

24.31

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE  
MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES ADHESIVAS  
DE LA LIGNINA

TESIS MANCOMUNADA  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO

PRESENTAN:

MAURO ALBERTO GARCIA MARTINEZ  
JOSE VICTOR TAPIA GUZMAN

1987



## **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 está 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.

# I N D I C E

	Pág.
CAPITULO I	1
INTRODUCCION	1
CAPITULO II	5
ANTECEDENTES	5
II.1 Antecedentes generales de la lignina.	5
II.1.1 Estructura y composición química de la lignina.	6
II.1.2 Formulación de la lignina	7
II.1.3 Usos generales.	8
II.2 Teoría de adhesión	10
II.2.1 Aplicación y colocación	11
II.2.1.1 Enfriamiento de un termoplástico.	13
II.2.1.2 Eliminación de disolventes o vehículos	13
II.2.1.3 Polimerización in situ.	13
II.2.1.4 Adhesivos sensibles a la presión.	14
II.2.2 Clasificación de los adhesivos de acuerdo a su origen.	15
II.2.3 Unión del adhesivo al adherente	15
II.3 Mecanismo propuesto de polimerización de la lignina.	16
II.3.1 Polímeros y polimerización	18
II.3.1.1 Polimerización por condensación	19
II.3.1.2 Polimerización en medio ácido	21
II.3.1.3 Polimerización en medio básico	25

	Pág.	
II.4	Propiedades químicas de los reactivos.	25
II.4.1	Hexametilentetrasamina.	25
II.4.2	Acido adípico.	26
II.4.3	Catalizadores.	27
<b>CAPITULO III</b>		<b>29</b>
<b>EXPERIMENTAL.</b>		<b>29</b>
III.1	Materias primas.	29
III.1.1	Análisis de Espectroscopía al Infrarrojo.	29
III.1.2	Análisis térmico diferencial	29
III.1.3	Método estándar de análisis cuantitativo.	30
III.2	Obtención de los tableros aglomerados.	31
III.3	Resistencia a la flexión.	33
III.4.	Absorción de agua.	34
<b>CAPITULO IV.</b>		<b>35</b>
<b>RESULTADOS.</b>		<b>35</b>
IV.1	Mecanismo propuesto para la polimerización de la lignina.	35
IV.1.1	Mecanismo de reacción de la polimerización de la lignina con fomaldehido y ácido adípico.	41
IV.2	Pruebas mecánicas.	50
IV.2.1	Prueba de resistencia a la flexión.	50
IV.3	Otras pruebas.	51
IV.3.1	Absorción de agua.	51
IV.3.2	Análisis térmico diferencial.	58

	Pág.
<b>CAPITULO V</b>	<b>60</b>
<b>ESTUDIO DE MERCADO</b>	<b>60</b>
<b>CAPITULO VI</b>	<b>67</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>67</b>
<b>APENDICE</b>	<b>72</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>95</b>

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

El presente trabajo es la continuación de una serie de estudios tendientes al aprovechamiento del bagazo de caña y del aserrín de madera de la fabricación de tableros aglomerados, por un procedimiento que no requiere usar resinas sintéticas.

El bagazo de caña es un subproducto de la industria azucarera, alguna parte de ésta se utiliza en la fabricación de papel y en otras ocasiones como combustible.

El aserrín de madera es un desecho de la industria maderera, mueblera, de los aserraderos, también se emplea en la elaboración del papel, pero aún no es aprovechado totalmente.

En los procesos de fabricación de tableros aglomerados, el uso de resinas sintéticas es un factor fundamental para el aglutinamiento de las partículas, de hecho actualmente todos los tableros aglomerados están hechos con dichas resinas, las que aportan aproximadamente de un 40% a un 60% del costo total del producto.

La búsqueda de alternativas de proceso se ha orientado a minimizar los costos de fabricación mediante la reducción de la resina. Ultimamente se han reportado propiedades básicas y se ha propuesto un método de fabricación para los tableros, constituidos por residuos agrícolas y forestales aglutinados con su propia resina.

Estudios previos a nivel planta piloto <sup>(1)</sup> muestran que la resina -

natural (lignina) contenida en la materia prima vegetal se puede aprovechar - en sustitución de la sintética, para la elaboración de los tableros.

Con los datos anteriores se llevó a cabo esta investigación sobre - el estudio del mecanismo de polimerización de la lignina en: medios ácido y - básico, las condiciones óptimas de presión, temperatura, tiempo de residencia y con este fin determinar las condiciones óptimas de polimerización de la lig - nina para la elaboración de dichos tableros.

Un segundo objetivo es mejorar la resistencia interna de los table - ros de material lignopolimérico, que se encontraban afectados por los gases - ocluidos que se forman durante el prensado en caliente de éstos, (problemas - que se presentaron en trabajos anteriores).

La lignina, después de la celulosa, es el componente principal de - la madera y del bagazo de caña. Se sabe que la lignina actúa como agente entre - lazante uniendo la matriz de fibra celulósicas en una estructura leñosa rígi - da (2). Siempre va asociada a la celulosa. Su estructura en su estado natu - ral no es totalmente conocida debido a la gran dificultad de separación de - los otros componentes de la madera sin que cambie, hay muchos tipos de ligni - na y sus propiedades y composición dependerán su origen vegetal y los métodos de obtención.

Debido a lo anterior no se conoce con exactitud la estructura real de la lignina, por lo tanto su mecanismo de polimerización se desconoce.

Las propiedades adhesivas de la lignina han alentado el uso de és ta y sus derivados como adhesivos para materiales fibrosos y para madera.

Se han hecho estudios y esfuerzos para utilizar las propiedades adhesivas de los materiales lignopoliméricos, sin embargo dichos estudios se han orientado básicamente a utilizar los licores gastados obtenidos en la elaboración del papel, en medio ácido y aplicando temperatura y presión sobre partículas de madera.

Cuando los lignosulfonatos se calientan en solución ácida polimerizan por condensación, esta propiedad se puede utilizar para la elaboración de tableros aglomerados resistentes al medio ambiente, que es la finalidad de este trabajo.

Por otro lado, también se ha probado sustituir las resinas de urea o fenol - formaldehído con compuestos a base de lignosulfonatos. Así como también se encontró que la reactividad de los lignosulfonatos se incrementa con la adición de resina fenólica como se presenta en la elaboración de un adhesivo denominado Karatex. Los tableros obtenidos mediante los métodos mostraron resultados satisfactorios<sup>(3)</sup>.

Sin embargo, en este trabajo no se utilizan licores o lignosulfonatos obtenidos de éstos, sino que se aprovecha la lignina natural contenida en las mismas partículas de madera y de bagazo de caña como aglutinante.

Los principales objetivos que persigue este trabajo son:

- a) Establecer el mecanismo de polimerización de la lignina natural en medio ácido y medio básico.
- b) Determinar el mecanismo.
- c) Optimizar la adhesión del material lignopolimérico en los tableros aglomerados.

- d) Encontrar las condiciones óptimas de presión, temperatura y tiempo de residencia para la polimerización.
- e) Eliminar los gases ocluidos que se formaron durante el prensado de los tableros.
- f) Mejoramiento de la resistencia interna de los tableros.

## CAPITULO II

### ANTECEDENTES

#### II.1 Antecedentes generales de la lignina.

El término lignina se deriva del latín "lignum" que significa madera: tiene como función ligar las fibras celulósicas, hace la función de un cemento. Conforme madura un árbol la fibra tiende a volverse más lignificada.

El término ha evolucionado para designar sólo los ~~componentes no car~~bohidratos que se encuentran en las paredes celulares de la madera previamente liberada de taninos, ceras, grasas y productos solubles en agua.

Desde hace más de un siglo se han dado numerosas definiciones para lignina, variando cada una de ellas de acuerdo al interés particular de los diferentes investigadores y a sus respectivos campos de acción, con esto se puede entender la complejidad del término.

El concepto de lignina puede ser definido como un sistema de polímeros tridimensionales, los cuales recubren los polisacáridos membranosos y los espacios entre las células dándoles resistencia y endureciéndolos. Este sistema es diferente de los materiales proteínicos extractables, componentes inorgánicos y polisacáridos.

Muchos investigadores han intentado definir a la lignina en términos de estructura química, ninguno ha logrado proponer una definición adecuada. Debe hacerse notar que no es un compuesto definido constitucionalmente, sino que es un grupo o sistema de materiales amorfos con un peso molecular variable entre 1,000 y 30,000 en donde el monómero básico es un fenil propano.

La lignina se encuentra distribuída ampliamente en el reino vegetal. Gjokic<sup>(4)</sup> señaló que los líquenes y hongos no forman células lignificadas y - Linsbauer<sup>(5)</sup> demostró que los hongos y líquenes no mostraban signos de lignificación pero los helechos y todos los miembros superiores del reino vegetal -- contienen lignina. La lignificación no está limitada a las paredes celulares de la madera y plantas anuales, sino que tiene lugar también en frutas, liber, rafz, corteza, meollo y células de corcho.

Brauns<sup>(6)</sup> señaló que debido a que no se conoce una fórmula definida de la lignina, es aparente que no se puede dar una definición de la lignina en forma cuantitativa. Además Brauns confirma lo que se le atribuye a Phillips<sup>(7)</sup> que es lo siguiente "no hay hasta la fecha ningún método conocido que sea enteramente satisfactorio para la estimación cuantitativa de la lignina", es decir hasta que conozcamos definitivamente que es lo que estamos tratando de determinar, ningún método racional podrá posiblemente ser desarrollado.

#### II.1.1 Estructura y composición química de la lignina.

Durante el desarrollo de las investigaciones sobre la estructura química de la lignina, y debido al nebuloso concepto de la lignina se han propuesto algunas fórmulas estructurales para ésta.

Estas fórmulas han sido discutidas en gran detalle por Brauns<sup>(8)</sup> - - quien incluye las de Cross y Bvan, Doree y Barton - Wright, Fuchs, Klason, - - Kurschner, Pavolini, Rasso y Gabriel, Freudenberg, Hibbert y Erdtman, junto - - con las consideraciones teóricas de estos investigadores.

Algunas de estas consideraciones han caído por su propio peso y otras han contribuído al conocimiento actual de la estructura de la lignina.

La composición elemental de la lignina es la siguiente: 64% de carbono, 30% de oxígeno y 6% de hidrógeno, el monómero básico es un fenil propano, - sustancia aromática con grupos -OH libres y con 15-20% de grupos metoxilos, a - los cuales se debe la formación del alcohol metílico en la destilación seca de la madera.

Se cree que existe un grupo carbonilo en algunas ligninas y en otras falta este grupo carbonilo o no se ha podido demostrar su existencia mediante - las pruebas usuales.

El número de grupos metoxilos depende del origen de la lignina y del procedimiento empleado para su separación de los otros componentes de la madera. Así las maderas duras dan ligninas que contienen más grupos metoxilos que las - maderas blandas. Aproximadamente el 20% de los metoxilos en las ligninas de maderas duras corresponden a cuatro grupos metoxilos por monómero y aproximadamen - te el 15% de los metoxilos en las ligninas de maderas blandas corresponden a -- cuatro grupos metoxilo por monómero.

Se han efectuado estudios de espectros de absorción ultravioleta, in - frarrojo, rayos X, la estructura también ha sido estudiada por el método analí - tico y degradativo. Debido a la complejidad del problema se han considerado mu - chas especulaciones en la química de la lignina.

#### II.1.2 Formulación de la lignina.

Un gran número de fórmulas para la lignina han sido propuestas a trav - és de los años y éstas han sido revisadas por Brauns. Se ha estudiado a la -- lignina por más de un siglo, el rápido cambio en estas formulaciones refleja la velocidad a la cual se ha acumulado información al respecto durante un período relativamente corto.

Por lo consiguiente se hará mención en forma muy breve de las formulaciones de algunos investigadores, sin explicar y definir sus resultados, para esto se hace mención a la siguiente bibliografía<sup>(9)</sup>.

#### Primera formulación de Brauns.

Brauns propuso en 1948 una formulación basada en los estudios de -- Freudenberg, y en los suyos propios.

#### Segunda formulación de Brauns.

En 1960 Brauns presentó una formulación la cual satisfizo muchas de las propiedades conocidas hasta entonces.

#### Formulación de Freudenberg de 1965.

Freudenberg propuso la formulación que se muestra en la figura 1 como un modelo constitucional para lignina de abeto. Enfatizó Freudenberg que este diagrama esquemático fue desarrollado por los intermediarios de la biosíntesis de la lignina, junto con datos analíticos de la investigación de la misma. La formulación resultante contiene 18 unidades estructurales que se encuentran entrelazadas de un modo correspondiente al desarrollo bioquímico de la molécula de la lignina.

#### II.1.3 Usos generales.

Tanto la lignina como sus diferentes derivados son muy importantes -- comercialmente, ya que se pueden aplicar en diversas formas.

#### Lignina alcalina natural.

Su principal aplicación es como agente emulsificante de asfaltos para caminos, es un sustituto del hule natural en la fabricación de ciertos hules

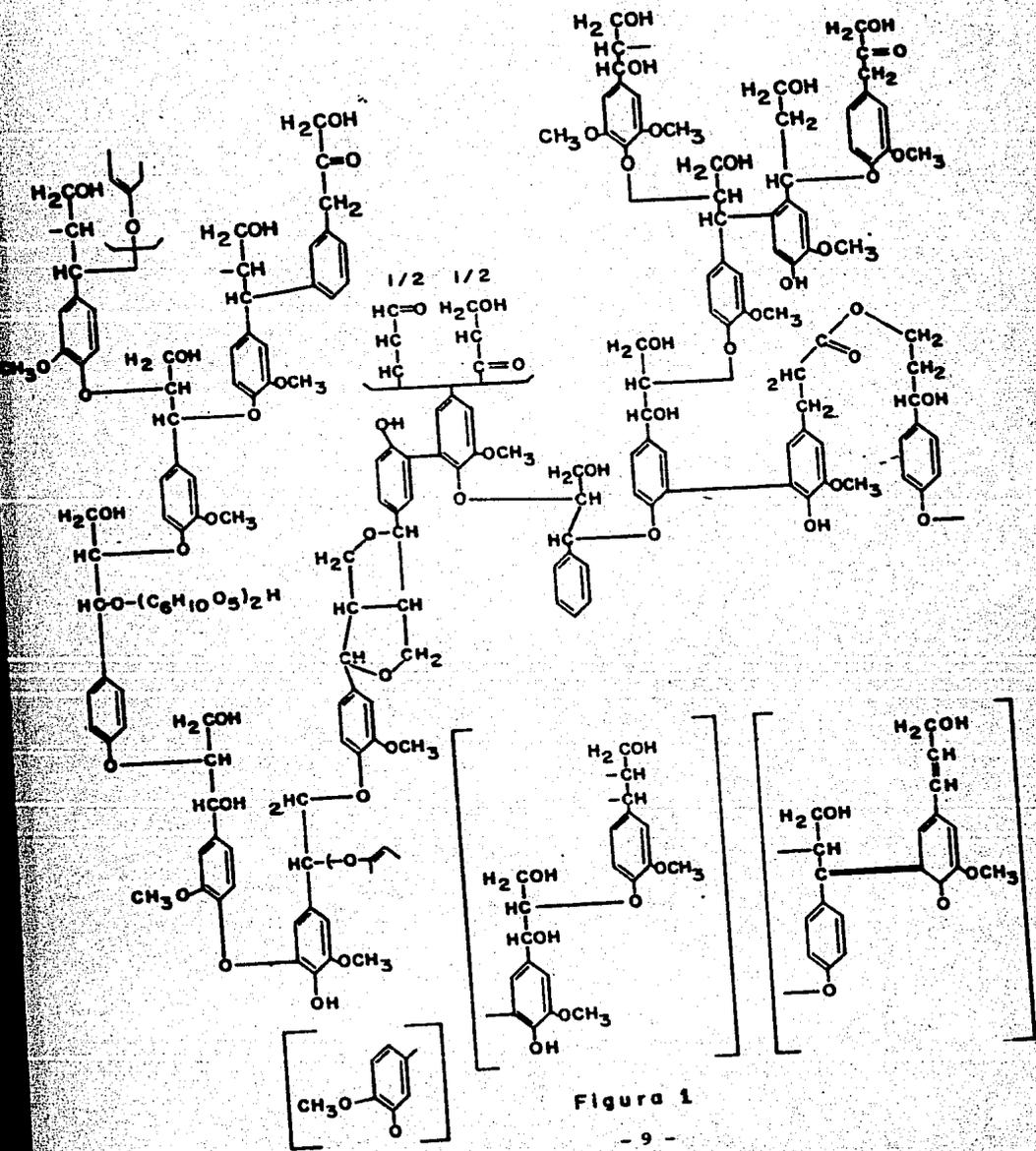


Figura 1

sintéticos, pero el uso futuro sería reemplazar al fenol hasta en un 50% en las resinas fenol - formaldehído destinadas principalmente a fabricar las baletas automotrices.

#### Lignina alcalina sulfonada.

Se utiliza principalmente en la formulación de productos químicos como secuestrante para tratamientos de agua de calderas y torres de enfriamiento.

Como defloculante, en la elaboración de plafones de yeso, como dispersante en la elaboración de limpiadores industriales y en la elaboración de colores dispersantes para el teñido de telas.

Como aditivo en cemento portland, en el cual sirve para permitir la entrada de aire en la mezcla y reducir así la cantidad de agua requerida.

#### Lignina ácida.

Su característica principal es que son de bajo peso molecular, se utilizan como aglomerantes dentro de diversas ramas industriales como las siguientes:

En alimentos balanceados para animales (máximo 4%).

En corazones de arena para fundiciones de metales.

En caminos de terracería para evitar el levantamiento de polvo.

El más reciente descubrimiento es su aplicación como aglomerante de negro humo y de hules sintéticos sustituyendo a la melaza que entonces se podría destinar como complemento alimenticio.

