabilización del mercado mediante el desarrollo de nuevos productos. Los medios científicos muestran en general una marcada tendencia a considerar la ciencia de los materiales como monopolio de la ingeniería de laboratorio, lo que indudablemente entrafía el riesgo de la abstracción científica.

En este sentido, para la continuación del proyecto se procederá a una programación interdisciplinaria de los respectivos niveles de investigación.

### Eficiencia en la producción de fibras

El estancamiento de la tecnología de desfibrado o extracción de fibras durante los últimos siglos hace que esta industria no sea competitiva ni en el mercado nacional ni en los mercados internacionales, y favorece en consecuencia su gradual extinción. Evidentemente, el desarrollo de productos en tales condiciones está condenado al fracaso.

Es necesaria una prospección adicional para promover una nueva característica económica de la eficiencia de la producción mediante las siguientes etapas sucesivas:

- Estudio de plantas productoras de fibras y estimación de sus posibilidades de suministro de materias primas comerciales y no comerciales.
- Mejora de métodos de extracción mecánica e investigación de posibilidades de extracción biológica y química.
- Posibilidades de reciclar pulpa de hoja.
- Repercusiones sociales y económicas de los procesos combinados de extracción de fibra y de producción de mate de fibra sobre el terreno.
- Experiencia de planta piloto sobre el terreno y establecimiento de códigos de calidad.
- Viabilidad de aumentar la producción de fibras por medio de ecosistemas.

#### Investigaciones de laboratorio

Como las fibras naturales no son especialmente adecuadas para las técnicas de producción de PRV, excepto para inyección y prensado en un molde de dos piezas, se recomienda el desarrollo de tecnología apropiada y que se separen a tal fin los requisitos estructurales de los requisitos de protección, con lo cual se excluirán factores de riesgo y se acelerará la transferencia de tecnología a la industria.

- Los requisitos estructurales comprenderán las características económicas y mecánicas óptimas de los compuestos en función de la orientación de las fibras, los materiales aglutinantes, la aglutinación interfacial y la mejor protección contra las termitas y el deterioro, así como una mejor ignifugación.
- Los requisitos de protección comprenden medios de protección consolidados, tales como hoja continua y capas de película de plástico obtenidas mediante conformación por vacío o técnicas de prensado de termoplásticos y termoendurecibles comercialmente disponibles.

Las técnicas mixtas dependerán del desarrollo de una nueva matriz de materiales convencionales y no convencionales.

#### Desarrollo tecnológico de productos

La exportación de fibras naturales como materia prima, de acuerdo con la tradición colonial y poscolonial, contribuye a mantener artificialmente una política de bajos costos, con los consiguientes subsidios.

Es obvio que mientras la fibra natural sea considerada como material "barato" o "polivalente" no se creará necesario economizarlo, pero si se tiene en cuenta que a igualdad de peso resulta tan cara como la madera y el acero suave, se comprenderá entonces la necesidad de un cambio de actitud.

La experiencia actual ha demostrado concluyentemente que la fibra natural es un material de alto rendimiento que puede ser convertido en productos acabados mediante un diseño apropiado. Esto significa que el avance definitivo en materia de compuestos de fibras naturales dependerá de su concepción estructural en función de las necesidades de construcción. A este fin, se sugiere un programa de tres etapas con objeto de lograr un desarrollo gradual de productos diseñados y su paralela introducción en el mercado de la construcción.

- Desarrollo de materiales más económicos sustitutivos de los tableros de madera aglomerada, madera terciada y chapa de madera, moldeados, de peso ligero y por lo común de un tamaño normalizado de 4" x 8" (1,22 x 2,44 m).
- Diseño de productos acabados como componentes de construcción: puertas, paredes divisorias, revestimientos exteriores, suelos y cubiertas o techumbres.
- Diseño de elementos estructurales integrales para estructuras tridimensionales, estructuras laminares y viviendas a base de elementos prefabricados.

Para esto se requiere una prensa normal cuyas dimensiones permitan efectuar ensayos sobre modelo de tamaño natural.

## 2. Proyecto de demostración permanente de módulos de viviendas

La realización de un proyecto de demostración permanente fue propuesta por el Dr. Campos, Director del CIQA, en su carta del 26 de septiembre de 1981 (anexo V). Este programa entraña la disponibilidad de materiales, moldes y personal capacitado para la integración de 10 módulos de viviendas en la infraestructura del nuevo complejo de viviendas del Centro que actualmente se está ampliando.

El proyecto de propuesta fue presentado el 23 de septiembre de 1981 (anexo VII), y el boceto del proyecto se discutió con el Dr. Campos el 9 de noviembre de 1981.

## 3. Otras aplicaciones de estructuras tensadas derivadas del sistema Patfoort de construcción de viviendas

La economía y la versatilidad de las estructuras tensadas han sido satisfactoriamente demostradas en la construcción de tanques de almacenamiento experimentales. Se recomienda la construcción de un tanque de almacenamiento de tamaño natural de 100 m<sup>3</sup> con arreglo al programa nacional de almacenamiento (SAM), y su ensayo sobre el terreno en distintas condiciones climatológicas, a fin de poder establecer códigos de diseño y de calidad. Es obvio que esta tecnología innovadora también puede aplicarse a la construcción de techumbres, cubiertas de abrigo y toda clase de construcciones móviles para la edificación de casas de bajo costo.

4. Fortalecimiento estructural e información  
sobre experiencias y resultados

En relación con las recomendaciones formuladas en el seminario sobre materiales compuestos organizado por la ONUDI para países de América Latina y del Caribe, celebrado en Guayaquil (Ecuador) en noviembre de 1979, y en el que se recomendó vivamente un intercambio interregional e internacional de información y de experiencia sobre el tema de los recursos naturales renovables y sus aplicaciones en materiales compuestos, y en lo tocante a la experiencia actual y a las proporciones de su integración en la industria, se recomienda que se fortalezcan las estructuras actuales mediante un programa a largo plazo y una intensa colaboración nacional e internacional.