## II.2 Teoría de adhesión.

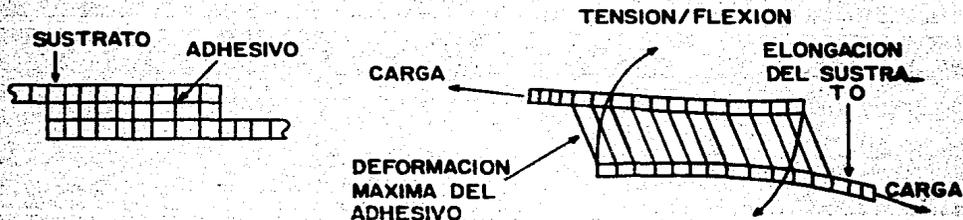
Un adhesivo se puede definir como cualquier sustancia capaz de con-

servar dos o más materiales unidos por sus superficies. La ventaja que tienen los adhesivos en comparación de otros métodos de unión, radica en que éstos - se pueden aplicar a cualquier superficie de cualquier material, lo que permite unir por ejemplo: metal con vidrio, metal con plásticos, plásticos con plásticos, cerámica con cerámica, etc. Los elementos estructurales que se unen mediante adhesivos estructurales están prácticamente libres de cualquier esfuerzo residual. Esto permite la utilización al máximo de la resistencia inherente de cualquier material con lo que aminora el peso de toda la unidad. Una desventaja importante de los adhesivos es que debido a que la mayoría de estos materiales son orgánicos, no se pueden utilizar a temperaturas elevadas y su resistencia disminuye en forma rápida conforme aumenta la temperatura.

#### II.2.1 Aplicación y colocación.

El adhesivo debe ser colocado al sustrato en forma de fluido para mojar completamente la superficie y así no dejar huecos aunque la superficie sea rugosa. En consecuencia, el adhesivo debe ser poco viscoso en el momento de su aplicación.

Cualquier hueco en el adhesivo formará contracciones de esfuerzos que disminuirán la resistencia de la junta. Por lo general las cargas que actúan sobre los adhesivos son, de tipo cortante. La mayoría de las juntas también introducen algún grado de fuerzas de tracción o tensión que se pueden conservar en la siguiente figura, se muestran los esfuerzos de una junta simple sometida a fuerzas cortantes.



**JUNTA TRASLAPADA EN TENSION.**

Las fuerzas de flexión en una junta traslapada sometida a una fuerza cortante pueden producir una falla iniciada por la tensión. Un cambio de diseño puede reducir o eliminar este problema.

La transición de fluido a sólido puede llevarse a cabo de diversas formas.

- a) Mediante el enfriamiento de un termoplástico.
- b) Por eliminación del disolvente o vehículo
- c) Por polimerización "in situ"
- d) Adhesivos sensibles a la presión.

#### II.2.1.1 Enfriamiento de un termoplástico.

Los termoplásticos se ablandan y funden cuando se calientan volviéndose duros de nuevo cuando se enfrían. El calentamiento se realiza para darle fluidez suficiente para llevar a cabo un mojado aceptable al adhesivo, por ejemplo: polietileno, polivinilo, poliestireno, polipropileno, policloruro de vinilo, nylon, policarbonato.

#### II.2.1.2 Eliminación de disolventes o vehículos.

Las soluciones y los látex, contienen al adhesivo en mezcla con agua o con disolventes orgánicos. Estos líquidos bajan la viscosidad lo suficiente para permitir el mojado del sustrato. Una vez hecho lo anterior, los disolventes deben ser eliminados para que el adhesivo endurezca, por ejemplo: nitrocelulosa, acrílicos, cementos de caucho, acetato de polivinilo.

#### II.2.1.3 Polimerización "in situ"

Este es el grupo de agentes de unión que ha tenido el más rápido progreso tecnológico. Todas las resinas termofijas caen bajo este título, incluyendo aquellas que primero se aplicaron al sustrato en forma de solución. Esta categoría también incluye elastómeros que son vulcanizados para que desarrollen una gran fuerza de cohesión. También algunos monómeros del tipo vinilo, especialmente metil metacrilato, ésteres cianoacrilatos y los dimetacrilatos son fácilmente polimerizados "in situ".

La principal ventaja de estos materiales sobre los adhesivos que utilizan un disolvente, es que el esfuerzo puede ser desarrollado en el pegamento después de que los dos adherentes han sido juntados. Las ventajas al eliminar el disolvente son: una producción más rápida, menor costo y uniones más fuertes.

Este tipo de adhesivos puede dividirse en:

1. Aquellos formados por condensación, usualmente con agua como subproducto. Este grupo incluye las resinas fenólicas y a las aminorresinas, que son los adhesivos sintéticos más antiguos.
2. Aquellos formados por adición sin formación de subproductos. En este grupo están la mayoría de los nuevos adhesivos, incluyendo poliésteres.

Cuando un compuesto se hace con un adhesivo del grupo uno, es necesario aplicar presión para vencer la influencia venenosa del agua u otros subproductos volátiles. En cambio los adhesivos del grupo dos pueden curar sólo con el contacto de la presión. Esto es ventajoso especialmente en la preparación de objetos grandes que no pueden ser convenientemente colocados en una prensa.

#### II.2.1.4 Adhesivos sensibles a la presión.

Estos adhesivos no se parecen a los otros, ya que no sufren aumento progresivo en la viscosidad. En lugar de esto, dichos adhesivos están permanentemente en la etapa intermedia de pegajosidad. Una de sus principales ventajas para algunas aplicaciones es que mojan inadecuadamente, de modo que pueden ser quitados de la superficie sin marcarse o sea sin dejar un residuo en su superficie.

Mientras esta deficiencia en la fuerza adhesiva es deliberada, la -

baja fuerza de cohesión de los materiales sensibles a la presión es indeseable.

## II.2.2 Clasificación de los adhesivos de acuerdo a su origen.

Los adhesivos orgánicos y semiorgánicos pueden ser clasificados de acuerdo a su origen como sigue:

1. Naturales: Almidón, dextrinas, asfalto, proteínas vegetales y animales, hule natural y shellac.
2. Semisintéticos: Nitrato de celulosa y otros derivados celulósicos, poliámidas derivadas de ácidos diméricos y poliuretanos de aceite de castor.
3. Sintéticos: a) Polímeros de adición del tipo vinilo, polivinil acetato, alcohol polivinílico, acrílicos, poliésteres insaturados butadieno-acrilo-nitrilo, butadieno - estireno, neopreno, hule butilo y polisobutileno, b) Polímeros formados por condensación y otros mecanismos: epóxicas, poliuretanos, hules de polisulfuro, y los productos de reacción de formaldehído con fenol, resorcinol, urea y melamina.

## II.2.3 Unión del adhesivo al adherente.

Cuando se unen dos materiales, el compuesto resultante tiene finalmente cinco elementos: adherente # 1 / interfase / adhesivo / interfase / adherente # 2.

La fuerza de la junta adhesiva será la fuerza de su miembro más débil. Con sustratos fuertes, la falla será adhesiva en la interfase o cohesiva dentro del pegamento. La falla no se presentará en una interfase si la superficie del adherente ha sido propiamente preparada y el adhesivo moja al adherente. En otras palabras la adhesión entre el pegamento y el sustrato deberá

ser más que la cohesión dentro del pegamento.

Examinaremos ahora los tipos de enlace que pueden existir entre el adhesivo y el adherente. Estos enlaces químicos pueden ser primarios y secundarios.

Los enlaces primarios incluyen enlaces electrovalentes, covalentes y metálicos. Con mucho, los enlaces adhesivos más importantes son los secundarios o de Van der Waals que dan un incremento en la atracción entre moléculas.

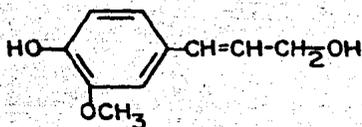
La interacción de dipolos permanentes se manifiesta en los enlaces fuertes, especialmente si el dipolo positivo es un átomo de hidrógeno. El enlace de hidrógeno tipificado como:



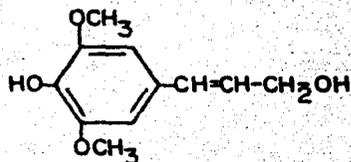
responde al éxito con sustratos polares de diversos adhesivos como el almidón y la dextrina, el alcohol polivinílico, los acetales polivinílicos, el nitrato de celulosa, los fenólicos y los epóxicos. Todos estos adhesivos contienen hidroxilos alifáticos o fenólicos. El grupo carboxilo incorporado en pequeños porcentajes en muchos polímeros del tipo vinilo es siempre una ayuda para la adhesión.

### II.3 Mecanismo propuesto de polimerización de la lignina.

Como ya se mencionó anteriormente, la lignina es junto con la celulosa y la hemicelulosa un componente importante de la madera. Según el tipo de árbol de que procede, la madera puede contener hasta un 30% de lignina. La lignina es un polímero complejo formado por polimerización deshidrogenante enzimática de diversos alcoholes fenólicos no saturados, como el alcohol coníferico y el sináplico.



ALCOHOL CONIFERILICO

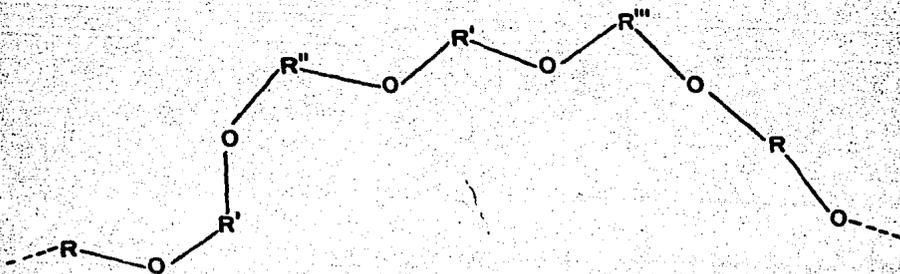


ALCOHOL SINAPILICO

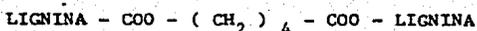
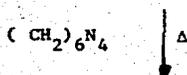
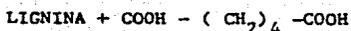
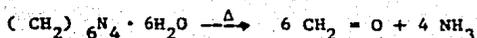
La deshidrogenación de estos alcoholes tiene lugar en el hidróxido - fenólico, con formación de radicales resonantes:



La unión etérica ( - O - ) entre los diversos radicales producidos - en la deshidrogenación enzimática da lugar a la formación de los complicados - polímeros de la lignina:



La lignina que se encuentra en las partículas de madera se somete a una reacción de polimerización con el ácido adípico, utilizando hexametilente tramina (HMTA) como generador de formaldehído y éste a su vez va a actuar como un catalizador de la reacción de polimerización:



### II.3.1 Polímeros y polimerización

Hasta ahora se ha hablado de que la lignina es un polímero natural - de peso molecular aproximado de 10,000 g/mol, pero no se ha explicado qué es - un polímero y como se forma, es lo que a continuación se presenta.

Primero se explicará el término de macromolécula: una macromolécula es aquella sustancia natural, artificial o sintética cuyo peso molecular es - mayor a 10,000 g/mol.

Entonces un polímero es un producto macromolecular orgánico en cuya molécula se repiten con regularidad ciertos principios estructurales llamados monómeros.

Los polímeros se pueden clasificar en tres grupos: naturales, artificiales y sintéticos.

Los polímeros naturales son aquellos que se presentan en la naturaleza como por ejemplo la celulosa, por supuesto la lignina, el caucho natural, las caseínas, etc.

Los polímeros artificiales son aquellos que se obtienen por transformación química de los polímeros naturales sin que se destruya su naturaleza macromolecular, por ejemplo la nitrocelulosa, la seda artificial de la celulosa, la galafita de la caseína, la goma, etc.

Los polímeros sintéticos son los que se obtienen por vía puramente sintética a partir de sustancias de bajo peso molecular como lo son el poliestireno, el polietileno, el PVC, etc. Reciben también el nombre de plásticos o resinas sintéticas.

#### Polimerización.

Los polímeros se forman por un proceso llamado polimerización, o sea por la unión de muchas moléculas pequeñas para generar otras muy grandes. Los polímeros se forman por reacciones que ocurren por medio de dos mecanismos principales que son: por adición y por condensación.

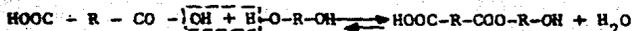
##### II.3.1.1 Polimerización por condensación.

Este tipo de polimerización se puede definir como las reacciones entre grupos funcionales que conducen a la formación de un polímero. Las reacciones de policondensación consiste en la unión de moléculas polifuncionales por reacciones comunes de esterificación o amidación, con la eliminación de algunas

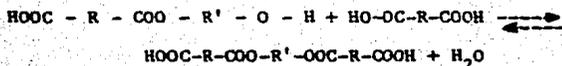
moléculas, generalmente de agua.

Las reacciones de policondensación se llevan a cabo mediante un mecanismo intermolecular por etapas. Se producen por simple calentamiento o por la adición de los mismos catalizadores empleados para reacciones análogas entre moléculas monofuncionales. Las siguientes reacciones son ejemplos de reacciones de policondensación:

Las reacciones entre ácidos dicarboxílicos y dialcoholes, para la producción de poliésteres:



La molécula resultante reacciona otra vez del mismo modo con la molécula de dialcohol o glicol.



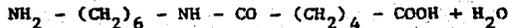
R y R' representan grupos orgánicos como el CH<sub>2</sub>, (CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub> y otros. El polímero resultante es un polímero lineal que con base en el grado de polimerización, puede ir desde líquidos viscosos hasta sólidos rígidos. El Dacrón y el Terileno son ejemplos de poliésteres.

En la fabricación de nylones se utiliza otra reacción de policondensación:



Hexametildiamina

Acido adípico



La molécula resultante puede reaccionar, en forma subsecuente con — otras moléculas, o con ácido adípico o con hexametildiamina para formar un — polímero lineal, llamado nylon 66.



Debido a que la lignina contiene en su molécula  $x$  unidades fenólicas, es de gran importancia conocer la forma en que polimerizan los policondensados en los cuales interviene el fenol y que son llamados resinas fenólicas o fenoplastos.

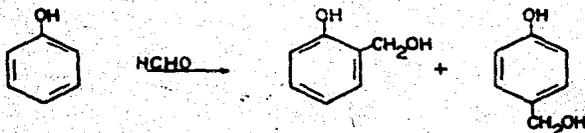
Las resinas fenólicas fueron descubiertas por Baekeland en 1907, y de ahí el nombre de "bakelitas" con que se les conoce. Son materias plásticas producidas por condensación entre formaldehído y fenol, cresol o xilenol. La policondensación tiene lugar con separación de agua, transcurriendo el proceso de distinta forma según sea la temperatura de reacción, el pH del medio y la relación de concentraciones de los componentes de partida. Los compuestos de adición intermedios que se forman durante la reacción (alcoholes fenólicos) — son en medio ácido mucho menos estables que en medio alcalino. En la práctica — se utilizan dos procedimientos de obtención, el ácido y el alcalino.

### II.3.1.: oligomerización en medio ácido.

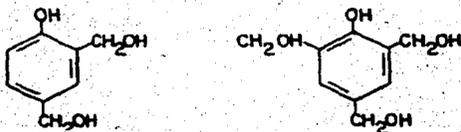
En la condensación ácida con un pequeño exceso de fenol (1 mol. de fenol por 0.8 moles de formaldehído) y bajo la acción catalítica de ácidos — fuertes (HCL,  $H_2SO_4$ ) se forman las novolacas, que son productos de condensación solubles y fusibles en disolventes orgánicos. Las novolacas son termoplásticos como los resoles; pero, a diferencia de éstos no pueden autoendurecerse directamente por acción del calor, pero sí de modo indirecto por adición de hexameti-

lentetraamina (urotropina), la que por acción del calor se descompone en formaldehído y amoníaco y producen la reticulación de la novolaca.

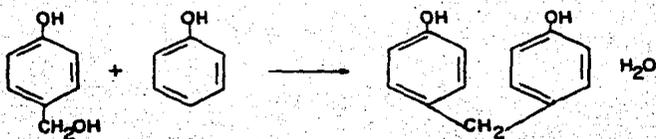
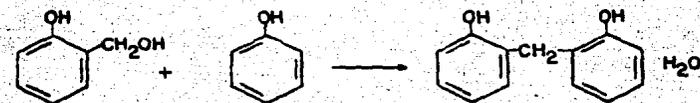
Los procesos químicos de estas condensaciones se basan principalmente en la reactividad de las posiciones orto y para del fenol, activadas por el -OH fenólico. En primer lugar se forman los alcoholes bencílicos correspondientes:



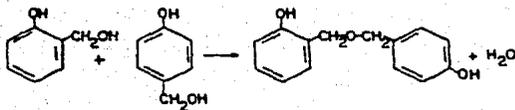
Pueden formarse también di y trialcoholes bencílicos:



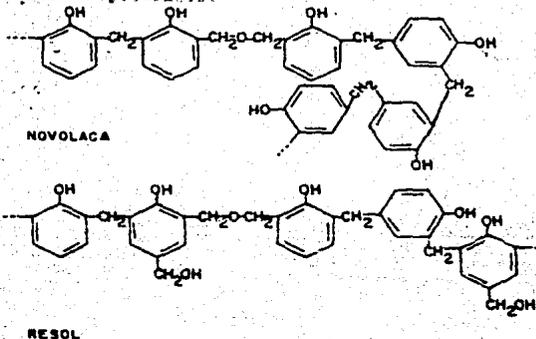
Los alcoholes bencílicos pueden condensarse con fenol, dando metilambisfenoles:



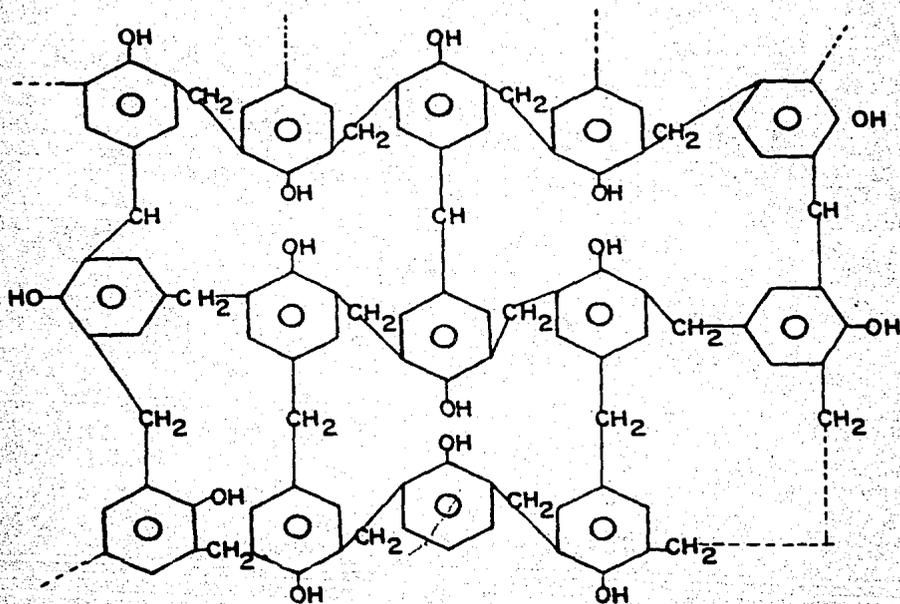
También es posible la condensación de los alcoholes bencílicos entre sí dando los éteres correspondientes:



o la combinación de ambos tipos de condensación. Estos productos pueden seguir condensándose con formaldehído, dando largas cadenas moleculares que constituyen las novolacas y resoles. Sin embargo, a diferencia de las novolacas las cadenas moleculares de los resoles presentan metilén alcoholes libres, susceptibles de reticulación posterior:



Por acción del calor, los puentes de éter (  $-\text{CH}_2 - \text{O} - \text{CH}_2$  ) se transforman generando formaldehído y creando puentes de metileno (  $-\text{CH}_2 -$  ). Entre los fenilos el proceso de endurecimiento de los resoles se debe a la reticulación de las cadenas macromoleculares por condensación de los metilén alcoholes, que se inicia con los resitoles y resitas. La estructura de las resitas corresponden a un reticulado tridimensional:



### RESITA

Además de fenol pueden usarse, para obtener resinas fenólicas, creosoles y xilenoles, o sus mezclas, resultando así una gran variedad de productos. La velocidad de condensación es, sin embargo, distinta.

Las resinas fenólicas se utilizan mucho en la industria. Las novolacas y resoles se emplean, por su solubilidad en alcohol, acetona y ésteres, en

pinturas y barnices. También se usan como resinas de moldeo por prensado y por colada para la fabricación de materiales aislantes en electrotecnia y de varia dos objetos de consumo; el endurecimiento de la resina al estado de resita se efectúa durante la fabricación del objeto. Estas resinas se usan también en la fabricación de planchas estratificadas para revestimiento de puertas, muebles, etc., mediante impregnación de tejidos o papel con una solución alcohólica de resol y prensado en varias capas a 160-170°C, con lo que tiene lugar la reticu lación y endurecimiento a resita.

Unos fenoplastos especiales (Wofatita, Amberlita, Dowex 50) se usan como resinas de intercambio catiónico, reaccionando análogamente a las zeolitas inorgánicas y a los humus orgánicos.

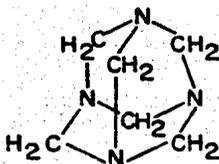
#### II.3.1.3 Polimerización en medio básico.

La formación de bakelitas por condensación alcalina de fenol con for maldehído, calentando en presencia de pequeñas cantidades de álcali-amoniaco, carbonato sódico o bórax, tiene lugar en 3 etapas. La relación molar de fenol: formaldehído suele ser, en este procedimiento, de 0.7-0.9 a 1. En la primera - etapa de condensación se forman unas resinas fácilmente solubles, en disolventes orgánicos y álcalis, que constituyen productos de bajo grado de condensa- ción.

#### II.4 Propiedades químicas de los reactivos.

##### II.4.1 HMTA.

La hexametilentetraamina (HMTA), conocida también como hexametilena-mina, metenamina y urotropina, tiene un peso molecular de 140 g/mol y su fórmu la desarrollada es la siguiente:



Es un polvo blanco inodoro, que sublima aproximadamente a 263°C sin fusión y con descomposición parcial. En contacto con flama arde con flama sin humo. Un gramo se disuelve en 1.5 ml de agua, 12.5 ml de alcohol, 320 ml de éter, 10 ml de cloroformo. Tiene un pH de 8.4 en una solución 0.2 molar.

Sus principales usos son: en compuestos adhesivos, para recubrimientos y selladores; en la preservación de pieles; como agente entrelazante para el endurecimiento de resinas fenol-formaldehído y en la vulcanización del hule entre otros.

#### II.4.2 Acido adípico.

También conocido como ácido 1,4 butanodicarboxílico (COOH-(CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>-COOH), tiene un peso molecular de 146 g/mol; su punto de fusión es de 153-153.1 °C; su gravedad específica es de 1.344 a 18°C; su calor específico es de 1590 J/kg °K y una solubilidad en agua de 1.44 g/100 g de H<sub>2</sub>O a 15°C.

Es un sólido blanco cristalino, y es el más importante de los ácidos dicarboxílicos.

Los usos principales del ácido adípico son: como materia prima para la manufactura del nylon-66, la poliamida se forma por la reacción con 1,6 hexametildiamina.

Debido a la introducción de poliésteres, acrílicos, poliolefinas y otras fibras sintéticas, se ha reducido en parte el mercado comandado por el nylon-66, así que hubo necesidad de buscarle otros usos al ácido adípico de los cuales se pueden mencionar: en la fabricación de plaguicidas, resinas, plásticos, espumas y como acidulante en alimentos.

#### II.4.3 Catalizadores

Anteriormente se mencionó que la HMTA actuaba como generador de formaldehído y éste a su vez como catalizador, por lo tanto, es necesario explicar qué es un catalizador.

El término catalizador fue introducido en 1835 por Berzelius, procede del griego Katalyein que significa destruir, en el sentido de descomponer químicamente. Fue definido con mayor precisión por el químico alemán Wilhelm F. Oswald de la siguiente manera: "muchas reacciones químicas se verifican mucho más rápidamente en presencia de substancias extrañas al proceso las cuales se conocen como catalizadores".

La función general de un catalizador consiste simplemente en suministrar un mecanismo adicional por medio del cual los reaccionantes puedan transformarse en productos. Este mecanismo alterno tiene una energía de activación menor que la energía de activación del mecanismo en ausencia del catalizador, de manera que la reacción es más rápida.

En las reacciones heterogéneas verificadas sobre la superficie de los sólidos, las cuales constituyen una gran mayoría de los procesos químicos industriales, las substancias reaccionantes o tan sólo una de ellas se adhieren al catalizador, en una unión química lábil que se conoce como adsorción, producida

por fuerzas de Van der Waals, en consecuencia algunos enlaces de las moléculas adsorbidas se debilitan y su combinación con las otras moléculas reaccionantes o su ruptura se puede entonces verificar con mayor facilidad. El tipo de adsorción entre la substancia y el catalizador depende de la naturaleza de éste. -- por lo que pueden debilitarse enlaces distintos y originarse por ello productos diferentes.

## CAPITULO III

### EXPERIMENTAL.

En esta parte se detallan los procedimientos usados en la elucidación del mecanismo de polimerización, y de los experimentos tendientes a la obtención de los tableros formados por residuos agrícolas y forestales como el bagazo de caña y el aserrín de madera, aglutinados con su propia resina.

#### III.1 Materias primas.

Las materias primas utilizadas en la elaboración de este trabajo fueron: aserrín de madera de diferente granulometría, bagazo de caña, hexametil-tetraamina y ácido adípico.

#### Técnicas y Procedimientos.

##### III.1.1 Análisis de Espectroscopía al Infrarrojo.

Se aplicó el análisis de espectroscopía al infrarrojo a la muestra de lignina extraída del aserrín de madera que se utilizó como materia prima en este trabajo para detectar los grupos funcionales que intervienen en el mecanismo propuesto de polimerización y así tener un mayor número de elementos para sustentarlo. Como disolvente se utilizó dioxano y como soporte cristales de NaCl, AgBr; el rango de frecuencia en el que se practicó el análisis fue de 400 - 4600  $\text{cm}^{-1}$ .

##### III.1.2 Análisis Térmico Diferencial.

Se realizaron 2 tipos de análisis térmicos, termogravimétrico ( T. G. A. ) y calorimétrico ( D. S. C. ). El objeto de estos análisis fue determinar la estabilidad térmica de las muestras, su pureza y su capacidad calo-

rífica.

El análisis termogravimétrico consiste en medir los cambios diferenciales que ocurren en el peso de la muestra en función de la temperatura.

En el análisis calorimétrico (D.S.C.), el aparato contiene un registrador que grafica simultáneamente la función de la temperatura y la derivada de dicha función, pudiéndose así leer directamente de las gráficas obtenidas, las temperaturas a las cuales se registran cambios de fase, transiciones físicas, descomposición de la muestra, determinándose el rango de estabilidad térmica de la muestra con bastante exactitud.

La calorimetría diferencial de barrido, es un método para analizar el comportamiento térmico de un material, con este método se obtiene la siguiente información: temperatura de transición vítrea, temperatura de fusión, temperatura de degradación, así como la capacidad calorífica de un compuesto con rangos de temperatura de 0°C a 400°C. La información se obtiene de una gráfica en donde el valor de la ordenada está dado en unidades de energía térmica, que es directamente proporcional al flujo de calor diferencial entre la muestra que se analiza y un material de referencia, para una temperatura o tiempo dados, mismos que se representan en la absisa.

### III.1.3 Método Estándar de Análisis Cuantitativo.

El análisis para la determinación del contenido de la lignina en el aserrín de madera, se efectuó según el método TAPPI Standar 13 m 54, del Chemical Methods Committee.

Es el método del ácido sulfúrico que consta de 3 tratamientos preliminares: 1) Alcohol Etílico al 96% para la extracción de los taninos y cateco

les; 2) Solución alcohol - benceno al 33% - 67% en volumen, para la extracción de las resinas, aceites, ceras y grasas; 3) Agua caliente para la remoción de las materias solubles en agua que aún queden como residuos.

El procedimiento no se transcribe, porque ya se encuentra informado en trabajos anteriores. (10)

### III.2 Obtención de los tableros aglomerados.

Los rangos en las condiciones de operación se tomaron con base en -- las propiedades de los tableros obtenidos en trabajos anteriores (1), mientras que la homogeneización que se utilizó en el presente trabajo, se basó en el má todo de prueba - error con el objeto de tener un mayor rango de propiedades fí sicas en nuestros productos para que de esta manera encontrar aquellos que pre senten características físicas mejores que los obtenidos en trabajos previos, y de ser posible mejor que los tableros comerciales.

#### Variación en las formulaciones utilizadas.

- 1) Homogeneización de los componentes (gruesos, finos y medianos) con los aditivos (HMTA + AA\*), dividiendo en capas, cada capa es transferida al molde. Entre capa y capa se adiciona uniformemente el resto de la mezcla para faci litar una mejor adhesión entre las partículas.
- 2) Homogeneización de medianos y finos con el 1% en peso de los aditivos, los primeros se dividen en dos partes iguales con la mitad de los aditivos, de las cuales 1 es para la capa superior y la otra para la inferior, en el cen tro del colchón se encuentran los gruesos con el resto de los aditivos, pro cediendo al prensado del tablero.

\*AA = Acido adípico.

3) Para la fabricación de los tableros de bagazo de caña se utilizó una sola - formulación que fue la siguiente: homogeneización del bagazo con los aditivos y formar el preformado, y variando las condiciones de operación.

Las condiciones de operación en la elaboración de los tableros y las características para cada tablero se encuentran en el anexo "A", que se encuentra al final de este trabajo, los rangos utilizados fueron:

Presión de moldeo.

612 Kg/cm<sup>2</sup>, 653 Kg/cm<sup>2</sup>, 884 Kg/cm<sup>2</sup>, 1,156 Kg/cm<sup>2</sup>.

Temperatura.

130°C, 150°C, 170°C, 180°C

Tiempo.

10 min, 15 min.

Reactivos.

Acido adípico al 1% en peso, Hexametilentetraamina al 1% en peso.

Tamaño de partícula.

Se utilizó madera de diferentes tamaños con el No. de mallas de 10, 20, y 80, que son para los finos, medianos y gruesos.

La prensa hidráulica que se utilizó tiene una capacidad de 680 Kg/cm<sup>2</sup> con una bomba hidráulica de 1/2 HP.

Para el preformado del colchón se utilizó un molde de 10 cm x 10 cm x 10 cm, dos placas de acero galvanizado de 20 cm x 20 cm, para tapa superior e inferior para el prensado.

### III.3 Resistencia a la flexión.

En este trabajo se determinó la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad para cada espécimen, utilizando el método estándar de prueba -- D 790-63 de la American Society for Testing Materials (ASTM).

- Para hacer más confiables estas pruebas, del tablero obtenido en condiciones particulares, se sacaron 4 muestras (A, B, C y D). Los resultados serán los promedios de estas cuatro muestras para cada tablero.

Las pruebas de flexión se realizaron en la máquina INSTRON del Instituto de Investigación en Materiales de la UNAM. Básicamente, la prueba consiste en colocar el espécimen o probeta sobre dos soportes fijos, aplicando una carga constante, hasta romper el material. Los datos de carga y de flexión del material, son graficados por la máquina.

Con una velocidad de trabajo de  $\frac{5 \text{ mm}}{\text{min}}$  y con la información de la gráfica se obtienen los datos de carga y deflexión, con los que se obtiene la pendiente, que a su vez se utiliza para calcular el módulo de elasticidad. Según las siguientes fórmulas:

Esfuerzo de resistencia a la flexión.

$$S = \frac{3 PL}{2bd^2}$$

Donde S = Esfuerzo de resistencia a la flexión.

P = Carga máxima (kgf)

L = Claro entre soportes (cm) \*

b = Ancho de la muestra (cm)

d = Espesor de la muestra (cm)

\* Para nuestro caso L=10 cm seguirá la norma ASTM D79-63

Módulo de elasticidad.

$$E = \frac{L^3 m}{4bd^3}$$

E = Módulo de elasticidad (kgf/cm<sup>2</sup>)

Donde: L = Claro entre soportes (cm)

m = Pendiente del tramo recto de la figura esfuerzo deformación (kgf/cm)

b = Ancho de la muestra (cm)

d = Espesor de la muestra (cm)

Las condiciones a las cuales se llevaron a cabo las pruebas se muestran en los anexos B y C.

#### III.4 Absorción de agua.

El procedimiento que se utilizó para llevar a cabo la prueba fue el contenido en la norma DIN 52364 Testing of Wood Chipboard; Determination of Thickness Swelling.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos para el mecanismo propuesto de polimerización de la lignina, las pruebas mecánicas aplicadas a los tableros obtenidos incluyendo las pruebas de resistencia interna, y otras pruebas como la absorción de agua mostrada por éstos.

#### IV.1 Mecanismo propuesto para la polimerización de la lignina.

Un antecedente de las propiedades adhesivas de la lignina, o sea, de su utilización como pegamento, lo llevó a cabo Kaj G. Forss<sup>(11)</sup>. Forss desarrolló un adhesivo a base de lignina para la elaboración de triplay, tableros - - aglomerados y tableros de fibra.

En la manufactura de éstos, las resinas de fenol-formaldehído (PF) y las de urea-formaldehído (UF) son las más comúnmente usadas. Las ventajas de las resinas UF son su bajo costo, su ausencia de color y su corto tiempo de curado. Sin embargo su fuerza de pegado no es resistente al agua y recientemente se han detectado emisiones de formaldehído de los tableros aglomerados por largos períodos después de su producción. La ventaja de las resinas PF son su resistencia al medio ambiente, pero su principal desventaja es su alto costo.

El adhesivo basado en la lignina es básicamente un copolímero entre la resina PF y esta resina natural.

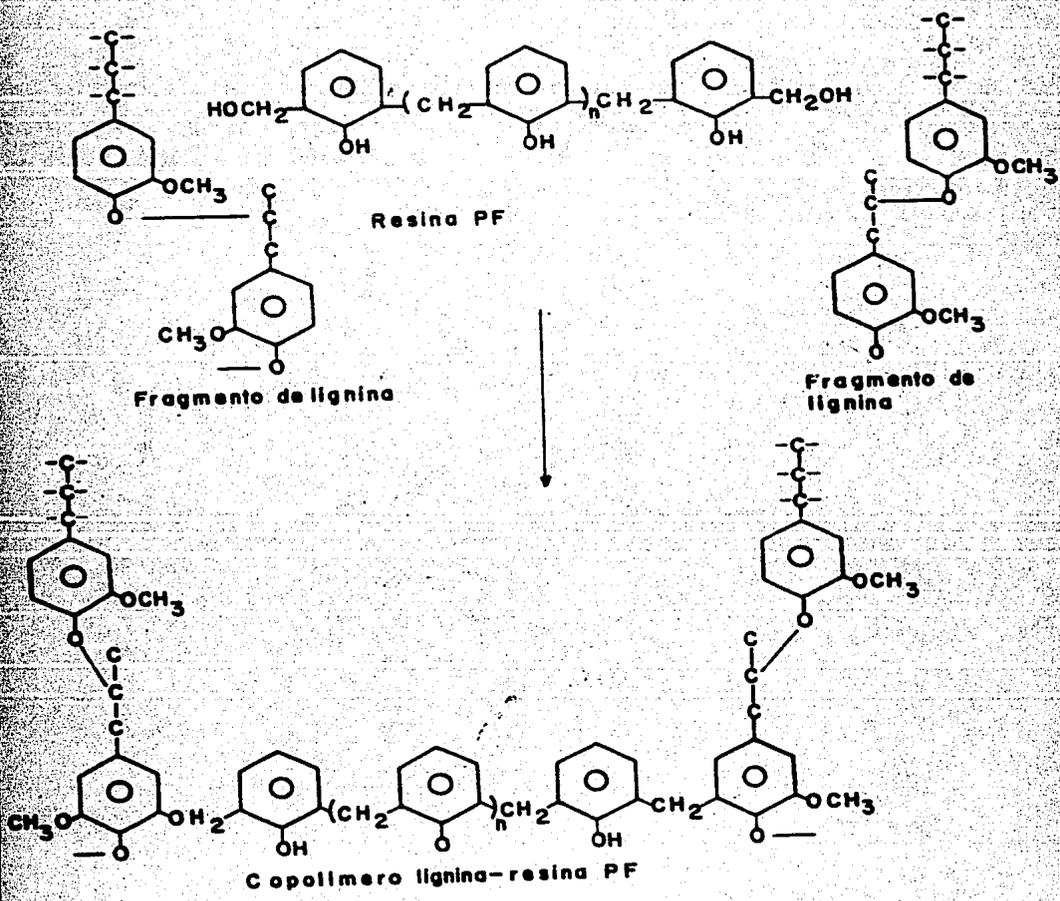
En el pulpeo, parte de los enlaces entre las unidades fenilpropano de la lignina se rompen, y la lignina se disuelve en el licor en forma de fragmentos de varios tamaños.

Para copolimerizar estos fragmentos, con el propósito de obtener una malla molecular tridimensional y llevar a cabo la adhesión, es necesario emplear grandes cantidades de resina PF. Para evitar lo anterior, Forss utilizó un método para la obtención de lignosulfonatos de alto peso molecular o ligninas alcalinas, para poder ser usadas en la manufactura del adhesivo, por medio de la ultrafiltración.

Forss encontró dificultades para la copolimerización entre la PF y la lignina, ya que, las posiciones orto y para de los anillos aromáticos en las moléculas de esta última están muy ocupadas por grupos metoxilos y cadenas de propano, las cuales impidieron una condensación posterior.

Sin embargo, estos estudios sirven como guía para la determinación del mecanismo de polimerización, ya que la reacción estudiada en este trabajo se puede comportar de manera similar. Hacemos esta analogía en virtud de que ambas son reacciones de copolimerización entre la lignina y otro copolímero: en nuestro caso dicho copolímero es el ácido adípico y en la referencia es la resina PF.

La reacción referida es la siguiente:



En nuestro caso utilizamos el ácido adípico y un generador de formaldehído en lugar de la resina PF, en proporciones mucho menores que en los procesos comerciales. Aproximadamente de 1% en nuestro caso, por 10-12% de los últimos.

Por otro lado, hace aproximadamente 30 años, Runkel y Jost (1948)<sup>(12)</sup> desarrollaron un proceso para la fabricación de productos moldeados altamente densificados a partir de partículas finas de madera, e.g. aserrín, sin la adición de alguna resina o adhesivo (Proceso Termodín). Aunque muchas compañías tomaron un vivo interés en el nuevo proceso, éste fue adoptado solamente por 2 ó 3 empresas. Esto se debió en parte a que los productos tuvieron competencia con tableros de partículas, y también con un número de materiales plásticos -- que reunían todos los requerimientos.

El aumento en los precios del petróleo y una gran incertidumbre en una provisión futura, sin embargo, aumentó el interés en el Proceso Termodín de nuevo. Esto se aplica en aquellos países en desarrollo tal como Egipto el cual no tiene recursos de madera ilimitados y una industria química no adecuada, pero sí un excedente de residuos agrícolas.

Se consideró importante mencionar el proceso Termodín ya que presenta muchas similitudes con nuestro proceso--no utilización de resinas o adhesivos, se trabajó a presión y temperatura --, sin embargo no podemos determinar ventajas o desventajas entre ellos debido a la carencia de mayor información acerca de las características de operación del proceso mencionado.

El mecanismo de unión interpartículas durante el proceso Termodín o procesos similares no han sido completamente aclarados. Obviamente, el material lignocelulósico se convierte en termoplástico hasta cierto punto, cuando es ca

lentado bajo presión en presencia de una cierta cantidad de humedad. De acuerdo a Runkel et al. (1951-1953), la termoplaticidad puede ser atribuida a cambios físicos, coloidales y químicos de los componentes de la pared de la célula. En las primeras etapas de las reacciones de calentamiento (hidrolíticas), predomina el rendimiento de ácido acético y fórmico y algunos azúcares. Las pentosas y hexosas se forman en parte por la deshidratación de furfural e hidroximetil furfural respectivamente. Del mismo modo, parte de los enlaces lignina-carbohidrato son rotos debido a la formación de nuevos grupos funcionales y de una lignina activada de punto de fusión más bajo. La recondensación de las moléculas de lignina y la condensación con furfural representa la segunda etapa de reacción la cual muestra que toma lugar a una velocidad más lenta que la hidrólisis. El efecto se ve más pronunciado cuando se usa un sistema completamente cerrado, con esto se previene que las sustancias volátiles no escapen.

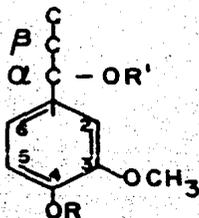
Una revista de los primeros trabajos de investigación sobre la termoplaticidad de la madera corresponde a Runkel (1951). Más tarde, Ogland (1955) discutió el mecanismo de unión en la producción de tablas duras. Más recientemente, Hamar (1965) comprobó el papel principal de las hemicelulosas en la unión de partículas, sin embargo, también estableció la gran importancia de la plastificación de la celulosa durante el prensado con calor. Después de las primeras teorías, Pulikowski (1974) presentó una nueva interpretación del fenómeno de unión en resinas con madera. Pilipchuk y Krasnozhchekova (1976), resaltaron el papel de la policondensación de la lignina mientras Glumova et. al. (1976) - estudió el efecto del prensado a temperatura sobre la composición química de -- productos de madera moldeados.

El mecanismo de autounión de la corteza parece ser diferente del de

la madera. Wellons y Krahmer (1973) concluyeron que a temperaturas abajo de - 205°C el flujo termoplástico y la consolidación física de las partículas de la lignina son los factores principales en el autoenlazamiento. Las tablas de corteza de propiedades aceptables son obtenidas sin la adición de alguna resina por prensado a temperaturas que van de 250°C a 300°C tal como lo muestra -- Chow (1975).

La estructura química de la lignina es aún desconocida, como antes - habíamos mencionado, sin embargo, se han propuesto varias estructuras.

Generalmente se acepta que la lignina es un polímero complejo de - la unidad fenilpropano:



Las unidades de fenilpropano están conectadas unas a otras por medio de muchos tipos de enlaces, de los cuales 65% son enlaces tipo éter fuera del anillo, o sea, en las posiciones α y β, y 15% son enlaces del carbón β en una unidad con la posición 1 del anillo de otra unidad. Las posiciones aromáticas de la lignina son de importancia en las reacciones fenol-formaldehído. En las maderas blandas, hay generalmente un metoxilo en el anillo en la posición número tres. Sin embargo, en las maderas duras hay otro grupo metoxilo localizado en la posición número cinco podría estar disponible para reaccionar y ha sido demostrado ser una posición activa para el ataque del formaldehído. Si la lig

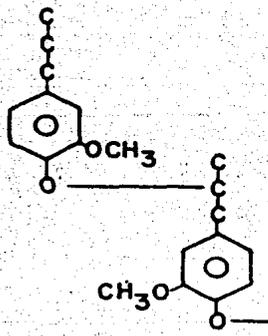
nina es degradada y los sitios activos son condensados, como es hecho en los procesos para la obtención de papel (Kraft y al sulfito), entonces habría solamente una o dos posiciones número cinco por molécula.

Ya que habrá pocos sitios disponibles en la molécula, será difícil - polimerizar estas ligninas hasta niveles de alto-peso-molecular que son requeridos para la elaboración de un buen adhesivo.

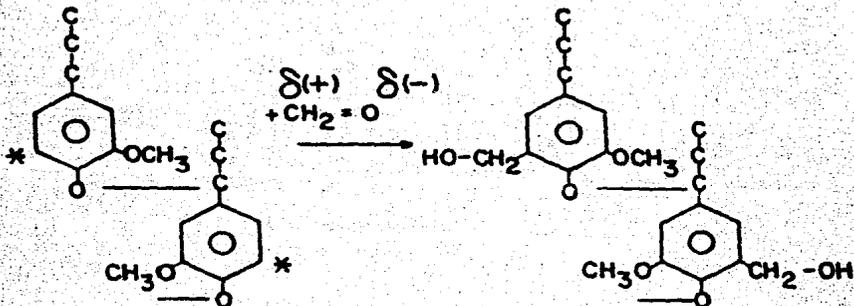
Con base en lo anterior, y además contando que en el presente estudio se trabajó con madera y no con residuos del pulpeo, se ha propuesto el siguiente mecanismo de polimerización.

#### IV.1.1 Mecanismo de reacción de la polimerización de la lignina con formaldehído y ácido adípico.

Se considera a la unidad reaccionante o monómero de la lignina como la siguiente:

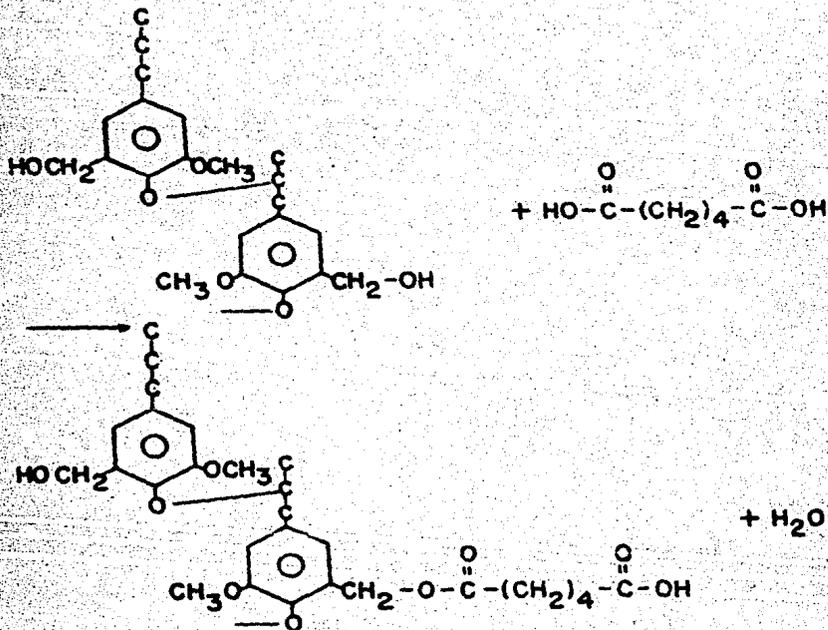


La primera reacción será la adición del formaldehído que actúa como nucleófilo sobre la molécula anterior.

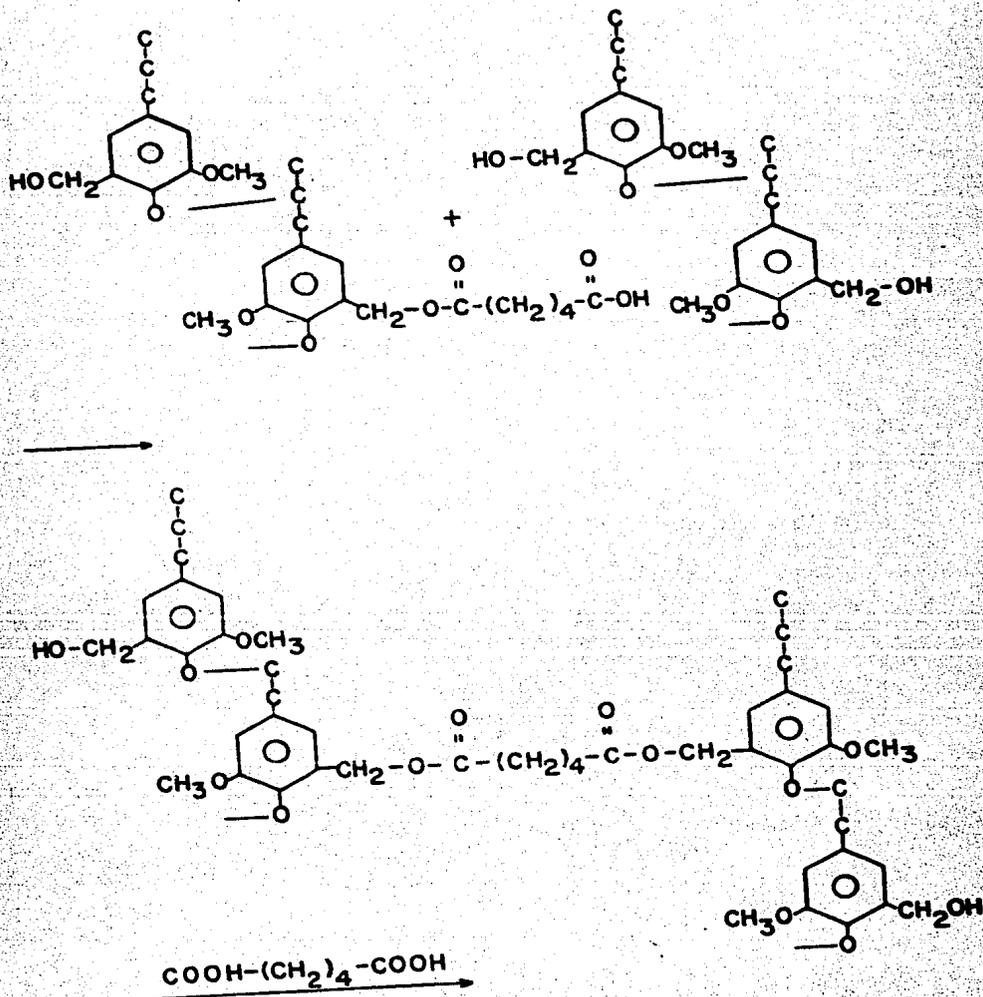


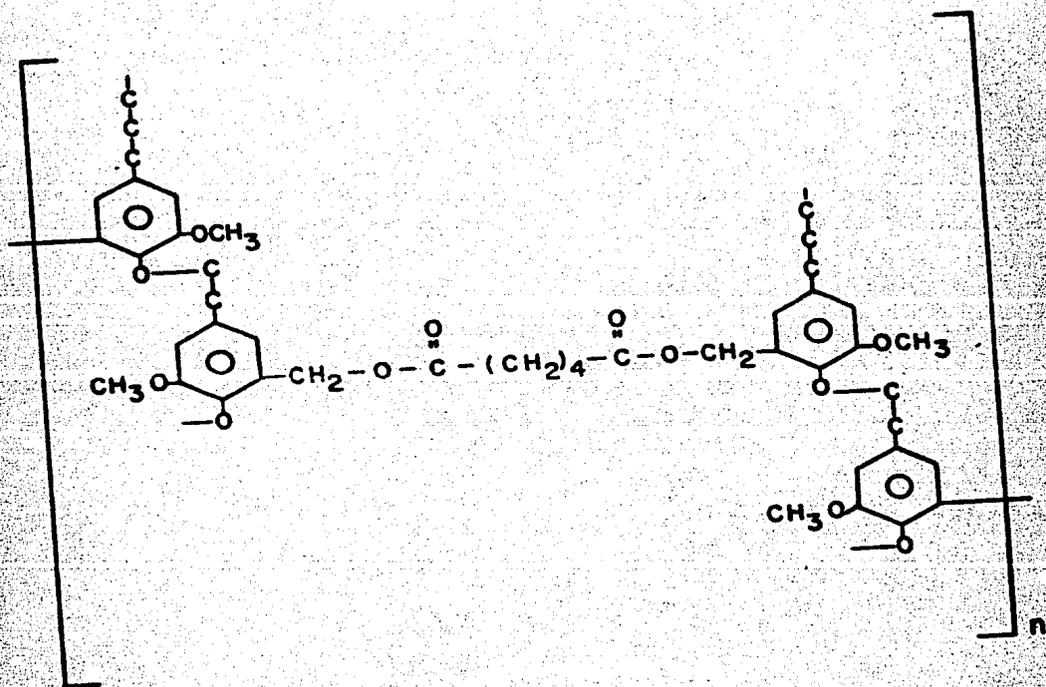
\*Posiciones reactivas en orto del radical O- que es un fuerte activador para los nucleófilos.

En seguida este alcohol formado puede reaccionar con un diácido en una reacción de condensación: (reacción de iniciación).



La etapa siguiente es la reacción de propagación en la cual la molécula formada en la reacción reacciona con otras unidades de alcohol formadas con --formaldehído.





La terminación de la reacción será cuando ya no haya moléculas de lignina o mejor dicho sitios reactivos en la molécula de la lignina, o cuando alguno de los reactivos se haya agotado.

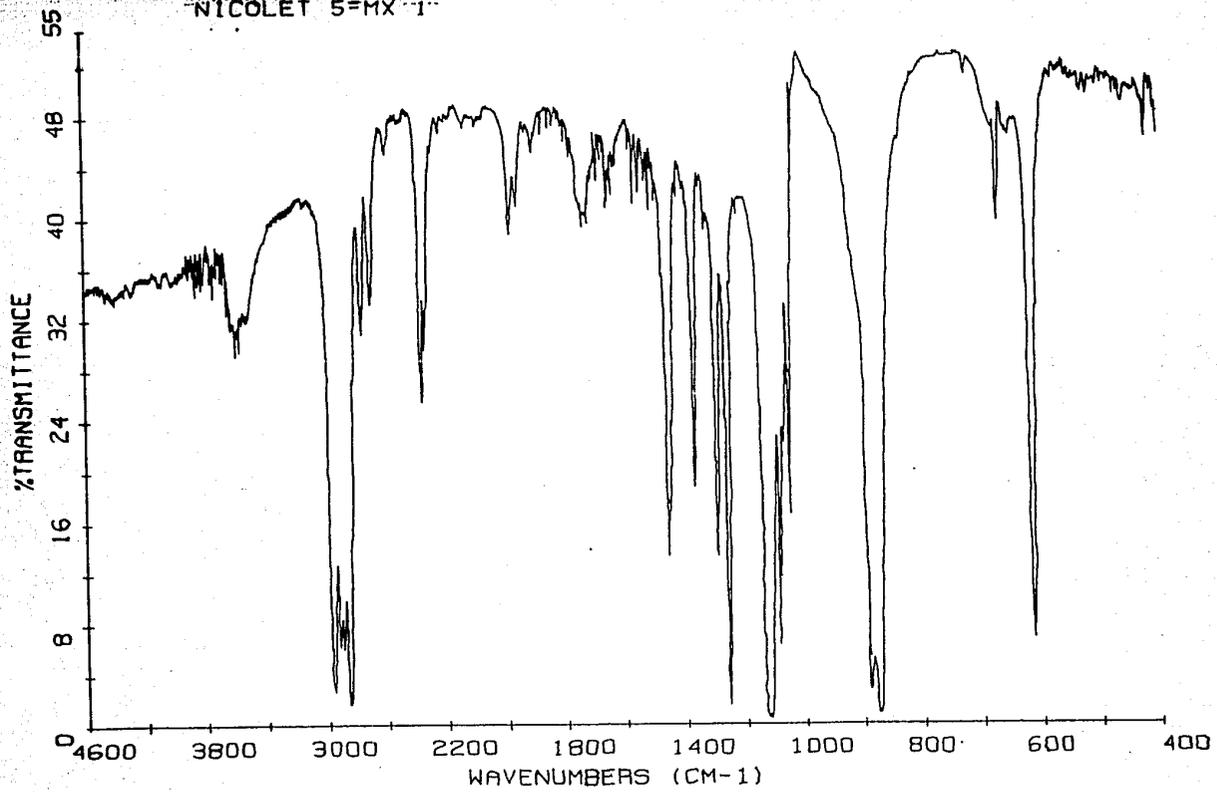
El medio en el cual se va llevar a cabo la reacción no varía substancialmente, debido que el aserrín de madera se obtiene como desperdicio, sin ningún tratamiento posterior a excepción del control de la humedad del mismo.

El siguiente análisis de espectroscopía al infrarrojo de la lignina extraída de nuestra materia prima (aserrín de madera) nos ayudará a explicar mejor el mecanismo propuesto de polimerización.

Se tomaron como base los estudios hechos por Hergert, el cual por medio de la determinación del espectro infrarrojo de compuestos modelos de la lignina conífera y productos de degradación, los cuales presentaron las frecuencias características para grupos carbonilo, dobles enlaces etilénicos, anillos aromáticos y grupos hidroxilos. Kahumura e Higuchi compararon el espectro de ligninas de maderas molidas y ligninas de dioxano aisladas de troncos de diferentes especies; los espectros son semejantes.

El espectro obtenido para la lignina se puede observar en la figura contigua. En dicha figura se pueden observar las bandas que nos indican la presencia de OH de alcoholes y fenoles, dobles enlaces etilénicos y anillos aromáticos, que son las bandas más fuertes.

NICOLET 5-MX-1



La presencia de radicales OH de alcoholes y fenoles se denota por una fuerte banda ancha en la frecuencia de  $3581-3566\text{ cm}^{-1}$ , y en la región de  $1683-1635\text{ cm}^{-1}$ , se identifican los anillos bencénicos con características del alargamiento de la vibración de C - C en el anillo bencénico.

El alargamiento de la vibración de C - H de los hidrocarburos saturados muestran bandas en el rango  $2854-2962\text{ cm}^{-1}$ , la apariencia de esas bandas pueden indicar la presencia de  $-\text{CH}_3$  y  $-\text{CH}_2$ .

El grupo carbonilo es indudablemente el que recibe más atención que cualquier otro grupo funcional en el estudio de la lignina. Brauns postuló al grupo carbonilo como un sitio en la reacción durante la sulfonación, etanólisis, etc., pero no pudo establecer el tipo de grupo carbonil presente en la lignina. Weniger fue el primero en decir que los aldehídos y cetonas siempre exhiben una banda cerca de  $1680\text{ cm}^{-1}$ , la cual debe ser asociada con el grupo carbonil. Después Banés encontró que el grupo carbonilo se absorbe en el rango  $1725 - 1969\text{ cm}^{-1}$  y notó que la conjugación es inducida a bajos cambios de frecuencia. Las bandas en el rango  $1680-1660\text{ cm}^{-1}$ , son asignadas para 2 carbonilos en el mismo anillo o para una cetona alifática en conjugación con C=C. El enlace hidrógeno de los grupos carbonilo causa un pequeño cambio que fue determinado por Grove y Willis, la conjugación de un grupo carbonil con una unión C-C que da por resultado una disminución de la frecuencia por una dependencia de la naturaleza del doble enlace, en contraste las cetonas dan un cambio de frecuencia más allá que el dado por un grupo aril y se absorbe en el mismo rango que los grupos aromáticos.

Un ligero cambio a una frecuencia alta  $1710\text{ cm}^{-1}$ , puede indicar la presencia de un aril aldehído, el cual absorbe en el rango  $1715-1695\text{ cm}^{-1}$ , y

una cetona con la unión abierta la cual absorbe en el rango 1720-1705  $\text{cm}^{-1}$ . Los aldehídos alifáticos absorben en el rango de 1740-1720  $\text{cm}^{-1}$ .

La presencia de bandas en la región 1683-1635  $\text{cm}^{-1}$  confirman la estructura aromática, sin embargo, los estudios fundamentales de las vibraciones del benceno muestran los modos característicos del alargamiento del esqueleto de un enlace C-C semi saturado, nos ayudan a detectar cuatro bandas entre 1650 y 1450  $\text{cm}^{-1}$ , cerca a 1600 y 1500  $\text{cm}^{-1}$ , que es característico de los anillos aromáticos. La posición de las bandas son influenciadas por la naturaleza de los grupos substituídos.

La intensidad de las bandas se incrementa debido a la presencia de ésteres para hidroxifenilo e iones carboxilatos en los carbohidratos. Para compuestos aromáticos con para - substitución que presentan pequeñas desviaciones cerca de frecuencias altas, también se puede aplicar a material trisubstituído. El patrón de substitución de los tipos aromáticos es identificado por una fuerte absorción abajo de 900  $\text{cm}^{-1}$ , y en este análisis se observa en 875  $\text{cm}^{-1}$ .

Cloithup propuso el rango 770-730  $\text{cm}^{-1}$ , para la posición fuera del plano del enlace C-H, absorción del aromático mono substituído; los materiales ortó-disubstituído absorben aproximadamente en el mismo rango de frecuencia.

Con base en lo anterior, pudimos comprobar la presencia de dobles ligaduras, grupos carbonilo, anillos bencénicos para substituídos y radicales OH-, entre otros, que tomamos como base para llevar a cabo la reacción de polimerización de la lignina con el ácido adípico en presencia de la hexametilén tetramina.

## IV.2 Pruebas mecánicas.

### IV.2.1 Prueba de resistencia a la flexión.

Las propiedades referentes a la resistencia a la flexión son de suma importancia para este tipo de materiales, ya que son bastante útiles para tener un control de calidad sobre los mismos.

Las gráficas de carga - deflexión se muestran en las figuras de la 1 a la 4.

En las tablas 1A y 1B se reportan los resultados, tanto de esfuerzo de resistencia a la flexión como del módulo de elasticidad.

Los datos mostrados en las tablas 1A y 1B se compararon con los datos mínimos para resistencia a la flexión para tableros aglomerados comerciales, que son:

ESPESOR (mm)	RESISTENCIA A LA FLEXION $\text{kgf/cm}^2$
9	200
13	200
20	180
25	150
32	120
40	100
50	80

Como puede apreciarse, estos estándares para la resistencia a la flexión no son alcanzados por los tableros de aserrín de madera y solamente por uno de los elaborados con bagazo de caña.

Aunque los valores obtenidos para nuestros productos sean menores en un 50% en el caso de tableros de aserrín de madera y de 75% en el caso de ta--

bleros de bagazo de caña a los dados por estas referencias, se acercan a éstos, por ésto seleccionamos a los tableros que pasaron de los 100 Kgf/cm<sup>2</sup> en el caso de los de aserrín de madera y de 150 Kgf/cm<sup>2</sup> en el caso de los de bagazo de caña.

Estos resultados son satisfactorios debido a que se mejoraron los resultados de esta prueba en trabajos anteriores. (1) El mejor resultado de esta referencia para tableros de partículas de madera fue de 95 Kgf/cm<sup>2</sup> que es inferior al mejor resultado obtenido en este estudio, que fue de 133 Kgf/cm<sup>2</sup>.

En lo que respecta a los tableros de bagazo de caña, en la referencia citada, el mejor resultado fue de 139 Kgf/cm<sup>2</sup>, mientras que el obtenido mediante esta estudio fue de 216 Kgf/cm<sup>2</sup>.

Los tableros seleccionados son: de bagazo de caña; 5, 6, 8, 9, 10 y 11; y de aserrín de madera 5, 6, 14, 18, 19 y 20.

#### IV.3 Otras pruebas.

##### IV.3.1 Absorción de agua.

Para llevar a cabo esta prueba se tomaron dos muestras al azar de los tableros de aserrín de madera y bagazo de caña.

Como consecuencia de que en el trabajo citado anteriormente se obtuvieron productos que absorbían mucha agua (1), se seleccionaron 10 tableros de aserrín de madera y 6 de bagazo de caña para su estudio. El punto en común de las condiciones de operación en la elaboración de estos tableros fue el tiempo de prensado constante de 10 minutos. El objeto fundamental de lo anterior fue observar la relación que se tenía entre la presión de operación y la absorción

FIGURA 1

ESFUERZO-DEFORMACION DE LAS MUESTRAS SELECCIONADAS EN LAS PRUEBAS  
DE RESISTENCIA A LA FLEXION  
ASERRIN DE MADERA

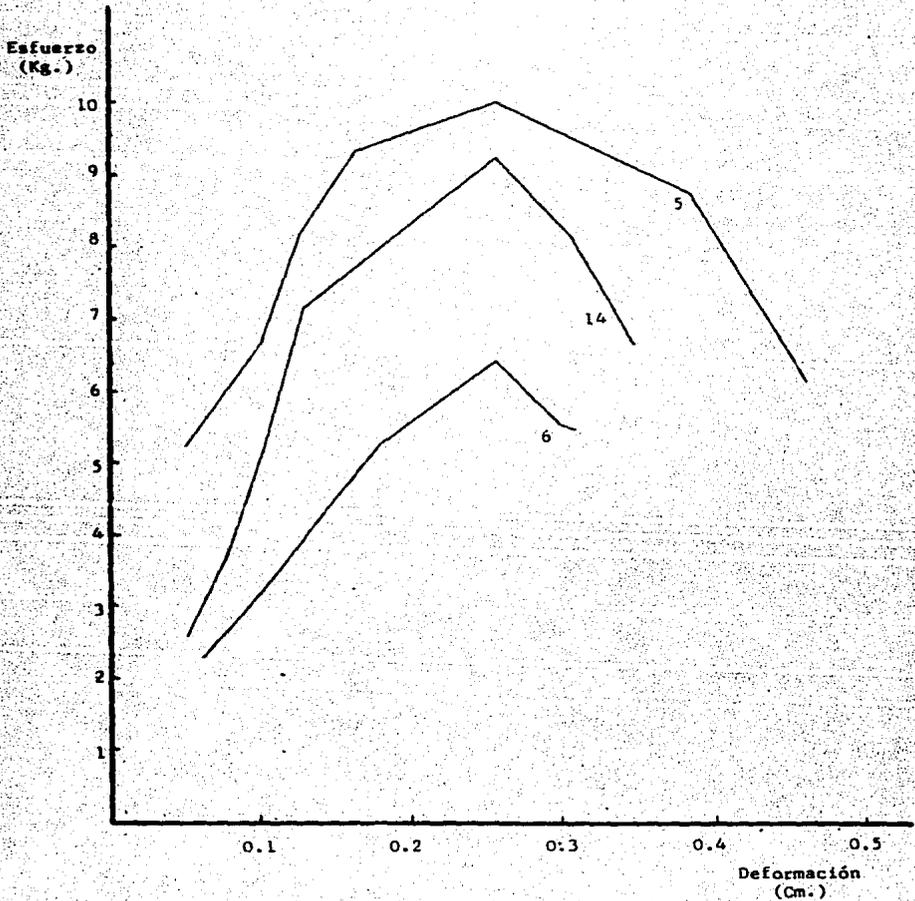


FIGURA 2

ESFUERZO-DEFORMACION DE LAS MUESTRAS SELECCIONADAS EN LAS PRUEBAS DE  
RESISTENCIA A LA FLEXION  
ASERRIN DE MADERA

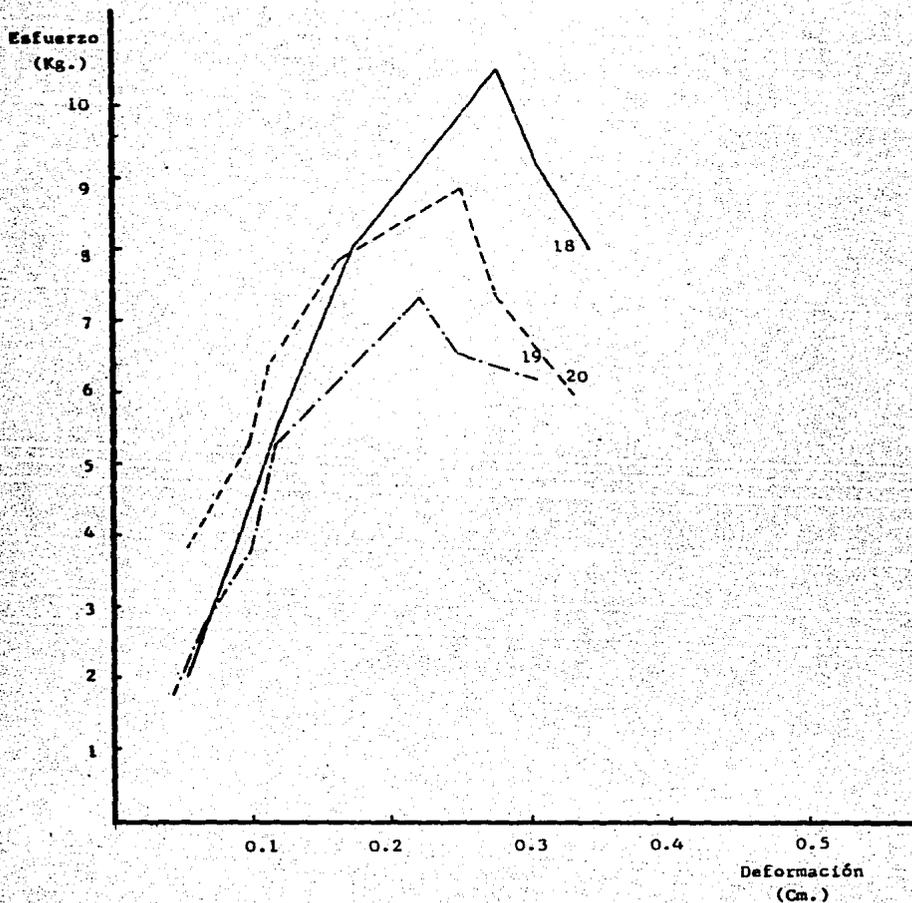


FIGURA 3

ESFUERZO-DEFORMACION DE LAS MUESTRAS SELECCIONADAS EN LAS PRUEBAS  
DE RESISTENCIA A LA FLEXION  
BAGAZO DE CAÑA

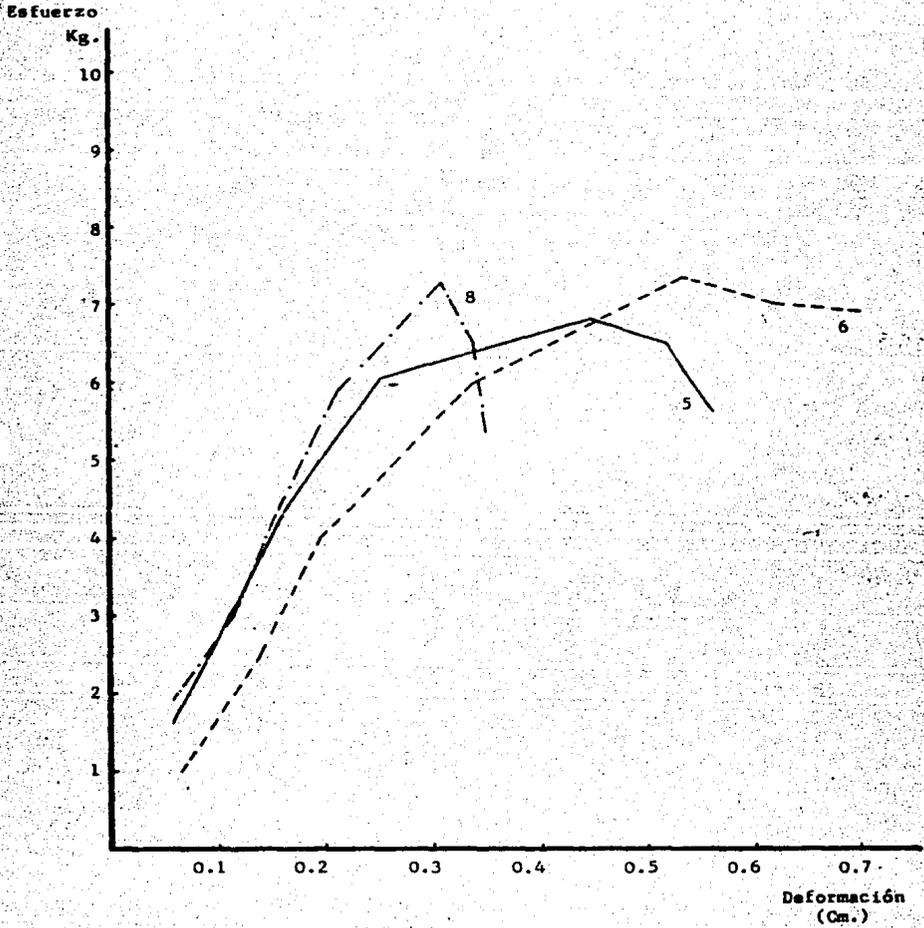
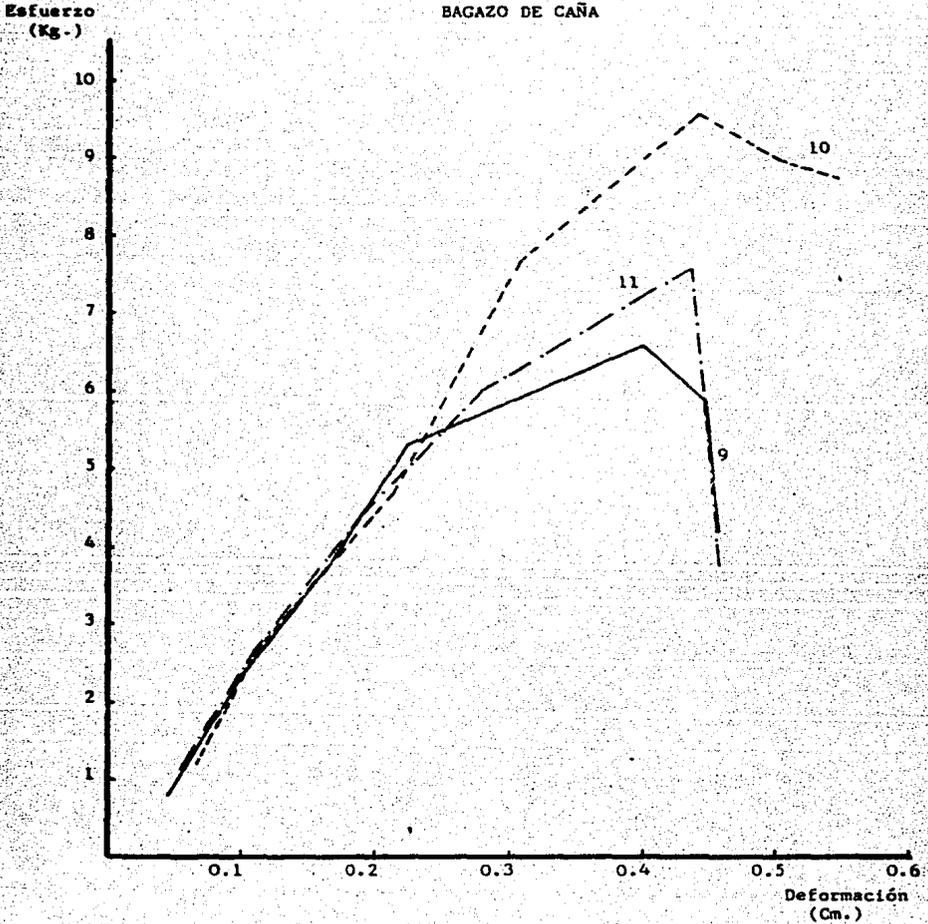


FIGURA 4

ESFUERZO-DEFORMACION DE LAS MUESTRAS SELECCIONADAS EN LAS PRUEBAS  
DE RESISTENCIA A LA FLEXION  
BAGAZO DE CAÑA



TABLAS 1A y 1B

MODULO DE RUPTURA, ESFUERZO MAXIMO DE FLEXION Y DE ELASTICIDAD PARA LOS TABLEROS DE  
BAGAZO DE CAÑA Y ASERRIN DE MADERA

1A  
BAGAZO DE CAÑA

Muestra	P máximo (Kgf)	S máximo <sup>s</sup> (Kgf/cm <sup>2</sup> )	E <sup>**</sup> (Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	7.07	137.12	10,825.21
2	4.87	103.22	8,882.83
3	6.57	131.38	9,215.86
4	6.37	131.34	9,287.70
5	5.97	152.78	14,302.22
6	6.83	173.18	13,290.57
7	5.87	127.58	9,241.10
8	8.20	179.26	14,746.64
9	8.13	172.51	15,181.56
10	8.87	216.95	17,227.89
11	7.73	173.79	15,588.49
12	3.40	95.19	12,140.07
13	5.57	101.80	7,845.64
14	4.60	109.73	15,200.32
15	1.60	46.55	9,488.77

1B  
ASERRIN DE MADERA

Muestra	P máximo (Kgf)	S máximo <sup>s</sup> (Kgf/cm <sup>2</sup> )	E (Kgf/cm <sup>2</sup> )
1	7.25	81.06	7,558.15
2	5.30	64.02	4,349.00
3	2.70	37.76	3,248.88
4	6.13	89.27	8,083.60
5	8.56	102.92	7,007.14
6	5.40	120.05	10,919.04
7	6.90	88.09	12,641.02
8	3.26	40.63	4,701.20
9	5.70	85.75	7,376.15
10	4.70	65.31	6,429.09
11	2.77	42.86	5,607.75
12	2.90	50.80	3,837.81
13	4.37	69.03	10,242.01
14	6.00	94.80	8,594.41
15	4.10	73.35	6,524.81
16	7.30	64.27	10,393.75
17	3.67	51.61	5,957.26
18	7.50	133.33	13,153.75
19	7.57	133.47	14,631.35
20	8.67	125.94	10,495.45
21	6.87	95.42	10,426.77

\*Esfuerzo máximo de flexión.

\*\* Módulo de elasticidad.

de agua del producto.

Las muestras seleccionadas, así como las presiones de operación y la hinchazón promedio\* de éstas se muestra a continuación:

Muestra	Espesor (cm)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Grado de hinchamiento (cm)	(%)
Aserrín de madera				
2 C	0.89	612	2.71	204
4 C	1.01	884	2.91	188
8 A	0.96	612	3.49	263
9 C	0.90	884	1.99	121
10 C	0.89	884	2.00	124
12 B	0.89	884	1.49	67
13 A	0.89	612	2.19	146
16 D	1.09	612	2.67	144
17 A	0.90	612	2.09	132
20 B	0.84	612	2.22	149
Bagazo de caña				
1 D	0.71	612	1.53	115
3 A	0.76	884	1.64	115
5 B	0.66	884	1.14	72
7 C	0.73	612	1.34	83
9 B	0.70	884	0.96	37
15 D	0.67	884	1.20	79

\* Se tomó la hinchazón promedio debido a que después de la prueba, los tableros adoptaron formas irregulares.

Como se puede observar en la tabla anterior, el porcentaje de hinchazón es bastante considerable para la gran mayoría de los tableros.

#### IV.3.2 Análisis térmico diferencial.

Con la información obtenida de los análisis termogravimétrica -- ( T G A ) y calorimétrico diferencial de barrido ( D S C ) que se practicaron a las muestras de lignina, ácido adípico y hexametilentetraamina (en mezcla estas últimas), se estimaron el rango de estabilización, y la temperatura de -- transición para cada uno de ellos.

El rango de estabilización es aquel en donde el peso de la muestra no disminuye al aumentar la temperatura de la misma.

En la siguiente tabla tenemos resultados de la lignina que se -- compararon con lignina demetoxilada y lignina halogenada, que son datos obtenidos de trabajos anteriores.<sup>(13)</sup>

Muestra	Rango de Estabilización °C
Lignina	100 - 225
Lignina demetoxilada	100 - 180
Lignina halogenada	150 - 270
Mezcla	155 - 250

Se observa que el rango de estabilización de la lignina demetoxilada es más estrecho que el de la lignina pura, esto nos muestra que la molécula de lignina se ve afectada en su estabilidad térmica por la demetoxilación. En cambio con la lignina halogenada sucede lo contrario, si se observa su rango de estabilización los límites son más altos, lo que indica que la halogenación favorece la estabilidad de la macromolécula de lignina.

En cuanto al rango de estabilización de la mezcla, se aprecia que

éste se encuentra entre los 155 y los 250°C, con la cual podemos sostener la temperatura de operación de 150°C.

La temperatura de transición indica cuando una sustancia sufre cambios de fase, cambios morfológicos, o degradación térmica.

En la tabla siguiente se encuentran reportados los resultados obtenidos.

M u e s t r a	Temperatura de transición ( °C )
Lignina obtenida por nosotros	335
Lignina desmetoxilada	280
Lignina halogenada	310
Catalizador usado en este trabajo	330

La desmetoxilación en la molécula de lignina afecta la temperatura de transición reduciéndola en 16.4% en relación con la lignina, al halogenar la lignina se reduce en un 7.4% de la temperatura de transición. En consecuencia, las modificaciones provocan que la macromolécula de lignina sufra un cambio a menor temperatura, sin embargo, estas modificaciones no afectan nuestro mecanismo de reacción debido a que las condiciones de operación adecuadas, según nuestro estudio, están por debajo de estas temperaturas de transición.

La mezcla presenta una temperatura de transición similar a la de la lignina.

## CAPITULO V

### V.1 Estudio de Mercado para Tableros Aglomerados de Madera.

La Economía Mexicana en el período 1978 - 1981 mostró una expansión vigorosa que llevó a un crecimiento del Producto Interno Bruto real del país a una tasa superior al 8% anual; sin embargo durante el año de 1982, México enfrentó un marcado deterioro de su situación económica, lo que significó que el Producto Interno Bruto no registrara ningún crecimiento.

Cabe señalar que durante 1981, el alto nivel de sobrevaluación del peso mexicano frente al dólar, por el efecto acumulado de sostener una tasa de inflación interna muy superior a la de los países con los que fundamentalmente México tiene relaciones comerciales, tuvo como desenlace la primera devaluación, en febrero de 1982. Hoy el país se enfrenta a una gran crisis económica, la más severa en su historia.

Ante una deuda externa de más de 100,000 millones de dólares y después de realizarse los ajustes en la paridad de la moneda frente a las principales divisas del mundo, el camino es: producir con calidad y exportar.

La industria de los tableros de madera cuenta actualmente con una capacidad productiva anual de 1'262,500 metros cúbicos, o sea 210 millones de metros cuadrados base 6 mm de espesor, lo que le permite cubrir ampliamente las necesidades internas que de este producto demanda el país; asimismo le ha permitido iniciar exportaciones a partir del segundo semestre de 1982, al igual que sustituir importaciones en las zonas libres de Baja California y la franja fronteriza norte.

La situación crítica que vive México hace imperativo que los secto-

res laboral, industrial y gubernamental se mantengan más unidos que nunca para así coadyuvar a que estos momentos difíciles sean menos drásticos y se ayude a la pronta recuperación del país.

El siguiente estudio de mercado se refiere concretamente a los tableros aglomerados de madera, que junto con los tableros contrachapados o triplay y con los tableros de fibra de madera, son los tableros comerciales más importantes en México hasta la fecha.

#### Tableros aglomerados.

##### Características y propiedades.

- a) El tablero aglomerado es la unión ordenada de partículas de madera y aglutinado con resinas sintéticas mediante un método ordenado de producción.
- b) Por sus propiedades acústicas y aislantes de temperatura se utilizan como materiales para la industria de la construcción y por su estabilidad dimensional y su resistencia a polillas y otros insectos son aprovechados en la industria mueblera.
- c) Medidas comerciales: las medidas comerciales más usuales para este tipo de tableros son las siguientes:  
Espesor: 2,3,4,5,5.5,7.5,9.1,10.5,12,14,16,17.5,19,21,25,30 y 38 mm.  
Ancho: 0.91,1.22 y 1.83 m.  
Largo: 1.83,2.44,3.05,3.66,4.27,4.88 y 7.32 m.

Consumo Nacional Aparente. 1973 - 1984.

La Producción Nacional de tableros aglomerados de madera ha venido -

umentando en forma constante, aproximadamente 22% en promedio anual. El aumento más notorio de la producción se produjo en el año de 1980 (316.2 miles de  $m^3$ ) con respecto al año de 1979 (198.8 miles de  $m^3$ ).

La capacidad instalada para tableros aglomerados en 1982 fue de 685 miles de  $m^3$ /año, lo que significa que en este año sólo se utilizó aproximadamente el 60% de la capacidad total. Cabe hacer mención que la capacidad instalada no ha variado en los últimos dos años que se tienen estadísticas (1983 - 1984). El Consumo Nacional Aparente (CNA) de tableros aglomerados en México se muestra en la siguiente tabla:

CONSUMO NACIONAL APARENTE DE TABLEROS  
AGLOMERADOS DE MADERA EN MEXICO 1973 - 1984  
(Miles de  $m^3$ ).

Año	Producción	Importación*	Exportación	CNA
1973	71.4	0.9	-	72.6
1974	88.7	19.1	-	107.8
1975	114.3	5.7	-	120.0
1976	150.7	16.2	-	166.9
1977	154.8	18.3	0.3	172.8
1978	161.9	13.9	0.4	175.4
1979	198.8	43.5	-	242.3
1980	316.2	32.3	-	348.5
1981	335.1	25.8	0.2	360.7
1982	412.0	18.7	1.9	428.8
1983	335.0	-	72.3	262.7
1984	379.0	-	65.7	313.3

\*Incluye importaciones para consumo en las zonas y perímetros libres.

FUENTE: Dirección General de Estadística,

Secretaría de Programación y Presupuesto.

Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros de Madera, A.C.

### Importación.

La importación de tableros aglomerados representa aproximadamente un 10% de la producción nacional en promedio.

Las importaciones de tableros de México no muestran una tendencia definida en la primera parte del período analizado. Hubo un aumento significativo de la importación en el año de 1979 (43.5 miles de m<sup>3</sup>), y a partir de este año el comportamiento de éstas es marcadamente decreciente ya que en 1982 solo se importaron 18.7 miles de m<sup>3</sup> de tableros aglomerados, y para los años de -- 1983 y 1984 prácticamente no existen éstas.

### Exportación.

Las exportaciones mexicanas de tableros aglomerados fueron casi nulas durante el período 1973-1982, como ejemplo se menciona 1982, año en el cual se exportó la mayor cantidad de este producto (1.9 miles de m<sup>3</sup>), que como se observa es una cantidad realmente muy pequeña en comparación con la producción -- en este mismo año. Sin embargo, para 1983 y 1984 se han detectado exportaciones significativas de 72 y 65 miles de metros cúbicos de estos productos.

### Panorama Internacional.

Los principales productores y exportadores de tableros aglomerados se muestran en la siguiente tabla.

**PRINCIPALES PRODUCTORES DE TABLEROS  
AGLOMERADOS DE MADERA EN EL MUNDO EN 1982**

<b>P a í s e s</b>	<b>Producción</b>	<b>Importación</b>	<b>Exportación</b>	<b>CNA</b>
EE.UU.	5,200	517	149	5,571
Alemania Fed.	5,486	741	719	5,508
Bélgica-Lux	1,650	80	1,037	693
Suecia	952	29	243	738
Austria	1,045	46	511	580
México	412	19	2	429

Unidad: Miles de m<sup>3</sup>

FUENTE: Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros de Madera, A.C. con datos del Anuario de productos Forestales de la FAO. 1984.

El país que registró la mayor producción de tableros aglomerados en 1982 a nivel mundial, fue la República Federal de Alemania, sin embargo dicho país no fue el principal exportador de este producto, ya que fue el país con el segundo más alto Consumo Aparente en el mundo.

El principal exportador de tableros aglomerados en 1982 fue Bélgica-Luxemburgo con 1,037 miles de m<sup>3</sup>, que representó casi el 63% de su producción en ese año.

Estados Unidos también es uno de los principales productores de tableros aglomerados en el mundo, sin embargo, no es un gran exportador debido a que es uno de los mayores consumidores mundiales. En la tabla precedente se puede apreciar lo anterior. En dicha tabla los EE.UU ocuparon el primer lugar en Consumo Aparente en 1982 con 5,571 miles de m<sup>3</sup>.

Los demás países productores que pueden considerarse importantes a ni

vel mundial son Suecia y Austria.

El consumo per cápita en diversos países para 1980 y 1982 se presenta en la siguiente tabla:

PAIS	TABLEROS AGLOMERADOS	
	1980	1982
Argentina	5.9	7.8
Brasil	2.9	5.5
México	2.8	5.7
Alemania Fed.	69.8	90.0
EE.UU.	18.9	25.3

Unidad: Kg/habitante.

El país que presentaba el mayor consumo per cápita en 1980 fue Alemania Federal con 69.8 Kg de tablero/habitante año, le sigue EE.UU. con una cifra mucho menor 18.9 Kg de tablero/habitante año.

El país latinoamericano con mayor consumo per cápita es Argentina -- con 5.9 Kg de tablero/habitante año, le sigue Brasil con 2.9 Kg de tablero/habitante año.

México tiene un bajo consumo per cápita de este producto, (2.8 Kg/habitante), lo cual podría significar que sólo un núcleo pequeño de la población consume tableros aglomerados.

Es notorio el incremento en el consumo per cápita que se registró de 1980 a 1982 para todos los países mencionados anteriormente. Un hecho sobresaliente de lo anterior es que nuestro país aumentó en forma considerable su con

sumo al pasar de 2.8 Kg/habitante hasta 5.7 Kg/habitante en el último año.

Los principales fabricantes de tableros aglomerados en México se presentan en la siguiente tabla.

#### PRINCIPALES FABRICANTES DE TABLEROS AGLOMERADOS EN MÉXICO

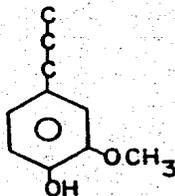
<u>E m p r e s a</u>	<u>L o c a l i z a c i o n</u>	<u>Año de inicio de operación</u>
Duraplay de Parral, S.A.	Parral, Chihuahua	1968
Fibracel, S.A. de C.V.	Cd. Valles, S.L.P.	1968
Grisotex, S.A.	Durango, Dgo.	1974
Industrias Resistol, S.A.	Zitácuaro, Mich.	1981
Maderas Aglomeradas, S.A. de C.V.	San Juan Ixhuatepec Edo. de México	1973
Mayaplay, S.A.	Colonia, Yuc.	1975
Maderas Moldeadas, S.A. de C.V.	Durango, Dgo.	1975
Nóvopan de México, S.A.	Oaxaca, Oax.	1967
Organismo Público Descentralizado Vicente Guerrero.	Papanao, Gro.	1969
Paneles Ponderosa, S.A.	Chihuahua, Chih.	1979
Prefabricados Estructurales		
Bison-Guadina, S. de R.L.	Durango, Dgo.	1983
Prensados Mexicanos, S.A.	Coacalco, Edo. de México	1972
Triplay y Aglomerados del Guadiana, S.A.	Durango, Dgo.	1983

Como se puede observar cuatro de las trece empresas se encuentran en el Estado de Durango, dos en el Estado de México, dos en el Estado de Chihuahua, y una en los Estados de San Luis Potosí, Michoacán, Yucatán, Oaxaca y Guerrero.

## VI. CONCLUSIONES

### A) Mecanismo de reacción

Por medio de la espectroscopía al infrarrojo, como se detalla en el capítulo IV, se detectaron los grupos funcionales: -OH, carbonilo, dobles ligaduras, el anillo bencénico para-sustituído, etc., que constituyen la unidad base del mecanismo propuesto.



En adición a lo anterior, Fors<sup>(14)</sup> investigador finlandés obtuvo un adhesivo mediante la copolimerización de lignina con resina fenol-formaldehído, y el mecanismo de reacción es muy similar al propuesto en este trabajo. Además éste tiene como base la teoría de polimerización por adición referida de antena no en el capítulo II.

### B) Resistencia a la flexión.

Después de un análisis de los resultados de las pruebas de resistencia a la flexión, así como de las características de la formación de los tableros y sus condiciones de operación se procedió a una eliminación progresiva de los tableros que mostraron resultados lejanos a los que se citan en la Norma Oficial Mexicana NOM-C325-1975 "NORMA OFICIAL DE CALIDAD DE TABLEROS DE PARTICULAS DE MADERA DE TIPO COLCHON".

Los tableros seleccionados tanto de bagazo de caña como los de aserrín de madera son:

**Bagazo de Caña**

Tablero	Tiempo (min)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Temperatura °C	Módulo "E" (Kg/cm <sup>2</sup> )
5	10	1,156	130	973
6	15	1,156	130	904
8	15	612	150	1,003
9	10	884	150	1,032
10	15	884	150	1,171
11	10	1,156	150	1,060

**Aserrín de madera.**

5	15	884	150	476
6	10	884	170	742
14	10	884	170	584
18	10	612	180	894
19	10	1,156	150	995
20	10	653	150	714

Se obtuvieron las condiciones de operación, que podríamos llamar óptimos, para la elaboración de productos que tengan características similares a las de la norma anteriormente mencionada.

El tiempo de prensado es una variable muy importante cuando se piensa en una producción continua de estos tableros. Con respecto a lo anterior, y analizando las variables de operación de los tableros seleccionados, se puede observar que un incremento en esta variable, de 10 a 15 minutos no presenta un incremento significativo en la resistencia de los tableros.

Sería necesario llevar a cabo un análisis detallado de costo -beneficio para detectar si sería o no conveniente este incremento en la resistencia del material, sacrificando la producción. En nuestra opinión el tiempo - óptimo de prensado es de "10" minutos.

Por otro lado, en los tableros de bagazo de caña tenemos dos muestras (las No. 5 y 10) con características similares a excepción de la temperatura; se obtiene solamente un incremento del 8% en la resistencia del material, cifra que es insignificante. Dentro de las muestras seleccionadas de madera - se tienen 2 con características de procesamiento similares (6 y 14): 884 Kg/cm<sup>2</sup> de presión, 170°C de temperatura y 10 minutos de tiempo de prensado, sin embargo la homogeneización del material a prensar fue diferente. En el primer caso (E = 742 Kg/cm<sup>2</sup>) en donde el material grueso conformó el centro del tablero, - mientras que el segundo (E = 584 Kg/cm<sup>2</sup>) el material grueso se mezcló con los finos y medianos.

Como se puede apreciar en los párrafos anteriores, las condiciones de operación para obtener los mejores resultados de resistencia del material producido fueron las siguientes: Presión de 884 Kg/cm<sup>2</sup>, temperatura de 150°C, tiempo de residencia de 10 minutos y una preparación del preformado del material con - las partículas gruesas al centro.

Con las partículas gruesas al centro, al aplicar la presión, éstas se superponen y forman malla y entrecruzamientos en los cuales se presenta un mayor contacto en las hojuelas, cuando la parte central del tablero se encuentra constituido por los gruesos, se obtienen los mejores resultados.

Adicionalmente cabe mencionar que los tableros no mostraron, en su mayoría, una tendencia a agrietarse ni a separarse como se encuentra reportado en

trabajos anteriores.

C) Absorción de agua.

La absorción de agua de los tableros obtenidos en este trabajo es con siderable.

Como se puede apreciar en los datos obtenidos en esta prueba, en gen eral, conforme disminuye la presión de operación, el porcentaje de hinchazón es mayor.

Esto es hasta cierto punto normal, ya que con una presión de prensado mayor, el material ya sea aserrín de madera o bagazo de caña queda más compacta do, obstaculizando de esta manera la penetración de mayores cantidades de agua.

Los tableros elaborados con bagazo de caña mostraron una mayor resis tencia a la penetración de agua, debido a que las fibras se entrecruzan dando un producto más compacto que los elaborados con aserrín de madera.

El por ciento promedio de hinchazón para los primeros fue de 83.5%, - mientras que para los últimos se obtuvo un valor promedio de 153.8%.

Los productos obtenidos en este trabajo, se utilizarían preferentemen te en interiores, es decir, prácticamente no estarían en contacto con el agua. Adicionalmente se puede sugerir que se recubran con resinas protectoras\* con el fin de evitar que se hinchen como consecuencia de una absorción indeseable de - agua. Sería recomendable un recubrimiento de espesor de 0.5 mm aproximadamente.

D) Estudio de Mercado.

Los tableros aglomerados, que por sus propiedades se pueden usar en - la industria de la construcción y en la industria mueblera y que resultan ser -

\*Barniz de poliuretano.

más económico que la madera, tienen un panorama bastante promisorio cuando se realice su comercialización en forma adecuada.

En 1984 se estaba trabajando en la industria de los tableros aglomerados a un 55% de su capacidad instalada.

Esta situación, aunada a la casi nula exportación de este material -- nos lleva a la conclusión de que se deben buscar los mercados internacionales. La industria de los tableros aglomerados trabajando a toda su capacidad, podría abastecer al mercado interno y a su vez comercializar el resto en el extranjero; particularmente en los EEUU, ya que en 1982 este país importó 517 mil m<sup>3</sup> de este producto, teniendo la ventaja de que dicho mercado se encuentra muy cerca de México.

La baja en las importaciones en los últimos años ha sido causa fundamentalmente del reajuste en la paridad de nuestra moneda con respecto al dólar, por lo que los consumidores nacionales han vuelto su atención al mercado nacional. La planta productiva nacional tiene capacidad para aumentar su producción interna, tanto en cantidad como en calidad.

De lograr lo anterior se tendría una mejor opción para alcanzar las siguientes metas: Iniciar la comercialización de estos productos en el exterior; abastecer el mercado nacional en forma satisfactoria; y reducir aún más las importaciones.

APENDICE

A N E X O A

CARACTERISTICAS DE FORMACION DE LOS TABLEROS DE ASERRIN DE MADERA

TABLERO	PRESTION (kg/cm <sup>2</sup> )	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE PRENSADO (min)	GRUESOS (g)	MEDIANOS (g)	FINOS (g)	CARACTERISTICAS DE HOMOGENEIZACION
1	612	130	10	100	50	50	Se mezclan los tres componentes con 2 g. de mezcla y se divide en 3 capas.
2	612	130	10	100	50	50	Se mezclan medianos y finos con dos g. de mezcla, se divide en dos partes. Una parte superior, gruesos al centro y la otra parte.
3	884	130	10	100	50	50	Se mezclan medianos y finos con 2 g. de mezcla. Una capa superior, gruesos al centro y otra capa inferior.
4	884	130	10	100	50	50	Se mezclan los 3 componentes con dos g. de mezcla. Se divide en capas con el resto de la mezcla.
5	1,156	150	10	125	62.5	62.5	Se mezclan finos y medianos con dos g. de mezcla, los gruesos al centro con el resto de la mezcla.
6	652	150	10	75	37.5	37.5	Se mezclan finos y medianos con 1.5 g. de mezcla, al centro los gruesos con el resto de la mezcla.
7	612	150	10	75	37.5	37.5	Se mezclan finos y medianos con 2 g. de mezcla al centro los gruesos con el resto de la mezcla.
8	612	150	10	80	50	50	Se mezclan finos y medianos con 1.8 g. de mezcla, los gruesos al centro con el resto de la mezcla.
9	884	150	10	80	50	50	Se mezclan finos y medianos con 1.8 g. de mezcla. Los gruesos al centro con el resto de la mezcla.
10	884	150	10	80	50	50	Se mezclan los 3 componentes con 2 g. de mezcla. Se divide en 3 capas y se adiciona al resto de la mezcla.
11	884	150	10	100	70	30	Se mezclan finos y medianos con 2 g. de mezcla. Los gruesos al centro con los 2 g. de mezcla restantes.

TABLERO	PRESION (Kg/cm <sup>2</sup> )	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE PRENSADO (min)	GRUESOS (g)	MEDIANOS (g)	FINOS (g)	CARACTERISTICAS DE HOMOGENEIZACION
12	884	150	10	100	50	50	Se mezclan finos y medianos con 2 g. de mezcla. Los gruesos al centro con el resto de la mezcla.
13	884	150	10	75	75	50	Se mezclan finos y medianos con 2 g. de mezcla. Los gruesos al centro con los restantes 2 g. de mezcla.
14	884	150	15	75	75	50	Se mezclan finos y medianos con 2 g. de mezcla. Los gruesos al centro con los 2 g. de mezcla restantes.
15	884	150	15	75	75	50	Se mezclan los 3 componentes con 2 g. de mezcla. El resto de la mezcla se adiciona en capas.
16	612	170	10	125	62.5	62.5	Se mezclan finos y medianos con 2.5 g. de mezcla. Los gruesos al centro con los otros 2.5 g. de mezcla.
17	612	170	10	125	62.5	62.5	Se mezclan los 3 componentes con 2 g. de mezcla. El resto de la mezcla se adiciona entre capa y capa.
18	884	170	10	125	62.5	62.5	Se mezclan finos y medianos con 2 g. de mezcla. Los gruesos al centro con 2 g. de mezcla.
19	884	170	10	125	62.5	62.5	Se mezclan los 3 componentes con 2 g. de mezcla. Los 2 g. de mezcla restantes se adicionan entre capa y capa.
20	612	180	10	125	62.5	62.5	Se mezclan los 3 componentes con 2 g. de mezcla. El resto de la mezcla (2 g) se adicionan entre capa y capa.
21	612	180	10	125	62.5	62.5	Se mezclan finos y medianos con 2 g. de mezcla. Los gruesos al centro con el resto de la mezcla (2 g).

## CARACTERISTICAS DE FORMACION DE LOS TABLEROS DE BAGAZO DE CAÑA\*

TABLERO	PRESION Kg/cm <sup>2</sup>	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE PRENSADO (min)
1	612	130	10
2	612	130	15
3	884	130	10
4	884	130	15
5	1,156	130	10
6	1,156	130	15
7	612	150	10
8	612	150	15
9	884	150	10
10	884	150	15
11	1,156	150	10
12	1,156	150	15
13	612	170	10
14	612	170	15
15	884	170	10

\* Todos los tableros fueron hechos con 150 g. de bagazo molido y 3 g. de mezcla HMTA - ácido adípico, homogeneizado el bagazo con la mezcla.

A N E X O B

RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE FLEXION APLICADOS AL MATERIAL LIGROPOLIMERICO DE ASENNIN DE HADERA

Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)	Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)
1A	0.95	1.49	2.9	0.056	2A	0.98	1.30	3.1	0.056
			3.9	0.084				3.6	0.067
			4.9	0.112				4.2	0.112
			5.4	0.140				4.6	0.140
			6.0	0.212				5.1	0.179
			5.6	0.235				4.1	0.235
5.2	0.280	3.1	0.336						
1B	0.94	1.48	3.9	0.056	2B	1.02	1.31	0.4	0.056
			5.0	0.084				0.9	0.067
			6.0	0.112				1.4	0.112
			7.0	0.128				1.8	0.128
			7.7	0.212				2.5	0.224
			6.5	0.280				1.0	0.252
5.8	0.336	1.1	0.336						
1C	0.95	1.49	1.70	0.056	2C	1.01	1.26	1.4	0.056
			3.70	0.112				2.4	0.067
			4.64	0.123				3.4	0.100
			7.12	0.168				4.4	0.123
			8.00	0.224				5.2	0.173
			6.20	0.280				4.0	0.224
1D	0.96	1.49	2.40	0.044	2D	0.96	1.30	2.5	0.056
			3.80	0.084				3.2	0.067
			4.90	0.112				4.0	0.112
			6.30	0.123				5.0	0.140
			7.30	0.173				5.6	0.168
			6.80	0.212				5.0	0.224
6.20	0.224	4.3	0.235						

Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)	Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)
3A	0.89	1.30	1.0	0.067	4A	0.89	1.25	0.4	0.056
			1.6	0.112				1.0	0.112
			2.1	0.196				1.6	0.252
			2.64	0.224				1.8	0.336
			2.90	0.336				2.0	0.425
			2.30	0.364				1.5	0.571
2.1	0.504	1.0	0.755						
3B	0.91	1.31	1.2	0.056	4B	0.89	1.29	1.2	0.084
			1.8	0.067				2.2	0.140
			2.8	0.112				3.1	0.196
			3.2	0.168				3.6	0.268
			3.7	0.268				4.2	0.336
			3.4	0.308				3.6	0.347
3.2	0.380	3.2	0.448						
3C	0.91	1.30	0.9	0.044	4C	0.89	1.30	2.0	0.056
			1.4	0.067				3.0	0.084
			1.9	0.112				4.1	0.112
			2.2	0.140				5.1	0.168
			2.4	0.196				6.0	0.224
			2.1	0.224				5.4	0.252
1.8	0.336	5.2	0.308						
3D	0.92	1.32	1.2	0.044	4D	0.89	1.30	3.3	0.067
			1.7	0.067				4.3	0.100
			2.2	0.112				5.3	0.123
			2.6	0.140				6.8	0.168
			2.8	0.168				8.2	0.280
			2.6	0.212				7.2	0.336
2.4	0.252	5.6	0.392						

Muestra	Espeor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)	Muestra	Espeor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)
5A	0.99	1.22	4.9	0.084	6A	0.71	1.41	2.3	0.067
			7.5	0.112				3.3	0.112
			7.9	0.140				4.3	0.156
			9.6	0.196				5.2	0.196
			10.6	0.291				6.4	0.200
			9.4	0.336				5.5	0.324
5B	0.99	1.27	8.2	0.392	6B	0.69	1.32	3.8	0.336
			2.6	0.056				3.0	0.067
			3.6	0.100				4.0	0.112
			4.6	0.117				5.0	0.168
			5.2	0.156				5.7	0.212
			6.2	0.224				6.4	0.280
5C	0.99	1.27	4.6	0.280	6C	0.72	1.36	4.5	0.291
			3.6	0.291				1.8	0.336
			3.3	0.084				1.0	0.044
			4.8	0.112				1.5	0.056
			6.3	0.168				2.4	0.112
			7.8	0.196				3.0	0.123
5D	0.99	1.28	9.5	0.392	6D	0.70	1.38	3.4	0.168
			9.2	0.492				3.0	0.196
			8.7	0.560				.7	0.224
			5.3	0.056				2.2	0.056
			6.8	0.112				3.3	0.100
			8.3	0.140				4.2	0.117
5E	0.99	1.28	9.4	0.179	6E	0.70	1.38	4.9	0.168
			10.0	0.280				5.6	0.224
			8.8	0.420				3.8	0.235
			6.2	0.504				2.4	0.280
			5.3	0.056				2.2	0.056
			6.8	0.112				3.3	0.100
8.3	0.140	4.2	0.117						
9.4	0.179	4.9	0.168						
10.0	0.280	5.6	0.224						
8.8	0.420	3.8	0.235						
6.2	0.504	2.4	0.280						

Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)	Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)
7A	0.97	1.38	1.5	0.056	8A	0.96	1.33	2.6	0.044
			2.5	0.084				3.2	0.056
			3.0	0.112				3.64	0.084
			3.5	0.140				4.2	0.112
			4.0	0.179				4.44	0.156
			3.5	0.224				3.6	0.212
			3.0	0.252				2.7	0.280
7B	0.95	1.31	1.9	0.044	8B	0.96	1.41	0.6	0.028
			2.4	0.056				0.9	0.056
			3.4	0.067				1.1	0.084
			4.4	0.100				1.3	0.100
			5.5	0.162				1.4	0.112
			4.4	0.201				0.9	0.179
			3.4	0.291				0.4	0.336
7C	0.95	1.29	1.9	0.044	8C	0.96	1.27	1.0	0.028
			3.36	0.056				1.5	0.056
			4.36	0.084				2.0	0.084
			6.8	0.112				2.3	0.156
			8.4	0.168				2.4	0.196
			5.8	0.224				2.0	0.252
			3.8	0.380				1.5	0.280
7D	0.95	1.31	3.6	0.056	8D	0.96	1.31	0.9	0.044
			4.6	0.084				1.5	0.056
			5.6	0.106				2.3	0.112
			6.2	0.112				2.6	0.140
			6.8	0.168				3.0	0.179
			5.6	0.179				2.4	0.224
			5.0	0.224				1.9	0.280

Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)	Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)
9A	0.90	1.18	2.0	0.044	10A	0.89	1.33	2.3	0.044
			3.0	0.067				3.4	0.084
			4.0	0.112				4.2	0.112
			4.7	0.168				5.2	0.179
			5.4	0.224				5.5	0.224
			4.9	0.235				4.9	0.291
4.3	0.252	4.0	0.380						
9B	0.90	1.25	1.5	0.044	10R	0.92	1.33	1.2	0.056
			2.5	0.084				2.2	0.112
			3.5	0.123				3.2	0.156
			4.3	0.196				4.0	0.212
			4.6	0.280				4.3	0.308
			4.2	0.308				4.0	0.347
3.8	0.364	3.8	0.420						
9C	0.90	1.26	3.4	0.056	10C	0.89	1.28	1.2	0.084
			4.2	0.084				2.2	0.168
			5.4	0.140				2.8	0.235
			6.3	0.196				3.6	0.380
			7.1	0.280				3.8	0.560
			5.4	0.308				3.7	0.728
4.0	0.336	3.0	0.868						
9D	0.92	1.33	0.9	0.056	10D	0.90	1.32	1.5	0.044
			1.3	0.067				2.5	0.067
			1.9	0.100				3.0	0.100
			2.4	0.140				4.0	0.140
			3.0	0.235				4.3	0.268
			2.9	0.504				3.6	0.380
2.7	0.700	1.8	0.459						

Huestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)	Huestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)
11A	0.90	1.20	1.5	0.044	12A	0.80	1.19	1.0	0.056
			2.0	0.056				2.0	0.112
			2.5	0.084				3.0	0.168
			3.0	0.100				4.0	0.235
			3.4	0.173				4.5	0.324
			3.2	0.235				4.0	0.364
			3.0	0.268				3.0	0.380
11B	0.89	1.21	1.9	0.056	12B	0.84	1.11	0.4	0.056
			3.0	0.084				1.0	0.087
			4.0	0.112				1.8	0.151
			5.0	0.168				2.8	0.224
			6.0	0.224				3.6	0.308
			4.9	0.308				2.8	0.336
			4.1	0.392				1.9	0.392
11C	0.89	1.20	0.6	0.028	12C	0.87	1.21	0.7	0.056
			1.1	0.056				1.2	0.123
			1.6	0.084				1.7	0.179
			2.1	0.112				2.2	0.280
			2.5	0.224				2.4	0.380
			2.3	0.280				2.2	0.448
			2.1	0.336				1.6	0.560
11D	0.89	1.24	0.6	0.056	12D	0.84	1.30	1.0	0.072
			1.0	0.084				1.5	0.112
			1.6	0.123				2.0	0.168
			2.0	0.196				2.5	0.236
			2.4	0.291				2.7	0.347
			2.3	0.420				2.3	0.392
			2.0	0.532				2.0	0.448

Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)	Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)
13A	0.89	1.11	2.0	0.0448	14A	0.90	1.25	2.1	0.056
			2.5	0.056				3.1	0.112
			3.2	0.0672				3.7	0.1232
			3.5	0.140				4.3	0.168
			4.1	0.280				4.8	0.2352
			3.5	0.308				3.9	0.2688
			3.0	0.336				2.8	0.280
13B	0.88	1.25	2.9	0.056	14B	0.87	1.30	1.5	0.084
			3.8	0.084				2.5	0.140
			4.5	0.112				3.3	0.196
			5.2	0.140				3.8	0.280
			5.6	0.196				4.0	0.392
			5.0	0.280				3.5	0.476
			4.2	0.336				3.1	0.560
13C	0.88	1.18	3.5	0.0448	14C	0.88	1.17	2.6	0.056
			4.5	0.056				3.6	0.084
			5.5	0.0672				5.2	0.112
			6.5	0.084				7.1	0.140
			7.4	0.112				9.2	0.280
			6.7	0.140				8.1	0.336
			4.6	0.196				6.6	0.3808
13D	0.90	1.25	1.0	0.056	14D	0.87	1.20	3.7	0.056
			1.5	0.084				5.7	0.084
			2.6	0.140				7.2	0.112
			3.0	0.168				9.2	0.1792
			3.4	0.280				10.0	0.2352
			2.8	0.336				8.7	0.2912
			2.1	0.4032				7.3	0.3472

- 28 -

Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)	Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)
15A		1.23	2.5	0.056	16A	1.07	1.26	3.5	0.056
			3.6	0.084				6.0	0.100
			4.6	0.123				7.5	0.112
			5.6	0.168				9.1	0.151
			6.2	0.280				10.5	0.173
			5.6	0.324				7.4	0.224
15B	0.84	1.30	5.2	0.364	16B	1.08	1.26	6.0	0.291
			1.0	0.067				5.4	0.056
			1.6	0.112				7.9	0.084
			2.5	0.156				10.9	0.112
			3.4	0.224				13.8	0.168
			3.8	0.420				16.6	0.235
15C	0.82	1.19	3.4	0.476	16C	1.05	1.28	14.4	0.268
			3.0	0.504				12.2	0.280
			2.2	0.056				3.9	0.056
			3.2	0.112				6.3	0.112
			4.2	0.156				8.8	0.123
			5.0	0.224				12.4	0.168
15D	0.82	1.22	5.4	0.308	16D	1.09	1.28	14.84	0.235
			4.8	0.364				9.84	0.280
			4.2	0.392				6.70	0.336
			1.5	0.056				3.3	0.044
			2.1	0.084				4.2	0.067
			2.5	0.112				5.2	0.084
			2.9	0.156				5.8	0.112
			3.1	0.224				6.6	0.156
			2.7	0.252				5.4	0.224
			2.5	0.308				4.5	0.280

Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)	Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)
17A	0.90	1.29	0.4	0.056	18A	0.85	1.13	2.8	0.056
			1.0	0.067				4.3	0.112
			1.5	0.112				5.7	0.140
			2.1	0.140				7.3	0.179
			2.2	0.224				8.1	0.280
			1.9	0.308				6.8	0.308
			1.5	0.448				4.2	0.336
17B	0.91	1.27	1.1	0.054	18B	0.87	1.25	1.2	0.044
			2.1	0.112				2.1	0.084
			2.6	0.140				3.1	0.112
			3.1	0.168				3.7	0.140
			3.6	0.280				4.0	0.224
			3.0	0.347				3.1	0.280
			2.4	0.453				2.4	0.364
17C	0.92	1.29	1.5	0.056	18C	0.84	1.14	3.8	0.056
			2.7	0.100				5.3	0.084
			3.8	0.117				7.8	0.1568
			5.0	0.168				9.8	0.2128
			5.8	0.280				11.8	0.280
			4.7	0.336				10.6	0.308
			3.7	0.420				9.4	0.336
17D	0.91	1.31	2.0	0.056	18D	0.85	1.15	2.0	0.056
			2.9	0.112				3.5	0.084
			3.5	0.123				5.5	0.123
			4.5	0.168				8.0	0.179
			5.2	0.280				10.4	0.280
			4.3	0.364				9.1	0.308
			3.5	0.420				7.9	0.347

Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)	Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)
19A	0.86	1.22	1.2	0.056	20A	0.90	1.23	2.4	0.056
			2.2	0.100				3.4	0.112
			3.2	0.140				4.4	0.140
			4.7	0.212				5.4	0.179
			5.5	0.308				5.8	0.280
			4.7	0.336				5.4	0.336
3.7	0.392	5.1	0.364						
19B	0.84	1.15	1.7	0.044	20B	0.89	1.26	2.3	0.056
			2.7	0.067				3.3	0.084
			3.7	0.100				4.3	0.112
			5.2	0.123				5.8	0.140
			7.2	0.224				7.1	0.224
			6.5	0.252				5.4	0.252
6.1	0.308	4.2	0.308						
19C	0.85	1.16	2.0	0.028	20C	0.91	1.28	4.2	0.056
			3.5	0.056				5.8	0.100
			4.6	0.084				7.2	0.140
			5.7	0.112				8.7	0.168
			6.6	0.168				10.1	0.274
			5.5	0.179				8.8	0.291
4.6	0.224	7.3	0.336						
19D	0.86	1.21	3.4	0.056	20D	0.89	1.20	3.8	0.056
			4.4	0.084				5.2	0.1008
			5.9	0.112				6.3	0.112
			7.4	0.140				7.8	0.168
			8.9	0.224				8.8	0.252
			7.4	0.280				7.3	0.280
6.2	0.324	5.9	0.336						

Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)
21A	0.95	1.30	1.6	0.044
			2.1	0.056
			2.6	0.084
			3.1	0.112
			3.5	0.168
			2.7	0.224
21B	0.93	1.32	1.7	0.364
			2.0	0.028
			3.0	0.056
			4.0	0.084
			4.5	0.112
			5.2	0.168
21C	0.92	1.28	4.6	0.235
			4.1	0.308
			3.2	0.056
			4.7	0.084
			5.7	0.112
			6.7	0.1232
21D	0.90	1.28	7.8	0.168
			6.7	0.196
			5.8	0.2352
			2.8	0.056
			4.3	0.084
			5.24	0.112
6.8	0.168			
7.6	0.212			
6.2	0.252			
5.2	0.336			

A N E X O C

RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE FLEXION APLICADAS AL MATERIAL LIGNOPOLIMERICO DE BAGAZO DE CAÑA

Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)	Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)
1A	0.76	1.31	1.3	0.100	2A	0.74	1.27	1.1	0.067
			2.4	0.140				2.1	0.112
			3.4	0.196				3.1	0.156
			5.4	0.364				4.6	0.224
			6.2	0.604				5.2	0.280
			6.0	0.722				5.1	0.392
			5.8	0.840				4.9	0.616
1B	0.78	1.30	1.7	0.056	2B	0.76	1.34	1.0	0.056
			3.3	0.123				1.5	0.112
			5.2	0.196				2.0	0.168
			6.3	0.252				2.6	0.224
			7.0	0.347				3.0	0.392
			6.8	0.436				2.9	0.476
			6.5	0.504				2.8	0.532
1C	0.77	1.30	1.4	0.028	2C	0.75	1.30	0.8	0.028
			3.3	0.084				1.7	0.084
			5.3	0.156				2.8	0.140
			7.2	0.224				3.8	0.224
			8.0	0.336				4.6	0.364
			7.3	0.380				4.0	0.436
			6.1	0.476				3.8	0.476
1D	0.77	1.32	0.5	0.067	2D	0.73	1.31	0.85	0.056
			1.0	0.123				1.9	0.112
			1.5	0.224				3.3	0.212
			2.0	0.364				4.3	0.308
			2.2	0.560				4.8	0.392
			2.1	0.739				4.7	0.476
			1.8	0.952				4.4	0.504

Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)	Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)
3A	0.76	1.33	1.2	0.056	4A	0.75	1.32	2.1	0.056
			2.7	0.112				3.5	0.112
			4.2	0.168				5.0	0.168
			5.7	0.235				6.5	0.252
			6.7	0.364				7.5	0.392
			6.6	0.504				6.3	0.504
6.0	0.616	5.0	0.560						
3D	0.72	1.33	0.7	0.056	4B	0.75	1.30	0.8	0.056
			1.4	0.123				1.8	0.168
			2.0	0.196				2.2	0.224
			2.5	0.291				2.7	0.291
			2.8	0.532				3.2	0.448
			2.6	0.672				3.1	0.672
2.4	0.812	2.8	0.851						
3C	0.75	1.33	1.7	0.112	4C	0.73	1.35	0.7	0.028
			2.7	0.168				1.7	0.067
			3.7	0.224				3.2	0.156
			5.2	0.324				5.2	0.235
			6.2	0.436				7.2	0.448
			5.8	0.504				7.0	0.504
5.5	0.660	6.6	0.560						
3D	0.74	1.34	1.4	0.067	4D	0.75	1.27	0.8	0.056
			2.4	0.112				1.8	0.112
			3.7	0.196				2.9	0.196
			5.4	0.280				3.8	0.280
			6.8	0.459				4.4	0.448
			6.3	0.560				4.2	0.560
5.4	0.644	3.8	0.610						

Muestra	Esposor (cms.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)	Muestra	Esposor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)
5A	0.66	1.36	1.6	0.056	6A	0.66	1.43	1.0	0.067
			3.1	0.112				2.5	0.140
			4.5	0.168				4.0	0.196
			6.1	0.252				6.0	0.336
			6.8	0.448				7.4	0.532
			6.5	0.515				7.0	0.616
5.6	0.560	6.9	0.700						
5B	0.65	1.37	0.8	0.056	6B	0.64	1.41	1.7	0.084
			1.8	0.112				3.3	0.156
			2.8	0.168				5.2	0.235
			3.6	0.252				7.7	0.392
			4.2	0.392				9.0	0.672
			3.8	0.448				8.2	0.700
3.1	0.459	7.9	0.728						
5C	0.66	1.34	0.9	0.056	6C	0.65	1.42	1.1	0.067
			2.0	0.123				2.0	0.112
			2.9	0.224				3.4	0.196
			4.0	0.308				5.2	0.280
			4.5	0.504				6.6	0.4928
			4.0	0.532				6.2	0.504
3.7	0.588	6.0	0.560						
5D	0.66	1.34	2.5	0.056	6D	0.64	1.35	1.2	0.067
			4.0	0.112				2.3	0.112
			5.0	0.168				3.8	0.196
			6.5	0.280				5.2	0.291
			6.9	0.402				6.5	0.420
			6.8	0.532				6.3	0.459
6.5	0.616	6.2	0.616						

Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)	Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)
7A	0.71	1.35	0.9	0.084	8A	0.70	1.38	1.6	0.084
			2.5	0.168				3.1	0.123
			3.9	0.268				5.0	0.196
			5.2	0.448				7.0	0.280
			5.7	0.616				9.7	0.492
			4.8	0.672				8.2	0.504
3.7	0.784	6.5	0.515						
7B	0.69	1.40	1.4	0.112	8B	0.73	1.33	0.7	0.084
			2.4	0.168				1.7	0.140
			3.5	0.224				2.6	0.212
			4.6	0.308				3.3	0.280
			5.2	0.504				3.9	0.336
			4.9	0.571				3.8	0.420
4.5	0.616	3.4	0.476						
7C	0.73	1.42	1.8	0.067	8C	0.72	1.37	1.6	0.056
			3.3	0.140				3.0	0.100
			4.8	0.224				5.1	0.168
			7.2	0.436				6.6	0.224
			7.9	0.644				7.6	0.308
			7.3	0.728				7.4	0.347
6.5	0.784	7.5	0.420						
7D	0.71	1.36	1.3	0.067	8D	0.71	1.34	1.9	0.056
			2.3	0.112				3.0	0.112
			3.8	0.186				4.4	0.156
			5.4	0.308				5.9	0.212
			6.7	0.560				7.3	0.308
			6.6	0.700				6.5	0.336
6.3	0.812	5.4	0.347						

Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)	Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)
9A	0.72	1.38	1.4	0.056	10A	0.67	1.38	1.2	0.067
			3.4	0.117				2.7	0.112
			5.4	0.179				4.7	0.212
			7.8	0.308				7.7	0.308
			9.8	0.448				9.6	0.476
			8.4	0.498				9.0	0.504
9B	0.70	1.40	7.8	0.509	10B	0.66	1.35	8.8	0.548
			1.2	0.044				1.9	0.056
			2.6	0.112				2.9	0.084
			3.7	0.163				4.0	0.112
			5.2	0.268				6.0	0.179
			5.7	0.380				7.8	0.308
9C	0.70	1.40	5.1	0.420	10C	0.67	1.39	6.4	0.364
			4.8	0.532				5.6	0.420
			0.8	0.044				0.8	0.084
			2.3	0.100				1.8	0.140
			3.8	0.168				3.2	0.224
			5.3	0.224				4.2	0.324
9D	0.72	1.38	6.6	0.402	10D	0.68	1.36	4.9	0.448
			5.9	0.448				4.5	0.459
			4.2	0.459				4.2	0.504
			1.5	0.056				1.5	0.067
			3.0	0.112				3.0	0.156
			5.0	0.168				5.0	0.224
			6.7	0.252				7.5	0.347
			8.0	0.392				9.2	0.548
			7.3	0.420				9.1	0.616
			6.9	0.448				9.0	0.683

Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)	Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)
11A	0.69	1.41	1.4	0.044	12A	0.61	1.42	0.5	0.048
			2.6	0.084				1.0	0.067
			4.3	0.140				1.5	0.112
			5.8	0.224				1.9	0.212
			7.2	0.308				2.2	0.324
			6.8	0.347				2.0	0.392
11B	0.67	1.38	1.0	0.056	12B	0.62	1.43	0.6	0.056
			2.0	0.084				1.5	0.112
			3.5	0.123				2.5	0.168
			5.6	0.224				3.5	0.235
			8.0	0.403				4.3	0.504
			7.3	0.448				3.9	0.532
6.2	0.459	2.8	0.548						
11C	0.70	1.38	1.1	0.056	12C	0.61	1.41	0.8	0.056
			2.6	0.112				1.6	0.112
			4.5	0.196				2.5	0.168
			6.0	0.280				3.2	0.235
			7.6	0.436				3.7	0.336
			5.6	0.448				3.2	0.392
3.8	0.459	2.7	0.448						
11D	0.68	1.42	1.1	0.056	12D	0.61	1.42	1.0	0.056
			2.6	0.112				2.0	0.112
			4.6	0.168				3.0	0.224
			7.0	0.280				3.3	0.308
			8.4	0.476				3.5	0.492
			7.8	0.4928				3.4	0.588
7.5	0.504	3.0	0.672						

Nuestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)	Nuestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)
13A	0.76	1.42	1.2	0.056	14A	0.68	1.36	1.0	0.044
			2.2	0.112				2.0	0.084
			3.6	0.168				3.0	0.123
			4.6	0.291				4.9	0.212
			5.4	0.476				6.7	0.364
			5.2	0.588				5.8	0.392
5.0	0.756	5.3	0.420						
13B	0.76	1.41	1.0	0.056	14B	0.68	1.39	0.3	0.028
			2.0	0.112				0.9	0.056
			3.5	0.196				1.8	0.084
			5.0	0.347				2.4	0.112
			5.5	0.504				2.9	0.179
			5.2	0.532				2.6	0.212
4.5	0.560	2.4	0.224						
13C	0.77	1.43	1.5	0.056	14C	0.66	1.38	0.3	0.028
			3.0	0.140				0.8	0.056
			4.5	0.280				1.3	0.100
			5.7	0.436				1.6	0.112
			6.4	0.660				1.9	0.168
			4.5	0.677				1.7	0.336
2.7	0.700	1.4	0.476						
13D	0.77	1.43	1.0	0.084	14D	0.67	1.38	1.1	0.048
			2.0	0.140				2.1	0.084
			3.5	0.212				3.1	0.123
			4.9	0.308				4.0	0.179
			5.8	0.420				4.2	0.252
			5.6	0.492				3.0	0.280
5.2	0.504	2.5	0.347						

Muestra	Espesor (cm.)	Ancho (cm.)	Carga (Kg.)	Deflexión (cm.)
15A	0.61	1.35	1.2	0.067
			2.2	0.140
			3.6	0.224
			5.6	0.420
			6.5	0.616
			6.1	0.778
			5.6	0.868
15B	0.61	1.41	0.4	0.028
			0.7	0.056
			0.9	0.067
			1.3	0.112
			1.6	0.196
			1.2	0.336
			1.0	0.476
15C	0.60	1.38	0.2	0.044
			0.7	0.067
			1.2	0.112
			1.4	0.123
			1.3	0.336
15D	0.61	1.42	0.1	0.011
			0.6	0.100
			1.1	0.140
			1.4	0.179
			1.5	0.280
			1.0	0.308
			0.9	0.392

## BIBLIOGRAFIA

- 4 Gjokk, G., Osterr. Botan. Z., 45, 330 (1895).
- 5 Lisbamer, K., Osterr. Botan. Z., 49, 317 (1899)
- 2, 6 Brauns, F.E., "The Chemistry of Lignin", Academic Press, N. Y. 1952.
- 7 Phillips M., "Wood Chemistry, L.R. Wise Ed., Reinhold, N.Y., 1944.
- 8 Brauns, Op. Cit.
- 1 UNAM. Tesis. Optimización y caracterización de materiales compuestos lignopoliméricos. Rafael Fabela López. 1982.
- 9 Irwin A. Pearl "The Chemistry of ligning" Marcel Deckler, Inc. N.Y. 1967.
- 10 Fabela, Bernardo. Op. Cit.
- 3, 11 Kaj Forss and Agneta Furtmann. "Karatex the lignin - based adhesive for plywood, particleboard and fiberboard". En: Paper Och tra. v. 58 (1976) p. 817-824.
- 13 Fardous Mobarak (et. al). "Binderless lignocellulose composite from bagasse and mechanism of self - bonding". En: Holzforschung v. 36 - (1982) p. 131-135.
- 14 Kaj Forss and Agneta Furtmann. "Finish Plywood, particleboard, and - fiberboard made with a lignin - base adhesive". En: Forest Products Journal v. 29 (7) p. 39-43.
- 15 Sundstrom, Donald and Kei, Herbert. "Uses of by - products lignins from alcohol fuel processes". En: Biotechnology and Bioengineering Symposium. (12): 1982 p. 46-56.
- 16 Billmeyer, Fred, Ciencia de los polímeros. Barcelona: Ed. Reverté, 1978.

- 17 Jastrzebski, Zbigniew. Naturaleza y propiedades de los materiales para ingeniería. 2a. Ed. México: Ed. Interamericana, 1979.
- 12 Ballamy, L.J. "The Infrared Spectre of Complex Molecules" London, Methuen and Coltd New York John Wiley and Sons. Inc. 1964.
- 18 Kirk - Othmer. Encyclopedia of Chemical Tecnology, 3<sup>th</sup> Ed. New York: John Wiley and Sons, 1981. v. 14 p. 294 - 312.
- 19 Martínez de las Marías, P. Química y física de los altos polímeros. Madrid: Ed. alnambra, 1972.
- 20 Enciclopedia de la química industrial. Howink and Solomon. Adherencia y adhesivos. Bilbao: Ediciones Urno, 1973. v. II, Tomo 4.
- 21 The Merck Index. An encyclopedia of Chemicals, drugs, and biologicals. 10<sup>th</sup> Ed. N.J. USA: Mertha Windholz, 1983 p. 24, 855 y 787.
- 22 Introduction to adhesives. Irving Skeits and Jerry Hiron.
- 23 Flexural propierties of plastics. ASTM D 790 - 63.
- 24 Flat pressed particleboard for building construction. Deutsch norm DIN 68 763.
- 25 Norma oficial de calidad de tableros de partículas de madera de tipo colchón. NOM C 325 - 1970.
- 26 Anuario Estadístico de la Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros de Madera, A.C. 1985.
- 27 Walter E. Driver "Química y tecnología de los plásticos. Ed. C.E.C.S.A. 1982.